



Universidad Nacional Autónoma
de México
Licenciatura en Ciencias de la
Tierra



CNIDARIOS EN EL PACÍFICO ORIENTAL
TROPICAL: ARCHIPIÉLAGO DE REVILLAGIGEDO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

CIENCIAS DE LA TIERRA

P R E S E N T A:

ARACELI SERRATOS BARAJAS

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. ELVA GUADALUPE ESCOBAR BRIONES

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD.MX., 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

HOJA DE DATOS DEL JURADO

1. Datos del alumno

Apellido Paterno: Serratos

Apellido Materno: Barajas

Nombres: Araceli

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Ciencias de la Tierra

Número de cuenta:

314166861

2. Datos del Asesor

Dra.

Nombre(s): Elva Guadalupe

Apellido Paterno: Escobar

Apellido Materno: Briones

3. Datos de Sinodal 1

Dr.

Nombre(s): Claus

Apellido Paterno: Siebe

Apellido Materno:

4. Datos de Sinodal 2

Dr.

Nombre(s)

Apellido Paterno:

Apellido Materno:

5. Datos de Sinodal 3

Dr.

Nombre(s)

Apellido Paterno:

Apellido Materno:

6. Datos de Sinodal 4

Dr.

Nombre(s)

Apellido Paterno:

Apellido Materno:

7. Datos de la tesis

Macrofauna de la planicie abisal Sigsbee en el año 2012

Número de páginas

8. Palabras clave

- "Megafauna", "Revillagigedo", "Diversidad", "Bentos", "Mar profundo", "Nautilus Exploration Program", "E/V Nautilus", "Cruise ID NA092"

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias UNAM, por las oportunidades, educación y todo lo que me han brindado estos años desde que ingresé.

Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML) UNAM, por el apoyo para realizar el servicio social y la tesis en el marco del proyecto 410 Biodiversidad, estructura y funcionamiento del bentos de mar profundo en México, a cargo de la Dra. Elva Escobar Briones.

Esta investigación utilizó imágenes, videos y datos proporcionados por "Ocean Exploration Trust's *Nautilus* Exploration Program" (OET), campaña NA092 en colaboración con el ICML UNAM. El financiamiento para la campaña provino de NOAA OET. El permiso para llevar a cabo la campaña en el Área Natural Protegida Archipiélago de Revillagigedo fue EG0072017.

La M. en C. Esmeralda Morales, como miembro del laboratorio de Biodiversidad y Macroecología del ICML llevó a cabo el registro de las actividades, procesó los datos y muestras colectadas en la campaña NA092 a bordo del *Nautilus*.

Los Drs. Steve Carey, de la Universidad de Rhode Island y Claus Siebe, del Instituto de Geofísica (UNAM), fueron los investigadores responsables de la campaña NA092 "Ocean Exploration Trust's *Nautilus* Exploration Program" (OER).

El M. en C. León Felipe Álvarez, Coordinador del UNINMAR, me capacitó en el acceso a la plataforma de UNINMAR, la edición de videos, la anotación de imágenes, la elaboración de los mapas de distribución de especies y abundancias, y de las variables oceanográficas esenciales.

Aquí va cada miembro del jurado

A la Dra. Elva G. Escobar Briones, quien además de ser una excelente profesora, me guio durante estos meses de COVID-19 en el desarrollo de cada etapa del servicio social y de la tesis. Le agradezco por aclarar todas mis dudas, corregir mi trabajo y apoyarme incluso en los trámites correspondientes.

ÍNDICE

Resumen y Abstract.

1. INTRODUCCIÓN

Definición de mar profundo

Características de los ecosistemas de mar profundo

Estudio de las imágenes y video del mar profundo

Cnidarios de mar profundo

2. ANTECEDENTES

Campañas previas en el Archipiélago de Revillagigedo

Estudios realizados en cnidarios de mar profundo en el Pacífico Oriental Tropical

Estudios de Geología o Geofísica de mar profundo en la región

Vulcanismo

Batimetría en Revillagigedo

Estudios de columna de agua (hidrografía) en la región

En mar profundo

Zona de oxígeno mínimo

3. HIPÓTESIS

Planteamiento del problema

Preguntas científicas

4. OBJETIVOS

Objetivos generales

Objetivos específicos

5. ÁREA DE ESTUDIO

Geología

Hidrografía

Biota

6. ESTRATEGIA Y MÉTODOS

Trabajo de campo

Laboratorio o gabinete

Análisis de datos

7. RESULTADOS

Riqueza de especies de cnidarios por zona batimétrica

Riqueza taxonómica, variables esenciales oceánicas ambientales locales y geomorfología

Columna de agua.

Fondo marino.

8. DISCUSIÓN

9. CONCLUSIONES

10. PROPUESTAS

11. REFERENCIAS

12. ANEXO

Resumen

En 2017, Ocean Exploration Trust's Nautilus Exploration Program (OET) colaboró en la campaña NA 092 con investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en el marco del proyecto "Exploring and Mapping the Revillagigedo Archipelago World Heritage Site in Mexico". En éste se efectuó un levantamiento batimétrico del Archipiélago de Revillagigedo y se realizaron observaciones y colectas de muestras geológicas en hábitats bénticos medofóticos y afóticos usando los ROVs *Hercules* y *Argus* a bordo del buque oceanográfico *Nautilus*, del 31 octubre al 13 noviembre. Esta tesis se apoyó en los videos e imágenes de alta definición, que por primera ocasión se adquirieron en la exploración de las estructuras volcánicas en fondos marinos profundos del Archipiélago de Revillagigedo, en el Pacífico Oriental Tropical (POT). De las 4 islas volcánicas (San Benedicto, Socorro, Roca Partida y Clarión) del Archipiélago de Revillagigedo este estudio presenta resultados de tres transectos realizados al NW y al NE de la Isla Socorro en un intervalo de profundidad de 339 a 1425 m. Este intervalo está atravesado por una zona de oxígeno mínimo (concentración de O₂ disuelto de 0.5 ml/l = 22 µM).

La diversidad de cnidarios que ocurre en columna de agua y en hábitats del fondo marino se obtuvo de la revisión de 553 videos depositados en la base de datos UNINMAR. La diversidad se describió a nivel de morfotipos por la dificultad de visualizar los caracteres morfológicos en los videos. El número de registros de cnidarios en columna de agua fue muy reducido: un ejemplar del orden Semaestomeae, uno del orden Limnomedusae y uno del orden Narcomedusae que ocurrieron entre 683 y 1421 m de profundidad. El estudio de cnidarios de columna de agua a partir de videos está en su inicio y tiene diversas limitantes en el reconocimiento de las especies en un espacio 4D y la necesidad de integrar de forma combinada conducta y morfología. Por ello, el número bajo de ejemplares es común.

Los hábitats bénticos registrados incluyen depósitos volcánicos superpuestos y derrames de lava almohadillada emplazados a través de tubos largos. Asociados a estos fondos se observaron 18 ejemplares: 4 del orden Actiniaria, 6 del orden Alcyonacea, 5 del orden Scleractinia, 2 del orden Antipatharia y 1 del orden Pennatulacea para profundidades en un intervalo de 339 a 1383 m. El estudio de las especies bénticas se ha estudiado mejor. Los valores se comparan a los de diversos sitios de archipiélagos en el POT.

La composición y riqueza de cnidarios en columna de agua y bénticos cambian con la profundidad. A la vez, las especies bénticas se relacionan con la geomorfología del fondo marino y la concentración de oxígeno disuelto.

Introducción

Definición mar profundo

Toda la zona que se encuentra por debajo de 200 m de profundidad, incluyendo tanto a la columna de agua como al lecho marino se considera mar profundo (Pfeng y Peters Recagno, 2014). Esta región del océano presenta desde poca a nula penetración de la luz solar. La zona de penumbra es aquella donde la luz es escasa y alcanza 250 m de profundidad. La zona afótica es aquella donde no hay luz. La temperatura desciende con la profundidad, alcanzando mínimos de ~2 °C. La presión incrementa aproximadamente 1 atmósfera por cada 10 metros de profundidad (Ramirez-Llodra y Billet, 2006).

Características de los ecosistemas de mar profundo

La columna de agua se divide de la costa a mar afuera en zonas nerítica y oceánica. La primera sobre la plataforma continental y la segunda abarca las aguas más allá de la plataforma continental. La zona oceánica se divide con base en la profundidad por las zonas epipelágica o capa de mezcla, hasta los 200 m de profundidad, la mesopelágica, que va aproximadamente de 200 a 1,000 m, la batipelágica de 1,000 a 4,000 metros, la abisopelágica, de 4,000 a 6,000 m y la hadopelágica a más de 6,000 m de profundidad (Sutton, 2013). La zona epipelágica está bien iluminada y se le llama también zona eufótica, la zona mesopelágica recibe hasta el 1% de luz y se le denomina también zona de penumbra o mesofótica, mientras que las zonas batipelágica, abisopelágica y hadopelágica se encuentran en oscuridad total y se denominan en conjunto la zona afótica.

El fondo marino sigue una zonación similar. La biota que la habita recibe el nombre de Bentos y ocurre en fondos lodosos y rocosos, éstos últimos solamente en zonas volcánicas o con precipitaciones de minerales. Las zonas reciben los nombres de plataforma continental hasta los 200 m de profundidad, talud continental o zona batial de 200 a 4,000 metros, la zona abisal de 4,000 a 6,000 m y la zona hadal a más de 6,000 m de profundidad (Sutton, 2013). Este estudio siguió la zonación ilustrada en la Fig. 1.

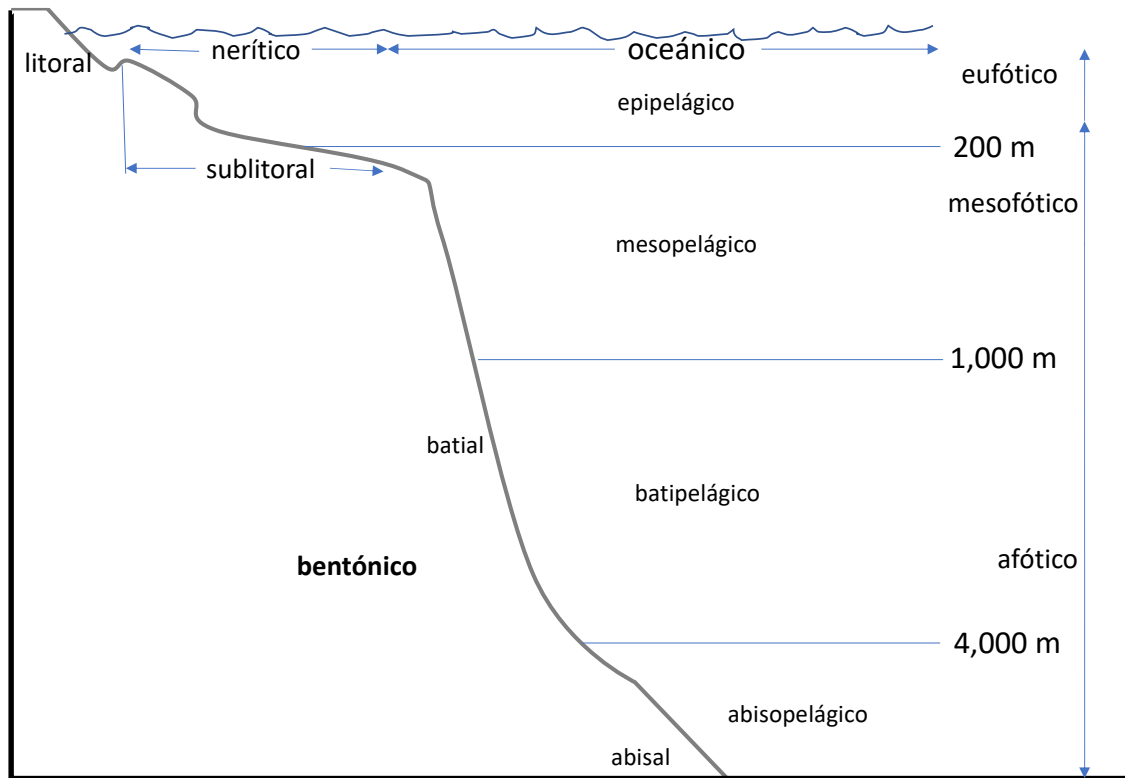


Fig. 1. Zonación oceánica, modificado de <https://www.britannica.com/science/marine-ecosystem>.

La exploración de los océanos resulta más compleja y es más costosa a medida que aumenta la profundidad. Para el estudio del mar profundo se requiere de un buque oceanográfico como parte fundamental de la infraestructura para acceder con equipos a los ecosistemas de media agua y el fondo marino. El uso de sumergibles y vehículos operados remotamente (ROV) permiten el estudio a pequeña escala y documentar cómo la vida marina se distribuye. Entre estos grandes equipos los sumergibles son autónomos y son operados por personas (HOV) como el *Alvin* o los vehículos submarinos autónomos (AUV) programados desde los buques para explorar y realizar levantamientos visuales (Clark et al., 2016). Todos ellos pueden alcanzar grandes profundidades. De éstos el tiempo en que realizan observaciones y colectas es variable. El tiempo que permanece bajo la superficie del agua se programa en sesiones de planeación para cada inmersión en cada campaña, según los objetivos que se busca alcanzar en término de mediciones, registros y colecta de muestras, entre otros.

Los HOV, los AUV, al igual que los ROV permiten recopilar datos del océano, coleccionar imágenes, video, coleccionar muestras de agua, de sustrato y de la diversidad biológica. En ocasiones se pueden emplear vehículos híbridos, que combinan las mejores características de AUV y ROV (Clark et al., 2016).

Los ROV están conectados al barco por un cable umbilical que contiene fibra óptica y cables de transmisión de energía que registran video, imágenes y datos desde los sensores montados

en el vehículo y que en muchas ocasiones son transmitidas en tiempo real. Para ello entre las estrategias de comunicación está la de telepresencia desde el sitio web de la institución que transmite la exploración hacia todo el planeta. Los equipos cableados reciben la energía eléctrica y son controlados desde la embarcación. Éstos cuentan con al menos una cámara fija, una cámara de video y lámparas, además de brazos y manos robóticas, sonares y muestreadores y sensores intercambiables para medir variables oceanográficas esenciales, como la profundidad, la temperatura, el oxígeno disuelto, la transparencia del agua y otros a demanda, en los sitios de recolección de muestras (Clark et al., 2016).

Comúnmente los ROV se pueden emplear para investigar áreas, determinar sensibilidad ambiental o peligros geológicos. Esta información facilita las evaluaciones de impacto ambiental, el monitoreo del cumplimiento y la gestión de riesgos ambientales, así como las estrategias de mitigación (Macreadie et al., 2018).

Estudio de las imágenes y video.

Las imágenes de video tomadas por los vehículos ROV facilitan el reconocer o identificar los organismos marinos y su abundancia o documentar el comportamiento animal. Las cámaras de los ROV permiten documentar campos de visión más amplio, video en 3D de alta definición, acercamientos y cuenta con lasers que permiten realizar mediciones precisas de organismos y otros objetos en el campo de visión. Las imágenes facilitan describir la riqueza de especies, los patrones de distribución, las interacciones, la dinámica, estudiar hábitats y ecosistemas, procesos oceanográficos y geomorfología de mar profundo, entre otros (Macreadie et al., 2018).

La base de datos de especies marinas WoRMS (<https://www.marinespecies.org/>), es una base de acceso abierto con arbitraje continuo por los expertos y que contiene un registro taxonómico único con más de 100 bases de datos de especies marinas del planeta. De esta deriva el portal del registro de especies de aguas profundas WoRDSS (<http://www.marinespecies.org/deepsea/>, 26 octubre 2020). Ambas validan la información con la base OBIS (<https://mapper.obis.org/>, 26 octubre 2020) (Vandepitte et al., 2018). En México las bases de datos que albergan información marina de acceso abierto son UNINMAR (<http://uninmar.icmyl.unam.mx/>) con el Atlas de Morfotipos para el AP Revillagigedo (http://uninmar.icmyl.unam.mx/mmaar/index.php/P%C3%A1gina_principal), donde muchos registros se han compartido con la base de CONABIO (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>).

Las imágenes fotográficas del lecho marino proporcionan información sobre la estructura a escala fina de los hábitats y la distribución de los organismos que no se capturan con los métodos de muestreo convencionales (Clark et al., 2016). Por ejemplo, la recolección de muestras biológicas en ocasiones no es factible por la naturaleza abrupta del fondo y solamente se documenta con imágenes la diversidad de una localidad. En el caso de algunas especies de corales de aguas profundas, como *Acanthogorgia* sp. y los miembros de la familia

Isididae (Etnoyer et al., 2006), sufren un rápido deterioro de los tejidos si no son llevados a la superficie inmediatamente después de la colecta; algunas especies están en la lista de las especies normadas por IUCN como vulnerables o en peligro y su colecta requiere permisos especiales. En el caso de los escifozoos batipelágicos de los géneros *Atolla* y *Periphylla* tienen una pigmentación a base de protoporfirina que causa daño tisular cuando se exponen a la luz (Arai, 1997) y, solamente, a través de imágenes podemos reconocerlas.

Cnidarios

La palabra proviene del griego *knide* "ortiga" y es un grupo de gran diversidad que incluye a medusas, anémonas, corales e hydras, entre otros. El Phylum incluye alrededor de 13,400 especies actuales descritas de cnidarios, divididos en 6 clases. Todos los cnidarios comparten tres características fundamentales: (1) poseen estructuras tubulares únicas llamadas *cnidae*, las cuales se encuentran contenidas dentro de cápsulas celulares que ayudan en la captura, defensa, locomoción y fijación de presas. (2) Tienden a formar colonias o conjuntos de individuos por reproducción asexual. Muchas especies de cnidarios exhiben un ciclo de vida dimórfico que puede incluir dos morfologías completamente diferentes: una forma polipoide y una forma medusoide adulta (Brusca et al., 2016).

(3) Todos los cnidarios poseen una cavidad central rodeada por dos capas celulares (Fig. 2). El endodermo, que recubre la cavidad interior y el ectodermo que es la capa exterior. Entre el endodermo y el ectodermo está el mesoglea, que es una capa no celular y los nematocistos, que les ayudan a alimentarse y a repeler a los depredadores. Los últimos están presentes en las células ectodérmicas, denominadas cnidocitos. En algunos casos, estos contienen toxinas mortales, y en otros contienen sustancias químicas que paralizan a la presa, pero no la matan (Thorp y Covich, 2010).

