



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

**Posibles impactos en la diversidad biológica por la
implementación del sistema OTEC en los sitios analizados en
el Pacífico Mexicano durante la campaña oceanográfica OTEC-I**

TESIS

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

(BIOLOGÍA MARINA)

PRESENTA:

Cecilia López Chávez

TUTOR:

**Dr. Miguel Ángel Alatorre Mendieta
Instituto De Ciencias Del Mar Y Limnología, UNAM**

COMITÉ TUTOR:

**Dr. Rodolfo Silva Casarín
Instituto De Ingeniería, UNAM
Dra. Cecilia Elizabeth Enríquez Ortiz
Escuela Nacional De Estudios Superiores, Unidad Mérida, Yucatán, UNAM
Dra. Vivianne Solís Weiss
Unidad Académica De Sistemas Arrecifales, UNAM
Dr. Carlos Francisco Rodríguez Gómez
Facultad De Ciencias Biológicas Y Agropecuarias, Universidad Veracruzana**

Ciudad Universitaria, CD.MX., diciembre, 2024



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.



**PRÓTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Graduación con trabajo escrito)**

De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la Institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado:

Posibles impactos en la diversidad biológica por la implementación del sistema OTEC en los sitios analizados en el Pacífico Mexicano durante la campaña oceanográfica OTEC-I

que presenté para obtener el grado de ~~Maestría~~ es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi programa de posgrado, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de graduación.

Atentamente

Cecilia López Cordero  309246602

(Nombre, firma y Número de cuenta de la persona alumna)

“El amor por todas las criaturas vivientes
es el más noble atributo del hombre”.

Charles Darwin

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), por brindarme la oportunidad de continuar con mi formación académica y profesional en una institución de excelencia.

Al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, por permitirme realizar mi maestría en un entorno que promueve la investigación interdisciplinaria, el crecimiento profesional y el interés por la ciencia entre sus estudiantes.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico a través de la beca otorgada, la cual fue fundamental para llevar a cabo mis estudios de posgrado.

Al Centro Mexicano de Innovación en Energía del Océano (CEMIE-Océano), a la Coordinación de Plataformas Oceanográficas (COPO), al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, y al Instituto de Ingeniería, por su invaluable apoyo al proporcionar las facilidades económicas y logísticas antes, durante y después de la realización de la campaña oceanográfica OTEC-I.

A mi tutor de maestría, el Dr. Miguel Ángel Alatorre Mendieta, mi más sincero agradecimiento por compartir conmigo su inmenso conocimiento y su pasión por el mar y la ciencia a lo largo de mi formación de posgrado, especialmente en las materias de Oceanografía Física y Métodos Oceanográficos. Gracias por brindarme la oportunidad de participar en la Campaña Oceanográfica OTEC-I, una experiencia que cambio mi vida. Por su apoyo incondicional, sus palabras de aliento y la confianza depositada en mí al dirigir este trabajo han sido fundamentales para alcanzar este logro. Agradezco profundamente la confianza que me brindó al darme una nueva oportunidad para cumplir mi sueño, motivándome a continuar haciendo lo que amo y a mantener vivo el asombro y la curiosidad que me inspiran desde niña.

A la Dra. Vivianne Solís Weiss, mi más sincero agradecimiento por todas sus enseñanzas y por compartir su pasión, especialmente en las materias de Biología Marina y Métodos Oceanográficos. Gracias por la confianza al ser parte de mi comité y por sus valiosos comentarios que ayudaron a mejorar este trabajo.

Al Dr. Rodolfo Silva Casarín, muchas gracias por su confianza y apoyo al ser parte de mi comité, por sus consejos y observaciones, y por permitirme participar en las campañas oceanográficas del CEMIE-Océano, experiencias que enriquecieron mi formación.

A la Dra. Cecilia Elizabeth Enríquez Ortiz, mil gracias por permitirme formar parte de la campaña CEMIE-BCS, por la confianza y por su apoyo al ser integrante de mi comité. Sus comentarios fueron esenciales para mejorar el nivel de este trabajo.

Al Dr. Carlos Francisco Rodríguez Gómez, gracias por todo el apoyo, comentarios los cuales enriquecieron considerablemente este trabajo; así como todos los consejos y pláticas durante la campaña oceanográfica CEMIE-BCS

Al Dr. Alejandro García Huante por las observaciones en la revisión del manuscrito, los cuales ayudaron al enriquecimiento de este trabajo.

A la Ma. En C. Alicia Durán por tomarse el tiempo de ayudarme en la identificación de ofiuros.

A Alonso, por tomarse el tiempo para revisar la redacción de este trabajo.

A Francisco Ponce Núñez, mi más profundo agradecimiento por todo su apoyo en la elaboración de los mapas de esta tesis y por las pláticas y enseñanzas compartidas durante y después de la campaña OTEC-I.

Al M. en C. Rodolfo Castillo por el diseño de la Portada de mi Tesis.

A toda la tripulación del B/O "El Puma", gracias por su apoyo invaluable durante las campañas oceanográficas de POGOCA-19, OTEC-I y CEMIE-BCS. En especial, agradezco a Villano, Villa, Víctor, Félix, Manuel, el Capitán Maurilio y el Capitán Cantú por las pláticas, enseñanzas sobre los equipos y por siempre ser tan lindos conmigo.

A mis compañeros de la campaña OTEC-I: Víctor, Paco, Luz, Richard, Pao, Joel, Juanito y Alex, gracias por hacer de esta experiencia algo increíblemente divertido. También agradezco el apoyo brindado durante el congreso y la realización de este trabajo.

A mis compañeros de posgrado y de guardia: Alberto, Mitzi, Erick y Rodolfo. Ustedes se convirtieron en grandes amigos y en una segunda familia. Gracias por hacer más divertidas las guardias y clases, por las pláticas, salidas a Six Flags, pijamadas, por estar en mi boda, por ser parte fundamental de esta etapa en mi vida. Por escucharme, sus consejos, verme feo cuando no me concentraba al escribir mi tesis y apoyo incondicional en las buenas y en las malas. Siempre me alentaron a perseguir este sueño, incluso en los momentos más difíciles. Los quiero mucho.

A Magda, porque la vida nos volvió a reunir en el posgrado. Gracias por todo tu apoyo y por ser la mejor compañera de camarote.

A lo más bonito que me dejó el Laboratorio de Mastozoología Marina: María y Dana. Agradezco profundamente haber coincidido con ustedes, compartiendo el amor por los mamíferos marinos. Gracias por ser un lugar seguro, por su amistad y apoyo emocional durante este proceso. Espero que algún día volvamos a navegar juntas observando mamíferos marinos. Las quiero mucho.

A mis personitas favoritas de la COPO: Luz y George. Agradezco a la vida y al mar por haberme permitido conocer a personas tan bonitas, mágicas y divertidas como ustedes. Gracias por todas las horas de pláticas en la cofa, por sus consejos, regaños (ijaja!) y, sobre todo, por su sinceridad. Son los mejores compañeros de aventuras, y espero que la vida nos vuelva a poner en el mismo buque algún día. Love you guys.

A mi Dorybia, gracias por tu apoyo y cariño desde Australia, siempre motivándome a nunca darme por vencida. Love you.

A mi familia: Mom, Dad y Twinky (Feo) Mil gracias por su apoyo incondicional a lo largo de todo este proceso. Gracias por enseñarme, con su ejemplo, a dar siempre lo mejor de mí y por estar a mi lado en cada paso, sin importar lo difícil que fuera el camino. Su amor, confianza y ánimo han sido mi fuerza en los momentos más desafiantes. Agradezco profundamente que siempre hayan creído en mí, incluso cuando yo misma dudaba. Los quiero muchísimo, y siempre estaré agradecida por todo lo que han hecho por mí. A mis abuelos, en especial a mi Tito, gracias por inculcarme desde niña a siempre luchar por mis sueños. A Ara y Sandra, por su apoyo constante, y a toda mi familia, por su cariño.

A mis seres queridos que partieron durante este proceso: tío Pepe, tío Chuy, tía Patty, Mago, Grandpa y tío José. Siempre los llevo en mi corazón.

A mi gordos: Appa, Momo y Chewbacca. Gracias por su amor peludito incondicional y por ser mi fiel compañía durante las largas noches de trabajo. Su presencia y cariño me motivan a seguir adelante. Los amo muchísimo y son lo más bonito de mi vida.

A Pablo, gracias por ser parte de este proceso tan turbulento, por tu paciencia, amor y apoyo incondicional. Gracias por estar a mi lado en los momentos más difíciles, por escucharme, animarme y recordarme que siempre puedo lograr mis sueños. Love you cielo.

Índice

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
JUSTIFICACIÓN	6
ANTECEDENTES	7
Antecedentes de la tecnología OTEC en México.....	11
OBJETIVOS	13
Objetivo General.....	13
Objetivos Particulares.....	13
ÁREA DE ESTUDIO	14
Bahía de Banderas.....	19
Bahía de Petacalco.....	20
La Bahía de Puerto Ángel.....	21
MATERIAL Y MÉTODO	23
Levantamiento batimétrico del fondo marino.....	23
Bahía de Banderas.....	24
Bahía de Petacalco.....	25
Puerto Ángel.....	25
Colecta de datos fisicoquímicos en la columna de agua.....	26
Colecta de sedimentos y organismos en el derrotero OTEC-I.....	29
Registro de avistamientos de organismos en el derrotero OTEC-I.....	30
Análisis Fisicoquímico de la columna de agua.....	30
Modelado tridimensional de las tuberías OTEC.....	35
RESULTADOS	39
Batimétricos.....	39
Físicos.....	45
Químicos.....	48
Biológicos.....	53
Taxonomía.....	57
DISCUSIÓN	64
CONCLUSIONES	73
LITERATURA CITADA	76



RESUMEN

La planta generadora de energía OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion), se ha desarrollado durante los últimos 100 años para generar energía por medio del aprovechamiento de la diferencia de temperatura entre la zona superficial y la zona profunda del océano. Esta planta requiere tres tuberías: una superficial, otra en el punto de zona de bombeo para el agua fría profunda y otra para el agua de descarga última formada por la mezcla de las dos masas anteriores. Esta tesis está enfocada en los efectos del agua de descarga sobre la biota.

Se analizan tres casos según la circunstancia

El agua de descarga va a una profundidad donde iguala su misma temperatura.

El agua de descarga en la superficie, con agua más caliente y ligera, en el caso que fluya sobre la misma superficie

El agua de descarga va a la superficie del mar, pero dada su mayor densidad, se hunde al el fondo marino.

Se realizó el crucero oceanográfico OTEC-I donde se estudió con detenimiento los tres casos propuestos por cada uno de los sitios de muestreo.

El objetivo de este estudio es determinar las posibles afectaciones para cada uno de los sitios propuestos en la campaña oceanográfica OTEC-I según la topografía y fauna del lugar, con el objetivo de aportar información para plantas OTEC en México.



INTRODUCCIÓN

La tecnología del gradiente térmico, conocida como OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion), se destaca por su capacidad única y su potencial para ser implementada en diversas regiones del mundo. OTEC genera electricidad aprovechando la energía solar almacenada en los océanos, ya que utiliza la diferencia de temperatura entre la superficie, (calentada por el sol en las zonas tropicales y subtropicales), y las aguas profundas, más frías, que provienen de latitudes más altas y se desplazan hacia el ecuador. La capa superficial, con temperaturas promedio de alrededor de 28 °C durante todo el año, se extiende entre 100 y 200 metros de profundidad, mientras que el agua profunda está separada de la superficie por una termoclina, una zona de transición donde la temperatura desciende bruscamente y que se extiende hasta los 2000 metros. Esta diferencia de temperatura, que varía entre 10 y 25 °C, es mayor en las regiones ecuatoriales y tropicales, siendo necesaria una diferencia de al menos 20 °C para que la operación de OTEC sea viable (Masutani y Takahashi, 2001; Aviña-Jiménez, 2007; Garduño *et al.*, 2021) (Fig. 1).

Las plantas OTEC pueden ser instaladas en tierra, cerca de la costa, o como plantas flotantes en alta mar, generalmente construidas sobre barcos o plataformas a pocos kilómetros de la costa. Actualmente, existen aproximadamente 12 dispositivos OTEC en funcionamiento a nivel mundial, con una capacidad total de 270 kW y una producción esperada de 2,17 GWh/año. Se estima que el potencial neto de generación eléctrica de OTEC podría alcanzar entre 10 000 y 87 600 TWh/año, lo que convierte a esta tecnología en una de las fuentes renovables más prometedoras para cubrir la carga base, además de ofrecer beneficios económicos y sociales derivados del uso de subproductos (Avery & Wu, 1994; Garduño-Ruiz, 2022).



Las plantas OTEC se han instalado principalmente en Corea del Sur, Japón, Estados Unidos y Francia.

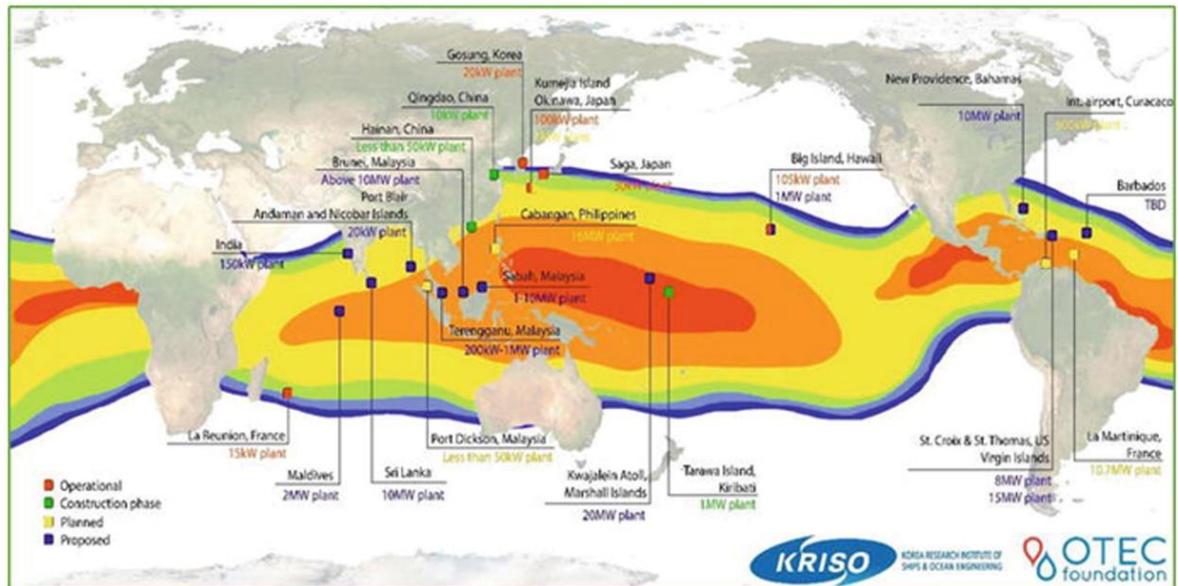


Figura 1. Mapa Global de actividades y recursos de OTEC en términos de diferencia de temperatura entre el agua de mar superficial y agua de mar a una profundidad de 1km.

En esencia, OTEC convierte la energía solar capturada por los océanos en electricidad. Una de las grandes ventajas de esta tecnología es su capacidad para coproducir hasta 2 millones de litros diarios (500 mil galones por día) de agua potable por cada megavatio de electricidad generada. Debido a que OTEC no utiliza combustibles fósiles, la electricidad producida tiene un costo fijo, sin estar sujeta a la volatilidad de precios que afecta a otras fuentes de energía como el petróleo, el carbón y el gas natural. Además, su impacto ambiental es menor que el de otras fuentes de energía, ya que OTEC no genera productos de combustión ni residuos radiactivos o peligrosos. Esto es especialmente relevante hoy en día, dada la relación entre las emisiones de carbono y el calentamiento global (Vega, 2012).



Un sistema OTEC consta de un motor térmico que funciona de manera similar a los empleados en las plantas termoeléctricas convencionales, donde el calor se utiliza para vaporizar un fluido que impulsa un turbogenerador. Sin embargo, en lugar de usar combustibles fósiles, este sistema aprovecha el diferencial de temperatura entre la superficie y las profundidades del mar para evaporar un fluido térmico, comúnmente amoníaco (Martí *et al.*, 2010; Sverdrup *et al.*, 2005).

En México, las condiciones de batimetría y temperatura más adecuadas para el despliegue de plantas OTEC se encuentran en el Pacífico Mexicano y el Mar Caribe, así como en zonas de interés turístico con infraestructura eléctrica cercana y una creciente demanda de electricidad. OTEC se considera una fuente de energía renovable que podría diversificar la matriz energética del país, aunque es necesario evaluar los posibles impactos ambientales antes de implementar proyectos a gran escala (Garduño *et al.*, 2021). Estos impactos podrían incluir la liberación de contaminantes, la aspiración de agua y organismos marinos, la descarga de agua con diferencias fisicoquímicas, la presencia de plataformas flotantes, el ruido generado, los campos electromagnéticos de los cables y el impacto durante la fase de construcción (Auvray *et al.*, 2015).

Uno de los impactos más significativos es la presencia de plataformas flotantes, que podría causar perturbaciones en el comportamiento de la fauna marina debido al ruido y las vibraciones generadas por el sistema de energía, amarres y tuberías. Aunque actualmente no existe mucha información sobre estos efectos, se sugiere equipar las plantas OTEC con hidrófonos para medir el ruido y crear una base de datos para futuros estudios (Nihous, 2012). Otro posible impacto es la "agregación de peces" o "efecto arrecife artificial", donde los ecosistemas marinos podrían desarrollarse en las tuberías, amarres y plataformas, o el proceso de bombeo de agua fría podría atraer fauna marina, beneficiando potencialmente a los pescadores locales.



Sin embargo, este efecto es difícil de predecir antes de la construcción de una planta, ya que depende de múltiples factores físicos, biológicos y humanos (Hawaii National Marine Renewable Energy Center, 2017).

Un estudio preliminar de estos posibles impactos incluye la observación de organismos en el sitio. Durante la campaña OTEC-I a bordo del buque oceanográfico "El Puma", se lograron detectar y recolectar organismos que podrían verse afectados durante las tres etapas del proyecto OTEC (construcción, operación y desmantelamiento) en tres sitios: Bahía de Banderas, Petacalco y Puerto Ángel, reconociendo que los impactos ambientales siempre son específicos del proyecto y del sitio propuesto.



JUSTIFICACIÓN

En México la investigación sobre las energías marinas sigue siendo muy incipiente, a pesar de que cuenta con las condiciones oceanográficas idóneas para la implementación de varias tecnologías, entre ellas OTEC. Sin embargo, también es uno de los países con mayor biodiversidad por lo que es de vital importancia estudiar los posibles impactos ambientales, para poder evitarlos, disminuirlos o mitigarlos. Actualmente, México no cuenta con una legislación ambiental para OTEC, ni propuestas de mitigación de impacto para este tipo de sistemas de energías renovables, por lo que este estudio podría ayudar con información científica en la implementación de una legislación adecuada con el fin de minimizar el impacto ambiental en este tipo de energías en el país.



ANTECEDENTES

El concepto de OTEC fue propuesto inicialmente por Julio Verne en su novela "Veinte mil leguas de viaje submarino" publicada en Francia en 1870, donde se aludía a la posibilidad de aprovechar las diferencias de temperatura en el océano para generar energía (Vega, 2012; Kim and Kim, 2020).

Jacques Arsène D'Arsonval, físico francés, propuso por primera vez el concepto OTEC en 1881. Publicó un artículo donde describe un método con el que se podría generar electricidad a través de diferencias de temperatura entre agua de mar caliente de la superficie y el agua fría del mar profundo (Potter, 1979; Vega, 2003 y 2012; Kim y Kim, 2020).

La primera implementación práctica del concepto se llevó a cabo en Cuba en 1930, por el ingeniero francés George Claude, quien construyó la primera planta OTEC en la Bahía de Matanzas, Cuba. Esta planta fue capaz de producir 22 kW de electricidad, con un condensador de contacto directo, utilizando el agua de mar como fluido de trabajo. Sin embargo, no logró alcanzar la producción neta de energía por la selección del sitio y desajustes entre los sistemas de energía y el agua de mar (Avery y Wu, 1994; Vega, 2012).

J. Hilbert Anderson y James H. Anderson Jr. patentaron el modelo de "ciclo cerrado" en 1964, que surgió de diseños de prototipos para mejorar los problemas de diseños de Claude (Avery y Wu, 1994).

A partir de la crisis petrolera de la década de 1970, el interés en OTEC resurgió significativamente, impulsando una serie de programas de investigación y desarrollo entre 1975 y 1990 que demostraron la viabilidad técnica y comercial de la tecnología (Vega, 2012).



En la costa occidental de Hawái, en 1979, el laboratorio NELHA (Natural Energy Laboratory of Hawaii Authority) instaló una pequeña planta de ciclo abierto, denominada Mini-OTEC en una barcaza, la cual produjo 50 kW con una producción neta de 18 kW (Aviña-Jiménez, 2007).

En 1980 la ley OTEC (OTECA) otorgó a la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) del Departamento de Comercio la autoridad de otorgar licencias para la construcción y operación de plantas comerciales OTEC (Vega, 2012).

Japón ha sido otro país pionero en el desarrollo de OTEC. En 1981, la empresa Toshiba y la Compañía de Energía Eléctrica de Tokio construyeron una planta OTEC en la isla de Nauru utilizando un sistema cerrado con freón (R22) como fluido de trabajo. Esta planta produjo 120 kW de electricidad, pero fue desmantelada debido a la falta de mantenimiento (Avery y Wu, 1994; Kobayashi *et al.*, 2001). Posteriormente, en 1982, Japón construyó otra planta de ciclo cerrado en Tokunoshima, con una capacidad de 50 kW utilizando amoníaco (Kobayashi *et al.*, 2001).

