

EVALUACIÓN RÁPIDA DE CAMBIO CLIMÁTICO EN YUCATÁN



Environmental
Defense
Fund

INFORME FINAL DEL PROYECTO TITULADO

EVALUACIÓN RÁPIDA DE CAMBIO CLIMÁTICO EN YUCATÁN

**Evaluación rápida para la vulnerabilidad de ecosistemas
y comunidades pesqueras ante el cambio climático en Yucatán**

RESPONSABLES TÉCNICOS:

M. en C. Paloma Gpe. Juárez Camargo
M. en C. Magda Estela Domínguez Machín
M. en C. José Luis Cruz Sanchez

Junio de 2024
Mérida, Yucatán, México



Índice

I. Introducción	6
II. Antecedentes	10
2.1 La acuicultura, un sistema en constante crecimiento	13
2.2 Cambio climático y acuicultura	14
III. Objetivos y aplicación práctica de resultados	16
3.1 Objetivo general	17
3.2 Objetivos particulares	17
IV. Materiales y métodos	18
4.1 Área de estudio	19
4.2 Especies de importancia comercial	20
4.3 Aspectos socioeconómicos	21
4.4 Metodología: Vulnerabilidad pesquera	22
4.4.1 Recopilación de datos	26
4.4.2 Entrevistas semi-estructuradas (Pescadores y pescadoras)	27
4.4.3 Estructura y análisis de la encuesta digital a informantes clave	28
4.5 Análisis estadístico	29
4.5.1 Análisis de la temperatura superficial del mar (TSM)	29
4.5.2 Índices de exposición ecológica, sensibilidad, capacidad de adaptación y potencial de recuperación	29
4.6 Metodología: Vulnerabilidad socioecológica de la acuicultura	30
V. Resultados	37
5.1 Aspectos generales	38
5.1.1 Aspectos pesqueros y sociales de las zonas oriente, centro y poniente	38
5.1.2 Especies de importancia comercial en las tres zonas	40
5.1.3 Tendencia de las capturas en las zonas de estudio: de pulpo y mero	42
5.2 Exposición ecológica	44
5.2.1 Cambios históricos en las condiciones oceanográficas	44
5.2.2 Relación entre los cambios de temperatura y las capturas	48
5.2.4 Cambios históricos en la productividad oceánica de la Península de Yucatán	49
5.2.5 Relación entre los cambios de clorofila y las capturas	49
5.2.6 Percepción del cambio climático y afectaciones del cambio de hábitats sobre la actividad pesquera a través del análisis multivariado basado en permutaciones (PERMANOVA)	50

5.3	Sensibilidad socioeconómica	51
5.3.1	Abundancia de las principales pesquerías de las costas de Yucatán	52
5.3.2	Dependencia económica: tipo de pescador	54
5.3.3	Dependencia económica: ingresos aproximados máximos y mínimos actuales	55
5.3.4	Precios históricos y actuales de las principales pesquerías de las costas de Yucatán	56
5.4	Aspectos socioeconómicos analizados mediante un análisis multivariado basado en permutaciones (PERMANOVA)	57
5.5	Capacidad adaptativa socioecológica	59
5.5.1	Capacidad de recuperación ecológica	59
5.5.2	Aspectos socioeconómicos analizados por medio de un análisis multivariado basado en permutaciones (PERMANOVA)	62
5.6	Vulnerabilidad socioecológica de la pesca ante el cambio climático	63
5.6.1	Interacciones clave: modelos mentales de la vulnerabilidad socioecológica de las comunidades pesqueras de Yucatán	64
5.7	Impactos antropogénicos y aspectos sociales en las zonas de estudio	67
5.7.1	Zona Poniente: Celestún y Sisal	67
5.7.2	Zona Centro: Chuburná, Telchac y Progreso	69
5.7.3	Zona Oriente: Dzilam de Bravo, Río Lagartos y San Felipe	72
5.8	Encuesta digital a informantes clave	75
5.8.1	Gestión de la pesca	75
5.9	Vulnerabilidad socioecológica de la acuicultura ante el cambio climático	82
VI.	Discusión	85
6.1	Vulnerabilidad socioecológica de las comunidades pesqueras	86
6.1.1	Sensibilidad socioeconómica	87
6.1.2	Dependencia económica de la pesca	87
6.1.3	Resiliencia	88
6.1.4	Exposición ecológica	89
6.1.5	Escenarios futuros del aumento de temperatura en la costa de Yucatán	90
6.1.6	Capacidad adaptativa	92
6.1.7	Informantes clave	93
6.1.8	Atlas de riesgo ante peligros naturales de Yucatán	94
6.2	Vulnerabilidad socioecológica de la acuicultura al cambio climático	95
6.2.1	Antecedentes de la acuicultura en Yucatán	96
6.2.2	Especies cultivadas en el estado Yucatán	97
6.2.3	Unidades de producción acuícola en las zonas de estudio	100
6.2.4	Factores sociales y recursos humanos que impactan en el desarrollo de la acuicultura ...	101

VII. Línea base de estrategias de adaptación	102
7.1 Estrategias de adaptación para la pesca	103
1. Diversificación económica y financiera	103
2. Gestión sostenible de los recursos pesqueros	103
3. Conservación de ecosistemas	104
4. Innovación y tecnología	104
5. Infraestructura resiliente	104
6. Participación comunitaria y gobernanza	105
7. Seguridad Alimentaria y Sustentabilidad	105
8. Colaboración y Redes	106
7.2 Estrategias de adaptación para la acuicultura	107
VIII. Conclusiones	110
IX. Referencias	112
X. Anexos	113
10.1 Valores categóricos en los elementos de sensibilidad y capacidad adaptativa	117
XI. Índice de tablas	129
XII. Índice de figuras	132

INTRODUCCIÓN



El cambio climático representa una de las mayores amenazas para la biodiversidad debido a sus impactos que influyen en la distribución de las especies, el tamaño de la población y la funcionalidad de los ecosistemas (Pandit *et al.*, 2017). Se estima que los diversos elementos del cambio climático impactarán en todos los niveles de la diversidad biológica, desde el nivel de los organismos individuales hasta el de los biomas (Bellard *et al.*, 2012). A nivel de ecosistemas, los arrecifes de coral, los bosques de algas y manglares, así como las marismas son algunos de los sistemas marinos y costeros más susceptibles al cambio climático (Trégarot *et al.*, 2024).

La biodiversidad marina desempeña un papel fundamental en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas oceánicos, los cuales ofrecen servicios ecosistémicos vitales para los seres humanos, incluidos los productos del mar, y apoyo a los medios de vida locales (Lotze, H. 2021). Por lo tanto, el cambio climático constituye una seria amenaza para la pesca y la acuicultura a escala global (Barange, 2018), principalmente para las comunidades costeras que dependen de las especies acuáticas para su seguridad alimentaria y la generación de sus ingresos (Muhala *et al.*, 2021). Se calcula que aproximadamente 58.5 millones de personas están empleadas a nivel mundial en la producción primaria de pescados y mariscos. Si consideremos a los trabajadores que dependen de la pesca de subsistencia y del sector secundario, así como a sus familias, se estima que alrededor de 600 millones de medios de vida dependen de la pesca y la acuicultura (FAO, 2022). Se estima que 2.1 millones de mujeres participan en la pesca de pequeña escala, representando aproximadamente el 11% de los pescadores a nivel mundial en este sector (Harper *et al.*, 2020).

La intensificación de eventos climáticos extremos, el aumento del nivel del mar,



el incremento de la temperatura y la acidificación los océanos, afecta la dinámica de la biodiversidad marina en múltiples escalas temporales y espaciales (Gissi *et al.*, 2020; Kang *et al.*, 2021). De tal forma que, la vulnerabilidad de la pesca y la acuicultura, sectores importantes para la seguridad alimentaria, se hace cada vez más evidente (Ahmed *et al.*, 2018; Gissi *et al.*, 2020). Además, se reconoce que los factores locales de origen antropogénico como la contaminación, el enriquecimiento de nutrientes, las perturbaciones hidrológicas y la sedimentación, afectan gravemente los rangos de tolerancia y la capacidad de resiliencia de las especies de los ecosistemas marinos para enfrentar los efectos del cambio climático (Trégarot *et al.*, 2024).

El concepto de *resiliencia* se refiere al estado de equilibrio de un sistema frente a una situación disruptiva, siendo la resiliencia una función tanto de la vulnerabilidad del sistema como de su capacidad adaptativa (Holling, 1973). La resiliencia de los medios

de vida en las comunidades pesqueras ha mejorado gracias a la pesca y la acuicultura, actividades importantes en estas regiones donde desempeñan un papel importante en la seguridad alimentaria y en la generación de empleos (Natale et al., 2013; Muhala et al., 2021). En 2020, la producción global de pesca de captura alcanzó las 90.3 millones de toneladas, con un valor estimado de 141,000 millones de dólares, mientras que la producción total de acuicultura registró un total de 88 millones de toneladas de animales acuáticos (FAO, 2022). Complementariamente, se produjeron 35.1 millones de toneladas de algas, procedentes principalmente (97 %) de la acuicultura marina, y 700 toneladas de conchas y perlas para uso ornamental, alcanzando un total de 122.6 millones de toneladas en peso vivo (FAO, 2022).

En algunas comunidades, la pesca es la única actividad que genera ingresos, especialmente cuando se trata de comunidades dependientes de la pesca artesanal, en las que los pescadores faenan desde pequeñas embarcaciones en aguas interiores o costeras (Pinto et al., 2023). Los cambios de la temperatura global modifican la abundancia, distribución y productividad de los stocks pesqueros de las especies marinas, ejerciendo una presión adicional sobre los sistemas pesqueros, los cuales ya experimentan la sobrepesca de los recursos, pérdida de hábitat, contaminación y otras tensiones como la degradación del hábitat (Brander, 2010; Mendenhall et al., 2020). Por tal situación, se prevé que muchos pescadores se verán en situaciones precarias, ya que la pesca mundial se encuentra en declive económico (Pinto et al., 2023).

La pesca y la acuicultura enfrentan diferentes niveles de vulnerabilidad al cambio climático a nivel mundial. La vulnerabilidad se refiere

a la susceptibilidad de las especies marinas, las comunidades pesqueras y las economías a los impactos al cambio climático (Li et al., 2023). Por lo que, las evaluaciones de vulnerabilidad ayudan a identificar las regiones, especies y grupos de interés en riesgo, lo que ayuda a desarrollar estrategias de adaptación (Pinto et al., 2023). La vulnerabilidad se calcula generalmente en función de tres componentes: «exposición» a las amenazas climáticas y «sensibilidad» al cambio climático, que se suman, y la «capacidad de adaptación», que considera la habilidad que tiene una comunidad para ajustarse o aprovechar los efectos potenciales relacionados con el cambio climático, que se resta (Cinner et al., 2018)

En términos generales, la *exposición* se refiere al grado en que un sistema se encuentra expuesto a variaciones y cambios climáticos significativos. La *sensibilidad* representa el nivel en el que un sistema es afectado, ya sea directa o indirectamente, de manera adversa o beneficiosa. Mientras que, la *capacidad adaptativa* se define como la habilidad del sistema para ajustarse a posibles daños, aprovechar oportunidades o responder a las consecuencias. En un análisis de vulnerabilidad, la resiliencia y la capacidad adaptativa son conceptos clave, pero presentan diferencias importantes. La resiliencia se refiere a la habilidad de un sistema (en este caso, la pesca y la acuicultura) para absorber perturbaciones, reorganizarse y mantener su función esencial frente a los impactos del cambio climático. Por lo que, se centra en la capacidad de recuperación y resistencia ante eventos climáticos extremos (como tormentas, sequías, cambios de temperatura) y presiones a largo plazo (como la acidificación de los océanos). Mientras que la capacidad adaptativa, es la habilidad de un sistema para ajustarse a los cambios climáticos, moderar los daños potenciales,

aprovechar las oportunidades y hacer frente a las consecuencias. Por lo que, se enfoca en las acciones proactivas que se pueden tomar para reducir la vulnerabilidad y aumentar la capacidad de respuesta ante los cambios climáticos.