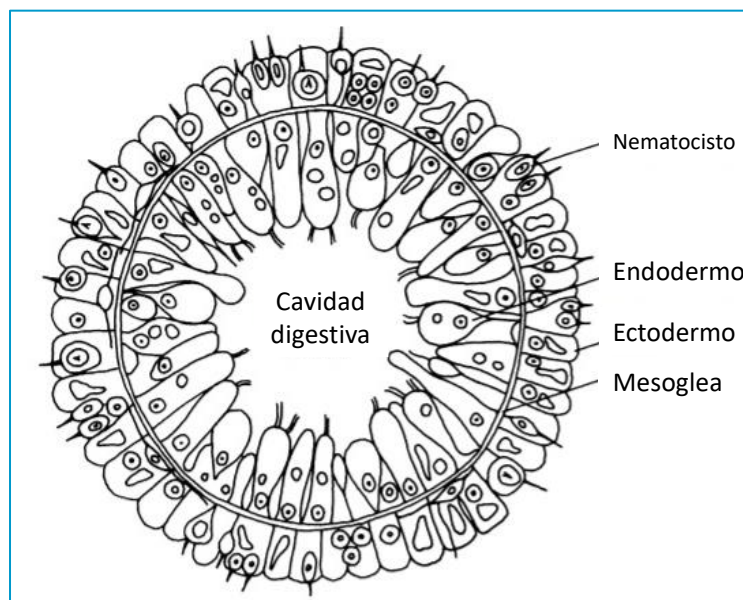


Fig. 2: Sección transversal a través de la cavidad digestiva (coelenteron) de cnidario generalizado (tomado y modificado de Thorp y Covich, 2010).

De las dos formas corporales básicas que presentan, los pólipos suelen ser alargados en forma de tubo a lo largo del eje bucal-aboral, mientras que las medusas tienen aproximadamente forma de campana y su mayor dimensión corporal, suele ser perpendicular al eje oral-aboral. El coelenteron de un pólipo suele ser más profundo que el ancho de su cuerpo, y en el caso de las medusas, por el contrario, éste suele ser más ancho que profundo. Además, las medusas generalmente tienen una mesoglea relativamente más gruesa (Thorp y Covich, 2010).

Carecen de cefalización, poseen sistema nervioso centralizado y órganos diferenciados en los sistemas respiratorio, circulatorio y excretor (Brusca et al., 2016).

Los cnidarios son en su mayoría marinos y comúnmente son carnívoros, ya sean sésiles (pólipos) o planctónicos (medusas), aunque algunos son suspensívoros y en aguas someras las especies mantienen relaciones simbióticas con microorganismos intracelulares. El tamaño de los cnidarios puede ir desde pólipos y medusas casi microscópicos hasta medusas individuales de 2 m de ancho y tentáculos de 25 m de largo. Las colonias, como los corales, pueden alcanzar muchos metros de largo (Brusca et al., 2016).

Antecedentes

Campañas previas en el Archipiélago de Revillagigedo

Estudios realizados en cnidarios de mar profundo en el Pacífico Oriental Tropical

El Pacífico Oriental Tropical posee una gran diversidad biológica, donde encontramos organismos como los cnidarios, de los cuales se ha registrado la presencia de gorgonias (Subclase Octocorallia: orden Alcyonacea), mismas que conforman un grupo rico y extenso en especies a profundidades menores a 40 m, donde la mayor riqueza de especies ocurre entre 7–10 ° N, frente a Panamá y Costa Rica. La distribución de esta biota se relaciona a temperaturas favorables en estas latitudes (Núñez-Flores et al., 2019). A mayor profundidad la diversidad coralina es poco conocida.

En el Archipiélago de Revillagigedo, alrededor de las islas Socorro, Clarión y San Benedicto, se ha registrado en aguas someras una variedad de corales hermatípicos del orden Scleractinia, de los cuales, más de la mitad se distribuyen únicamente en las islas oceánicas del Pacífico oriental y cerca de un tercio se distribuyen exclusivamente dentro del archipiélago (Ketchum y Reyes-Bonilla, 2001). La riqueza de especies de corales formadores de arrecife incluye de 20 a más especies en las Islas de Revillagigedo, al igual que en el Golfo de California y el continente mexicano, con los cuales se muestra una relación cercana, de tal forma que podría considerarse como una provincia coralina del norte (Glynn y Ault, 2000). Los corales a mayor profundidad no se han documentado.

La base de datos OBIS presenta además de registros para organismos de la clase Anthozoa, registros para las clases Hydrozoa, Scyphozoa y Staurozoa, los cuales se distribuyen por debajo de 200 m de profundidad ("OBIS Mapper", n.d). Ver anexo 1.

Estudios de geología y geofísica de mar profundo en la región/ vulcanismo y batimetrías en Revillagigedo

En 1993, a aproximadamente 4 km de la costa oeste de la isla Socorro ocurrió la última erupción volcánica submarina en el archipiélago y en dicha erupción se generaron bloques de lava (escoria) flotantes que fueron descritos por el Dr. Claus Siebe del Instituto de Geofísica de la UNAM (Siebe et al., 1995). Las inmersiones realizadas en 2017 reconocieron que la cantidad de bloques de escoria vítrea fue menor en comparación con la cantidad de clastos más pequeños del tamaño de la arena. A partir de este material se producen estructuras en el fondo marino potencialmente inestables, que son susceptibles a desgaste masivo, éstas se reconocen en la batimetría realizada como conos submarinos (Raineault, 2018).

En mar profundo ocurre una gran diversidad de procesos volcánicos incluyendo vulcanismo basáltico que descarga de manera efusiva lava en forma de almohadillas, lóbulos y flujos laminados que se observan en las imágenes del fondo en Revillagigedo. La relación que pueden tener la temperatura y viscosidad de la lava o la pendiente en la forma del flujo se han estudiado en otras regiones. De ello se ha reconocido que cuando la pendiente es baja, las almohadillas que se forman son suaves, o bien si la pendiente es moderada las almohadillas serán alargadas. En algunos casos cuando la frecuencia de erupciones es muy baja, se producen crestas de almohadillas que por su inclinación constituyen la pendiente del "talud" (Clague y Paduan, 2008).

Otros procesos volcánicos que también ocurren en mar profundo incluyen la construcción y drenaje de estanques de lava, construcción de conos circulares de cima. Estas formas de los flujos de lava han sido clasificados por Clague y Paduan (2008).

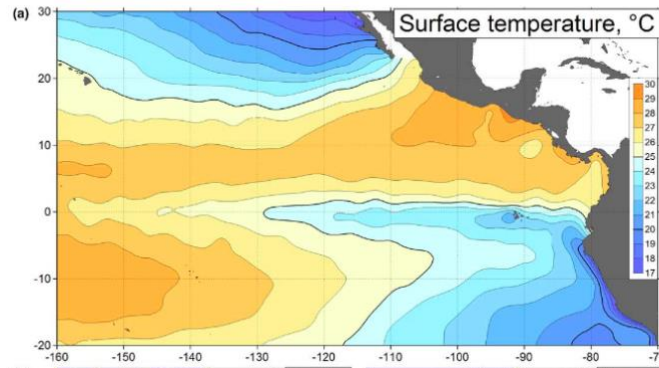
En tierra, la ceniza volcánica, que es emitida durante la erupción y transportada por viento, deposita Fe soluble. Éste, en contacto con el agua de mar, altera el ciclo biogeoquímico del Fe en la superficie del océano y causa floraciones masivas de fitoplancton. En alta mar en el Océano Pacífico se estima que la proporción de ceniza oscila entre 1% y 5%, mientras que individualmente para el Archipiélago de Revillagigedo varía entre 0.1 y 0.5 Pg / ka (Olgun et al., 2011).

Estudios de columna de agua (hidrografía) en la región /en mar profundo/ zona de oxígeno mínimo

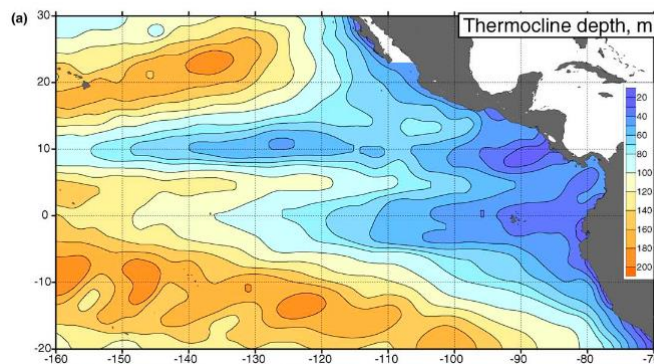
El Pacífico Oriental Tropical (POT) se caracteriza hidrográficamente por una piconclina somera, bien definida y una zona de oxígeno mínimo (Fiedler y Talley, 2006). Sus aguas se encuentran en el extremo oriental del sistema de la corriente ecuatorial en la Cuenca, entre dos grandes giros subtropicales y el fin de dos corrientes de frontera.

En las aguas superficiales al suroeste de Revillagigedo se encuentran el Domo de Costa Rica, una de las estructuras hidrográficas características de la región y la alberca caliente con temperaturas $>27.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y salinidad típica del agua superficial tropical (TSW: $T > 25\text{ }^{\circ}$, $S < 34$ UPS). La termoclina (Fig. 3) y pinoquina son someras con un gradiente de temperatura que excede $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ por cada 10 m y una gran diferencia entre el techo y piso de la termoclina. La variación estacional de la profundidad a la cual ocurre la termoclina es $< \pm 10\text{ m}$, de la misma forma, la capa de mezcla muestra patrones espaciales y temporales (Fiedler y Talley, 2006).

P.C. Fiedler, L.D. Talley / Progress in Oceanography 69 (2006) 143–180



P.C. Fiedler, L.D. Talley / Progress in Oceanography 69 (2006) 143–180



P.C. Fiedler, L.D. Talley / Progress in Oceanography 69 (2006) 143–180

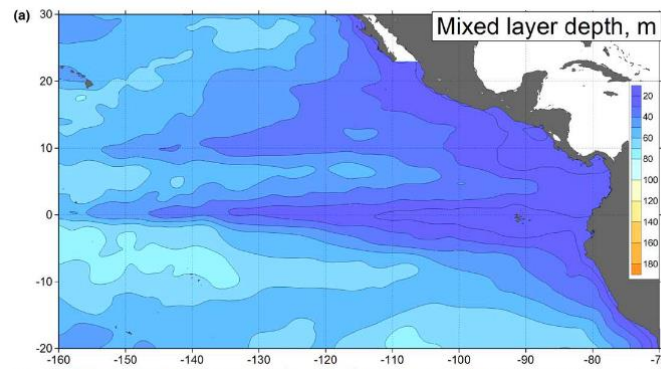


Fig. 3. Temperatura superficial, profundidad de la termoclina y de la capa de mezcla del Pacífico Oriental Tropical (Fiedler y Talley, 2006).

Las concentraciones de nutrientes en las aguas superficiales del POT son elevadas hacia la corriente superficial de frontera. Éstos junto con los valores reducidos de saturación de oxígeno reflejan el aporte de aguas enriquecidas de surgencia de las aguas profundas (1,500 – 2,500 m) donde hay mayor concentración de nutrimentos y menor concentración de OD (Reid, 1997; Tsuchiya y Talley, 1998). La nutriclina está bien definida y sigue el mismo patrón que la termoclina y picnoclina. Las diferencias espaciales y temporales en las concentraciones de nutrientes están definidas por los procesos biológicos (remineralización en aguas profundas y toma por fitoplancton) y cambian con la temperatura de las aguas superficiales ($T > 15\text{ }^{\circ}\text{C}$), el flujo de calor superficial, advección y mezcla vertical (Barber et al., 1996).

Se sabe que las zonas de oxígeno mínimo (ZOM) son regiones con concentraciones de $\text{O}_2 < 0.5\text{ ml/l}$ (o aproximadamente una saturación del 7.5%; $22\text{ }\mu\text{M}$) y suelen asociarse a la heterogeneidad de hábitats bentónicos, que se crean a partir de fuertes gradientes de oxígeno del fondo marino, reforzados por cambios en las características de los sedimentos y el contenido de materia orgánica. Cuando los niveles de O_2 en el agua son $< 0.2\text{ ml/l}$ (aproximadamente $8.93\text{ }\mu\text{mol/l}$) se les denomina aguas hipóxicas y como anóxicas en ausencia de O_2 disuelto (Gooday et al., 2010).

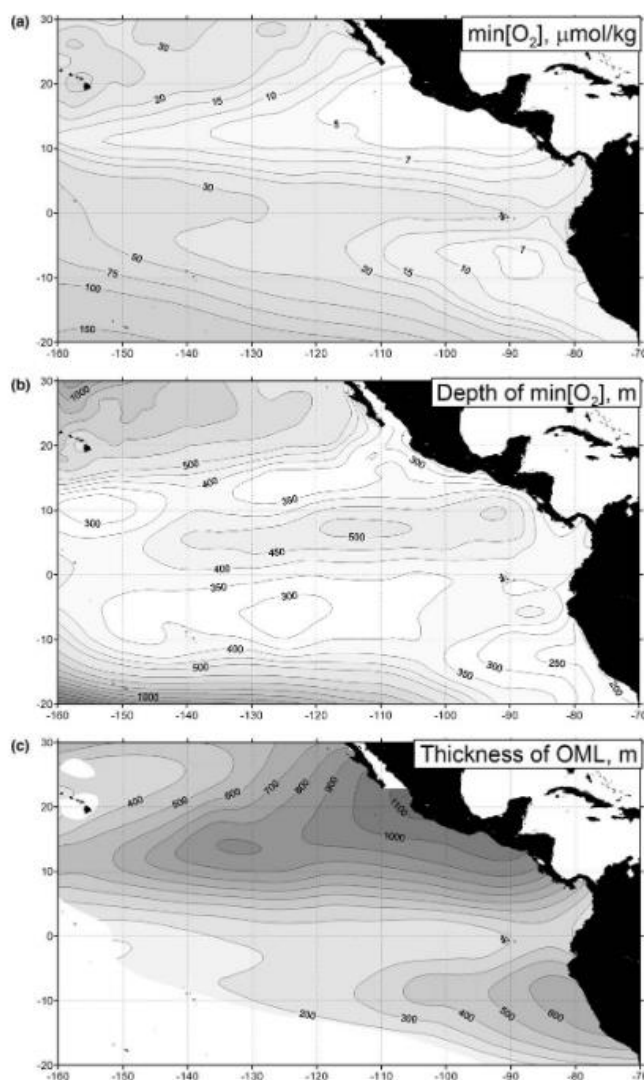


Fig. 4. Concentración mínima de oxígeno disuelto (a), profundidad de la zona de oxígeno mínimo (b) y espesor de la capa de oxígeno mínimo (c). (Fiedler y Talley, 2006).

De acuerdo con Fiedler y Talley (2006), las aguas por debajo de la piconclina se caracterizan por ser hipóxicas y anóxicas. La capa de oxígeno mínimo (Fig. 4) se ubica entre la piconclina y las aguas intermedias frente a Revillagigedo, ésta es amplia y extensa (Kamykowski y Zentara, 1990). Su presencia se atribuye a la alta productividad fitoplanctónica, a la termoclina y piconclina permanentes que impiden la convección y el intercambio de agua rica en OD de aguas profundas y con la superficie, la circulación profunda lenta con aguas profundas viejas al no haber una fuente de agua saturada en oxígeno y de densidad elevada proveniente del Pacífico Norte (Reid, 1973). El 90% de materia orgánica producida por el fitoplancton se transfiere en la cadena alimenticia en los primeros 200 m y el resto se hunde a aguas intermedias y profundas donde la respiración y descomposición bacteriana junto con otros procesos biológicos consumen el oxígeno disponible (Kester, 1975).

Hipótesis

H₁: La composición y riqueza de cnidarios difiere a lo largo de un gradiente de profundidad.

Preguntas científicas:

- ¿La composición y riqueza de las especies de cnidarios está relacionada con la geomorfología del fondo marino y profundidad en columna de agua?
- ¿La abundancia de cnidarios está estrechamente relacionada con la concentración de oxígeno disuelto?

Objetivos

Objetivo general:

- Reconocer la composición y riqueza de cnidarios de mar profundo en Revillagigedo en el Pacífico Oriental Tropical.

Objetivos específicos.

- Describir la distribución espacial de cnidarios tanto en la columna de agua como en el fondo marino.
- Describir las características de las variables esenciales oceánicas ambientales por zona batimétrica.
- Analizar el vínculo entre la distribución de cnidarios y las variables esenciales ambientales y geomorfológicas.

Área de Estudio

Geología. - El Archipiélago Revillagigedo (Fig. 5) se localiza en la región biogeográfica conocida como Pacífico Oriental Tropical (POT), que abarca desde la costa del sur de Baja California Sur, hasta Cabo Blanco, Perú. Incluye la boca del Golfo de California, a 5 islas oceánicas y grupos de islas: el Archipiélago Revillagigedo (4 islas), Isla Clipperton (Francia), Isla del Coco (Costa Rica), Isla Malpelo (Colombia) y las Islas Galápagos (Ecuador). Los límites continentales tanto al norte como al sur están dados por corrientes frías (corriente de California y corriente de Perú) provenientes de zonas templadas y que a esa latitud se desplazan de forma horizontal hacia el Pacífico central (Aguirre et al., 2015).

El Archipiélago de Revillagigedo consta de 4 islas volcánicas (San Benedicto, Socorro, Roca Partida y Clarión), las cuales yacen dentro de la zona transicional y del lecho oceánico. La Isla Clarión se localiza en la llanura abisal de la placa del Pacífico y las islas Socorro, San Benedicto y Roca Partida se encuentran cercanas a la Dorsal del Pacífico Oriental. Las islas, son un sistema de volcanes jóvenes de los cuales sólo la cima emerge sobre el nivel del mar (Aguirre et al., 2015).

El origen geológico de estas islas se ha asociado con fenómenos volcánicos e interacciones complejas entre los límites de las placas tectónicas de Rivera, la Zona de Fractura de Rivera, la

placa del Pacífico, la Dorsal del Pacífico Oriental, la Zona de Fractura de Clarión y el Sistema Dorsal del Matemático. Particularmente, la isla de Socorro, en la cual se centra esta tesis, se cree que forma parte de un sistema específico de puntos calientes (Aguirre et al., 2015).