El Reino Unido también exploró el potencial de OTEC, proponiendo en 1982 una planta de ciclo cerrado en Puerto Rico con una capacidad de 10,000 kW (López *et al.*, 1982)

En 1985, el Dr. Alex Kalina propuso un nuevo ciclo térmico, conocido como "Ciclo Kalina", que utilizaba una mezcla de amoníaco y agua como fluido de trabajo, aumentando la eficiencia del proceso (Kobayashi *et al.*, 2001).



Myers en 1986 enlistó los fluidos de trabajo que se consideraban para utilizar en el ciclo OTEC, como: Amoníaco, Freón (R22), Freón (R11), Clorometano, Cloruro de metileno, Dióxido de Nitrógeno, Formiato de metilo, Metilamina, Etilamina; siendo el amoníaco el más utilizado en ese entonces.

En 1988 se estableció la Asociación de OTEC en Japón (Matsui et al., 1988).

El Departamento de Energía norteamericano contemplaba construir entre 20 y 40 plantas OTEC para mediados de la década de 1990. Sin embargo, nunca se llegaron a construir plantas capaces de generar electricidad a gran escala.

En 1993, NELHA diseñó una planta experimental en tierra y fue puesta en funcionamiento en 1997 en Hawái (Aviña-Jiménez, 2007).

El "Ciclo Uehara" fue inventado por H. Uehara en 1994. Este ciclo extrae una parte del vapor de la turbina para reducir la carga del condensador y utiliza una mezcla de amoníaco y agua como fluido de trabajo (Kobayashi *et al.*, 2001).

En el 2001, el Instituto Nacional de Tecnología Oceánica (NIOT) de la India construyó una planta piloto flotante, ubicada en el puerto de Tuticorin, empleando el amoníaco como fluido de trabajo, capaz de generar 1 MW (Kobayashi *et al.*, 2001).

El desarrollo de OTEC también se extendió a otras regiones. En 2004, se construyeron dos desaladoras OTEC en India: una en Kavaratti y otra en Chennai, cada una con una capacidad de 1,000 m³/día utilizando agua de mar como fluido de trabajo en un ciclo abierto. (Mori *et al.*, 2004).



El Instituto de Energía Oceánica en Japón, en la isla Kumejima en Okinawa, construyó una miniplanta OTEC experimental en tierra (*on-shore*). Empezó operaciones en el 2014. Esta planta de 100 kW compuesta por dos unidades de 50 kW cada una, la cual utiliza el “Ciclo Uehara” y opera con un gradiente térmico de 18 °C. Esta planta también se utiliza para aplicaciones como la acuicultura, el aire acondicionado, la producción de agua potable, la generación de sales y cosméticos (Kobayashi et al., 2015).

En Corea del Sur, el Korean Research Institute of Ships and Ocean Engineering (KRISO) y el Korea Institute of Ocean Science and Technology (KIOST) construyeron en 2014 una planta piloto de 20 kW que utiliza R32 como fluido de trabajo en un ciclo cerrado, operando principalmente durante el verano debido al gradiente térmico de 18 °C (Kim y Kim, 2020).

En Francia, la Isla Reunión alberga una planta piloto OTEC de ciclo cerrado en tierra que produce 15 kW de energía eléctrica (Gautret *et al.*, 2009; Martins *et al.*, 2015).

En 2015, NELHA en Hawái puso en operación la planta OTEC Makai Ocean Engineering, con una capacidad de 100 kW, que genera electricidad para 120 hogares utilizando un ciclo cerrado con amoníaco como fluido de trabajo (Makai Ocean Engineering, 2015).

En el Sur de Tarawa, Kiribati se obtuvieron los permisos ambientales y gubernamentales para la construcción de una planta OTEC de 1 MW. Cuenta con un gradiente batimétrico rápido, alcanzando profundidades del océano de 3.5 a 4 km de profundidad, con una distancia horizontal de 5 km (Pettersen & Kim, 2020).



A nivel global, existen seis plantas piloto OTEC operativas en Corea del Sur, Japón, China, Estados Unidos y Francia, con una capacidad total de generación de 270 kW. Estos desarrollos muestran el creciente interés y potencial de la tecnología OTEC para contribuir a la generación de energía renovable en regiones costeras.

Antecedentes de la tecnología OTEC en México

Desde la década de 1970, se han realizado estudios para evaluar el potencial de esta tecnología en las costas mexicanas, especialmente en el Golfo de México y el Océano Pacífico.

Estos estudios iniciales demostraron que México tiene condiciones favorables para la implementación de plantas OTEC, principalmente debido a la existencia de un gradiente térmico adecuado en sus aguas costeras (Bernal-Gómez *et al.*, 1982; García, 2010).

Uno de los estudios clave fue realizado por Aviña-Jiménez en el 2007, cuando evaluó la viabilidad de instalar plantas OTEC en la costa del Pacífico, identificando Bahía de Banderas y Puerto Ángel como sitios con alto potencial debido a las condiciones batimétricas y térmicas favorables.

En México uno de los proyectos más destacados ha sido el desarrollo del prototipo OTECMX-1 en la Universidad del Caribe en Cancún. Este prototipo de 1 kW de ciclo cerrado fue creado como parte de un proyecto de investigación para estudiar la viabilidad técnica y económica de la tecnología OTEC en el país. Los resultados preliminares de ese proyecto mostraron que México cuenta con un gran potencial para aprovechar la energía térmica oceánica, especialmente en el Caribe Mexicano, donde el gradiente térmico es más pronunciado (Mendoza et al., 2016).



En la costa del Pacífico, se han llevado a cabo diversos estudios para identificar sitios potenciales para la instalación de plantas OTEC. Estos estudios han señalado que regiones como el Golfo de Tehuantepec y la Península de Baja California son áreas clave para la futura implementación de esta tecnología (García-Huante, 2015; López et al., 2018).

El desarrollo de OTEC en México ha sido limitado debido a la falta de un marco regulatorio específico para esta tecnología y los altos costos iniciales de inversión, lo que ha dificultado su implementación a gran escala.

A pesar de estos obstáculos, las autoridades y la comunidad científica siguen explorando oportunidades para avanzar en el desarrollo de OTEC, reconociendo su potencial para contribuir a la generación de energía renovable y a la diversificación de la matriz energética del país (Garduño-Ruiz, 2022; López et al., 2018; Mendoza et al., 2016).



OBJETIVOS

Objetivo General

- ❖ Determinar cuáles serían las posibles afectaciones ambientales de la implementación de un sistema de generación de energía OTEC en Bahía de Banderas, Petacalco y Puerto Ángel investigados durante la campaña oceanográfica OTEC-I, según la batimetría y fauna del lugar.

Objetivos Particulares

- ❖ Determinar para cada uno de los tres sitios propuestos (Bahía de Banderas, Petacalco y Puerto Ángel) cuales serían las condiciones requeridas en el Pacífico Mexicano para la instalación de una Planta OTEC.
- ❖ Comparar los parámetros fisicoquímicos, batimétricos, ambientales, así como la fauna avistada y recolectada durante la campaña OTEC-I.
- ❖ Evaluar cuales serían los posibles impactos de la descarga de agua durante la operación de una Planta OTEC.
- ❖ Detectar y analizar los posibles impactos ambientales en la columna de agua en las especies recolectadas y avistadas durante la campaña Oceanográfica OTEC-I que podrían verse afectadas durante el esquema de operación de Plantas OTEC en tres sitios del Pacífico Mexicano: Bahía de Banderas, Petacalco y Puerto Ángel, con el propósito de proporcionar una comprensión más profunda de las implicaciones ecológicas de esta tecnología.



ÁREA DE ESTUDIO

El Océano Pacífico es el océano más grande, antiguo y profundo, abarcando más de 166 millones de km² con una profundidad promedio de 4,188 metros. Su circulación lenta contribuye a la complejidad de sus características oceanográficas. El Pacífico Mexicano se extiende desde los 32°27'N y 117°07'W hasta los 14°32'N y 117°13'W, y México cuenta con una superficie marina de 2,364,200 km². A diferencia del Océano Atlántico, el Pacífico Mexicano no presenta simetría debido a la presencia de dorsales, y sus principales características incluyen grandes trincheras que delimitan la mayor parte del océano (De la Lanza, 1991; INEGI, 1991).

En términos de sedimentología, la corteza del Pacífico Mexicano es pre-Cenozoica, con las formaciones más antiguas situadas al oeste, y una antigüedad de hasta 160 millones de años. Las rocas más profundas y expuestas a lo largo de la costa son predominantemente ígneas y metamórficas, desde Cabo Corrientes hasta el Golfo de Tehuantepec. Los sedimentos en esta región se dividen en biogénicos y no biogénicos, con tres tipos principales de sedimentos superficiales: terrígenos, arcillas pelágicas, fango calcáreo y biosilíceo, y limo. Estos sedimentos están influenciados por la productividad biológica, efectos químicos, redepositación y actividad biológica del bentos (De la Lanza, 1991).

La estructura térmica del Pacífico se caracteriza por una capa de mezcla en la superficie con temperaturas casi constantes, variando anualmente entre 26 y 28 °C. La intrusión de agua superficial provoca cambios estacionales de aproximadamente 5 °C. Las aguas cálidas superficiales están sujetas a un calentamiento que reduce la densidad y promueve la convección y mezcla continua, en contraste con las aguas profundas por debajo de los 2000 m, donde el flujo es lento y las condiciones son más uniformes.



El fenómeno ENSO (El Niño-Oscilación del Sur) influye en la temperatura superficial (De la Lanza, 1991; Sverdrup et al., 2005; Parés Sierra et al., 1997).

Durante eventos de El Niño, la termoclina se profundiza, impidiendo el flujo de nutrientes hacia la superficie y reduciendo la productividad primaria, como se observó en los eventos severos del Niño de 1982 y 2016 (Espinosa, 2004; Sverdrup et al., 2005; Parés Sierra et al., 1997).

El Pacífico Nororiental alberga diversas corrientes que confluyen en el Pacífico Mexicano, creando una región de transición oceanográfica y biogeográfica. La corriente de California, de bajas temperaturas, se extiende desde la costa sur de Alaska hasta Baja California, influyendo también en Nayarit. La contracorriente Ecuatorial, que viaja desde Asia al norte del Ecuador, se dirige hacia las costas americanas formando la Corriente Costera de Costa Rica, conocida en México como Corriente Mexicana del Pacífico. La confluencia de las corrientes de California y Mexicana del Pacífico da lugar a la Corriente Norecuatorial (Espinosa, 2004).

La costa del Pacífico Mexicano representa el 68% de las costas del país y presenta una amplia gama de ecorregiones a nivel local, regional y mundial. Se identifican tres principales provincias por la distribución de los seres vivos: la primera, al norte, incluye la costa occidental de la península de Baja California; la segunda, el Golfo de California, abarca desde la parte interna de la península hasta Cabo San Lucas; y la tercera, desde la frontera con Guatemala hasta las costas de Jalisco. Entre estas provincias se encuentra una zona de transición oceanográfica y biogeográfica que incluye las Islas Revillagigedo, en la confluencia de las corrientes de California, Mexicana del Pacífico y Norecuatorial (Espinosa, 2004; Lara-Lara et al., 2008).



El área de estudio abarca tres regiones geomorfológicas del fondo marino: el "Golfo de California" (18) Nivel II, la "Plataforma Transición del Pacífico Mexicano" (17) Nivel II, y el "Pacífico Centroamericano" (16) Nivel II (Fig. 2).

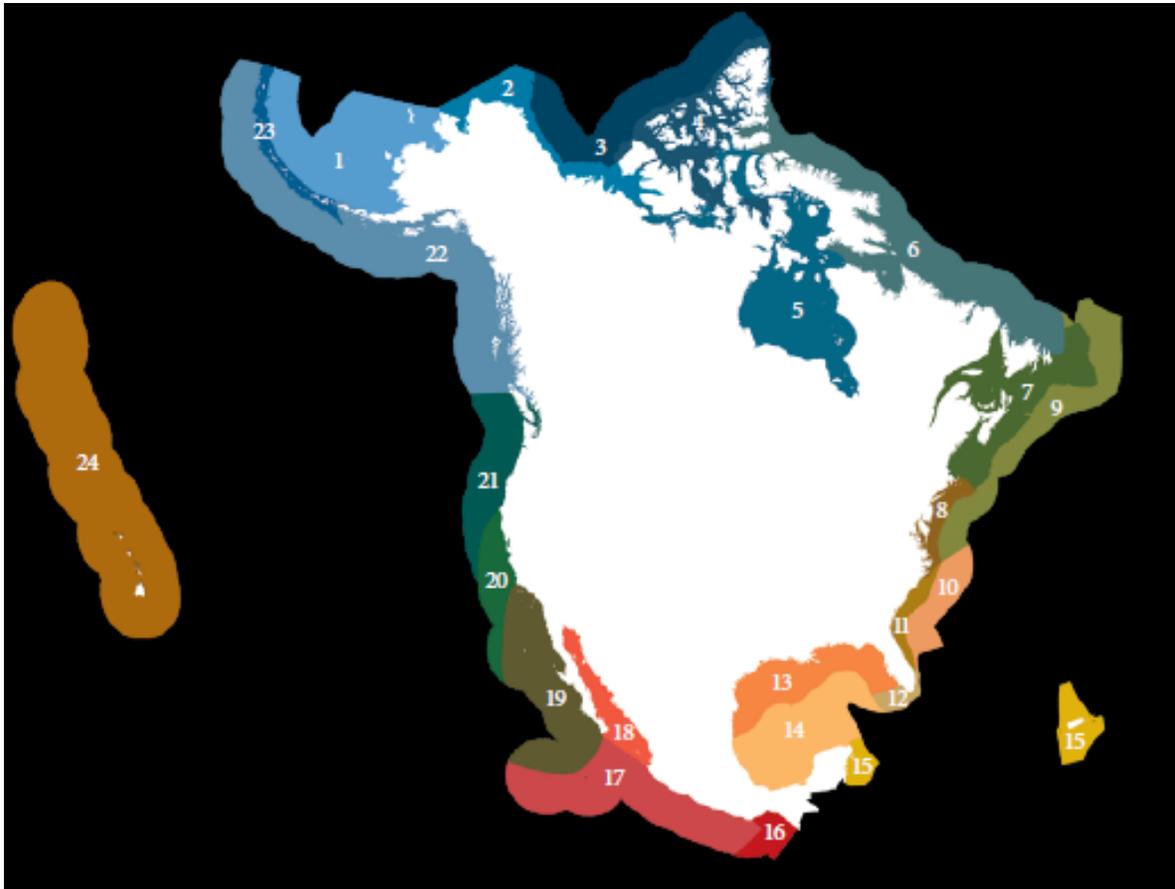


Figura 2. Regiones geomorfológicas de Norte América tomada de (Wilkinson *et al.*, 2009) donde se observa en naranja la región del "Golfo de California" (18), en rojo la "Plataforma Transición del Pacífico Mexicano" (17) y en rojo intenso el "Pacífico Centroamericano" (16).

La región del Golfo de California es uno de los ecosistemas más productivos del mundo, abarcando las aguas frente a los estados de Nayarit, Sinaloa, Sonora, Baja California y Baja California Sur. Esta región presenta fuertes corrientes de marea y vuelcos convectivos, especialmente en el norte del Golfo, entre la desembocadura del río Colorado y las islas Tiburón y Ángel de la Guarda.



La entrada del Golfo, un área triangular entre Cabo San Lucas, Mazatlán y Cabo Corrientes se caracteriza por una estructura termohalina con frentes, remolinos e intrusiones asociadas a la Corriente de California, Norecuatorial y la Corriente Costera de Costa Rica. La temperatura superficial del mar varía de 13 a 21 °C en invierno y de 28 a 31 °C en verano (Wilkinson et al., 2009).

El Golfo de California se distingue por un régimen de marea mixto y semidiurno en el norte y desembocadura, y diurno en la sección media. La plataforma continental es amplia en el norte, con una plataforma media y abundantes lagunas costeras en su parte oriental, y una plataforma estrecha con islas en el oeste. Presenta pendientes de 2000 a 3000 m y una llanura abisal con profundidades superiores a 3000 m (Wilkinson et al., 2009).

La Plataforma Transición del Pacífico Mexicano es una zona de alta productividad, abarcando las aguas frente a los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca. Esta región está influenciada por la Corriente de California, la Corriente Norecuatorial y la Corriente Costera de Costa Rica. La temperatura superficial del mar varía de 25 a 28 °C en invierno y 29.5 °C en verano. Se caracteriza por tener un régimen de marea mesotidal, mixto y semidiurno, con una plataforma continental estrecha de 10 a 15 km que desciende abruptamente, alcanzando profundidades oceánicas de 2500 a 3000 m cerca de la costa y una llanura abisal con profundidades de 3500 a 4000 m (Sverdrup *et al.*, 2005; Wilkinson *et al.*, 2009).

El Pacífico Centroamericano se caracteriza por una alta productividad debido a los afloramientos ecuatoriales tanto en mar abierto como en áreas costeras. Incluye las aguas frente a Oaxaca y Chiapas, influenciadas por la Corriente Norecuatorial y la Corriente de Costa Rica.



La región presenta una amplia variabilidad estacional debido a las surgencias, la descarga de agua dulce de lagunas costeras y sistemas fluviales, y los vientos del norte que fuerzan el flujo de aire desde el Golfo de México hacia el Golfo de Tehuantepec.

La temperatura superficial del mar varía de 26 a 27 °C en invierno y de 29.5 °C en verano.

El régimen de marea en esta región es mesotidal, mixto y semidiurno. La plataforma continental varía de moderada a estrecha, con un talud continental que presenta pendientes suaves a pronunciadas, y una llanura abisal con profundidades superiores a 3000 m (Wilkinson et al., 2009).

Durante el crucero oceanográfico OTEC-I se realizó el levantamiento batimétrico de los tres sitios de interés en este estudio: Bahía de Banderas, Petacalco y Puerto Ángel (Fig. 3).

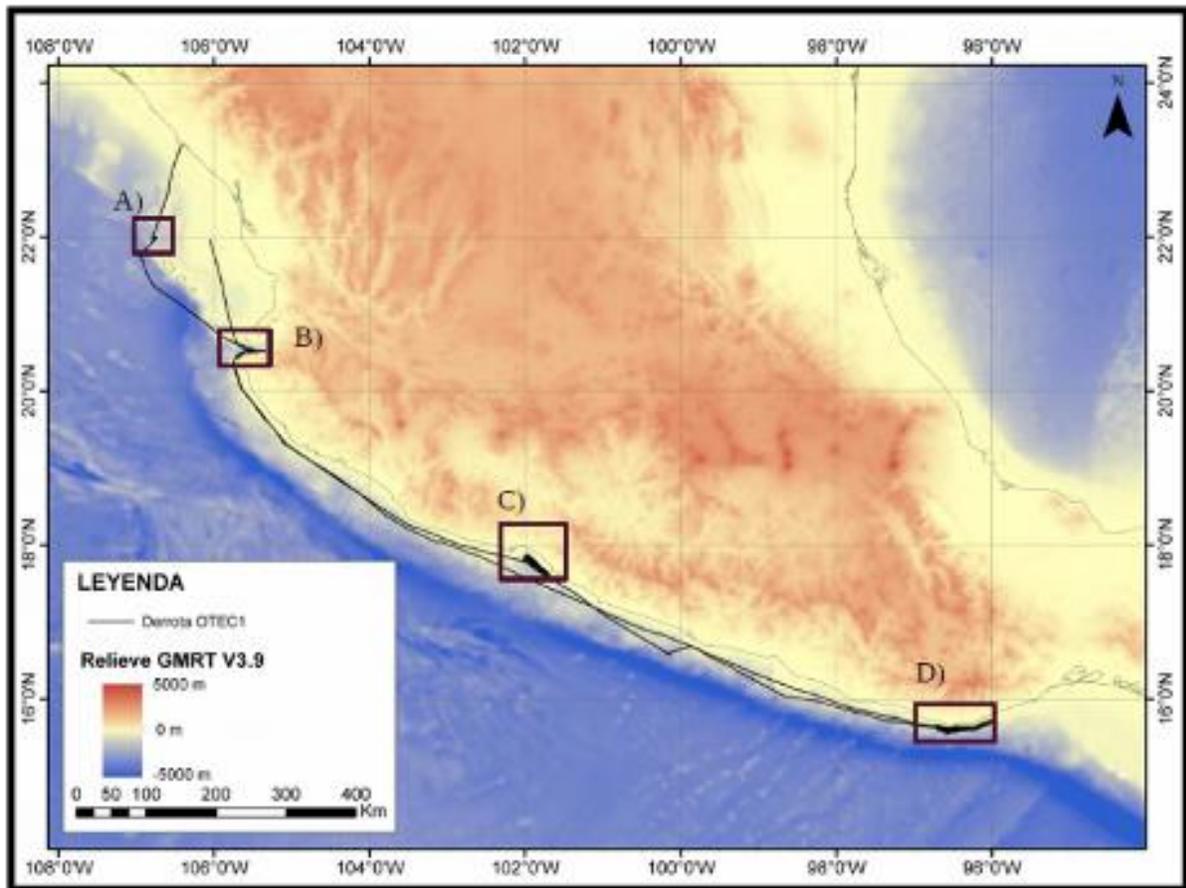


Figura 3. Derrotero del crucero OTEC-I y zonas de interés para levantamiento batimétrico. Nomenclatura: A) Calibración (por exclusión de zona), B) Bahía de Banderas, C) Petacalco y D) Puerto Ángel.

Bahía de Banderas

Ubicada en la costa del Pacífico mexicano entre Jalisco y Nayarit, Bahía de Banderas es una de las bahías más grandes del litoral mexicano y del mundo, con una extensión de 1,407 km². Se encuentra entre los 20°15' y 20°47' de latitud Norte y los 105°15' y 105°42' de longitud Oeste. Es una bahía abierta y parte del extremo sur oriental del Golfo de California. Se extiende desde Punta de Mita, Nayarit al norte hasta Cabo Corrientes, Jalisco al sur. Su profundidad máxima es de 1,436 m, con un promedio de 273 m.



