



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN  
AMBIENTAL DE UNA ESPECIE ABISAL DE  
OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE LAS  
INFILTRACIONES DE METANO DEL MARGEN  
DE SONORA**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**BIÓLOGA**

**P R E S E N T A:**

**YOSSELLIN TAPIA DE LA O**



**DIRECTORA DE TESIS:**

**DRA. ELVA GUADALUPE ESCOBAR BRIONES**

**2014**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

## Hoja de datos del jurado

1. Datos del alumno  
Tapia  
De la O  
Yossellin  
5534100044  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Biología  
305321307
2. Datos del tutor  
Dra.  
Elva Guadalupe  
Escobar  
Briones
3. Datos del sinodal 1  
Dra.  
Blanca Estela  
Buitrón  
Sánchez
4. Datos del sinodal 2  
Dr.  
Carlos Ángel Quintil  
Mortera  
Gutiérrez
5. Datos del sinodal 3  
M. en C.  
Adriana  
Gaytán  
Caballero
6. Datos del sinodal 4  
M. en C.  
León Felipe  
Álvarez  
Sánchez
7. Datos del trabajo escrito  
Identificación y caracterización ambiental de una especie abisal de ofiuroideos  
(Echinodermata) de las infiltraciones de metano del margen de Sonora.  
107 p  
2014

***“Soy de las que piensan que la ciencia tiene una gran belleza. Un científico en su laboratorio no es sólo un técnico: es también un niño colocado ante fenómenos naturales que le impresionan como un cuento de hadas”***

**Marie Curie**

***“Lo que caracteriza al hombre de ciencia no es la posesión del conocimiento o de verdades irrefutables, sino la búsqueda desinteresada e incesante de la verdad”***

**Karl Popper**

## AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

A las Dras. Anne Godfroy y Elva Escobar por la realización del crucero *Biodiversité et Interactions á Guaymas* (BIG) en colaboración entre el Instituto Francés de Investigación para la Explotación del Mar (IFREMER) y el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML) de la UNAM.

A toda la tripulación del B/O *L'Atalante* y del sumergible *Nautile* por la toma de las muestras utilizadas en este estudio.

A los Drs. Jean Claude Caprais y Anne Godfroy por el procesamiento de los datos fisicoquímicos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, mi *ALMA MATER* por la oportunidad de realizar mis estudios universitarios.

A la Facultad de Ciencias por formarme como una profesional en el área de las ciencias... *EN EL MARAVILLOSO MUNDO DE LA VIDA.*

Al proyecto DGAPA-PAPIIT IN207410 por la beca otorgada.

Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (UNAM) y al Laboratorio de Biodiversidad y Macroecología por brindarme el espacio físico para la realización de este trabajo.

Al Ing. Francisco Ponce Núñez por la ayuda con la elaboración de los mapas.

## AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A la Dra. Elva Escobar por abrirme las puertas al maravilloso mundo de la investigación biológica y oceanográfica. Por la guía, los comentarios, el apoyo y la paciencia para la realización de este trabajo.

Al Dr. Francisco Solís por sus comentarios que enriquecieron este trabajo.

A los Drs. Sabine Stöhr, Tim O'Hara y Francisco Solís por su valiosa ayuda y comentarios para la realización de este trabajo, en especial para la identificación de la especie.

A mis sinodales por sus valiosos comentarios y correcciones, que me motivan a seguir en el camino de la investigación. Al Dr. Carlos Mortera por el apoyo y constante apremio para concluir este trabajo, a la Dra. Blanca Buitrón por su amabilidad y sugerencias que enriquecieron este trabajo, a los M. en C. Adriana Gaytán y León Álvarez por su apoyo y comentarios para hacer de este trabajo una realidad.

A Miroslava Almazán por la ayuda con las fotografías para la identificación de la especie.

A mis compañeros y amigos del Laboratorio de Biodiversidad y Macroecología que me han acompañado a lo largo de este camino y lo han hecho muy ameno con las pláticas, la convivencia, las risas, por sus consejos y comentarios. A Myrs, Letty, Adry, Vicky, Balam, León, Gaby, Miros, Esme, Odette, Iris, Rodrigo. *¡GRACIAS!*

A mis amigos que han recorrido un largo camino a mi lado, echándome siempre porras para concluir mi sueño de ser una *BIOLOGA*. Maky, Aarón, Rodrigo, Gorety, Chivis, Colito, Toby, Julio, Sama, Vivs, Gaby. *¡GRACIAS!*

A Kari, Moni y Danny por recorrer juntas el primer semestre de esta aventura y por su valiosa amistad. *¡GRACIAS!*

A todos mis amigos que me han acompañado durante toda la carrera. Letty, Miros, Gaby, Tania, Alma, Nancy, Hugo, Andrea, Mariana, Lidia. *¡GRACIAS!*

A la mar por ser tan majestuosa y permitirme describir alguno de sus secretos.

## DEDICATORIA

A Dios

A las personas más importantes de mi vida:

Papá, Mamá. Por su amor, su apoyo incondicional, su confianza, su valor para sacarnos adelante a mi hermano y a mí. Por creer en mí y nunca dejarme caer. Por hacer de mí lo que soy ahora.

A mi hermano por recorrer la vida conmigo, por los regaños, por la confianza. Y por ser mi ejemplo y modelo a seguir, por enseñarme que con trabajo y esfuerzo todo se puede lograr.

A tí Paco, porque ¿quién diría que nuestros caminos se cruzarían en mi primera aventura a bordo del barco? Gracias por ser y por estar. Por confiar y creer siempre en mí, por tu amor y apoyo incondicional, por no dejarme caer cuando todo parecía sombrío. Por caminar a mi lado, para hacer que mis alas aprendan a volar. TE AMO =9

A toda mi familia por hacer asombrosa mi existencia. A mis abuelitas, a mis tías Rosita, Chely, Elsa, Claudía, Susana, Mary, a mis tíos Raúl, José, Guillermo, Alfredo.

A mis niños y no tan niños, por llenar mi alma de felicidad con sus sonrisas. Lucy, Jorge, Pao, Fer, Diego, Isaac, Naty, Andrea, Rubí y José.

A mis ángeles que me miran desde el cielo. A mi abuelito por su apoyo y amor, a mi bisabuela por enseñarme el valor de la familia, a mi tío Eduardo porque me alentó a no tener miedo de subirme por primera vez al barco, a mi tío Jorge por su paciencia y valiosa enseñanza.

*¡GRACIAS! LOS AMO.*

## ÍNDICE

Resumen	I
Abstract	II
Índice de figuras	III
Índice de tablas	VII
Introducción	1
Antecedentes	6
Objetivos	9
Área de estudio	10
Justificación	15
Metodología	16
<i>Trabajo de campo</i>	16
<i>Trabajo de laboratorio</i>	20
<i>Análisis de datos</i>	26
Resultados	28
<i>Identidad de la especie</i>	28
<i>Descripción de hábitat y patrón de distribución</i>	32
<i>Abundancia para cada sitio de colecta</i>	41
<i>Contribución de los ofiuroideos al presupuesto de carbono del ecosistema</i>	51
<i>Estructura de tallas y su relación con el presupuesto de carbono</i>	53
Discusión	59
Conclusiones	69
Referencias	72
Anexos	i

## RESUMEN

En el presente estudio se identificó una especie dominante de ofiuroides de las infiltraciones de metano del margen de Sonora, se describe el hábitat de ocurrencia, su abundancia, el aporte que tienen al presupuesto de carbono del ecosistema y su estructura de tallas. Las muestras estudiadas provienen de recolectas realizadas durante la campaña oceanográfica BIG “Biodiversité et Interactions á Guaymas” a bordo del B/O L’Atalante y utilizando el sumergible tripulado llamado *Nautilé* del Instituto Francés de Investigación para la Explotación del Mar (IFREMER), en colaboración con el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM en el año 2010. Los organismos provienen principalmente de muestras tomadas con aspirador a profundidades de 1557 y 1580 m. La especie de ofiuroides descrita es una variante morfológica de *Ophiura scutellata*, dentro de la campaña oceanográfica se reconocieron 4 sitios con presencia de ofiuroides, el número total de organismos colectados fue de 800. *O. scutellata* se encuentra en un total de 8 hábitats diferentes, en el sitio Vasconcelos se reconocen 5, 3 para el sitio Pockmark 1 y Ayala y solamente 2 para el sitio Juárez. El hábitat con la mayor abundancia es el tapete blanco de bacterias con un promedio de 2933.30 ind/0.25m<sup>2</sup>. En términos de abundancia el sitio Vasconcelos aporta el 48.1%, seguido del sitio Ayala, Pockmark 1 y Juárez con 39%, 12.2% y 0.6% respectivamente. La abundancia está determinada por el tipo de hábitat en el cual se van a encontrar los ofiuroides. La biomasa se relacionó con la abundancia, los sitios con mayor abundancia tienen un mayor aporte al presupuesto de carbono, el sitio Vasconcelos aporta 0.481 g de C, los sitios Ayala, Pockmark 1 y Juárez tienen un aporte de 0.372 g, 0.131 g y 0.004 g respectivamente. La estructura de tallas de la especie tiene una distribución unimodal, la mayor parte de los organismos se encuentra en el intervalo de 5 a 6 mm para el diámetro del disco y 10 a 15 mm para el largo de brazo, dichos valores representan las tallas medianas de los organismos colectados. La correlación entre el diámetro del disco y el largo de brazos, para toda la población y representada por los cuatro sitios, no es significativa ( $R^2 = 0.4556$ ).

## ABSTRACT

In this study, a dominant species of ophiuroid was identified in the cold methane seeps of the Sonora margin, the habitat is described, abundance, size distribution and its contribution to the ecosystem's carbon budget. Specimens were collected in 2010 during the BIG (Biodiversité et Interactions á Guaymas) expedition, using the submersible Nautille onboard the R/V L'Atalante, from IFREMER (French Research Institute for Exploitation of the Sea), in collaboration with the Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Most of the 800 sampled organisms come from depths ranging between 1557 m and 1580 m, and were taken by the aspirator equipment. Ophiuroid species is described as a morphological variant of *Ophiura scutellata*, which was found in four of the sites sampled during this expedition: Vasconcelos, Pockmarck 1, Ayala and Juarez sites. The species *O. scutellata* was found in eight different habitats: five in Vasconcelos site, three in the Pockmarck 1 and Ayala sites and only two in Juarez site. Regarding the abundance values, the Vasconcelos site accounts for 48.1 %, followed by the sites Ayala (39%), Pockmarck1 (12.2%) and Juarez (0.6%). Abundance was determined by habitat in which the ophiuroids were found. The habitat with the highest abundance was found was the white bacterial mat with an estimate of 2933.30 ind/0.25m<sup>2</sup>. Biomass was related with abundance, the sites with the largest abundance had the largest carbon budget. Vasconcelos site contributed with 0.481 g C, the Ayala, Pockmarck 1 and Juarez sites contributed with 0.372 g C, 0.131 g C, and 0.004 g C, respectively. The size distribution of this species displayed a unimodal behavior. The average disk diameter ranged within the 5 to 6 mm range, and the arm length ranged from 10 to 15 mm, close to the mean value of both parameters. The disk diameter and arm length was not significantly correlated ( $R^2=0.4556$ ), at any of the sites.

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Área de estudio. (A) Golfo de California; (B) ubicación del Margen de Sonora y la Cuenca de Guaymas (Modificados de GeoMapApp); (C) ubicación de los sitios de colecta de ofiuroides en el margen de Sonora. 13
- Figura 2.** Equipos de colecta de ofiuroides. (A) Núcleo tubular; (B) red; (C) nucleador de caja grande; (D) aspirador. 16
- Figura 3.** Localidades muestreadas en el margen de Sonora durante la campaña BIG. Los círculos muestran los sitios activos reconocidos en la zona. Mapa realizado a bordo con batimetría de barrido durante la fase prospectiva. 19
- Figura 4.** Sitios con presencia de ofiuroides. (A) Pockmark 1, inmersión BIG 1748-4; (B) Vasconcelos, inmersión BIG 1750-6; (C) Ayala, inmersión BIG 1760-16; (D) Juárez, inmersión BIG 1761-17. 20
- Figura 5.** Caracteres considerados para la identificación de la especie. (A) cara dorsal; (B) y (C) cara ventral; (D) acercamiento de la cara ventral. Abreviaturas: D, disco; Bz, brazo; ED, escama dorsal; EV, escama ventral; ER, escudo radial; PD, placa dorsal; PL, placa lateral; E, espina; B, bursa; PG, papilas genitales; D, diente; PO, papilas orales; TPo, tentáculo del poro; EO, escudo oral; EA, escudo adoral; PV, placa ventral. Escala en milímetros. 22
- Figura 6.** Medidas tomadas a cada uno los ofiuroides. Informe proporcionado por el Dr. F. Solís-Marín. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 25
- Figura 7.** Caracteres diagnósticos para la identificación de la especie de ofiuroide de las infiltraciones de metano. (A) Cara dorsal; (B) Inserción del brazo entre las placas radiales y espinas puntiagudas y cortas; y (C) placas dorsales del brazo. Escala en milímetros. 30
- Figura 8.** Caracteres diagnósticos para la identificación de la especie de ofiuroide de las infiltraciones de metano. (A) Cara ventral; (B) Papilas genitales; (C) papilas orales; y (D) tentáculos de los poros. Escala en milímetros. 30

- Figura 9.** Caracteres diagnósticos para la identificación de la especie de ofiuroides de las infiltraciones de metano. (A) escamas tentaculares del primer tentáculo del poro; (B) escamas tentaculares del 2°, 3° y 4° tentáculo del poro; (C) forma del escudo oral; y (D) placas ventrales del brazo. Escala en milímetros. 31
- Figura 10.** Sitio Pockmark 1. Se observa la infiltración de gas saliendo a través de una fisura (A); la megafauna asociada al ecosistema, un asteroideo, *Benthoctopus*, un cangrejo Majidae y un carideo (B); hábitat de tapete azul en formación rocosa y algunos ofiuroides dispersos (C); tapete blanco rodeado de vesicómidos y ofiuroides (D). 33
- Figura 11.** Sitio Vasconcelos. Se observan crinoideos y una anémona (A); Siboglínidos del género *Escarpia* y manchones de tapete blanco (B); vesicómidos rodeados de algunos ofiuroides, peces de la familia Liparidae, una raya y tapete blanco de bacterias (C); y tapete blanco rodeado de algunos vesicómidos y una agregación de ofiuroides (D). 35
- Figura 12.** Sitio Ayala. Se observa megafauna asociada al ecosistema, un cangrejo de la familia Majidae y algunos galatéidos (A); un tapete blanco de bacterias (B); un campo de *Calyptogena kilmeri* y ofiuroides asociados (C); tapetes blancos de bacterias con una agregación de ofiuroides (D). 37
- Figura 13.** Sitio Juárez. Se observa un cefalópodo del género *Benthoctopus* sobre el sustrato blando (A); una formación carbonatada con un pez *Pseudoliparis amblystomopsis* (B); una colonia de gusanos de tubo del género *Lamellibrachia* sobre ellos galatéidos del género *Munidopsis* y algunos camarones carideos (C); y una colonia de poliquetos, alrededor se observan algunos vesicómidos y ofiuroides (D). 39
- Figura 14.** Abundancia total de organismos colectados para cada sitio (n=800). 41
- Figura 15.** Abundancia y patrón de distribución para cada uno de los hábitats, identificando las 3 réplicas realizadas con un cuadro rojo. Hábitat: Pockmark 1. Vesicómidos. 44
- Figura 16.** Abundancia y patrón de distribución para cada uno de los hábitats, identificando las 3 réplicas realizadas con un cuadro rojo. Hábitat: Pockmark 1. Tapete azul. 44

<b>Figura 17.</b> Abundancia y patrón de distribución para cada uno de los hábitats, identificando las 3 réplicas realizadas con un cuadro rojo. Hábitat: Pockmark 1. Tapete blanco con <i>Calyptogenia pacifica</i> .	45
<b>Figura 18.</b> Abundancia y patrón de distribución para cada uno de los hábitats, identificando las 3 réplicas realizadas con un cuadro rojo. Hábitat: Vasconcelos. Tapete blanco con <i>C. pacifica</i> .	45
<b>Figura 19.</b> Abundancia y patrón de distribución para cada uno de los hábitats, identificando las 3 réplicas realizadas con un cuadro rojo. Hábitat: Vasconcelos. <i>Calyptogenia kilmeri</i> .	46
<b>Figura 20.</b> Abundancia y patrón de distribución para cada uno de los hábitats, identificando las 3 réplicas realizadas con un cuadro rojo. Hábitat: Vasconcelos. Tapete azul.	46
<b>Figura 21.</b> Abundancia y patrón de distribución para cada uno de los hábitats, identificando las 3 réplicas realizadas con un cuadro rojo. Hábitat: Vasconcelos <i>Escarpia</i> con tapete blanco.	47
<b>Figura 22.</b> Abundancia y patrón de distribución para cada uno de los hábitats, identificando las 3 réplicas realizadas con un cuadro rojo. Hábitat: Vasconcelos. <i>C. pacifica</i> .	47
<b>Figura 23.</b> Abundancia y patrón de distribución para cada uno de los hábitats, identificando las 3 réplicas realizadas con un cuadro rojo. Hábitat: Ayala. Tapete blanco.	48
<b>Figura 24.</b> Abundancia y patrón de distribución para cada uno de los hábitats, identificando las 3 réplicas realizadas con un cuadro rojo. Hábitat: Ayala. <i>C. kilmeri</i> .	48
<b>Figura 25.</b> Abundancia y patrón de distribución para cada uno de los hábitats, identificando las 3 réplicas realizadas con un cuadro rojo. Hábitat: Ayala. <i>C. pacifica</i> .	49
<b>Figura 26.</b> Abundancia y patrón de distribución para cada uno de los hábitats, identificando las 3 réplicas realizadas con un cuadro rojo. Hábitat: Juárez. Tapete blanco con <i>C. pacifica</i> .	49

<b>Figura 27.</b> Abundancia y patrón de distribución para cada uno de los hábitats, identificando las 3 réplicas realizadas con un cuadro rojo. Hábitat: Juárez. <i>Lamellibrachia</i> con <i>C. pacifica</i> .	50
<b>Figura 28.</b> Ofiuroides colocados en posiciones similares a las descritas en las imágenes para validar el área que ocupan.	50
<b>Figura 29.</b> Frecuencias de peso húmedo fijado (g) con curva de tendencia para cada uno de los sitios.	52
<b>Figura 30.</b> Peso húmedo fijado y estructura de tallas de para toda la población (n= 800).	53
<b>Figura 31.</b> Estructura de tallas para cada sitio de colecta.	54
<b>Figura 32.</b> Correlación entre el largo de brazo y el diámetro del disco para el sitio Pockmark 1 (n=98)	57
<b>Figura 33.</b> Correlación entre el largo de brazo y el diámetro del disco para el sitio Vasconcelos (n=385).	57
<b>Figura 34.</b> Correlación entre el largo de brazo y el diámetro del disco para el sitio Ayala (n=312).	58
<b>Figura 35.</b> Correlación entre el largo de brazo y el diámetro del disco para todos los sitios (n=800). Sitio Pockmark 1 (verde), Vasconcelos (rosa), Ayala (azul) y Juárez (naranja)	58
<b>Figura 36.</b> <i>Ophiura scutellata</i> [Lütken & Mortensen, 1899]. Imagen tomada del Reporte de la Exploración de las costas del este de México, Sudamérica y las Islas Galápagos a bordo del B/O “Albatross” durante 1891. (4) cara ventral; (5) cara dorsal; y (6) acercamiento del brazo, donde se observan las espinas. Estas imágenes corresponden a la descripción original de la especie <i>Ophiura scutellata</i> .	61

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características de las masas de agua en el Golfo de California. Tomada de Torres [1993].	12
<b>Tabla 2.</b> Inmersiones donde se colectaron ofiuroideos, equipo de colecta, número de ejemplares, profundidad y sitio de colecta. * Muestras tomadas con muestreadores cualitativos.	17
<b>Tabla 3.</b> Tipos de hábitats reconocidos para cada sitio, señalando el tipo de sustrato y la principal asociación biótica.	40
<b>Tabla 4.</b> Abundancia de organismos para cada hábitat. Señalando las réplicas, el número de individuos encontrados en 25cm <sup>2</sup> y en 0.25 m <sup>2</sup> .	43
<b>Tabla 5.</b> Valores de abundancia de las submuestras y de biomasa expresada como peso húmedo fijado y como carbono en g para cada sitio.	51
<b>Tabla 6.</b> Promedios de peso húmedo fijado (g) y talla (mm) para cada uno de los sitios, señalando el valor máximo y mínimo encontrado para cada carácter. Abreviaturas P, biomasa expresada como peso húmedo fijado; DD, diámetro del disco; y LB, largo de brazo.	56

## INTRODUCCIÓN

El primer registro de ofiuroides de aguas profundas corresponde a *Astrophyton linckii* [Muller & Troschel, 1842] ahora conocido como *Gorgonocephalus caputmedusae*. El ejemplar de esta especie se encontró enredado en un cable de sondeo a 1462m. Adicionalmente han sido reportadas 108 especies a 3000 metros y 12 especies a 6000 metros [Escandón, 2011]. El nombre ofiuroides se deriva del griego “*ophis*” que significa serpiente y “*oura*” que significa cola, en referencia a los brazos, a menudo delgados y que se enroscan como caracol [Stöhr *et al.*, 2012]. Este grupo de estrellas frágiles, estrellas cesta o estrellas serpiente son el grupo más numeroso entre los equinodermos existentes con 2064 especies descritas, que se encuentran en todos los océanos del mundo desde el intermareal hasta las mayores profundidades. Pertenece a los equinodermos, invertebrados exclusivamente marinos, cuyo nombre significa piel armada de espinas (“*equinos*” que significa espina y “*derma*” que significa piel). En su mayoría son organismos bentónicos, asociados a sustratos rocosos, coralinos, arenosos y mixtos [Barnes *et al.*, 1969], presentes en todos los océanos y a todas las profundidades conocidas [Maluf, 1988].

Los equinodermos dominan la megafauna en las aguas profundas [Gage *et al.*, 1991] y constituyen más del 90% de la biomasa bentónica [Brusca, 1990]. En la década de 1970 y mediados de 1980, fueron descubiertas respectivamente las ventilas y las infiltraciones. Estos ecosistemas que basan su flujo de energía en la quimiosíntesis, en la cual la producción bacteriana juega un papel fundamental, también incluyen la presencia de equinodermos. En lugar de utilizar la energía de la luz solar para fijar carbono inorgánico en carbono orgánico a través del proceso de fotosíntesis, las bacterias en estos ecosistemas utilizan la energía química de la oxidación de compuestos químicos reducidos. Las células bacterianas forman la base de la trama trófica [International Seabed Authority, 2011].

Aunque estas bacterias pueden ser de vida libre y algunas son ingeridas directamente por los animales, la mayor parte de la biomasa permanente de estos ecosistemas típicamente se encuentra en invertebrados, que albergan microorganismos quimiosintéticos como simbiosis [International Seabed Authority, 2011].

### **¿QUÉ ES UNA INFILTRACIÓN DE METANO?**

Los sitios de infiltraciones frías son ecosistemas que ocurren en márgenes continentales, tanto activos como pasivos. Las comunidades basadas en la quimiosíntesis dependen de la energía química autóctona y local para la producción de carbono orgánico en grandes cantidades, a través de la quimiosíntesis bacteriana [Wefer *et al.*, 2003].

La formación de las infiltraciones está generalmente ligada a procesos geológicos y a la presencia subyacente de hidrocarburos (petróleo, gas, hidratos de metano). Los estudios geofísicos que generan datos batimétricos, imágenes de sonar, datos de reflexión sísmica y acústica, imágenes de las erupciones de metano o burbujas, tienen identificados en los márgenes, tanto activos como pasivos, una gran variedad de estructuras geológicas asociadas con las infiltraciones, que promueven una fauna diversa [Levin *et al.*, 2012]. Estos ecosistemas son impulsados principalmente por la producción quimioautotrófica, basada en hidrocarburos generados por actividad microbiana y/o por la degradación termogénica de materia orgánica. La reducción de los productos químicos, que proporcionan la energía, incluye materiales como metano y sulfuro.

Las infiltraciones a menudo contienen sedimentos alojados, que ayudan a la precipitación de carbonato autógeno. Aquellas que se encuentran activas normalmente apoyan una intensa producción microbiana de arqueas y bacterias, que a su vez apoyan la producción secundaria de gusanos de tubo (de los cuales generalmente son simbiosis). Estas asociaciones permiten que devenga la presencia de otros organismos, como mejillones, almejas, esponjas, caracoles y equinodermos

que son algunos de los taxones presentes en la comunidad de fondo en estos ecosistemas [International Seabed Authority, 2011].

Se pueden encontrar también formaciones asociadas como carbonatos autigénicos formando plataformas, montículos y pináculos; así como hidratos de metano. En la columna de agua se pueden detectar las burbujas de gas; que si son suficientemente abundantes pueden causar el transporte vertical de materiales arrastrados cerca de la superficie [International Seabed Authority, 2011].

La proporción de especies aparentemente endémicas en las infiltraciones es baja (~50%) si se compara con la que presentan las ventilas hidrotermales (~85%). Las especies deben afrontar diversos desafíos en estos ecosistemas tales como la toxicidad del sulfuro, de los hidrocarburos, sedimentos hipóxicos, zonas de oxígeno mínimo y el bajo pH en los sedimentos [International Seabed Authority, 2011].

### **¿QUÉ ES UN MARGEN CONTINENTAL?**

Un margen continental es la zona marina de transición entre la masa continental y la planicie abisal oceánica, que abarca la plataforma continental de pendiente suave (0-200 m), el talud continental de pendiente más pronunciada (200-3,000 m) y la elevación continental dorsal (3,000-4,000 m). A lo largo de este intervalo de profundidad nos encontramos con fuertes gradientes de presión, temperatura y disponibilidad de alimento. Conforme aumenta la distancia de la zona de productividad fotosintética éstos gradientes disminuyen. Los márgenes son la puerta de entrada de los océanos, median la transferencia de agua, energía, sedimentos, organismos y de contaminantes entre los continentes y el mar abierto [Levin *et al.*, 2012].

El uso de sumergibles tripulados permitió el descubrimiento de actividad biológica y acumulación de diversos gases en el fondo marino, incluyendo las infiltraciones de metano que alimentan a las comunidades exuberantes, tanto en márgenes pasivos en el Océano Atlántico occidental [Paull *et al.*, 1984], en el este del Océano Atlántico ecuatorial [Ondréas *et al.*, 2005], en el Mar Mediterráneo [Olu-Le Roy *et al.*, 2004], en

los márgenes activos en el este [Suess *et al.*, 1985] y occidente del Océano Pacífico [Laubier *et al.*, 1986].

Un margen pasivo se encuentra en el borde del continente, entre la plataforma continental (200 m) y la planicie abisal oceánica (~ 4000 m), no deformada por actividad tectónica y con entradas sedimentarias procedentes del continente adyacente. Mientras que un margen activo, es un margen típicamente con actividad tectónica (terremotos, deslizamientos, erosión), como los son los márgenes convergentes, donde una placa oceánica se subduce debajo de una placa continental. O los márgenes deformados por la interacción de fallas transformantes y dorsales oceánicas [Levin *et al.*, 2012].

### **OFIUROIDEOS EN AMBIENTES QUIMIOSINTÉTICOS**

En ambientes quimiosintéticos se ha descrito la presencia de especies ofiuroides, algunas asociados a ventilas hidrotermales y otras a infiltraciones de metano. Las primeras se localizan a lo largo de todas las dorsales oceánicas y forman un ecosistema, basado en la quimiosíntesis bacteriana [Van Dover, 2002]. Las segundas ocurren a lo largo de los márgenes continentales y albergan una fauna única de invertebrados, con adaptaciones específicas para las condiciones químicas que prevalecen en dichos ambientes [Tyler *et al.*, 2003]. Esta fauna puede ser endémica a cada ecosistema, aunque recientemente se ha reconocido que ambos ecosistemas pueden compartir las mismas especies.

La escala de características para las infiltraciones y para las ventilas es más o menos similar, ambas parecen pequeñas oasis en la inmensidad de las profundidades del mar; donde cada sitio de ventila o infiltración se separa de su vecino más cercano por relativamente grandes distancias en el fondo marino no quimiosintético. Dentro de este contexto espacial, cada sitio de infiltración o ventila cuenta con un mosaico de parches que constituyen un hábitat (tapete microbiano, cama de almejas, cama de mejillones, etc.). Además la fauna quimiosintética puede diferenciarse

geográficamente, por la profundidad y por el tipo de hábitat (por ejemplo, ventila vs. infiltración, cama de almejas vs. cama de bivalvos) [International Seabed Authority, 2011].

Los patrones batimétricos de la diversidad biológica, se han atribuido a los cambios en las características del sedimento [Etter *et al.*, 1992], la productividad, las corrientes, el oxígeno disuelto, la perturbación del sustrato y la interacción de los efectos bióticos con la profundidad y la latitud [Levin *et al.*, 2001].

Los ofiuroides eran prácticamente desconocidos en estos ambientes hasta recientemente. Hecker [1985] reportó ofiuroides en infiltraciones frías de metano del Golfo de México, pero estos siguen sin estar descritos. La descripción de especies nuevas para el océano Pacífico resulta problemática, porque la fauna de los ofiuroides en el Pacífico está pobremente estudiada, en comparación con la del Atlántico. La literatura es dispersa, de difícil acceso, a menudo obsoleta y en ocasiones utiliza varios nombres para una misma especie morfológica. Un primer intento de revisión de la fauna de ofiuroides del Pacífico dio lugar a un gran número de sinonimias y a la descripción de varias especies nuevas [Stöhr *et al.*, 2012].

## ANTECEDENTES

### INTERNACIONAL

Tyler *et al.*, describieron en 1995 la primer especie de ofiuroido para un ambiente quimiosintético, *Ophioctenella acies* [Tyler *et al.*, 1995]. Esta especie ocurre en las ventilas hidrotermales de TAG (Trans-Atlantic Geotraverse), Snake Pit y en respiraderos de Broken Spur, MAR (dorsal Mesoatlántica o Mid-Atlantic Ridge). Desde entonces se han descrito nuevas especies en otras ventilas hidrotermales del Océano Atlántico. En el Océano Pacífico se han reportado ofiuroides [Sibuet *et al.*, 1998; Halanych *et al.*, 1999], pero pocos se ha descrito y quedan citadas solamente como ofiuroides en estas publicaciones.

En la actualidad se conocen seis géneros y especies de ofiuroides que se encuentran en ventilas hidrotermales, dos en el Océano Pacífico y el resto en el Atlántico. Esto hace de los ofiuroides uno de los grupos más pequeños dentro de las ventilas, pero el grupo más rico en especies de equinodermos.