La Isla Socorro, está formada por un volcán en escudo y con 1,050 m sobre el nivel del mar, es la más grande y alta de las cuatro islas que conforman al archipiélago. (Aguirre et al., 2015). Es la única isla volcánica sílico-peralcalina todavía activa en el Océano Pacífico (Carballido-Sánchez, 1994; Bohrson y Reid, 1997; Taran et al., 2002). La cima del volcán, conocido como Cerro Evermann, consta de una aglomeración de domos que está localizada dentro de la caldera que se formó hace aproximadamente 0.4 Ma. Actualmente el volcán sigue activo, siendo la erupción submarina de 1993, la más reciente, misma que ocurrió 3 km al oeste de la isla, y produjo conos y flujos basálticos alrededor del centro de emisión y lejos de la costa (Siebe et al., 1995).

La parte norte de la isla está constituida por flujos de lavas y rocas piroclásticas, que suelen asociarse con el Cerro Evermann, mientras que en el sur se compone de flujos de lava basáltica y conos de escoria más jóvenes que las rocas del Evermann. (Aguirre et al., 2015).

La última erupción en la isla San Benedicto fue explosiva y produjo flujos piroclásticos que formaron un cono de toba en 1952-53, el volcán Bárcena. De acuerdo con los registros, esta actividad destruyó casi toda la flora y fauna de la isla (Richards, 1966). La isla es el pico de un escudo volcánico submarino (Aguirre et al., 2015). Por otro lado, Roca Partida, que es la más pequeña de todas, es la cima de otro escudo submarino que ha dado origen a traquiandesitas, las cuales son similares a las rocas ácidas de las islas Socorro y San Benedicto, mientras que la isla Clarión, otro escudo, está dominada por rocas básicas que contienen anfíboles sódicos y piroxenos (Richards, 1964).

Finalmente, la isla Clarión se formó por erupciones volcánicas durante el Mioceno y Eoceno tardío, siendo la cumbre de un volcán submarino, cuyas diferentes fases eruptivas o de deposición no se conocen con precisión (Aguirre et al., 2015).

A profundidades mayores a 1,000 m, los costados de las islas Socorro y San Benedicto están compuestos por productos volcánicos superpuestos y centros de emisión cuya sección superior es plana y que en muchas ocasiones tienen una depresión central que probablemente sea de origen monogenético. Dichas estructuras se componen principalmente por lavas almohadilladas emplazadas por tubos largos (Raineault, 2018).

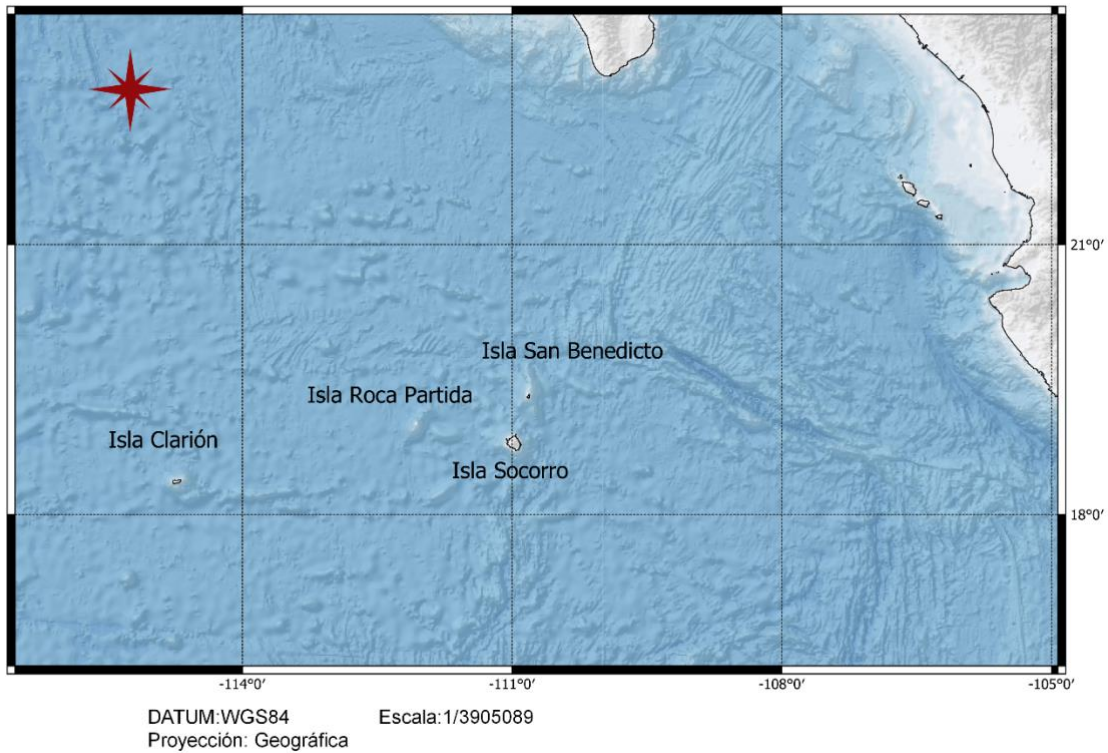


Fig. 5. Archipiélago de Revillagigedo (UNINMAR).

Hidrografía. – El Archipiélago de Revillagigedo se encuentra en una zona donde se mezclan la Corriente Ecuatorial y la de California, es decir, convergen aguas relativamente frías de entre 23 y 25 °C y aguas templadas de 25 a 27°C (Fig. 6) (Aguirre et al., 2015). La corriente ecuatorial, se compone por dos corrientes (norte y sur) que fluyen hacia el oeste, las cuales están separadas por una contracorriente que fluye hacia el este. La sección de agua fría ecuatorial se encuentra en el ecuador a 120° W y en el Este, ligeramente al sur del ecuador. La temperatura de la corriente fría disminuye hacia el este a medida que agua cada vez más fría surge de la corriente profunda ecuatorial, manteniendo una temperatura de $\pm 1-3$ °C, con temperaturas más frías en septiembre-octubre (Fiedler y Talley, 2006).

En el límite oriental, la corriente está dominada por frentes térmicos, que llegan a la piscina cálida del Pacífico oriental frente a Ecuador y al extremo sur de Baja California. Estas aguas mantienen estacionalmente una temperatura superficial de $\pm > 3$ °C (Fiedler y Talley, 2006).

La corriente de California transporta aguas frías y de baja salinidad, ricas en nutrientes desde el Pacífico Norte subártico (Fiedler y Talley, 2006). En el sistema de la corriente de California (CCS) se ha detectado un mínimo de salinidad superficial, a partir del cual la salinidad aumenta a medida que la rama tropical de la corriente de California transporta agua hacia el Sureste y se mezcla con las aguas profundas tropicales. Es posible detectar este mínimo en el Golfo de

California durante el verano y el otoño, por el contrario, en la región tropical siempre está ausente (Portela et al., 2016).

Hay un segundo mínimo de salinidad superficial asociado con el agua superficial tropical (TSW). La corriente costera mexicana (MCC) que fluye hacia los polos, arrastra este mínimo en verano y otoño desde el área tropical, pasando por el Pacífico tropical frente al centro de México (TPCM), hasta el norte y la entrada del Golfo de California (Portela et al., 2016).

Al sur de la boca del Golfo de California la salinidad superficial disminuye rápidamente debido al aumento de precipitación y al final de la estación lluviosa (junio – noviembre), las muy bajas salinidades entre Cabo Corrientes (en la costa del Pacífico central de México, estado de Jalisco) e Isla Socorro reflejan estas condiciones (Aguirre et al., 2015).

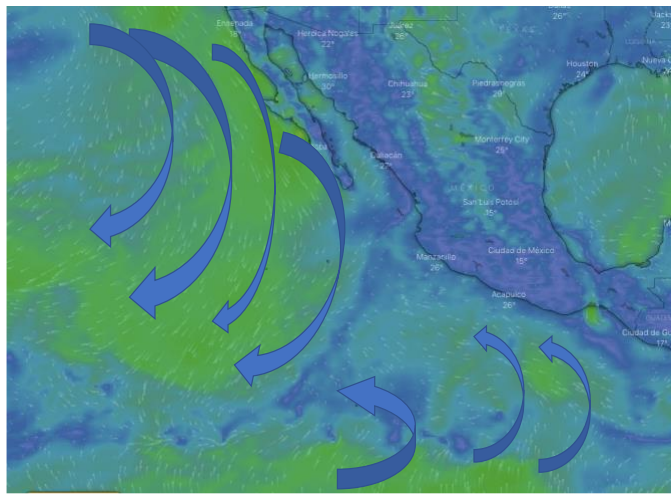


Fig. 6. Corrientes marinas superficiales. (Imagen tomada de Windy).

De acuerdo con Roden (1972), en la región del Archipiélago de Revillagigedo se encontró una estructura termohalina de cuatro capas, donde hay una capa superior salina bajo la cual hay un mínimo de salinidad entre los 50 y los 100 m; bajo este mínimo de salinidad se encuentra la máxima salinidad subsuperficial a profundidades de 100 a 400 m y, finalmente, entre los 600 y 900 m, existe un mínimo de salinidad profunda, que se distribuye uniformemente. Por otro lado, hay diferencias en la distribución de temperatura al Oeste y Este de Isla Socorro, misma que puede estar asociada a la actividad volcánica de la región (Aguirre et al., 2015).

A profundidades que van de 200 a 800 m, el nivel de oxígeno es considerablemente bajo, lo que de acuerdo con trabajos anteriores ha favorecido la zonación de la fauna bentónica a lo largo de la ladera del monte submarino, hacia el agua hipóxica, dejando la cima sin animales grandes (Raineault, 2018).

En las ZOM del Pacífico, el oxígeno parece jugar un papel muy importante en la diversidad alfa y beta en los grupos de fauna bentónica, así como la composición del ensamblaje de la macrofauna, particularmente en el núcleo de la ZOM, aunque la influencia de las ZOM en la meiofauna, la diversidad regional (gamma) de macrofauna y megafauna es difícil de evaluar.

Por otro lado, la hipoxia se asocia con una reducción en la riqueza de especies en todos los grupos de fauna bentónica, pero también hay evidencia de endemismo en entornos OMZ (Gooday et al., 2010). Dicha zonación fue confirmada por la expedición del Nautilus de la cual provienen las observaciones de esta tesis (Raineault, 2018).

La zonificación de la fauna bentónica, además de depender de la concentración de oxígeno disuelto, también está relacionada con la profundidad y las características geológicas locales. En mar profundo alrededor de la isla Socorro hay una gran abundancia de corales de diversos colores, así como crinoideos y esponjas, las cuales en ciertas zonas se distribuyen en gran abundancia. En la columna de agua sólo se han llegado a observar avistamientos ocasionales de langostas y peces, mientras que las zonas con el nivel más bajo de oxígeno están cubiertas por un extenso tapete bacteriano de color blanco. En la isla San Benedicto la zonación vertical no es tan marcada como en la isla Socorro (Raineault, 2018).

Biota. – Para determinar una región biogeográfica se consideran diversos factores como la distribución de las especies, la forma en que se agrupan para formar ecosistemas característicos y mantienen su biomasa en niveles óptimos bajo condiciones regionales con características específicas de turbulencia, temperatura, irradiancia y nutrientes; es decir, cada región biogeográfica tiene características ambientales únicas (Longhurst, 2007). El archipiélago al estar entre dos regiones biogeográficas y contar con la influencia de dos corrientes, cuenta con características únicas, por lo que alberga una gran cantidad de especies endémicas (UNESCO, 2009).

En las aguas alrededor de dichas islas habitan grandes poblaciones de tiburones, rayas, atunes y tortugas, entre gran variedad de organismos, por lo que en 2016 las islas de Revillagigedo fueron designadas como Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO (Aguirre et al., 2015).

Materiales y Métodos

Trabajo de campo. - En 2017, OET colaboró con investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en tres expediciones con ROV en la Zona Económica Exclusiva del Pacífico Oriental Tropical. Una de ellas se llevó a cabo en el Archipiélago Revillagigedo (31 octubre – 13 noviembre 2017), de la cual se obtuvieron los videos e imágenes de alta definición que en esta tesis se analizó para caracterizar la diversidad del hábitat de columna de agua y del fondo marino en un intervalo de profundidad de 134 a 3,683 m.

La campaña “Exploring and Mapping the Revillagigedo Archipelago World Heritage Site in Mexico” se realizó del 31 de octubre al 13 de noviembre de 2017 a bordo del E/V Nautilus y su inmersión NA092 se realizó en una colaboración entre la UNAM y Ocean Exploration Trust. Esta expedición constó de dos etapas. En la primera etapa, se realizó un mapeo batimétrico con el ecosonda multihaz Kongsberg EM 302 alrededor de las islas de Socorro y San Benedicto. La adquisición de datos batimétricos proporcionó información sobre la estructura del fondo y

permitió contar con un mapa detallado para la exploración del fondo marino (Fig. 7) (Raineault, 2018).

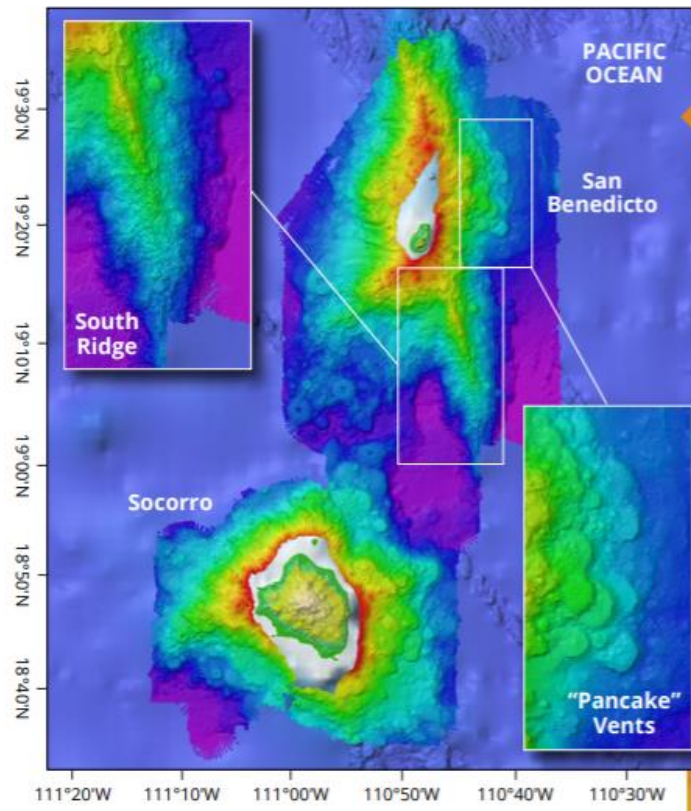


Fig. 7. Batimetría multihaz de las islas de Socorro y San Benedicto en el Archipiélago de Revillagigedo, México.

La segunda etapa fue para explorar el entorno marino profundo, los procesos de vulcanismo submarino, la caracterización de la fauna bentónica y pelágica y el impacto de la zona mínima de oxígeno (ZOM) sobre la biota de dicha región a lo largo de transectos (Figuras 8 y 9) alrededor de las islas Socorro y San Benedicto. Para este fin se realizaron ocho inmersiones y el registro y muestreo se realizaron con los ROVs Hercules y Argus (Raineault, 2018).

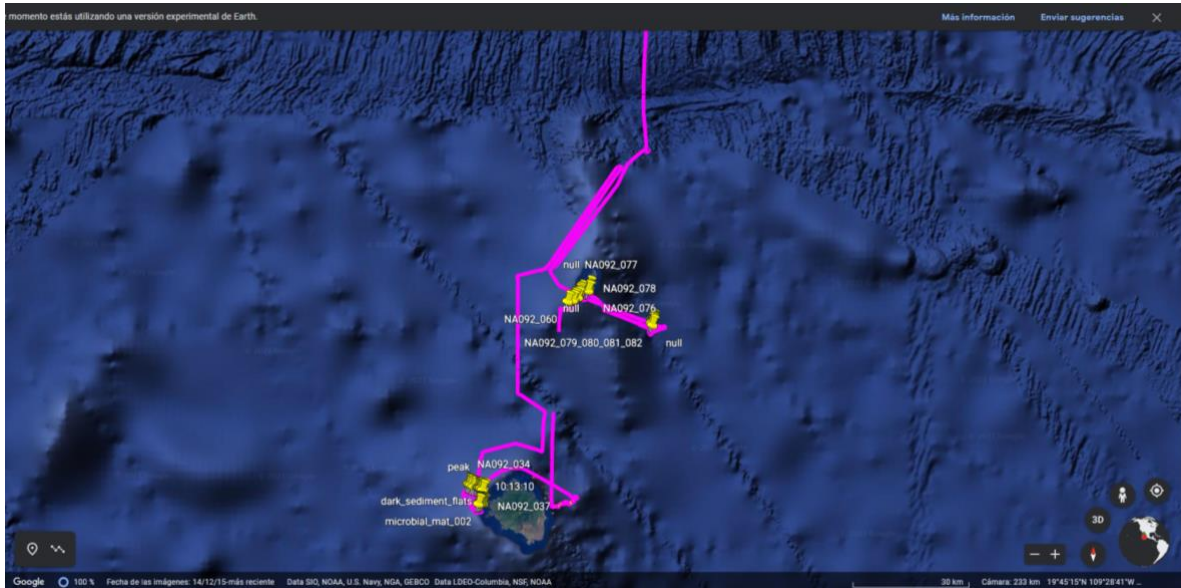


Fig. 8. Inmersiones realizadas al Archipiélago de Revillagigedo, donde la línea en color rosa denota la trayectoria del buque Nautilus, la línea de color azul la del ROV Argus y la línea de color amarillo la del ROV Hercules, mismas que son muy similares a la del buque, por lo que no se aprecian con claridad (Ocean Exploration Trust).