En el centro de la bahía se encuentra un cañón profundo a ocho km de la costa sur. La Bahía de Banderas pertenece a dos unidades morfo-tectónicas (VII y VIII) con sedimentos deltaicos del Río Colorado, una plataforma continental amplia y/o angosta, un talud moderado, y costas primarias por deposición subárea o movimientos diastrofícos, con algunas costas rocosas. Las rocas predominantes son volcánicas terciarias, metamórficas e ígneas de edades del Paleozoico y posiblemente Precámbrico (Carranza-Edwards et al., 1975; De la Lanza, 1991; Plata y Filonov, 2007; Ramírez y Cupul, 1999) (Fig. 4).

Bahía de Petacalco

Localizada en la costa del Pacífico mexicano entre Michoacán y Guerrero, la Bahía de Petacalco se encuentra en los paralelos 17°98'58.56" de latitud Norte y 102°04'02.25" de longitud Oeste. Su plataforma continental es angosta, de 10 a 15 km, ensanchándose en el delta del río Balsas debido al transporte de sedimentos. Pertenece a la unidad morfo-tectónica VIII, que presenta costas rocosas con excepción de las áreas influenciadas por corrientes fluviales, que desarrollan una incipiente planicie costera. Las rocas predominantes en la bahía son metamórficas e ígneas con edades del Paleozoico y posiblemente Precámbrico. La bahía se caracteriza por la presencia de cañones submarinos formados por corrientes de turbidez, que son grandes flujos de sedimentos a velocidades de 30 a 80 km por hora, excavan el fondo hasta formar cañones submarinos. Según Inman y Nordstrom (1971), se clasifican como costas de colisión continental (Carranza-Edwards et al., 1975; De la Lanza, 1991) (Fig. 4).



La Bahía de Puerto Ángel

Puerto Ángel se localiza en la costa del Pacífico mexicano, en el estado de Oaxaca, entre los 15°40'18" de latitud Norte y 96°29'45" de longitud Oeste. Pertenece a la unidad morfo-tectónica IX, que se caracteriza por una llanura costera de amplitud moderada, una plataforma continental amplia y un talud moderadamente pronunciado. Según Inman y Nordstrom (1971), tiene una costa de colisión continental afectada por la interacción con la Placa de Cocos y la Placa de América. Las corrientes marinas en esta zona son irregulares, fluctuando con los cambios en la dirección del viento del norte o los vientos "Tehuano" que se desplazan desde el Golfo de México hacia el Océano Pacífico a través del Istmo de Tehuantepec. Estos vientos descendentes son más frecuentes en invierno, mientras que en verano se observan vientos de alta velocidad durante el paso de huracanes (Carranza-Edwards et al., 1975; De la Lanza, 1991) (Fig. 4).

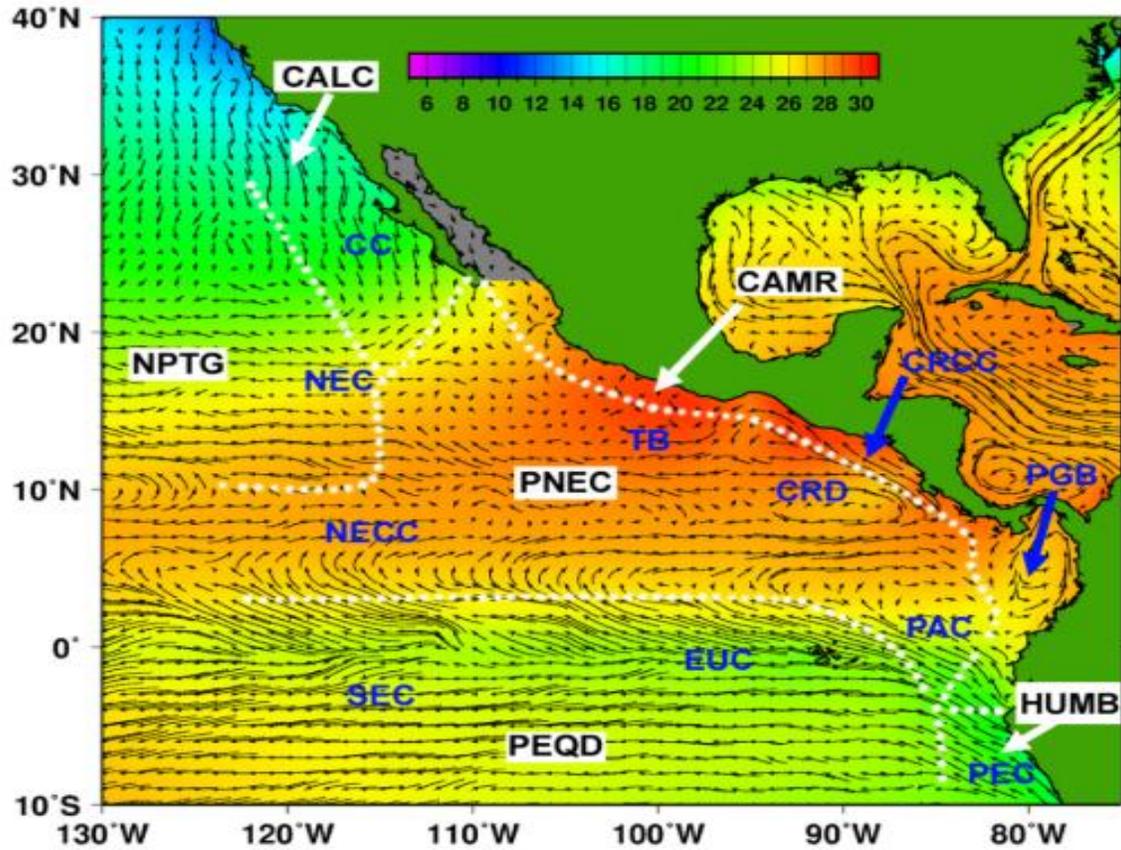


Figura 4. Principales Corrientes oceánicas del Pacífico Mexicano: provincias oceanográficas en la Bahía de Banderas, Petacalco y Puerto Ángel. CC= Corriente de California, NEC= Corriente Nor-Ecuatorial, NECC= Contracorriente Sur Ecuatorial, EUC= Corriente Submarina Ecuatorial, PEC= Corriente Peruana, PAC= Corriente de Panamá, CRCC Corriente Costera de Costa Rica, PBG= Giro de la ensenada de Panamá, CRD= Domo de Costa Rica, TB= Cuenca de Tehuantepec. CALC= Provincia de la Corriente de California, CAMR= Provincia de la Costa de Centro América, HUMB= Provincia de la corriente costera de Humboldt, NPTG= Provincia del Giro del Pacífico Norte; PNEC= Provincia de la Contracorriente del Pacífico Nord-Ecuatorial; PEQD= Provincia de la divergencia Ecuatorial. Tomada de Smithsonian Tropical Research Institute, 2015.



MATERIAL Y MÉTODO

Para esta investigación se utilizaron los datos obtenidos durante la campaña oceanográfica OTEC-I, llevada a cabo del 9 al 20 de marzo de 2022, a bordo del Buque Oceanográfico "El Puma" de la Universidad Nacional Autónoma de México. Esta campaña incluyó un recorrido de 11 singladuras, partiendo del Puerto de Mazatlán, Sinaloa, y abarcando sitios clave como la Bahía de Banderas, Petacalco y Puerto Ángel, con un total de 2,155 millas náuticas recorridas (Fig. 5).



Figura 5. Principales Sitios de la Campaña Oceanográfica OTEC-I en el Pacífico Mexicano.

Levantamiento batimétrico del fondo marino

Durante la campaña, se realizó un mapeo batimétrico detallado en tres sitios potenciales para la instalación de una planta OTEC en el Pacífico mexicano.



Para este levantamiento se utilizó la ecosonda Multihaz EM300 de la marca Kongsberg, instalada en la góndola de equipos hidroacústicos del B/O "El Puma", junto con un perfilador de la velocidad del sonido MINOSX, que mide temperatura y presión de manera directa.

Bahía de Banderas

Se realizaron varios transectos en la parte sur de la bahía, cubriendo aproximadamente 100 millas náuticas y mapeando un área de 263.161 km² con una resolución entre 5 m y 25 m, (Fig. 6).

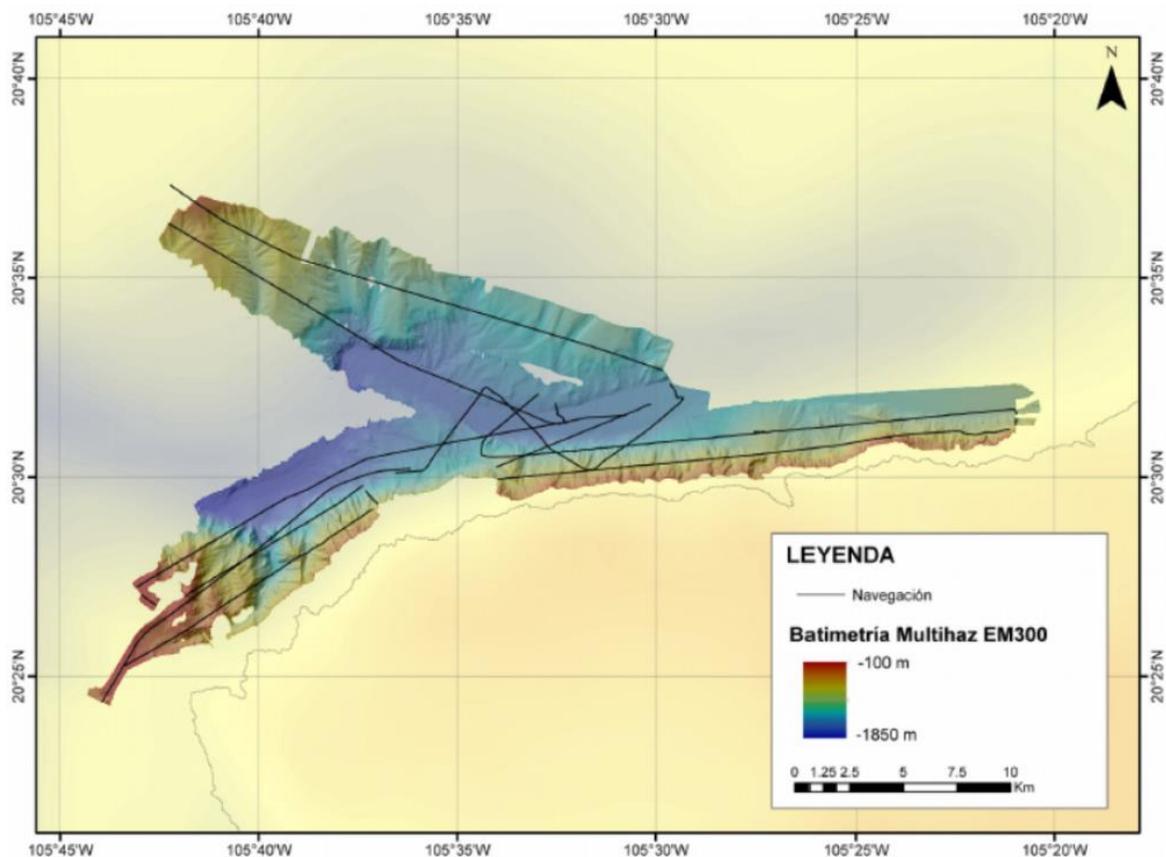


Figura 6. Levantamiento Batimétrico con ecosonda Multihaz EM300 en la costa surde la Bahía de Banderas, México durante la Campaña Oceanográfica OTEC-I.



Bahía de Petacalco

En esta Bahía de Petacalco, los transectos se realizaron en dirección NW, cubriendo 134 millas náuticas y mapeando un área de 450.87 km², con una resolución entre 5 m y 25 m (Fig. 7).

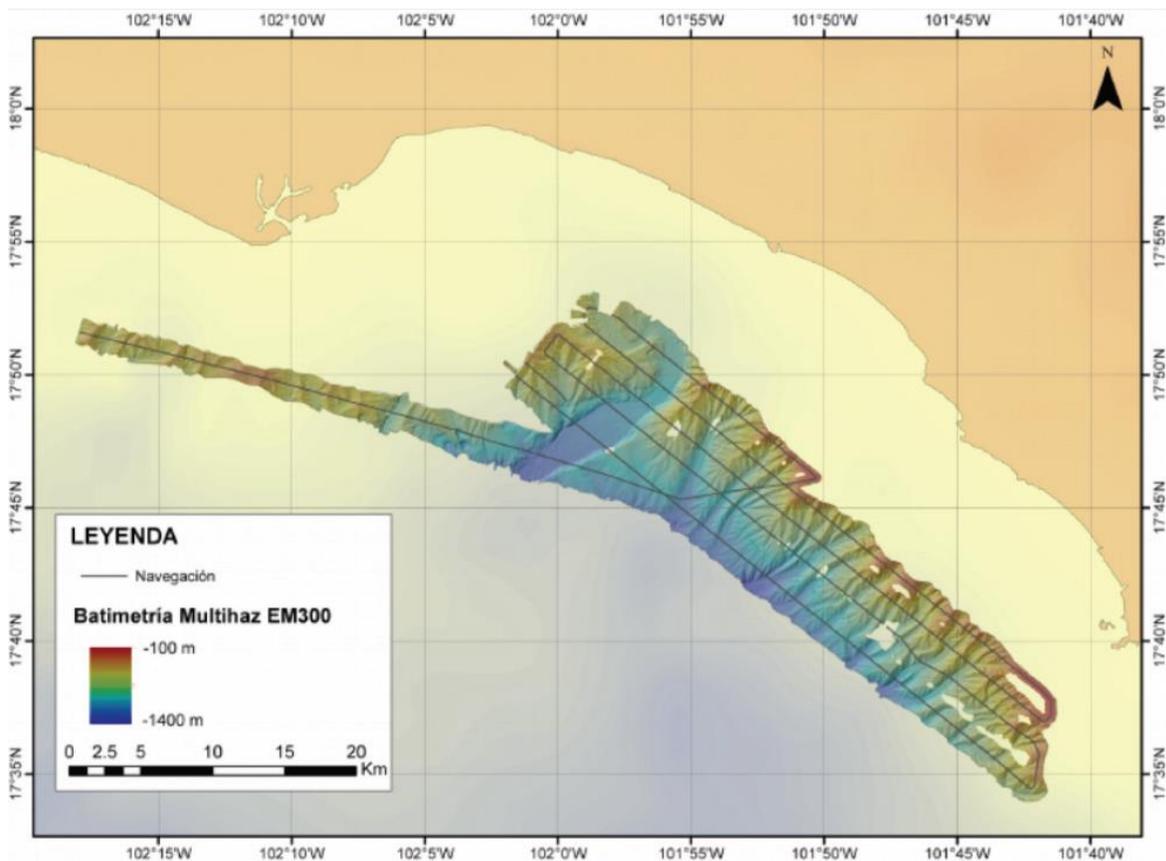


Figura 7. Levantamiento Batimétrico con ecosonda Multihaz EM300 en la Bahía de Petacalco, México durante la Campaña Oceanográfica OTEC-I.

Puerto Ángel

En la Bahía de Puerto Ángel, los transectos paralelos a la costa cubrieron 235 millas náuticas, mapeando un área de 622.2 km² navegando en tres direcciones, al Oeste NW-SE, al Centro E-W y al Este en dirección SW-NE. con una resolución entre 5 m y 30 m (Fig. 8).

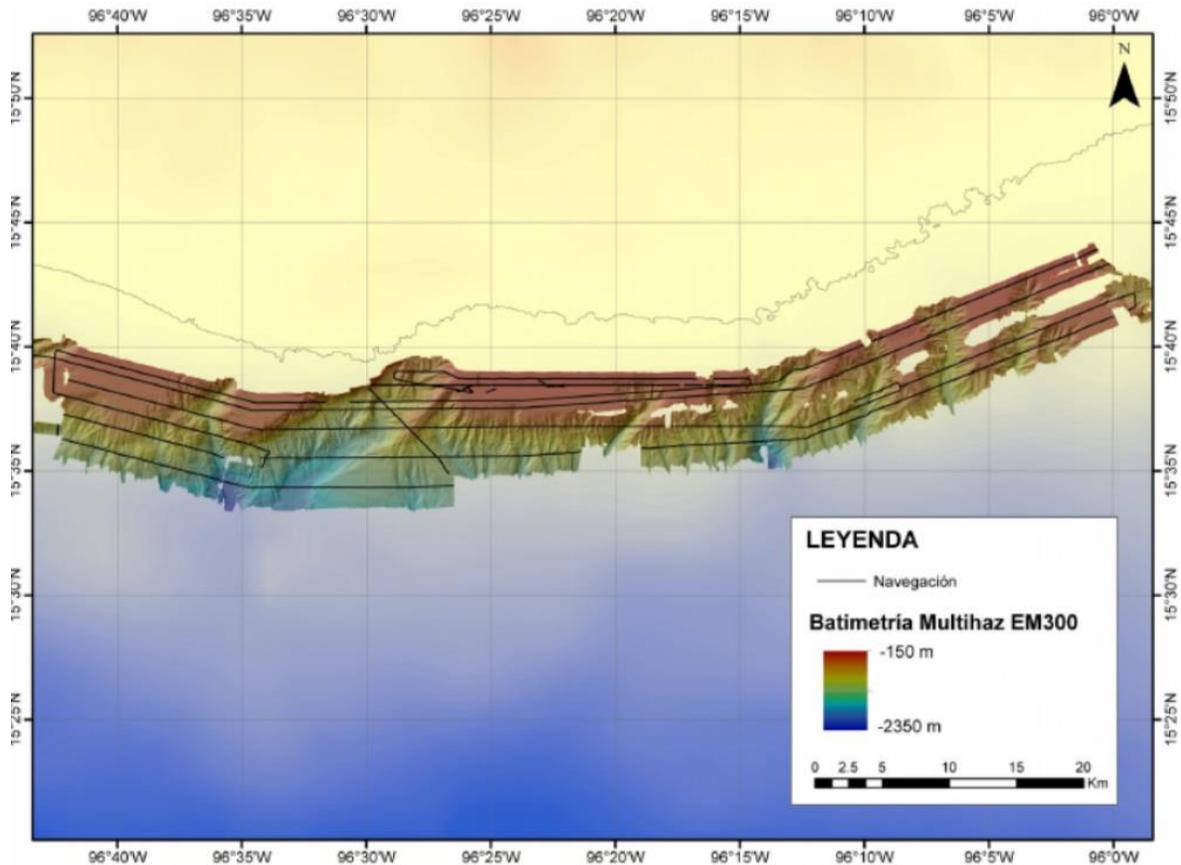


Figura 8. Levantamiento Batimétrico con ecosonda Multihaz EM300 en Puerto Ángel, México durante la Campaña Oceanográfica OTEC-I.

Colecta de datos fisicoquímicos en la columna de agua

Para el registro de los parámetros físicos en la columna de agua se utilizó un muestreador CTD por sus siglas en inglés (Conductivity, Temperature and Depth) SBE911 plus de la marca SEABIRD, para el registro de los parámetros físicos, procesando los datos con el programa SBE Data Processing V. 7.26.7 (2018). El muestreo de agua se realizó con botellas Niskin colocadas en una Rosette, permitiendo la toma de muestras a diferentes profundidades en las ocho estaciones consideradas en la campaña (Fig. 9).



Figura 9. Muestreo de parámetros físicos (CTD) y colecta de agua con botellas Niskin en Rosette durante la Campaña Oceanográfica OTEC-I.

Una vez completada la cala y el muestreo en la cubierta del B/O "El Puma", se procedió a tomar agua de las botellas Niskin previamente numeradas. Para las muestras de oxígeno disuelto, se utilizaron botellas de vidrio, ya sea ámbar o transparente, llenándolas hasta un centímetro por debajo del borde. A estas se les añadió 1 ml del reactivo "A" (solución de sulfato manganoso) y 1 ml del reactivo "B" (solución álcali-yoduro-azida), se sellaron con un tapón aforado y se agitaron, sosteniendo el tapón con el dedo índice y la base del frasco con el pulgar para evitar que se abriera. Para las muestras de nutrientes, se emplearon botellas de plástico de 30 ml, etiquetadas con la información del crucero, estación, profundidad, fecha y tipo de nutrientes (N).



Estas se llenaron mediante un sistema de filtrado Millipore con jeringa, hasta el cuello de la botella, y se les añadió una gota de cloroformo para su preservación (Fig. 10).

En las muestras de nutrientes (especificar nutrientes) totales se colocó el agua sin filtrar en botellas de plástico etiquetadas con la siguiente información: Crucero, Estación, Profundidad, Fecha y la letra T de nutrientes totales.

Todas las muestras de agua fueron colocadas en refrigeración durante la campaña y fueron transportadas en hielo para conservar la temperatura hasta ser entregadas en el Laboratorio de Química Marina en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML) de la UNAM para su posterior análisis.



Figura 10. Procesamiento de muestras de agua en botellas Niskin, para el análisis químico de oxígeno disuelto, muestras totales y nutrientes durante la Campaña Oceanográfica OTEC-I.



Colecta de sedimentos y organismos en el derrotero OTEC-I

Los sedimentos fueron recolectados utilizando un nucleador de caja Reineck con capacidad de 102 L, ubicado en la cubierta de popa del B/O "El Puma" (Fig. 11). Se tomaron muestras de cada sitio propuesto en el derrotero, con un volumen aproximado de 4 L por sitio, para su análisis geoquímico y biológico. Los organismos encontrados en el muestreo de sedimentos colectados por el nucleador de caja Reineck, se colocaron en frascos y se fijaron en formaldehído o alcohol al 70%, con su correspondiente etiqueta para su posterior identificación. Una vez identificados los organismos colectados, se colocaron en las etiquetas los datos fisicoquímicos asociados a la colecta del nucleador de caja Reineck, así como los obtenidos por el CTD.