Dos de las especies actualmente registradas se consideran “endémicas” dentro del ambiente hidrotermal, una es compartida con las infiltraciones de metano (*Ophioctenella acies*), una se conoce en un ambiente empobrecido de hidrotermalismo (*Ophiactis tyleri*) y las dos restantes son especies “comunes” de aguas profundas: *Spinophiura jolliveti* y *Ophiolamina eprae* [Stöhr *et al.*, 2006]. La primera ocurre en ambientes y se encuentra distribuida a lo largo de la Dorsal del Pacífico Este, entre las latitudes 13-9° N, 17-18° S y 38° S; *Ophiolamina* ocurre en sedimento hidrotermal y en emisiones de fluido caliente, tiene su distribución en la Dorsal de Pacífico Este a una latitud de 9° N y en la pared este a los 13° N y entre los 17-18° S. Ambas especies están asociadas con bivalvos *Bathymodiolus thermophilus* y con gusanos de tubo *Riftia pachyptila*. El resto son especies del Océano Atlántico.

Para infiltraciones de metano es el género *Ophiura* que tiene especies representantes en el Océano Pacífico, *Ophiura carinifera* [Sellanes et al., 2008] y *Ophiura leptoctenia* [Sahling et al., 2003]. Sin embargo, también se conocen especies “regulares” de aguas profundas como: *O. rugosa*, *O. clemens*, *O. lymani* y *O. ljunmani*, está última reportada para el Golfo de México.

## EN MÉXICO

Los estudios taxonómicos de equinodermos del Océano Pacífico comenzaron desde el siglo XIX con las revisiones de material de distintas colecciones zoológicas, provenientes de diversas expediciones en las costas del Pacífico del continente Americano. Entre los primeros estudios de la fauna de equinodermos del Pacífico Mexicano, destacan los realizados por Verrill en 1871 sobre material recolectado desde Baja California hasta las costas de Panamá, mismos ejemplares que se depositaron en el “Museum of Comparative Zoology” de la Universidad de Harvard, EUA [Honey-Escandón et al., 2008].

Los primeros equinodermos de aguas profundas colectados en el Pacífico americano fueron obtenidos por los buques de investigación “Challenger” y “Albatross” en el siglo XIX. Sin embargo, se tuvo que esperar hasta la primera mitad del siglo XX para que surgiera un interés específico sobre este tipo de organismos en México. Una revisión exhaustiva de la fauna de equinodermos del Pacífico este tropical (desde el sur de California, EE. UU., y el Golfo de California hasta Perú) fue presentada por L.Y. Maluf en 1988. Esta compilación incluye una lista completa de las especies conocidas para esta subregión en aquella época, junto con datos acerca de las distribuciones geográfica y batimétrica, las sinonimias y una lista de referencias bibliográficas [Hendrickx, 2012].

El Golfo de California presenta considerable diversidad de equinodermos. Su reconocimiento en diversos hábitats ha sido posible gracias a los estudios taxonómicos e inventarios del grupo. Los cuales aunque distan mucho de estar completos,

representan un acervo de información invaluable para todo tipo de estudios: sistemáticos, evolutivos, genéticos, ecológicos y económicos, entre otros [Solís-Marín *et al.*, 1993].

El estudio de los equinodermos del Golfo de California inició el siglo antepasado y ha durado más de un siglo. Verrill [1871] trabajó con equinodermos recolectados en el Golfo de California, tal material dio como resultado el primer trabajo de investigación sobre los equinodermos para dicha área [Solís-Marín *et al.*, 2005].

La mayor parte de los trabajos corresponde a recolectas en aguas someras litorales y los menos se refieren a organismos obtenidos en expediciones oceanográficas, siendo las primeras las del “Albatross” (1904-1905, 1911) y las más frecuentes de 1984 a la fecha, las del B/O “El Puma” [Solís-Marín *et al.*, 2005].

Basándose en la literatura existente y en las muestras obtenidas durante el proyecto TALUD iniciado en 1989, se elaboró una lista de las especies de equinodermos de aguas profundas ( $\geq 350$  m) del Pacífico de México. Se obtuvo material nuevo del Golfo de California y frente a las costas del SO (suroeste) del Pacífico de México, los especímenes fueron colectados por el B/O “El Puma”. Se colectaron 63 especies de aguas profundas, 46 tienen registros en la zona de la corriente de California, 45 en el Golfo de California y solamente 20 en el SO de México [Hendrickx, 2012].

Este trabajo contribuye al conocimiento de una especie dominante de ofiuroides de mar profundo asociado a las infiltraciones de metano en las localidades activas del Margen de Sonora y aporta información sobre el tipo de hábitats de ocurrencia, las abundancias y biomasa asociada en cada uno de los sitios.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Contribuir al conocimiento biológico y ecológico de los ofiuroideos que ocurren en las infiltraciones de metano del Margen de Sonora.

### **Particulares**

1. Determinar la identidad de la especie dominante de ofiuroideos.
2. Describir el tipo de hábitat de ocurrencia.
3. Describir la abundancia en la cual ocurren los ofiuroideos en los sitios de colecta.
4. Establecer la contribución con biomasa de los ofiuroideos a los presupuestos de carbono en las infiltraciones del Margen de Sonora.
5. Describir la estructura de las tallas de los ofiuroideos.

## ÁREA DE ESTUDIO

El Golfo de California está ubicado en el noroeste de México y está delimitado por la península de Baja California y la costa de los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit de México [SEMARNAT, 2006] (Figura 1A). Éste se extiende en dirección noreste en una longitud de 1,500 Km con anchuras variables de 92 a 222 km y tiene una línea de costa de más de 3,000 km. La superficie marina está formada por 247 000 km<sup>2</sup> y alcanza profundidades que superan los 3,000 m [SEMARNAT, 2006]. El Golfo de California ocupa una posición geográfica única, dentro de los mares marginales del Océano Pacífico.

El área del golfo se localiza entre los 20° y 32° de latitud norte y los 105.5° y 114.5° de longitud oeste [De la Rosa *et al.*, 2008]. 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]. Su formación se inició hace unos 4 a 5 millones de años [Lugo, 1985].

En el sur y centro del golfo, las cuencas activas tienen una profundidad mayor a los 2,000 m y contienen capas sedimentarias de más de 1 km. Estas se encuentran delimitadas por fallas transformantes y el piso se compone por corteza oceánica y de transición continental-oceánica. Además estas cuencas forman verdaderas zonas de extensión [Curry *et al.*, 1982; Lonsdale, 1989]. En el norte del golfo, las cuencas activas tienen una profundidad menor a los 900 m y contienen capas sedimentarias menores a 4 km [Aragón-Arreola *et al.*, 2003]. Estas cuencas tienen fronteras difusas y se encuentran dentro de una amplia zona de deformación entre las fallas de transformación de Cerro Prieto y Las Ballenas [Henyey *et al.*, 1973; Persaud *et al.*, 2003]. Su piso está formado de corteza continental o de transición [Phillips, 1964; González-Fernández *et al.*, 2005].

Una de las características importantes del Golfo de California, es la alta productividad de sus aguas. El extremo norte del golfo es desértico, mientras que el extremo sur se encuentra por debajo de las condiciones boreales de lluvia de monzón en verano. La precipitación total en el golfo depende la incidencia de tormentas tropicales o “chubascos”. La circulación es compleja y dinámica, debido a la interacción del régimen de vientos costeros con el terreno montañoso del Baja California entre el golfo y el Océano Pacífico abierto [Longhurst, 2007]. El intercambio con el Pacífico abierto es menor y está impulsado en gran medida por el hecho de que el alto golfo es una cuenca de evaporación [Bray, 1988]. La distribución de nutrientes en el Golfo de California se caracteriza por un aumento monotónico con la profundidad, las aguas superficiales están casi agotadas por actividad biológica, excepto en el área alrededor de las grandes islas, debido probablemente a la mezcla vertical inducida por la fuerte corriente de marea [Álvarez-Borrego *et al.*, 1978].

En el norte del golfo, la columna de agua está totalmente mezclada por los vientos borales del noreste, asistidos por un movimiento convectivo a una profundidad de 100m [Roden, 1964]. Sobre la plataforma superficial norte, el enfriamiento invernal del agua altamente salina del estuario evaporítico del Río Colorado forza un patrón complejo de giros superficiales de turbidez [Lepley *et al.*, 1975]. Esta densa agua fría es el origen de salida de las aguas profundas del golfo.

La circulación residual de las mareas, está fuertemente modificada por el esfuerzo del viento local. Efectos de brisa tierra-mar son importantes y los vientos del noroeste dominan la región de octubre a mayo, mientras que los vientos del suroeste dominan débilmente durante el verano boreal. Esta alternancia de fuerzas en la dirección del viento produce surgencias en la costa este y oeste alternativamente, según la temporada [Longhurst, 2007]. Las surgencias generalmente se presentan en el lado este del golfo durante el invierno y el oeste durante el verano [Maluf, 1983]. Los dipolos generados de agua fría pueden abarcar todo el ancho del golfo [Longhurst, 2007].

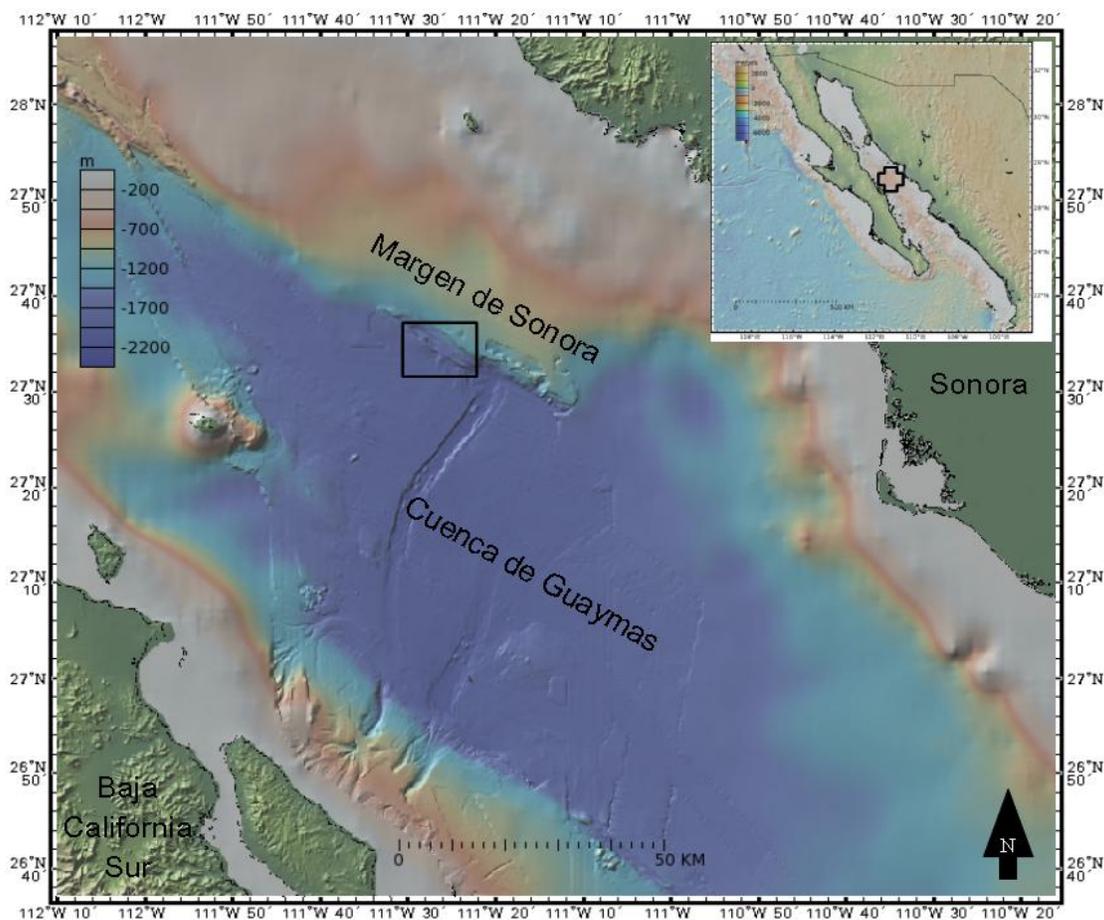
La formación de las masas de agua ocurre cuando la evaporación y/o enfriamiento aumentan la densidad en la superficie del agua, que luego se hunde (convección vertical). Las características de la masa de agua formada dependen de las condiciones meteorológicas e hidrográficas predominantes durante el proceso de formación [Lavín *et al.*, 1995]. En el Golfo de California se reconocen 6 diferentes masas de agua (Tabla 1).

**Tabla 1.** Características de las masas de agua en el Golfo de California. Tomada de Torres [1993].

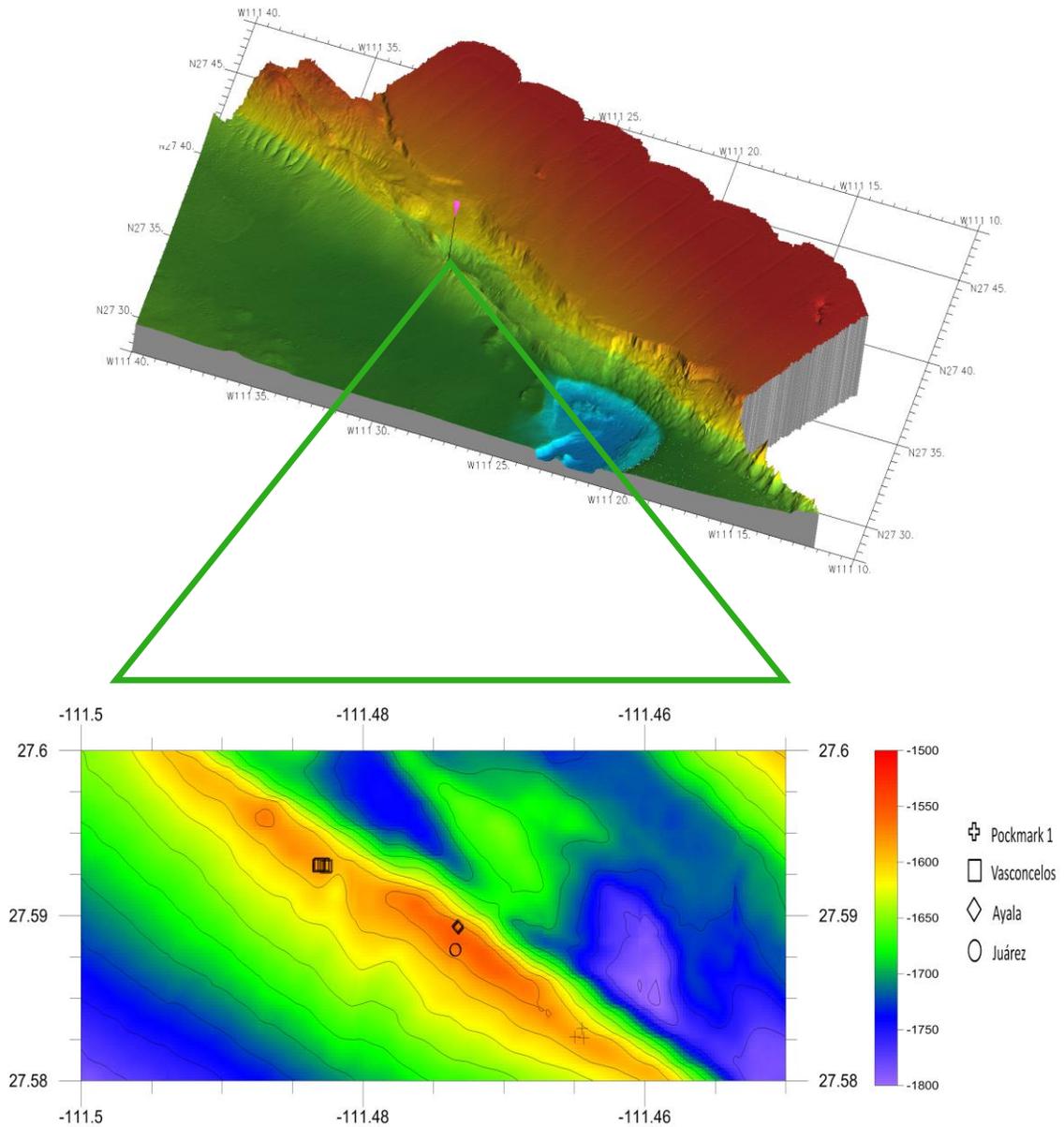
Masa de agua	Salinidad ups (unidades prácticas de salinidad)	Temperatura (°C)
<b>Agua del Golfo de California</b>	$S \geq 35.0$	$T > 12$
<b>Agua superficial ecuatorial</b>	$S < 35.0$	$T \geq 18$
<b>Corriente de California</b>	$S < 34.5$	$12 \leq T \leq 18$
<b>Agua subtropical del subsuelo</b>	$34.5 < S < 35.0$	$9 \leq T \leq 18$
<b>Agua intermedia del Pacífico</b>	$34.5 \leq S \leq 34.8$	$4 \leq T \leq 9$
<b>Agua profunda del Pacífico</b>	$S > 34.5$	$T < 4$

En el Golfo de California se reconocen cuatro áreas oceanográficas generales [Case *et al.*, 1983; De la Lanza, 1991]: Golfo Norte o Alto Golfo, Región de las Grandes Islas, Golfo Central y Región Sur. El área denominada Golfo Central se encuentra entre el límite sur de la región de las grandes islas hasta las bahías de Topolobampo en el este y de la Paz al oeste. Sus cuencas marinas son profundas, la mayor depresión en todo el golfo es la Cuenca de Guaymas con una longitud cercana a los 220 Km y profundidades de hasta 2000 metros [SEMARNAT, 2006].

La cuenca de Guaymas está limitada por prominentes escarpes formados por la falla transformante de Guaymas al este y por las fallas de Carmen y Tortuga hacia al oeste, mientras que en el norte y sur los límites se forman por los márgenes de Sonora y Baja California, respectivamente [Aragón-Arreola *et al.*, 2005] (Figura 1B). La campaña oceanográfica BIG (Biodiversité et Interactions á Guaymas) exploró zonas de la Cuenca de Guaymas y del Margen de Sonora (Figura 1C).



IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE UNA ESPECIE ABISAL DE OFIUROIdeos (Echinodermata) DE LAS INFILTRACIONES DE METANO DEL MARGEN DE SONORA.



**Figura 1.** Área de estudio. (A) Golfo de California; (B) ubicación del margen de Sonora y la Cuenca de Guaymas (Modificados de GeoMapApp); (C) ubicación de los sitios de recolecta de ofiuroides en el margen de Sonora.

## JUSTIFICACIÓN

Los ambientes marinos debajo de los 1,000 metros han sido estudiados en México, predominantemente, en la escala grande y sin reconocer en la pequeña escala el hábitat de las especies dominantes. Este tipo de ecosistemas de mar profundo incluyen una gran variedad de estructuras geológicas y hábitats, tales como cañones submarinos, planicies abisales, montes y volcanes submarinos, diapiros, escarpes, trincheras, ventilas hidrotermales, infiltraciones de hidrocarburos y metano, arrecifes profundos de coral y de esponjas, así como zonas de oxígeno mínimo, entre las más destacadas [CONABIO, 2008].

Hay una gran diversidad biológica que existe en este tipo de ambientes, desde especies generalistas hasta algunas altamente especializadas y endémicas [UNEP, 2006]. Se estima que el Golfo de California puede alcanzar hasta los 10 millones de especies que incluyen las bacterias que conforman los tapetes, las simbiontes y de vida libre, anémonas, estrellas de mar, corales, esponjas, pepinos de mar, moluscos, gusanos de tubo, crustáceos y peces entre otros [UNEP, 2006]. El Margen de Sonora se estudia por primera vez, y en él ocurre una gran diversidad de hábitats fundamentales para especies de importancia al ecosistema de mar profundo [Comentario personal].

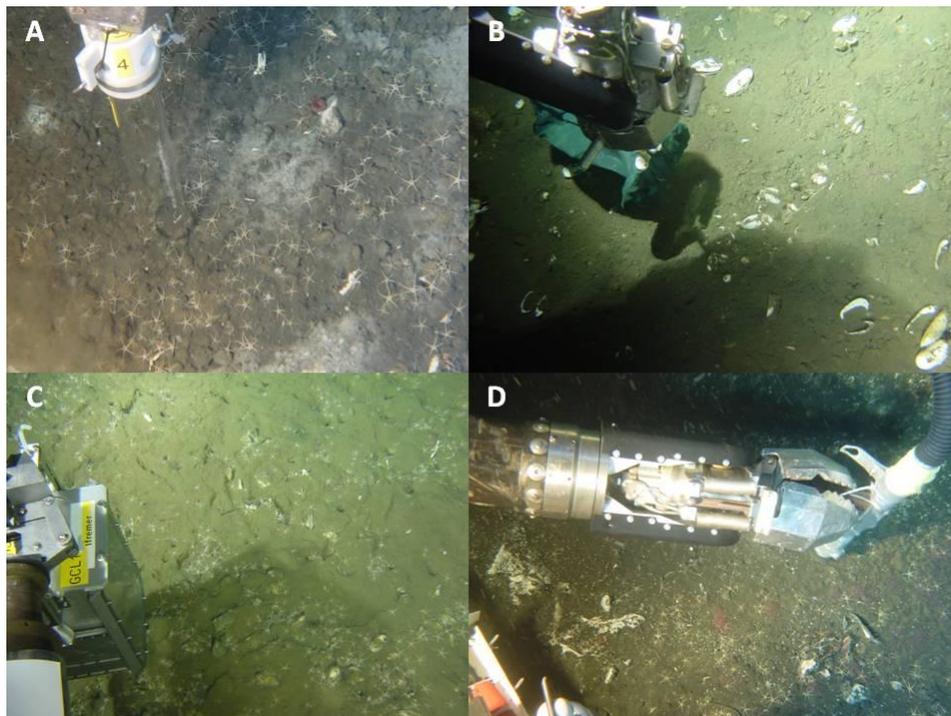
Estos ambientes contribuyen con la biomasa, son almacenes de carbono y funcionan como un oasis de los que dependen un gran número de especies de mar profundo. Este trabajo representa una investigación sobre el hábitat de una especie de ofiuroides, lo que representa un primer acercamiento a la biota que se encuentra en las infiltraciones de metano del margen de Sonora.

## METODOLOGÍA

### TRABAJO DE CAMPO

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

Los ofiuroides provienen del Margen de Sonora. Las muestras fueron recolectadas en infiltraciones de metano que se localizan a profundidades de entre 1,557 y 1,580 metros, que corresponden a los 27° de latitud norte y 111° de longitud oeste, durante la campaña BIG a bordo del B/O *L'Atalante* y utilizando el sumergible tripulado llamado *Nautille*, del Instituto Francés de Investigación para la Explotación del Mar (IFREMER), en el año 2010. De todas las recolectas se reconocen 23 muestras con ofiuroides (Tabla 2), obtenidas con los siguientes equipos de recolecta: 1 con núcleo tubular, 1 con nucleador de caja chico, 1 con contenedor cilíndrico, 3 con nucleador de caja grande, 7 con red y 10 con aspirador (Figura 2).



**Figura 2.** Equipos de recolecta de ofiuroides. (A) Núcleo tubular; (B) red; (C) nucleador de caja grande; (D) aspirador.

### *Separación de los ejemplares en campo*

A bordo las muestras se fijaron en etanol absoluto enfriado para garantizar la preservación de ADN y los ejemplares, por el tiempo requerido para ser procesados. El sedimento se tamizó a través de un tamiz de 250  $\mu\text{m}$ , permitiendo la separación preliminar de los ejemplares. Posteriormente más ejemplares fueron separados de muestras de macrofauna con un microscopio de disección. Una vez separados del sedimento, los organismos de cada muestra fueron colocados en frascos herméticos con etanol al 70% y etiquetados para su posterior identificación y análisis morfológico.

**Tabla 2.** Inmersiones donde se recolectaron ofiuroides, equipo de recolecta, número de ejemplares, profundidad y sitio de recolecta. \* Muestras tomadas con muestreadores cualitativos.

<b>Inmersión</b>	<b>Equipo de recolecta</b>	<b>No. individuos</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Sitio</b>
<b>BIG 1748-4</b>	Red 1	2	1580	Pockmark 1
<b>BIG 1748-4</b>	Red 2	60	1562	Pockmark 1
<b>BIG 1748-4</b>	Aspirador 3	36	1575	Pockmark 1
<b>BIG 1749-5</b>	Red 2	12	1562	Ayala
<b>BIG 1749-5</b>	Aspirador 1	174	1574	Ayala
<b>BIG 1750-6</b>	Red 1	4	1576	Vasconcelos
<b>BIG 1751-7</b>	Contenedor cilíndrico	1	1557	Vasconcelos
<b>BIG 1756-12</b>	Red 1	6	1575	Vasconcelos
<b>BIG 1756-12</b>	Aspirador 1	34	1573	Vasconcelos
<b>BIG 1756-12</b>	Aspirador 2	47	1573	Vasconcelos

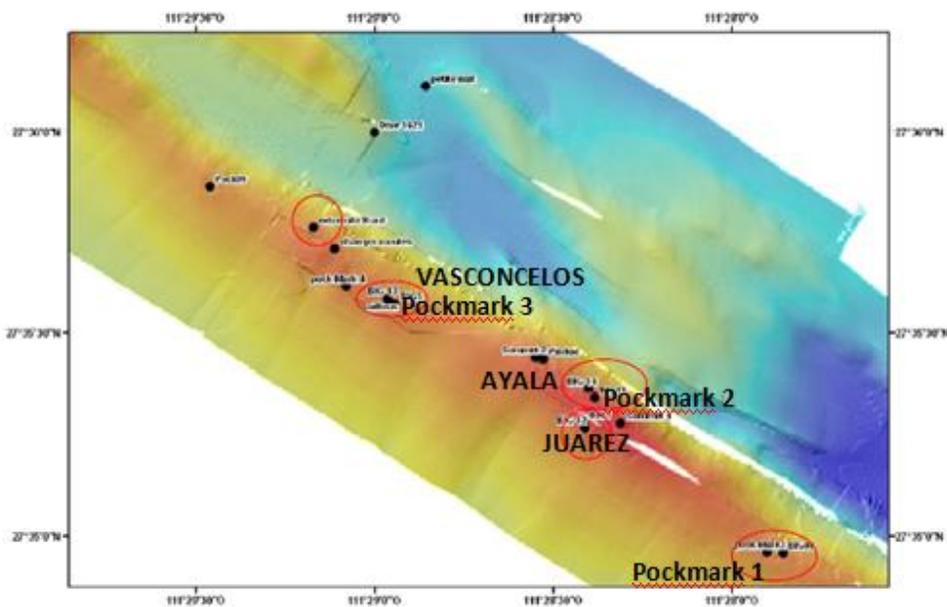
<b>BIG 1756-12</b>	Aspirador 3	117	1573	Vasconcelos
<b>BIG 1757-13</b>	Red 1	79	1574	Vasconcelos
<b>BIG 1757-13</b>	Aspirador 1	70	1573	Vasconcelos
<b>BIG 1757-13</b>	Aspirador 2	14	1573	Vasconcelos
<b>BIG 1757-13</b>	Nucleador de caja grande 4*	13	1574	Vasconcelos
<b>BIG 1760-16</b>	Nucleador de caja grande 2*	2	1564	Ayala
<b>BIG 1760-16</b>	Red 1	111	1562	Ayala
<b>BIG 1760-16</b>	Aspirador 1	4	1560	Ayala
<b>BIG 1760-16</b>	Aspirador 2	4	1560	Ayala
<b>BIG 1760-16</b>	Aspirador 3	4	1561	Ayala
<b>BIG 1760-16</b>	Núcleo tubular 10*	1	1562	Ayala
<b>BIG 1761-17</b>	Nucleador de caja chico 10*	4	1561	Juárez
<b>BIG 1762-18</b>	Nucleador de caja chico 12*	1	1560	Juárez

#### Localidades de recolecta

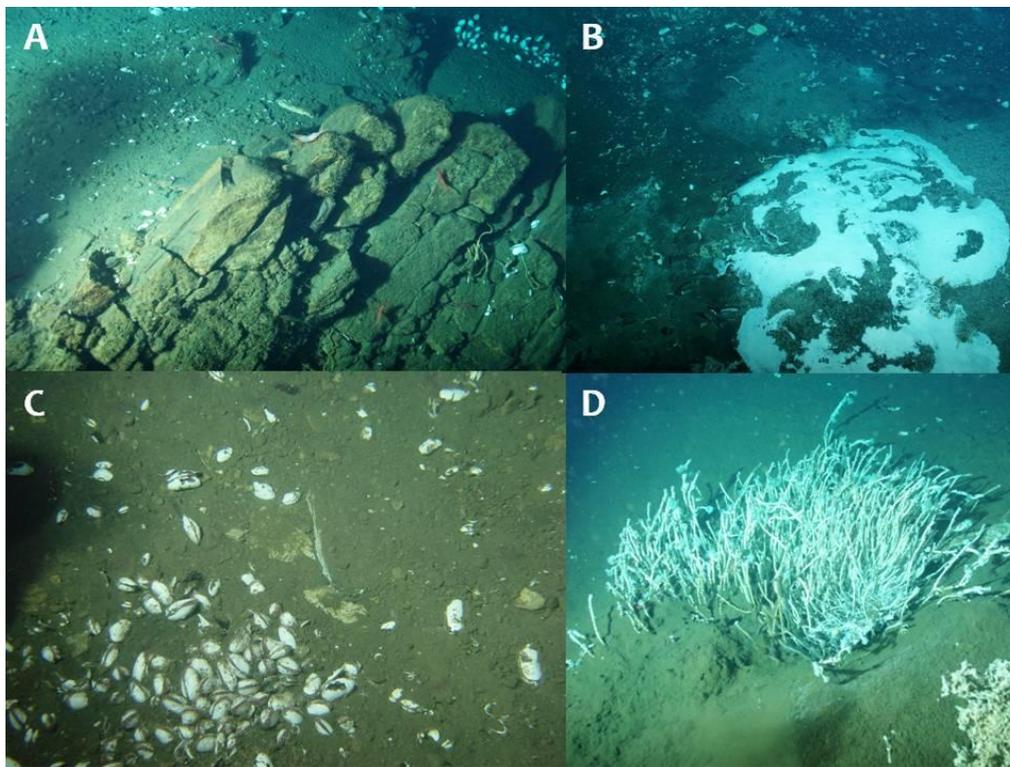
Los ofiuroides se recolectaron en el Margen de Sonora en 4 de los 7 sitios descritos en el Margen de Sonora (Figura 3) a profundidades de 1,557 a 1,580 m.

- a) El sitio Pockmark 1 (Figura 4A) está caracterizado por emisiones ocasionales de gas, que se infiltra del fondo marino, en los vestigios de una estructura carbonatada que contuvo metano. En este sitio ocurren 2 especies de bivalvos de la familia Vesicomidae (*Calyptogena kilmeri* y *Calyptogena pacifica*). Las concreciones pequeñas de carbonato son abundantes.

- b) El sitio Vasconcelos (Figura 4B) está caracterizado por parches de tapete bacteriano, espeso y blanco en las inmediaciones de las concreciones carbonatadas y por agregaciones de bivalvos *Vesicomys*.
- c) El sitio Ayala (Figura 4C) está caracterizado por la presencia de sedimento blando con agregaciones de bivalvos *Vesicomys*.
- d) El sitio Juárez (Figura 4D) está caracterizado por colonias de poliquetos de tubo del género *Lamellibrachia*. Las concreciones carbonatadas son abundantes, pero localizadas. Se observan bivalvos *Vesicomys* de manera dispersa, presentes en el sedimento blando.