La evaluación de la vulnerabilidad de la pesca y la acuicultura ante el cambio climático debe considerar la opinión de los pobladores sobre los impactos antropogénicos en las comunidades pesqueras que pudieran acelerar el cambio climático, ya que son elementos necesarios para el diseño e implementación de

estrategias de adaptación al cambio climático. Las estrategias de adaptación ante el cambio climático deben considerarse como líneas de acciones que las comunidades pesqueras, los gobiernos y las organizaciones involucradas implementan para minimizar los efectos adversos del cambio climático y asegurar la sostenibilidad de los recursos pesqueros. Algunos de estas estrategias de adaptación van encaminadas a la diversificación de los medios de subsistencia de los pescadores y acuicultores, incorporación de tecnología (Galappaththi *et al.*, 2022).



ANTECEDENTES





Los administradores y tomadores de decisiones en el ámbito de la pesca y la acuicultura se enfrentan a una escasez de datos y herramientas para evaluar temas socioeconómicos en el manejo de las pesquerías. Algunos estudios evalúan cómo las regulaciones pesqueras afectan la salud y la seguridad en el mar (Georgianna y Shrader, 2008), el bienestar económico de las comunidades que dependen de los recursos pesqueros (Hall-Arber et al., 2001), y la infraestructura y usos de la tierra frente al mar (Portman et al., 2009). Sin embargo, los estudios han sido limitados a nivel mundial y hay una notable falta de datos sobre otros componentes sociales, culturales, económicos e institucionales del sistema humano en la pesca y la acuicultura.

En años recientes, ha despertado interés sobre la vulnerabilidad de la pesca y la acuicultura en las comunidades pesqueras frente a cambios oceanográficos, ambientales, biológicos y climáticos, lo que ha propiciado el desarrollo de varios enfoques de evaluación (Ojeda-Ruiz et al., 2022). Han surgido diversas herramientas para analizar la vulnerabilidad de la pesca y la acuicultura ante las amenazas del cambio climático. Una de las primeras investigaciones sobre este tema fue realizada por Hinkel (2011), quien desarrolló un marco conceptual riguroso para construir indicadores de vulnerabilidad ante el cambio climático. Posteriormente, Hinkel y Klein (2007), integraron herramientas con elementos biofísicos y aspectos sociales que se asocian a la capacidad de una población para responder, adaptarse y recuperarse después de una afectación natural. Sin embargo, Nguyen et al. (2016), argumentaron que varias herramientas para la evaluación de la vulnerabilidad carecían de coherencia y eran demasiado amplias.

Como se ha mencionado, la pesca y la acuicultura proporcionan importantes beneficios socioeconómicos a muchas comunidades costeras. Por lo que, la alerta oportuna de posibles cambios en las poblaciones de las especies de interés comercial permitirá enfocar esfuerzos o elaborar propuestas para adaptarse a estos impactos (Greta et al., 2014). Greta et al., (2014) propusieron un marco de evaluación de riesgos ecológicos para evaluar la sensibilidad relativa de las especies comerciales a los factores del cambio climático, concretamente en relación con su distribución, abundancia y fenología. Sowman y Raemaekers (2018) diseñaron una evaluación rápida de la vulnerabilidad, la cual se basó en el pensamiento sistémico socioecológico y en el reconocimiento del conocimiento local, a través de consultas a las comunidades de pescadores y otros actores de la gobernanza.

En respuesta al cambio climático, las comunidades pesqueras en el estado de Yucatán han experimentado transformaciones en su organización, optando por la diversificación pesquera como estrategia para mitigar riesgos ante la desigualdad social y la sobreexplotación (Soares et al., 2014). Aunque algunas localidades han reducido su vulnerabilidad frente a desastres naturales y problemas de comercialización, la falta de una gestión y organización efectiva persiste en todo el estado (Soares et al., 2014). En contraste, la acuicultura emerge como uno de los sistemas alimentarios de mayor crecimiento y se considera una actividad alternativa clave a la pesca (Sumaila et al., 2022). Sin embargo, el estado de Yucatán no cuenta con maricultura o cultivos acuícolas en zonas estuarinas comerciales.

En las comunidades costeras de Yucatán sus principales capturas se basan en especies tales como el pulpo (*Octopus maya*), el mero (*Epinephelus morio* y *Mycteroperca bonaci*), langosta (*Panulirus argus*) y pargos (*Lutjanus* spp.), especies de medio-alto y alto valor económico, siendo las dos primeras especies las que mayor aportan producción en el estado (FAO, 2016). A escala nacional, Yucatán se posiciona en el noveno lugar en producción pesquera y el quinto en valor económico (CONAPESCA, 2019). En localidades de Celestún como en Sisal, la especie más capturada es el pulpo maya (*O. maya*), seguido del canané (*Ocyurus chrysurus*) y el mero (*E. morio* y *M. bonaci*), que son especies de escama importantes por su valor económico. El huachinango (*Lutjanus campechanus*) y la langosta (*P. argus*) presentan una baja producción, pero con medio-alto y alto valor económico respectivamente (Crespo y Fuentes, 2023).



La acuicultura, un sistema en constante crecimiento

En las últimas dos décadas, la producción acuícola a nivel global ha prosperado y continúa expandiéndose (Boyd *et al.*, 2020). Este sector muestra un incremento anual de alrededor del 8%, consolidándose como el principal abastecedor de pescados y mariscos para el consumo humano (Gephart *et al.*, 2021; MacKintosh *et al.*, 2023). En la actualidad, la acuicultura proporciona la mitad de todo el pescado para consumo humano (Reid *et al.*, 2019). Adicionalmente, se estima que la acuicultura da empleo a más de 20 millones de personas en diversos ámbitos laborales, lo que la convierte en un importante motor económico a nivel global (Gonzalez-Parrao *et al.*, 2021).

En México, al igual que en otras partes del mundo, la acuicultura ha surgido como una industria alimentaria y generadora de empleo. En el 2020, se registró una producción acuícola nacional de 249,614 toneladas (CONAPESCA, 2021). Las principales especies cultivadas son el camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*), la tilapia (*Oreochromis spp.*) y el ostión (*Crassostrea spp.*), que en conjunto representan el 95% de la producción total acuícola (Figura 1). Dentro de las especies de ostión cultivadas destaca el ostión japonés (*Crassostrea gigas*) en el Pacífico y el ostión americano (*C. virginica*) en el Golfo de México. Otras especies de importancia acuícola con menores volúmenes de producción son: el bagre, la lobina, la trucha y el atún (CONAPESCA, 2021). Este último, *Thunnus orientalis*, se caracteriza por la captura de juveniles en el medio natural y su engorda mediante el uso de jaulas flotantes o corrales en Baja California (DOF, 2022).

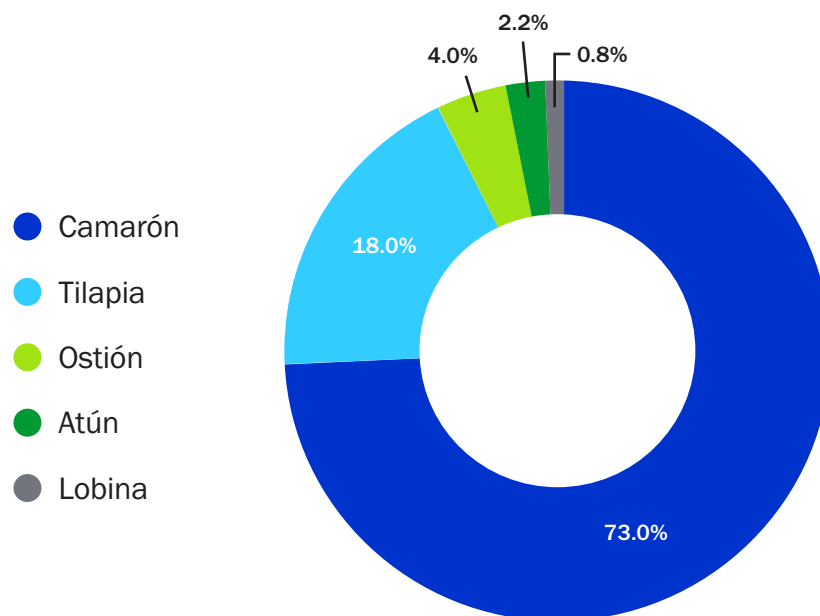


Figura 1. Porcentaje de producción de las principales especies acuícolas en México.

Sin embargo, el crecimiento y desarrollo de esta actividad ha sido discontinuo en el país, lo cual se refleja en los volúmenes de producción. La región del Pacífico norte sobresale por su liderazgo en el avance y consolidación de empresas acuícolas, así como diversidad de especies cultivadas (Sosa-Villalobos et al., 2016). El camarón blanco es la especie predominante en la acuicultura del noroeste de México, destacando Sonora y Sinaloa como los principales productores (CONAPESCA, 2021). Adicionalmente, esta región es conocida por sus moluscos bivalvos de alto valor comercial, como el ostión japonés, el ostión Kumamoto, las ostras perleras (*Pinctada mazatlanica* y *Pteria sterna*), entre otras especies que se cultivan en pequeña escala (Chávez-Villalba, 2014; Bervera-León et al., 2022; DOF, 2022).

Hoy en día, el cultivo de tilapia se ha expandido por todo el país con excepción de Baja California Sur y Quintana Roo. En el Golfo de México, el cultivo de tilapia es predominante, llevándose a cabo tanto en tierra con diversos tipos de estanquería, así como en zonas costeras (estuarios y lagunas costeras) mediante el uso de jaulas flotantes (DOF, 2022). Tabasco se destaca como el principal estado productor de esta especie dulceacuícola en la región. En la zona Pacífico sur, los estados de Jalisco, Michoacán y Guerrero sobresalen en esta actividad. No obstante, Chiapas se destaca por aportar alrededor del 50% de la producción acuícola nacional de tilapia (CONAPESCA, 2021). Aunque en menor escala, algunos estados sin litoral, como Hidalgo, Morelos y Puebla, también participan en el cultivo de tilapia.