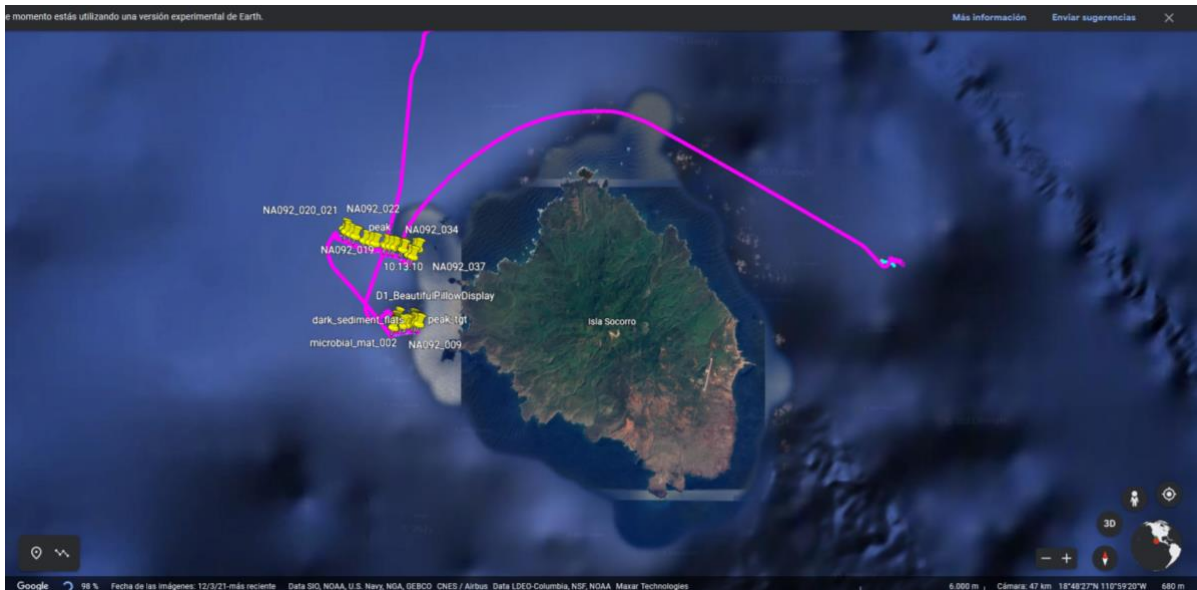


Fig. 9. Inmersiones revisadas para esta tesis del Archipiélago de Revillagigedo, donde la línea en color rosa denota la trayectoria del buque Nautilus, la línea de color azul la del ROV Argus y la línea de color amarillo la del ROV Hércules, mismas que son muy similares a la del buque, por lo que no se aprecian con claridad (Ocean Exploration Trust).

Tabla 1. Datos de las inmersiones revisadas para esta tesis.

Inmersión	Fecha	Profundidad inicial (m)	Profundidad final (m)	Profundidad máx. (m)	Posiciones para cada transecto (latitud, longitud inicial-final)
H1662	10/11/2017- 11/11/2017	37.4	51.67	529.3	18.80, -111.08 a 18.79, -111.07
H1663	11/11/2017- 12/11/2017	40.43	9.81	1425.17	18.83, -111.10 a 18.82, -111.06
H1664	12/11/2017- 13/11/2017	63.55	12.26	1311.84	18.82, -110.84 a 18.80, -110.89

A bordo, los datos se integraron en un registro de navegación, incluyendo la posición del ROV en la columna de agua, donde también se agregaron las grabaciones de video, imágenes capturadas y los datos ambientales medidos por los sensores colocados en el ROV. Los datos ambientales fueron depurados y ajustados espacialmente en función a la fecha y hora de navegación y presencia de los cnidarios. El ROV recibe energía de la superficie a través de un cable de fibra óptica, dicho cable también transmite los datos de posicionamiento, datos y video, y permite que un operador controle el ROV desde una cabina de mando desde el buque (Raineault, 2018).

Las muestras de roca, de sedimento y de fauna, incluyendo fragmentos de cnidarios colectados por el ROV en cada inmersión, se procesaron a bordo en el laboratorio húmedo.

La cámara de video de alta definición del ROV Hercules, en conjunto con la iluminación LED permite registrar objetos y biota de la columna de agua y estructuras del fondo marino con capacidad de zoom, además de facilitar la colecta de muestras geológicas y biológicas con los dos brazos robóticos y otros de los muestreadores y equipos. Con sensores se registraron las variables de presión, profundidad, temperatura del agua, concentración de oxígeno y la salinidad (Raineault, 2018).

Argus, que es más pequeño, está equipado con varias cámaras, incluida una de alta definición que normalmente apunta hacia abajo para ver a Hercules, además de una avalancha de luces LED que iluminan el área alrededor de Hercules. Argus, cuya función principal es vigilar a Hercules, se conecta al mismo, mediante un cable de sujeción, permitiendo que fluyan los datos de la embarcación a Argus y, posteriormente, a Hercules (Raineault, 2018).

Con el muestreador de succión, nucleadores, pala, y manipulador del ROV se recolectaron muestras biológicas y de sedimento superficial (Raineault, 2018). Este estudio solamente presenta resultados de la serie de videos y fotografía adquirida en las inmersiones H1662, H1663 y H1664 del crucero NA092.

Trabajo de gabinete. - Se observaron un total de 553 videos de aproximadamente 5 minutos cada uno, de 3 de las inmersiones realizadas alrededor de la Isla Socorro (Fig. 9) (Tabla 1), en Islas Revillagigedo en el 2017, con el propósito de identificar ejemplares de cnidarios en la columna de agua y hábitats bénticos. Posteriormente, se recortaron imágenes de dichos ejemplares organizadas por inmersión y se colocaron en la página de UNINMAR (<http://uninmar.icmyl.unam.mx/mmaar/index.php/Cnidaria>).

Las imágenes se clasificaron empleando un conjunto de fototaxas/morfoespecies específicas de la región denominadas unidades taxonómicas operativas (OTU), las cuales se identifican en función de una combinación de conocimiento taxonómico y apariencia, incluida la morfología y / o el color; donde un fototaxón es la unidad taxonómica de menor resolución que puede identificarse y anotarse de manera segura y consistente a partir de imágenes (Bewley et al., 2015; Howell et al., 2019; Auscavitch et al., 2020; Horton et al., 2021), esto siguiendo la clasificación de Cnidaria en la base de WoRMS para la región del Pacífico Oriental Tropical a profundidades a más de 200 m. Para este fin se elaboró una tabla preliminar de especies potenciales en WoRMS organizada en los dos grandes ecosistemas: columna de agua y fondo marino.

Además de identificar a cada ejemplar, se observó con mayor detenimiento el ambiente en que se encontraban, para así intentar relacionar su ocurrencia al tipo de geomorfología. Para el tipo de fondo marino se usó la clasificación de Clague y Paduan (2008). Se generó con esta información una tabla del tipo de hábitat y los taxa de los ejemplares encontrados en cada uno. A la tabla se integraron los valores de las variables esenciales oceánicas ambientales y con la información de latitud y longitud se elaboraron mapas con la ubicación de los ejemplares, para mostrar su distribución.

Los ejemplares encontrados se agruparon en dos mosaicos de diversidad, uno para columna de agua y otro para fondo marino. Finalmente, con los datos de las variables esenciales oceánicas ambientales, se generaron gráficas del alcance batimétrico de los ejemplares agrupados por orden, de los valores de temperatura contra profundidad para columna de agua y para fondo marino, y una más de oxígeno disuelto contra la profundidad para el fondo marino con la presencia de los cnidarios.

Resultados

Como resultado de la observación de los 553 videos se reconocieron entre la diversidad de la fauna a 21 ejemplares del Phylum Cnidaria, mismos que se presentan a continuación organizados por zona batimétrica como: columna de agua (Fig. 10) y fondo marino (Figs. 11 y 12), donde el número entre paréntesis es el número de ejemplares; así mismo cada ejemplar recibe una descripción detallada más adelante.

Riqueza de especies de cnidarios por zona batimétrica

a) Columna de Agua.

Phylum Cnidaria Hatschek, 1888

Clase Hydrozoa Owen, 1843

Subclase Trachylinae Haeckel, 1879

Orden Limnomedusae Kramp, 1938

Limnomedusae sp 1 (1)

Orden Narcomedusae Haeckel, 1879

Narcomedusae sp 1 (1)

Clase Scyphozoa Goette, 1887

Subclase Discomedusae Haeckel, 1880

Orden Semaestomeae Agassiz, 1862

Semaestomeae sp 1 (1)



Fig. 10. Registro de Cnidaria en columna de agua (Imágenes de Ocean Exploration Trust).

b) Fondo Marino.

Phylum Cnidaria Hatschek, 1888

Clase Anthozoa Ehrenberg, 1834

Subclase Hexacorallia Haeckel, 1896

Orden Actinaria Hertwig, 1882

Actinaria sp. 1 (1)

Actinaria sp. 2 (2)

Suborden Enthemonae Rodríguez et al. 2014.

Superfamilia Metridioidea Carlgren, 1893

Familia Actinoscyphiidae Stephenson, 1920

Género Actinoscyphia Stephenson, 1920

Especie *Actinoscyphia aurelia* Stephenson, 1918

Actinoscyphia aurelia conf. (1)

Orden Antipatharia

Familia Schizopathidae Brook, 1889

Género Parantipathes Brook, 1889

Parantipathes sp 1 (2)

Orden Scleractinia Bourne, 1900

Scleractinia sp 1 (1)

Scleractinia sp 2 (3)

Scleractinia sp 3 (1)

Subclase Octocorallia Haeckel, 1866

Orden Alcyonacea Lamouroux, 1812

Alcyonacea sp 1 (1)

Alcyonacea sp 2 (1)

Suborden Alcyoniina

Familia Alcyoniidae Lamouroux, 1812

Subfamilia Anthomastinae Verrill, 1922

Género Anthomastus Verrill, 1878

Anthomastus sp 1 (1)

Suborden Holaxonia Studer, 1887

Familia Plexauridae Gray, 1859

Género Paramuricea Kölliker, 1865

Paramuricea sp 1 (3)

Orden Pennatulacea Verrill, 1865

Pennatulacea sp 1 (1)

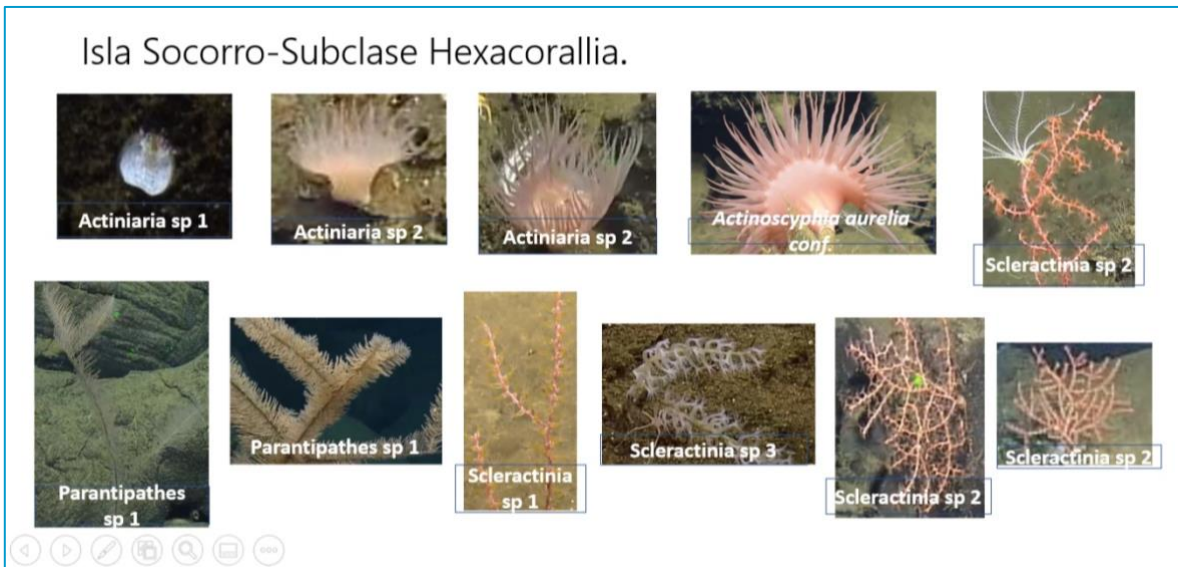


Fig. 11. Registro de Cnidarios para el fondo marino. (Imágenes de Ocean Exploration Trust).



Fig. 12. Registro de Cnidarios para el fondo marino. (Imágenes de Ocean Exploration Trust).

Riqueza taxonómica, variables esenciales oceánicas ambientales locales y geomorfología

➤ Columna de agua

Con base en los videos de las inmersiones realizadas en Isla Socorro, se reconocieron tres ejemplares de medusas, pertenecientes a los órdenes Semaestomeae, Limnomedusae y Narcomedusae, de los cuales, uno corresponde a la clase Scyphozoa y dos a la clase Hidrozoa.

Orden Semaestomeae

El ejemplar de Semaestomeae (Fig. 13), fue registrado en la campaña NA092, en la inmersión H1663 a una profundidad de 1,422 m. La posición geográfica fue 18.83 N -111.10 W, cerca de la Isla Socorro, donde la temperatura era de 3.3 °C y la salinidad de 34.58 UPS.



Fig. 13. Ejemplar 1, Semaestomeae (Ocean Exploration Trust).

(<http://uninmar.icmyl.unam.mx/mmaar/index.php/Semaestomeae>).

Orden Limnomedusae

El ejemplar de Limnomedusae (Fig. 14), se registró a una profundidad de 683 m, en la posición geográfica 18.82 N -111.08 W, cerca de la Isla Socorro, donde con temperatura era de 6.2 °C y la salinidad de 34.53 UPS. La medusa fue capturada en imágenes de video, durante la campaña NA092, en la inmersión H1663.



Fig. 14. Ejemplar 1, Limnomedusae (Ocean Exploration Trust).

(<http://uninmar.icmyl.unam.mx/mmaar/index.php/Limnomedusae>).

Orden Narcomedusae

El ejemplar de Narcomedusae (Fig. 15), fue registrado en imágenes de video durante la campaña NA092, en la inmersión H1664, a una profundidad de 1,199 m. La posición geográfica fue 18.82 N -110.84 W, cerca de la Isla Socorro, donde la temperatura era de 3.89 °C y la salinidad de 34.56 UPS.



Fig. 15. Ejemplar 1, Narcomedusae (Ocean Exploration Trust).

<http://uninmar.icmyl.unam.mx/mmaar/index.php/Narcomedusae>.

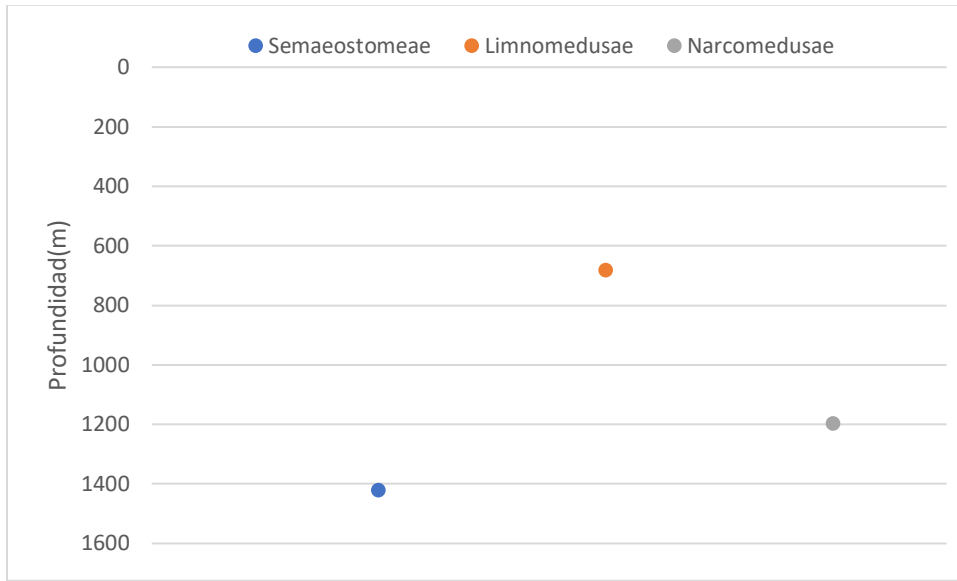


Fig. 16. Ocurrencia batimétrica de los diferentes ejemplares en columna de agua, agrupados por orden contra la profundidad, donde cada círculo representa a un ejemplar.

Las medusas que fueron encontradas en columna de agua ocurrieron entre 683 y 1,420 m de profundidad (Fig. 16), entre la zona mesopelágica a la zona batipelágica. En todos los casos se pueden apreciar partículas suspendidas en la columna de agua y la temperatura de 3.3 a 6.2 °C (Fig. 17).

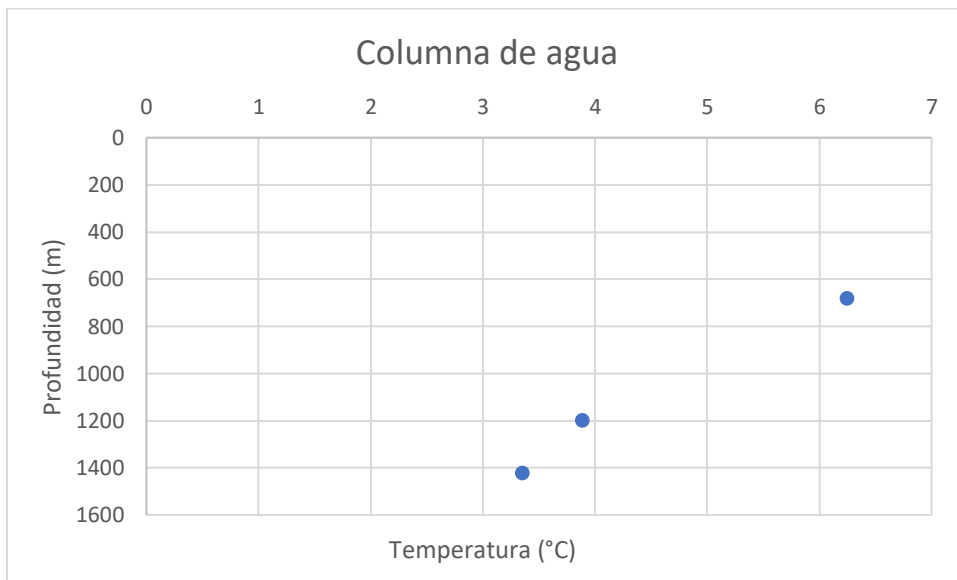


Fig. 17. Valores de temperatura de fondo en localidades donde se registraron cnidarios bénticos, atribuyendo un círculo a cada ejemplar.

Tabla 2. Valores máximos y mínimos de variables esenciales ambientales por taxon para fondo marino en los alrededores de la Isla Socorro.