**Figura 3.** Localidades muestreadas en el margen de Sonora durante la campaña BIG. Los círculos muestran los sitios activos reconocidos en la zona. Mapa realizado a bordo con batimetría de barrido durante la fase prospectiva.



**Figura 4.** Sitios con presencia de ofiuroides. (A) Pockmark 1, inmersión BIG 1748-4; (B) Vasconcelos, inmersión BIG 1750-6; (C) Ayala, inmersión BIG 1760-16; (D) Juárez, inmersión BIG 1761-17.

## TRABAJO DE LABORATORIO

### *Identificación de la especie*

Para establecer la identidad de la especie de ofiuroides recolectado se hizo un registro microfotográfico de los especímenes, que permitió ilustrar los caracteres taxonómicos. Los organismos elegidos incluyeron dos ejemplares colectados en infiltraciones de metano en el Margen de Sonora, de la inmersión 1748-4 con el aspirador (ASPI 3), y se compararon contra dos ejemplares de los organismos paratipo, facilitados por el Museo Nacional de Historia Natural (MNHN) de París: EcOh 20009 y EcOh 20011. Los cuales se compararon con base en las características del holotipo *Sphinophiura jolliveti*, descrito por Stöhr y Segonzac [2006]. Así mismo, se revisó la bibliografía regional existente para especies de ofiuroides de mar profundo, en particular, aquellas

especies asociadas a ambientes quimiosintéticos. La selección de los 4 ejemplares se hizo con base en ejemplares que cumplieran los siguientes criterios condicionantes:

1. La talla de los organismos con respecto al diámetro fuera similar.
2. Los organismos tuvieran todos los apéndices completos.
3. Los caracteres fueran repetitivos entre el resto de los ejemplares colectados.

De los 2 ejemplares elegidos de la muestra de la campaña BIG, el de menor talla facilitó las imágenes del microscopio, las imágenes con mayor acercamiento se realizaron en el organismo más grande, bajo el principio de que los ejemplares adultos tienen menores variaciones que los juveniles.

Los cuatro organismos se extrajeron del etanol y se colocaron en cajas Petri previamente etiquetadas, que se colocaran por 48 horas en un horno secador.

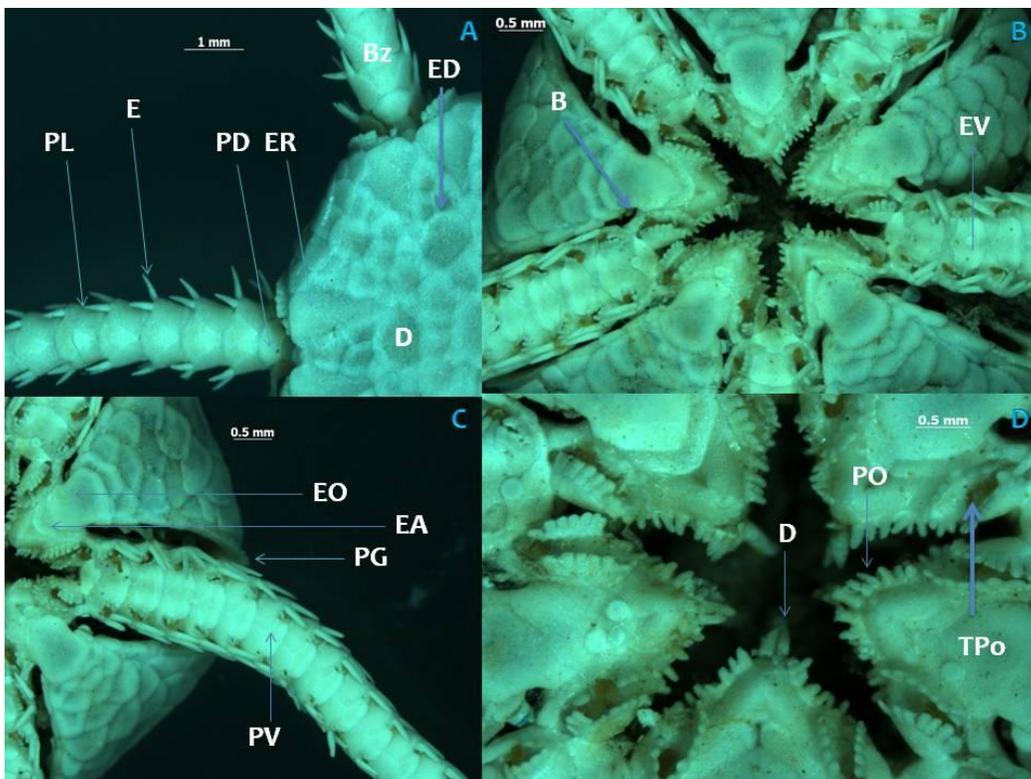
Las fotografías se realizaron siguiendo como guía las imágenes publicadas por Stöhr y Segonzac. Lo cual permitió realizar comparaciones entre los caracteres descriptivos de la especie *Spinophiura jolliveti* [Stöhr & Segonzac, 2006].

Adicionalmente, aquellas estructuras descriptivas diferentes observadas entre individuos de la campaña BIG y los paratipos del MNHN se documentaran con detalle. Todas las imágenes se realizaron con un microscopio estereoscópico Zeiss Stereo Discovery V8 con los siguientes aumentos: 1, 1.25, 1.6, 2, 2.5, 3.2, 4.5, 6.3 y 8. Se utilizó un sistema fotográfico AxioCam ICc3 de Zeiss, con un sensor Sony ICX262 AQ y una resolución básica de 3.3 megapíxeles y fueron procesadas con el software AxioVision de Zeiss.

Además, los organismos del presente estudio fueron comparados con los esquemas y la diagnosis de la especie *Ophiura scutellata* [Lütken & Mortensen, 1899]. Se intentó realizar una comparación con el único espécimen registrado, el holotipo que se

encuentra en el Museo de Historia Natural Smithsonian Institution, Washington DC; pero dicho ejemplar se encuentra extraviado.

Los caracteres considerados fueron: la talla del disco, largo y forma de los brazos, el arreglo de las escamas en el disco ventral y dorsal, 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, todos estos caracteres para la parte dorsal de los organismos (Figura 5). En la cara ventral se consideraron adicionalmente los caracteres: forma de las escamas, forma y posición de la bursa, forma de las papilas genitales, número y posición de los dientes, número de papilas cortas, la ubicación y número de tentáculos de los poros, la forma y tamaño de los escudos oral y adoral y la forma de las placas ventrales del brazo.



**Figura 5.** Caracteres considerados para la identificación de la especie. (A) cara dorsal; (B) y (C) cara ventral; (D) acercamiento a la cara ventral. Abreviaturas: D, disco; Bz, brazo; ED, escama dorsal; EV, escama ventral; ER, escudo radial; PD, placa dorsal; PL, placa lateral; E, espina; B, bursa; PG, papilas genitales; D, diente; PO, papilas orales; TPo, tentáculo del poro; EO, escudo oral; EA, escudo adoral; PV, placa ventral. Escala en milímetros.

### *Descripción del hábitat y patrón de distribución*

Para la descripción del hábitat se estudiaron de manera sistemática los videos de las inmersiones (BIG 1748-4, BIG 1749-5, BIG 1750-6, BIG 1751-7, BIG 1756-12, BIG 1757-13, BIG 1760-16, BIG 1761-17 y BIG 1762-18) donde fueron recolectados los organismos, así como las fotografías y datos de la bitácora de campaña.

Las condiciones de ocurrencia fueron determinadas con los datos que se obtuvieron de los parámetros químicos registrados in situ durante las inmersiones, y que incluyeron CH<sub>4</sub> (metano), H<sub>2</sub>S (sulfuro de hidrógeno) y CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono). Es importante señalar que los factores ambientales medidos no fueron los mismos en cada una de las localidades; ya que su evaluación dependió del grupo de química y de las hipótesis de trabajo que se propusieron para la variación fisicoquímica. De esta manera para CH<sub>4</sub> se tienen datos de 3 inmersiones que corresponden al sitio Ayala y Juárez; de H<sub>2</sub>S datos de 2 inmersiones que describen al sitio Vasconcelos y Juárez; y de CO<sub>2</sub> hay datos de 3 inmersiones para los sitios Ayala y Juárez.

Estos factores fisicoquímicos fueron procesados por los Drs. Jean Claude Caprais y Anne Godfroy, IFREMER. Las muestras analizadas provienen de agua circundante que rodea a agregaciones de organismos, agua intersticial y agua de fondo. Los valores de los parámetros químicos solamente se emplearon para describir el hábitat en general, ya que no fueron colectados de manera sistemática en cada sitio, y su ausencia impide realizar comparaciones entre sitios.

También, se estudiaron las asociaciones que podrían existir entre estos ofiuroides y otros organismos. Y se reconoció la coocurrencia y biota que caracterizó a hábitats específicos.

Los videos de las inmersiones donde se colectaron ofiuroides se revisaron tomando en cuenta: número de inmersión, ecosistema, sitio, profundidad, tipo de sustrato, presencia y tipo de tapete, presencia de vesicómidos, galatéidos y otros organismos, densidad de ofiuroides y si éstos se encontraban o no agregados.

### *Abundancia para cada sitio de colecta*

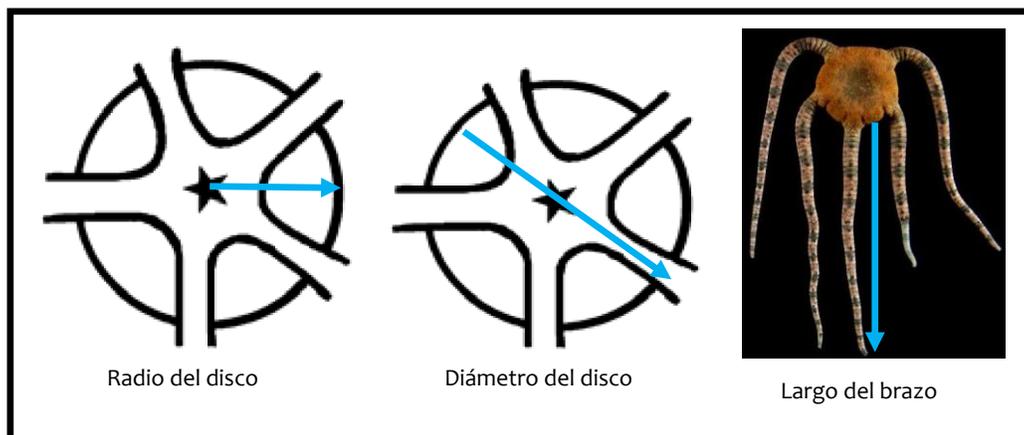
Para obtener datos sobre la abundancia en cada sitio se estudiaron las fotografías submarinas. Se seleccionaron de manera aleatoria imágenes de cada inmersión que representaran cada uno de los hábitats caracterizados, donde hubiera presencia de ofiuroides. En cada fotografía elegida se colocaron 3 cuadros representantes de un parche donde ocurren ofiuroides. Los valores de densidad se reflejan en números enteros ya que corresponde al número de individuos encontrados en cada parche.

### *Estructura de tallas*

Todos los ejemplares separados procedentes de cada inmersión fueron medidos. Para ello, se utilizó un vernier digital modelo CD-6''P de la marca japonesa Mitutoyo, con una precisión de 0.0005"/0.001mm. Las tallas morfométricas que se obtuvieron de cada ejemplar fueron las siguientes:

- a) radio del disco,
- b) diámetro del disco y
- c) largo de brazos.

Para este fin. Se aplicaron los modelos ejemplificados en la figura 6.



**Figura 6.** Medidas tomadas a cada uno los ofiuroides. Informe proporcionado por el Dr. Francisco Solís-Marín. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

#### *Contribución de los ofiuroides al presupuesto de carbono del ecosistema*

Para la obtención de biomasa todos los organismos se pesaron en una microbalanza digital Sartorius Handy, con una precisión de 0.001 gramos. Algunos individuos se encontraron incompletos, es decir, les falta uno o más brazos o solamente un segmento y en pocos casos el disco se encuentra fragmentado. Los datos obtenidos de peso de cada individuo fueron capturados en dos categorías, los individuos completos y los incompletos; para los que se encontraban incompletos se buscó un individuo que estuviera completo y que presentará una talla similar con respecto al diámetro del disco, para tener un registro aproximado sobre pérdida de peso y consecuentemente de biomasa. Las unidades usadas fueron peso húmedo fijado, utilizando la constante de transformación de biomasa propuesta por Rowe [1983].

## ANÁLISIS DE DATOS

*Densidad.* Para establecer la abundancia de ofiuroides se seleccionaron fotografías que representan cada uno de los hábitats encontrados para cada uno de los sitios.

Para determinar el tamaño de un ofiuoideo dentro de la fotografía se utilizó el valor promedio del diámetro de disco para cada sitio de colecta (4.8mm para el sitio Pockmark 1; 4.2mm para el sitio Ayala; 5mm para el sitio Vasconcelos; y 3.5mm para el sitio Juárez). Se usó el programa Power Point 2007 de la paquetería Office para manipular las fotografías, éstas se modificaron en tamaño para que pudieran ser coincidentes con el valor promedio del diámetro del disco de un ofiuoideo para cada sitio, un cuadro representa el tamaño promedio del diámetro del disco. En cada fotografía se hicieron tres réplicas, cada una representa un parche con ofiuroides y se realizaron en tres áreas diferentes de la imagen, para ello se utilizaron cuadrantes de 5x5 cm y se registró el número de individuos encontrados en cada uno, que corresponde a un área de 25 cm<sup>2</sup>. Posteriormente estos valores se extrapolaron a un área de 0.25 m<sup>2</sup>. Los cálculos se validaron colocando los ejemplares colectados en posiciones similares que en las imágenes y midiendo el área que ocupan.

*Estructura de tallas.* Para determinar la estructura de tallas, se elaboró una hoja de cálculo en Excel con los valores de peso, diámetro de disco y largo de brazo. Con los datos de las hojas de cálculo se elaboraron histogramas con curva de tendencia en el programa Excel 2007 para cada uno de los sitios. Asimismo se realizaron regresiones lineales, donde se relacionó el diámetro de disco con el largo de brazo, obteniendo la línea de correlación para cada uno de los sitios y con ello la significancia de R<sup>2</sup>.

*Biomasa y presupuesto de carbono.* Para obtener los valores de biomasa, los organismos fueron pesados en una balanza analítica y los de menor talla en una microbalanza; en las dos balanzas se manejaron gramos como unidades de peso. En ambos casos los ejemplares fueron pesados individualmente, los datos de biomasa se expresaron en unidades de gramos de peso húmedo fijado.

Estos valores se vaciaron en tablas para su procesamiento. Estos fueron graficados en histogramas con curvas de tendencia en el programa Excel 2007. Los datos obtenidos se transformaron a gramos de C, tomando como base la constante de transformación de biomasa propuesta por Rowe [1983].

$$(a) (b) / 100 = x \text{ gC} \quad \text{Donde: } a = \text{biomasa phf (g)} \text{ y } b = 3.16\%$$

## RESULTADOS

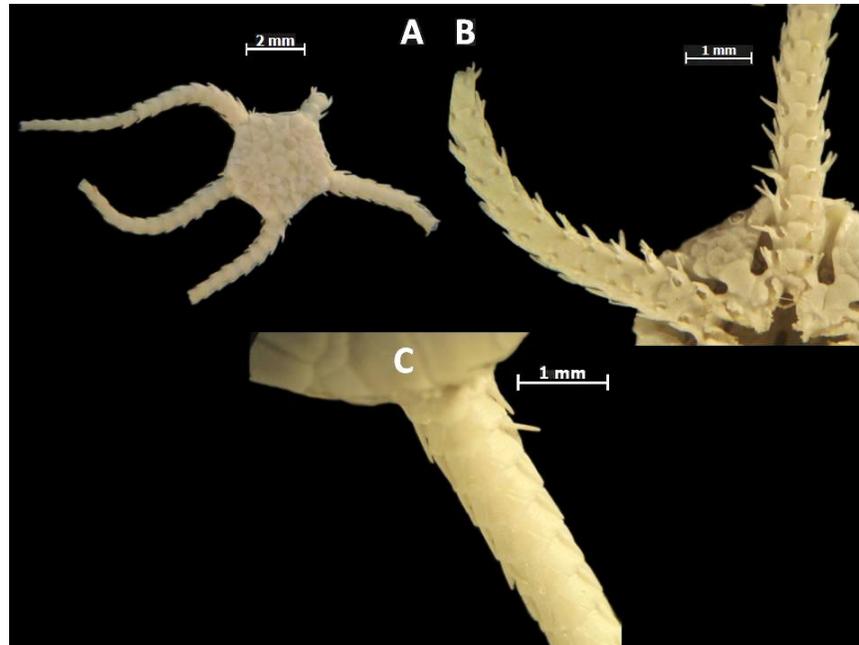
### *Identidad de la especie*

El individuo de mayor tamaño de los ejemplares colectados alcanza 10.5mm de diámetro de disco y una longitud de brazos de 47.05mm, estos en forma de látigo rizado y presenta algunas variantes con respecto a los otros ejemplares. El disco dorsal (Figura 7A) del individuo de menor tamaño (5.08mm) está formado por escamas definidas que presentan un arreglo simétrico, mientras que el del individuo de mayor tamaño está formado por escamas superpuestas sin un arreglo simétrico aparente. Las escamas primarias son visibles. Los escudos radiales se encuentran claramente definidos y son un poco más largos que anchos, su longitud es aproximadamente una quinta parte del diámetro y están parcialmente cubiertos por escamas proximales. Cada par de escudos radiales está separado por una cuña, excepto en los extremos distales. El brazo se inserta en el disco a través de una amplia incisión entre las placas radiales (Figura 7B). La primera placa dorsal del brazo es rudimentaria, rodeada de las muy pequeñas incisuras del disco y es de menor tamaño que las siguientes; todas tienen un borde exterior redondeado y los bordes laterales son un poco curvados hacia dentro; de la segunda a la cuarta placa dorsal presentan un extremo interno truncado; a partir de la cuarta se observa un extremo triangular con un ángulo interno agudo (Figura 7C). Cada placa lateral del brazo tiene de 4 a 5 espinas puntiagudas y cortas (Figura 7B) que corresponden a una articulación del brazo, se observan más cerca de la cara ventral que de la dorsal. Las espinas mantienen una forma regular y se encuentran casi adheridas al brazo, su tamaño disminuye hacia la parte distal.

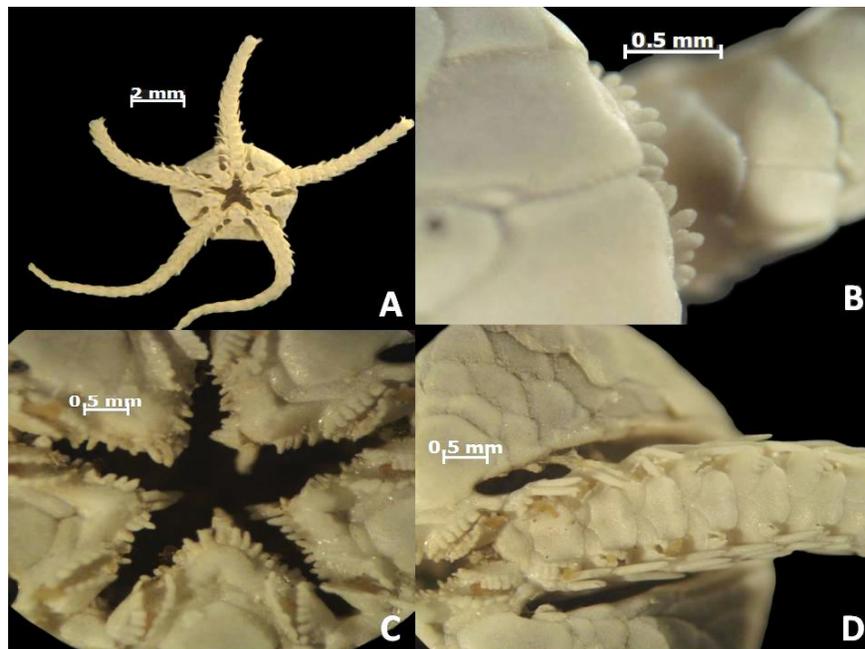
El disco ventral (Figura 8A) está formado por pequeñas escamas redondas superpuestas. La hendidura de la bursa está alineada a lo largo de su mitad proximal con escamas redondeadas y superpuestas, sólo hasta la mitad distal se observa una hilera de pequeñas y redondeadas papilas genitales (Figura 8B) que se convierten en

algo más grande a medida que continúan hacia el disco dorsal y rodean el brazo, articulándose con el escudo radial y formando la cresta del brazo. La placa dental tiene entre 3 y 5 dientes. Hay de 4 a 5 papilas orales a cada lado de la mandíbula (Figura 8C); las primeras 3 o 4 exteriores son cortas, cuadradas y muy juntas, la más interna que se encuentra en el ápice de la mandíbula y es puntiaguda. Dentro de la abertura oral se encuentran los tentáculos de los poros (Figura 8D), se distinguen bajo las papilas del escudo adoral y son más gruesos que éstas. El primero se encuentra en la apertura de la boca, los siguientes poros van disminuyendo rápidamente de tamaño. El primer poro del tentáculo tiene de 6 a 7 escamas tentaculares a cada lado (Figura 9A); el segundo tres escamas en el lado interior y dos en el exterior; el tercero dos escamas en el lado interior y una en el exterior; el cuarto una o ninguna en el lado interior y una en el lado exterior (Figura 9B), y a partir de la quinta solo hay una escama tentacular en el lado exterior. El escudo oral se encuentra constreñido en la parte central (Figura 9C), con un borde proximal más estrecho y en forma de flecha, el borde distal es dos veces más ancho. El escudo adoral es estrecho y alargado y se curva hacia la placa oral. Las placas ventrales del brazo son más largas que anchas, todas se encuentran muy separadas (Figura 9D). La primera es pequeña con forma romboidal, la segunda tiene un borde interior curvado y un borde exterior un poco cóncavo, el resto son aproximadamente dos veces el tamaño de la primera tienen un pico corto dentro, el borde exterior es rectangular y se va volviendo más pequeño. Las dos primeras placas ventrales están separadas por una pequeña placa rectangular, que también separa las placas laterales de la primera articulación. Entre la segunda y la tercera placa ventral hay un espacio desnudo rectangular que separa las placas laterales de la segunda articulación. La coloración en vivo de estos organismos es beige.

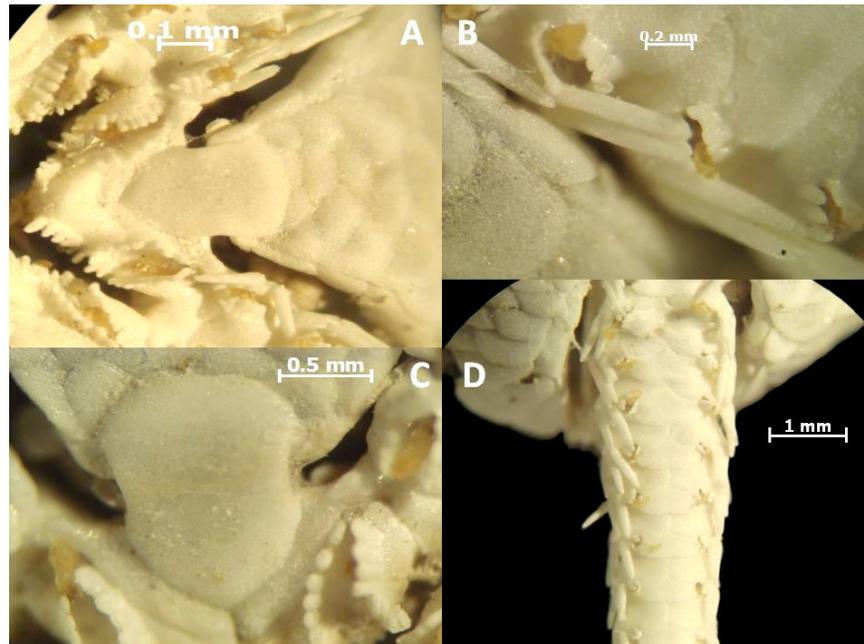
Confiero con base en las características morfológicas que los ofiuroideos de las infiltraciones de metano del margen de Sonora pertenecen a una variante morfológica de la especie *Ophiura scutellata* descrita por Lütken y Mortensen en 1899.



**Figura 7.** Caracteres diagnósticos para la identificación de la especie de ofiuroides de las infiltraciones de metano. (A) Cara dorsal; (B) Inserción del brazo entre las placas radiales y espinas puntiagudas y cortas; y (C) placas dorsales del brazo. Escala en milímetros.



**Figura 8.** Caracteres diagnósticos para la identificación de la especie de ofiuroides de las infiltraciones de metano. (A) Cara ventral; (B) Papilas genitales; (C) papilas orales; y (D) tentáculos de los poros. Escala en milímetros.



**Figura 9.** Caracteres diagnósticos para la identificación de la especie de ofiuroideo de las infiltraciones de metano. (A) escamas tentaculares del primer tentáculo del poro; (B) escamas tentaculares del 2°, 3° y 4° tentáculo del poro; (C) forma del escudo oral; y (D) placas ventrales del brazo. Escala en milímetros.

### **Descripción del hábitat y patrón de distribución**

Sitio POCKMARK 1. BIG 1748-4

La inmersión se realizó entre los 1,541 y 1,778 m. Predomina el sustrato lodoso color café claro. El fondo se caracteriza por algunas formaciones rocosas de tamaño pequeño, que incrementan hacia los 1,553 m (Figura 10A). Las imágenes y el video permiten reconocer la emanación de gas a través de una fisura a los 1,577 m. En este sitio se colectaron 98 organismos.

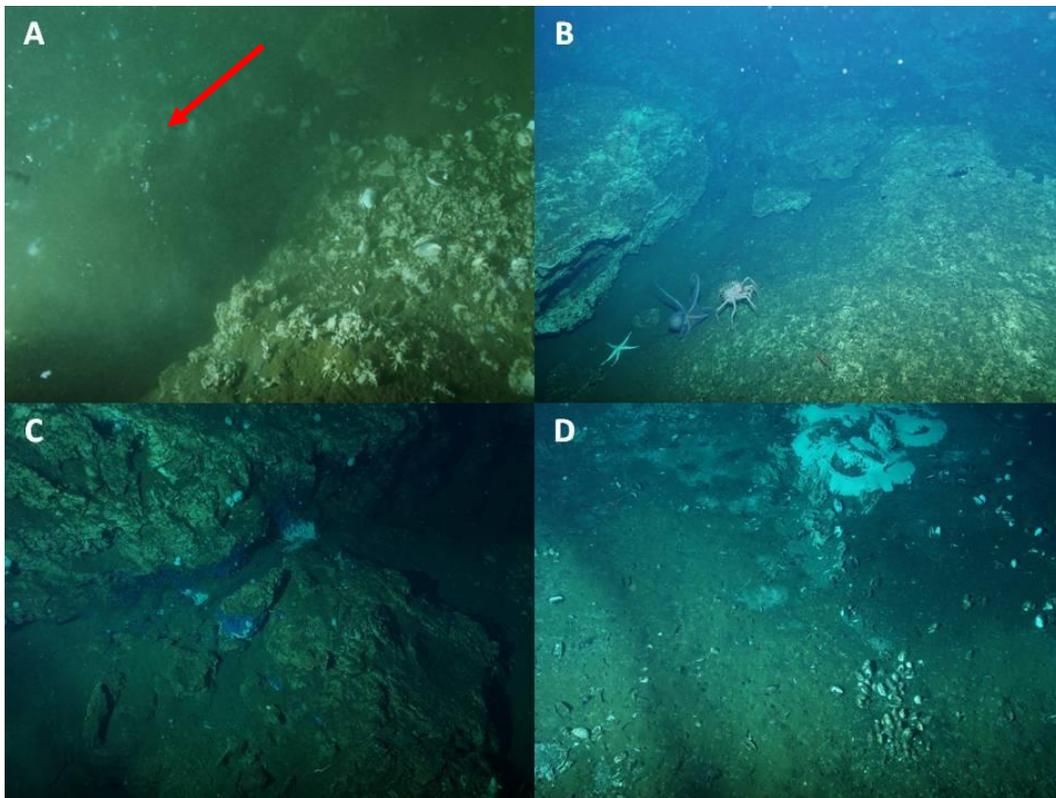
La biota está compuesta predominantemente de equinodermos, se observan crinoideos, asteroideos y holoturoideos, todos aislados un grupo respecto de otro y en número bajo. Cerca de ellos se encuentran algunos ofiuroides pero visiblemente aislados y sin estar agrupados. También hay ocasionalmente medusas, cefalópodos del género *Benthoctopus* (Figura 10B), camarones del infraorden Caridea, cangrejos de la familia Majidae, galatéidos del género *Munidopsis*, peces del orden Chimaeriformes (quimera), de la familia Liparidae y rayas probablemente de la familia Plesiobatidae. Sobre las pequeñas formaciones carbonatadas encontramos en ocasiones esponjas, anémonas, gusanos de tubo (Siboglínidos) del género *Escarpia* fijados al sustrato y gasterópodos.

Las agregaciones de bivalvos de la familia Vesicomidae (*Calyptogena kilmeri* y *Calyptogena pacifica*) están presentes. Adicionalmente se observan tapetes blanco y azul, de bacterias y protistas respectivamente, a los cuales se asocian algunos ofiuroides (Figura 10C).

Los ofiuroides se encontraron agregados, y en mayor número, cuando se asocian a los vesicómidos, principalmente con *C. pacifica*. Donde ocurren menor número y en un patrón de distribución agregado, algunos ofiuroides están presentes con *C. kilmeri*. Su presencia con los tapetes blancos de bacteria presenta un patrón de distribución interesante, estando el tapete rodeado por vesicómidos y alrededor de éstos los

ofiuroides (Figura 10D). En las estructuras rocosas solamente se presentan grupos de algunos cuantos individuos. Los ofiuroides presentan una preferencia por el sustrato blando.

Los ofiuroides se registraron dispersos entre sí en sustrato lodoso y alejados de la infiltración, además presentaron tallas mayores, comparándolos con los que se encontraron agregados en sustrato lodoso con los vesicómidos y en las inmediaciones de tapete blanco.



**Figura 10.** Sitio Pockmark 1. Se observa la infiltración de gas saliendo a través de una fisura (A); la megafauna asociada al ecosistema, un asteroideo, *Benthoctopus*, un cangrejo Majidae y un carideo (B); hábitat de tapete azul en formación rocosa y algunos ofiuroides dispersos (C); tapete blanco rodeado de vesicómidos y ofiuroides (D).

Sitio Vasconcelos. BIG 1750-6, 1751-7, 1756-12 y 1757-13

En este sitio hubo 4 inmersiones a profundidades de 1,555 y 1,714 m, en las cuales el sustrato se caracteriza por ser lodoso de color café claro con formaciones de carbonato de tamaño mediano. Se colectaron 385 organismos.

La megafauna en este sitio es diversa y abundante. Se observa un mayor número de asteroideos, holoturoideos y crinoideos respectivamente (Figura 11A). También se reconoce la presencia de esponjas y anémonas adheridas a las concreciones carbonatadas, varias medusas del género *Poralia*, un mayor número de cefalópodos del género *Benthoctopus* con respecto al sitio anterior, algunos calamares cruzando por el fondo, camarones carideos, cangrejos de la familia Majidae y peces de la familia Liparidae. Los Siboglínidos presentes son del género *Escarpia* (Figura 11B) y se encuentran adheridos al sustrato blando y en ocasiones a las formaciones carbonatadas, asociados a ellos se ve una gran cantidad de galatéidos del género *Munidopsis*.