El estado de Yucatán no es la excepción, los primeros intentos de cultivo de tilapia iniciaron en la década de 1970. Sin embargo, la producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) se encuentra aún en fase de desarrollo con una producción de 354 toneladas en 2020 (CONAPESCA, 2021). Existen otras especies que son cultivadas comercialmente en unidades de producción acuícola ubicadas en tierra. Entre estas especies se incluyen el camarón blanco del Pacífico, la langosta australiana (*Cherax quadricarinatus*), diversas especies de ornato y la jaiba suave (*Callinectes sapidus*). Esta última se captura del medio natural y se traslada a la unidad de producción o acuícola para esperar el momento de la muda para obtener la jaiba suave.

Cambio climático y acuicultura

El desarrollo de la acuicultura juega un papel crucial en la provisión de pescados y mariscos para el consumo humano, así como en la generación de empleos (Islam et al., 2019). No obstante, el cambio climático está ocasionando alteraciones en los ecosistemas marinos y acuáticos, lo que repercute en la pesca, la acuicultura y en las comunidades que dependen de estos recursos para subsistir (Reid et al., 2019). La influencia del cambio climático en los ecosistemas acuáticos se manifiesta en la degradación de la calidad del agua debido al aumento de las temperaturas del agua, una mayor intensidad de las precipitaciones y períodos prolongados de flujos bajos (Yadav et al., 2024).

Por lo que, la acuicultura, como un sistema socioecológico sensible al clima, se ve impactada por las variaciones y los eventos climáticos extremos (Kais y Islam, 2017). Estos cambios pueden manifestarse en la temperatura media o en la distribución de los eventos climáticos alrededor de un valor medio, además pueden ser específicos de una región determinada o afectar globalmente (Khoshnevis y Shakouri, 2010). El calentamiento global provoca que ciertas especies marinas se desplazan hacia latitudes más altas, mientras que otras, como las que habitan en ambientes de agua dulce, carecen de opciones y enfrentan el riesgo de extinguirse (Yadav et al., 2024). De tal forma, que la producción y la sostenibilidad de la acuicultura enfrenta desafíos ante el cambio climático (Figura 2).

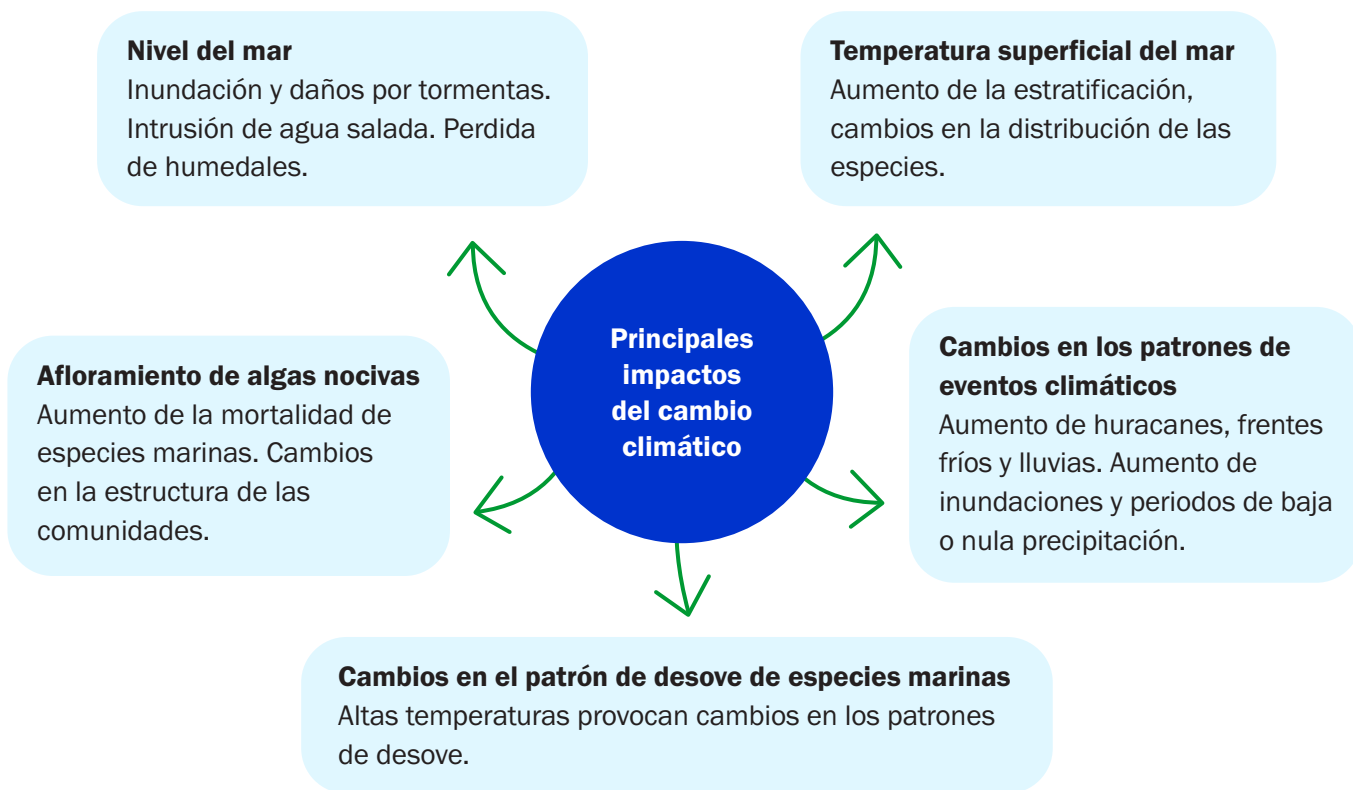
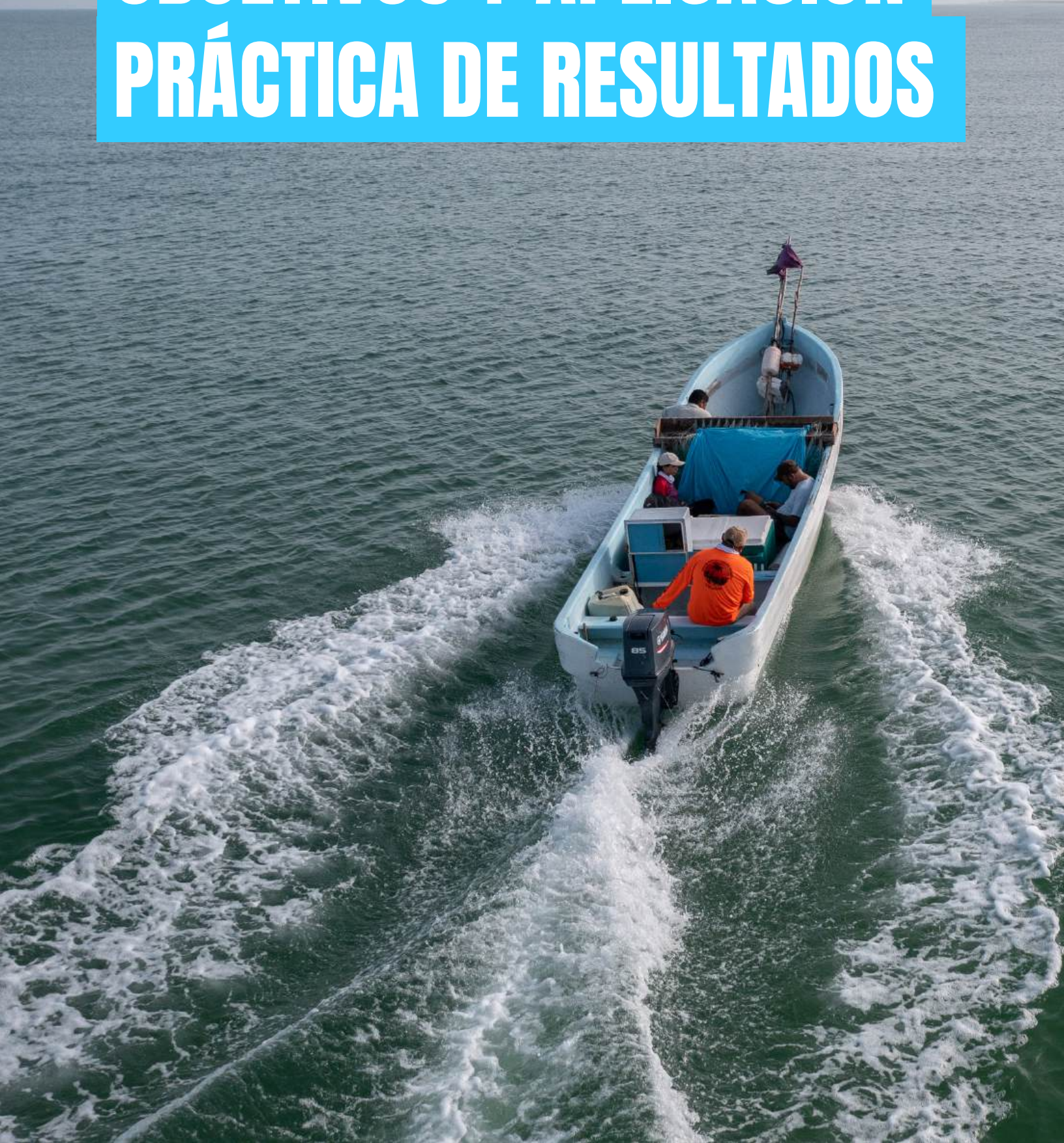


Figura 2. Principales impactos del cambio climático en la acuicultura y en los ecosistemas costeros. Fuente: Yadav et al., 2024, modificado.

Diversas investigaciones indican que el cambio climático está causando alteraciones significativas en los océanos que afectan a la acuicultura, debido al aumento de la temperatura, la acidificación de los océanos, la proliferación de algas nocivas, la presencia de tormentas extremas, mayor hipoxia y el aumento del nivel del mar (Ding et al., 2017; Kim et al., 2019; Froehlich et al., 2022). Islam et al. (2014) señalan que las variaciones tanto la temperatura como las precipitaciones podrían tener efectos considerablemente negativos en la producción y la infraestructura de la acuicultura. Kim et al. (2019) indican que el incremento de la temperatura del agua puede afectar las tasas de crecimiento de las especies cultivadas, hacerlas más susceptibles a enfermedades e incrementar la mortalidad.

OBJETIVOS Y APLICACIÓN PRÁCTICA DE RESULTADOS





Objetivo general

Realizar una evaluación rápida de los ecosistemas y comunidades costeras del estado de Yucatán, con enfoque en las actividades de pesca y acuicultura.

Objetivos particulares

La evaluación rápida debe considerar los siguientes objetivos específicos:

- La **vulnerabilidad de las comunidades pesqueras y acuícolas** que se encuentren en la zona costera e interior, así como de aquellas en donde se realicen actividades de maricultura en el estado de Yucatán.
- La **vulnerabilidad del hábitat marino y costero** del estado de Yucatán.
- La **vulnerabilidad de las principales especies pesqueras** del estado de Yucatán (al menos meros, pargos, langosta, jaiba, pulpo, sardina y cangrejos).
- La evaluación rápida deberá contener una línea base de la **evaluación de vulnerabilidad** y una planeación sobre las opciones de adaptación consideradas a través de un análisis básico de costo beneficio.