Orden	Profundidad (m)	Temperatura (°C)	Salinidad (UPS)	Concentración de O2 (umol/l)	Saturación de O2 (%)
semaeostomeae	1421.98	3.35	34.59	-	-
Limnomedusae	683.18	6.25	34.53	0.71	0.18
Narcomedusae	1198.93	3.89	34.57	-	-

Distribución de los cnidarios

A continuación, se muestra la representación de la ubicación de los cnidarios encontrados en la columna de agua (Fig. 18, 19 y 20).

➤ Limnomedusae

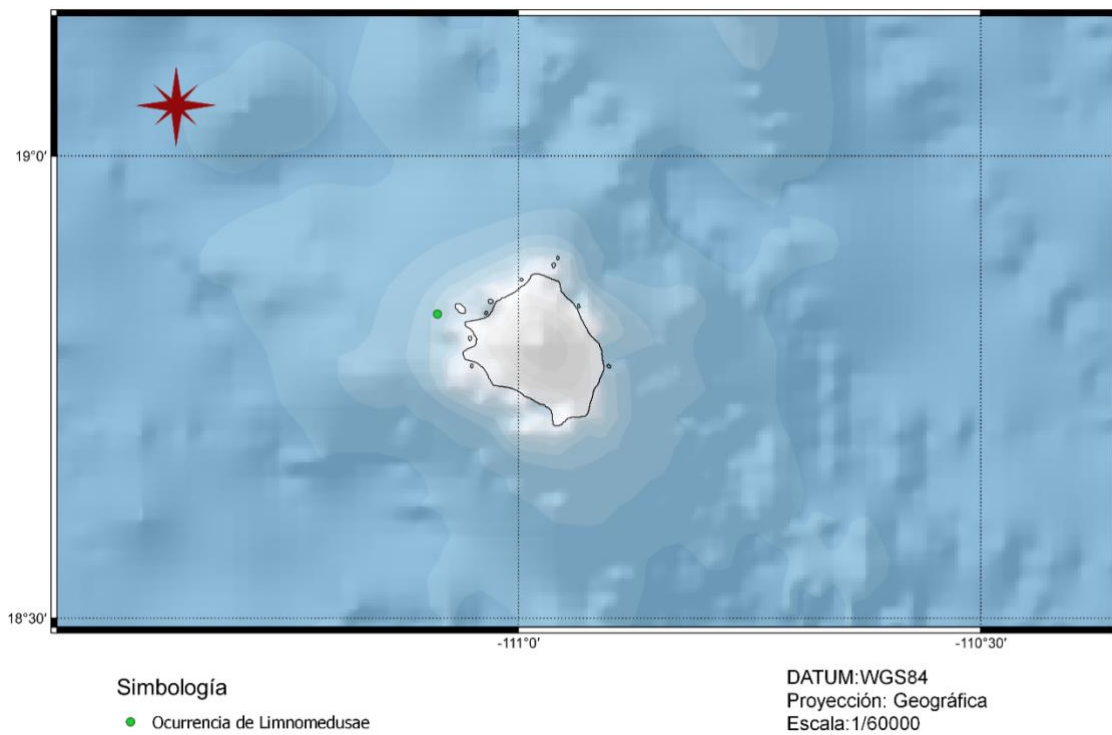


Fig. 18. Mapa de la distribución del orden Limnomedusae.

➤ Narcomedusae

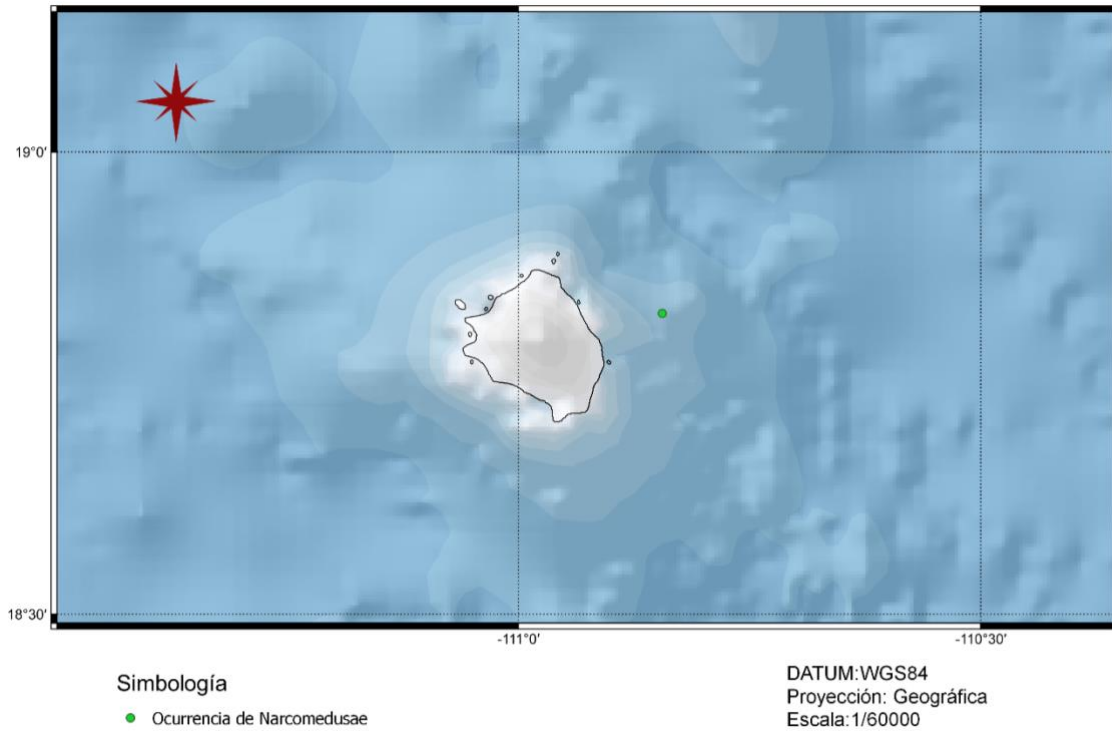


Fig. 19. Mapa de la distribución del orden Narcomedusae.

➤ Semaestomeae

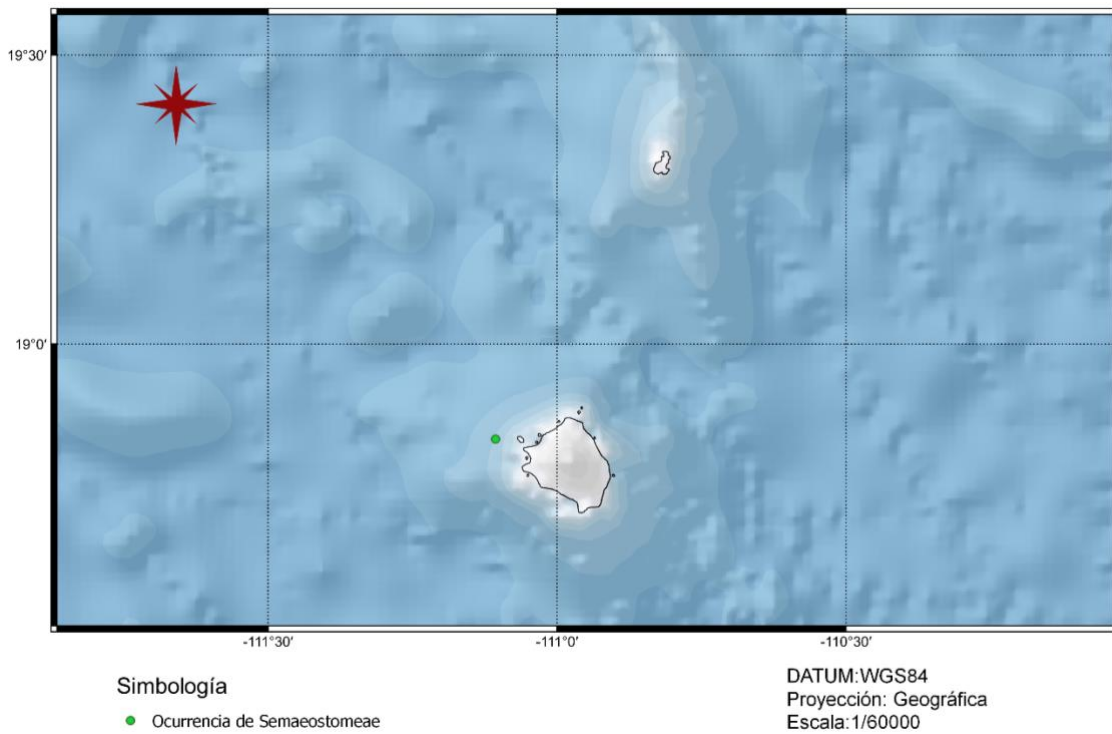


Fig. 20. Mapa de la distribución del orden Semaestomeae.

➤ Fondo Marino

El análisis de los videos de las inmersiones sobre el fondo marino permitió reconocer la presencia de ejemplares de la clase Anthozoa, que pueden clasificarse en cinco órdenes para Isla Socorro en el Pacífico Oriental Tropical.

Orden Actiniaria

Los cuatro ejemplares del orden Actiniaria ocurrieron entre 339 y 1,000 m de profundidad (Fig. 31), siendo más abundante a más de 700 m. La temperatura registrada varió de 4.4 a 9.9 °C, la salinidad se mantuvo en un promedio de 34.5 UPS, la concentración de oxígeno disuelto varió de 0.42 a 7.74 $\mu\text{mol/L}$ (equivalente a una saturación de oxígeno de 0.1 a 1.91%), encontrando un mayor número de ejemplares arriba de 1 $\mu\text{mol/L}$.

Actiniaria Morfotipo 1. Pequeña anémona solitaria habitante en una roca (Fig. 21). El ejemplar registrado en las imágenes y video corresponde a la campaña NA092 y registrada en la inmersión H1662 a una profundidad de 339 m. La posición geográfica fue 18.80 N -111.07 W, cerca de la Isla Socorro, donde la temperatura de fondo es de 9.89 °C, la salinidad de 34.63 UPS, y la concentración de oxígeno es de 0.42 $\mu\text{mol/L}$ equivalente a una saturación de oxígeno de 0.11%.



Fig. 21. Anémona del orden Actiniaria. Morfotipo 1 (Ocean Exploration Trust).

Actiniaria Morfotipo 2. Estas pequeñas anémonas se encontraron adheridas al sustrato, rodeadas de una gran variedad de otros organismos. Uno de los ejemplares del morfotipo 2 se encuentra sobre un depósito de almohadillas rotas que muestra múltiples superficies de enfriamiento dentro de la almohada parcialmente drenada (Fig. 22), mientras que el ejemplar adherido sobre arena está en lo que podría ser el final de un depósito de almohadillas redondeadas (Fig. 23).

Los ejemplares registrados en las imágenes y video corresponden a la campaña NA092, en la inmersión H1663, a profundidades de 778 y 932 m respectivamente. La posición geográfica de registro fue 18.83 N, -111.09 W, cerca de la Isla Socorro, donde la temperatura de fondo es de 5.81 y 4.88 °C respectivamente, la salinidad de 34.5 UPS en ambos casos y la concentración de oxígeno disuelto de 0.99 y 3.78 $\mu\text{mol/L}$ respectivamente, equivalentes a una saturación de oxígeno de 0.25 y 0.94%.



Figs. 22 y 23. Anémonas del orden Actiniaria. Morfotipo 2 (Ocean Exploration Trust).

Actiniaria, Actinoscyphia aurelia. La anémona se sitúa en lo que podría ser un drenaje de lava con múltiples niveles. El ejemplar (Fig. 24) se documentó en la campaña NA092 durante la inmersión H1663 a una profundidad de 1,000.53 m. La posición geográfica del registro fue 18.83 N, -111.09 W, cerca de la Isla Socorro, donde la temperatura es de 4.47 °C, la salinidad de 34.54 UPS y una concentración de oxígeno de 7.74 $\mu\text{mol/L}$ que equivale a una saturación de oxígeno de 1.91%.



Fig. 24. Actiniaria, *Actinoscyphia aurelia* (Ocean Exploration Trust).

(<http://uninmar.icmyl.unam.mx/mmaar/index.php/Actiniaria>)

Orden Alcyonacea

Los seis ejemplares del orden Alcyonacea ocurrieron en un intervalo estrecho de profundidad (Fig. 31), entre 760 y 1,310 m, fueron más abundantes entre 700 y 1,000 m. La temperatura registrada varió entre 3.5 a 5.7 °C, la salinidad fue de 34.5 UPS y la concentración de oxígeno disuelto entre 1 a 28 $\mu\text{mol/L}$ (equivalente a una saturación de oxígeno entre 0.2 a 6.8%).

Alcyonacea, Paramuricea sp 1. Incluye a 3 ejemplares de corales de color amarillo (Figs. 25, 26 y 27), adheridos al sustrato rocoso, cuya pendiente es muy pronunciada, y están rodeados de una gran variedad de organismos. Los ejemplares se encuentran en lo que parece ser "lavacicles" que se forman cuando la lava fundida se precipita por un acantilado vertical, dando

origen a estas formas alargadas que en ocasiones, cuando el precipicio vertical es alto, el "lavacicle" se desprende del flujo de alimentación.

Los ejemplares registrados en las imágenes y video corresponden a la campaña NA092, en la inmersión H1663, a profundidades de 787 para los dos primeros ejemplares y 760 m para el tercero. La posición geográfica de registro fue 18.83 N, -111.09 W, cerca de la Isla Socorro, donde la temperatura de fondo es de 5.7 °C para los tres ejemplares, la salinidad de 34.5 UPS y la concentración de oxígeno disuelto de 1.01 y 1.09 $\mu\text{mol/L}$ respectivamente, equivalentes a una saturación de oxígeno de 0.26 y 0.27%.



Figs. 25, 26 y 27. Alcyonacea, *Paramuricea* sp 1 (Ocean Exploration Trust).

Alcyonacea, Morfotipo 1. Único ejemplar de color blanquecino (Fig. 28), adherido al sustrato rocoso, con pendiente muy pronunciada, donde se encuentra rodeado de una gran variedad de organismos. Coral situado en lo que parece ser "lavacicles".

El ejemplar se documentó en la campaña NA092 durante la inmersión H1664 a una profundidad de 1310.77 m. La posición geográfica del registro fue 18.82 N, -110.84 W, cerca de la Isla Socorro, donde la temperatura es de 3.52 °C, la salinidad de 34.58 UPS y una concentración de oxígeno de 28.50 $\mu\text{mol/L}$ que equivale a una saturación de oxígeno de 6.88%.



Fig. 28. Coral del orden Alcyonacea, Morfotipo 1 (Ocean Exploration Trust).

Alcyonacea, *Anthomastus* sp 1. Pequeño coral de color rosa (Fig. 29), rodeado de gran diversidad de fauna, que se encuentra adherido sobre sustrato rocoso. El ejemplar permanece sobre lo que posiblemente sea un flujo de lava laminar en el que al irse escurriendo se forman muchos "anillos de bañera" de drenaje que permanecen como revestimiento.

Ejemplar documentado en la campaña NA092 durante la inmersión H1663 a una profundidad de 843.83 m. La posición geográfica del registro fue 18.83 N, -111.09 W, cerca de la Isla Socorro, donde la temperatura es de 5.54 °C, la salinidad de 34.53 UPS y una concentración de oxígeno de 1.27 $\mu\text{mol/L}$ que equivale una saturación de oxígeno de 0.32%.



Fig. 29. Coral del género *Anthomastus* (Ocean Exploration Trust).

Alcyonacea, Morfotipo 2. Coral de color rosa (Fig. 30), adherido a un sustrato rocoso, en un punto donde la pendiente es mayor. El ejemplar se encuentra rodeado de gran diversidad de fauna y se encuentra sobre lo que parece ser "lavacicles".

Único ejemplar documentado en la campaña NA092 durante la inmersión H1663 a una profundidad de 1029.38 m. La posición geográfica del registro fue 18.83 N, -111.09 W, cerca de la Isla Socorro, donde la temperatura es de 4.34 °C, la salinidad de 34.54 UPS y una concentración de oxígeno de 9.34 $\mu\text{mol/L}$ que equivale una saturación de oxígeno de 2.30%.



Fig. 30. Coral del orden Alcyonacea, Morfotipo 2 (Ocean Exploration Trust).
(<http://unimar.icmyl.unam.mx/mmaar/index.php/Alcyonacea>).

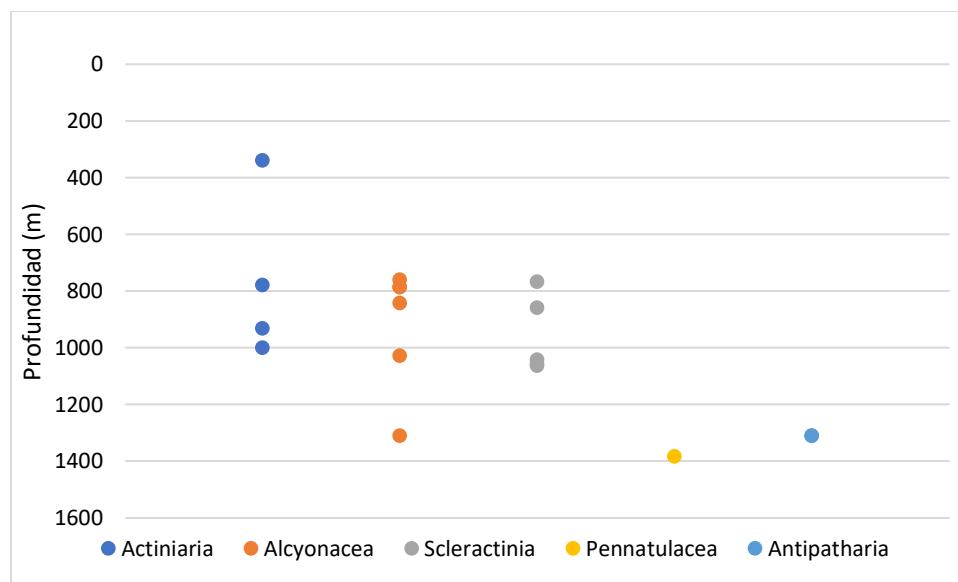


Fig. 31. Ocurrencia batimétrica de los diferentes ejemplares en el fondo marino, agrupados por orden contra la profundidad, donde cada círculo representa un ejemplar.