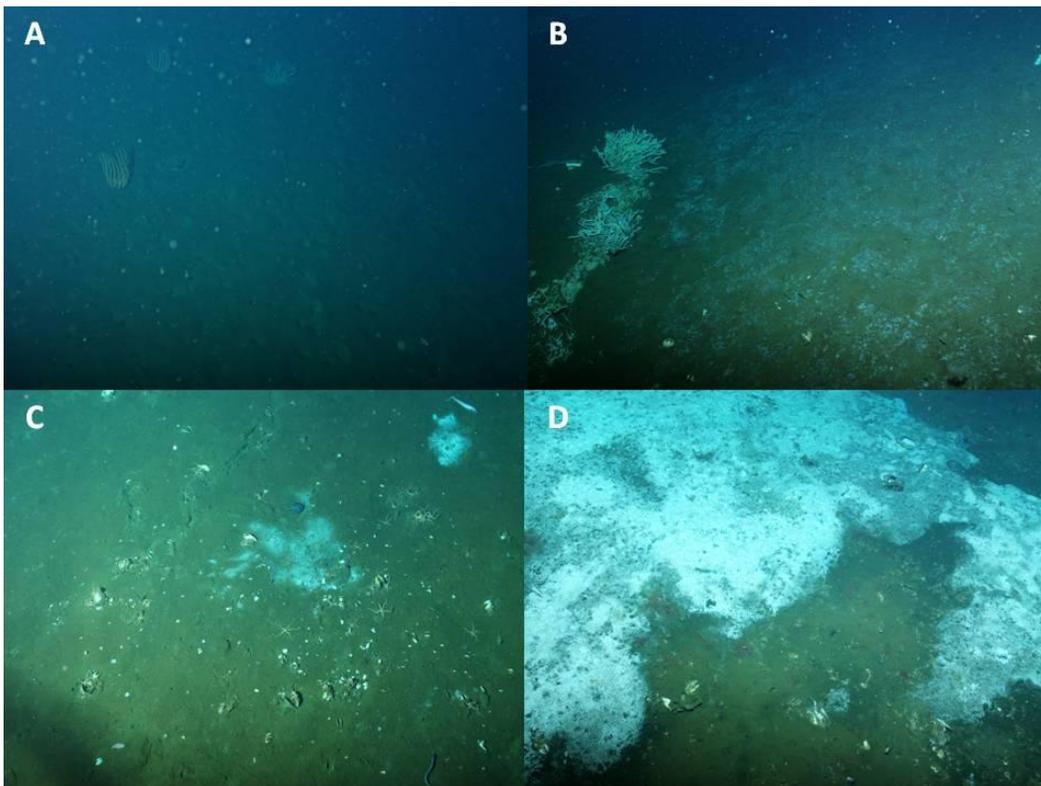
El sitio está caracterizado por la presencia extensa de tapetes blancos de bacterias, la mayoría de aspecto uniforme y espeso, en algunas partes se encuentra como manchones. Los tapetes de bacterias se encuentran especialmente sobre las concreciones carbonatadas o cerca de ellas. Alrededor de los tapetes existen agregaciones de vesicómidos.

Los ofiuroides son abundantes a lo largo de todo el sitio. Podemos encontrarlos en sedimento blando, donde los bivalvos son escasos y separados unos de otros (pero siempre asociados a ellos) en este caso los ofiuroides son escasos, pero de mayor tamaño (Figura 11C) y generalmente se encuentran sobre sus valvas. También algunos ofiuroides habitan cerca de colonias de *Escarpia*. Los ofiuroides son mucho más abundantes en donde hay tapete bacteriano (Figura 11D) y agregaciones circundantes de *Calyptogena*, se pueden observar algunos individuos sobre el tapete pero la mayor parte se agrega en el sedimento cercano a los bivalvos y sobre ellos.

En áreas donde solamente hay vesicómidos, los ofiuroides son igualmente abundantes, pero muestran otro patrón de agregación. Estos se agregan en mayor número rodeando a los bivalvos y sobre ellos, mientras más alejados se encuentren de éstos la densidad es menor. Si los vesicómidos están completos y vivos, los ofiuroides se ubicaron alrededor y un número considerable sobre ellos; en cambio, si solamente hay conchas rotas, los ofiuroides van a estar agregados únicamente en el sedimento adyacente.

Además del tapete blanco, también hay áreas muy pequeñas donde se observa tapete azul de protistas y asociados a éste los vesicómidos, en el cual se tiene un registro de <30 individuos de ofiuroides, sin que estos lleguen a conformar una agregación.

Para este sitio solamente hay valores de  $H_2S$ , procedentes del agua intersticial cercana a los vesicómidos, el valor promedio fue <10  $\mu\text{mol/L}$ .



**Figura 11.** Sitio Vasconcelos. Se observan crinoideos y una anémona (A); Siboglínidos del género *Escarpia* y manchones de tapete blanco (B); vesicómidos rodeados de algunos ofiuroides, peces de la familia Liparidae, una raya y tapete blanco de bacterias (C); y tapete blanco rodeado de algunos vesicómidos y una agregación de ofiuroides (D).

Sitio Ayala. BIG 1749-5 y 1760-16

En este sitio se realizaron 2 inmersiones entre los 1,553 y 1,582 m. El sustrato predominante es blando de color café claro. En el fondo se presentan pequeñas formaciones de carbonato. Se colectaron 312 organismos.

La megafauna se compone principalmente de equinodermos, asteroideos abundantes, separados unos de otros, y holoturoideos en menor proporción. También se reconocen ocasionalmente medusas, cefalópodos del género *Benthoctopus*, camarones carideos, cangrejos de la familia Majidae (Figura 12A), galatéidos *Munidopsis*, algunas quimeras, rayas probablemente de la familia Plesiobatidae y peces de la familia Liparidae.

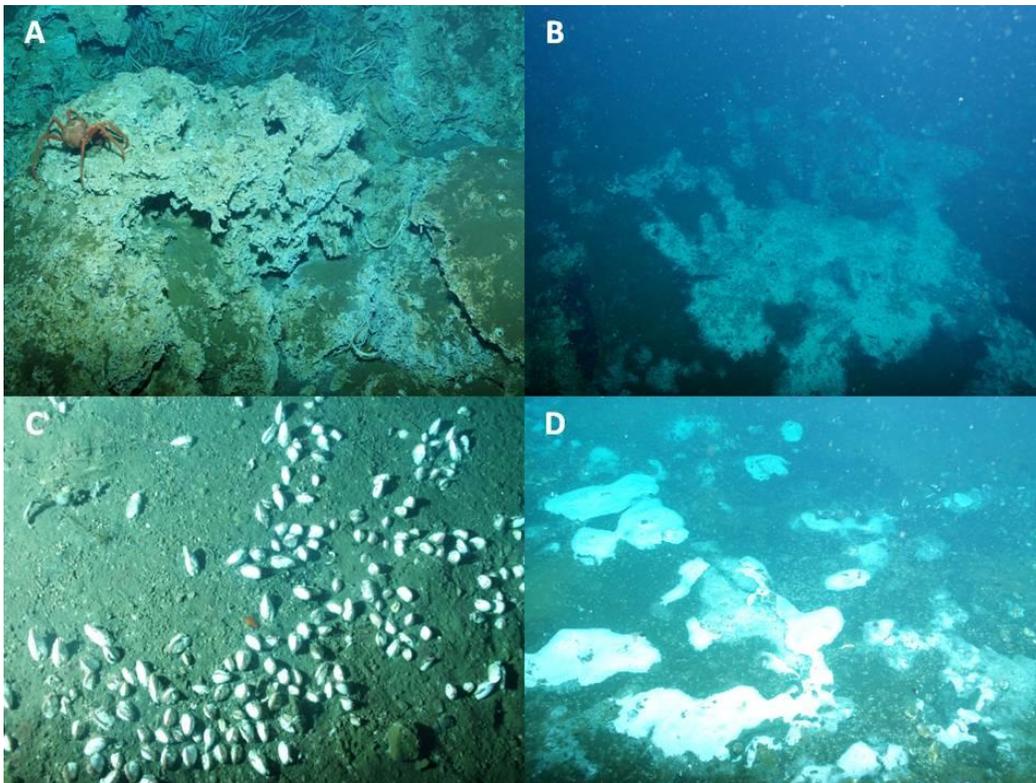
Este sitio está caracterizado por la abundancia de vesicómidos en el sedimento, *C. kilmeri* es la especie dominante, pero también es posible observar espacios donde se encuentra *C. pacifica*, incluso existen áreas en donde ambas especies cohabitan. Los bivalvos forman campos de centenas de individuos en el sedimento, hay zonas donde la agregación se da a lo largo de todo el fondo y en otras forman grupos más pequeños separados unos de otros; también se encuentran sobre las formaciones de carbonato.

Igualmente, hay tapetes blancos de bacterias (Figura 12B), en algunas áreas son muy abundantes y uniformes, y en otras se presentan en forma de manchones. Adyacentes a éstos se encuentran algunos bivalvos, en pequeño número y sin formar agregaciones.

Los ofiuroides se encuentran inmediatos a las agregaciones de bivalvos (Figura 12C). Se observan alrededor, pero también hay un número considerable sobre ellos. Para este sitio, la asociación con bivalvos es marcada, ya que frecuentemente se encuentran ofiuroides agregados cerca de ellos. El mayor número de ofiuroides ocurre en los tapetes de bacterias (Figura 12D); ya que la abundancia y agregación de los ofiuroides es mucho mayor, sin olvidar que también hay vesicómidos presentes en los tapetes bacterianos; pero solamente en aquellos tapetes que son uniformes, los que exclusivamente forman manchones en el sedimento se encuentran desprovistos o con pocos ofiuroides y sin agregar. Es importante resaltar que los ofiuroides encontraron

agregados alrededor de los tapetes y no sobre ellos, como ocurre en el caso de los bivalvos.

Este sitio se caracteriza por una concentración promedio in situ de  $\text{CH}_4$  de  $13.6 \mu\text{L/L}$ , a temperatura de  $20^\circ\text{C}$  y a 1 atmósfera de presión el valor promedio es de  $0.5 \mu\text{M/L}$ . Los datos de  $\text{CO}_2$  corresponden al agua circundante a los vesicómidos con un valor promedio de  $2\,492 \mu\text{mol/L}$ .



**Figura 12.** Sitio Ayala. Se observa megafauna asociada al ecosistema, un cangrejo de la familia Majidae y algunos galatéidos (A); un tapete blanco de bacterias (B); un campo de *Calyptogena kilmeri* y ofiuroides asociados (C); tapetes blancos de bacterias con una agregación de ofiuroides (D).

Sitio Juárez. BIG 1761-17 y 1762-18

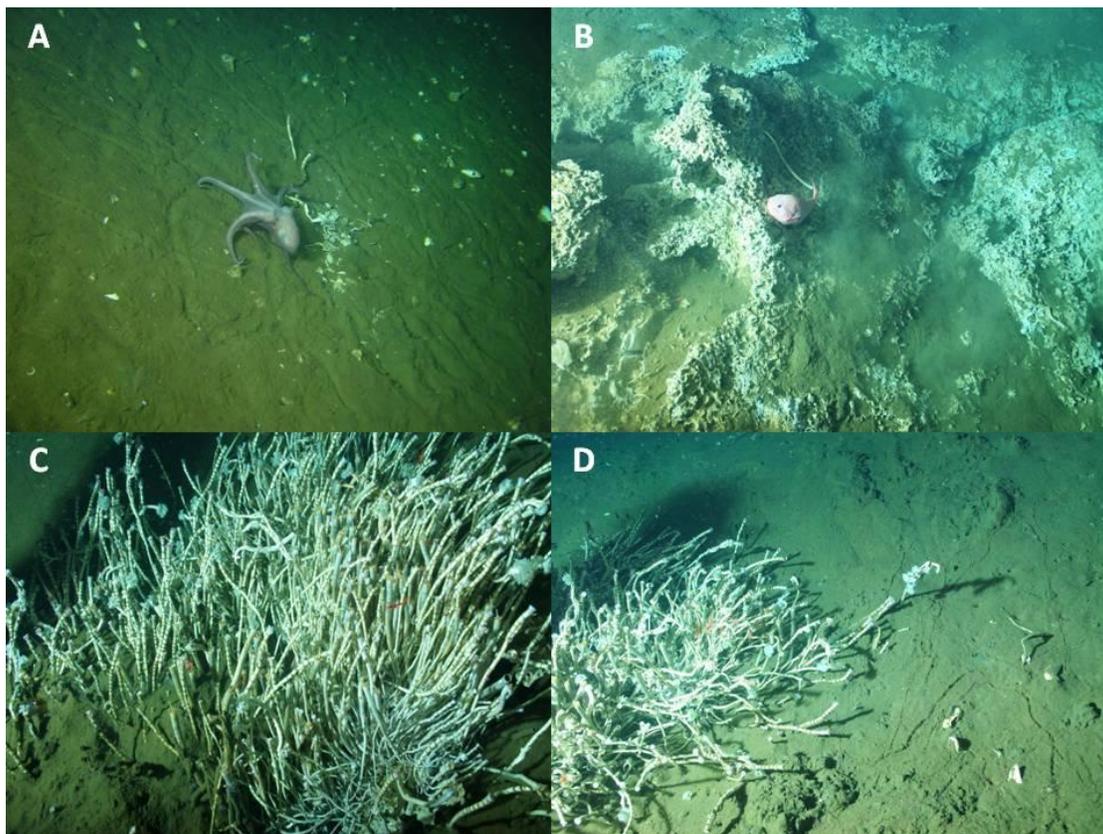
Este sitio se estudio en 2 inmersiones a profundidades de 1,554 a 1,565 m. En esta localidad el sedimento es blando de color café claro, con concreciones carbonatadas abundantes bien localizadas. Se colectaron sólo 5 organismos.

Entre la biota béntica se reconocen algunos asteroideos y holoturoideos, pero en menor abundancia que en los otros sitios. También hay pequeños calamares, cefalópodos del género *Benthoctopus* (Figura 13A), camarones carideos, y peces de la familia Liparidae, específicamente *Pseudoliparis amblystomopsis* (Figura 13B).

El sitio se caracteriza por la presencia de colonias arborescentes de poliquetos del género *Lamellibrachia*. La mayoría se encuentran adheridas al sustrato blando, pero algunas colonias se arraigan a las concreciones carbonatadas. Los galatéidos del género *Munidopsis* son muy abundantes sobre las agregaciones de los poliquetos (Figura 13C) y unos pocos se encuentran dispersos en el sustrato. De manera inmediata, se observan agregaciones de *Calyptogena* sin que éstas se encuentren formadas por muchos individuos; y también hay tapetes blancos de bacteria, la mayoría espesos, pero algunos forman manchones.

Los ofiuroides se observaron inmediatamente después de las colonias de *Lamellibrachia*, en pequeños grupos que fueron más numerosos cerca de los bivalvos (Figura 13D); y disminuyen en densidad mientras se encuentran más lejos de los vesicómidos. También es posible verlos asociados a los tapetes blancos en una proporción mucho menor.

Para esta localidad, los valores de CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub> son: concentración promedio de metano (usando agua circundante a los Siboglínidos) 162.5 µl/L y de 6.7 µM/L a una temperatura de 20°C y presión de 1 atmósfera. El valor promedio de sulfuro de hidrógeno fue <10 µmol/L; la concentración promedio de dióxido de carbono fue 520.8 µmol/L, en agua circundante a Siboglínidos.



**Figura 13.** Sitio Juárez. Se observa un cefalópodo del género *Benthoctopus* sobre el sustrato blando (A); una formación carbonatada con un pez *Pseudoliparis amblystomopsis* (B); una colonia de gusanos de tubo del género *Lamellibrachia* sobre ellos galatéidos del género *Munidopsis* y algunos camarones carideos (C); y una colonia de poliquetos, alrededor se observan algunos vesicómidos y ofiuroides (D).

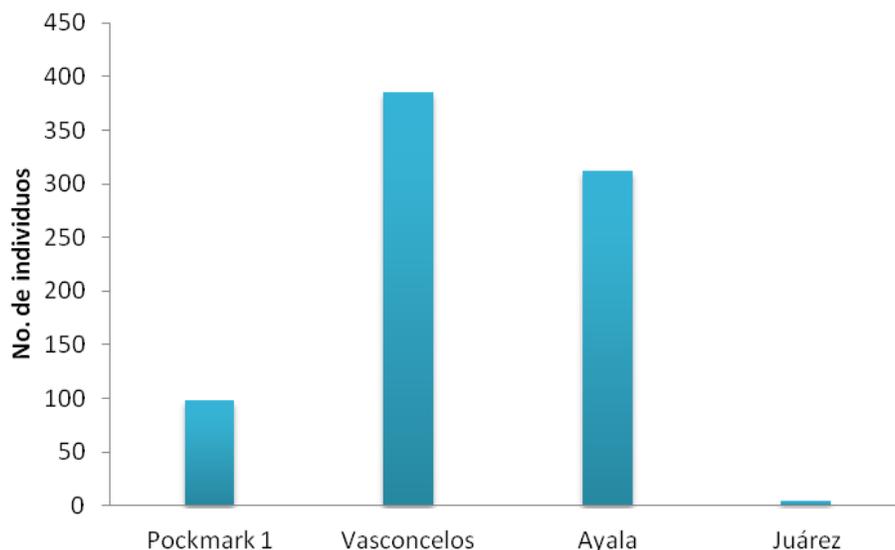
Los ofiuroides habitan en total 8 diferentes tipos de hábitats en el margen de Sonora (Tabla 3): agregación de vesicómidos, tapete azul, tapete blanco con *Calyptogena pacifica*, tapete blanco, *Calyptogena kilmeri*, *C. pacifica*, Siboglínidos (*Escarpia*) con tapete blanco, y Siboglínidos (*Lamellibrachia*) con *C. pacifica*. No todos los tipos de hábitats están presentes en cada localidad donde los ofiuroides fueron colectados; siendo que en el sitio Vasconcelos se reconocieron 5 hábitats; en el sitio Pockmark 1 se reconocieron 3 hábitats, al igual que en el sitio Ayala; y para el sitio Juárez solamente 2 tipos.

**Tabla 3.** Tipos de hábitats reconocidos para cada sitio, señalando el tipo de sustrato y la principal asociación biótica.

Ecosistema	Sitio	Tipo de sustrato	Hábitat (Asociación)
Infiltración de metano	Pockmark 1	Rocoso	Vesicómidos
		Rocoso	Tapete azul (ciliados de folliculínidos lorizados asociados a bacterias quimiolitotóxicas).
		Blando	Tapete blanco con <i>Calyptogena pacifica</i>
Infiltración de metano	Vasconcelos	Blando	Tapete blanco con <i>C. pacifica</i>
		Blando	<i>C. kilmeri</i>
		Rocoso	Tapete azul
		Blando	Siboglínidos ( <i>Escarpia</i> ) con tapete blanco
		Blando	<i>C. pacifica</i>
Infiltración de metano	Ayala	Blando	Tapete blanco
		Blando	<i>Calyptogena kilmeri</i>
		Blando	<i>C. pacifica</i>
Infiltración de metano	Juárez	Blando	Tapete blanco con <i>C. pacifica</i>
		Blando	Siboglínidos ( <i>Lamellibrachia</i> ) con <i>C. pacifica</i>

### **Abundancia para cada sitio de recolecta**

La abundancia total de organismos recolectados fue de 800 individuos en las localidades asociadas a infiltraciones de metano en el margen de Sonora (Figura 14). La recolecta del sitio Vasconcelos fue de 385 individuos (48.1%), seguida por la del sitio Ayala con 312 individuos (39%), la del sitio Pockmark 1 con 98 individuos (12.2%) y el sitio Juárez contó con 5 individuos solamente (0.6%). El principal sustrato en el que se encontraron los ofiuroides fue en el sedimento blando, mientras que las formaciones carbonatadas tuvieron menos organismos.



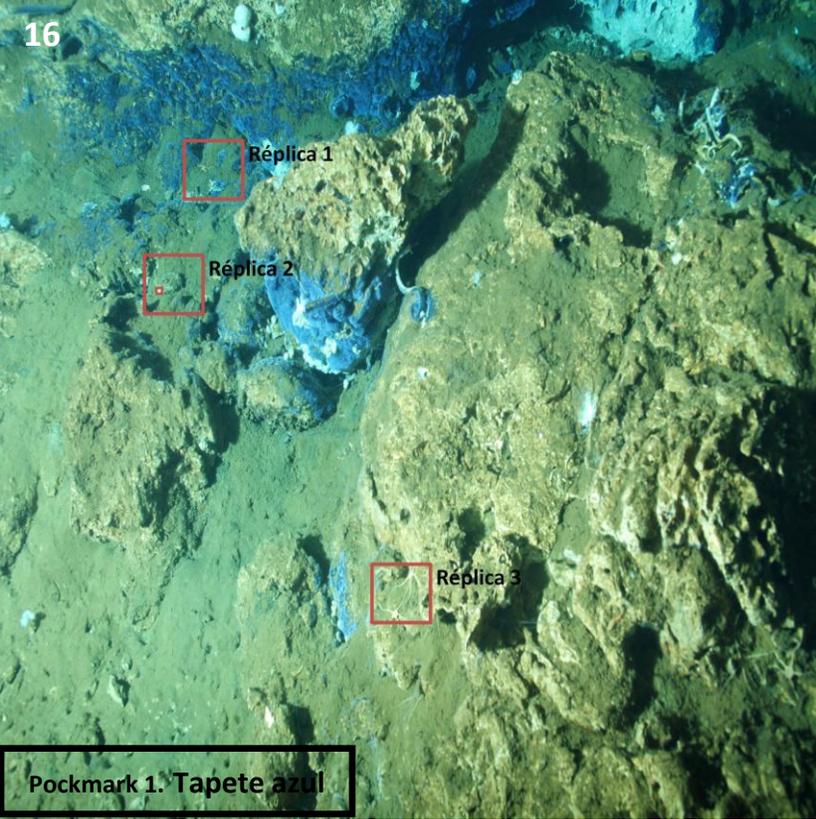
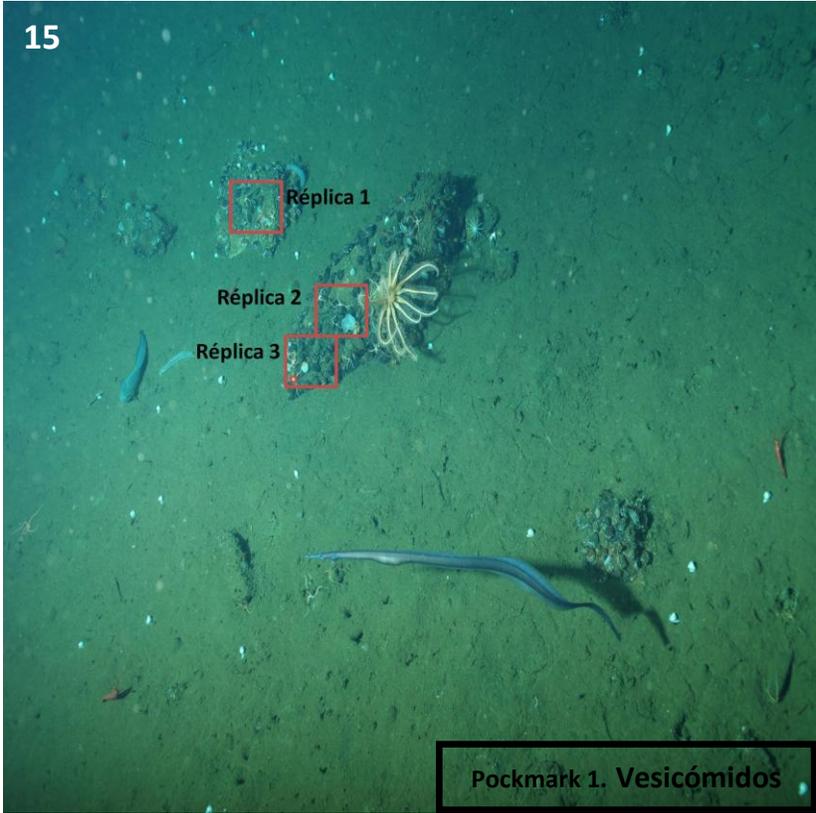
**Figura 14.** Abundancia total de organismos colectados para cada sitio (n=800).

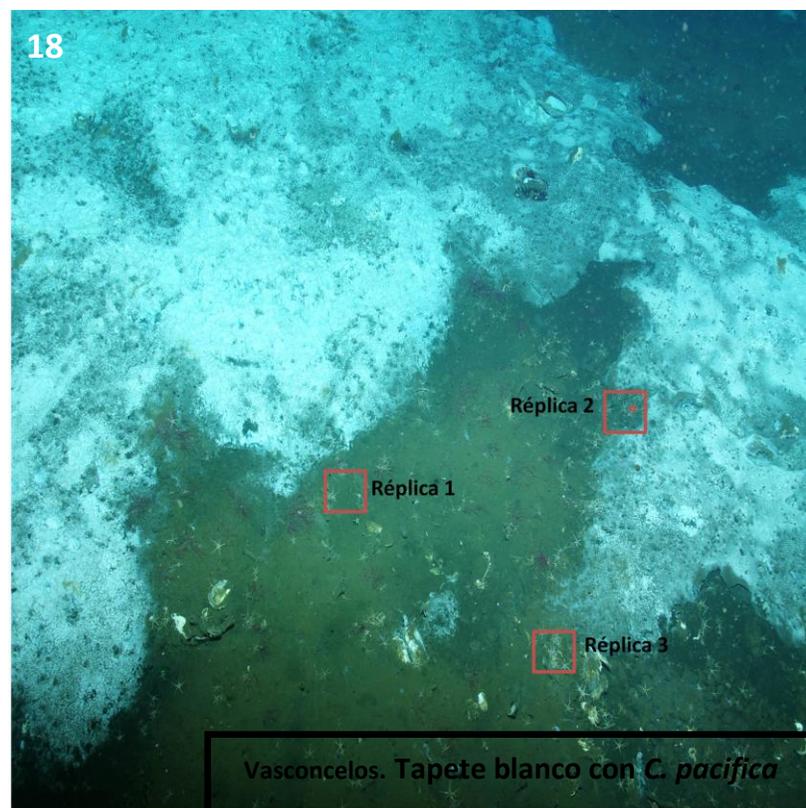
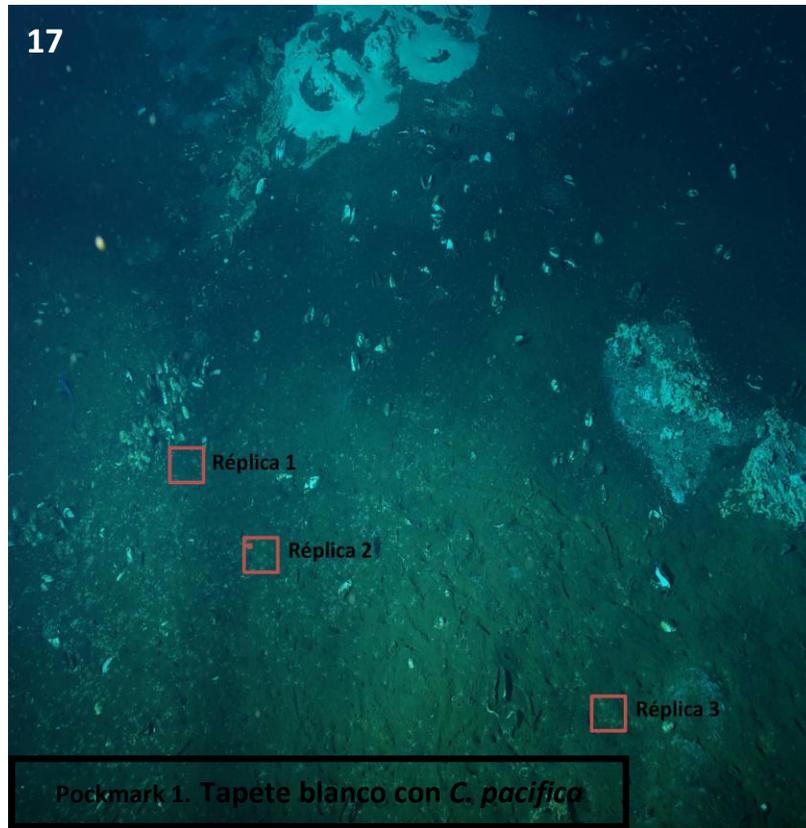
La abundancia de ofiuroides, en las localidades asociadas a infiltraciones de metano del margen de Sonora, está directamente relacionada con la presencia de tapete de bacterias, tapete de ciliados de folliculinidos, siboglínidos o vesicómidos (Figuras 15-27). En la figura 28 se muestran los ejemplares colectados para validar el área que ocupan.