En esta evaluación rápida de la vulnerabilidad se busca identificar los principales riesgos y amenazas que el cambio climático puede imponer sobre la pesca y la acuicultura. Asimismo, se pretende conocer las especies con potencial acuícola en cada una de las zonas de estudio, en función de la opinión de los pescadores locales. De tal forma, que se puedan desarrollar estrategias de adaptación y mitigación frente a los efectos del cambio climático en las comunidades pesqueras y acuícolas para un bien común, aportando de esta manera una mejor calidad de vida y fortaleciendo de esta manera la seguridad alimentaria de la población.

MATERIALES Y MÉTODOS



Área de estudio

Yucatán, situado en el sureste de México, ocupa la zona norte de la península del mismo nombre. Sus fronteras están delimitadas por el golfo de México al norte y oeste, Quintana Roo al sureste y Campeche al suroeste. La mayor parte de su terreno es una planicie de roca caliza, llamada plataforma yucateca. En este estudio, se aplicó el marco de vulnerabilidad socioecológica (VSE) al sistema costero de Yucatán, que abarca alrededor de 380 km (Franklin et al., 2021) de longitud distribuidos a lo largo de tres regiones (Monroy-García et al., 2019): 1) Poniente, 2) Centro y 3) Oriente, constituido por ocho comunidades en función de su ubicación geográfica que cubre toda la costa: Celestún, Sisal, Chuburná, Progreso, Telchac, Dzilam de Bravo, San Felipe y Río Lagartos (Figura 3; Tabla 1).

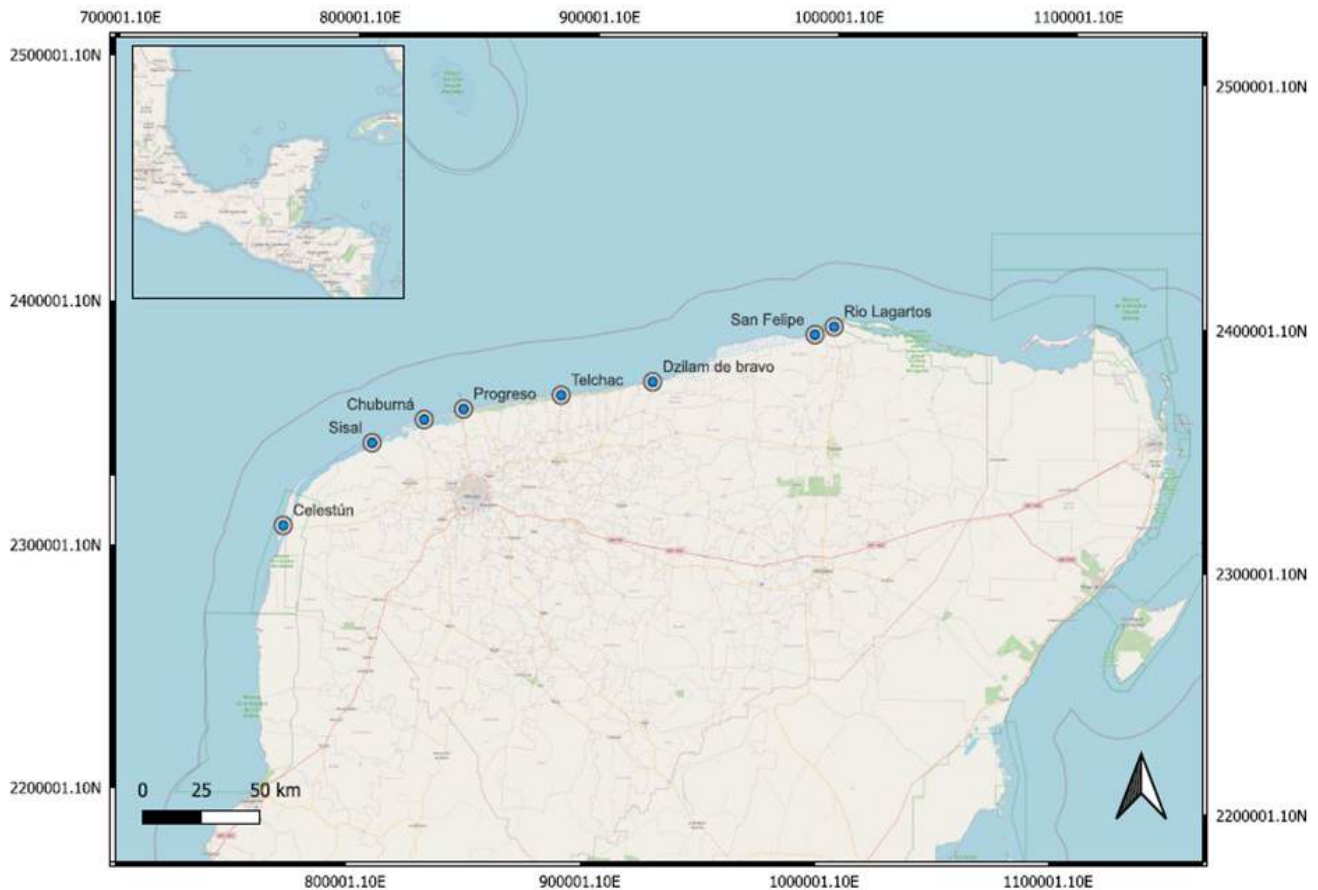


Figura 3. Ubicación geográfica de las zonas de estudio, que están integradas por las localidades de Río Lagartos, San Felipe, Dzilam de Bravo (Oriente), Telchac Chuburná, Progreso (Centro); Sisal y Celestún (Poniente).

El litoral de Yucatán presenta una amplia variedad de características biofísicas. A lo largo de la costa, se encuentran distintos ecosistemas que se distribuyen en franjas paralelas a la línea de costa. La zona costera yucateca comienza con una plataforma submarina poco profunda, seguida de un sistema de islas barrera, que cuentan con playas y dunas arenosas. Atrás de estas islas, se encuentra una zona de lagunas rodeadas por manglares y petenes enriquecidos con una amplia gama de productos naturales que propician hábitats marinos con alta diversidad biológica (Navarrete-Euan *et al.*, 2021; Pech-Puch *et al.*, 2020). La mayor parte del territorio costero de Yucatán (más del 60%) está protegido bajo dos Reservas de la Biosfera (Celestún y Ría Lagartos) y dos Áreas Naturales Protegidas (ANP) de jurisdicción estatal: El Palmar y Bocas de Dzilam. Estas cuatro áreas han sido reconocidas por la Convención Ramsar sobre Humedales de Importancia Internacional (García de Fuentes *et al.*, 2011).

Tabla 1. Clasificación de las zonas de estudio y las comunidades pesqueras que las integran.

Zona	Comunidad	Coordenadas
Poniente	Celestún	20.8593 - 90.3972
	Sisal	21.16675 - 90.02448
Centro	Chuburná	21.25571 - 89.80406
	Progreso	21.28119 - 89.66516
	Telchac	21.34957 - 89.2636
Oriente	Dzilam de Bravo	21.39367 - 88.89163
	San Felipe	21.56647 - 88.23327
	Río Lagartos	21.59648 - 88.15789

Especies de importancia comercial

Yucatán alberga una rica diversidad de especies marinas de gran importancia económica para los mercados nacionales e internacionales. Entre ellas destacan el pulpo maya (*Octopus maya*), el mero (*Epinephelus morio*) y la langosta (*Panulirus argus*), según datos de CONAPESCA (2021). El pulpo, con un volumen de captura de 29,605 toneladas en 2021, lidera la producción pesquera del estado, seguido del mero con 4,489 toneladas (CONAPESCA, 2021).

Respecto a la acuicultura, las especies cultivadas comercialmente son: la tilapia (*Oreochromis niloticus*), el camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) y la langosta australiana (*Cherax quadricarinatus*). Asimismo, se han dedicado esfuerzos al desarrollo de tecnologías de cultivo para especies con potencial económico, tales como el pepino de mar (*Isostichopus badionotus* y *Holothuria floridana*), ostión americano (*Crassostrea virginica*) y el caracol rosado (*Strombus gigas*), aunque sus paquetes tecnológicos aún se encuentran en proceso de desarrollo (Cabrera- Rodríguez *et al.*, 1997; Rodríguez-Serna *et al.*, 2016; Olvera-Novoa *et al.*, 2024). De acuerdo con los permisos de acuicultura de fomento, otorgados en el estado de Yucatán, se han realizado maricultura de especies como la cobia (*Rachycentron canadum*) y el pargo canané (*Ocyurus chrysurus*).



Aspectos socioeconómicos

Las características socioeconómicas de las costas yucatecas representan el 2% de la superficie total de México y alberga al 1.8 % de la población total en todo el territorio de México (INEGI, 2023). El sistema costero resguarda una gran variedad de actividades como la pesca y el turismo. En el litoral Poniente de Yucatán (Celestún-Sisal), se realizan actividades como la pesca, la extracción de sal de manera artesanal y el turismo veraniego. En el litoral Norte (o zona centro), incluye las localidades de Chuburná - Progreso- Telchac, predomina la pesca de tipo industrial con Progreso como eje rector de esta subregión. En el litoral Oriente (Dzilam de Bravo-San Felipe-El Cuyo), predomina la pesca artesanal y es el único punto del estado (Coloradas) donde se extrae la sal de forma industrial (Fraga, 2004).

El turismo en la costa yucateca se basa principalmente en visitantes locales, sobre todo de Mérida y, en tiempos recientes, de otras ciudades del estado. Este mercado ha evolucionado y ahora presenta distintas modalidades, siendo la más popular el turismo local de sol y playa, concentrado en Semana Santa y los meses de verano (julio y agosto). Esta modalidad turística se subdivide en tres categorías: visitas de un día, estancias cortas en hoteles y segundas residencias. Además, existe el turismo nacional e internacional atraído por los sitios culturales del estado y, más recientemente, por los atractivos naturales costeros (García de Fuentes *et al.*, 2011).

Metodología: Vulnerabilidad pesquera

En el caso de la evaluación de la vulnerabilidad pesquera, en este estudio se adaptó el marco de evaluación descrito por Marshall (2009) para determinar la vulnerabilidad socioecológica (VSE) de ocho comunidades costeras del estado de Yucatán. Este marco, que integra componentes tanto sociales como ecológicos, define la Vulnerabilidad Socioecológica (VSE) como la capacidad de una comunidad para responder y adaptarse a las presiones derivadas del cambio climático. *La exposición, la sensibilidad y la capacidad adaptativa* son componentes fundamentales de la vulnerabilidad (Figura 4), donde *la exposición y la sensibilidad* a las presiones externas conllevan a consecuencias tanto sociales como ecológicas. Sin embargo, *la capacidad adaptativa* de los sistemas demuestra la habilidad para resolver dichas consecuencias (Adger, 2006; Marshall et al., 2009). Para esto, primero se determinó la exposición ecológica de las especies objetivo a las condiciones climáticas cambiantes. Esto permite determinar el grado de estrés que experimenta una región (Cinner et al., 2013).