Orden Scleractinia

Los cinco ejemplares de Scleractinia se observaron en un intervalo de 767 a 1,064 m de profundidad, donde el mayor número ocurrió a más de 1,000 m (Fig. 31). La temperatura de fondo varió entre 4.3 a 5.7 °C, la salinidad fue en promedio de 34.5 y la concentración de

oxígeno disuelto varió entre 1 a 8.8 $\mu\text{mol/L}$ (saturación de oxígeno entre 0.2 y 2.1%), siendo entre 7.5 y 8.8 $\mu\text{mol/L}$ donde se encontró el mayor número de ejemplares.

Scleractinia, Morfotipo 1. Coral pétreo en color rosa (Fig. 32), que se encuentra solitario, anclado sobre sustrato arenoso, que parece ser el final de un depósito de almohadillas redondeadas.

El único ejemplar fue documentado en la campaña NA092 durante la inmersión H1663 a una profundidad de 859.7 m. La posición geográfica del registro fue 18.83 N, -111.09 W, cerca de la Isla Socorro, donde la temperatura es de 5.34 °C, la salinidad de 34.53 UPS y una concentración de oxígeno de 1.69 $\mu\text{mol/L}$ que equivale a una saturación de oxígeno de 0.43%.



Fig. 32. Coral pétreo del orden Scleractinia, Morfotipo 1 (Ocean Exploration Trust).

Scleractinia, Morfotipo 2. Contiene a 3 ejemplares de corales naranja (Figs. 33, 34 y 35), anclados sobre un sustrato rocoso, que parecen estar al final de un depósito de almohadillas redondeadas. Los corales no se encontraron rodeados de una gran diversidad de organismos, sino que, por el contrario, permanecían aislados.

Los ejemplares registrados en las imágenes y video corresponden a la campaña NA092, en la inmersión H1663, a profundidades de 1,042.94, 1,056.91 y 1,064.23 m respectivamente. La posición geográfica de registro fue 18.83 N, -111.09 W, cerca de la Isla Socorro, donde la temperatura de fondo es de 4.51, 4.37 y 4.48 °C respectivamente, la salinidad de 34.5 UPS en todos los casos y la concentración de oxígeno disuelto de 7.58, 8.80 y 7.65 $\mu\text{mol/L}$ respectivamente, equivalentes a una saturación de oxígeno de 1.87%, 2.17% y a 1.89%.



Figs. 33, 34 y 35. Corales pétreos del orden Scleractinia, Morfotipo 2. (Ocean Exploration Trust).

Scleractinia, Morfotipo 3. Único ejemplar solitario en color lila (Fig. 36), adherido a un sustrato arenoso al final de lo que podría ser un depósito de almohadillas redondeadas.

Coral pétreo documentado en la campaña NA092 durante la inmersión H1664 a una profundidad de 767.7 m. La posición geográfica del registro fue 18.81 N, -110.85 W, cerca de la Isla Socorro, donde la temperatura es de 5.77 °C, la salinidad de 34.52 UPS y una concentración de oxígeno de 1.06 $\mu\text{mol/L}$ que equivale una saturación de oxígeno de 0.26%.



Fig. 36. Coral pétreo del orden Scleractinia, Morfotipo 3 (Ocean Exploration Trust).

(<http://uninmar.icmyl.unam.mx/mmaar/index.php/Scleractinia>)

Orden Antipatharia

Antipatharia, Parantipathes sp 1. Corales color dorado (Figs. 37 y 38), que se encuentran adheridos al sustrato que se conforma por un gran depósito de almohadillas redondeadas y rodeados de otros organismos.

Los dos ejemplares del orden Antipatharia se registraron muy cerca uno del otro, en la campaña NA092 durante la inmersión H1664 a una profundidad de 1,311 m. La posición geográfica fue 18.82 N, -110.84 W, cerca de la Isla Socorro, a una profundidad de 1,311.04 m,

donde la temperatura de fondo es de 3.54 °C, la salinidad de 34.57 UPS y una concentración de oxígeno de 28.26 $\mu\text{mol/L}$ que equivale a una saturación de oxígeno de 6.83%.



Figs. 37 y 38. Antipatharia, *Parantipathes* sp 1 (Ocean Exploration Trust).

(<http://uninmar.icmyl.unam.mx/mmaar/index.php/Antipatharia>)

Orden Pennatulacea

El único ejemplar de la subclase Octocorallia, denominado Morfotipo 1 (Fig. 39), es una pluma de mar de color marrón que se encuentra sobre un depósito de almohadillas redondeadas y acompañada de otros organismos como equinodermos. El ejemplar se registró a una profundidad de 1,383 m, la mayor profundidad registrada para todos los Cnidarios reconocidos (Fig. 31). A esta profundidad la temperatura de fondo fue de 3.34 °C, la salinidad de 34.58 UPS y la concentración de oxígeno 35.26 $\mu\text{mol/L}$ que equivale a una saturación de oxígeno de 8.48%. El registro de este Pennatulacea proviene de la campaña NA092 en la inmersión H1663 en la posición geográfica 18.83 N, -111.10 W.



Fig. 39. Morfotipo 1, Pennatulacea (Ocean Exploration Trust).

(<http://uninmar.icmyl.unam.mx/mmaar/index.php/Pennatulacea>)

De acuerdo con la Fig. 40, la mayor ocurrencia de cnidarios se da entre 600 y 1,100 m en un rango de temperatura de 4 a 6 °C; por otro lado, la mayoría se encuentra en condiciones hipóxicas (Fig. 41), con excepción del ejemplar del orden Pennatulacea y los dos ejemplares del orden Antipatharia, mientras que un ejemplar del orden Scleractinia y uno del orden Alcyonacea están localizados en el límite de la definición de hipoxia.

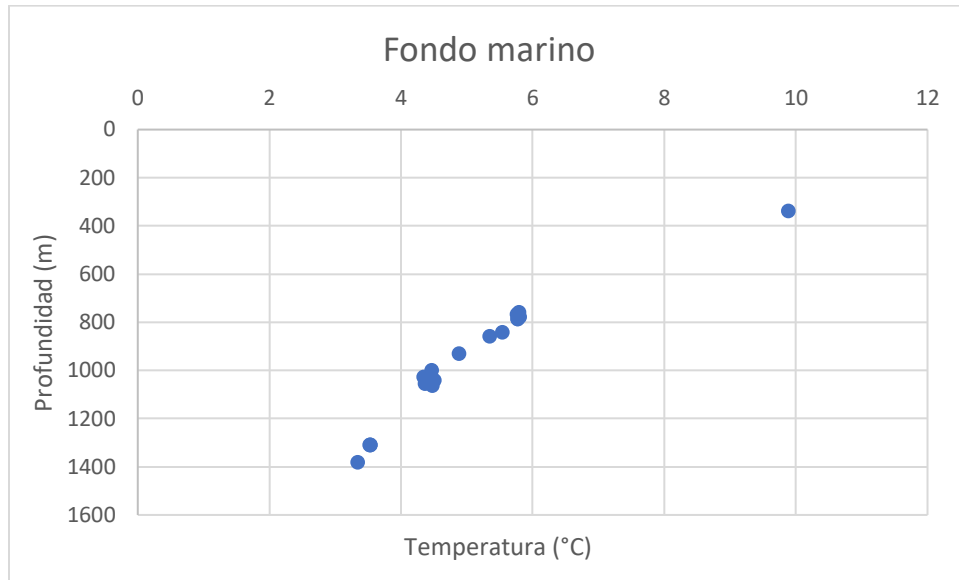


Fig. 40. Valores de temperatura de fondo en la localidad de la Isla Socorro donde se registraron cnidarios bénticos, siendo cada círculo un ejemplar.

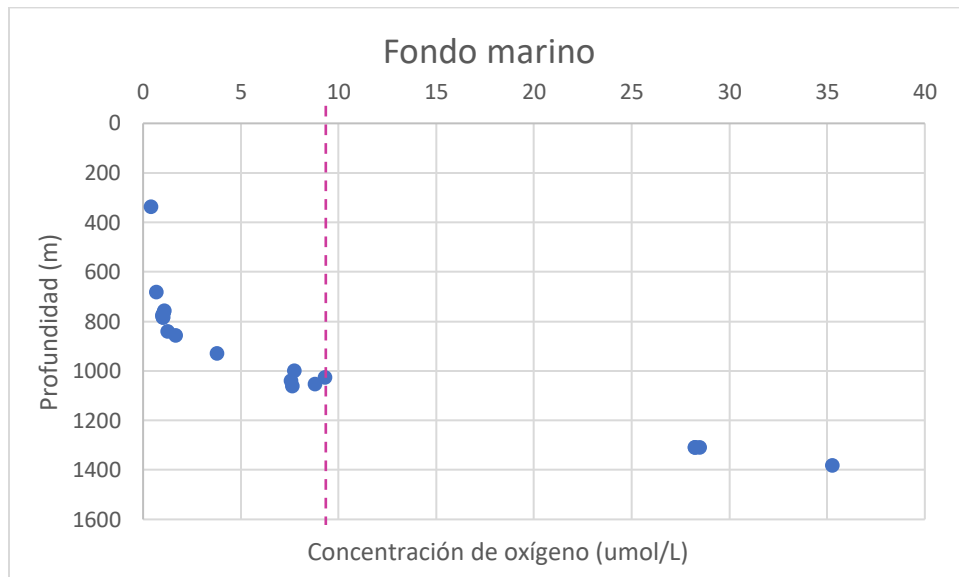


Fig. 41. Concentración de oxígeno disuelto inmediata al fondo marino en la localidad de la Isla Socorro donde se registraron cnidarios bénticos, representando cada círculo a un ejemplar, mientras que la línea punteada marca el límite para considerar hipoxia.

Tabla 3. Valores máximos y mínimos de variables esenciales ambientales por taxon para fondo marino.

Orden	Profundidad (m)		Temperatura (°C)		Salinidad (UPS)		Concentración de O ₂ (μmol/l)		Saturación de O ₂ (%)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Actiniaria	339.02	1000.53	4.47	9.89	34.52	34.64	0.43	7.74	0.12	1.91
Alcyonacea	760.45	1310.78	3.53	5.80	34.53	34.58	1.02	28.50	0.26	6.89
Scleractinia	767.70	1064.24	4.37	5.77	34.53	34.55	1.07	8.81	0.27	2.18
Pennatulacea	1383.43	1383.43	3.34	3.34	34.59	34.59	35.27	35.27	8.48	8.48
Antipatharia	1311.05	1311.05	3.54	3.54	34.58	34.58	28.26	28.26	6.83	6.83

Distribución de cnidarios.

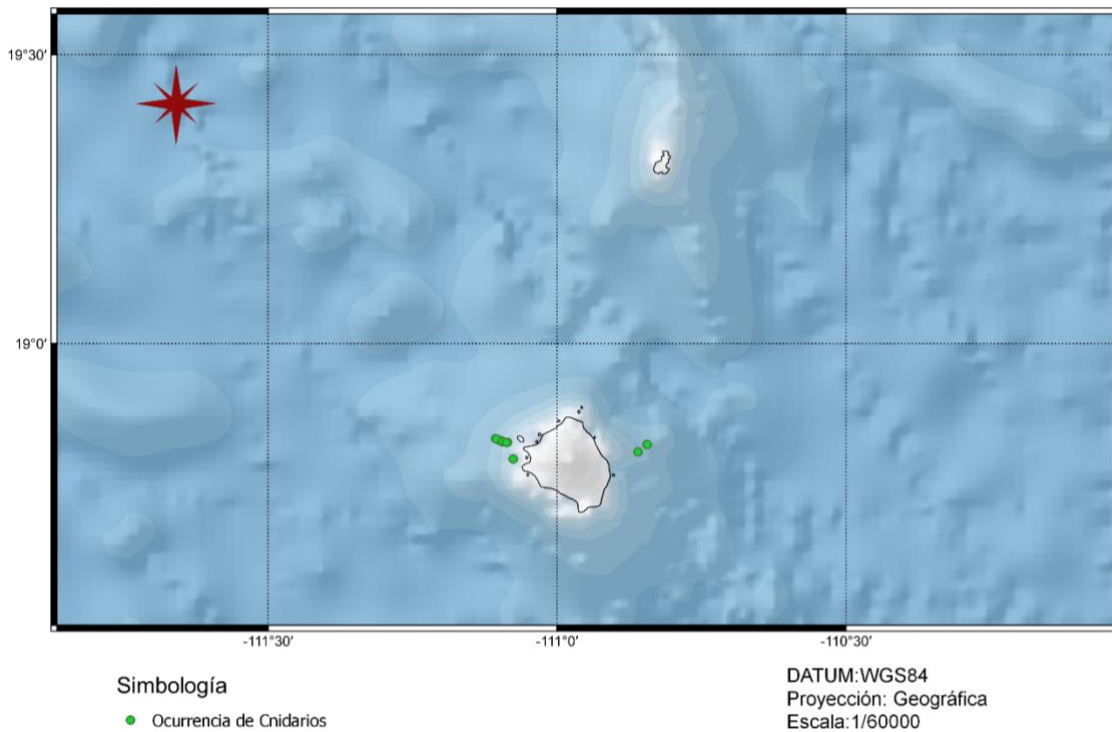


Fig. 42. Mapa de la distribución general de los cnidarios.

Los ejemplares de cnidarios encontrados, se distribuyen principalmente en aguas profundas más cerca a la costa, alrededor de la isla Socorro (Fig. 42), lo que debido a la cercanía con el continente podría haber favorecido las condiciones hipóxicas por la mayor afluencia de nutrientes.

A continuación, se muestra la distribución de los ejemplares, agrupados por orden, Actiniaria (Fig. 43), Alcyonacea (Fig. 44), Antipatharia (Fig. 45), Pennatulacea (Fig. 46) y Scleractinia (Fig. 47).

➤ Actiniaria.

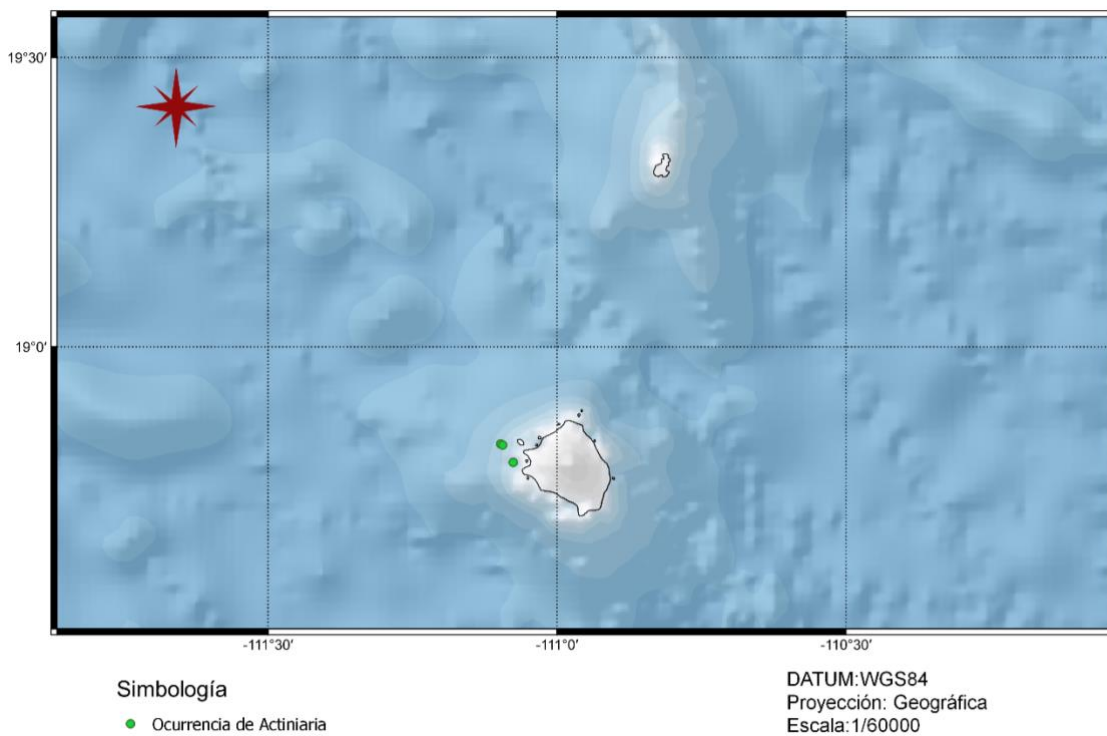


Fig. 43. Mapa de la distribución del orden Actiniaria.

➤ Alcyonacea

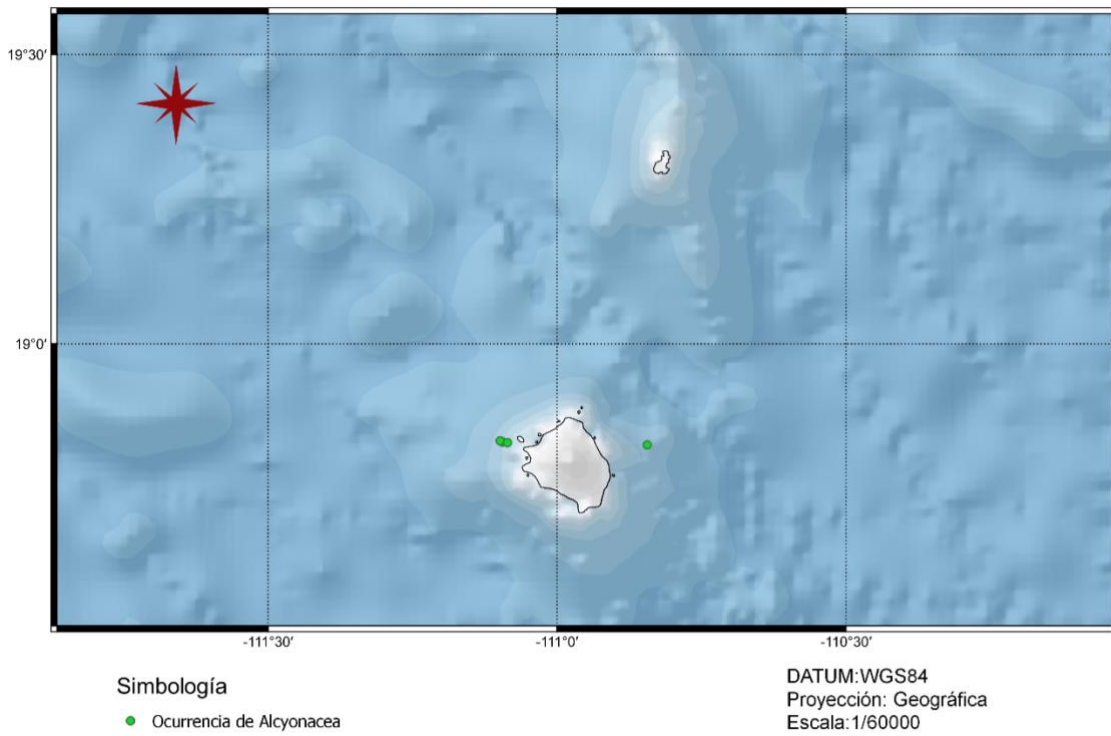


Fig. 44. Mapa de la distribución del orden Alcyonacea.