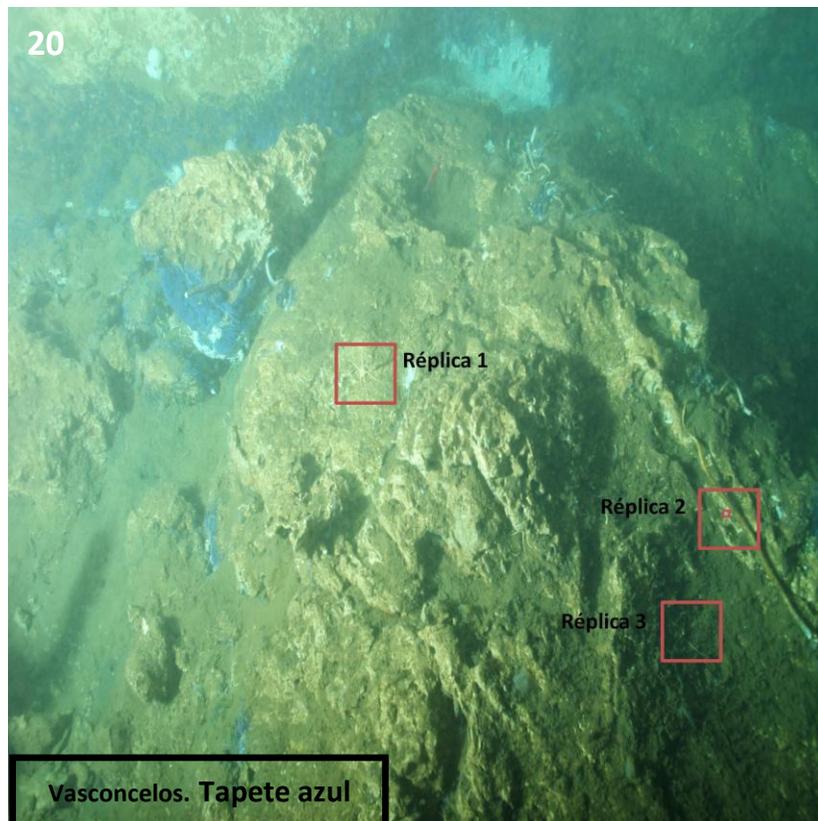
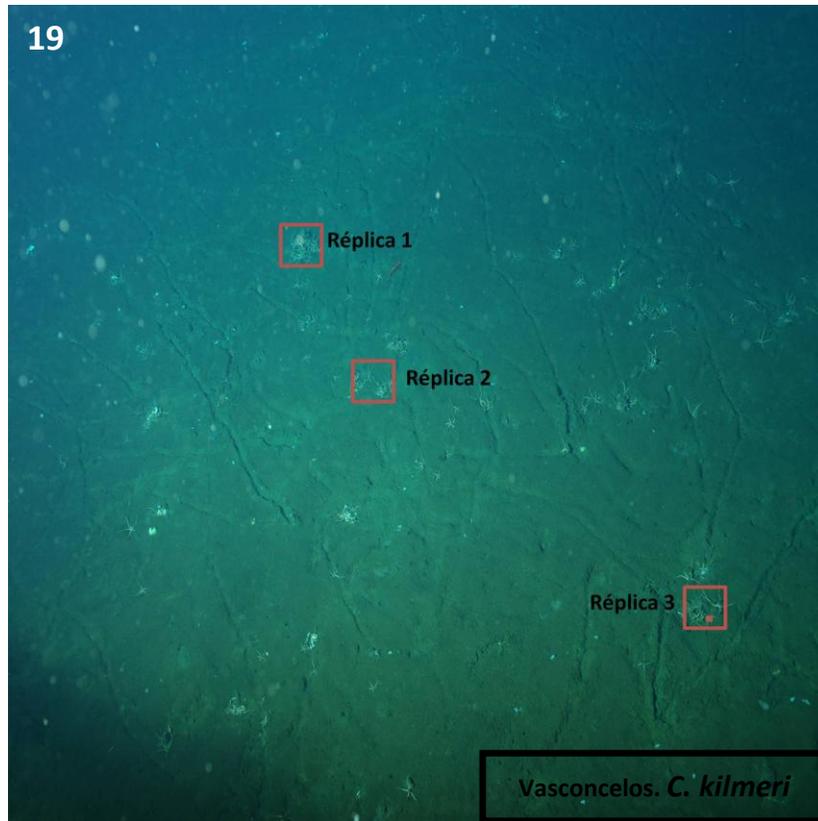
Los hábitats en los que se observó la mayor abundancia fueron: por una parte el tapete blanco de bacterias ( $\bar{x}= 2,933.3$  organismos por  $0.25m^2$ ); la combinación de tapete blanco con *Calyptogena pacifica* ( $\bar{x}= 1,366.6$  organismos por  $0.25m^2$ ), con excepción del sitio Juárez donde existe diferencia numérica de individuos, si se compara con los otros sitios y; agregaciones de *C. pacifica* ( $\bar{x}= 1,450$  organismos por  $0.25m^2$ ) respectivamente (Tabla 4). Mientras que el hábitat con menor abundancia de ofiuroides, fue el tapete azul de ciliados.

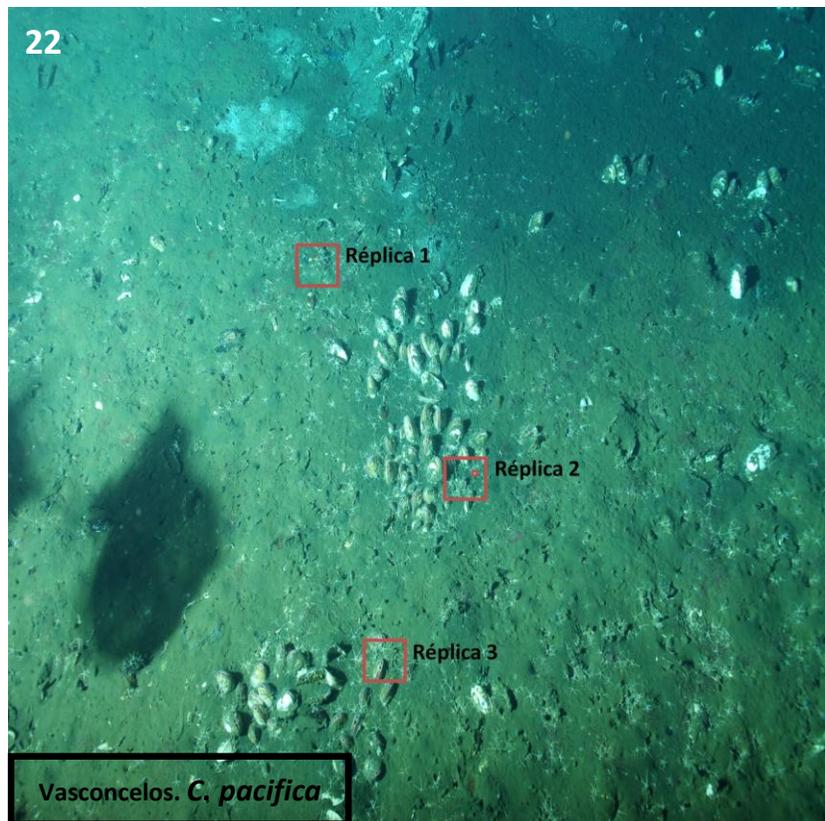
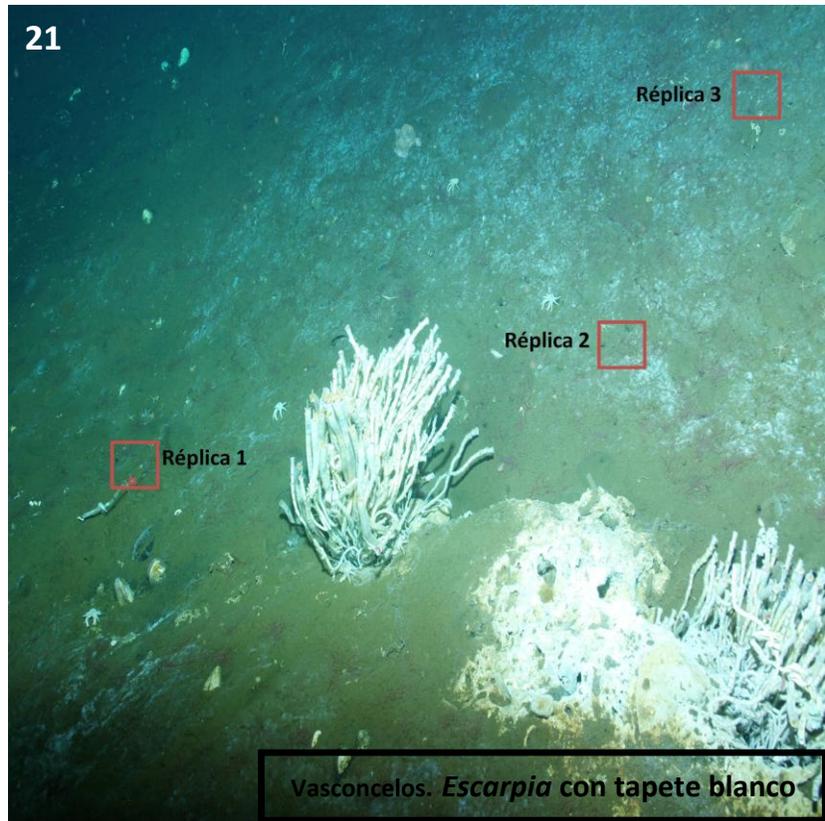
**Tabla 4.** Abundancia de organismos para cada hábitat. Señalando las réplicas, el número de individuos encontrados en 25cm<sup>2</sup> y en 0.25 m<sup>2</sup>.

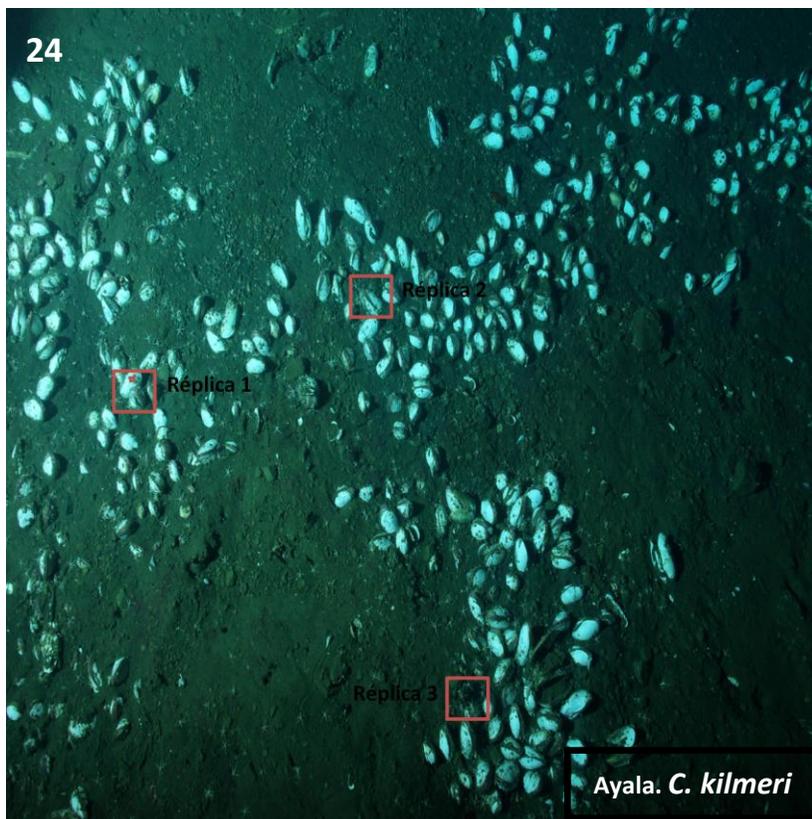
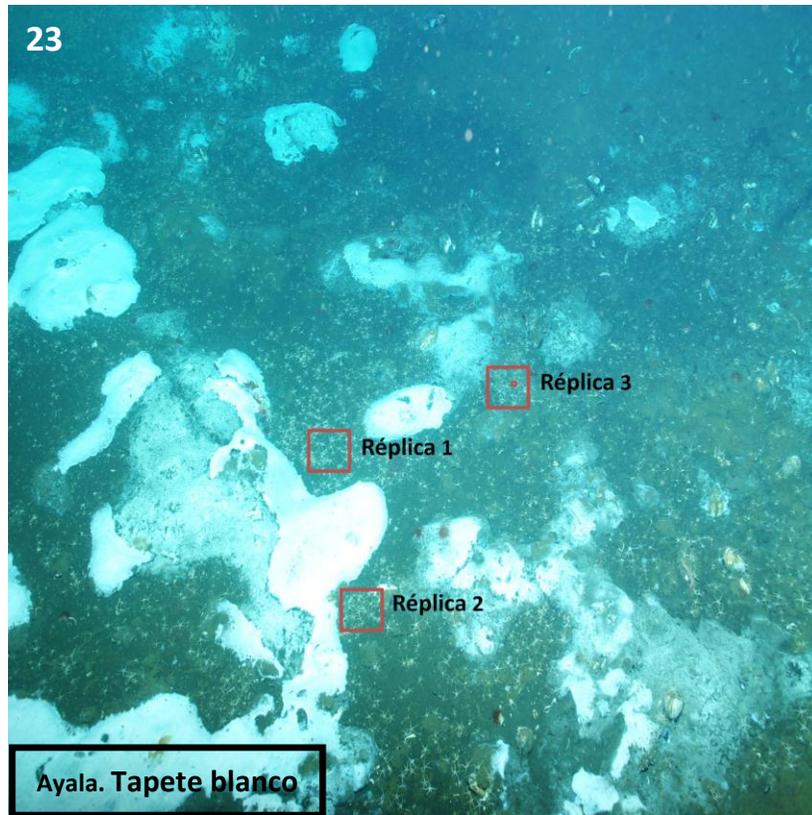
Sitio	Hábitat	Réplica	No. Individuos (25cm <sup>2</sup> )	No. Individuos (0.25 m <sup>2</sup> )
<b>Pockmark 1</b>	Vesicómidos	1	3	300
		2	4	400
		3	2	200
	Tapete azul	1	1	100
		2	1	100
		3	2	200
	Tapete blanco con <i>Calyptogena pacifica</i>	1	16	1,600
		2	17	1,700
		3	14	1,400
<b>Vasconcelos</b>	Tapete blanco con <i>C. pacifica</i>	1	8	800
		2	15	1,500
		3	12	1,200
	<i>C. kilmeri</i>	1	11	1,100
		2	9	900
		3	7	700
	Tapete azul	1	1	100
		2	1	100
		3	1	100
	Siboglínidos ( <i>Escarpia</i> ) con tapete blanco	1	6	600
		2	2	200
		3	4	400
	<i>C. pacifica</i>	1	17	1,700
		2	14	1,400
		3	15	1,500
<b>Ayala</b>	Tapete blanco	1	31	3,100
		2	27	2,700
		3	30	3,000
	<i>Calyptogena kilmeri</i>	1	8	800
		2	9	900
		3	9	900
	<i>C. pacifica</i>	1	16	1,600
		2	15	1,500
		3	10	1,000
<b>Juárez</b>	Tapete blanco con <i>C. pacifica</i>	1	1	100
		2	1	100
		3	1	100
	Siboglínidos ( <i>Lamellibrachia</i> ) con <i>C. pacifica</i>	1	4	400
		2	10	1,000
		3	10	1,000

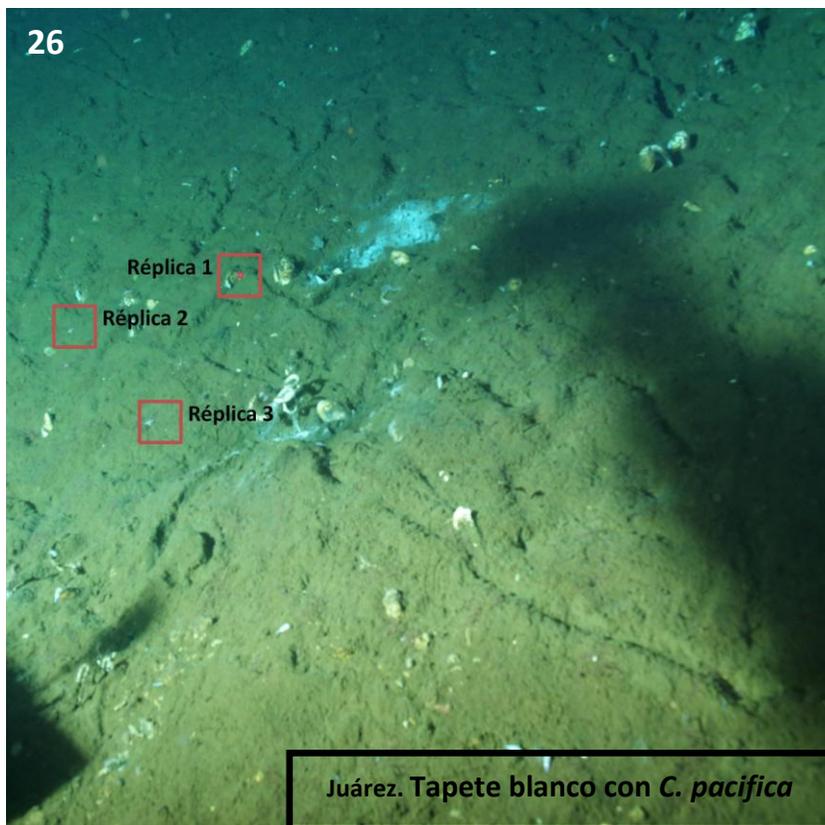
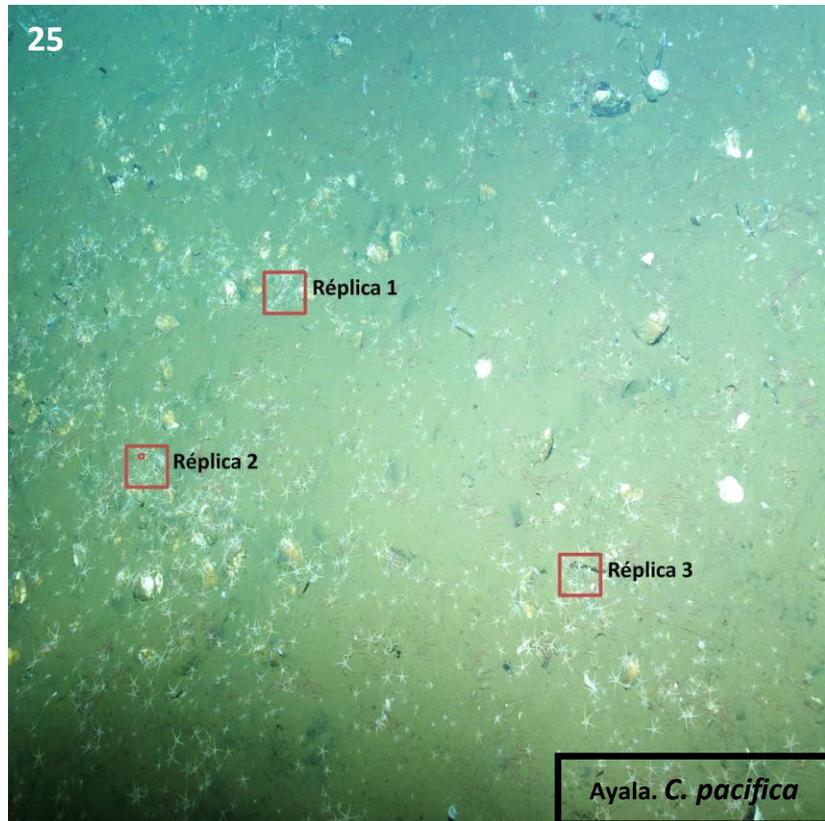


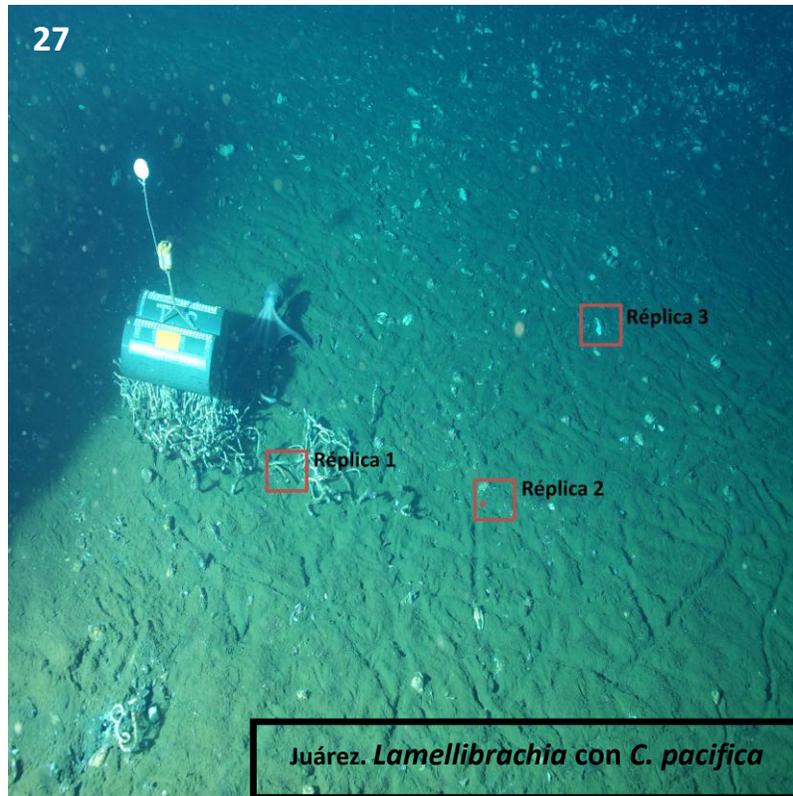




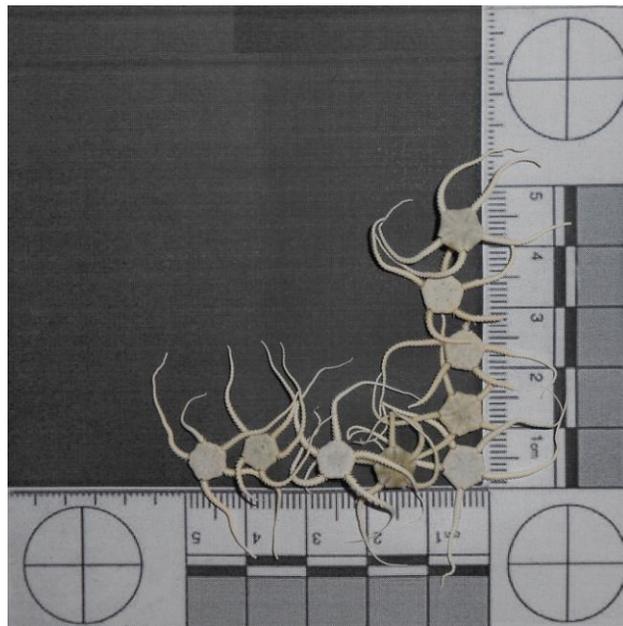








**Figuras 15-27.** Imágenes que muestran la abundancia y patrón de distribución para cada uno de los hábitats, identificando las 3 réplicas realizadas con un cuadro rojo.



**Figura 28.** Ofiuroides colocados en posiciones similares a las descritas en las imágenes para validar el área que ocupan.

### **Contribución de los ofiuroides al presupuesto de carbono del ecosistema**

Los valores de biomasa (en unidades de C) de los ofiuroides registraron los valores más elevados en el sitio Vasconcelos (0.481 g), asociados a la abundancia mayor. Ésta es seguida por el sitio Ayala (0.372 g). El sitio Pockmark 1 (0.131 g) y Juárez (0.004 g) presentan valores más bajos en biomasa respectivamente (Tabla 5).

**Tabla 5.** Valores de abundancia de las submuestras y de biomasa, expresada como peso húmedo fijado, y como carbono en g para cada sitio.

Sitio	No. organismos colectados en cada sitio	Biomasa	
		Peso húmedo fijado (g)	(g) de Carbono
Pockmark 1	98	4.177	0.131
Vasconcelos	385	15.243	0.481
Ayala	312	11.775	0.372
Juárez	5	0.153	0.004

Los valores de peso húmedo fijado (g) siguen una tendencia unimodal para los sitios Pockmark 1, Vasconcelos y Ayala (Figura 29). El sitio Juárez no se muestra, ya que se colectaron únicamente 5 individuos y no representa una muestra significativa. De los 8 hábitats reconocidos en el Margen de Sonora, es el tapete blanco el que aporta una mayor cantidad de carbono al presupuesto de ecosistema, ya que aquí se registró la mayor abundancia de ofiuroides asociados.

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE UNA ESPECIE ABISAL DE OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE LAS INFILTRACIONES DE METANO DEL MARGEN DE SONORA.

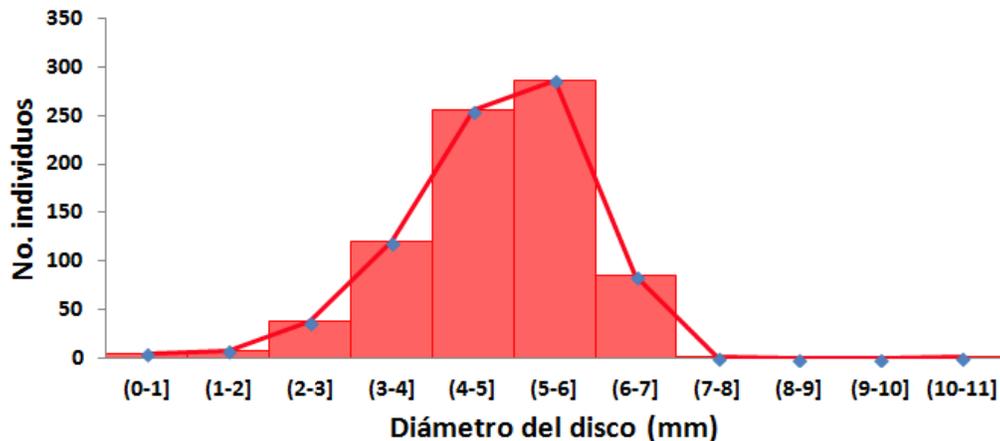
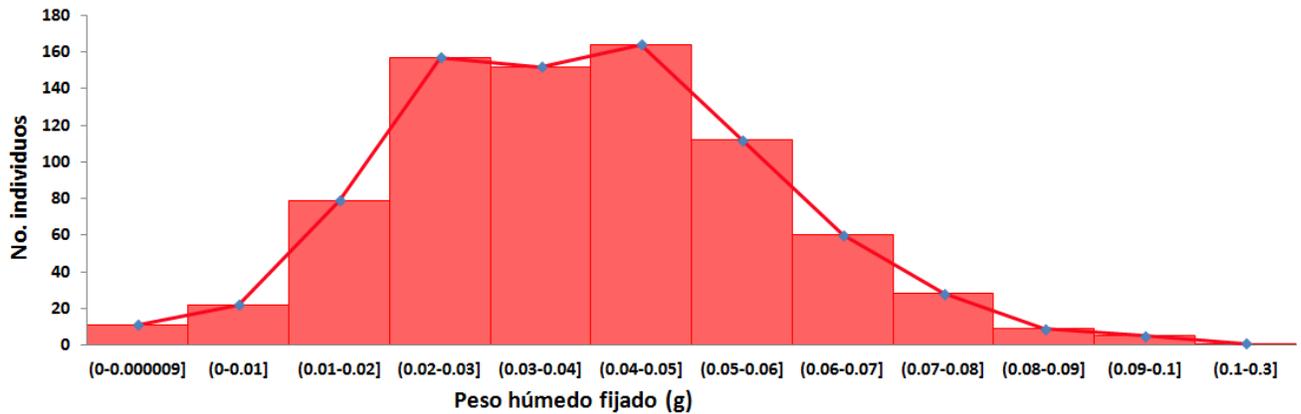


**Figura 29.** Frecuencias de peso húmedo fijado (g) con curva de tendencia para cada uno de los sitios.

### ***Estructura de tallas y su relación con el presupuesto de carbono***

Tomando en cuenta a toda la población de ofiuroides (800 individuos), la mayor parte de los organismos se encuentra en el rango de peso de 0.04 a 0.05 g phf, en el rango de diámetro de disco de 5 a 6 mm y en el rango de largo de brazos de 10 a 15 mm (Figura 30). Las tallas de la población se distribuyen de forma unimodal.

Los organismos de mayor talla son los que presentan un mayor peso y aportan mayor cantidad de carbono al ecosistema, sin embargo éstos no son abundantes. Los organismos de talla media (0.04-0.05 g phf) representan la mayor parte de la población de ofiuroides y son lo que contribuyen en mayor medida al presupuesto de carbono del ecosistema.



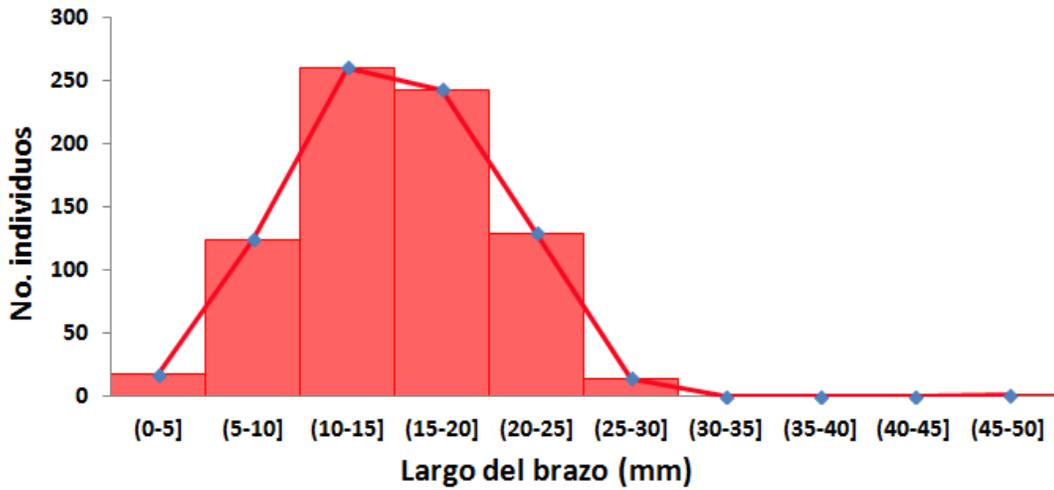
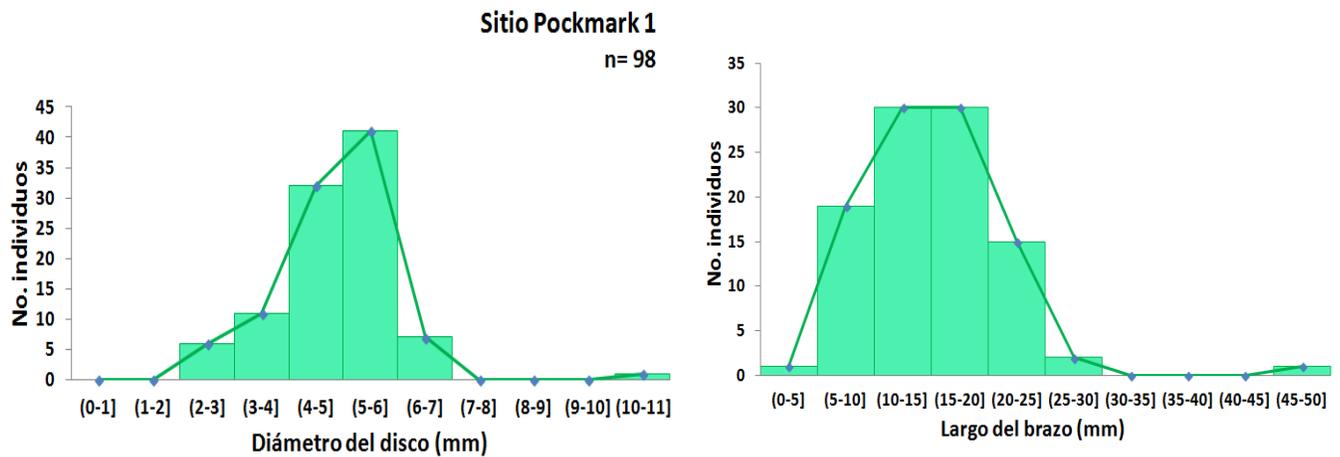


Figura 30. Peso húmedo fijado y estructura de tallas de para toda la población (n= 800).

El diámetro del disco y el largo del brazo se distribuyen de forma unimodal en los sitios Pockmark 1, Vasconcelos y Ayala, aunque con ciertos sesgos en cada localidad (Figura 31).