Figura 11. Colecta de Sedimentos y organismos bentónicos con el nucleador de caja Reineck, durante la Campaña Oceanográfica OTEC-I.



Registro de avistamientos de organismos en el derrotero OTEC-I

Durante el crucero, se realizaron observaciones incidentales de organismos mediante fotografías y videos, asociando estos registros a datos de temperatura, profundidad y posición geográfica para su posterior identificación y análisis.

Algunos factores como la distancia fueron determinantes para la identificación de los organismos.

Análisis Físicoquímico de la columna de agua

Las muestras recolectadas de las botellas Niskin en las estaciones fueron analizadas en el Laboratorio de Biogeoquímica Acuática del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, utilizando un analizador de flujo segmentado Skalar San Plus System para la determinación simultánea de nutrientes como NO_3 , NO_2 , PO_4^{3-} y SiO_2 . Estos datos fueron utilizados para evaluar el impacto de las tuberías de descarga en los sitios seleccionados.

Se realizaron ocho estaciones de muestreo con el lanzamiento del CTD, como se detalla en la Tabla 1, abarcando desde las Islas Marías hasta Puerto Ángel, incluyendo la Bahía de Banderas, Petacalco, Acapulco y Pinotepa. Para los fines de este estudio, se emplearon los datos obtenidos de las estaciones en Islas Marías, Acapulco y Pinotepa como sitios de comparación. Los perfiles de temperatura y salinidad fueron obtenidos a partir de las lecturas del CTD en cada una de estas estaciones.



Tabla 1. Estaciones de CTD de la campaña oceanográfica OTEC-I

Localidad	Estación	Fecha	Hora UTC	Latitud	Longitud	Prof. CTD (m)	Prof. Ecosonda (m)	Temp. Mínima (°C)	Temp. Máxima (°C)
Islas Mariás	CTD02	09/03/2022	23:27	21.994	106.706	1500	1900	3.19	23.07
Bahía de Banderas	CTD03	10/03/2022	18:17	20.523	105.537	1350	1514	3.47	23.35
Bahía de Banderas	CTD04	11/03/2022	01:24	20.529	105.504	1000	1440	4.64	22.45
Puerto Ángel	CTD05	13/03/2022	18:09	15.550	96.555	1500	1883	3.05	26.89
Pinotepa	CTD06	16/03/2022	16:00	16.048	98.676	1000	1185	4.77	26.78
Acapulco	CTD07	17/03/2022	03:30	16.587	100.190	2050	2755	2.12	23.84
Petacalco	CTD08	17/03/2022	21:44	17.779	102.008	1000	1219	4.74	25.26
Bahía de Banderas	CTD09	20/03/2022	03:06	20.501	105.605	930	1340	5.03	19.53

En este estudio, se evaluó la propuesta de ubicar la tubería de toma de agua fría a una profundidad de 750 m, la tubería de toma de agua caliente en la superficie y la tubería de descarga a 50 m. El objetivo era determinar cuál de los sitios presenta los menores costos asociados a las tuberías, como se detalla en la Tabla 2.



Tabla 2. Relación entre la localidad y la distancia propuesta para las tuberías de agua fría, caliente y de descarga propuestas en este estudio.

Localidad	Distancia Tubería de Agua Fría	Distancia Tubería de Agua Caliente	Distancia Tubería de Descarga
Los Frailes	5.381 km	Superficie playa	2.110 km
Islas Marías	4.110 km	Superficie playa	0.968 km
Bahía de Banderas	3.291 km	Superficie playa	1.523 km
Petacalco	Superficie playa	Planta termoeléctrica	Superficie playa
Puerto Ángel	4.799 km	Superficie playa	3.122 km/superficie playa

Se calculó el caudal y el volumen de agua procesado por una planta OTEC, y se comparó este volumen anual con el volumen asociado a una marea roja para evaluar las diferencias entre ambos. Se estimó que una planta OTEC de 1 MW genera aproximadamente 4 m³/s de agua, resultado de 2 m³/s de agua fría y 2 m³/s de agua caliente. Además, se calculó el volumen promedio anual que produciría una marea roja, asumiendo que esta ocurre tres veces al año, y se comparó con el volumen generado por una planta OTEC, obteniendo un valor de 0.001070741 m³ (ver Tabla 3).

Gasto:

$$2 \text{ m}^3/\text{s } G_f \times 2 \text{ m}^3/\text{s } G_c$$



Donde:

G_f es el gasto de agua fría por segundo

G_c es gasto de agua caliente por segundo

G_s es gasto por segundo

G_d es el gasto por día

G_a es el gasto por año

T_d es el segundo por día

V es el volumen

V_d es el volumen por día

V_a es el volumen por año

Agua generada al día por la planta OTEC:

$$G_d \text{ m}^3/\text{s} \times 86400$$

G_d es el gasto por día

Agua generada anualmente por la planta OTEC:

$$G_d \times 365$$

G_d es el gasto por día

Radio en metros:

$$\text{Radio km} \times 1000$$



Volumen:

$$3.1416 \times \text{Radio m}^2 \times \text{Profundidad (aproximada que podría tener una marea roja)}$$

Volumen al año:

$$\text{Volumen} \times \text{veces al año (veces al año que se podría presentar una marea roja)}$$

Comparación de volumen que genera una OTEC al año versus el volumen que genera una surgencia:

$$G_a / V_a$$

Tabla 3. Comparación de la proporción del gasto m^3/s de una corriente marina por localidad versus proporción de gasto m^3/s generado por la Planta OTEC.

Gasto (m^3/s)	Gasto (m^3/s) por día	Gasto (m^3/s) por año	Radio (km)	Radio (m)	Prof. (m)	Vol.	Posibles veces al año de una marea roja	Volumen al año de una marea roja	Volumen que genera una Planta OTEC al Año vs. el volumen que genera una surgencia
4	345600	126144000	25	2500	20	39270000000	3	1.1781E+11	0.001070741

Se calculó la proporción de la velocidad de las corrientes por cada sitio propuesto. Los datos de corrientes fueron tomados de la plataforma Windy, calculando el gasto que genera una corriente y se compararon con el que generaría una planta OTEC (Tabla 4.).

$$\text{Gasto m}^3/\text{s Corriente} / \text{Gasto m}^3/\text{s OTEC}$$



Tabla 4. Comparación de la proporción del gasto m^3/s de una corriente marina por localidad versus proporción de gasto m^3/s generado por la OTEC.

Localidad	Área	Velocidad de corrientes m/s	Gasto m^3/s	Proporción
Los Frailes (propuesta)	2000	0.36	720	180
Isas Marías (propuesta)	2000	0.3	600	150
Bahía de Banderas	2000	0.4	800	200
Petalcalco	2000	0.25	500	125
Puerto Ángel	2000	0.25	500	125

Modelado tridimensional de las tuberías OTEC

Se realizó un modelado tridimensional para la Bahía de Banderas, Petalcalco y Puerto Ángel, simulando las tuberías de agua fría, caliente y de descarga (Figs. 12, 13 y 14).



Figura 12. Simulación realizada por el autor de una Planta OTEC con tubería de agua fría en azul, tubería de agua caliente en rojo y tubería de descarga en negro en la Bahía de Banderas, México.



Figura 13. Simulación realizada por el autor de una Planta OTEC con tubería de agua fría en azul, tubería de agua caliente en rojo a la termoeléctrica y tubería de descarga en negro de la Bahía de Petalcalco, México.



Figura 14. Simulación realizada por el autor de una Planta OTEC con tubería de agua fría en azul, tubería de agua caliente en rojo a la termoeléctrica y tubería de descarga en negro de la Puerto Ángel, México.



RESULTADOS

Batimétricos

Se generaron mapas batimétricos detallados para las zonas de la Bahía de Banderas, Petacalco y Puerto Ángel. En la Bahía de Banderas, se identificaron grandes profundidades cercanas a la costa, lo que representa un escenario favorable para la instalación de una planta OTEC. En contraste, las zonas de interés en la Bahía de Petacalco y Puerto Ángel, que presentan las profundidades requeridas para la implementación de la planta, se encuentran a una distancia de entre 4 y 8 kilómetros de la línea costera (Figs. 15-17).

Información batimétrica de la subregión de Bahía de Banderas en el Pacífico mexicano

Batimetría de alta resolución con ecosonda multihaz a bordo de el buque El Puma, UNAM

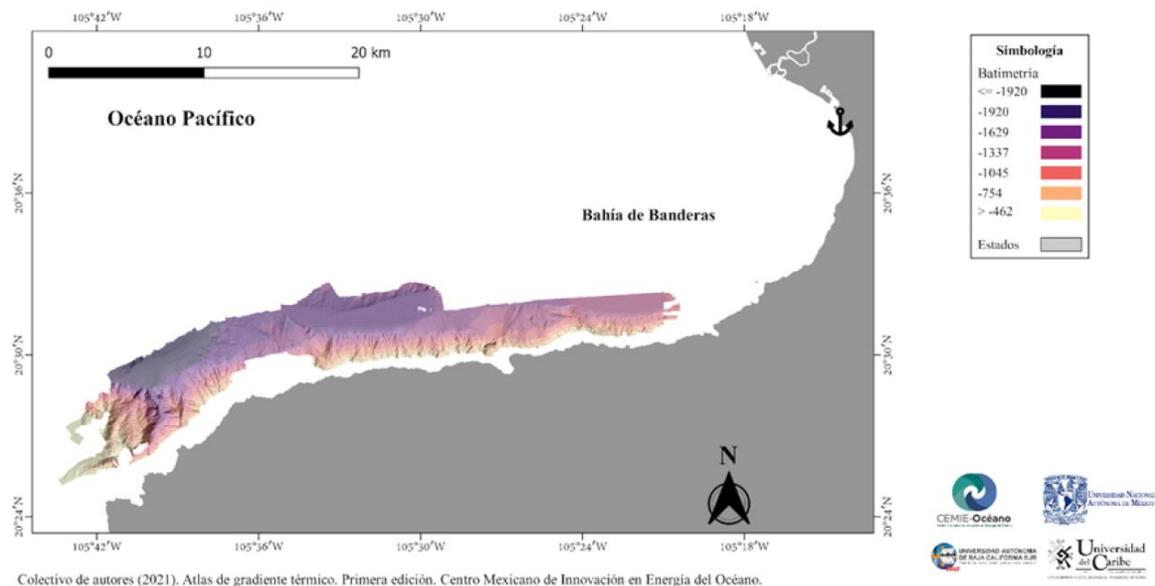


Figura 15. Perfil Batimétrico de la Bahía de Banderas obtenido con la ecosonda Multihaz durante la campaña oceanográfica OTEC-I.



Información batimétrica de la subregión de Petacalco y Lázaro Cárdenas en el Pacífico mexicano

Batimetría de alta resolución con ecosonda multihaz a bordo de el buque El Puma, UNAM

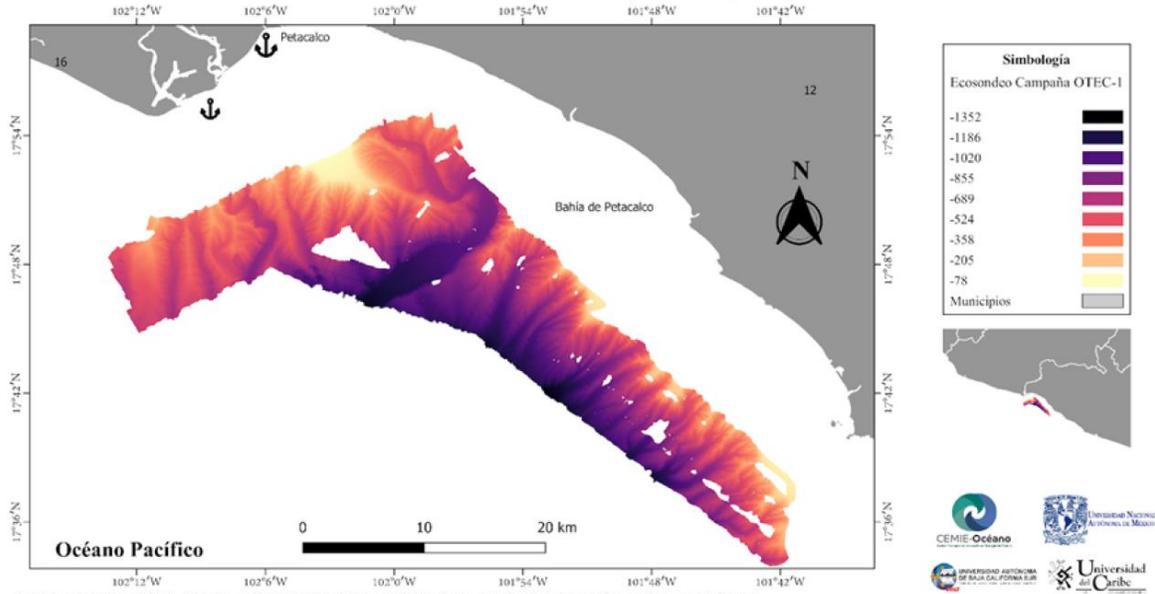


Figura 16. Perfil Batimétrico de Petacalco obtenido con el ecosonda Multihaz durante la campaña oceanográfica OTEC-I.

Información batimétrica de la subregión oeste de Puerto Ángel y Huatulco en el Pacífico mexicano

Batimetría de alta resolución con ecosonda multihaz a bordo de el buque El Puma, UNAM

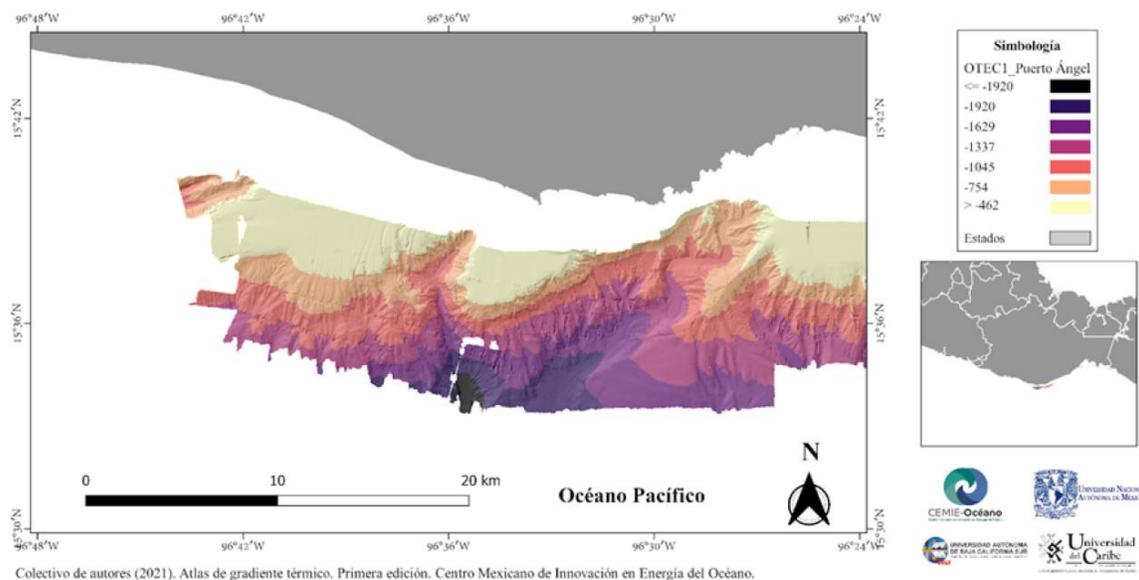


Figura 17. Perfil Batimétrico de Puerto Ángel obtenido con el ecosonda Multihaz durante la campaña oceanográfica OTEC-I.



El sitio con menor distancia de la costa para la tubería de agua fría es Petacalco, (solo sí se utiliza el agua caliente de la planta Termoeléctrica, también localizada ahí). En segundo lugar, está la Bahía de Banderas, que requeriría una tubería de 3.291km, seguido por Islas Marías comuna distancia de 4.110 km (zona propuesta), después Puerto Ángel con una distancia de 4.799 km y, por último, Los Frailes con una distancia de 5.381km (zona propuesta) (Fig. 18-20).

Con respecto a la tubería de descarga propuesta a 50 m de profundidad, se encontró que la de menor distancia sería la de las Islas Marías con 0.968 km, seguido por la de Bahía de Banderas con 1.533 km, luego Los Frailes con 2.110km, Puerto Ángel con 3.122 km y finalmente Petacalco con más de 8km (Fig. 18-20).

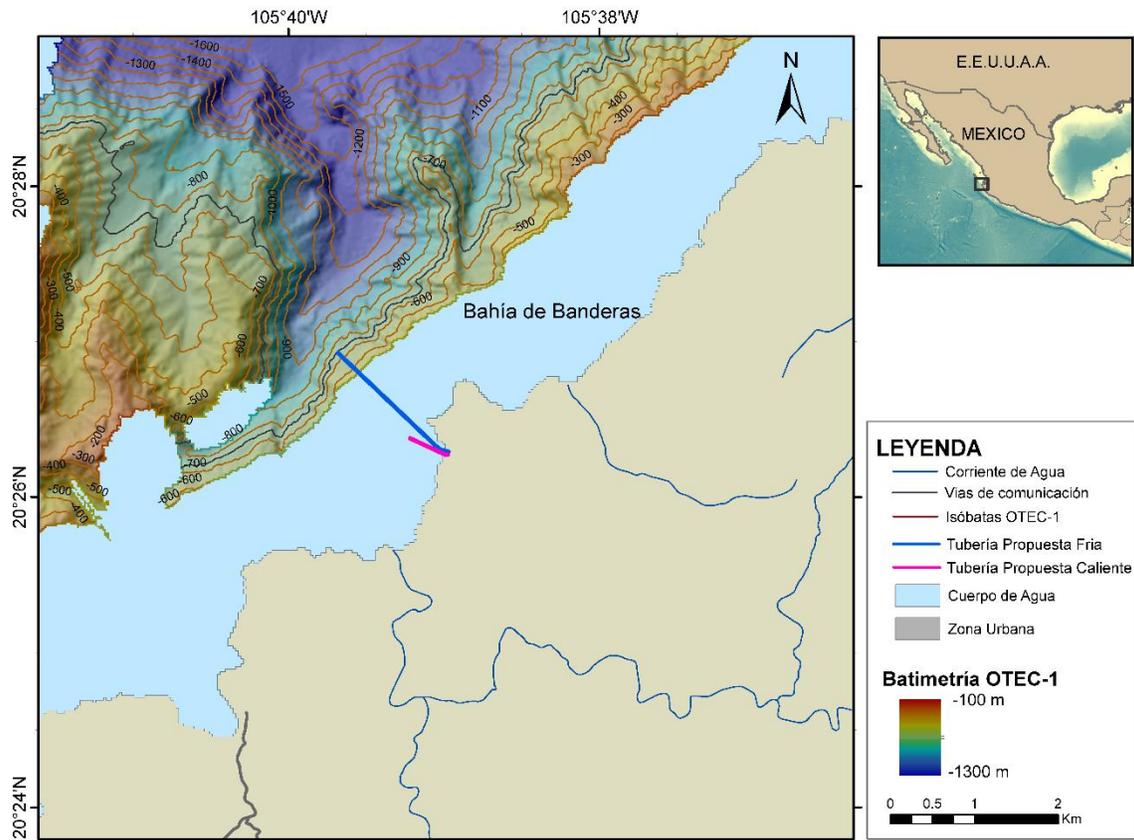


Figura 18. Perfil Batimétrico de la Bahía de Banderas con tubería de toma de agua fría (azul) a 750 m de profundidad y tubería de agua caliente (rosa) a 50 m de profundidad.

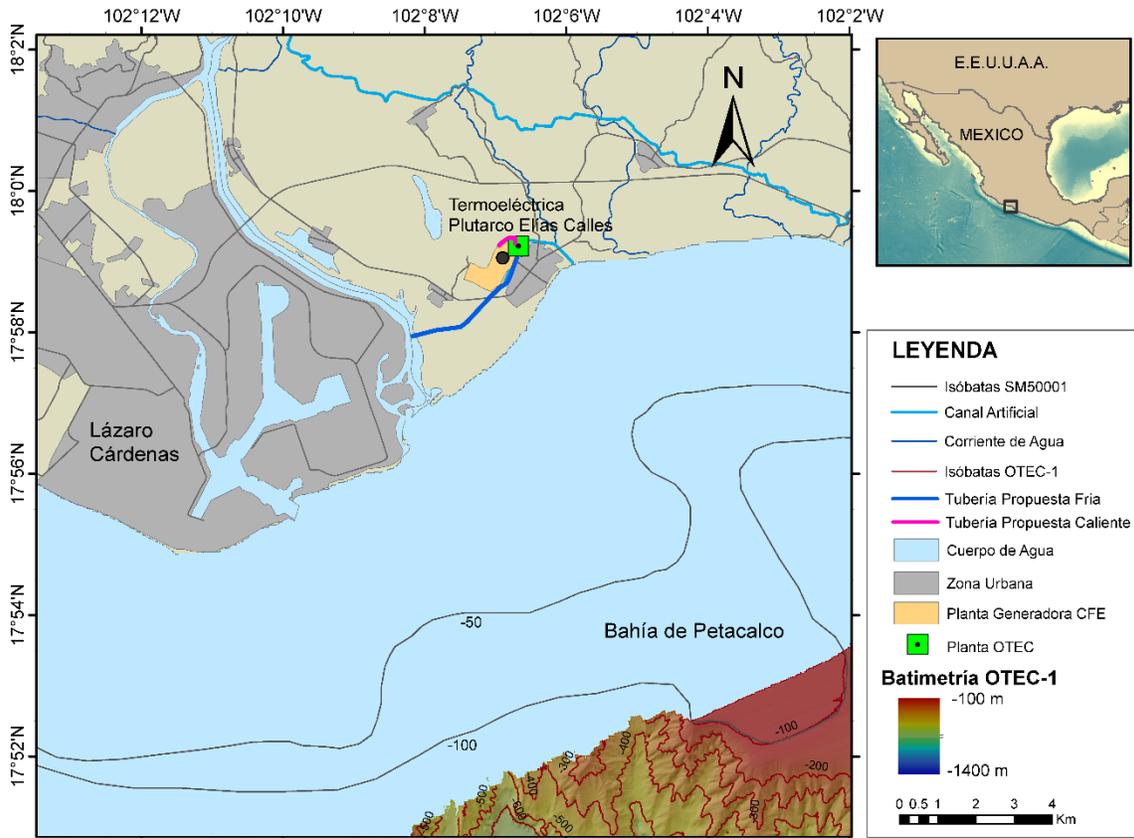


Figura 19. Perfil Batimétrico de la Bahía de Petacalco con tubería de toma de agua fría (azul) en superficie y tubería de agua caliente (rosa) en termoelectrica.