➤ Antipatharia

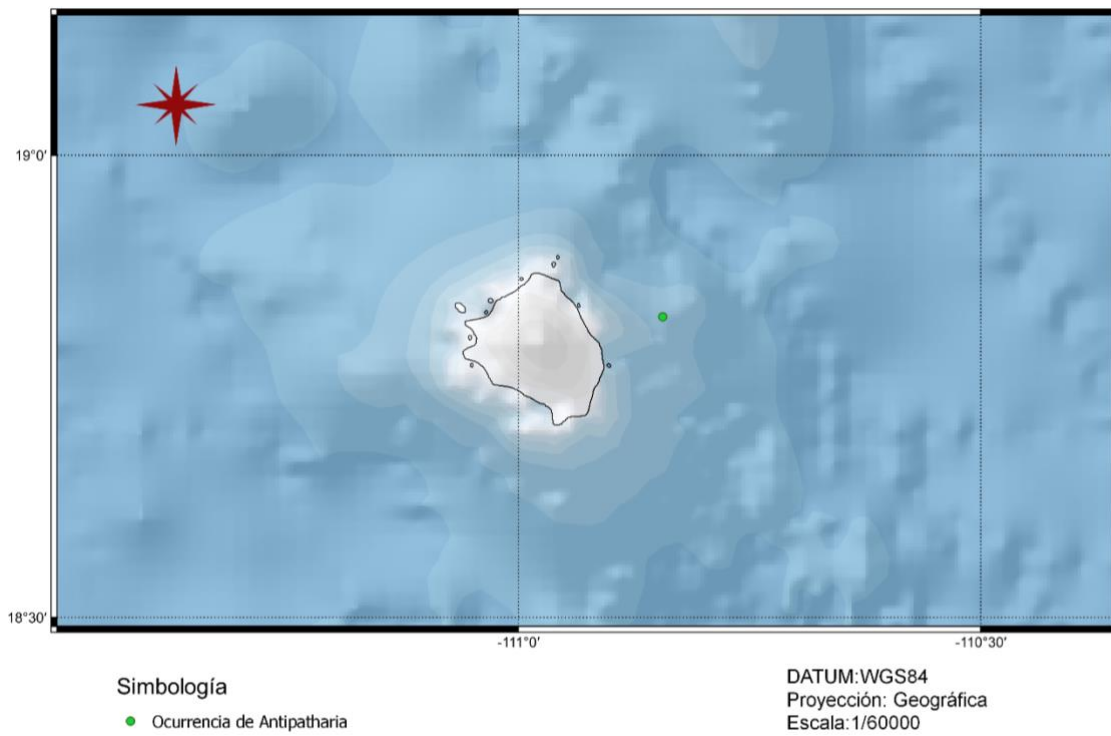


Fig. 45. Mapa de la distribución del orden Antipatharia.

➤ Pennatulacea

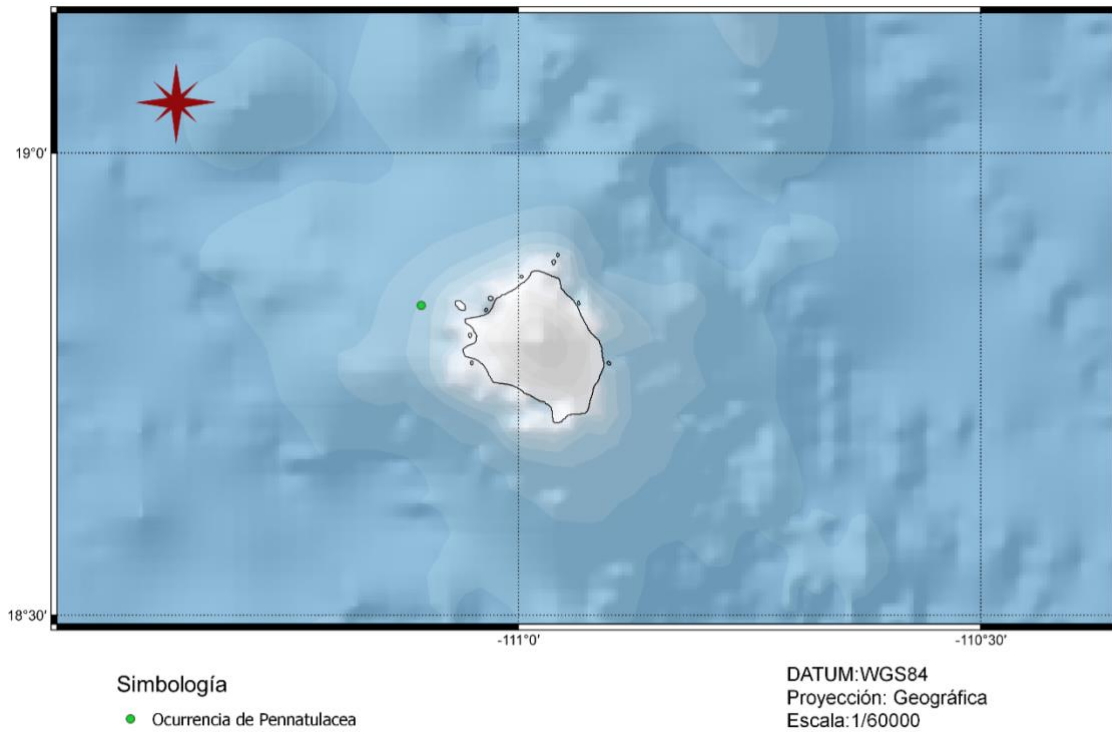


Fig. 46. Mapa de la distribución del orden Pennatulacea.

➤ Scleractinia

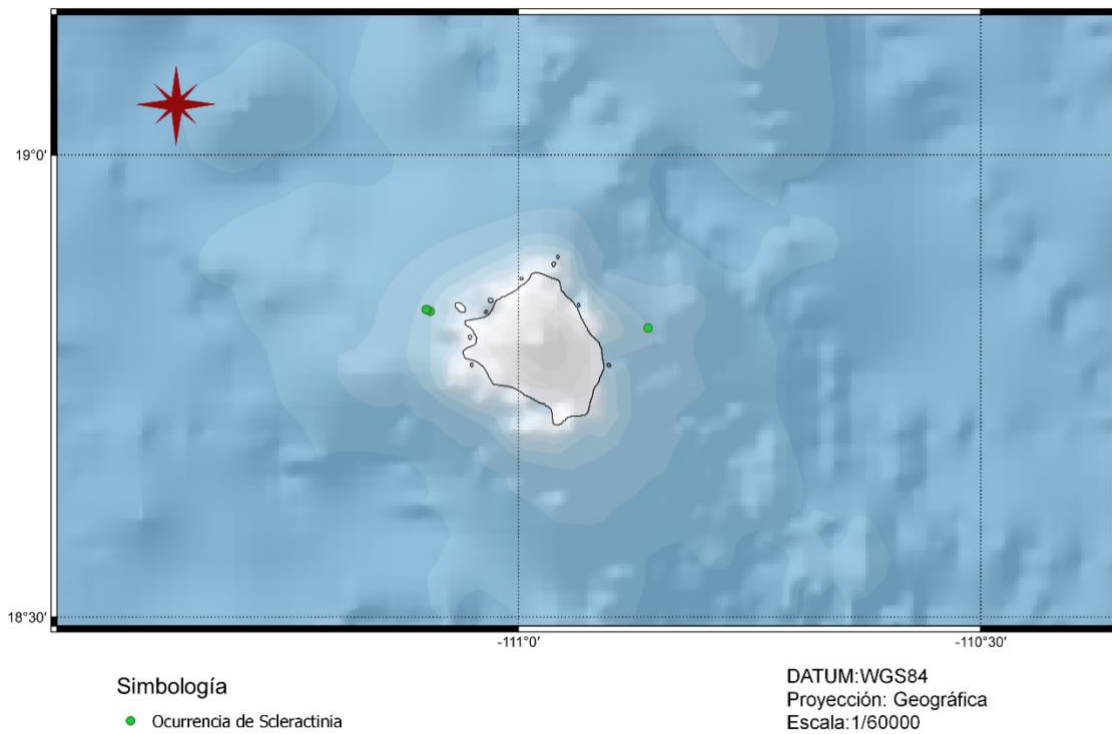


Fig. 47. Mapa de la distribución del orden Scleractinia.

Discusión

Los esquemas de clasificación basados en fototaxones cobran mayor importancia a medida que la recopilación de datos basada en imágenes aumenta, por lo que la estandarización en dichos trabajos es importante para que los grupos de investigación puedan comparar o combinar los datos dentro de las regiones y entre ellas (Untiedt et al., 2021).

Los miembros del Phylum Cnidaria incluyen componentes de taxa que habitan los fondos marinos y la columna de agua; su diversidad actualmente se estudia desde el punto de vista molecular (Parry et al., 2020), aunque es necesario documentar también su morfología a partir de imágenes y video. De acuerdo con el listado de OBIS, se han registrado 4 de las 6 clases del Phylum Cnidaria en el POT, de las cuales, en el archipiélago de Revillagigedo este estudio reconoció las clases Anthozoa, Hydrozoa y Scyphozoa, mientras que Staurozoa fue la única ausente. De las tres clases, Anthozoa fue la que presentó mayor diversidad con un total de 12 especies, dos para Hydrozoa y una para Scyphozoa. Entre las fuentes de datos más grandes extensas está el portal Deep Sea Coral Data Portal (DSCDP) (<https://deepseacoraldata.noaa.gov/>) y OBIS (Ocean Biogeographic Information System, <https://obis.org/>) que proporcionan información sobre la diversidad, distribución y abundancia de todos los organismos marinos, incluyendo los cnidarios, así como información ambiental física y química. Para la clase Anthozoa se observó la presencia de tres de los cinco órdenes de la subclase Hexacorallia que se han registrado para el POT. Dos ejemplares del género *Parantipathes*, dos especies del orden Actiniaria, un ejemplar de la especie *Actinoscyphia aurelia* y tres especies del orden Scleractinia, de las cuales, no se tenía registro por debajo de 200 m, ni de la especie *Actinoscyphia aurelia*, ni del género *Actinoscyphia*. De la subclase Octocorallia se encontraron 5 especies diferentes pertenecientes a los órdenes de Alcyonacea y Pennatulacea, mismos que se tienen registrados en el POT. La familia Plexauridae y Alcyoniidae, incluyendo al género *Anthomastus* están presentes en los datos de OBIS; sin embargo, no aparece el género *Paramuricea*, mismo que se observó en este estudio. Los ecosistemas profundos que albergan más especies de cnidarios y que se reconocen como sitios de alta diversidad de interés científico y comercial incluyen acantilados, cañones y montes (Freiwald et al., 2004).

Los cnidarios tienen una variedad de formas corporales y estrategias de alimentación, lo que les permite ocupar diferentes nichos y posiciones en la red trófica de columna de agua (Haddock, 2004). Las especies de las clases Hydrozoa y Scyphozoa fueron tres, en el primer caso se observó una especie del orden Limnomedusae y otra de Narcomedusae. En el POT, además de estos dos órdenes, se han registrado otros cuatro. Finalmente, de la clase Scyphozoa se encontró un único ejemplar del orden Semaestomeae; pero ninguno de Coronatae. Las medusas son un grupo diverso que en su mayoría ocurren por debajo de la

zona eufótica y pueden encontrarse a lo largo de toda la columna de agua hasta el fondo del océano a 4,000 m (Matsumoto et al., 2020). Es posible que para columna de agua las observaciones en el video adquirido por el ROV no sean las más adecuadas y será necesario emplear otra estrategia que permita documentar la diversidad. Recientemente se ha construido el Mesobot para reducir los vacíos de conocimiento de la diversidad de la zona mesopelágica, que juega un papel crítico en el ciclo global del carbono y las redes alimentarias marinas (Wright et al., 2020).

La composición y riqueza de cnidarios reportada en otros estudios y los de este estudio ocurren en geomorfología del fondo marino y profundidad en columna de agua similar. De acuerdo con Mille-Pagaza, et al. (2002) en la región sur de la isla Socorro se encontraron anémonas adheridas a rocas de medianas dimensiones, en contacto con la grava, además de una gran variedad de otros organismos de los Phylum Annelida, Mollusca, Arthropoda, Echinodermata, etc. Aunque es importante destacar que este estudio se realizó cerca de la costa, en los primeros metros de la columna de agua, lo que marca una diferencia importante en los hallazgos de diversidad.

La diversidad de las Islas Clipperton, Galápagos, Revillagigedo y Malpelo a profundidades de 200 a 3,000 m fue menor en hábitats de fondos blandos en comparación con los hábitats de fondos duros (Giddens et al. 2019). Esto es consistente con las observaciones de este estudio en Revillagigedo que ocurrieron adheridos a sustratos rocosos.

Las diferencias en diversidad en Revillagigedo con respecto a las Galápagos y Malpelo fueron menores. Dichas diferencias podrían atribuirse a la configuración del paisaje marino, la distancia a los montes submarinos o la distancia al continente. Para Giddens et al. (2019) las variables esenciales ambientales también juegan un papel importante. Para otros autores los factores que definen la presencia de cnidarios en aguas profundas son diversos. Entre éstos están los geomorfológicos como son la rugosidad y pendiente, el sustrato, temperatura, salinidad, dirección y velocidad de la corriente y disponibilidad alimenticia (Cartes et al., 2013; Lauria et al., 2017).

La abundancia de fauna incluyendo cnidarios cambia con la concentración de oxígeno disuelto. Tal como se mencionó en una sección anterior, la hipoxia puede afectar la diversidad biológica dentro de las OMZ, disminuyéndola. Así mismo, favorece los endemismos (Gooday et al., 2010). En el caso del presente estudio no se apreció este efecto en los videos, la mayor parte de los ejemplares ocurren en condiciones hipóxicas. Algunas especies de cnidarios presentan diferente sensibilidad a las concentraciones bajas de oxígeno; pero no sobreviven en anoxia (Eash-Loucks y Fautin, 2012; Limburg et al., 2020). Esta sensibilidad diferente de los cnidarios se debe a mantener formas corporales que minimizan la distancia de difusión entre el entorno extracelular y cada célula individual (Knoll y Sperling, 2014). Este estudio valida que, en anoxia, los cnidarios, así como otros organismos están ausentes. Con el cambio climático y la expansión de las ZOM en la zona profunda de México la diversidad podría verse afectada a futuro.

Con respecto a la hidrografía y a la profundidad en la cual se observaron cnidarios se reconoce una pequeña disminución en la salinidad de aproximadamente 0.1 UPS entre 400 y 600 m de profundidad, que disminuye hasta alcanzar un mínimo profundo entre 600 y 1,000 m y que es consistente con la descripción de Aguirre et al. (2015). La temperatura es mayor a 27.5 °C en superficie, valor descrito por Fiedler y Talley (2006) y alcanza 3.27 °C a 1,422 m.

Con respecto a la distribución de cnidarios de profundidad y las variables esenciales ambientales y geomorfológicas de mar profundo se ha reconocido en montes submarinos y cordilleras como Salas y Gómez y Nazca, que los sustratos duros albergan corales de profundidad que son de gran importancia por la elevada diversidad de especies asociadas (Friedlander et al., 2021).

El estudio de Giddens et al. (2019) considera que la configuración del paisaje marino tiene una mayor influencia en la distribución de los cnidarios más que las variables esenciales ambientales. En este estudio los cnidarios se observaron al oeste de isla Socorro, donde la última erupción en 1993 formó depósitos piroclásticos y flujos de lava 3 km al oeste de la isla. Los sustratos heterogéneos rocosos, arenosos y de rodolitos han sido referidos por Shepherd et al., (2020) como hábitats para el coral negro, los cuales funcionan también como hábitat para otras especies.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio permiten concluir que:

- 1.- La composición y riqueza de cnidarios en columna de agua y fondo marino cambian con la profundidad.
- 2.- La composición y riqueza de especies de cnidarios bénticos está relacionada con la geomorfología del fondo marino.
- 3.- La abundancia de cnidarios bénticos está relacionada con la concentración de oxígeno disuelto; aunque el efecto es más notorio con la configuración y geomorfología del fondo marino.
- 4.- La composición y riqueza de cnidarios en Revillagigedo en mar profundo es menor que en otras localidades del Pacífico Oriental Tropical como son las islas Galápagos.
- 5.- En la columna de agua se observó un número reducido de ejemplares de cnidarios. En el fondo marino la mayor riqueza y abundancia se registró entre 800 y 1,000 m.
- 6.- La mayoría de los corales ocurrieron cerca de 800 m de profundidad, mientras que la mayoría de las anemonas aparecen en un mayor intervalo, de 300 a 1,000 m; sin embargo, en nuestro estudio hay registros de corales a profundidades mayores a 1,000 m y no de anemonas.

7.- En la columna de agua, la temperatura desciende rápidamente y la luz desaparece con la profundidad. En los alrededores de Isla Socorro hay un mínimo de oxígeno entre 200 y 1,200 m que corresponde a las zonas mesopelágica y batipelágica. Existe una pequeña disminución de la salinidad entre 600 y 1,000 m en la zona mesopelágica.

8.- Este estudio reconoce un vínculo entre la distribución de cnidarios con las variables esenciales geomorfológicas y ambientales.

Propuestas

Ese estudio propone realizar observaciones en más transectos, en especial los que rodean a la isla San Benedicto para conocer si tiene el mismo patrón de riqueza, abundancia y distribución de cnidarios.

Referencias.