En este sentido, la **exposición ecológica** se consideró como las condiciones del cambio climático que ocasionan modificaciones en los sistemas socio-ecológicos pesqueros (Tabla 2). Este concepto abarca la influencia directa e indirecta que el cambio climático ejerce sobre la salud y productividad de los ecosistemas marinos, así como sobre las actividades humanas asociadas, como la pesca y la gestión de recursos naturales. Las alteraciones en las temperaturas oceánicas, los patrones de corrientes marinas y la disponibilidad de hábitats acuáticos son ejemplos de factores que contribuyen a esta exposición ecológica.



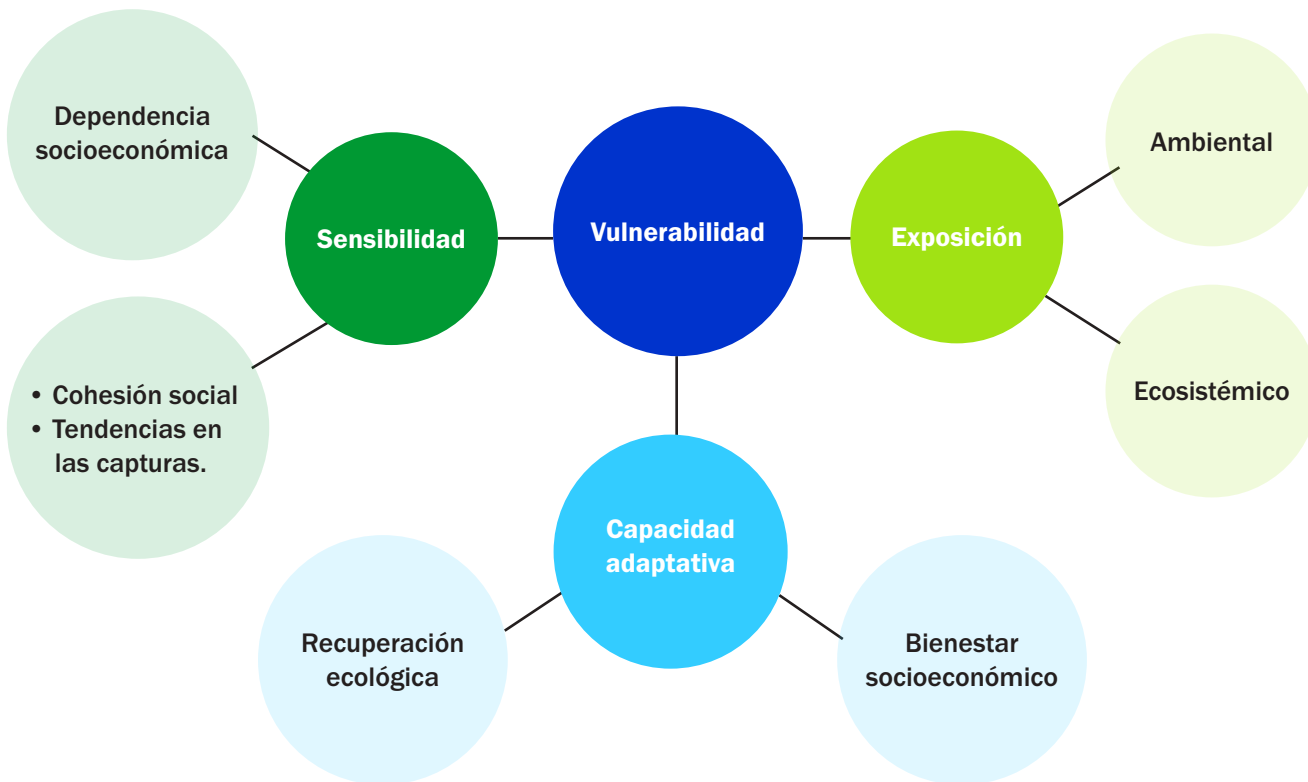


Figura 4. Elementos de vulnerabilidad socioecológica de comunidades pesqueras ante efectos del cambio climático.

Tabla 2. Indicadores y variables socioecológicas del componente de exposición de la vulnerabilidad de la pesca ante el cambio climático.

Factor	Descripción del factor	Indicador	Elementos del indicador	Fuentes de información
Ambiental	Factores ambientales que afectan la población de las especies	Temperatura superficial del mar (TSM)	Temperatura superficial del mar (C)	Imágenes satelitales obtenidas de la Plataforma Giovanni (Nasa)
		Productividad primaria	Incremento de la temperatura	Diferencia con la TSM promedio del periodo
		Eventos climatológicos	Concentración de clorofila	Plataforma Giovanni (Nasa)
			Efecto de los fenómenos naturales (Huracanes, mareas rojas, frentes fríos y tormentas) sobre la pesca	Encuestas (conocimiento de los pescadores)

Posteriormente, se determinó la **sensibilidad socioeconómica** de las comunidades a través de la dependencia económica a la actividad pesquera (Tabla 3). Marshall et al., (2013) definieron a la *sensibilidad* como la serie de condiciones y características que median la propensión de una región particular al verse afectada por el cambio climático. Por lo que, en este estudio la *sensibilidad social* se refiere al grado de dependencia de la pesca y acuicultura que tiene cada zona de estudio.

Por último, se consideró como la **capacidad adaptativa** de los pescadores, la cual está determinada como la facultad de responder y adaptarse ante los cambios sociales y

ecológicos minimizando, enfrentando y recuperándose del efecto ocasionado por alguna alteración ambiental (Thiault et al., 2019). Para este estudio, se definió la *capacidad de adaptación social* como el conjunto de características demográficas, económicas y de movilidad que mejoran las destrezas de las personas para mitigar, afrontar y recuperarse de los efectos ocasionados por el cambio climático (Tabla 4). En caso de contar con una *alta capacidad de adaptación social* se promueve el potencial de las personas para adaptarse a los cambios ocasionados en la pesca por el cambio climático aprovechando las oportunidades creadas por estas situaciones (Mayorga, 2022).

Tabla 3. Indicadores y variables socioecológicas del componente de sensibilidad de la vulnerabilidad de la pesca ante el cambio climático.

Factor	Descripción del factor	Indicador	Elementos del indicador	Fuentes de información
Social	Factores socioeconómicos influyen en realizar actividades pesqueras en la comunidad	Abundancia pesquera	Capturas históricas de las especies comercialmente importantes (Escama, pulpo y langosta y otros)	CONAPESCA, 2023; encuestas
			Número de personas dependientes de la actividad pesquera por pescador	Encuestas a pescadores
		Personas dependientes	La edad indica que a mayor edad implica menores oportunidades de acceder a empleos	
			Grado de alfabetización interpretado como nivel máximo de estudio.	
		Características intrínsecas del pescador y comunidad	El consumo de productos pesqueros marca una sensibilidad. Migración, violencia, robo, desempleo, disponibilidad de servicios básicos.	
		Servicios básicos	Costo de servicios básicos	

Tabla 4. Indicadores y variables socioecológicas del componente de capacidad adaptativa de la vulnerabilidad de la pesca ante el cambio climático.

Factor	Descripción del factor	Indicador	Elementos del indicador	Fuentes de información
Socioecológicas	Factores ambientales que afectan la población de las especies	Bienestar socioeconómico	Acceso a seguridad social	Encuestas
			Capacidad de ahorro	
			Acceso a programas acuícolas	
			Acceso a apoyos gubernamentales	
			Disponibilidad de empleos en la comunidad alternativos	
Ecológicas	Factores socioeconómicos influyen en realizar actividades pesqueras en la comunidad	Estatus de recuperación ecológica.	Rango térmico	Fishbase y SeaLifeBase

En este sentido, el VSE implementado establece una estrecha relación entre los sistemas sociales y ecológicos, lo que produce una interdependencia mutua entre estos sistemas. En la interpretación del VSE, el sistema social está relacionado con el sistema ecológico a través de la vulnerabilidad ecológica, la cual es determinada por la exposición social. De la misma manera, el sistema ecológico está correlacionado con el sistema social mediante la sensibilidad social, la cual influye en la exposición del sistema ecológico (Marshall *et al.*, 2013; Thiault *et al.*, 2017). Para cada uno de los componentes de la vulnerabilidad se incorporaron indicadores. Estos indicadores se identificaron, seleccionaron y categorizaron de acuerdo con Gómez-Murciano *et al.*, (2021) y Bennet *et al.*, (2016). considerando su efecto en la vulnerabilidad de la pesca al cambio climático.

El análisis rápido de la vulnerabilidad socioecológica de las principales pesquerías de pequeña escala, en las comunidades pesqueras de Yucatán, se basó en la información disponible, que incluye el conocimiento ecológico local de los actores (encuestas a pescadores), informes técnicos y publicaciones científicas. La evaluación rápida se enfocó en las pesquerías de pequeña escala

de las zonas centro, oriente y poniente del Estado de Yucatán, donde operan las pesquerías principalmente de langosta, mero, pulpo y otras especies de escama (canané, pargos y otros). Las primeras tres tienen el mayor valor comercial y por ende su susceptibilidad al cambio climático más la sobreexplotación incrementa la vulnerabilidad. Para este estudio se determinó un horizonte a corto plazo, de 10 a 20 años, debido a la incertidumbre de los elementos ambientales y sociales lo que podría significar una menor precisión.

Recopilación de datos



El estudio se centró en las principales comunidades pesqueras en donde existen especies de alto valor comercial para la pesca, además, estos organismos son una fuente importante de proteínas para el ser humano y son relevantes para los mercados nacionales e internacionales, sin embargo, se ven muy perjudicados por actividades antropogénicas como el desarrollo costero, la sobreexplotación y el cambio climático (Hernández, 2002.). Para analizar el VSE de la pesca y el cambio climático en los sistemas costeros del estado de Yucatán, se recolectó información sobre aspectos ecológicos y socioeconómicos. Para caracterizar el *potencial de recuperación*, se obtuvo información biológica sobre las especies de peces, moluscos y crustáceos que habitan en la región de la Carta Nacional Pesquera 2022 (CONAPESCA, 2023), las bases de datos de FishBase www.fishbase.org (Froese y Pauly 2000) y SeaLifeBase <https://www.sealifebase.se/search.php> (Palomares y Pauly, 2024).

Se realizaron análisis de regresión simple para identificar la relación entre las capturas de las principales especies de importancia pesquera con la temperatura superficial del mar (TSM) y la Clorofila **a**, la cual es el pigmento principal en el fitoplancton (Gitelson et al., 2014) el cual será utilizado como indicador para estimar los cambios en la producción primaria en el mar (Behrenfeld et al., 2001). Para ello, se obtuvieron los datos de las capturas de pesca (kg de peso vivo) de las principales especies en este estudio de los avisos de arribo y Anuarios Estadísticos de Pesca y Acuicultura los cuales existe registro del 2006 al 2022 (CONAPESCA, 2023). Los datos disponibles de temperatura superficial del mar (TSM) fueron del 2000 al 2023 y clorofila **a** (Chl-a) del 2001 al 2022, se obtuvieron de la plataforma Giovanni de la NASA (NASA, 2022) <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/> y de la plataforma Ocean Color (NASA Goddard Space Flight Center, 2018) <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov>.