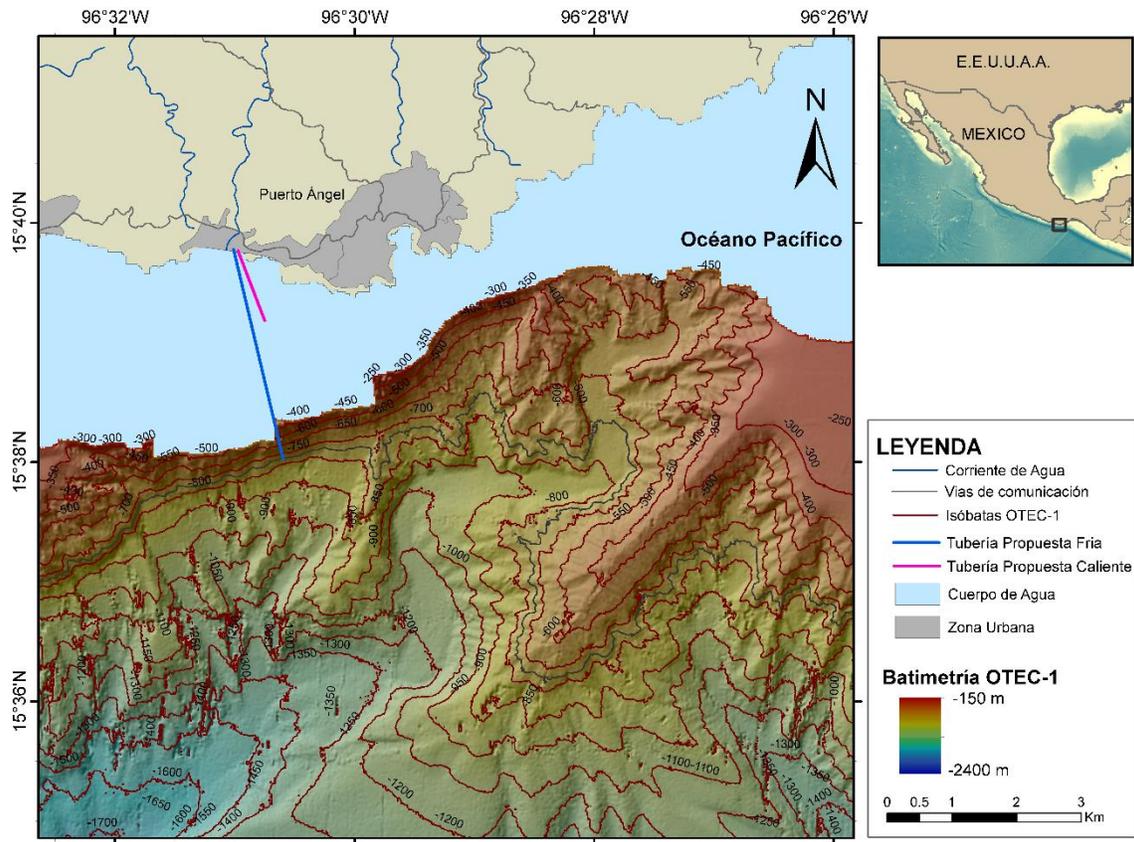


Figura 20. Perfil Batimétrico de Puerto Ángel con tubería de toma de agua fría (azul) a 750 m de profundidad y tubería de agua caliente (rosa).



Físicos

Se registró una temperatura superficial promedio de 21.66 °C en la Bahía de Banderas, en comparación con un promedio de 26 °C en Puerto Ángel. Las estaciones que presentaron las temperaturas superficiales más altas fueron Puerto Ángel, Pinotepa y Petacalco, mientras que las temperaturas más bajas se observaron en Bahía de Banderas, Islas Marías y Acapulco (Fig. 21). La profundidad máxima se registró en la estación CTD07 en Acapulco, con 2050 m, y la mínima en la estación CTD09 en la Bahía de Banderas, con 930 m.

En cuanto a la salinidad, se identificó una haloclina a 100 m de profundidad en todas las estaciones, con un rango promedio de 34.8 a 34.85 UPS, a excepción de las Islas Marías. La salinidad superficial promedio en la Bahía de Banderas fue de 34.9 UPS, mientras que en Puerto Ángel fue de 34.30 UPS. Las estaciones con mayor salinidad superficial fueron Islas Marías, Bahía de Banderas y Acapulco, mientras que Petacalco, Pinotepa y Puerto Ángel mostraron las salinidades superficiales más bajas (Fig. 22).

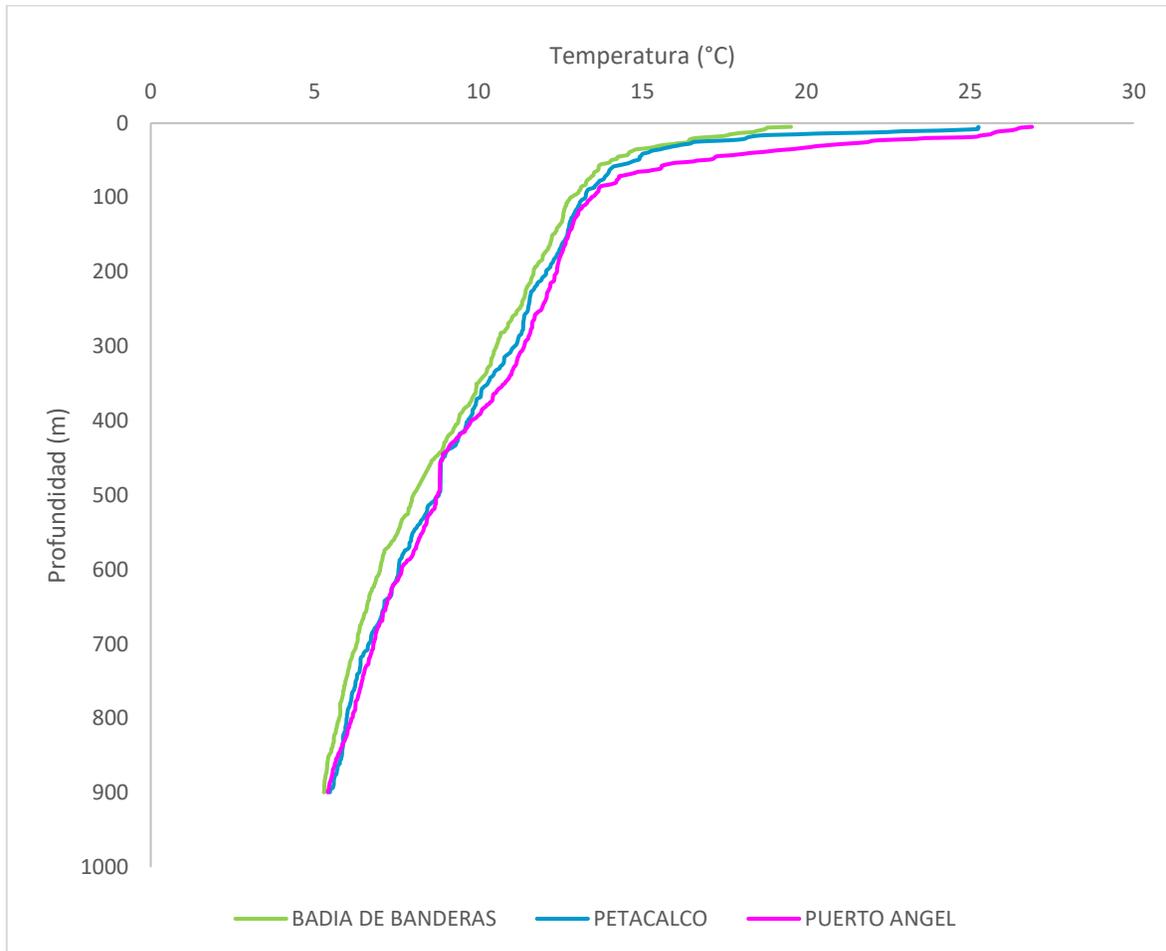


Figura 21. Perfiles totales de temperatura obtenidos del CTD de las ocho estaciones Bahía de Banderas (verde), Petacalco (azul) y Puerto Ángel (rosa) durante la campaña oceanográfica OTEC-I.

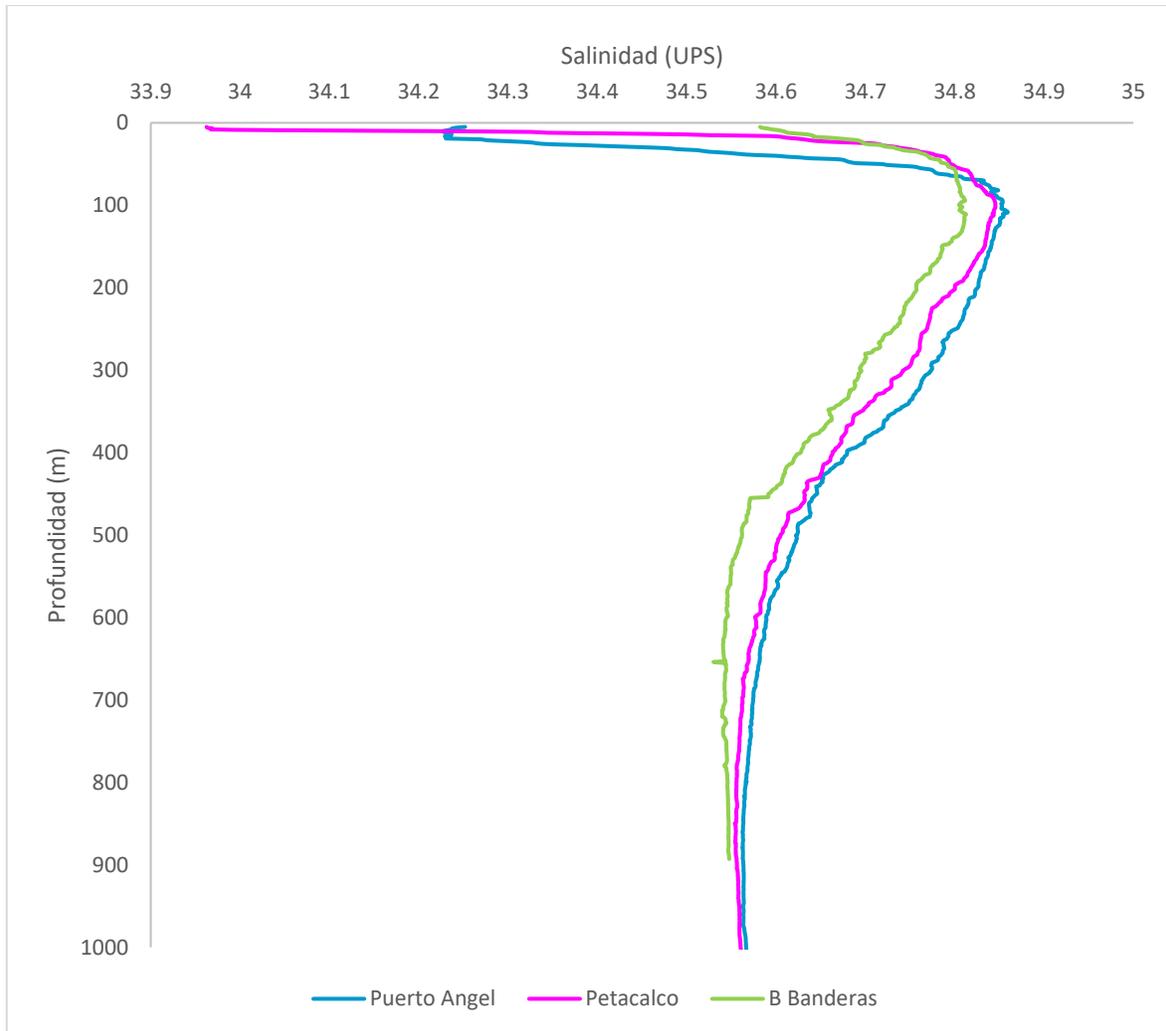


Figura 22. Perfiles totales de salinidad obtenidos del CTD de las ocho estaciones Bahía de Banderas (verde), Petacalco (rosa) y Puerto Ángel (azul) durante la campaña oceanográfica OTEC-I.



Químicos

Se recolectaron cinco organismos en total utilizando el nucleador de caja Reineck en las estaciones de Bahía de Banderas y Puerto Ángel. Estos organismos se correlacionaron con parámetros fisicoquímicos, incluyendo temperatura, profundidad, salinidad, nitritos, nitratos, fosfatos y silicatos (Tabla 5).

Tabla 5. Relación entre nutrientes y organismos recolectados con el nucleador de caja Reineck en la Bahía de Banderas y Petacalco.

Localidad	Estación	Organismo	Temperatura	Profundidad	Salinidad	NO2	NO3	P-PO4	SiO2
Bahía de Banderas	E2	<i>Amphiura polyacantha</i>	5.03 °C	1340	34.54	0.08	44.64	3.15, 2000.00	114.44, 2000.00
Bahía de Banderas	E2	<i>Amphiura serpentina</i>	5.03 °C	1340	34.54	0.08	44.64	3.15, 2000.00	114.44, 2000.00
Bahía de Banderas	E2	<i>Brisaster townsendi</i>	5.03 °C	1340	34.54	0.08	44.64	3.15, 2000.00	114.44, 2000.00
Bahía de Banderas	E2	Pennatulacea	5.03 °C	1340	34.54	0.08	44.64	3.15, 2000.00	114.44, 2000.00
Puerto Ángel	LC-01/LC02	Polychaeta	3.05 °C	1514	34.61	0.63	31.52	1.94, 300.00	53.38, 500.00



El análisis de nutrientes en la columna de agua, utilizando el analizador de flujo segmentado Skalar San Plus System en la Bahía de Banderas, Petacalco y Puerto Ángel (Fig. 23, 24 y 25, respectivamente), reveló variaciones significativas en la concentración de nutrientes con la profundidad.

Los resultados mostraron que los silicatos (SiO_2) y nitratos (N-NO_3) presentaron las concentraciones más altas a 1000 m de profundidad, mientras que los fosfatos y nitritos mantuvieron concentraciones similares a lo largo de toda la columna de agua.

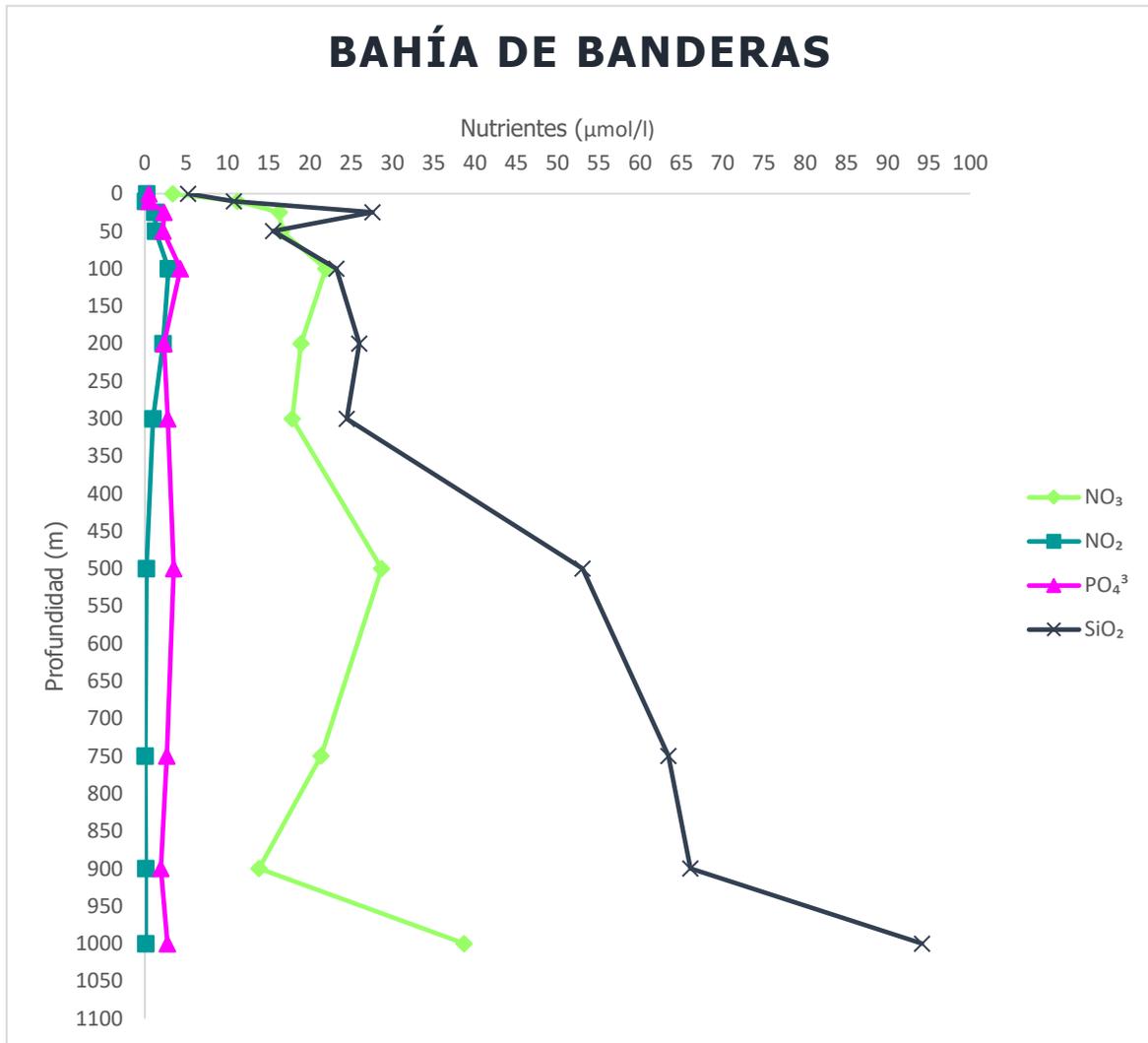


Figura 23. Nutrientes (Silicatos, Fosfatos, Nitritos y Nitratos) obtenidos por medio de las botellas Niskin en la Bahía de Banderas durante la campaña oceanográfica OTEC-I marzo, 2022.

En los tres sitios evaluados, Puerto Ángel mostró la mayor concentración de silicatos (SiO₂) con 128.46 μmol/l, seguido por la Bahía de Banderas con 94.17 μmol/l, y Petacalco, que mostró la concentración más baja con 89.46 μmol/l. En cuanto a los nitratos (N-NO₃), Puerto Ángel también presentó la concentración más alta, casi el doble que, en las otras dos localidades, alcanzando 62.69 μmol/l.



La Bahía de Banderas ocupó el segundo lugar con 38.69 $\mu\text{mol/l}$, mientras que Petacalco tuvo la menor concentración, con 31.61 $\mu\text{mol/l}$.