- Aguirre Muñoz, A., F. Méndez Sánchez, A. Ortiz Alcaraz, A. Del Mazo Maza, L. Fueyo Mac Donald, A. Rhodes Espinoza, M. Bellot Rojas, B. Bermúdez Almada, M.J. Navarro Sánchez, M.P. Gallina Tessaro y S.A. García Martínez (Eds.). (2015). Formulario de Nominación del Bien Natural "Archipiélago de Revillagigedo" para su Inscripción en la Lista del Patrimonio Mundial, presentado al Centro de Patrimonio Mundial de la UNESCO. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. Ensenada, Baja California, México. 149 pp. + 5 Anexos.
- Arai, M.N. (1997). *A functional biology of scyphozoans*. London: Chapman and Hall.
- Auscavitch, S. R., Lunden, J. J., Barkman, A., Quattrini, A. M., Demopoulos, A. W. J., and Cordes, E. E. (2020). Distribution of deep-water scleractinian and stlyasterid corals across abiotic environmental gradients on three seamounts in the Anegada Passage. PeerJ 8:e9523. doi: 10.7717/peerj.9523
- Barber, R., Sanderson, M., Lindley, S., Chai, F., Newton, J., & Trees, C. et al. (1996). Primary productivity and its regulation in the equatorial Pacific during and following the 1991–1992 El Niño. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies In Oceanography*, 43(4-6), 933-969. doi: 10.1016/0967-0645(96)00035-5
- Bewley, M., Friedman, A., Ferrari, R., Hill, N., Hovey, R., Barrett, N., et al. (2015). Australian sea-floor survey data, with images and expert annotations. *Scientific Data*, 2 (1). <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.57>
- Bohron, W. A., y M. R. Reid. (1997). Genesis of silicic peralkaline volcanic rocks in an ocean island setting by crustal melting and open-system processes: Socorro Island, Mexico. *Journal of Petrology*, 38(9), 1137-1166.
- Brusca, R., Moore, W., y Shuster, S. (2016). *Invertebrates* (3rd ed., pp. 265-326). Sunderland, Massachusetts (USA): Sinauer Associates Inc.

- Carballido-Sánchez, E. A. (1994). The geology and petrology of Socorro Island, Revillagigedo Archipelago, Mexico. PhD. Thesis. Tulane University. 265 pp.
- Cartes, J., Lolocono, C., Mamouridis, V., López-Pérez, C., y Rodríguez, P. (2013). Geomorphological, trophic and human influences on the bamboo coral *Isidella elongata* assemblages in the deep Mediterranean: To what extent does *Isidella* form habitat for fish and invertebrates?. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 76, 52-65. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2013.01.006>
- Clague, D., y Paduan, J. (2008). SUBMARINE BASALTIC VOLCANISM. *Submarine Volcanism and Mineralization—Modern Through Ancient*, 19, 41-60. Consultado 11 enero 2021.
- Clark, M., Consalvey, M., y Rowden, A. (2016). *Biological sampling in the deep sea* (pp. 285-303). Uk: office.
- Eash-Loucks, W., y Fautin, D. (2012). Taxonomy and distribution of sea anemones (Cnidaria: Actiniaria and Corallimorpharia) from deep water of the northeastern Pacific. *Zootaxa*, 3375(1), 1. doi: 10.11646/zootaxa.3375.1.1
- Etnoyer, P., Cairns, S.D., Sanchez, J.A., Reed, J.K., Lopez, J.V., Schroeder, W.W., Brooke, S. D., Watling, L., Baco-Taylor, A., Williams, G. C., Lindner, A., France, S. C. y Bruckner, A.W. (2006). Deep-sea coral collection protocols. NOAA Technical Memorandum NMFS-POR-28, Silver Spring, MD, 53 pp.
- Fiedler, P., y Talley, L. (2006). Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress In Oceanography*, 69(2-4), 143-180. doi: 10.1016/j.pocean.2006.03.008
- Freiwald, A., Fosså, J.H., Grehan, A., Koslow, T. y Roberts, J.M. (2004). Cold-water Coral Reefs: out of sight-no longer out of mind. UNEP-WCMC, Cambridge, UK.
- Friedlander, A., Goodell, W., Giddens, J., Easton, E., y Wagner, D. (2021). Deep-sea biodiversity at the extremes of the Salas y Gómez and Nazca ridges with implications for conservation. *PLOS ONE*, 16(6), e0253213. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253213>
- Giddens, J., Goodell, W., Friedlander, A., Salinas-de-León, P., Shepard, C., Henning, B., Berkenpas E., Sala, E. y Turchik, A. (2019). Patterns in Bathyal Demersal Biodiversity and Community Composition Around Archipelagos in the Tropical Eastern Pacific. *Frontiers In Marine Science*, 6. doi: 10.3389/fmars.2019.00388
- Glynn, P.W., Ault, J.S. (2000). A biogeographic analysis and review of the far eastern Pacific coral reef region. *Coral Reefs*, 19 (1), 1-23. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1007/s003380050220>
- Glover, A.G., Higgs, N. y Horton, T. (2020). World Register of Deep-Sea Species (WoRDSS). Consultado 26 de octubre 2020, en: <http://www.marinespecies.org/deepsea/>
- Gooday, A., Bett, B., Escobar, E., Ingole, B., Levin, L., Neira, C., Raman, A. y Sellanes, J. (2010). Habitat heterogeneity and its influence on benthic biodiversity in oxygen minimum zones. *Marine Ecology*, 31(1), 125-147. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2009.00348.x>

- Haddock, S. (2004). A golden age of gelata: past and future research on planktonic ctenophores and cnidarians. *Hydrobiologia*, 530-531(1-3), 549-556. <https://doi.org/10.1007/s10750-004-2653-9>
- Horton, T., Marsh, L., Bett, B. J., Gates, A. R., Jones, D. O. B., Benoist, N. M. A., Pfeifer, S., Simon-Lledó, E., Durden, J.M., Vandepitte, L. y Appeltans, W. (2021). Recommendations for the standardisation of open taxonomic nomenclature for image-based identifications. *Frontiers in Marine Science*, 8, 620702. doi: 10.3389/fmars.2021.620702
- Howell, K. L., Davies, J. S., Allcock, A. L., Braga-Henriques, A., Buhl-Mortensen, P., Carreiro-Silva, M., Domínguez-Carrió, C., Durden, J. M., Foster, N. L., Game, C. A., Hitchin, B., Horton, T., Hosking, B., Jones, D. O. B., Mah, C., Laguionie-Marchais, C., Menot, L., Morato, T., Pearman, T., Piechaud, N., Ross, R. E., Ruhl, H.A., Saeedi, H., Stefanoudis, P.V., Taranto, G.H., Thompson, M.B., Taylor, J.R., Tyler, P., Vad, J., Victorero, L., Vieira, R.P., Woodall, L.C., Xavier, J.R. y Wagner, D. (2019). A framework for the development of a global standardised marine taxon reference image database (SMarTaR-ID) to support image-based analyses. *PLoS One*, 14:e0218904. doi: 10.1371/journal.pone.0218904
- Kamykowski, D., Zentara, S.J. (1990). Hypoxia in the world ocean as recorded in the historical data set. *Deep-Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 37(12), 1861-1874.
- Kester, D.R. (1975). Dissolved gases other than CO₂. *Chemical Oceanography*, 1, 497-556.
- Ketchum, J., y Reyes Bonilla, H. (2001). Taxonomía y distribución de los corales hermatípicos (Scleractinia) del Archipiélago de Revillagigedo, México. *Biología Tropical*, 49(3-4), 803-848.
- Knoll, A., y Sperling, E. (2014). Oxygen and animals in Earth history. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, 111(11), 3907-3908. <https://doi.org/10.1073/pnas.1401745111>
- Lauria, V., Garofalo, G., Fiorentino, F., Massi, D., Millisenda, G., Piraino, S., Russo, T. y Gristina, M. (2017). Species distribution models of two critically endangered deep-sea octocorals reveal fishing impacts on vulnerable marine ecosystems in central Mediterranean Sea. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08386-z>
- Limburg, K., Breitburg, D., Swaney, D., y Jacinto, G. (2020). Ocean Deoxygenation: A Primer. *One Earth*, 2(1), 24-29. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.01.001>
- Longhurst, A. (2007). *Ecological Geography of the Sea (Second Edition)* (2nd ed., pp. 19-34). Amsterdam: Academic Press.
- Low Pfeng, A., y Peters Recagno, E. (2014). *La frontera final: el océano profundo* (1st ed., pp. 1-11). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). pp. 1-11.
- Macreadie, P., McLean, D., Thomson, P., Partridge, J., Jones, D., Gates, A., Benfield, M., Collin, S., Booth, D., Smith, L., Techera, E., Skropeta, D., Horton, T., Pattiaratchi, C., Bond,

- T., y Fowler, A. (2018). Eyes in the sea: Unlocking the mysteries of the ocean using industrial, remotely operated vehicles (ROVs). *Science Of The Total Environment*, 634, 1077-1091. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.049
- Matsumoto, G., Bentlage, B., Sherlock, R., Walz, K., y Robison, B. (2020). "Little Red Jellies" in Monterey Bay, California (Cnidaria: Hydrozoa: Trachymedusae: Rhopalonematidae). *Frontiers In Marine Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00798>
 - Mille-Pagaza, S., Carrillo-Laguna, J., Pérez-Chi, A., y Sánchez-Salazar, M. (2002). Abundancia y diversidad de los invertebrados litorales de isla Socorro, Archipiélago Revillagigedo, México. *Revista De Biología Tropical*, 50(1)(00347744), 97-105.
 - Núñez-Flores, M., Solórzano, A., Hernández, C., y López-González, P. (2019). A latitudinal diversity gradient of shallow-water gorgonians (Cnidaria: Octocorallia: Alcyonacea) along the Tropical Eastern Pacific Ocean: testing for underlying mechanisms. *Marine Biodiversity*, 49(6), 2787-2800. doi: 10.1007/s12526-019-01006-1
 - *OBIS Mapper*. Mapper.obis.org. Consultado 26 octubre 2020, en: <https://mapper.obis.org/>.
 - Olgun, N., Duggen, S., Croot, P., Delmelle, P., Dietze, H., Schacht, U., Niels Óskarsson, N., Siebe, C., Auer, A., y Garbe-Schönberg, D. (2011). Surface ocean iron fertilization: The role of airborne volcanic ash from subduction zone and hot spot volcanoes and related iron fluxes into the Pacific Ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, 25(4), n/a-n/a. doi: 10.1029/2009gb003761
 - Parry, H., Atkinson, A., Somerfield, P., y Lindeque, P. (2020). A metabarcoding comparison of taxonomic richness and composition between the water column and the benthic boundary layer. *ICES Journal Of Marine Science*. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaa228>
 - Portela, E., Beier, E., Barton, E., Castro, R., Godínez, V., Palacios-Hernández, E., Fiedler, P., Sánchez-Velasco, L., y Trasviña, A. (2016). Water Masses and Circulation in the Tropical Pacific off Central Mexico and Surrounding Areas. *Journal Of Physical Oceanography*, 46(10), 3069-3081. doi: 10.1175/jpo-d-16-0068.1
 - Raineault, N. (2018). New Frontiers in Ocean Exploration: The E/V Nautilus, NOAA Ship Okeanos Explorer, and R/V Falkor 2017 Field Season. *Oceanography*, 31(1), 26-46. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2018.supplement.01>
 - Ramirez-Llodra, E., y Billet, S., (2006). Ecosistemas de las profundidades marinas: Reservorio privilegiado de la biodiversidad y desafíos tecnológicos, en: Duarte, C. (Ed.), Exploración de la biodiversidad marina, desafíos tecnológicos y científicos. Fundación BBVA, p. 73.
 - Reid, J.L. (1973). The shallow salinity minima of the Pacific Ocean. *Deep-Sea Research I* 20, 51-68.
 - Reid, J.L. (1997). On the total geostrophic circulation of the Pacific Ocean: flow patterns, tracers, and transports. *Progress in Oceanography*, 39, 263-352.

- Richards, A. F. (1964). Geology of the Islas Revillagigedo, Mexico 4. Geology and petrography of Isla Roca Partida. *Bulletin of the Geological Society of America*, 75(11), 1157-1164.
- Roden, G. (1972). Thermohaline Structure and Baroclinic Flow Across the Gulf of California Entrance and in the Revillagigedo Islands Region. *Journal Of Physical Oceanography*, 2(2), 177-183. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1972\)002<0177:tsabfa>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1972)002<0177:tsabfa>2.0.co;2)
- Shepherd, B., Pinheiro, H., Phelps, T., Easton, E., Pérez-Matus, A., y Rocha, L. (2020). A New Species of *Chromis* (Teleostei: Pomacentridae) from Mesophotic Coral Ecosystems of Rapa Nui (Easter Island) and Salas y Gómez, Chile. *Copeia*, 108(2), 326. <https://doi.org/10.1643/ci-19-294>
- Siebe, C., J.C. Komorowski, C. Navarro, J. McHone, H. Delgado, and A. Cortés. (1995). Submarine eruption near Socorro Island, Mexico: Geochemistry and scanning electron microscopy studies of floating scoria and reticulite. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 68:239–271, [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(95\)00029-1](https://doi.org/10.1016/0377-0273(95)00029-1).
- Sutton, T. (2013). Vertical ecology of the pelagic ocean: classical patterns and new perspectives. *Journal Of Fish Biology*, 83(6), 1508-1527. doi: 10.1111/jfb.12263
- Taran, Y. A., T. P. Fischer, E. Cienfuegos, y P. Morales. (2002). Geochemistry of hydrothermal fluids from an intraplate ocean island: Everman volcano, Socorro Island, Mexico. *Chemical Geology*, 188(1-2), 51-63.
- Thorp, J., y Covich, A. (2010). *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates* (3rd ed., pp. 125-142). Amsterdam: Elsevier Science.
- Tsuchiya, M., Talley, L.D. (1998). A Pacific hydrographic section at 88 W: water-property distribution. *Journal of Geophysical Research Oceans*, 103 (C6), 12899-12918.
- Untiedt, C., Williams, A., Althaus, F., Alderslade, P., y Clark, M. (2021). Identifying Black Corals and Octocorals From Deep-Sea Imagery for Ecological Assessments: Trade-Offs Between Morphology and Taxonomy. *Frontiers In Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.722839>
- UNESCO. 2009. Global Open Oceans and Deep Seabed (GOODS) – Biogeographic Classification. Paris, UNESCO-IOC. (IOC Technical Series, 84.). pp. 10-25.
- Vandepitte, L., Vanhoorne, B., Decock, W., Vranken, S., Lanssens, T., Dekeyzer, S., Verfaillie, K., Horton, T., Kroh, A., Hernandez, F., y Mees, J. (2018). A decade of the World Register of Marine Species – General insights and experiences from the Data Management Team: Where are we, what have we learned and how can we continue? *PLOS ONE*, 13(4), e0194599. doi: 10.1371/journal.pone.0194599
- WoRMS - World Register of Marine Species - Cnidaria. Marinespecies.org. (2019). Consultado 28 octubre 2020, en: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=1267>.

- Wright, G., K Gjerde, A. Finkelstein y D. Currie. 2020. Fishing in the Twilight Zone: Illuminating governance challenges at the next fisheries frontier. Paris: Institute for Sustainable Development and International Relations (IDDRI). Study 06/20.

Anexos.

Anexo 1. Listado de especies de OBIS para la región del Pacífico Oriental Tropical en México.

Clase	Subclase	Orden	Suborden	Superfamilia	Familia
Anthozoa	Ceriantharia	Spirularia	-	-	Cerianthidae
	Hexacorallia	Actiniaria	Enthemonae	Actinioidea	Liponematidae
				Actinostoloidea	Actinostolidae
				Metridioidea	Amphianthidae
					Hormathiidae
					Isanthidae
				Kadosactinidae	
		-	Actiniaria incertae sedis	Relicanthidae	
		Antipatharia	-	-	Antipathidae
					Cladopathidae
					Leiopathidae
					Myriopathidae
					Schizopathidae
		Corallimorpharia	-	-	Corallimorphidae
		Scleractinia	-	-	Caryophylliidae
					Deltocyathidae
	Dendrophylliidae				
	Flabellidae				
	Fungiacyathidae				
	Fungiidae				
	Oculinidae				
	Scleractinia incertae sedis				
	Zoantharia	Macrocnemina	-	Parazoanthidae	
	Octocorallia	Alcyonacea	Alcyoniina	-	Alcyoniidae
					Nephtheidae
					Paralcyoniidae
			Calcaxonia	-	Chrysogorgiidae
					Isididae
					Primnoidae
			Holaxonia	-	Acanthogorgiidae
					Gorgoniidae
Plexauridae					
Scleraxonia			-	Anthothelidae	
				Coralliidae	
				Paragorgiidae	
				Victorgorgiidae	
Stolonifera	-	-	Clavulariidae		

					Cornulariidae
		Pennatulacea	Sessiliflorae	-	Anthoptilidae
					Funiculinidae
					Kophobelemnidae
					Protoptilidae
					Umbellulidae
					Veretillidae
			Subselliflorae	-	Halipteridae
					Pennatulidae
					Virgulariidae
			-	-	Renillidae
				Scleroptilidae	
Hydrozoa	Hyroidolina	Anthoathecata	Aplanulata	-	Corymorphidae
					Tubulariidae
			Capitata	-	Porpitidae
					Sphaerocorynidae
					Zanclidae
			Filifera	-	Bythotiaridae
					Cytaeididae
					Hydractiniidae
					Pandeidae
					Rathkeidae
		Stylasteridae			
		Leptothecata	-	Plumularioidea	Aglaopheniidae
				Sertularioidea	Sertulariidae
				-	Aequoreidae
					Campanulinidae
					Hebellidae
					Lafoeidae
					Lovenellidae
					Tiarannidae
					Zygophylacidae
		Siphonophorae	Calcycophorae	-	Abylidae
					Clausophyidae
					Diphyidae
Hippopodiidae					
Cystonectae	-		Prayidae		
			Rhizophysidae		
			Physonectae	-	Agalmatidae
					Apolemiidae
Errenidae					
Physophoridae					
				Pyrostephidae	

					Rhodaliidae
	Trachylinae	Limnomedusae	-	-	Geryoniidae
		Narcomedusae			Aeginidae
					Cuninidae
					Solmarisidae
					Solmundaeginidae
		Trachymedusae			Tetraplatiidae
					Halicreatidae
	Rhopalonematidae				
Scyphozoa	Coronamedusae	Coronatae	-	-	Coronatae incertae sedis
					Nausithoidae
	Discomedusae	Semaeostomeae	-	-	Pelagiidae
Staurozoa	-	Stauromedusae	Myostaurida	-	Lucernariidae