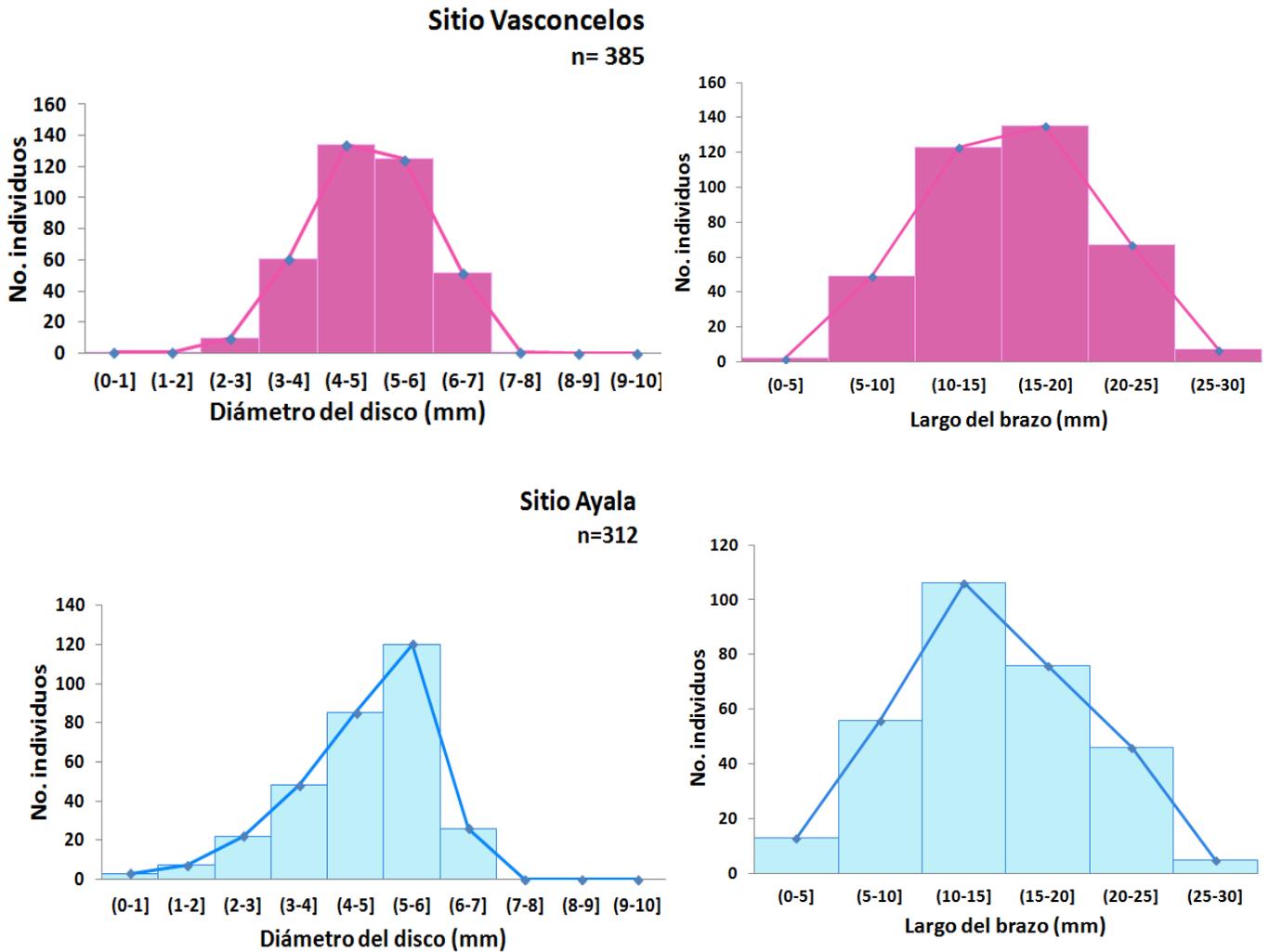


Figura 31. Estructura de tallas para cada sitio de colecta.

El promedio para el peso húmedo fijado fue de  $0.039 \pm 0.020$  g, para el diámetro del disco fue de  $4.74 \pm 1.09$  mm y para el largo de brazos fue de  $14.73 \pm 5.53$  mm. El peso máximo fue de 0.303 g phf y el mínimo de 0.00000104 g phf; el diámetro de disco máximo fue de 10.5 mm, el mínimo de 0.21 mm, el largo de brazos máximo fue de 47.05 mm y el mínimo de 0.82 mm (Tabla 6).

**Tabla 6.** Promedios de peso húmedo fijado (g) y talla (mm) para cada uno de los sitios, señalando el valor máximo y mínimo encontrado para cada carácter. Abreviaturas P, biomasa expresada como peso húmedo fijado; DD, diámetro del disco; y LB, largo de brazo.

Sitio	Valor promedio	Valor máximo	Valor mínimo
Pockmark 1	(P): $0.042 \pm 0.030$ g phf	(P): 0.303 g phf	(P): 0.008 g phf
	(DD): $4.87 \pm 1.08$ mm	(DD): 10.5 mm	(DD): 2.42 mm
	(LB): $15.11 \pm 5.92$ mm	(LB): 47.05 mm	(LB): 4.93 mm
Vasconcelos	(P): $0.039 \pm 0.017$ g phf	(P): 0.094 mm phf	(P): 0.0000091 g phf
	(DD): $4.86 \pm 0.97$ g	(DD): 7.21 mm	(DD): 0.99 mm
	(LB): $15.77 \pm 6.51$ g	(LB): 29.12 mm	(LB): 1.02 mm
Ayala	(P): $0.037 \pm 0.019$ g phf	(P): 0.099 g phf	(P): 0.00000104 g phf
	(DD): $4.60 \pm 1.19$ mm	(DD): 6.44 mm	(DD): 0.87 mm
	(LB): $13.64 \pm 5.94$ mm	(LB): 0.87 mm	(LB): 0.82 mm
Juárez	(P): $0.030 \pm 0.017$ g phf	(P): 0.046 g phf	(P): 0.001 g phf
	(DD): $3.55 \pm 1.89$ mm	(DD): 4.97 mm	(DD): 0.21 mm
	(LB): $15.23 \pm 7.52$ mm	(LB): 23.24 mm	(LB): 3.27 mm

El largo de brazo y el diámetro del disco se relacionan linealmente, en una correlación de  $R^2=0.5228$ ,  $R^2= 0.5482$  y  $R^2= 0.3497$  para los sitios Pockmark 1 (Figura 32), Vasconcelos (Figura 33) y Ayala (Figura 34) respectivamente ( $p=0.05$ ).

Mientras que la relación para toda la población (Figura 35), con 800 organismos tiene un valor de  $R^2= 0.4556$  ( $p= 0.05$ ).

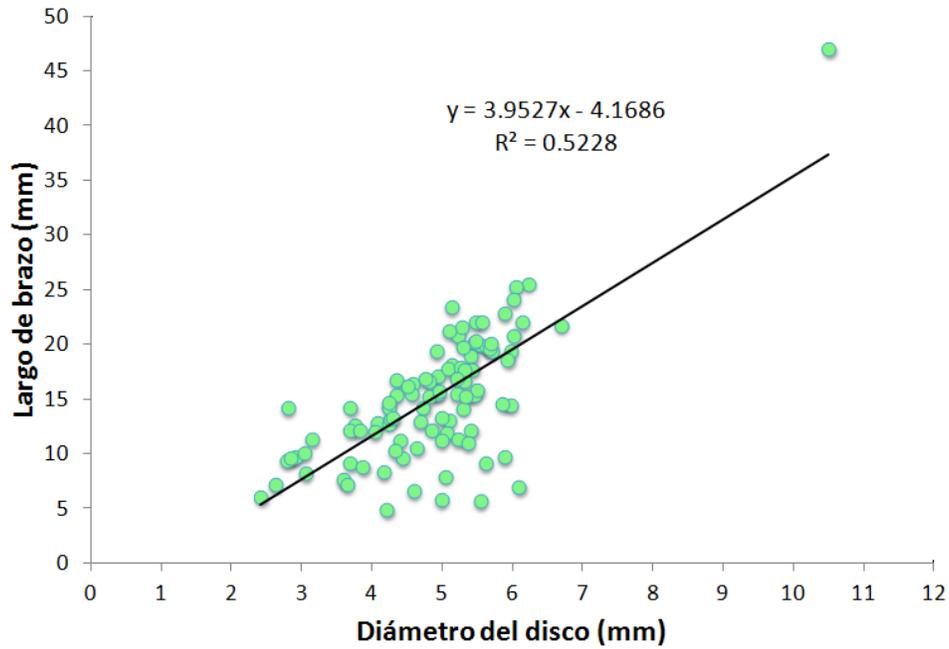


Figura 32. Correlación entre el largo de brazo y el diámetro del disco para el sitio Pockmark 1 (n=98)

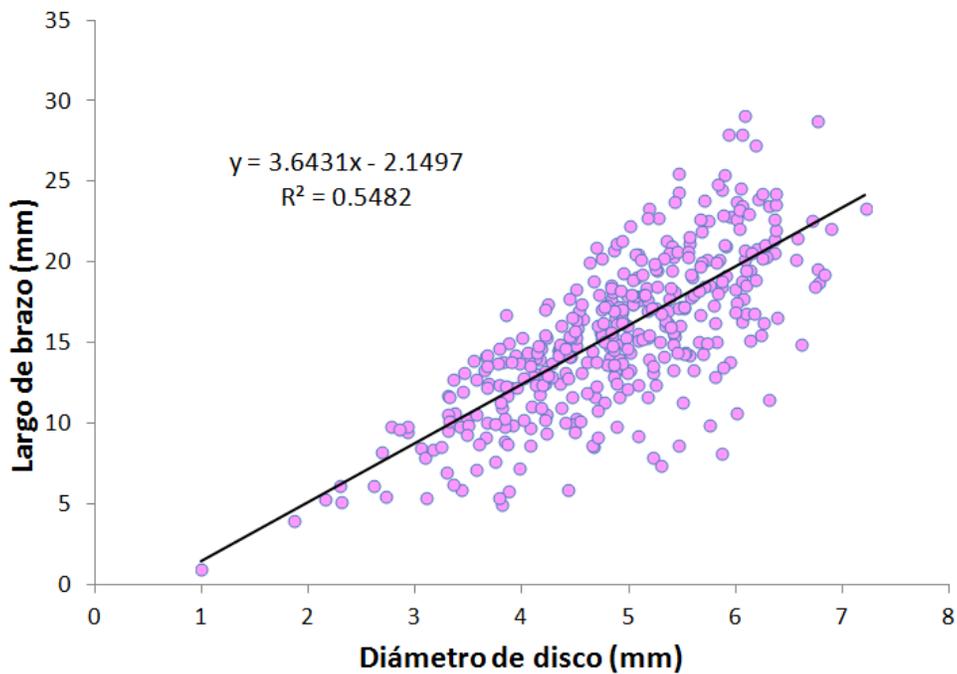


Figura 33. Correlación entre el largo de brazo y el diámetro del disco para el sitio Vasconcelos (n=385).

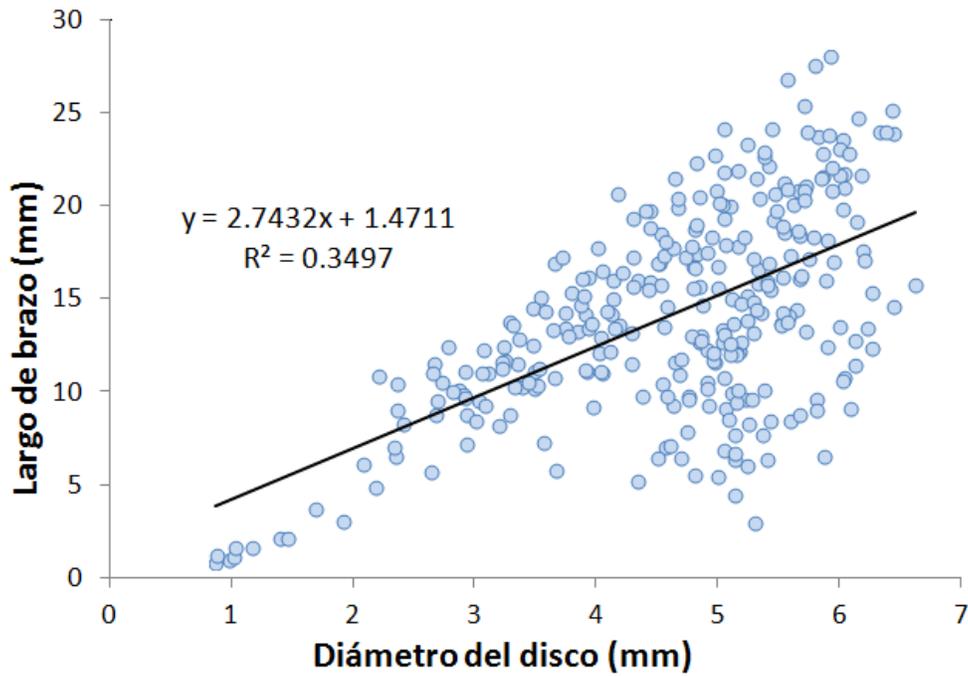


Figura 34. Correlación entre el largo de brazo y el diámetro del disco para el sitio Ayala (n=312).

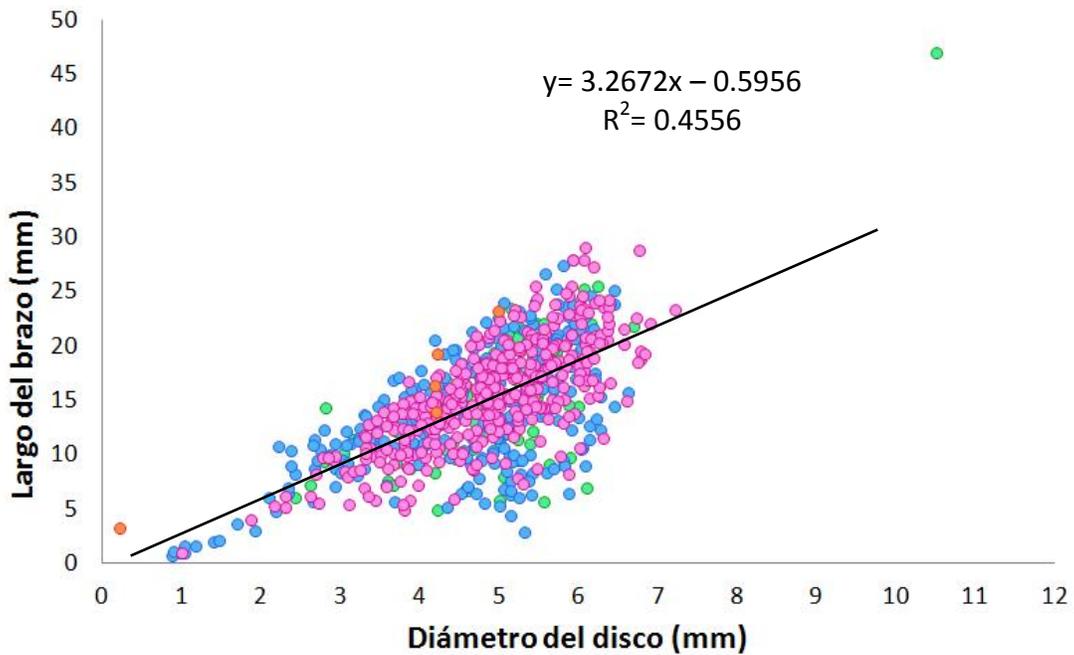


Figura 35. Correlación entre el largo de brazo y el diámetro del disco para todos los sitios (n=800). Sitio Pockmark 1 (verde), Vasconcelos (rosa), Ayala (azul) y Juárez (naranja)

## DISCUSIÓN

**Identidad de la especie.** *Spinophiura jolliveti* [Stöhr & Segonzac, 2006] fue descrita asociada a ventilas hidrotermales de la Dorsal del Pacífico Este desde los 13° N hasta los 38° S. Esta especie se asocia generalmente con el bivalvo *Bathymodiolus thermophilus* y con el gusano tubícola *Riftia pachyptila* y de manera menos común con la almeja *Calypptogena magnifica* que viven en las inmediaciones del fluido hidrotermal donde las temperaturas varían entre 2 y 15° C.

*Spinophiura jolliveti* se ha encontrado asociada a grandes poblaciones de mejillones del género *Bathymodiolus*. Estas últimas, muchas veces se componen de una gran cantidad de conchas que corresponden a individuos muertos [Van Dover, datos no publicados], lo que puede indicar un hábito alimenticio de tipo necrófago para esta especie de ofiuroides.

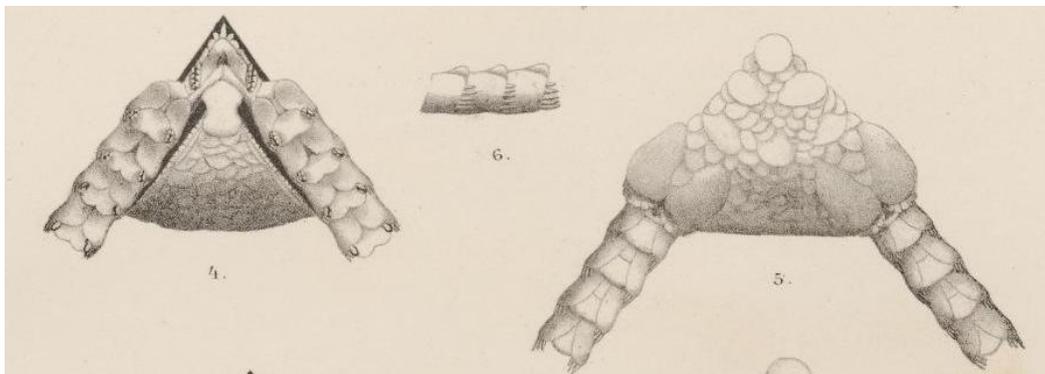
Los organismos del margen de Sonora no corresponden a la especie *Spinophiura jolliveti*, ya que existen diferencias significativas en algunos caracteres morfológicos al comparar ambos organismos. El género *Spinophiura* fue construido con base al inusualmente largo y espiniforme arreglo de las papilas orales y de las escamas tentaculares [Dra. Sabine Stöhr, comunicación personal]; los ejemplares de las infiltraciones de metano tienen papilas orales acentuadamente más cortas, además presentan un revestimiento que cubre el poro del tentáculo notablemente ausente en *S. jolliveti*. La forma de la placa oral también es distinta, más larga que ancha en los organismos del margen de Sonora, más ancha que larga en *Spinophiura*. Las papilas genitales no son tan gruesas como en *Spinophiura*, las espinas del brazo son puntiagudas (gruesas y romo en *Spinophiura*). Las placas dorsales del brazo tienen forma de gota, muy estrechas en la parte proximal y con el borde distal fuertemente convexo (forma trapezoidal y borde distal convexo en *Spinophiura*). Las placas

ventrales del brazo son dos veces tan anchas como largas y se encuentran ampliamente separadas; en *Spinophiura* no están tan separadas entre sí y son pentagonales. Las escamas tentaculares proximales del brazo son cortas y numerosas, mientras que en *Spinophiura* son notablemente largas. Finalmente las espinas distales del brazo son puntiagudas, *Spinophiura* las presenta en forma de gancho.

El tamaño de las papilas orales de los organismos del margen de Sonora, se encuentran en el rango del género *Ophiura*. Los organismos pertenecientes a este género además presentan un disco cubierto por placas o escamas; escudos radiales desnudos. Presenta dientes, carece de papilas dentales, y presenta papilas orales pequeñas cerca del contorno exterior de la hendidura bucal. Las espinas del brazo son pequeñas y lisas; presentan numerosas escamas tentaculares. En el interior de la hendidura bucal presenta un par de poros tentaculares rodeados por numerosas escamas tentaculares, abiertas diagonalmente. En la parte dorsal de brazo, cercana al disco, muestra una muesca la cual en su contorno posee papilas [Laguarda-Figueras *et al.*, 2011]. Dos hendiduras genitales que se inician a los lados de los escudos orales [McCledon, 1909].

El género *Ophiura* es un género robusto dentro de los ofiuroides, pertenece al orden Ophiurida. Son principalmente organismos de tamaño pequeño (2-10 cm), podemos encontrarlos en la superficie de sedimentos mixtos. Pueden alimentarse de detritos, fitoplancton y moluscos en la superficie del fondo marino, también pueden ser capaces de atrapar y retener alimento de la columna de agua [Southward *et al.*, 2006]. Actualmente se reconocen más de 200 especies del género *Ophiura* [WoRMS, 2013].

Por las similitudes encontradas con este género se comparó con algunas especies, siendo *Ophiura scutellata* la especie con la que se encontraron más coincidencias en caracteres taxonómicos (Figura 36).



**Figura 36.** *Ophiura scutellata* [Lütken & Mortensen, 1899]. Imagen tomada del Reporte de la Exploración de las costas del este de México, Sudamérica y las Islas Galápagos a bordo del B/O “Albatross” durante 1891. (4) cara ventral; (5) cara dorsal; y (6) acercamiento del brazo, donde se observan las espinas. Estas imágenes corresponden a la descripción original de la especie *Ophiura scutellata*.

**Hábitat y patrón de distribución.** El hábitat corresponde a un ámbito espacial delimitado con condiciones ambientales específicas, en el que pueden vivir especies particulares formando una comunidad distintiva. La definición de hábitat depende de la escala porque los parámetros relativamente homogéneos medidos en una escala dada, pueden parecer heterogéneos en diferentes escalas de observación [Levin, 1992].

Las infiltraciones de metano se encuentran entre los ecosistemas más heterogéneos de los márgenes continentales. Las fuentes abióticas que proporcionan la heterogeneidad a estos sistemas incluyen: la variabilidad local en el flujo, la geoquímica y el tipo de sustrato; lo que da lugar a diferentes conjuntos de comunidades microbianas, especies de bacterias simbiotas asociadas a organismos heterótrofos. Los hábitats formados por los tapetes bacterianos y sus especies simbiotas incluyendo almejas, mejillones y gusanos de tubo añaden una capa adicional de complejidad en los hábitats [Cordes et al., 2009].

Desde 1978, numerosos estudios han reportado la presencia de un sistema de emanaciones frías en la cordillera de la Falla Transformante de Guaymas. Dichas emanaciones en ocasiones están asociadas a hidrocarburos, siendo el metano el hidrocarburo más frecuente como producto de la maduración de materia orgánica y actividad biológica [Figueroa, 2013]; o mediante la migración termogénica de gas de yacimientos más profundos de hidrocarburos [Olu Le-Roy *et al.*, 2004].

Los “pockmarks” (depresiones de fondo) submarinos son característicos de los márgenes continentales, que a menudo están relacionados con la infiltración de fluidos ricos en metano. El aumento de pockmarks, en áreas desestabilizadas del fondo marino, ha cuestionado la relación entre la inestabilidad de la pendiente y la circulación de fluidos en los márgenes continentales [Hovland *et al.*, 2002; Gay *et al.*, 2004; Loncke *et al.*, 2004]. El pie del talud del margen de Sonora presenta una morfología muy variable, con pendientes que van desde los 50° hasta los 80° [Figueroa, 2013], lo que hace posible la existencia de pockmarks a lo largo del margen de Sonora.

Los hábitats de ocurrencia de *Ophiura scutellata* se encuentran directamente relacionados con la presencia de tapetes de bacteria, tapetes de ciliados de folliculinidos, siboglínidos o vesicómidos. Cordes *et al.* [2009], señalan que a nivel local, la presencia de tapetes de bacterias y de numerosos animales, pertenecientes a un número limitado de filos y familias, se ha considerado como uno de los mejores indicadores de presencia de infiltraciones activas, por la existencia de altos niveles de productividad primaria, basada en la quimiosíntesis. Los tapetes blancos de bacteria son el principal hábitat para *Ophiura scutellata*.

McArthur y Wilson [1967] explican que la hipótesis de la heterogeneidad del hábitat asume que: los hábitats, estructuralmente más complejos, conducen a un aumento en la diversidad de especies; proporcionando un número mayor de distintos nichos y diversas formas de explotación de los recursos. En las infiltraciones de metano del margen de Sonora se observa un hábitat complejo; en el que se encuentran diversas especies de equinodermos, gusanos de tubo, moluscos, vesicómidos, crustáceos y

peces, siendo los ofiuroides la especie dominante entre los equinodermos, ocupando diferentes hábitats aprovechando diversos recursos para su existencia.

Paull [2007] explica que el análisis geoquímico realizado a los fluidos y sedimentos cercanos a las zonas de emanación, sugiere la presencia de dos fuentes de carbono para los carbonatos autigénicos. El primero de ellos asociado a fuentes profundas, caracterizadas por la isotopía pesada de CO<sub>2</sub> y una fuente isotópica ligera de carbono inorgánico liviano, derivado de fuentes locales de oxidación anaeróbica del metano en la interface sulfato-metano en sedimentos someros. *O. scutellata* presenta poca afinidad con las concreciones de carbonato, esto puede estar relacionado con las concentraciones de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y CH<sub>4</sub> presentes en las zonas de formación de carbonatos autigénicos.

Por ejemplo, las camas de *C. kilmeri*, que rodean las infiltraciones activas de la bahía de Monterey en California, se encuentran en zonas donde las concentraciones intersticiales de sulfuro son altas, mientras que las camas de *C. pacifica* se encuentran rodeando a las de *C. kilmeri*, donde las concentraciones son más bajas [Barry *et al.*, 1997; Goffredi y Barry, 2002]. *O. scutellata* se encuentra en mayor número y más agregada cuando están asociados con *C. pacifica*, lo que puede sugerir que prefieren áreas donde las concentraciones de sulfuro son bajas. Olu Le Roy *et al.*, [2004] indican que los siboglínidos del género *Lamellibrachia* en el mar Mediterráneo siempre están cerca o en estrecha relación con costras de carbonato (vinculadas a las emisiones de fluidos); a veces ocupando espacios sinuosos entre costras de carbonato que se forman con el metano cargado de flujos de lodo que son oxidados en el fondo marino. Según los registros fotográficos y de video los siboglínidos *Lamellibrachia*, que habitan las infiltraciones de metano del margen de Sonora, también se encuentran en estrecha relación con concreciones de carbonato (esto concuerda con lo registrado en estudios previos), y son al mismo tiempo, uno de los hábitats de menor preferencia para *O. scutellata*.

**Abundancia.** *O. scutellata* presenta valores de abundancia que van de los 100 a los 3,100 ind/0.25 m<sup>2</sup>. Estos valores de abundancia están estrechamente relacionados con la presencia de otros organismos, ya sean los tapetes de bacteria, de ciliados, vesicómidos o siboglínidos.

Algunas especies de ofiuroides se han registrado en infiltraciones frías o en ventilas hidrotermales, pero su baja abundancia y rara ocurrencia sugieren que no son endémicas de ecosistemas reductores, pero posiblemente son especies oportunistas (que pueden alcanzar densidades relativamente altas) o especies accidentales (por lo general ocurren en densidades bajas). Ya que para la mayoría de los ofiuroides, que ocurren en ecosistemas reductores, no se ha podido establecer una relación directa con la comunidad quimiosintética, y es por eso que pueden tener una distribución más amplia [Rodríguez *et al.*, 2011].

El Golfo de Cádiz es el área más extensa de infiltraciones frías dentro de los márgenes europeos, incluye más de 40 volcanes de lodo con actividad de infiltración variable, en 15 de ellos se han registrado 13 especies diferentes de ofiuroides. El volcán con mayor abundancia presentó más de 256 ind/m<sup>2</sup>. Además, Rodríguez *et al.*, [2011] relacionan los sitios menos profundos <1,400 m con la mayor diversidad y abundancia de especies. Mientras que los volcanes más profundos, que son los más activos, tienen un bajo número de especies registradas, explica que esto puede estar siguiendo un patrón global de baja diversidad de ofiuroides en las infiltraciones frías. Sin embargo, menciona que los bajos valores de abundancia pueden estar dados por el tipo de muestreo.

Los resultados de abundancia para *O. scutellata* se encuentran por encima de los registrados por Rodríguez, quien menciona que los sitios con profundidades menores a 1400 m son más diversos y abundantes, mientras que los ofiuroides del presente estudio se colectaron a profundidades de entre 1,557 y 1,580 m. Estas diferencias pueden atribuirse en primer lugar al tipo de muestreo, en el crucero BIG se reconocen 23 muestras con presencia de ofiuroides, además la abundancia puede corroborarse a

través de los videos y fotografías de las inmersiones. Pese a la poca información que se tiene actualmente sobre la ocurrencia de especies endémicas de ofiuroides en ambientes reductores, *O. scutellata* puede ser una especie endémica y dominante, lo que favorecería su abundancia al no tener competencia interespecífica directa con otras especies.

Menot *et al.*, [2010] reportan para el “Pockmark Regab”, en el Golfo de Guinea, valores de abundancia de megafauna que van de los 1,720 hasta 2,473 ind/m<sup>2</sup>, estos valores corresponden a áreas periféricas del sitio activo de la infiltración. Mientras que las densidades en el eje central del sitio activo son muy heterogéneas, en un intervalo que va de 2,472 a 22,305 ind/m<sup>2</sup>.

Decker *et al.*, [2011] caracterizaron 6 hábitats biogénicos en el volcán de lodo Ha<sup>o</sup>kon en el margen Noruego; los 6 hábitats están delimitados a través de una zonación concéntrica. El primer hábitat descrito ocurre al centro del volcán, carente de megafauna y de cualquier forma de vida visible en la superficie del sedimento; seguido de tapetes grises de bacterias filamentosas; tapetes blancos de bacterias dominados por *Beggiatoa* sp.; sedimentos desnudos adyacentes a los tapetes blancos y campos pequeños de gusanos de tubo, dominados por *Oligobrachia haakonmosbiensis* o *Sclerolinum contortum*. Obtuvieron valores intermedios de densidad de megafauna para el tapete gris (2,278 ind/m<sup>2</sup>) y blanco (3,783 ind/m<sup>2</sup>), mientras que el hábitat con mayor abundancia fue el dominado por *Oligobrachia haakonmosbiensis* con 92,963 ind/m<sup>2</sup>, seguido de *Sclerolinum contortum* con 4,992 ind/m<sup>2</sup>.

Dentro de toda la abundancia de megafauna, los ofiuroides sólo se encontraron asociados con *Oligobrachia haakonmosbiensis* y con *Sclerolinum contortum* con una abundancia de 19 y 350 ind/m<sup>2</sup> respectivamente. Decker *et al.*, [2011] explican que en el hábitat dominado por *Oligobrachia haakonmosbiensis* existe una mayor abundancia, pero menor diversidad de especies; mientras que donde domina *Sclerolinum contortum* se encuentra una mayor diversidad, pero menor densidad.

Esto podría explicar la abundancia de una sola especie de ofiuroides en el margen de Sonora. Hablando en términos de comunidad, sólo las familias mejor adaptadas podrán sobrevivir y presentarán densidades altas, por lo tanto, es probable que los ofiuroides hayan desarrollado adaptaciones que les permiten sobrevivir en las infiltraciones de metano y ser la especie dominante.

**Contribución a los presupuestos de carbono.** *O. scutellata* muestra el valor más alto de biomasa en el sitio Vasconcelos, que se relaciona con la mayor abundancia y al mismo tiempo con los hábitats de mayor preferencia para los ofiuroides. En muchas comunidades bentónicas, de los océanos mundiales, los ofiuroides contribuyen significativamente a la diversidad de especies, abundancia y biomasa del ecosistema [por ejemplo Hyman, 1955; Tyler, 1980; Barnes, 1987; Dahm, 1996].

De acuerdo con Dahm [1999], la biomasa que aportan los ofiuroides en la región de Magallanes y del Mar de Weddell es de 3% (0.21 gCorg m<sup>2</sup>), con 23 especies diferentes y 12% (1.32 gCorg m<sup>2</sup>) con 42 especies respectivamente; estos datos corresponden a gramos de carbono orgánico por m<sup>2</sup>. Los datos del presente estudio no se presentan en m<sup>2</sup>, se muestran relacionados con la abundancia de individuos en cada uno de los sitios de colecta.