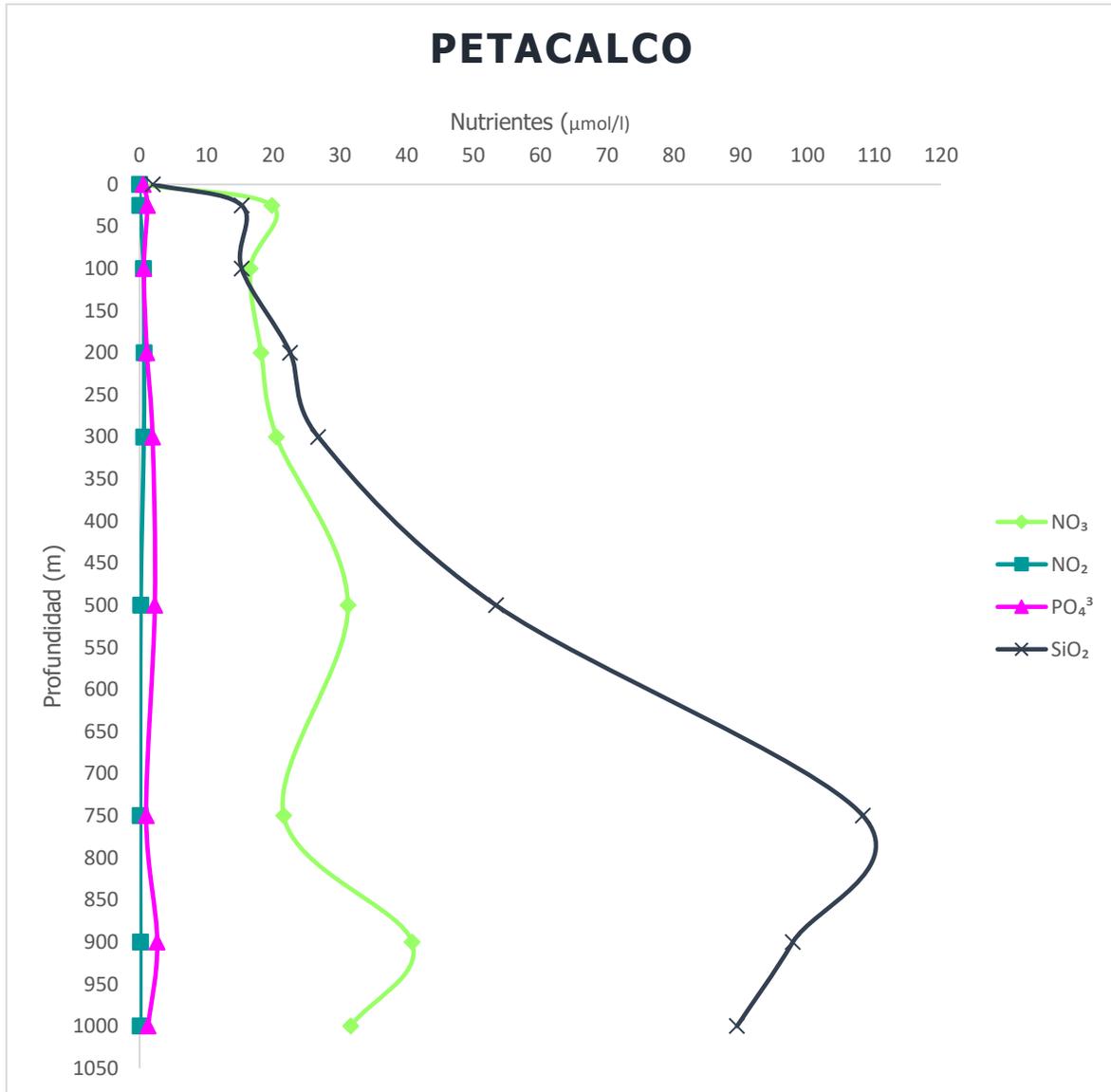


Figura 24. Figura 11. Nutrientes (Silicatos, Fosfatos, Nitritos y Nitratos) obtenidos por medio de las botellas Niskin en Petacalco durante la campaña oceanográfica OTEC-I marzo, 2022.



En cuanto a los nitritos ($N-NO_2$), Bahía de Banderas, Petacalco y Puerto Ángel mostraron la misma concentración, de $0.11 \mu\text{mol/l}$ en cada sitio. Respecto a los fosfatos ($P-PO_4$), Puerto Ángel presentó la mayor concentración con $3.92 \mu\text{mol/l}$, seguido por la Bahía de Banderas con $2.74 \mu\text{mol/l}$, y Petacalco, que tuvo la concentración más baja, con $1.28 \mu\text{mol/l}$.

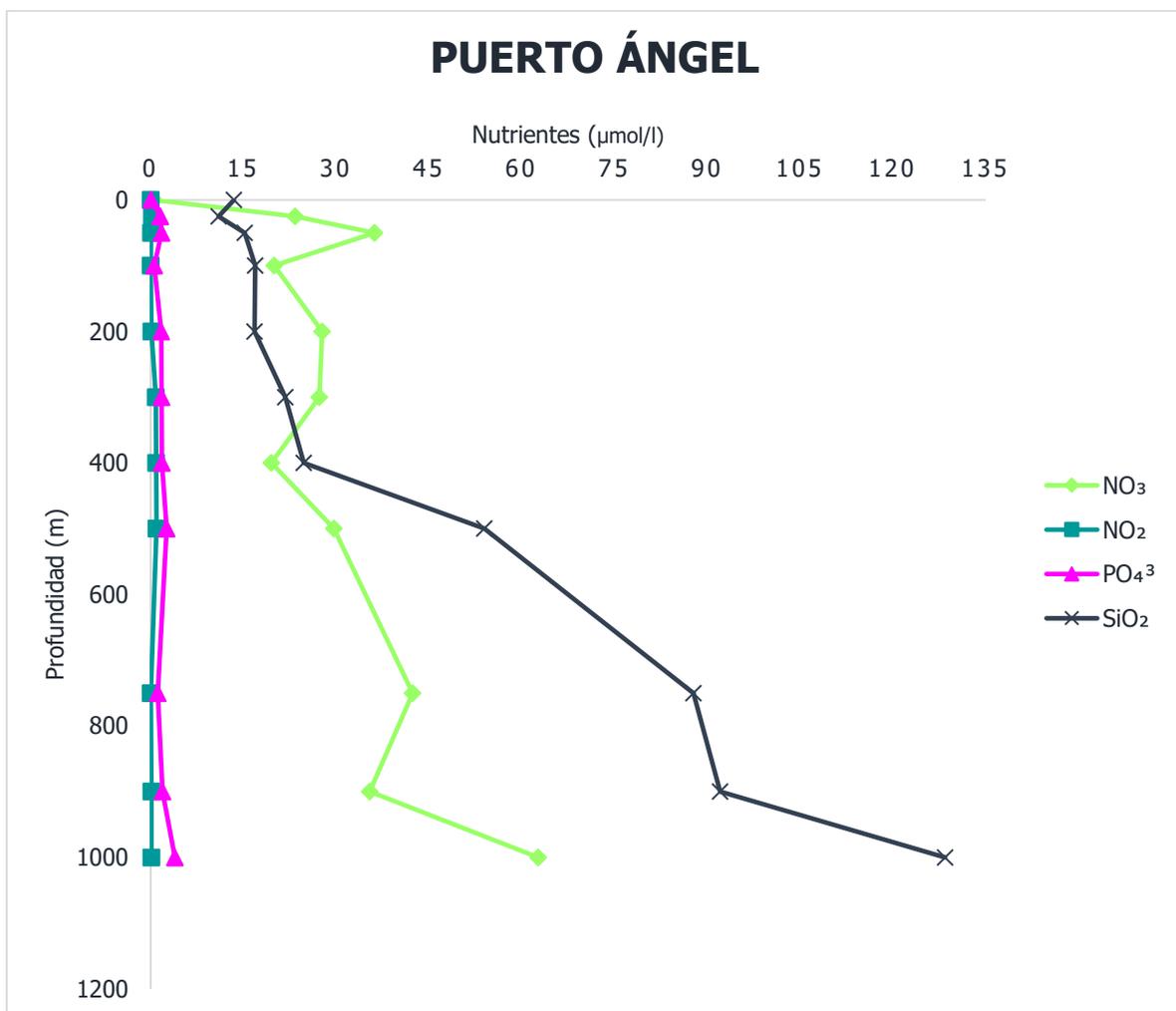


Figura 25. Nutrientes (Silicatos, Fosfatos, Nitritos y Nitratos) obtenidos por medio de las botellas Niskin en Puerto Ángel durante la campaña oceanográfica OTEC-I marzo, 2022.



Biológicos

Durante la expedición se registraron un total de 36 avistamientos de organismos. Entre estos, se identificaron 12 aves, 10 cetáceos, seis quelonios, dos florecimientos algales, dos ctenóforos, un condrictio, un elápido, un cnidario y un sálpido. La mayoría de estos organismos fueron documentados mediante fotografías y/o videos, y en su mayoría identificados hasta el nivel de especie (Fig. 26-29).

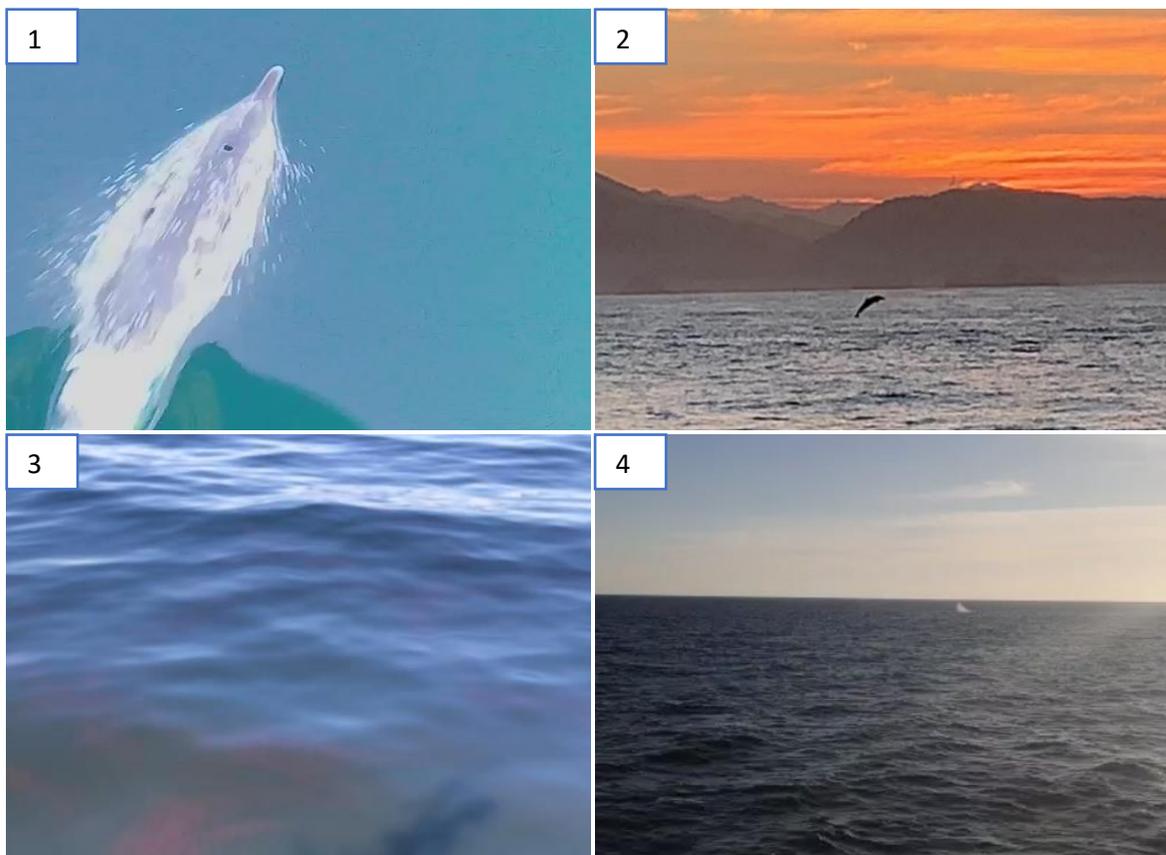


Figura 26. Avistamiento de *Stenella attenuata* (1), Spp de delfín no identificada (2), Marea roja (3) y soplo de *Megaptera novaeangliae* (4) durante la campaña oceanográfica OTEC-I.

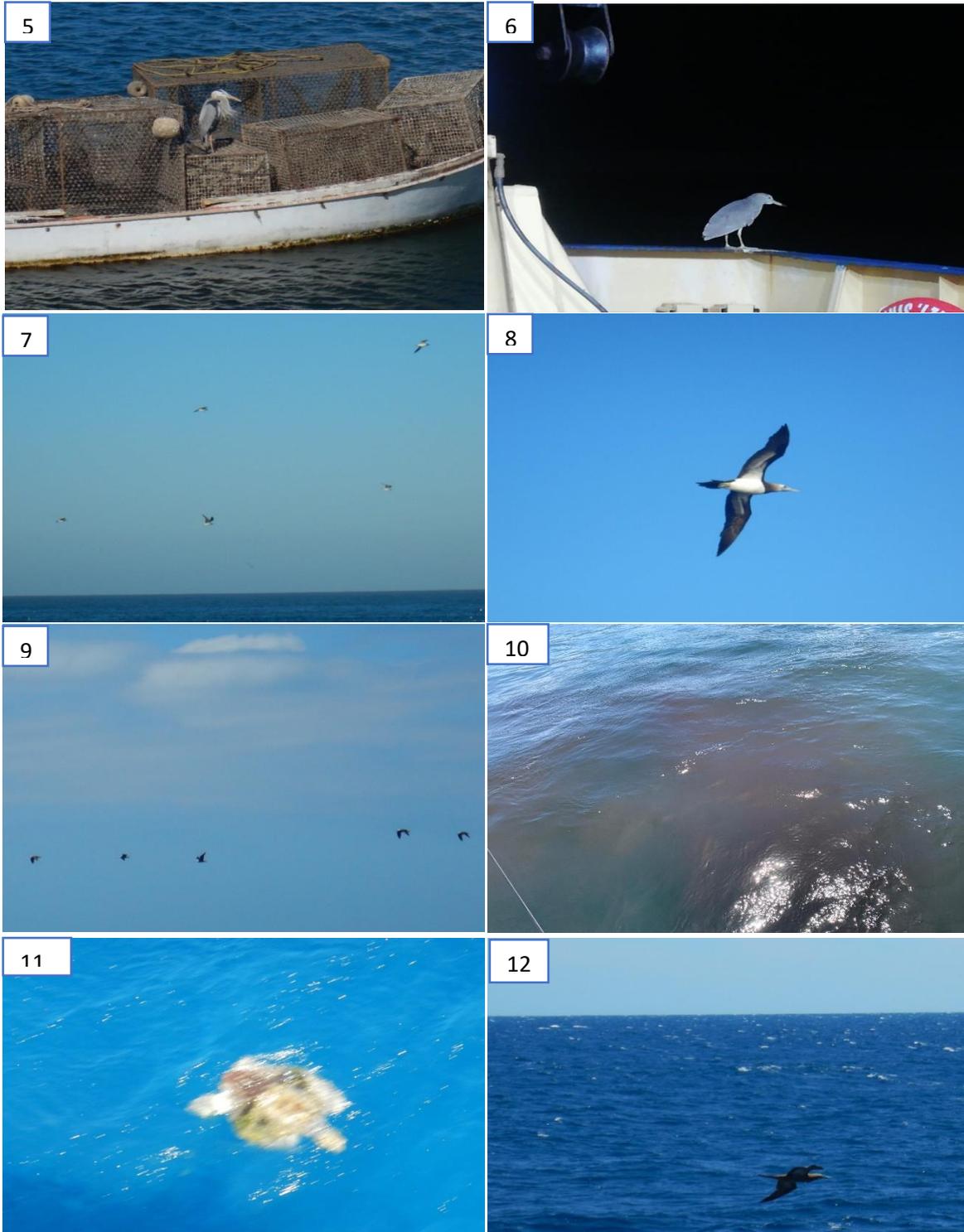


Figura 27. Avistamiento de *Ardea herodias* (5 y 6), *Larus ichthyaetus* (7), *Sula leucogaster* (8 y 12), *Larus heermanni* (9), Marea roja (10), Tortuga (11) durante la campaña oceanográfica OTEC-I.

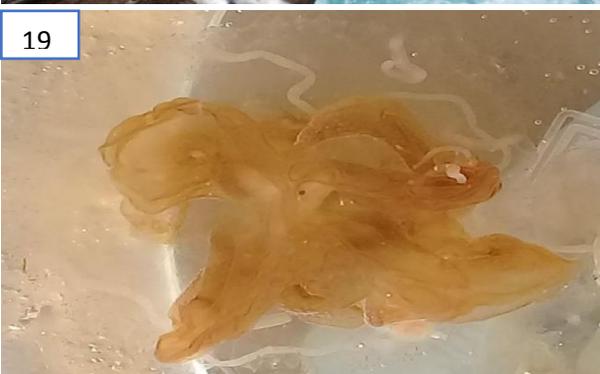


Figura 28. Avistamiento de Tortuga (13) *Orcinus orca* (14), *Stenella attenuata* (15), Tortuga con ave (16), *Sula leucogaster* (17), *Mobula birostris* (18), Medusas (19), *Hydrophis platurus* (20) durante la campaña oceanográfica OTEC-I.

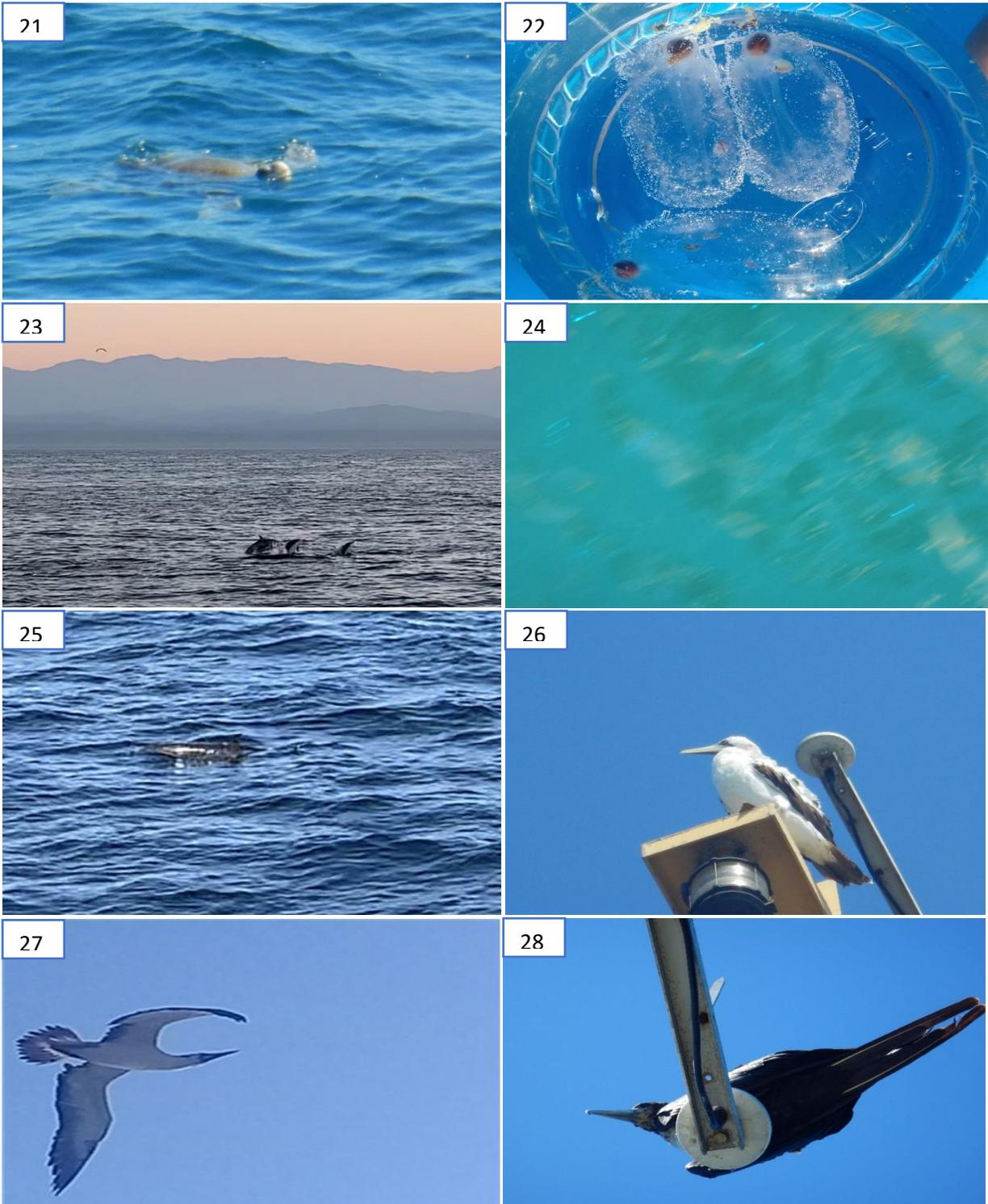


Figura 29. Avistamiento de *Lepidochelys olivacea* (21), *Salpas* (22), *Delphinus delphis* (23), Ctenóforos (24) *Stenella attenuata* (25), *Sula dactylatra* (26 y 27), *Fregata magnificens* (28) durante la campaña oceanográfica OTEC-I.



Se recolectaron seis invertebrados utilizando el nucleador de caja Reineck. De estos, dos pertenecían al Phylum Polychaeta: uno en Puerto Ángel y una galería de poliqueto en Petacalco. En Bahía de Banderas se identificaron tres especies del Phylum Echinodermata: dos ofiuros, *Amphiura polyacantha* y *Amphiura serpentina*, además de un equinoideo, *Brisaster townsendi*. También se encontró una especie del Phylum Cnidaria, perteneciente al Orden Pennatulacea (Fig. 30-34).