Entrevistas semi-estructuradas (Pescadores y pescadoras)

Se recolectó información socioeconómica para evaluar la sensibilidad y la capacidad de adaptación en las comunidades pesqueras de Yucatán. Se diseñó un cuestionario semiestructurado con 34 preguntas, abarcando aspectos básicos y diversas dimensiones relacionadas con los pescadores. Este cuestionario se realizó a pescadores locales de la península de Yucatán, realizando entre 8 y 10 encuestas en cada comunidad, donde se encontraban pescadores cooperativistas, permisionarios y libres.

Para evaluar la sensibilidad social, se utilizaron cinco indicadores que incluyen diecisiete variables. Estos indicadores consideran

aspectos sociales como el tipo de pescador, los ingresos y los precios históricos y actuales, proporcionando una visión completa del contexto socioeconómico de cada comunidad. Por otro lado, se estimó la capacidad de adaptación social mediante un índice socioeconómico compuesto por cinco variables clave: acceso a empleo, seguro social, apoyos gubernamentales, empleos alternativos y acceso a programas acuícolas. Además, se consideró la perspectiva social para evaluar la exposición ecológica, incluyendo nueve variables relacionadas con eventos climatológicos y cambios de hábitat como huracanes, tormentas, mareas rojas, frentes fríos, altas temperaturas, manglares, dunas, sargazo y fondo marino.



Estructura y análisis de la encuesta digital a informantes clave

Para el diseño de las entrevistas a informantes clave se integró la percepción de parte de servidores públicos, asociaciones pesqueras, investigadores, autoridades locales y Organizaciones de la Sociedad Civil (OSC), los cuales son de gran importancia para el conocimiento de la implementación e intervención en sus proyectos y políticas, y de cómo estas dependencias encaminan su labor a mitigar las afectaciones al cambio climático (Hoang et al., 2020), por lo tanto, las preguntas se distribuyeron en las siguientes categorías:

- Gestión de la pesca.
- Aspectos pesqueros y sociales.
- Aspectos económicos.

El cuestionario semiestructurado consistió 27 preguntas, 6 de respuesta abierta y 21 de opción múltiple, en las que se pudo seleccionar más de una alternativa, y una pregunta abierta al final para conocer algún comentario con respecto al instrumento o tema.

La encuesta se envió a todos los contactos de las dependencias tratando de abarcar todos las instituciones y organizaciones involucradas en la pesca en el estado. Para el análisis cuantitativo, los resultados de Google Forms se exportaron a Google Sheets, para realizar la selección, traducción, transposición y codificación de los datos, y generar las estadísticas descriptivas y las gráficas de los resultados.

Las primeras seis preguntas que fueron preguntas abiertas se les realizó un análisis a las respuestas, lo que implicó diferenciar sus temas, clasificarlas y agruparlas semánticamente (Van Dijk, 2000), para posteriormente agruparlas en categorías y ponderaciones según la respuesta de cada informante. A las respuestas de opción múltiple para su comprensión y descripción se utilizó las figuras que ofrece la plataforma Google Forms a excepción de la pregunta 19 y 27 las cuales se realizó una nueva gráfica para su mejora.



Análisis estadístico

Análisis de la temperatura superficial del mar (TSM)

En cada zona se analizaron los datos mensuales de TSM mediante un estudio de series de tiempo entre 2010-2021. Se estimaron las anomalías estandarizadas para determinar los periodos cálidos y fríos. Las anomalías estandarizadas de la TSM se definieron como el valor de la temperatura promedio anual menos el promedio mensual de los años analizados (Hernández, 2002), entre la desviación estándar de la serie de TSM (Dzul, 2014). Se realizó un ANOVA de medidas repetidas de la TSM para identificar diferencias entre las zonas de estudio.

Índices de exposición ecológica, sensibilidad, capacidad de adaptación y potencial de recuperación

Para cuantificar los índices de *exposición ecológica*, *sensibilidad*, *capacidad de adaptación* y *potencial de recuperación* para las presiones pesqueras y el cambio climático se realizaron por separados tres análisis de componentes principales (PCA, individuales) para determinar las correlaciones dominantes entre las variables que definen diversos aspectos.

Cuando se emplean ponderaciones equitativas para variables que están fuertemente correlacionadas, el Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés) evita la redundancia en los índices al evitar la doble contabilización de elementos (OCDE, 2008). Se utilizó la rotación varimax en algunos índices para facilitar la interpretación. Consideramos que los componentes principales (PC) obtenidos a través del Análisis de Componentes Principales (PCA) reflejan diversas facetas de la exposición ecológica, la sensibilidad, la capacidad de adaptación y capacidad de recuperación. Por último, llevamos a cabo una

prueba de correlación de Pearson para evaluar la independencia entre estas dimensiones.

Previo a los cálculos de PCA, todas las variables se transformaron logarítmicamente ($x+1$) y a un proceso de escalamiento para mitigar la heteroscedasticidad. Para cada uno de los tres PCA, se detuvieron aquellos PC con un valor propio superior a 1 (Kaiser, 1960). Las cargas factoriales de las PCA detenidas revelaron diversas dimensiones coherentes que explican la exposición ecológica, la sensibilidad, la capacidad de adaptación y el potencial de recuperación. Luego de reajustar las dimensiones en una escala de 1 (menor valor) a 3 (mayor valor), las combinamos para crear índices unificados y ponderados generando un peso igualitario a todos los indicadores de *exposición ecológica*, *sensibilidad*, *capacidad de adaptación* y *potencial de recuperación*.

Para evaluar la VSE, se empleó un enfoque adaptativo entre índices, suponiendo que todos los índices tienen



igual relevancia. Se categorizaron los índices atribuyéndose valores de acuerdo con sus características (Anexo 12.2). Se evaluó la VSE como (*exposición ecológica+sensibilidad social*) - capacidad de adaptación (Gómez Murci *et al.*, 2021). Para finalizar, se realizó un PCA para demostrar las relaciones multivariadas entre los aspectos ecológicos y sociales en las comunidades pesqueras. Se utilizó el software PRIMER 6 (Krishnakumar, 2008). A estas muestras se le aplicó una distancia Euclidiana y se evaluó mediante un PERMANOVA unidireccional con un máximo de 9,999 permutaciones para obtener la distribución empírica de los calores pseudo-F (Anderson, 2001; McArdle y Anderson, 2001). La variación total entre las muestras se dividió usando la suma de cuadrados tipo I. Por último, se realizaron comparaciones pareadas multivariadas entre los centroides de cada grupo experimental siguiendo un proceso similar para calcular valores de *pseudo t- empíricos*.

Metodología: Vulnerabilidad socioecológica de la acuicultura

En el contexto de la acuicultura se utilizó el método basado en indicadores (Tabla 5). Este método selecciona y evalúa indicadores indirectos de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación en función de la definición de vulnerabilidad del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Islam, *et al.* (2019) define a la vulnerabilidad de la acuicultura como el grado en que un sistema acuícola u operación de cultivo es susceptible o incapaz de hacer frente a los efectos adversos del cambio climático. En este caso, la vulnerabilidad al cambio climático (V) viene determinada por una función de exposición al clima (E), sensibilidad (S) y capacidad de adaptación (CA) según la definición del IPCC (Kim *et al.*, 2019). En donde, la suma de exposición y sensibilidad ($E + S$) es el impacto potencial, y cuando y al restarle la capacidad de adaptación, se convierte en vulnerabilidad (Kim *et al.*, 2019).



Tabla 5. Indicadores y variables socioecológicas del componente de capacidad adaptativa de la vulnerabilidad de la pesca ante el cambio climático.

Componente o dimensión	Indicadores	Peso
Exposición	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatura 2. Inundaciones 3. Disponibilidad de agua 	0.50
	<p>Especie: Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) y jaiba suave (<i>Callinectes sapidus</i>).</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Reproductores 2. Desove y fertilización 3. Etapa larvaria 4. Preengorda 5. Engorda 	
Sensibilidad	<p>Especie: Jaiba suave</p> <ol style="list-style-type: none"> 6. Etapa de espera de la muda: conectividad con el entorno natural 7. Etapa de espera de la muda - nivel de exposición al entorno natural y a las condiciones ambientales extremas 8. Etapa de espera de la muda - enfermedades y plagas - manejo y susceptibilidad 	
	<p>Especie: Tilapia</p> <ol style="list-style-type: none"> 6. Engorda. Alimentación silvestre frente a fuentes manufacturadas. 7. Cultivo: enfermedades y plagas gestión y susceptibilidad 	
Capacidad Adaptativa	<ol style="list-style-type: none"> 1. Diversificación de actividades económicas 2. Acceso al crédito 3. Multiplicidad ocupacional 4. Capacidad de cambio 5. Capacitación acuícola 	0.20

La vulnerabilidad externa se refiere a la exposición y el riesgo ante un fenómeno específico o factor estresante. La exposición está vinculada al nivel de estrés climático que afecta a una unidad de análisis o sistema particular (Monterroso & Cecilia Conde, 2015). Se seleccionaron tres indicadores de exposición para la acuicultura: temperatura, inundaciones (incremento del nivel del mar o por lluvias) y disponibilidad de agua (Tabla 6). El incremento de la temperatura del agua puede causar alteraciones físicas en los estanques, como variaciones en los niveles de oxígeno disuelto, lo cual puede llevar a floraciones de algas nocivas más frecuentes y un aumento en la incidencia de enfermedades parasitarias (Islam, *et al.*, 2019). Las inundaciones pueden arrasar con las instalaciones acuícolas (p.ej. estanques en tierra) y con los organismos cultivados o cambiar los niveles de salinidad requeridos para la especie (Platas-Rosado *et al.*, 2016).

Tabla 6. Indicadores de exposición para la acuicultura modificado de Kim *et al.* (2019).

Indicador	Bajo (1)	Medio (2)	Alto (3)
Temperatura	La especie no es afectada por las altas temperaturas. Puede deberse por la amplia tolerancia de la especie o debido al alto control en el sistema acuícola (p.ej. en sistemas de recirculación acuícola)	La especie cuenta con amplio rango de tolerancia a temperatura y el sistema acuícola cuenta con reguladores de temperatura naturales o artificiales (instalación de tejabanos, malla sombras o vegetación)	La especie no tolera las altas temperaturas y no existe un control en el sistema acuícola que regule la temperatura
Inundaciones	No afectan las instalaciones acuícolas ni a las especies.	Los impactos por inundaciones en las instalaciones acuícolas podrían afectar la producción parcialmente. Algunas áreas podrían sufrir daños.	Los impactos en las instalaciones acuícolas afectan por completo la producción (inundación de los estanques de tierra o cambios en la salinidad).
Disponibilidad de agua	El sistema acuícola requiere pocos recambios de agua (p.ej. en sistemas de recirculación acuícola o aguas verdes).	El sistema acuícola requiere recambios de agua parciales.	El sistema acuícola requiere altos niveles de recambios de agua

Estos indicadores de exposición están diseñados para un sistema de producción de jaiba suave y una granja de tilapia, ambas instalaciones se ubican en tierra firme. En caso de utilizar otra especie como los bivalvos, los indicadores deben cambiar y adaptarse. Esto se debe a que la engorda de ostiones u otros bivalvos se desarrolla en sistemas naturales (lagunas costeras) y al ser especies calcificantes y filtradoras son afectadas por otros factores ambientales como la productividad y el pH.