Smith y Hamilton [1983] reportan que el 99% de la megafauna de la cuenca de Santa Catalina, al sur de California, se encuentra compuesta por ofiuroides. Cuatro especies dominantes de este grupo aportan casi 4 veces la biomasa que aporta el resto de la comunidad, con un valor medio de 68.1 g C m<sup>2</sup>. Además, indican que la biomasa siguió un patrón similar con la densidad. Mientras que Fujita y Ohta [1990] no encontraron una correlación entre la biomasa y la densidad.

Ya se mencionó que en el presente estudio los datos de biomasa no se presentan en relación con el área, sino con relación a la densidad de organismos. El valor más alto de biomasa es de 0.481 g de carbono, dicho valor no es similar a otro reportado en la

literatura, pero si se puede decir que *O. scutellata* sigue un patrón de biomasa similar a la abundancia; ya que donde existe mayor abundancia de ofiuroides, los valores de biomasa son más altos.

Las diferencias pueden estar dadas en primer lugar por la forma de representar la biomasa (en  $m^2$  para las otras investigaciones, relacionada con la abundancia para este estudio) por el tipo de muestreo realizado, por la utilización de más de una especie, y por la metodología para calcular los valores de gramos de carbono.

**Estructura de tallas y su relación con el presupuesto de carbono.** Gage y Tyler [1981] representaron la estructura que tallas de *Ophiura ljungmani*, indicando que su distribución fue unimodal, con algunos sesgos que atribuyen a la estacionalidad reproductiva de la especie. Obtuvieron muestras grandes de estados postlarvales y pocos ejemplares adultos, esto se debe a la variación estacional de crecimiento, relacionada con el ciclo reproductivo de la especie. Es posible que los ejemplares de *O. scutellata* se hayan encontrado en una etapa de reclutamiento de individuos postlarvales o juveniles; y por ello no se colectó un número mayor de ejemplares de talla grande.

Fujita y Ohta [1990] describieron la estructura de tallas de *Ophiura sarsii* encontrando que su distribución era polimodal; además, el tamaño máximo se encontró al aumentar la profundidad, y a mayores profundidades, los individuos de menor talla eran menos frecuentes (ellos sólo tomaron en cuenta el diámetro de disco). Los autores de este estudio tuvieron el valor máximo de densidad a los 350 m, existiendo una disminución gradual a mayores profundidades.

*O. scutellata* muestra una distribución unimodal, tanto para el diámetro de disco y el largo de brazos. La zona de colecta comprende apenas 23 m dentro de la columna de agua; con este intervalo tan pequeño es difícil establecer si existe una diferencia en el patrón de distribución por talla de los ofiuroides; además, los extremos de talla son

escasos, sólo se tiene un individuo de gran tamaño y apenas una decena de talla pequeña. La mayor parte de la población se encuentra en el intervalo de talla mediana (diámetro de disco de 5 a 6 mm). Los individuos de mayor tamaño es probable que no sean abundantes y por ello no fueron colectados más ejemplares, o se encuentran distribuidos en otras profundidades. Por otro lado, la densidad de individuos de talla mediana que podría representar el estadio juvenil de la especie, puede ser necesaria para el mantenimiento de la población, que pudo encontrarse en esa temporada en etapa de reclutamiento de organismos juveniles. La heterogeneidad local, en la estructura de tallas, puede ser causada por diversos procesos ecológicos como la reproducción, crecimiento, mortalidad, depredación.

La investigación de Fujita y Ohta [1990] también encontró una correlación negativa entre el tamaño y la densidad. Aunque dicha relación no fue medida en este estudio es muy probable que los ofiuroideos del Margen de Sonora tengan una correlación negativa; los individuos de mayor tamaño son escasos, por lo tanto, su aporte a la biomasa del ecosistema es menor, que la que proveen los individuos de talla media, que son más abundantes.

Booth *et al.*, [2008] describieron la estructura de tallas de *Ophiura bathybia*, una especie abisal de ofiuroideo, y su distribución fue unimodal. Junto con esta especie se estudiaron otras 4, y en ninguna encontraron patrones estacionales claros, que se relacionaran con la distribución por tamaño. Sin embargo, también estudiaron la relación entre el suministro de alimento y el tamaño de los organismos, encontrando una relación entre la distribución de tallas y los valores más altos de partículas orgánicas de carbono. No se puede establecer una conexión directa entre el ambiente abisal *sensu lato* y un ecosistema abisal reductor. Pero es probable que la distribución de tallas de *O. scutellata* esté relacionada con la disponibilidad de alimento, o con el reclutamiento de juveniles y adultos a diferentes profundidades, hacia el interior de las infiltraciones.

## CONCLUSIONES

Las infiltraciones de metano representan un ecosistema único donde convergen diversos factores ambientales, que permiten el desarrollo de comunidades bióticas muy específicas. Su entendimiento resulta importante para establecer las normas bajo las cuales se protegen este tipo de ambientes y su diversidad. Este trabajo aporta información sobre una especie dominante de ofiuroides y su participación en el ecosistema.

Los objetivos de este trabajo se cumplieron, se presenta información que contribuye al conocimiento de una especie dominante de ofiuroides de las infiltraciones de metano del margen de Sonora y al de estos ambientes reductores en general. También se presenta información que permite establecer las características ambientales de su hábitat, así como su contribución al presupuesto de carbono del ecosistema; su abundancia para este ambiente reductor y la estructura de tallas de la población.

Los sitios activos de infiltraciones y la expulsión de fluidos ricos en metano apoyan el desarrollo de las comunidades quimiosintéticas y la formación de carbonatos autigénicos. Ambos son de interés para la comprensión de los procesos biogeoquímicos, micro y microbiológicos relacionados con las infiltraciones de metano.

La especie dominante de ofiuroides en las infiltraciones de metano del margen de Sonora es *Ophiura scutellata*. El presente trabajo representa una nueva variante morfológica de la especie, un nuevo registro batimétrico y de ubicación para la especie. El único registro previo corresponde a la descripción original de la especie hecha por Lütken y Mortensen en 1899, que la ubican en una latitud 21° 19' N y una longitud 106° 24' W a una profundidad de 1,244m.

El nuevo registro se encuentra asociado a las infiltraciones de metano del Mmargen de Sonora en una latitud 27° N y una longitud 111° W, con profundidades que van de los 1,557 a los 1,580 m.

Los ofiuroides se encuentran en 8 hábitats diferentes. El sitio con mayor diversidad de hábitats es el sitio Vasconcelos, seguido del sitio Pockmark 1, Ayala y Juárez. Cada sitio se caracteriza por agregaciones faunísticas específicas que establecen el hábitat para *O. scutellata*.

El hábitat y el patrón de distribución de *O. scutellata* en las infiltraciones de Mmetano se encuentra determinado por la asociación con tapete blanco de bacterias, tapete azul de ciliados, siboglínidos o vesicómidos. Y su abundancia es mayor en el sedimento blando.

La mayor abundancia se encontró en los tapetes blancos de bacteria, seguida de la asociación de tapetes blancos de bacteria con *Calyptogena pacifica*, y finalmente en el hábitat representado por *C. pacifica*.

La menor abundancia está asociada a los tapetes azules de ciliados de folliculinidos loricados.

Comparativamente con otros estudios de abundancia de megafauna en ambientes quimiosintéticos, la abundancia de ofiuroides es alta para las infiltraciones de metano. Esto puede atribuirse a que *O. scutellata* sea una especie endémica, para este tipo de ambiente reductor, o que no tenga competencia con otras especies.

El valor más alto de contribución al presupuesto de carbono del ecosistema está dado por el sitio Vasconcelos que fue donde existió la mayor abundancia de organismos.

Los organismos de talla media son los que aportan la mayor cantidad de biomasa al ecosistema, comparándolos con los individuos de talla mayor, que son más escasos.

La estructura de tallas de *O. scutellata* tiene un comportamiento unimodal, con los valores más altos en las tallas medianas lo que puede sugerir un reclutamiento de individuos juveniles.

## REFERENCIAS

### *Formato Deep-Sea Research*

- Álvarez-Borrego, S., Rivera, J., Gaxiola, G., Acosta, M., Schwartzlose, R. 1978. Nutrientes en el Golfo de California. *Ciencias Marinas* 5, 53-71.
- 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.
- Aragón- Arreola, M., Martín-Barajas, A. 2003. Estructura de la corteza y cinemática de apertura continental en el Norte del Golfo de California. *GEOS* 23, 113.
- Aragón-Arreola, M., Morandi, M., Martín-Barajas, A., Delgado-Argote, L., González-Fernández, A. 2005. Structure of the rift basins in the central Gulf of California: Kinematic implications for oblique rifting. *Tectonophysics* 409, 19-38.
- Barnes, R., Rupert, P. 1969. *Zoología de los Invertebrados*. McGraw Hill. México. 941 pp.
- Barnes, R. 1987. *Invertebrate Zoology*. Saunders College Philadelphia. EUA. 1085 pp.
- Barry, J., Kochevar, R., Baxter, C. 1997. The influence of pore-water chemistry and physiology on the distribution on vesicomid clams at cold seeps in Monterey Bay: implications for patterns of chemosynthetic community organization. *Limnology and Oceanography* 42, 318-328.
- Biodiversity Heritage Library. 2013. Reports on an exploration off the west coast of Mexico, Central and South America, and off the Galapagos Islands, in charge of Alexander Agassiz, by the U.S. fish commission steamer "Albatros" during 1891. The Ophiuridae. Vol. XXIII. No. 2. <http://www.biodiversitylibrary.org/item/91713>
- Booth, A., Ruhl, H., Lovell, L., Bailey, D., Smith Jr, K. 2008. Size-frequency dynamics of NE Pacific abyssal ophiuroids (Echinodermata: Ophiuroidea). *Marine Biology* 154, 933-941.

- Bray, N. 1988. Water mass formation in the Gulf of California. *J. Geophys Res.* 93, 9223-9240.
- Brusca, R., Brusca, G. 1990. *Invertebrates*. Publ. Sinauer Assoc. Inc. Publish. Massachusetts. 922 pp.
- 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.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. *Biodiversitas*. Boletín Trimestral. Núm. 79.
- Cordes, E., Cunha, M., Galéron, J., Mora, C., Olu-Le Roy, K., Sibuet, M., Van Gaever, S., Vanreusel, A., Levin, L. 2009. The influence of geological, geochemical, and biogenic habitat heterogeneity on seep biodiversity. *Marine Ecology* 31, 51-65.
- Cotilla, M., 2006. *Un recorrido por la sismología de Cuba*. Ed. Complutense. España. 295 pp.
- Curray, J., Moore, D. 1982. Guaymas Basin. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*. Vol. 64, 211-415.
- Dahm, C. 1996. Ökologie und Populations dynamik antarktischer Ophiuroiden (Echinodermata). *Ber. Polarforsch* 194, 1-289.
- 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.
- Decker, C., Morineaux, M., Van Gaever, S., Caprais, J., Lichtschlag, A., Gauthier, O., Anderson, A., Olú, K. 2011. Habitat heterogeneity influences cold-seeps macrofaunal communities within and among seeps along the Norwegian margin. Part. 1: macrofaunal community structure. *Marine Ecology* 33, 205-230.
- Escandón, N. 2011. *Ofiuroideos (Echinodermata: Ophiuroidea) del Golfo de California*. Tesis de Licenciatura. México. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Etter, R., Grassle, J. 1992. Patterns of species diversity in the deep sea as a function of sediment particle size diversity. *Nature* 360, 576-578

- 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.
- Fujita, T., Ohta, S. 1990. Size structure of dense populations of the brittle star *Ophiura sarsii* (Ophiuroidea: Echinodermata) in the bathyal zone around Japan. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 64, 113-122.
- Gay, A., López, M., Cochonat, P., Semondadaz, G. 2004. Polygonal faults-troughs system related to early stages upper Miocene to present sediments of the Lower Congo Basin. *Basin Res.* 16, 101-116.
- Gage, J., Tyler, P. 1981. Re-appraisal of age composition, growth and survivorship of the deep-sea brittle star *Ophiura jlungmani* from size structure in a sample time series from the Rockall Trough. *Marine Biology* 64, 163-172.
- Gage, J., Tyler, P. 1991. *Deep-Sea Biology: A Natural History of Organisms at the Deep-Sea Floor.* Cambridge University Press. 504 pp.
- Goffredi, S., Barry, J. 2002. Species-specific variation in sulfide physiology between closely related Vesicomid clams. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 225, 227-238.
- González-Fernández, A., Dañobeitia, J., Delgado-Argote, J., Michaud, L., Córdoba, F., Bartolomé, R. 2005. Mode of extension and rifting history of Upper Tiburon and Upper Delfin Basins, northern Gulf of California. *J. Geophys Res.* 110, 1978-2012.
- Halanych, K., Tieger, M., O'Mullan, G., Lutz, R., Vrijenhoek, R. 1999. Brief description of biological communities at 7°S on the Eastern Pacific Rise. *InterRidge* 8, 23-27.
- Hecker, B. 1985. Fauna from a cold sulfur-seep in the Gulf of Mexico: comparison with hydrothermal vent communities and evolutionary implications. En: *The hydrothermal vents of the Eastern Pacific: and overview.* Editor Jones, M. *Bulletin of the Biological Society of Washington* 6, 467-473.
- Hendricks, M. 2012. Listado sistemático de los equinodermos de aguas profundas del Pacífico mexicano. En Zamorano, P., Hendricks, M., Caso, M. (Eds.) 373-395. *Biodiversidad y Comunidades del Talud Continental del Pacífico Mexicano.* Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

- Heney, T., Bischoff, J. 1993. Tectonic elements in the northern part of the Gulf of California. *Sociedad Geológica Americana. Bull* 84, 315-330.
- Honey-Escandón, M., Solís-Marín, F., Laguarda-Figueras, A. 2008. Equinodermos (Echinodermata) del Pacífico Mexicano. *Revista de Biología Tropical. Vol. 56 (Suppl. 3)*, 57-73.
- Hovland, M., Gardner, J., Judd, A. 2002. The significance of pockmarks to understanding fluid flow processes and geohazards. *Geofluids* 2, 127-136.
- Hyman, L. 1955. *The Invertebrates: Echinodermata. Vol. 4. McGraw Hill. EUA.*
- International Seabed Authority. 2011. *Environmental Management of Deep-Sea Chemosynthetic Ecosystems: Justification of and Considerations for a Spatially-Based Approach. Technical Study No. 9. Jamaica. 90 pp.*
- Laguarda-Figueras, A., Escandón-Flores, N., Solís-Marín, F., Hernández-Herrejón, L., Durán-González, A. 2011. *Los ofiuroides (Echinodermata: Ophiuroidea) del Golfo de California. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad e Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México. 196 pp.*
- Laubier, L., Ohta, S., Sibuet, M. 1986. Découverte de communautés animales profondes durant la campagne franco-japonaise KAIKO de plongées dans les fosses de subduction autour du Japon. *C.R. Acad. Sci. Ser. III. Scie. Vie* 303, 25-29.
- Lavín, M., Gaxiola, G., Robles, J. 1995. Winter water masses and nutrients in the northern Gulf of California. *J. Geophys Res.* 100, 8587-8605.
- Lepley, L., Vonder Haar, S., Hendrickson, J., Calderón-Riveroll, G. 1975. Circulation in the northern Gulf of California from orbital photographs and ship investigations. *Ciencias Marinas* 2, 86-93.
- Levin, L., Etter, R., Rex, M., Gooday, A., Smith, C. 2001. Environmental influences on regional deep-sea species diversity. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 32: 51-93.
- Levin, L., Sibuet, M. 2012. Understanding Continental Margin Biodiversity: A New Imperative. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 4: 79-112.
- Levin, S. 1992. The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology* 73, 1943-1967

- Loncke, L., Mascle, J. 2004. Mud volcanoes, gas chimneys pockmarks and ridges in the Nile deep-sea fan (Eastern Mediterranean): geophysical evidences. *Mar. Pet. Geol.* 21, 669-689.
- Longhurst, A. 2007. *Ecological geography of the sea*. Elsevier Academic Press publications. EUA. 542 pp.
- Lonsdale, P. 1989. Geology and tectonic history of The Gulf of California. En Hussong, D., Winterer, E., Decker, R. (Eds.), *The Eastern Pacific Ocean and Hawaii. The Geology of North America*, 499-521.
- Lugo-Hubp, J. 1985. Morfoestructuras del fondo oceánico mexicano. *Universidad Nacional Autónoma de México. Boletín del Instituto de Geografía* núm. 15, 9-17.
- Lütken, C., Mortensen, C. 1899. En: *Reports on an exploration off the west coast of Mexico, Central and South America, and off the Galapagos Islands, in charge of Alexander Agassiz, by the U.S. fish commission steamer "Albatros" during 1891. The Ophiuridae*. Vol. XXIII. No. 2. <http://www.biodiversitylibrary.org/item/91713>
- McArthur, R., Wilson, E. 1967. *The theory of Island Biogeography*. Princeton University Press. Princeton.
- McCledon, F. 1909. XXV. The ophiurans of the San Diego region. *University of California Publications in Zoology* 6(3), 33-64.
- Maluf, L. 1983. Physical oceanography. En Case, T., Cody M. (Eds.) 26-45. *Island Biogeography in the Sea of Cortez*. University of California Press, Berkeley. EUA.
- Maluf, L. 1988. Composition and distribution of the Central Eastern Pacific Echinoderms. *Nat. Hist. Mus. Los Angeles Co. Tech. Rep.* 241 pp.
- Menot, L., Galéron, J., Olú, K., Caprais, J., Crassous, P., Khripounoff, A., Sibuet, M. 2010. Spatial heterogeneity of macrofaunal communities in and near a giant Pockmark area in the deep Gulf of Guinea. *Marine ecology* 31, 78-93.
- Müller, J., Troschel, F. 1842. *System der Asteriden*. Braunschweig. Berlín. 134 pp.

- Olu-Le Roy, K., Sibuet, M., Fiala-Médioni, A., Gofas, S., Salas, C., Mariotti, A., Foucher, J., Woodside, J. 2004. Cold seep communities in the deep eastern Mediterranean Sea: composition, symbiosis and spatial distribution on mud volcanoes. *Deep-Sea Res. Part I* 51, 1915-1936.
- Ondréas, H., Olu, K., Fouquet, Y., Charlou, J., Gay, A. 2005. ROV study of a giant pockmark on the Gabon continental margin. *Geo-Mar. Lett.* 25, 281-292.
- Paull, C., Hecker, B., Commeau, R., Freeman-Lynde, R., Neumann, C. 1984. Biological communities at the Florida escarpment resemble hydrothermal vent taxa. *Science* 26, 965-967.
- Paull, C., Ussler, W., Peltzer, E., Brewer, P., Keaten, R., Mitts, P., Nealon, J., Greinert, J., Herguera, J., Pérez, E. 2007. Authigenic carbon entombed in methane-soaked sediments from the northeastern transform margin of the Guaymas Basin, Gulf of California. *Deep-Sea Res. Part II* 54, 1240-1267.
- Persaud, P., Stock, M., Steckler, S., Martín-Barajas, A., Diebold, B., González-Fernandez, A., Mountain, S. 2003. Active deformation and shallow structure of the Wagner, Consag and Delfin Basins, northern Gulf of California, Mexico. *J. Geophys. Res.* 108, 2355.
- Phillips, P. 1964. Seismic refraction studies in the Gulf of California. En Van Andel, T., Shor, G., (Eds.) Vol. 3, 90-121.
- Roden, G. 1964. Oceanographic aspects of the Gulf of California. *Mem. Am. Soc. Petr. Geol.* 3, 30-58.
- Rodríguez, C., Gordon, L., Paterson, J., Cabrinovic, A., Cunha, M. 2011. Deep-sea ophiuroids (Echinodermata: Ophiuroidea: Ophiurida) from the Gulf of Cadiz (NE Atlantic). *ZOOTAXA* 2754, 1-26.
- Rowe, G. 1983. Biomass and production of the deep-sea macrobenthos. *The Sea* 8, 97-121.
- Sahling, H., Galkin, S., Salyuk, A., Greinert, J., Foerstel, H., Piepenburg, D., Suess, E. 2003. Depth-related structure and ecological significance of cold-seep communities a case study from the Sea of Okhotsk. *Deep-Sea Res. I* 50, 1391-1409.

- Sellanes, J., Quiroga, E., Neira, C. 2008. Megafauna community structure and trophic relationships at the recently discovered Concepción Methane Seep Area, Chile, ~ 36° S. *ICES Journal of Marine Science* 65, 1102-1111.
- SEMARNAT. 2006. Edición Especial. Ordenamiento marino ecológico para el Golfo de California. Anexo 1. [http://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)
- Sibuet, M., Olu, K. 1998. Biogeography, biodiversity and fluid dependence of deep-sea cold-seep communities at active and passive margins. *Deep-Sea Res. II* 45, 517-567.
- Smith, C., Hamilton, S. 1983. Epibenthic megafauna of a bathyal basin off southern California: patterns of abundance, biomass and dispersion. *Deep-sea Res. Vol. 30*, 907-928.
- Solís-Marín F., Laguarda-Figueras, A., Durán-González, A., Gust, A., Torres-Vega, J. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Golfo de California, México. *Rev. Bio. Trop. Vol. 53 (Suppl. 3)*, 123-137.
- Solís-Marín, F., Herrero-Pérezrul, M., Laguarda-Figueras, A., Torres-Vega, J. 1993. Asteroideos y equinoideos de México (Echinodermata). En Salazar-Vallejo, S., González, N. (Eds.). *Biodiversidad Marina y Costera de México. Comisión Nacional de Biodiversidad y Centro de Investigaciones de Quintana Roo, México*, 91-105.
- Southward, E., Campbell, A. 2006. Echinoderms. *Synopses of the British Fauna. Linnean Society of London. Inglaterra*. 279 pp.
- Stöhr, S., O'Hara, T., Thuy, B. 2012. Global Diversity of Brittle Stars (Echinodermata: Ophiuroidea). *PLoS ONE* 7 (3), e31940
- Stöhr, S., Segonzac, M. 2006. Two new Genera and Species of Ophiuroid (Echinodermata) from Hydrothermal Vents in the East Pacific. *Species Diversity* 11 (1), 7-32.
- Suess, E., Carson, B., Ritger, S., Moore, J., Jones, M. 1985. *The Hydrothermal Vents of the Eastern Pacific: An Overview*. ML Jones. Washington DC. 547 pp.

- Torres, E. 1993. Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California. Tesis de maestría. CICESE. México. 80 pp.
- Tyler, P. 1980. Deep-sea ophiuroids. *Oceanogr. Mar. Bio. Ann. Rev.* 18, 125-153.
- Tyler, P., Paterson, G., Sibuet, M., f-Guille, A., Murton, B., Segonzac, M. 1995. A new Genus of Ophiuroid (Echinodermata: Ophiuroidea) from Hydrothermal Mounds along the Mid-Atlantic Ridge. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 75, 977-986.
- Tyler, P., German, C., Ramirez, E., Van Dover, C. 2003. Understanding the biogeography of chemosynthetic ecosystems. *Oceanologica Acta* 25, 227–241.
- United Nations Environmental Program. *Ecosystems and Biodiversity in Deep Waters and High Seas.* 2006. Switzerland.
- Van Dover, C. 2002. Evolution and biogeography of deep-sea vent and seep invertebrates. *Science* 295, 1253–1257.
- Verrill, A. 1871. Notes on the Radiata in the Museum of Yale College, with descriptions of new genera and species. On the Echinoderm fauna of the Gulf of California and Cape St. Lucas. *Trans. Connect. Acad. Arts Sci.* 1, 593-610.
- Wefer, G., Billett, D., Hebbeln, D., Jorgensen, B., Schlüter, M., Van Weering, T. 2003. *Ocean Margin Systems.* Springer. USA. 495 pp.
- WORMS. 2013. Stöhr, S., Hansson, H. *Ophiura* Lamarck, 1801. In: Stöhr, S., O'Hara, T. (Eds). 2013. World Ophiuroidea database. Accessed through: World Register of Marine Species at <http://www.marinespecies.org>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Datos generales de las inmersiones donde se colectaron ofiuroides.	ii
<b>Anexo 2.</b> Datos morfométricos para el sitio Pockmark 1.	iii
<b>Anexo 3.</b> Datos morfométricos para el sitio Vasconcelos.	iv
<b>Anexo 4.</b> Datos morfométricos para el sitio Ayala.	x
<b>Anexo 5.</b> Datos morfométricos para el sitio Juárez.	xiv

**Anexo 1.** Datos generales de las inmersiones donde se colectaron ofiuroides en el margen de Sonora.

Inmersión	Sitio	Equipo de colecta	Profundidad (m)	Latitud (N)	Longitud (W)
<b>BIG 1748-4</b>	Pockmark 1	Red 1	1580	27° 34.955'	111° 27.861'
<b>BIG 1748-4</b>	Pockmark 1	Red 2	1562	27° 34.959'	111° 27.898'
<b>BIG 1748-4</b>	Pockmark 1	Aspirador 3	1575	27° 34.990'	111° 27.867'
<b>BIG 1749-5</b>	Ayala	Red 2	1562	27° 35.357'	111° 28.953'
<b>BIG 1749-5</b>	Ayala	Aspirador 1	1574	27° 35.360'	111° 28.967'
<b>BIG 1750-6</b>	Vasconcelos	Red 1	1576	27° 35.577'	111° 28.958'
<b>BIG 1751-7</b>	Vasconcelos	Canasta	1557	27° 35.581'	111° 28.953'
<b>BIG 1756-12</b>	Vasconcelos	Red 1	1575	27° 35.582'	111° 28.964'
<b>BIG 1756-12</b>	Vasconcelos	Aspirador 1	1573	27° 35.587'	111° 28.982'
<b>BIG 1756-12</b>	Vasconcelos	Aspirador 2	1573	27° 35.587'	111° 28.983'
<b>BIG 1756-12</b>	Vasconcelos	Aspirador 3	1573	27° 35.586'	111° 28.985'
<b>BIG 1757-13</b>	Vasconcelos	Red 1	1574	27° 35.588'	111° 28.970'
<b>BIG 1757-13</b>	Vasconcelos	Aspirador 1	1573	27° 35.583'	111° 28.992'
<b>BIG 1757-13</b>	Vasconcelos	Aspirador 2	1573	27° 35.581'	111° 28.989'
<b>BIG 1757-13</b>	Vasconcelos	Nucleador de caja grande 4	1574	27° 35.386'	111° 28.965'
<b>BIG 1760-16</b>	Ayala	Nucleador de caja grande 2	1564	27° 35.365'	111° 28.395'
<b>BIG 1760-16</b>	Ayala	Red 1	1562	27° 35.360'	111° 28.396'
<b>BIG 1760-16</b>	Ayala	Aspirador 1	1560	27° 35.355'	111° 28.394'
<b>BIG 1760-16</b>	Ayala	Aspirador 2	1560	27° 35.354'	111° 28.394'
<b>BIG 1760-16</b>	Ayala	Aspirador 3	1561	27° 35.356'	111° 28.395'
<b>BIG 1760-16</b>	Ayala	Núcleo tubular 10	1562	27° 35.361'	111° 28.400'
<b>BIG 1761-17</b>	Juárez	Nucleador de caja chico 10	1561	27° 35.275'	111° 28.408'
<b>BIG 1762-18</b>	Juárez	Nucleador de caja chico 12	1560	27° 35.277'	111° 28.406'

**Anexo 2.** Datos morfométricos para el sitio Pockmark 1.

SITIO/ INMERSIÓN	PESO HÚMEDO FIJADO (g)	RADIO DEL DISCO (mm)	DIÁMETRO DEL DISCO (mm)	LARGO DEL BRAZO (mm)
<b>Pockmark 1</b>				
1748-4	0.023	1.71	3.69	9.25
	0.028	2.03	4.07	12.94
	0.045	2.35	4.73	14.29
	0.038	2.2	4.58	16.44
	0.076	3.03	6.23	25.63
	0.035	2.17	4.34	16.82
	0.076	3.27	6.69	21.83
	0.058	2.76	5.53	20.11
	0.012	1.45	2.91	9.8
	0.032	2.18	4.57	15.53
	0.034	2.09	4.24	12.84
	0.026	2.02	4.25	13.31
	0.063	2.62	5.47	22.14
	0.012	1.39	2.79	9.42
	0.045	2.47	4.94	15.51
	0.041	2.31	5.13	18.18
	0.023	1.8	3.69	14.28
	0.023	1.93	3.87	8.84
	0.043	2.3	5.1	13.1
	0.055	2.46	4.92	19.49
	0.05	2.66	5.22	20.89
	0.029	2.02	4.04	12.13
	0.023	1.88	3.76	12.73
	0.063	2.85	5.71	19.44
	0.038	2.34	4.93	17.12
	0.031	2.08	4.17	8.46
	0.024	1.57	3.15	11.4
	0.046	2.27	4.69	13.01
	0.017	1.73	3.59	7.7
	0.021	1.71	3.65	7.28
	0.012	1.42	2.85	9.71
	0.027	1.84	3.69	12.17
	0.008	1.21	2.42	6.1
	0.008	1.27	2.62	7.26

	0.048	2.64	5.32	16.68
	0.016	1.46	3.03	10.15
	0.046	2.53	5.08	17.86
	0.303	5.18	10.5	47.05
	0.059	2.99	5.98	19.45
	0.045	2.99	5.98	14.52
	0.049	2.7	5.46	20.29
	0.067	2.96	5.93	18.64
	0.056	2.87	5.88	22.94
	0.05	2.7	5.41	19.05
	0.053	2.72	5.62	19.89
	0.04	2.48	5.05	8.01
	0.061	2.94	5.89	9.76
	0.04	2.75	5.55	5.73
	0.044	2.64	5.3	14.24
	0.047	2.6	5.21	15.56
	0.07	3	6.01	24.18
	0.03	2.11	4.23	14.35
	0.044	2.56	5.13	23.52
	0.039	2.3	4.82	15.32
	0.054	2.7	5.56	22.11
	0.043	2.63	5.27	21.65
	0.036	2.53	5.06	11.99
	0.028	1.91	3.82	12.23
	0.053	2.93	5.86	14.66
	0.027	2.17	4.35	15.45
	0.054	2.71	5.43	17.81
	0.037	2.32	4.64	10.6
	0.025	2.12	4.24	14.77
	0.027	2.15	4.5	16.31
	0.066	3.07	6.14	22.08
	0.014	1.52	3.05	8.29
	0.029	2.21	4.43	9.64
	0.043	3.04	6.09	7.02
	0.044	2.55	5.1	21.27
	0.042	2.4	2.8	14.32
	0.06	2.73	5.47	20.42

	0.057	2.68	5.46	15.46
	0.039	2.81	5.62	9.19
	0.042	2.49	4.99	13.35
	0.048	2.55	5.26	17.94
	0.051	2.73	5.67	19.66
	0.04	2.71	5.5	15.88
	0.044	2.65	5.31	17.79
	0.04	2.6	5.2	16.98
	0.049	2.6	5.41	12.21
	0.03	2.15	4.3	13.36
	0.031	2.42	4.84	12.26
	0.037	2.41	4.82	16.68
	0.04	2.38	4.76	16.89
	0.052	2.84	5.69	20.17
	0.053	2.95	6.02	20.91
	0.049	2.67	5.34	15.32
	0.038	2.47	4.95	15.77
	0.032	2.15	4.4	11.25
	0.041	2.61	5.22	11.44
	0.031	2.49	4.99	11.25
	0.028	2.16	4.33	10.39
	0.048	2.59	5.29	19.88
	0.027	2.2	4.6	6.71
	0.049	2.68	5.37	11.08
	0.022	2.01	4.21	4.93
	0.028	2.37	4.99	5.87

### Anexo 3. Datos morfométricos para el sitio Vasconcelos.

SITIO/ INMERSIÓN	PESO HÚMEDO FIJADO (g)	RADIO DEL DISCO (mm)	DIÁMETRO DEL DISCO (mm)	LARGO DEL BRAZO (mm)
<b>Vasconcelos</b>				
1750-6	0.032	2.37	4.94	19.36
	0.067	3	6	23.82
	0.031	2.43	4.86	13.34
	0.055	2.86	5.72	20.19
1751-7	0.064	2.94	6.03	24.62
1756-12	0.054	2.9	5.8	12.99
	0.029	2.21	4.42	5.98
	0.031	2.5	5	13.35
	0.028	2.1	4.2	12.56
	0.051	2.87	5.75	9.96
	0.017	1.77	3.8	5.03
	0.076	2.9	6.06	17.78
	0.057	2.55	5.67	21.99
	0.048	2.5	5.17	17.03
	0.04	2.38	5.03	17.5
	0.046	2.48	4.97	17.98
	0.022	1.9	3.81	13.92
	0.028	2.11	4.22	10.65
	0.022	1.82	3.65	14.21
	0.047	2.6	5.4	20.41
	0.053	2.63	5.42	18.26
	0.054	2.77	5.55	14.34
	0.027	1.98	4.22	12.85
	0.026	2.05	4.55	13.19
	0.053	2.36	4.92	17.01
	0.053	2.53	5.07	9.27
	0.061	2.89	5.83	20.22
	0.037	1.98	4.22	15.42
	0.049	2.15	5.57	17.88
	0.046	2.59	5.18	14.07
	0.032	2.35	4.87	15.01
	0.041	2.39	4.85	20.81

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE UNA ESPECIE ABISAL DE OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE LAS INFILTRACIONES DE METANO DEL MARGEN DE SONORA.