Taxonomía

DOMINIO EUKARYOTA Woese, 1990

REINO ANIMALIA Linneo, 1758

PHYLUM: ECHINODERMATA Brugiére, 1791

Orden: Spatangoida Claus, 1876

Familia: Schizasteridae Lambert. 1905

Género: *Brisaster* Gray, 1855

Brisaster townsendi (A. Agassiz, 1898)

CLASE: OPHIUROIDEA Gray, 1840

Orden: Amphilepidida O´Hara, Hugall, Thuy, Stöhr & Martynov, 2017

Familia: Amphiuridae Ljungman, 1867

Género: *Amphiura* Gray, 1855

Amphiura serpentina (Lütken & Mortesen, 1899)

Amphiura polyacantha (Lütken & Mortesen, 1899)



PHYLUM: CNIDARIA Verrill, 1865; Hatschek, 1888

CLASE: ANTHOZOA Ehrenberg, 1834

Subclase: Octocorallia Haeckel, 1866

Orden: Pennatulacea (Verrill, 1865)

PHYLUM: ANNELIDA Lamarck, 1809

CLASE: POLYCHAETA Grube, 1850

Subclase: Errantia o Aciculata Audouin & H. Milne Edwards, 1832

Orden: Phyllodocida Levinsen, 1883

Suborden: Phyllodociformia Levinsen, 1883

Familia: Phyllodocidae Örsted, 1843

Género: *Austrophyllum* (Bergström, 1914)

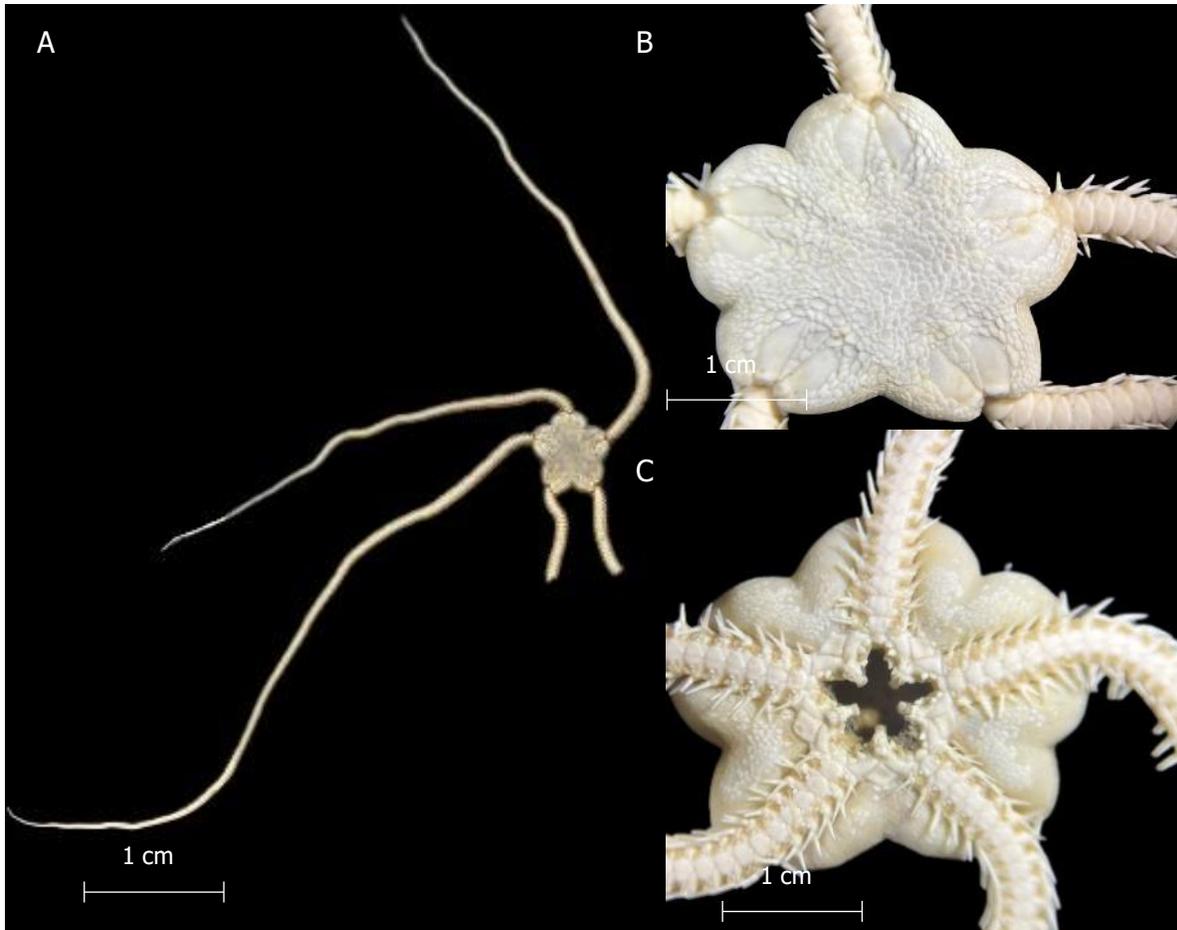


Figura 30. *Amphiura serpentina* (Lütken & Mortesen, 1899). (A) Vista dorsal, (B) región aboral, (C) región oral del disco. Recolectado con el nucleador de caja Reineck en la Bahía de Banderas, México.

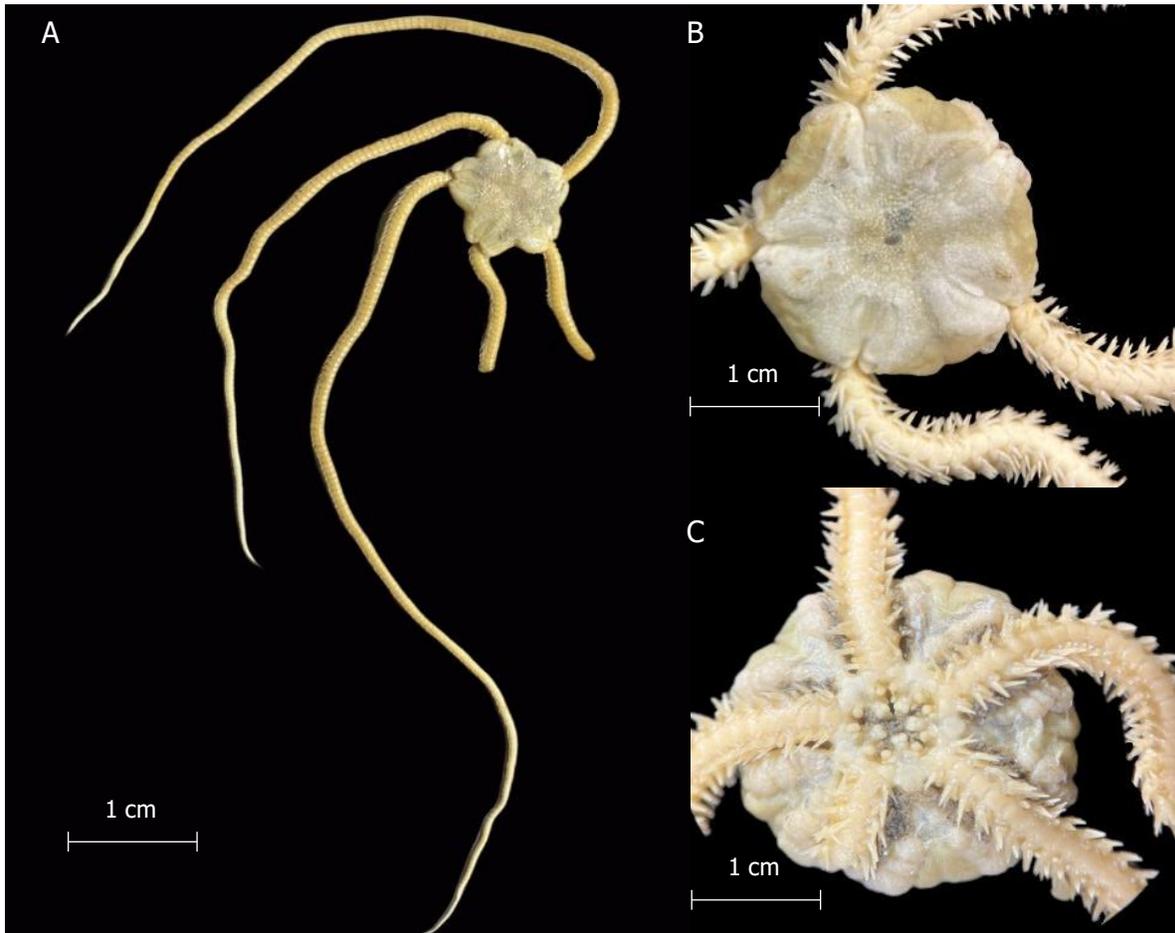


Figura 31. *Amphiura polyacantha* (Lütken & Mortesen, 1899). (A) Vista dorsal, (B) región aboral, (C) región oral del disco. Colectado con el nucleador de caja Reineck en la Bahía de Banderas, México.



Figura 32. *Brisaster townsendi* (A. Agassiz, 1898). (A) Vista adoral, (B) vista aboral. Colectado con el nucleador de caja Reineck en la Bahía de Banderas, México.



Figura 33. Pennatulacea (Verrill, 1865) (A) Vista completa, (B) Pólipos (autozooides) (C) Raquis, (D) Pedúnculo. Colectado con el nucleador de caja Reineck en la Bahía de Banderas, México.



Figura 34. *Austrophyllum* (Bergström, 1914) Recolectado con el nucleador de caja Reineck en Puerto Ángel, México.



DISCUSIÓN

Para determinar la localidad más adecuada para la instalación de una planta OTEC en el Pacífico Mexicano, se evaluaron diversos factores, como la batimetría del fondo marino y la distancia necesaria para las tuberías de toma de agua fría, caliente y de descarga. La longitud de estas tuberías es un factor crucial, ya que su costo es elevado debido a los materiales especializados que evitan la colonización de organismos que podrían comprometer el funcionamiento de la planta. Entre las tuberías, la de descarga es particularmente importante, ya que, al extraer agua profunda, cuya temperatura es significativamente más baja que la del agua superficial, es necesario ubicar la descarga a profundidades óptimas para minimizar la contaminación térmica y evitar el crecimiento excesivo de fitoplancton. Diversos autores han sugerido, a través de modelos matemáticos, una profundidad teórica de aproximadamente 60 m para la tubería de descarga, donde las alteraciones en la zona afótica y la composición química del agua serían mínimas, manteniéndose dentro de los rangos naturales (Becerril et al., 2019; Caballero-Santos, 2011; De la Garza-Cuevas, 2016; García-Huante, 2015; Gil-Alba, 2017). Esto es vital, ya que una descarga fuera de estos parámetros podría causar anomalías en la temperatura y en los nutrientes a largo plazo (Masutani y Takanhashi, 2001). Asimismo, es importante considerar que, si la salinidad del mar a 60 m difiere de la del agua de descarga, ésta se ajustará a la profundidad con la misma densidad.

Se encontró que la Bahía de Banderas es la zona que cumple con las mejores condiciones para la implementación de una Planta OTEC, debido a que es una zona que alcanza aguas profundas muy cerca de la costa, por lo que la tubería de toma de agua fría tendría una distancia aproximada de 3.291 km a 750 m de profundidad y la tubería de descarga una distancia de 1.523 km aproximadamente a 50 m de profundidad.



Gracias a que la tubería de descarga podría colocarse a una profundidad de 50m o 60 m como es propuesta por diversos autores, no se produciría contaminación térmica.

Por otro lado, la Bahía de Petacalco se considera un sitio de interés debido a la presencia de una de las centrales termoeléctricas más grandes del país (Garduño-Ruiz, 2022). El aprovechamiento del efluente de agua caliente de esta central podría facilitar la generación de energía por gradiente térmico, extrayendo el agua caliente directamente de la termoeléctrica y el agua fría de la superficie del mar, en un sistema conocido como CTEC (Coastal Thermal Gradient Energy). Sin embargo, para que este sitio sea viable, sería necesaria la colaboración con la planta termoeléctrica, ya que, sin ella, la longitud de las tuberías de toma y descarga superaría los ocho kilómetros, aumentando significativamente los costos. Además, una planta OTEC en esta zona podría mitigar el impacto ambiental al reducir la temperatura del agua de descarga, que actualmente es más alta que la del agua superficial. A pesar de que la descarga de la planta OTEC sería menos caliente que la de la termoeléctrica, seguiría siendo mayor que la temperatura superficial, lo que provocaría que permaneciera en la superficie debido a su menor densidad. Según Garduño-Ruiz, la planta OTEC en esta zona podría generar una producción anual de 567 GWh/año, con una distancia de 32 km hasta la red eléctrica.

En Puerto Ángel, el análisis de los perfiles batimétricos con ecosonda Multibeam reveló que la tubería de agua fría tendría una longitud aproximada de 4.799 km hasta alcanzar los 750 m de profundidad. La tubería de agua caliente se tomaría de la superficie del mar, y la tubería de descarga encontraría la profundidad de 50 m a una distancia de 3.122 km, lo cual resultaría muy costoso. Por ello, existe una alta probabilidad de que la descarga se realice en la superficie. En este caso, el agua de descarga, al ser más fría y densa que la superficial, se iría al fondo.



Estudios como los de García-Huante et al. (2020) y Garduño-Ruiz (2022) señalan que al utilizar el método TOPOPSIS Puerto Ángel es uno de los mejores sitios para la instalación de una planta OTEC debido a su prefactibilidad técnica y ambiental. Además, la producción anual esperada en esta zona sería de 575 GWh/año, con una distancia de 13 km hasta la red eléctrica.

Al evaluar los parámetros fisicoquímicos de la columna de agua en las diferentes estaciones CTD02-CTD09 a lo largo del Pacífico Mexicano, se observó que, si se instalara una planta OTEC en la Bahía de Banderas con una toma de agua fría a 750 m de profundidad, los valores de nutrientes serían los siguientes: silicatos (SiO_2) 63.43 $\mu\text{mol/l}$, nitritos (NO_2) 0.05 $\mu\text{mol/l}$, nitratos (NO_3) 21.33 $\mu\text{mol/l}$ y fosfatos (PO_4^{3-}) 2.66 $\mu\text{mol/l}$. Si el agua extraída se descargara a 50 m de profundidad para igualar la temperatura y minimizar la contaminación térmica, los nutrientes a esa profundidad serían: silicatos 15.55 $\mu\text{mol/l}$, nitritos 1.3 $\mu\text{mol/l}$, nitratos 16.56 $\mu\text{mol/l}$ y fosfatos 2.2 $\mu\text{mol/l}$, resultando en un aumento mínimo de los nutrientes, excepto en el caso de los nitritos.

Para Petacalco, los valores a 750 m de profundidad fueron: silicatos 108.32 $\mu\text{mol/l}$, nitritos 0.09 $\mu\text{mol/l}$, nitratos 21.56 $\mu\text{mol/l}$ y fosfatos 0.98 $\mu\text{mol/l}$. En esta localidad, la descarga se propondría a nivel superficial, dado que la distancia hasta la isóbata de 50 m es de más de 4 km, lo que encarecería la tubería. A nivel superficial, los nutrientes serían: silicatos 2 $\mu\text{mol/l}$, nitritos 0.03 $\mu\text{mol/l}$, nitratos 0.55 $\mu\text{mol/l}$ y fosfatos 0.68 $\mu\text{mol/l}$, lo que representaría un aumento significativo en los nutrientes.

En Puerto Ángel, a 750 m de profundidad, los valores obtenidos fueron: silicatos 61.02 $\mu\text{mol/l}$, nitritos 0.06 $\mu\text{mol/l}$, nitratos 34.02 $\mu\text{mol/l}$ y fosfatos 1.75 $\mu\text{mol/l}$.



En la superficie, los valores serían: silicatos $13.48 \mu\text{mol/l}$, nitritos $0.02 \mu\text{mol/l}$, nitratos $0.56 \mu\text{mol/l}$ y fosfatos $0.09 \mu\text{mol/l}$, lo que indica que la tubería de descarga podría aumentar considerablemente la concentración de nutrientes.

Este estudio analizó el posible impacto de la descarga de agua en la columna de agua, considerando factores como la temperatura y la concentración de nutrientes en diferentes profundidades.

En las tres localidades estudiadas, se observó que la instalación de una tubería de descarga a 50 m en Bahía de Banderas y a nivel superficial en Petacalco y Puerto Ángel podría duplicar o incluso triplicar la concentración de nutrientes, especialmente en el caso de los SiO_2 y los N-NO_3 , lo que podría provocar cambios a largo plazo en la columna de agua.

El aporte de nutrientes de aguas profundas a la zona fótica debido a la operación de una planta OTEC podría generar surgencias artificiales, el afloramiento de fitoplancton y el posible crecimiento de algas nocivas (Comfort y Vega, 2011; García-Huante, 2015). Aunque el aumento de nutrientes podría propiciar la formación de una surgencia, se requieren otras condiciones, como la presencia de viento, para que esto ocurra. Investigadores como Lara-Lara et al. (2008), López-Sandoval et al. (2009) y Cortez-Altamirano (1998) mencionan que las surgencias en Cabo Corrientes ocurren durante los meses de invierno y primavera, aumentando la probabilidad de formación de surgencias en Bahía de Banderas, Petacalco y Puerto Ángel durante estos meses debido al incremento de nutrientes por la descarga de las plantas OTEC.

Es importante recordar que las condiciones estudiadas se muestrearon en marzo, durante el invierno, que es la temporada óptima para la generación de surgencias según Lara-Lara et al. (2008), López-Sandoval et al. (2009) y Cortez-Altamirano (1998).



Por esta razón, se recomienda realizar estudios a lo largo del año en las tres localidades propuestas para determinar si en otros meses también se presentan condiciones idóneas que, al combinarse con el efluente generado por una planta OTEC, podrían propiciar surgencias artificiales y el afloramiento de algas nocivas, como menciona García-Huante (2015).

Alonso- Rodríguez, *et al.* (2015), Cortés-Altamirano, (1998); Cortés-Lara *et al.* (2004), Cortés-Lara *et al.* (2012), Cortés-Lara *et al.*, (2022), Escarcega-Bata, (2023), Meave del Castillo *et al.* (2020) mencionan que algunas de las especies que generan las mareas rojas en el Pacífico Mexicano causando la mortandad de algunas especies y afectaciones a los seres humanos de manera directa o indirecta en la **Bahía de Banderas**, son Diatomeas como: *Pseudonitzschia sp.*, *P. pseudodelicatissima*; Dinoflagelados: *Noctiluca scintillans* y *Ceratium spp.*, *Margalefidinium polykrikoides*, *Gymnodinium catenatum*, *Cochlodinium catenatum*, *Dinophysis caudata var. pedunculata*; Euglenofitas: *Eutreptiella marina*; Silicoflagelados: *Dictyocha californica* y Cianobacterias como: *Trichodesmium erythraeum*. En la **Bahía de Petacalco**, Dinoflagelados: *Pyrodinium bahamensi var. compressum*, *Gymnodinium catenatum* y **Puerto Ángel**, Dinoflagelados como: *Pyrodinium bahamensi var. compressum*, *Gymnodinium catenatum*, *Alexandrium minutum* y *Prorocentrum micans*.

En el presente estudio, se comparó el volumen de agua generado anualmente por una planta OTEC con el volumen asociado a una surgencia que provoca mareas rojas tres veces al año.

Los resultados mostraron que el volumen de agua asociado a la planta OTEC es de 0.001 en comparación con el volumen de una surgencia, lo que sugiere que la planta OTEC reduce significativamente la probabilidad de generar mareas rojas.



García Huante (2015) utilizó el programa CORMIX junto con datos oceanográficos de Puerto Ángel para evaluar el impacto de la descarga de agua a 60 metros de profundidad. Se encontró que los nutrientes depositados en el agua permanecen en la columna de agua por aproximadamente cinco horas, recorriendo una distancia recta de 700 metros, con factores oceanográficos como corrientes que contribuyen a su disolución. Se calculó que la velocidad de la corriente en la Bahía de Banderas es de 0.4 m/s, mientras que la planta OTEC genera un gasto de 4 m³/s frente a un gasto de 800 m³/s en la tubería de descarga propuesta. Por lo tanto, la velocidad de la corriente es 200 veces mayor que el gasto generado por la OTEC.

Se evaluaron dos zonas comparables a la Bahía de Banderas, Los Frailes e Islas Marías, con velocidades de corriente de 0.36 y 0.3 m/s y gastos de 720 y 600 m³/s, y una proporción mayor de 180 y 150 respectivamente. Similarmente, se realizó el cálculo para la Bahía de Petacalco y Puerto Ángel, con un área de 2000 m² y una velocidad de corriente de 0.25 m/s, siendo igual para ambos sitios, teniendo un gasto de 500 m³/s, mostrando una velocidad de corriente 125 veces mayor que la generada por la OTEC.

Carrera-Chan (2019) y De la Garza-Cuevas (2016) han señalado que, aunque la extracción de agua fría y cálida por la planta OTEC no es significativa, la alteración continua en la columna de agua podría provocar la reubicación y arrastre de organismos, así como la redistribución de nutrientes. Esto podría resultar en una alta concentración de dióxido de carbono en la zona fótica, ya que las aguas profundas contienen altos niveles de nutrientes y CO₂, contribuyendo potencialmente al calentamiento global. Sin embargo, Masutani y Takahashi (2001) argumentan que las plantas OTEC generan emisiones de CO₂ de uno o dos órdenes de magnitud menores en comparación con las centrales eléctricas de combustibles fósiles, y estas emisiones pueden ser capturadas en el océano, promoviendo la producción de biomasa marina.



Carrera-Chan et al. (2020) emplearon una matriz de Leopold para evaluar los impactos positivos y negativos de una planta OTEC de 1. Entre los impactos positivos se encuentran el acceso a energía eléctrica, la generación de empleos, la obtención de agua potable y la producción de sistemas de refrigeración. Caballero-Santos (2011) y De la Garza-Cuevas (2016) también destacan beneficios adicionales, como la generación de hidrógeno mediante electrólisis para la industria del transporte y la acuicultura, aprovechando el agua rica en nutrientes de las profundidades o para riego agrícola. No obstante, los mismos autores identifican efectos negativos, como la transformación del paisaje y el hábitat de algunas especies, la liberación de biocidas, el desequilibrio en los sistemas marinos por la extracción y redistribución de nutrientes, las emisiones de CO₂, las descargas de salmuera y el riesgo de fugas y derrames durante el mantenimiento, que podrían modificar el tipo de suelo.

A partir de la literatura revisada y los resultados obtenidos, se analizó el impacto potencial en las 36 especies avistadas y las cinco especies recolectadas durante la campaña oceanográfica OTEC-I. Este análisis tiene como objetivo desarrollar medidas de mitigación ambiental y regulaciones durante la construcción, instalación y operación de tecnologías de energía renovable.

Se observó una gran cantidad de tortugas en las áreas de Petacalco a Puerto Ángel, sugiriendo que esta región podría ser una ruta migratoria importante hacia zonas de anidación. Las observaciones se realizaron principalmente durante las navegaciones entre estaciones, por lo que los impactos en estas especies podrían manifestarse durante la operación de la planta OTEC, con la iluminación artificial afectando el desove de las tortugas. Por lo tanto, es crucial seleccionar cuidadosamente la ubicación de la planta para evitar la destrucción de sitios de anidación y rutas migratorias.



Además, el funcionamiento de una planta OTEC podría inducir el afloramiento de algas nocivas, como *Pyrodinium bahamense* var. *compressum*, que han sido asociadas con la mortalidad de tortugas (Alonso-Rodríguez, 2015; Auvray et al., 2015; Coastal Response Research Center, 2010).