Los indicadores de sensibilidad están adaptados para un sistema de producción de jaiba suave (Tabla 7), tomando como base los indicadores propuestos por Kim et al. (2019) y Doubleday et al., (2013) para la vulnerabilidad acuícola. Los indicadores de 1 al 5 se consideraron para ambas especies evaluadas: jaiba suave y tilapia. Para el caso de tilapia, se modificaron los últimos indicadores (Tabla 8), ya que en el cultivo de esta especie no existe el proceso de muda (proceso de crecimiento de los crustáceos).

Tabla 7. Indicadores y puntuación de sensibilidad (Doubleday et al., 2013) adaptado para el cultivo comercial de jaiba suave en Yucatán.

Indicador	Bajo (1)	Medio (2)	Alto (3)
1. Reproductores - disponibilidad y acondicionamiento de los reproductores - grado de control medioambiental	Los reproductores son completamente cultivados en acuicultura y se mantienen en condiciones de crecimiento en interiores	Reproductores recolectados del medio silvestre, pero se mantienen en condiciones de crecimiento en interiores (laboratorio)	Los reproductores son completamente silvestres
2. Desove y fertilización - grado de dificultad y control ambiental.	La inducción del desove es bien conocida; fácil de mantener grandes cantidades de reproductores y/o diferenciar su sexo	La inducción del desove es poco conocida; es difícil mantener grandes cantidades de reproductores y/o diferenciar su sexo.	Ocurre en el medio natural (silvestre).
3. Etapa larvaria - Cría de larvas - grado de complejidad y control ambiental	Pocos pasos o etapas larvales; no se requieren alimentos vivos.	Diversas etapas larvarias, serie de pasos más largos durante el desarrollo larval; se requieren alimentos vivos.	Ocurre en el medio natural (silvestre).
4. Preengorda - Cría de juveniles (hasta la etapa de traslado al sistema de engorda) grado de complejidad y control ambiental.	Ocurre en un entorno completamente controlado; se requieren alimentos manufacturados	Ocurre en un entorno parcialmente controlado; se requieren algunos alimentos naturales	Ocurre en el medio natural (silvestre).

5. Engorda. conectividad con el entorno natural.	Sistema en tierra. Casi totalmente cerrado, sistema de cultivo altamente controlado.	Sistema de cultivo en tierra, control ambiental parcialmente.	Ocurre en el medio natural (silvestre).
6. Etapa de espera de la muda, conectividad con el entorno natural.	Sistema en tierra. Casi totalmente cerrado, sistema de cultivo altamente controlado.	Sistema de cultivo en tierra, control ambiental parcialmente.	Sistema de cultivo en el entorno natural
7. Etapa de espera de la muda - nivel de exposición al entorno natural y a las condiciones ambientales extremas	Infraestructura en tierra firme, fácilmente accesible y no sujeta a extremos ambientales	Infraestructura en áreas sujetas a inundaciones ocasionales, pero generalmente de fácil acceso con buenas condiciones ambientales.	Infraestructura en el mar que requiere visitas frecuentes al sitio en un entorno expuesto a mareas altas o tormentas.
8. Etapa de espera de la muda - enfermedades.	Artículos publicados sobre enfermedades sugieren cierta resistencia natural y ausencia de problemas mayores de enfermedades	Los documentos publicados sobre enfermedades sugieren cierta resistencia natural, pero con algunos problemas de enfermedades existentes.	Se han documentado ampliamente problemas de enfermedades que no están bien controlados y es probable que se vean exacerbados por el cambio climático.

Tabla 8. Indicadores y puntuación de sensibilidad (Doubleday et al., 2013) adaptado para el cultivo comercial de tilapia en Yucatán.

Indicador	Bajo (1)	Medio (2)	Alto (3)
6. Engorda. Alimentación silvestre frente a fuentes manufacturadas.	Alimentos manufacturados	Se utilizan alimentos vivos de origen silvestre, pero con cierta capacidad para variar las especies o utilizar manufacturados.	Productividad natural
7. Cultivo: enfermedades, su manejo y susceptibilidad	Control de enfermedades. Documentos publicados sobre enfermedades/plagas que sugieren cierta resistencia natural.	Documentos publicados sobre enfermedades que sugieren cierta resistencia natural, pero con alguna(s) enfermedad(es) que requieren atención.	Existen problemas de enfermedades y se cuenta con información, pero al no ser bien manejadas pueden agravarse por el cambio climático.

Se consideraron cinco indicadores de la capacidad adaptativa en la acuicultura considerados fueron tomados de Cinner *et al.* (2013)., cada uno con tres niveles de puntuación (Tabla 9). Estos indicadores fueron adaptados considerando las especies de jaiba suave, tilapia y los comentarios realizados por los productores respecto a cómo enfrentan en sus unidades de producción el Cambio climático.

Tabla 9. Indicadores y puntuación de sensibilidad modificada de Cinner *et al.* (2013). Adaptado para el cultivo comercial de tilapia y jaiba suave en Yucatán.

Indicador	Descripción
Diversificación de actividades económicas	Medido como si el encuestado tuviera otras fuentes de ingreso. <ol style="list-style-type: none"> 1. Solo se dedica a la acuicultura, 2. Tiene al menos una fuente de ingresos adicional a la acuicultura (empleo informal), 3. Cuenta con una fuente de ingreso segura (contrato; empleo formal)
Acceso al crédito	Medido como si el encuestado consideraba que podía acceder al crédito a través de instituciones formales o medios informales (por ejemplo, familia, amigos, intermediarios/comerciantes). <ol style="list-style-type: none"> 1. No tienen acceso a créditos 2. Acceso a créditos por medio informales 3. Acceso a créditos formales
Multiplicidad ocupacional	El número total de personas-empleo en el hogar. <ol style="list-style-type: none"> 1. El productor es el único que aporta ingreso en el hogar 2. Al menos la mitad de los habitantes del hogar aportan ingresos 3. Todas las personas (no se incluyen niños) aportan ingresos del hogar.
Capacidad de cambio	Capacidad para anticiparse a los cambios y desarrollar estrategias de respuesta. <ol style="list-style-type: none"> 1. No se anticipa 2. El productor ha desarrollado al menos una estrategia de respuesta (Almacena agua, cuenta con planta de luz, paneles solares, diversificación de productos; medidas de mitigación ante altas temperaturas (malla sombras o vegetación arbórea alrededor de la unidad de producción) 3. El productor cuenta con un plan de mitigación a los cambios.
Capacitación acuícola	Capacitación técnica respecto al cultivo acuícola. <ol style="list-style-type: none"> 1. Carece de capacitación respecto a la especie cultivada y el sistema de cultivo 2. Cuenta con capacitación básica 3. Tienen un alto nivel de conocimientos de la acuicultura y la especie.

Para determinar el nivel de afectación de las condiciones ambientales hacia los sistemas de producción acuícola (exposición), se realizaron entrevistas a productores acuícolas ubicados en las zonas de estudio, respecto a la especie, las condiciones ambientales que les afectan y al funcionamiento del sistema de cultivo. La encuesta consideró aspectos sociales, económicos y sobre la participación de las mujeres en las granjas. Debido a las pocas unidades de producción acuícolas en las zonas de estudio, se entrevistaron a investigadores y acuacultores cercanos al área de estudio.

Otras fuentes de información fueron diversos informes técnicos y publicaciones científicas. Se utilizaron los avisos de cosecha de la CONAPESCA para identificar las especies comerciales en el estado de Yucatán y el número de unidades de producción acuícola que operan. También se consultó la plataforma ACUASESOR (CONAPESCA, 2024) para conocer el número de permisos de acuicultura de fomento autorizados y títulos vigentes en el estado de Yucatán.



RESULTADOS



Aspectos generales

Aspectos pesqueros y sociales de las zonas oriente, centro y poniente.

La pesquería de pequeña escala en las tres comunidades ha experimentado variaciones significativas en diversos aspectos, como el número de pescadores (Tabla 10). En la zona Poniente y en la zona Oriente, es similar el número de pescadores, mientras que en la zona Centro se duplica el número de pescadores. Por otro lado, existe un incremento del esfuerzo pesquero, ya que el número de permisos en las tres zonas aumentó del 2015 al 2020. Las organizaciones oficiales principalmente formadas en cooperativas, destaca el Poniente con un número mayor de cooperativas (49), posteriormente el centro (35) y por último el oriente (14). Una observación relevante es que la mayoría de los pescadores cuentan con una considerable experiencia en la actividad pesquera, superando los 29 años de trayectoria en el sector.

Tabla 10. Aspectos sociales y pesqueros de las tres zonas de estudio.

Región	Poniente	Centro	Oriente
Población de pescadores ¹	2,585	4,700	1,994
Tipo de zona de desembarco ²	Dos (2) puertos de abrigo en cada comunidad	<ul style="list-style-type: none"> • Puertos de abrigo (Chuburná, Telchac y, Progreso) • En las Playas de las comunidades 	Enfrente a las instalaciones de sus cooperativas o centros de recepción. Puertos de abrigo en Dzilam de Bravo.
Número de Sociedades Cooperativas de Producción Pesquera (SCPP)	49	35	14
Número de permisos vigentes para embarcaciones menores ³	81	230	114

Número de permisos en 2 periodos de tiempo (2015 - 2020)	Pulpo: Incremento. Escama: Incremento. Jaiba: Incremento Pepino de mar: Disminución	Escama: Incremento. Pulpo: Incremento. Langosta: Incremento Tiburón: Incremento Jaiba: Incremento Pepino de mar: Disminución	Escama: Incremento. Pulpo: Incremento. Langosta: Igual Pepino de mar: Disminución
Experiencia en la pesca (años promedio general)	30 años	29 años	29 años
Jóvenes	10	4	14
Adultos	23	27	27
Adultos mayores	50	45	37
Dependencia cultural	Alta (85%)	Alta (80%)	Alta (74%)
Dependencia económica	Media (55%)	Alta (70%)	Media (53%)
Especies más importantes comercialmente	Pulpo, escama marina (pargo canané) y jaiba	Escama, pulpo y langosta	Langosta, pulpo y mero
Número de embarcaciones (oficiales y no oficiales) ²	1,197	1,782	629
Artes de pesca tradicionales (mayor uso)	Pulpo: Jimbas y alijo (gareteo) Escama: palangre y anzuelo Jaiba: Nasas	Escama: Redes, palangre y anzuelo Pulpo: Jimbas y alijo (gareteo) Buceo	Langosta: Lazo y bolsa (a partir del 2023) Pulpo: Jimbas y alijo Escama: palangre y cordel
Porcentaje aproximado de pesca ilegal (percepción)	70%	70%	50%

La **dependencia cultural en las tres comunidades es alta**, debido a que la pesca conserva identidad cultural en cada comunidad, con características propias de sus ancestros. Elementos distintivos como el empleo de técnicas pesqueras tradicionales y la gastronomía local reflejan esta arraigada conexión con el pasado. Además, se observa una apropiación cultural por parte del sector pesquero que se manifiesta de manera intrínseca en cada comunidad.