	0.024	1.83	3.66	14.33
	0.042	2.38	4.82	17.73
	0.02	1.81	3.63	13.35
	0.019	1.72	3.87	12.27
	0.02	1.57	3.34	12.79
	0.029	2.19	4.6	13.85
	0.022	2.03	4.15	14.03
	0.058	2.78	5.73	22.62
	0.021	1.78	3.74	7.68
	0.02	1.73	3.47	10.29
	0.024	1.7	3.56	7.19
	0.019	1.64	3.45	13.19
	0.0000091	0.38	0.99	1.02
	0.069	3.17	6.35	20.61
	0.083	3.06	6.6	14.97
	0.025	1.91	3.86	15.07
	0.03	2.15	4.5	14.93
	0.05	2.66	5.33	16.11
	0.028	2.23	4.46	11.68
	0.043	2.35	4.89	16.48
	0.048	2.6	5.35	16.29
	0.039	2.59	5.4	13.4
	0.034	2.57	5.28	15.15
	0.023	1.97	4.06	9.83
	0.016	1.82	3.67	12.58
	0.019	1.89	3.8	11.05
	0.054	2.86	6.12	15.23
	0.037	2.28	5.09	17.74
	0.042	2.65	5.36	17.09
	0.026	2.19	4.67	11.68
	0.028	2.16	4.33	14.6
	0.038	2.33	4.82	18.63
	0.059	2.87	5.94	22.92
	0.064	2.98	5.98	18.37
	0.055	2.65	5.66	16.81
	0.028	2	4.27	13.79
	0.049	2.57	5.15	18.44

	0.023	1.9	3.93	14.32
	0.038	2.38	4.9	17.31
	0.036	2.36	4.81	14.14
	0.033	2.1	4.33	14.53
	0.094	3.32	6.77	18.78
	0.042	2.41	5.07	15.61
	0.032	2.28	4.81	14.8
	0.033	2.17	4.34	14.75
	0.032	2.2	4.85	12.94
	0.025	2.25	4.5	15.41
	0.038	2.47	4.95	16.26
	0.054	2.5	5.24	17.26
	0.025	2.02	4.14	13.1
	0.02	1.78	3.66	12.32
	0.025	2.18	4.36	11.01
	0.027	2.28	4.69	12.38
	0.065	3.02	6.05	18.93
	0.027	2.21	4.66	8.64
	0.058	2.69	5.46	24.44
	0.035	2.39	4.78	13.68
	0.012	1.52	3.04	8.53
	0.055	2.53	5.06	19.15
	0.015	1.71	3.65	9.21
	0.063	2.66	5.34	21.38
	0.033	2.19	4.76	11.35
	0.046	2.59	5.18	23.39
	0.037	2.27	4.72	15.76
	0.043	2.56	5.39	21.05
	0.04	2.48	5.03	18.98
	0.078	2.81	5.66	22.72
	0.028	2.33	4.66	18.92
	0.042	2.48	5.08	20.58
	0.037	2.25	4.5	18.39
	0.08	3.03	6.07	29.12
	0.076	2.94	6.05	23.57
	0.055	2.52	5.05	20.55
	0.033	2.35	4.86	16.61

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE UNA ESPECIE ABISAL DE OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE LAS INFILTRACIONES DE METANO DEL MARGEN DE SONORA.

	0.039	2.45	4.98	16.15
	0.036	2.17	4.65	14.59
	0.045	2.48	5	22.32
	0.033	2.28	4.56	16.55
	0.037	2.21	4.44	15.4
	0.029	2.01	4.33	14.34
	0.065	3.08	6.3	23.61
	0.076	3.27	6.75	28.86
	0.084	3.49	7.21	23.37
	0.042	2.58	5.17	17.75
	0.045	2.75	5.51	17.23
	0.023	2.01	4.11	14.1
	0.04	2.42	4.84	18.19
	0.042	2.37	4.87	21.27
	0.061	3.03	6.07	20.26
	0.051	2.95	5.9	19.25
	0.059	2.91	5.86	18.58
	0.039	2.38	4.93	16.46
	0.033	2.56	5.12	19.29
	0.057	2.92	6.05	16.36
	0.053	3.04	6.19	20.94
	0.028	2.21	4.43	15.46
	0.059	2.66	5.37	17.78
	0.063	3.16	6.55	20.19
	0.07	3.05	6.17	27.34
	0.048	2.63	5.33	16.47
	0.035	2.37	4.74	17.17
	0.047	2.58	5.16	15.38
	0.059	2.97	6	22.77
	0.061	2.94	5.89	25.53
	0.027	2.47	5.08	12.51
	0.043	2.44	5.02	17.47
	0.029	2.4	4.9	14.03
	0.028	2.18	4.52	17.09
	0.032	2.33	4.74	15.28
	0.025	2.25	4.5	10.37
	0.021	2.02	4.05	13.91

	0.03	2.25	4.51	16.01
	0.028	2.11	4.49	16.48
	0.059	3.18	6.36	23.62
	0.057	2.72	5.45	25.56
	0.05	2.66	5.65	15.15
	0.056	2.83	5.81	15.16
	0.059	2.97	6.07	20.85
	0.035	2.36	4.73	20.28
	0.04	2.31	4.62	20.08
	0.059	2.86	5.9	21.06
	0.057	2.86	6.23	15.57
	0.062	3.12	6.28	20.41
	0.049	2.9	5.93	13.9
	0.055	2.72	5.74	18.64
	0.054	2.88	6.14	20.68
	0.054	2.63	5.26	22.78
	0.051	2.76	5.87	23.01
	0.053	2.98	6.08	18.62
	0.017	1.99	4.07	8.69
	0.061	2.96	5.92	27.98
	0.032	2.25	4.55	17.49
	0.033	2.39	4.92	17.13
	0.032	2.22	4.44	14.26
	0.039	2.53	5.29	16.92
	0.046	2.61	5.38	18.46
	0.056	2.77	5.6	18.1
	0.023	1.78	3.56	12.77
	0.029	2.11	4.23	17.44
	0.029	2.17	4.34	12.56
	0.027	2.05	4.27	12.96
	0.052	2.81	5.82	18.15
	0.069	3.28	6.56	21.58
	0.04	2.76	5.52	14.49
	0.046	2.82	5.86	24.61
	0.049	2.5	5.17	22.85
	0.068	3.24	6.71	22.67
	0.039	2.64	5.42	15.47

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE UNA ESPECIE ABISAL DE OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE LAS INFILTRACIONES DE METANO DEL MARGEN DE SONORA.

	0.039	2.45	5.05	18.01
	0.041	2.5	5.08	15.24
	0.058	2.91	5.82	24.91
	0.06	3.08	6.26	21.15
	0.03	2.65	5.4	15.71
	0.025	2.28	4.57	sin brazos
	0.056	3	6	17.53
	0.04	2.62	5.25	18.59
	0.043	2.62	5.47	16.14
	0.036	2.35	4.74	15.55
	0.04	2.93	5.87	13.56
	0.065	3.17	6.35	21.45
	0.019	2.19	4.43	14.26
	0.058	2.74	5.69	18.58
	0.036	2.34	4.69	13.87
	0.059	3.04	6.08	16.86
	0.039	2.52	5.37	20.62
	0.063	3.01	6.02	23.36
	0.041	2.52	5.39	19.57
	0.02	2.02	4.2	15.54
	0.021	2.08	4.16	11.86
	0.014	1.7	3.41	9.91
	0.02	1.88	3.77	14.74
	0.021	1.88	3.9	9.99
	0.035	2.35	4.7	16.16
	0.02	2.1	4.2	13.3
	0.026	2.23	4.46	16.66
	0.029	2.44	4.89	sin brazos
	0.075	2.94	5.89	21.12
1757-13	0.054	2.39	4.88	9.86
	0.05	2.55	5.1	20.22
	0.065	2.85	5.72	15.04
	0.032	2.18	4.36	16.18
	0.06	2.97	5.98	16.94
	0.047	2.39	4.98	13.26
	0.033	2.09	4.43	17.78
	0.041	2.7	5.49	11.35

	0.053	2.58	5.44	20.76
	0.03	1.91	3.83	9.89
	0.039	2.42	5.24	12.43
	0.007	0.93	1.86	4.03
	0.05	0.74	2.29	6.18
	0.05	2.69	5.38	16.04
	0.038	2.42	4.87	16.19
	0.029	2.1	4.2	10.32
	0.031	2.24	4.48	10.06
	0.023	1.96	3.97	13.8
	0.024	1.76	3.53	13.99
	0.028	2.16	4.34	15
	0.029	2.03	4.06	13.63
	0.023	1.68	3.36	10.72
	0.028	2.18	4.39	13.2
	0.033	1.91	3.84	16.79
	0.016	1.86	3.86	5.88
	0.014	1.6	3.3	9.62
	0.012	1.38	2.76	9.86
	0.037	2.38	5.12	15.29
	0.05	2.6	5.2	17.19
	0.035	2.45	4.9	11.73
	0.065	3.1	6.37	22.1
	0.046	2.45	4.96	15.39
	0.064	2.7	5.56	21.25
	0.013	1.39	2.91	9.57
	0.043	2.34	4.69	20.97
	0.06	3.01	6.02	22.14
	0.039	2.49	4.98	12.18
	0.019	1.55	3.3	10.67
	0.025	2.24	4.48	9.56
	0.02	1.92	3.85	11.78
	0.022	1.94	4.09	12.93
	0.022	1.88	3.76	13.81
	0.027	2.06	4.12	12.48
	0.05	2.71	5.42	23.81
	0.056	2.7	5.69	23.91

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE UNA ESPECIE ABISAL DE OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE LAS INFILTRACIONES DE METANO DEL MARGEN DE SONORA.

	0.025	2.02	4.04	14.48
	0.049	2.79	5.67	20.04
	0.033	2.14	4.39	14.76
	0.016	1.54	3.08	7.99
	0.026	2.08	4.17	14.76
	0.019	1.94	3.94	12.31
	0.036	2.21	4.42	12.92
	0.025	2.09	4.18	12.44
	0.015	1.47	3.15	8.48
	0.019	1.64	3.29	11.82
	0.028	1.97	4.2	17.15
	0.051	2.74	5.54	20.72
	0.024	2.11	4.23	13.03
	0.027	2.08	4.4	10.16
	0.029	2.24	4.59	11.97
	0.04	2.41	4.82	18.49
	0.029	2	4	12.87
	0.035	2.4	4.92	16.34
	0.037	2.45	4.91	18.35
	0.087	3.01	6.05	27.97
	0.025	2.04	4.08	11.17
	0.02	1.91	3.83	10.36
	0.028	2.26	4.53	10.24
	0.056	2.76	5.54	20.41
	0.029	2.36	4.92	13.82
	0.034	2.42	4.85	14.62
	0.034	2.39	4.78	17.38
	0.034	2.38	4.76	15.11
	0.047	2.59	5.18	15.59
	0.022	1.83	3.77	12.46
	0.035	2.42	4.84	15.59
	0.017	1.8	3.66	10.12
	0.02	1.87	3.74	10.06
	0.026	2.12	4.48	15.79
	0.027	2.08	4.22	9.43
	0.041	2.5	5	14.47
	0.021	1.72	3.44	12.06

	0.021	1.91	3.83	8.95
	0.009	1.46	2.92	9.87
	0.016	1.66	3.49	9.99
	0.021	1.83	3.66	13.61
	0.024	1.94	3.89	13.88
	0.014	1.61	3.23	8.62
	0.019	1.8	3.79	11.42
	0.021	1.79	3.58	8.81
	0.012	1.52	3.09	5.48
	0.041	2.73	5.46	8.72
	0.009	1.33	2.67	8.28
	0.016	1.69	3.28	7.03
	0.011	1.35	2.84	9.74
	0.014	1.6	3.31	10.19
	0.018	1.71	3.42	5.92
	0.064	3.03	6.13	19.58
	0.045	2.75	5.58	19.12
	0.043	2.69	5.48	17.34
	0.046	2.66	5.32	20.28
	0.054	2.54	5.25	19.56
	0.047	2.62	5.24	19.67
	0.066	3.1	6.2	23.99
	0.073	3.07	6.18	18.96
	0.036	2.68	5.5	14.43
	0.053	2.88	5.86	18.88
	0.072	2.46	4.93	21.44
	0.046	2.84	5.68	14.42
	0.084	3.38	6.76	19.61
	0.019	1.99	3.99	15.35
	0.068	2.56	5.13	18.07
	0.044	2.82	5.64	18.32
	0.085	3.44	6.88	22.12
	0.069	3.05	6.11	23.09
	0.042	2.42	4.85	17.09
	0.054	3.12	6.25	16.28
	0.052	2.66	5.41	15.01
	0.034	2.42	4.84	14.88

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE UNA ESPECIE ABISAL DE OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE LAS INFILTRACIONES DE METANO DEL MARGEN DE SONORA.

	0.059	3	6	10.68
	0.055	2.83	5.66	19.84
	0.037	2.69	5.45	17.25
	0.048	3.08	6.16	16.91
	0.022	1.85	3.84	12.38
	0.028	2.33	4.87	12.53
	0.042	2.92	5.86	8.24
	0.04	2.61	5.22	13.21
	0.045	2.78	5.57	19.35
	0.05	2.8	5.6	13.41
	0.037	2.29	4.75	16.34
	0.056	2.81	5.78	17.37
	0.016	1.78	3.56	10.62
	0.066	3.18	6.36	24.31
	0.047	2.61	5.23	19.95
	0.077	3.41	6.82	19.34
	0.075	3.09	6.24	24.34
	0.027	2.06	4.13	14.48
	0.044	2.66	5.51	17.34
	0.014	1.58	3.34	6.26
	0.066	2.72	5.44	14.47
	0.014	1.63	3.31	11.74
	0.032	2.42	4.85	13.76
	0.036	2.38	4.76	17.27
	0.042	2.54	5.14	18.04
	0.048	2.77	5.55	21.61
	0.048	2.74	5.79	16.33
	0.06	3.11	6.3	11.54
	0.021	2	4	10.29
	0.041	2.41	4.82	15.73
	0.048	2.64	5.32	14.23
	0.015	1.73	3.47	9.39
	0.019	1.9	3.85	8.78
	0.073	3.17	6.35	22.74
	0.044	2.47	5.16	11.72
	0.044	2.44	5.01	18.06
	0.054	3.01	6.08	19.57

	0.029	2.07	4.14	14.93
	0.033	2.32	4.65	8.74
	0.056	3.14	6.38	16.67
	0.026	2.08	4.17	11.05
	0.032	2.31	4.7	10.86
	0.05	2.6	5.21	13.62
	0.044	2.49	4.98	14.74
	0.058	3.12	6.24	20.33
	0.045	2.61	5.22	7.93
	0.056	2.87	5.81	20.05
	0.037	2.35	4.71	18.04
	0.078	3.27	6.73	18.53
	0.05	2.62	5.29	7.43
	0.026	2.35	4.7	9.2
	0.017	1.81	3.96	7.31
	0.021	1.89	3.78	5.44
	0.009	1.36	2.72	5.58
	0.006	1.15	2.3	5.23
	0.007	1.07	2.15	5.39
	0.008	1.3	2.6	6.19

**Anexo 4.** Datos morfométricos para el sitio Ayala.

SITIO/ INMERSIÓN	PESO HÚMEDO FIJADO (g)	RADIO DEL DISCO (mm)	DIÁMETRO DEL DISCO (mm)	LARGO DEL BRAZO (mm)
<b>Ayala</b>				
1749-5	0.046	2.61	5.23	15.19
	0.04	2.47	5.13	7.73
	0.034	2.32	4.8	5.58
	0.032	2.15	4.34	5.26
	0.04	2.42	4.84	15.69
	0.011	1.43	2.86	10.09
	0.049	2.71	5.67	16.11
	0.031	2.28	4.57	7.02
	0.033	2.25	4.5	6.47
	0.039	2.46	4.92	9.27
	0.025	2.01	4.02	12.08
	0.041	2.74	5.3	2.99
	0.055	2.67	5.46	20.69
	0.026	1.73	3.65	16.89
	0.074	2.88	5.82	23.71
	0.06	3.02	6.04	21.78
	0.007	1.2	2.41	8.3
	0.033	2.18	4.44	19.76
	0.018	1.98	4.05	11.02
	0.019	1.87	3.74	14.25
	0.099	3.18	6.43	25.16
	0.013	1.39	2.78	12.41
	0.022	1.92	3.84	13.27
	0.047	2.38	4.82	22.34
	0.042	2.5	5	15.58
	0.04	2.77	5.67	18.43
	0.041	2.48	4.97	11.59
	0.079	2.79	5.79	27.56
	0.043	2.56	5.16	17.87
	0.032	2.22	4.51	16.9
	0.039	2.36	4.82	17.41
	0.012	1.61	3.23	12.45

	0.051	2.56	5.32	16.59
	0.051	2.75	5.54	21.23
	0.04	2.21	4.52	18.53
	0.027	2.12	4.28	13.17
	0.044	2.37	4.79	16.77
	0.047	2.54	5.09	19.98
	0.017	1.67	3.35	11.52
	0.066	2.78	5.56	26.77
	0.079	2.93	5.86	21.54
	0.067	2.85	5.89	18.2
	0.03	2.14	4.33	16.03
	0.046	2.53	5.11	15.03
	0.067	3	6.04	21.01
	0.033	2.42	4.84	12.68
	0.027	1.89	3.79	15.39
	0.015	1.46	2.92	11.11
	0.032	2.22	4.44	15.95
	0.077	3.08	6.17	21.63
	0.032	2.15	4.3	17.24
	0.027	2.19	4.55	13.55
	0.073	3.01	6.02	23.54
	0.059	2.66	5.41	22.15
	0.086	3.22	6.44	23.89
	0.046	2.5	5	16.73
	0.036	2.23	4.5	16.94
	0.032	2.26	4.52	15.79
	0.028	2.01	4.03	12.92
	0.035	2.27	4.55	17.32
	0.017	1.69	3.38	10.27
	0.013	1.45	2.9	9.88
	0.038	2.17	4.44	18.84
	0.012	1.66	3.32	10.3
	0.038	2.27	4.54	10.49
	0.007	1.27	2.67	8.82
	0.005	0.098	2.08	6.13
	0.033	2.06	4.13	14.98
	0.014	1.55	3.11	11.04

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE UNA ESPECIE ABISAL DE OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE LAS INFILTRACIONES DE METANO DEL MARGEN DE SONORA.

	0.026	2.21	4.43	15.52
	0.022	1.96	3.93	16.16
	0.04	2.33	4.73	17.27
	0.014	1.64	3.28	13.76
	0.045	2.4	4.84	20.46
	0.046	2.39	4.79	15.6
	0.018	1.73	3.47	12.49
	0.024	1.96	3.92	11.09
	0.04	2.37	4.81	16.71
	0.054	2.72	5.45	19.28
	0.029	2	4	17.78
	0.049	2.67	5.35	14.24
	0.023	1.9	3.93	13.41
	0.06	2.68	5.54	18.61
	0.065	2.82	5.64	14.41
	0.039	2.4	5.05	19.36
	0.073	3.32	6.33	23.97
	0.013	1.46	2.93	8.77
	0.029	1.95	3.9	11.22
	0.074	2.94	6.02	19.85
	0.047	2.67	5.41	16.89
	0.047	2.48	4.97	22.73
	0.019	1.77	3.54	15.12
	0.057	2.82	5.66	20.79
	0.039	2.29	4.58	14.56
	0.059	2.57	5.53	18.96
	0.047	2.52	5.04	21.84
	0.022	1.73	3.47	14.54
	0.064	3.09	6.19	17.6
	0.041	2.58	5.17	12.22
	0.069	2.61	5.23	23.31
	0.02	1.79	3.58	14.32
	0.011	1.51	3.03	9.52
	0.015	1.64	3.29	8.78
	0.054	2.47	4.95	18.34
	0.059	2.9	5.93	20.79
	0.025	2.01	4.11	12.21

	0.017	1.58	3.24	11.67
	0.019	1.74	3.49	10.18
	0.066	3	6	21.64
	0.017	1.78	3.56	7.33
	0.011	1.33	2.66	11.49
	0.019	1.84	3.74	13.45
	0.07	2.95	5.91	23.83
	0.057	2.81	5.62	20.12
	0.061	2.83	5.66	18.63
	0.03	2.06	4.12	14.22
	0.053	2.48	5.03	20.11
	0.045	2.54	5.21	18.3
	0.032	2.09	4.18	13.57
	0.044	2.08	4.17	20.64
	0.033	2.33	4.66	19.88
	0.008	1.45	3	8.42
	0.03	2.15	4.3	15.66
	0.029	2.06	4.13	15.98
	0.013	1.54	3.08	9.3
	0.008	1.46	2.93	7.18
	0.013	1.53	3.07	12.25
	0.049	2.62	5.28	17.16
	0.024	1.95	3.91	14.16
	0.055	2.5	5.05	24.12
	0.042	2.44	4.98	20.79
	0.074	2.89	5.86	22.86
	0.061	2.58	5.16	21.87
	0.027	1.86	3.72	17.25
	0.032	2.29	4.63	17.73
	0.034	2.33	4.8	18.74
	0.014	1.67	3.22	11.65
	0.019	1.68	3.36	12.89
	0.039	2.25	4.56	18.13
	0.046	2.32	4.64	21.46
	0.018	1.71	3.51	10.38
	0.04	2.41	4.82	19.02
	0.045	2.69	5.38	10.08

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE UNA ESPECIE ABISAL DE OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE LAS INFILTRACIONES DE METANO DEL MARGEN DE SONORA.

	0.046	2.33	4.66	20.44
	0.042	2.39	4.78	17.83
	0.008	1.15	2.36	9.03
	0.012	1.36	2.92	9.73
	0.022	1.65	3.31	13.64
	0.03	2.1	4.21	16.4
	0.068	2.73	5.47	19.79
	0.028	1.93	3.87	14.72
	0.025	1.96	3.96	13.65
	0.04	2.15	4.3	19.31
	0.024	1.69	3.49	11.08
	0.013	1.53	3.06	11.02
	0.009	1.1	2.21	10.83
	0.015	1.36	2.73	10.54
	0.09	3.07	6.15	24.75
	0.013	1.34	2.69	9.52
	0.007	1.32	2.64	5.71
	0.071	2.74	5.56	20.87
	0.022	1.76	3.64	13.37
	0.01	1.18	2.36	10.42
	0.023	1.99	4.03	11.11
	0.013	1.32	2.65	10.99
	0.005	1.09	2.18	4.89
	0.072	2.83	5.7	25.39
	0.007	1.17	2.34	6.57
	0.009	1.35	2.82	10.01
	0.027	2.02	4.04	16.54
	0.064	2.69	5.38	22.63
	0.078	3	6	23.09
	0.099	3.22	6.38	23.99
	0.088	2.92	5.85	21.46
	0.072	2.72	5.44	24.15
	0.093	2.96	5.92	28.01
	0.00000104	0.42	0.87	0.82
	0.00000108	0.49	0.98	1.01
	0.00000125	0.5	1.02	1.11
	0.00000221	0.44	0.88	1.25

	0.00000238	0.51	1.03	1.67
	0.00000238	0.58	1.17	1.69
	0.00000402	0.7	1.4	2.13
	0.00000663	0.72	1.46	2.17
	0.00000815	0.84	1.69	3.72
	0.00000966	0.96	1.92	3.05
1760-16	0.044	2.42	4.91	17.49
	0.053	2.92	5.88	15.99
	0.054	2.37	4.9	12.27
	0.022	1.72	3.44	10.54
	0.082	2.8	5.93	22.11
	0.034	1.94	3.88	16.1
	0.015	1.53	3.2	8.23
	0.056	2.5	5.01	20.15
	0.025	2.04	4.08	14.35
	0.027	1.94	3.89	15.18
	0.015	1.61	3.22	11.32
	0.027	2.07	4.15	13.42
	0.017	1.77	3.67	5.77
	0.03	2.25	4.69	6.48
	0.048	2.57	5.33	15.86
	0.017	1.71	3.53	11.31
	0.047	2.59	5.24	13.87
	0.039	2.59	5.19	12.73
	0.055	2.86	5.72	21.09
	0.043	2.55	5.11	9.92
	0.05	2.65	5.42	8.44
	0.044	2.74	5.51	13.66
	0.062	3.04	6.14	19.14
	0.054	2.83	5.7	20.81
	0.051	2.79	5.58	14.11
	0.028	2.51	5.22	9.58
	0.033	2.57	5.14	6.38
	0.046	2.51	5.03	12.71
	0.063	3.03	6.07	22.81
	0.042	2.53	5.06	9.16
	0.063	2.79	5.71	20.32

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE UNA ESPECIE ABISAL DE OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE LAS INFILTRACIONES DE METANO DEL MARGEN DE SONORA.

	0.042	2.7	5.4	15.97
	0.051	2.97	6.04	10.78
	0.044	2.93	6.02	10.62
	0.045	2.72	5.53	14.27
	0.049	2.71	5.42	15.48
	0.038	2.59	5.18	14.74
	0.053	2.82	5.68	16.25
	0.061	3.06	6.12	11.44
	0.042	2.53	5.08	8.51
	0.036	2.52	5.15	9.44
	0.041	2.47	5.05	10.77
	0.035	2.57	5.15	12.08
	0.05	2.86	5.72	13.29
	0.054	2.62	5.29	14.86
	0.054	2.78	5.74	17.16
	0.058	3.06	6.12	12.76
	0.045	2.61	5.31	21.49
	0.046	2.7	5.53	16.16
	0.043	2.64	5.28	13.15
	0.048	2.68	5.37	22.91
	0.031	2.4	4.85	13.06
	0.049	2.53	5.06	17.92
	0.068	3.31	6.62	15.77
	0.027	2.14	4.29	11.53
	0.031	disco incompleto	disco incompleto	8.84
	0.066	3.13	6.26	15.38
	0.033	2.27	4.63	9.26
	0.068	3.04	6.2	17.07
	0.063	2.18	4.4	19.73
	0.065	2.86	5.73	23.98
	0.035	2.49	5.03	13.36
	0.039	2.65	5.31	14.44
	0.033	2.62	5.25	8.29
	0.043	2.47	5.05	13.08
	0.051	2.87	5.78	18.31
	0.046	2.7	5.4	15.73
	0.041	2.75	5.59	8.49

	0.037	2.45	4.96	11.66
	0.066	3.22	6.44	14.59
	0.035	2.51	5.12	13.66
	0.028	2.34	4.68	10.91
	0.05	2.58	5.16	10.12
	0.04	2.57	5.15	12.06
	0.041	2.86	5.8	9.63
	0.014	1.78	3.65	10.79
	0.049	2.83	5.67	8.76
	0.035	2.38	4.76	9.81
	0.055	2.67	5.34	20.43
	0.03	2.45	4.9	10.51
	0.045	3.03	6.08	9.13
	0.036	2.56	5.27	9.59
	0.06	2.79	5.59	17.35
	0.046	2.74	5.52	13.6
	0.034	2.35	4.87	14.68
	0.032	2.62	5.24	6.09
	0.029	2.47	5.14	4.49
	0.039	2.7	5.4	6.41
	0.045	2.93	5.89	12.41
	0.026	2.3	4.6	7.12
	0.05	2.99	5.99	13.56
	0.046	2.78	5.56	13.78
	0.054	3.11	6.22	13.44
	0.034	2.44	4.96	12.11
	0.044	2.91	5.87	6.55
	0.046	2.82	5.65	sin brazos
	0.035	2.58	5.26	sin brazos
	0.029	2.39	4.78	12.99
	0.05	3.13	6.26	12.38
	0.05	2.97	5.95	17.05
	0.039	2.55	5.1	12.01
	0.029	2.32	4.64	11.63
	0.032	2.27	4.58	9.79
	0.034	2.4	5.04	6.89
	0.033	2.29	4.76	9.61

	0.046	2.34	4.69	11.77
	0.041	2.77	5.81	9.08
	0.029	2.5	5	5.43
	0.027	2.45	4.9	10.24
	0.032	2.68	5.36	7.67
	0.03	2.57	5.14	sin brazos
	0.031	2.62	5.55	sin brazos
	0.029	2.18	4.43	sin brazos
	0.023	2.14	4.42	sin brazos
	0.025	2.35	4.95	sin brazos
	0.021	1.99	4.08	sin brazos
	0.029	2.6	5.2	sin brazos
	0.03	2.37	4.74	7.91
	0.034	2.49	5.13	6.75
	0.02	1.88	3.76	13.03
	0.004	1.13	2.33	7.02
	0.037	2.67	5.39	sin brazos
	0.027	2.18	4.37	9.78
	0.031	2.42	4.85	12.75
	0.035	2.54	5.09	12.61
	0.021	1.91	3.97	9.23

### Anexo 5. Datos morfométricos para el sitio Juárez.

SITIO/ INMERSIÓN	PESO HÚMEDO FIJADO (g)	RADIO DEL DISCO (mm)	DIÁMETRO DEL DISCO (mm)	LARGO DEL BRAZO (mm)
<b>Juárez</b>				
1761-17	0.046	2.44	4.97	23.24
	0.032	2.07	4.17	16.41
	0.042	2.04	4.22	19.3
	0.032	2.1	4.2	13.96
1762-18	0.001	0.1	0.21	3.27