Las especies de mamíferos marinos observadas durante la campaña, como *Orcinus orca*, *Stenella attenuata*, *Delphinus delphis* y *Megaptera novaeangliae*, podrían verse afectadas durante la construcción y operación de la planta debido al ruido y a los cambios en los campos electromagnéticos, lo que podría alterar sus patrones migratorios. En particular, *Megaptera novaeangliae* podría experimentar impactos significativos en la Bahía de Banderas, una de las zonas de reproducción y crianza más importantes del país para la ballena jorobada. Además, se podrían generar alteraciones en el comportamiento de los mamíferos marinos, afectando su respiración, buceo, alimentación y descanso, y potencialmente provocando cambios en su distribución. Los cambios en la columna de agua también podrían impactar la dinámica de los ecosistemas y la disponibilidad de presas, así como afectar a los mamíferos marinos al consumir presas afectadas por floraciones algales nocivas (Auvray et al., 2015; Cabello-Figueroa, 2022; Coastal Response Research Center, 2010; Heckel et al., 2020; Reeves et al., 2002).

Auvray et al. (2015) sugieren que las especies de elasmobranchios, como *Mobula birostris*, podrían sufrir impactos similares a los observados en tortugas y mamíferos marinos debido a los cambios en los campos electromagnéticos.

Durante las navegaciones, se avistaron aves como *Larus ichthyaetus*, *Sula leucogaster*, *Larus heermanni*, *Sula dactylatra* y *Fregata magnificens*, aunque *Ardea herodias* fue observada en el Puerto de Mazatlán, Sinaloa.



Muchas de estas especies podrían verse afectadas negativamente durante la construcción y operación de la planta OTEC, especialmente en sus rutas migratorias, debido a la iluminación de la planta y los cambios en el comportamiento y distribución (Auvray et al., 2015; Carrera-Chan et al., 2020; Coastal Response Research Center, 2010).

La identificación de las especies responsables de mareas rojas se vio limitada por la falta de material de muestreo adecuado. Sin embargo, los avistamientos coinciden con los reportes de Lara-Lara et al. (2008), López-Sandoval et al. (2009) y Cortés-Altamirano (1998), que indican que los meses más probables para la formación de mareas rojas son durante el invierno. Por lo tanto, es crucial realizar estudios adicionales sobre florecimientos algales relacionados con la redistribución de nutrientes provocada por energías renovables.

Se recolectaron cinco especies de invertebrados bentónicos utilizando el nucleador de caja Reineck: un poliqueto del género *Austrophyllum spp.*, dos ofiuroides *Amphiura polyacantha* y *Amphiura serpentina*, un equinoideo *Brisaster townsendi* y una especie del orden Pennatulacea. Estos invertebrados no se verían afectados directamente por una planta OTEC, ya que fueron recolectados a más de 750 m de profundidad, que es el rango propuesto en este estudio. No obstante, en profundidades menores o cercanas a la costa, estos invertebrados podrían experimentar impactos directos por la tubería de toma de agua fría y caliente, que podría provocar la reubicación y arrastre de organismos o sus larvas en la columna de agua.

Además, el agua de descarga en la superficie podría alterar la composición fisicoquímica del agua, afectando al bentos y a especies de corales, que son muy sensibles a cambios en sus condiciones específicas.



CONCLUSIONES

Potencial de Implementación de Plantas OTEC:

- ❖ La Bahía de Banderas cumple con las condiciones batimétricas y de temperatura adecuadas para la implementación de una planta OTEC. Además, la proximidad de aguas profundas a la costa reduce el impacto en la tubería de descarga.
- ❖ En la Bahía de Petacalco, la existencia de una planta termoeléctrica podría disminuir los costos de implementación de una planta OTEC. Además, la descarga superficial de una planta OTEC podría reducir la contaminación térmica generada actualmente por la planta termoeléctrica.
- ❖ Puerto Ángel, aunque presenta aguas profundas alejadas de la costa, requeriría una tubería de descarga en superficie para evitar costos elevados.

Impactos Ambientales y Físicoquímicos:

- ❖ La Bahía de Banderas, con sus condiciones oceanográficas idóneas, podría experimentar surgencias elevando los nutrientes del agua de descarga, lo que aumentaría las posibilidades de formación de mareas rojas.
- ❖ En Petacalco, debido a que el agua de descarga es más caliente que la superficial, esta se mantendría en la superficie, afectando especies como los corales. En contraste, en Puerto Ángel, el agua de descarga, al ser más fría y densa, se mantendría en el fondo, con implicaciones directas en el bentos.



- ❖ Las afectaciones ambientales de una planta OTEC incluyen la redistribución de nutrientes, emisiones de CO₂, y alteraciones fisicoquímicas de la columna de agua.

Análisis de Variables Oceanográficas:

- ❖ Las estaciones con mayor temperatura superficial fueron Puerto Ángel, Pinotepa y Petacalco, mientras que las estaciones con menor temperatura superficial son Bahía de Banderas, Islas Marías y Acapulco.
- ❖ Las estaciones con mayor salinidad superficial fueron las Islas Marías, Bahía de Banderas y Acapulco, mientras que las estaciones con menor salinidad superficial son Petacalco, Pinotepa y Puerto Ángel.
- ❖ Los nutrientes con mayor concentración en la Bahía de Banderas, Petacalco y Puerto Ángel son los Silicatos y Nitratos. Puerto Ángel fue el sitio con mayor concentración de Silicatos, Nitratos y Fosfatos, seguido de Bahía de Banderas y Petacalco con la menor concentración.

Impactos Potenciales en la Fauna Marina:

- ❖ El caudal generado por una planta OTEC es muy pequeño comparado con los flujos naturales de las corrientes. Sin embargo, el aumento de nutrientes en la columna de agua podría propiciar el afloramiento de especies nocivas, como *Pseudonitzschia sp.*, *Noctiluca scintillans*, y *Ceratium spp.* en la Bahía de Banderas, así como *Pyrodinium bahamensi var. compressum* y *Gymnodinium catenatum* en Petacalco. En Puerto Ángel, las especies más comunes en mareas rojas son *Pyrodinium bahamensi var. compressum*, *Alexandrium minutum* y *Prorocentrum micans*.





- ❖ Los elasmobranchios, tortugas y mamíferos marinos podrían verse afectados por los cambios electromagnéticos y la iluminación generada por la operación de la planta. Es crucial evitar la construcción de la planta en sitios de anidación y rutas migratorias de tortugas.
- ❖ Durante la operación de una planta OTEC, los mamíferos marinos podrían presentar cambios conductuales y de distribución debido al ruido, cambios electromagnéticos o alteraciones en la distribución del alimento.

Consideraciones Finales:

- ❖ A pesar de que la Bahía de Banderas es un sitio idóneo para la implementación de una planta OTEC, es también un lugar crítico para la reproducción y crianza de la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) y cuenta con áreas naturales protegidas como las Islas Marietas. Otros sitios potenciales con características similares son Los Frailes y las Islas Marías, pero también se encuentran cerca de áreas protegidas.
- ❖ Se recomienda realizar estudios adicionales para investigar la relación entre las concentraciones altas de Silicatos y la formación de mareas rojas.



LITERATURA CITADA

- ❖ Alonso-Rodríguez, R., Mendoza-Amézquita, E., Velásquez-López, S. A., Seim, J. A., & Martínez-Rodríguez, V. M. (2015). Florecimientos algales nocivos producidos por *Pyrodinium bahamense* en Oaxaca, México (2009-2010). *salud pública de México*, 57(4), 343-351.
- ❖ Auvray, C., et al. (2015) Méthodologie d'étude des impacts d'une centrale d'énergie thermique des mers (ETM) en Martinique, *La Houille Blanche*, 2015. 101:2, 60-66, DOI: 10.1051/lhb/20150020
- ❖ Auvray, C., Ledoux, S., Diaz, B., Yvon, C., & Pouget-Cuvelier, A. (2015). Environmental impact assessment for an OTEC Plant in Martinique Island. *Houille Blanche*, 60-66.
- ❖ Avery, W. H., & Wu, J. S. (1994). *Ocean Thermal Energy Conversion: An Overview*. *Energy Reviews*, 9(1), 45-66.
- ❖ Avery, W. H., & Wu, C. (1994). "Renewable Energy from the Ocean: A Guide to OTEC." Oxford University Press
- ❖ Aviña Jiménez, H. M. (2007). Factibilidad de instalar una planta OTEC (conversión de la energía térmica del océano) en las costas de México. Universidad Nacional Autónoma de México.
- ❖ Aviña-Jiménez, A. (2007). *OTEC Technology: Historical Developments and Future Perspectives*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.



- ❖ Becerril M., C. Ernesto Puc, Naomy Ramírez (2019). Efectos Oceanográficos Generados Por La Biopluma De Descarga De Una Planta OTEC en el Canal de Cozumel. Tesis.
- ❖ Bergström, Erik. (1914). Zur Systematik der Polychætenfamilie der Phyllocociden. Zoologiska bidrag från Uppsala. 3: 37-224.
- ❖ Bernal-Gómez, J., Díaz-Pérez, A., & Bravo-Moreno, M. (1982). Evaluación del potencial energético de la costa mexicana para la instalación de plantas OTEC. Revista Mexicana de Física
- ❖ Brusca, R. C., & Brusca, G. J. (2002). *Invertebrates* (No. Ed. 2). Sinauer Associates Incorporated.
- ❖ Caballero Santos, C. (2011). Estudio de plantas de producción de energías renovables con aprovechamiento de la energía del mar (Bachelor's thesis).
- ❖ Cabello Figueroa Vianey (2022). Plantas de energías renovables marinas: Efectos potenciales en mamíferos marinos y medidas de mitigación (Tesis de Maestría) Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.
- ❖ Caso M. E. (1983). Los Equinoideos del Pacífico de México. Parte cuarta. Órdenes Cassiduloida y Spatangoida. Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México 6 :1-200.
- ❖ Carranza-Edwards, A., Gutiérrez-Estrada, M., & Rodríguez-Torres, R. (1975). Unidades morfotectónicas continentales de las costas mexicanas. In *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* (Vol. 2, No. 1, pp. 81-88). Universidad Nacional Autónoma de México.



- ❖ Carrera- Chan, E. (2019). Tesis: Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) de la operación de una planta OTEC 1MWe de ciclo abierto en la isla de Cozumel, Quintana Roo.
- ❖ Chan, E. C. C., Tun, M. F. S., Graniel, J. F. B., & Acevedo, E. C. (2020). Environmental Impact Assessment of the Operation of an Open Cycle OTEC 1MWe Power Plant in the Cozumel Island, Mexico. *Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)*, 145.
- ❖ Coastal Response Research Center. (2010). Ocean Thermal Energy Conversion: Assessing Potential Physical, Chemical and Biological Impacts and Risks. University of New Hampshire, Durham, NH, 39 pp and appendices.
- ❖ Comfort, C. M., & Vega, L. (2011, September). Environmental assessment for ocean thermal energy conversion in Hawaii: Available data and a protocol for baseline monitoring. In *OCEANS'11 MTS/IEEE KONA* (pp. 1-8). IEEE.
- ❖ Cortés Altamirano, R. (1998). *Las mareas rojas*.
- ❖ Cortés Lara, M. D. C., Cortés Altamirano, R., & Sierra-Beltrán, A. P. (2004). Presencia de *Cochlodinium catenatum* (Gymnodiniales: Gymnodiniaceae) en mareas rojas de Bahía de Banderas, Pacífico mexicano. *Revista de Biología Tropical*, 52, 35-49.
- ❖ Cortés-Lara, M.C.; Cortés-Altamirano, R.; Cupul-Magaña, A.L.; Rodríguez Nava, L.V. y Vega-Villasante, F. (2012). Guía de florecimientos microalgales (2000-2011) causantes de mareas rojas en Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit. México: Universidad de Guadalajara. pp. 112.



- ❖ Cortés-Lara, M. D. C., Cupul-Magaña, A. L., & Cupul-Velázquez, A. M. (2022) Fitoplancton marino de Bahía de Banderas con una revisión de los florecimientos algales nocivos en la región. *Pacífico mexicano*, 9.
- ❖ De la Garza Cuevas, C. F. (2016). Propuesta de Diseño de un Vaporizador para una Planta OTEC de 1 MWe. (Tesis)
- ❖ De la Lanza, G. E., (1991). Oceanografía de mares mexicanos. Compiladora. AGT Editor. México, D.F. 569 pp.
- ❖ Escarcega-Bata, A., Núñez Resendiz, M. L., Ruiz-de la Torre, M. C., Dreckmann, K. M., Zamudio-Resendiz, M. E., & Sentíes, A. (2023). Diversity of athecate dinoflagellates of the order Gymnodiniales (Dinophyceae), with emphasis on those that form harmful algal blooms on the Mexican Pacific coast. *Acta botánica mexicana*, (130).
- ❖ Espinosa, H. (2004). El Pacífico mexicano. *Ciencias*, (076).
- ❖ García, F. (2010). *Potencial de la energía térmica oceánica en México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- ❖ García-Huante, J. (2015). *Environmental Impact Assessment of Ocean Thermal Energy Conversion Plants*. Marine Environmental Research.
- ❖ García-Huante, A. (2015). Posibles efectos oceanográficos por la operación de una planta OTEC en puerto Ángel, Oaxaca, México. (Tesis de Maestría). Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México, México.



- ❖ García Huante, Alejandro & Rodríguez Cueto, Yandy & Garduño Ruiz, Erika & Contreras, Ricardo Efrain. (2020). General Criteria for Optimal Site Selection for the Installation of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) Plants in the Mexican Pacific. 10.5772/intechopen.90280.
- ❖ García-Huante, A., Y. Rodríguez-Cueto, R. Silva, E. Mendoza, and L. Vega, "Determination of the Potential Thermal Gradient for the Mexican Pacific Ocean," J. Mar. Sci. Eng., vol. 6, p. 20, Feb. 2018.
- ❖ Garduño-Ruiz, E. P.; Silva, R.; Rodríguez-Cueto, Y.; García-Huante, A.; Olmedo-González, J.; Martínez, M.L.; Wojtarowski, A.; Martell-Dubois, R.; Cerdeira-Estrada, S. (2021). Criteria for Optimal Site Selection for Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) Plants in Mexico. *Energies* 2021, 14, 2121. <https://doi.org/10.3390/en14082121>.
- ❖ Garduño-Ruiz, E. P. (2022) Valoración de la factibilidad de implementación de una Planta OTEC en México. (Tesis Doctorado). Posgrado en Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- ❖ Gautret, P., Martín, R., & Cormier, M. (2009). *Pilot-scale Ocean Thermal Energy Conversion Plants: Design and Operation*. Renewable Energy.
- ❖ Gil Alba, R. (2017). *Estudio sobre la implantación de la tecnología maremotérmica* (Bachelor's thesis).
- ❖ Heckel, G., et al. (2020). "Atlas of marine mammal distribution and abundance in Mexican waters." *Atlas of marine mammal distribution and abundance in Mexican waters*. <https://doi.org/10.26359/epomex.cemie022020> (2020).



- ❖ Inman, D. L., & Nordstrom, C. E. (1971). On the tectonic and morphologic classification of coasts. *The Journal of Geology*, 79(1), 1-21.
- ❖ Kim, H. J., & Kim, A. S. (2020). *Ocean thermal energy conversion (OTEC): Past, present, and progress*. IntechOpen.
- ❖ Kim, H. J., & Kim, J. K. (2020). *Recent Advances in Ocean Thermal Energy Conversion Technologies*. Journal of Marine Science and Engineering.
- ❖ Kobayashi, T., Saito, K., & Tanaka, K. (2001). *Development of Closed-cycle OTEC Plants*. Energy.
- ❖ Kobayashi, H., Jitsuhara, S., & Uehara, H. (2001). The present status and features of OTEC and recent aspects of thermal energy conversion technologies.
- ❖ Kobayashi, H. (2002). water" from the ocean with otec. In *Forum on Desalination using Renewable Energy*.
- ❖ Laboy, J. A. M. M. A., & Ruiz, O. E. (2010). Viabilidad de la conversión de energía océano termal (OTEC) para la producción de energía renovable y agua potable en países en desarrollo.
- ❖ Lara-Lara J.R., V. Arenas Fuentes, C. Bazán Guzmán, V. Díaz Castañeda, E. Escobar Briones, M. de la Cruz García Abad, G. Gaxiola Castro, G. Robles Jarero, R. Sosa Ávalos, L. A. Soto González, M. Tapia García y J. E. Valdez-Holguín. (2008). Los ecosistemas marinos. En: Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México.



- ❖ López, A., et al. (2018). Evaluación del potencial de OTEC en la costa del Pacífico mexicano. *Journal of Oceanic Studies*.
- ❖ López, F., Pérez, J., & Rodríguez, A. (1982). OTEC Feasibility Studies in Puerto Rico. *Journal of Energy Resources Technology*.
- ❖ López-Sandoval, D. C., Lara-Lara, J. R., Lavín, M. F., Álvarez-Borrego, S., & Gaxiola-Castro, G. (2009). Productividad primaria en el Pacífico oriental tropical adyacente a Cabo Corrientes, México. *Ciencias marinas*, 35(2), 169-182.
- ❖ Lütken, C.F. y T. Mortensen. (1899). Reports on an exploration off the west coasts of Mexico, Central and South America, and off the Galapagos Islands, in charge of Alexander Agassiz, by the U.S. Fish Commission Steamer "Albatross", during 1891, Lieut. Commander Z.L. Tanner, U.S.N., Commanding. XXV. The Ophiuridae. *Memoirs of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College* 23: 1-97
- ❖ Makai Ocean Engineering. (2015). *Makai Ocean Engineering OTEC Plant*.
- ❖ Martí, J. A., Ruiz, O. E., Laboy, M. A., & Plocek, T. J. (2010). Viabilidad de la implementación comercial de la energía océano termal (OTEC) en un mundo post-Fukushima.
- ❖ Masutani, S. M., & Takahashi, P. K. (2001). Ocean thermal energy conversion (OTEC). *Oceanography*, 22(609), 625.
- ❖ Matsui, Y., Tanaka, S., & Miyazawa, K. (1988). *Establishment of the OTEC Association in Japan*. *Journal of Renewable Energy*.



- ❖ Meave del Castillo, M. E., Zamudio-Resendiz, M. E., Castillo-Rivera, M. A., Gutiérrez-Mendieta, F., Varona-Cordero, F., & Hernández-Cárdenas, G. (2020). Co-occurrence of two toxic dinoflagellates in Acapulco Bay, Guerrero, Mexico: an opportunity to quantify their biology and ecology. *Acta botánica mexicana*, (127).
- ❖ Mendoza, J., *et al.* (2016). Desarrollo del prototipo OTECMX-1 en México. *Revista de Energías Renovables*.
- ❖ Mendoza, J. C., Pérez, M., & Gómez, H. (2016). Status and Prospects of OTEC Technology in Mexico. *Energy Reports*.
- ❖ Mori, H., Satou, K., & Ogawa, Y. (2004). Desalination by Ocean Thermal Energy Conversion in India. *Desalination*.
- ❖ Nihous, G., & Gauthier, M. (2012). Ocean thermal energy conversion: A historical perspective. *Marine Renewable Energy Handbook*.
- ❖ Parés Sierra, A., López, M. y Pavía, E.G., (1997). Oceanografía Física del Océano Pacífico Nororiental, en M.F, Lavin, editor, *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana, p. 1-24.
- ❖ Petterson, M. G., & Kim, H. J. (2020). Can Ocean Thermal energy conversion and seawater utilisation assist small island developing states? A Case study of Kiribati, Pacific Islands Region. In *Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)-Past, Present, and Progress*. IntechOpen.
- ❖ Plata, L. & Filonov, A. (2007). Marea interna en la parte noroeste de la Bahía de Banderas, México. *Ciencias Marinas*, 33(2), 197-215.



- ❖ Potter, T. D. (1979). Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC).
- ❖ Potter, G. (1979). The History and Development of Ocean Thermal Energy Conversion. Energy Policy.
- ❖ Ramírez, Raymundo y Cupul, Fabio Germán (1999). Contribución al conocimiento de la flora de la Bahía de Banderas, Nayarit-Jalisco, México. CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva, 6(2).
- ❖ Reeves, R. R., B. S. Stewart, P.J. Clapham y J.A. Powell. (2002). Guide to the marine mammals of the world. National Audubon Society. Alfred A. Knopf, Inc. New York, NY, USA. 527 pp.
- ❖ SENER, M. METALSENERGYMETA SENERSY ENERGYMETAISTENERGYMETALS.
- ❖ Smithsonian Tropical Research Institute, Introduction to Tropical Eastern Pacific, (2015). En Bergoening, Jean & Lizano, Omar & Badilla, Mauricio. (2020). El desastre nuclear de Fukushima, Japón y su rastro o alcance en el Pacífico de Costa Rica.
- ❖ Tovar-Hernández, María Ana et al. Biodiversidad de Polychaeta (Annelida) en México. *Rev. Mex. Biodiv.* [online]. (2014). vol.85, suppl. [citado 2022-05-17], pp. S190-S196.
- ❖ Vega, L. A. (2003). *OTEC technology readiness level*. Report prepared for the U.S. Department of Energy.



- ❖ Vega, L. A. (2012). Ocean thermal energy conversion. Encyclopedia of sustainability science and technology, 7296-7328.

- ❖ Wilkinson T., E. Wiken, J. Bezaury-Creel, T. Hourigan, T. Agardy, H. Herrmann, L. Janishevski, C. Madden, L. Morgan, M. Padilla. (2009). Marine Ecoregions of North America. Commission for Environmental Cooperation. Montreal, Canada. 200 pp.

- ❖ WoRMS, (2013). Pennatulacea. Accessed through: World Register of Marine Species at <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=1367>