Por otro lado, la **dependencia económica** presenta variaciones. En las zonas **Poniente y Oriente**, se considera **moderada** debido a la presencia de alternativas laborales. Sin embargo, en el **área central**, esta dependencia es **alta**, dado el escaso abanico de actividades laborales alternativas disponibles.

Especies de importancia comercial en las tres zonas.

En las costas del estado de Yucatán se han identificado diversas especies de importancia comercial. En la Figura 5 se presentan las especies más relevantes para los pescadores de la zona centro, quienes destacaron al pulpo (*O. maya*) como la especie de mayor impacto económico, seguido del mero (*E. morio* y *M. bonaci*), pargo (*Lutjanus spp.*), boquinete (*Lachnolaimus maximus*) y langosta (*P. argus*). De manera similar, en la zona Oriente (Figura 6) el pulpo fue identificado como la especie más importante, seguido por el mero y la langosta, mientras que otras especies como los pargos, escribanos (*Hemiramphus brasiliensis*), boquinetes (*Lachnolaimus maximus*), maxquil (*Libinia dubia*) y robalo (*Centropomus spp.*) también fueron mencionadas. Por último, en la zona poniente (Figura 7), el pulpo y los pargos sobresalen como los principales generadores económicos, seguidos por el mero, chacchi (*Haemulon plumierii*), jaiba (*Callinectes spp*) y langosta (*P. argus*).

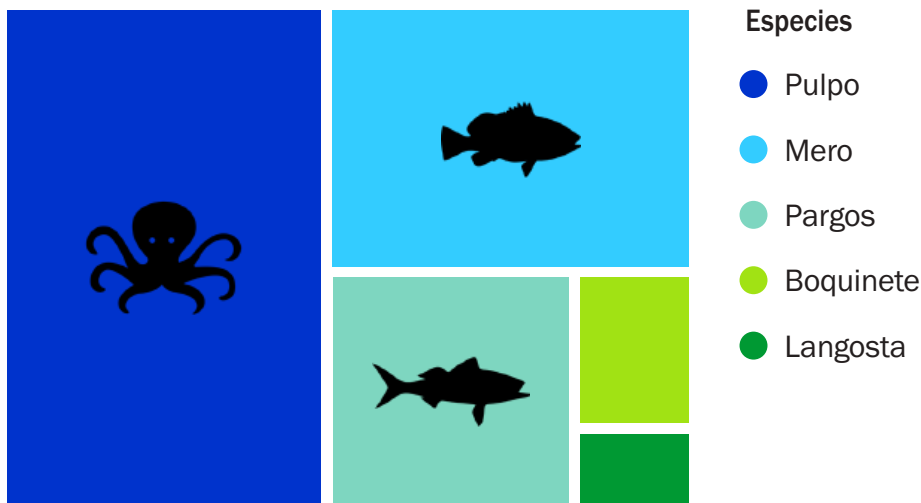


Figura 5. Especies de importancia comercial en la zona Centro.

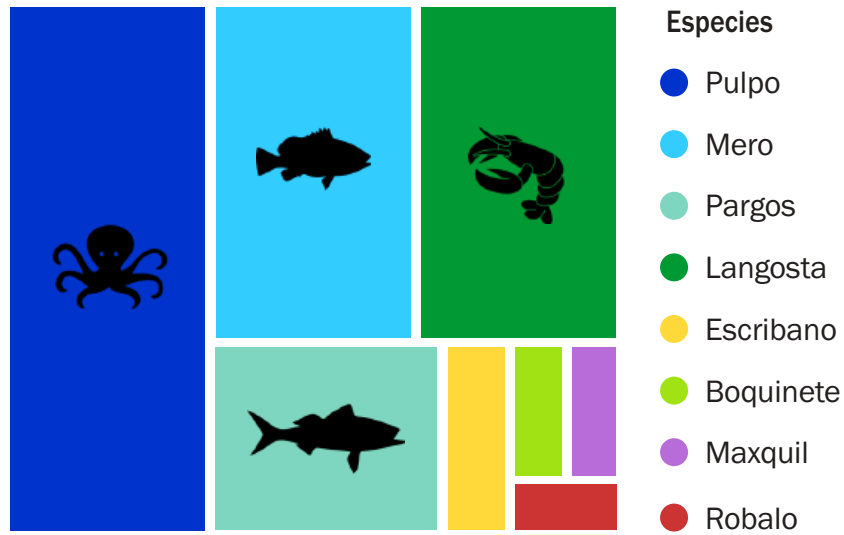


Figura 6. Especies de importancia comercial en la zona Oriente.

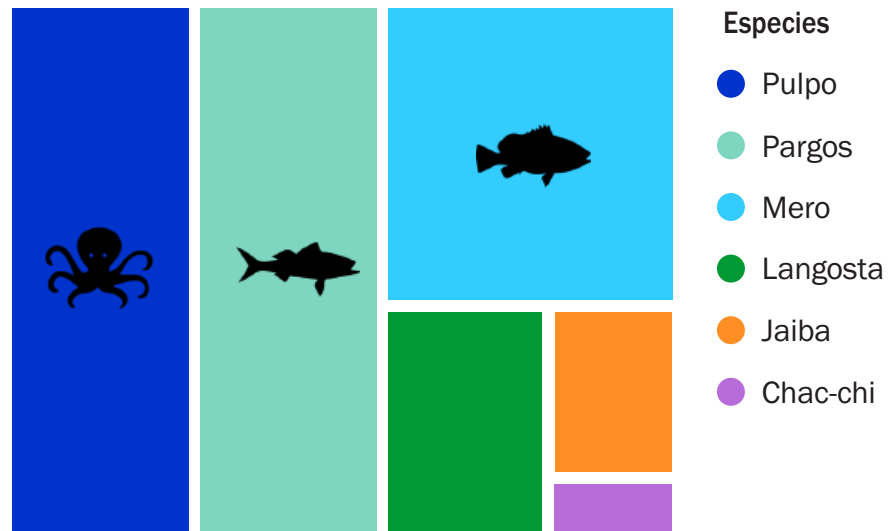


Figura 7. Especies de importancia comercial en la zona Poniente.

En la figura 8, se describen las tendencias de las capturas históricas de la pesquería multiespecífica de pequeña escala en las tres regiones de estudio obtenidos de los anuarios estadísticos de CONAPESCA (2023). Se observa la caída o disminución de las capturas pesqueras durante la pandemia de la COVID-19.

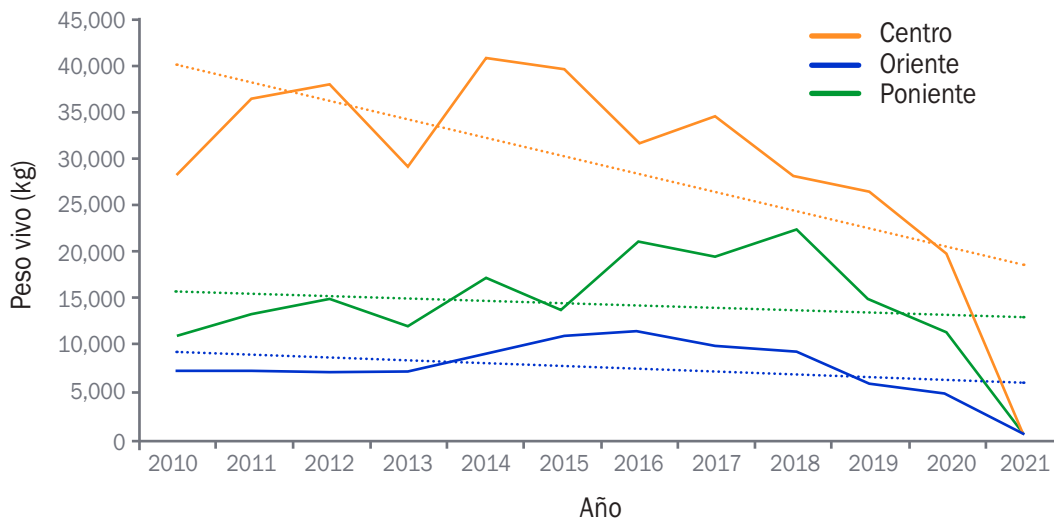


Figura 8. Tendencias de las capturas históricas de la pesquería de pequeña escala del 2010 - 2021. (Datos disponibles en CONAPESCA, 2022).

Tendencia de las capturas en las zonas de estudio: de pulpo y mero

En la figura 9, se observa que las capturas de pulpo son mayores en la zona Centro, mientras que en la zona Oriente son menores. Sin importar la zona, las capturas disminuyeron en el 2020 durante la pandemia de COVID-19. Las mayores capturas de pulpo se observan en el 2018 en todas las zonas de estudio. En la figura 10, se observa que las mayores capturas de mero se realizan en la zona Centro. Sin embargo, es evidente una tendencia negativa de las capturas de mero, principalmente en la zona Centro.

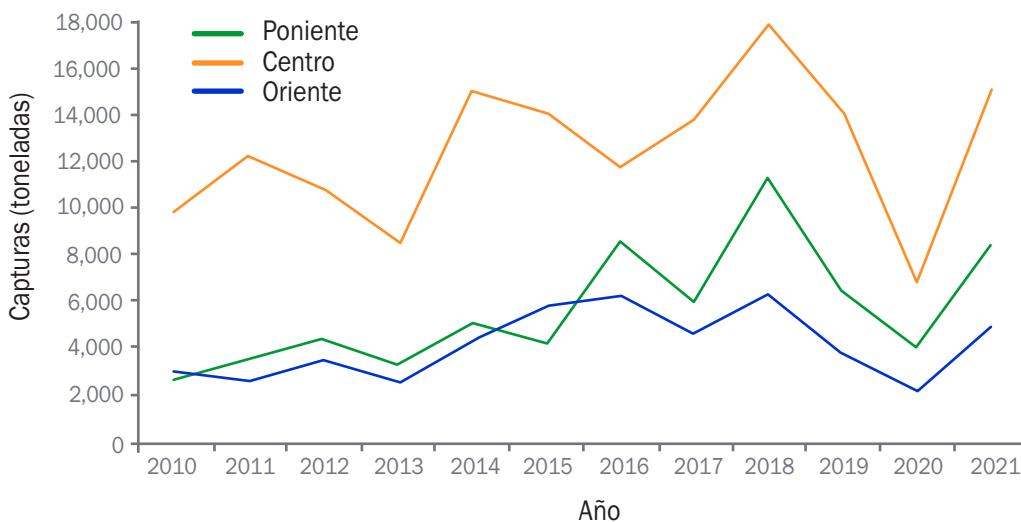


Figura 9. Tendencia de las capturas de pulpo en las zonas de estudio en el periodo de 2010 - 2021.

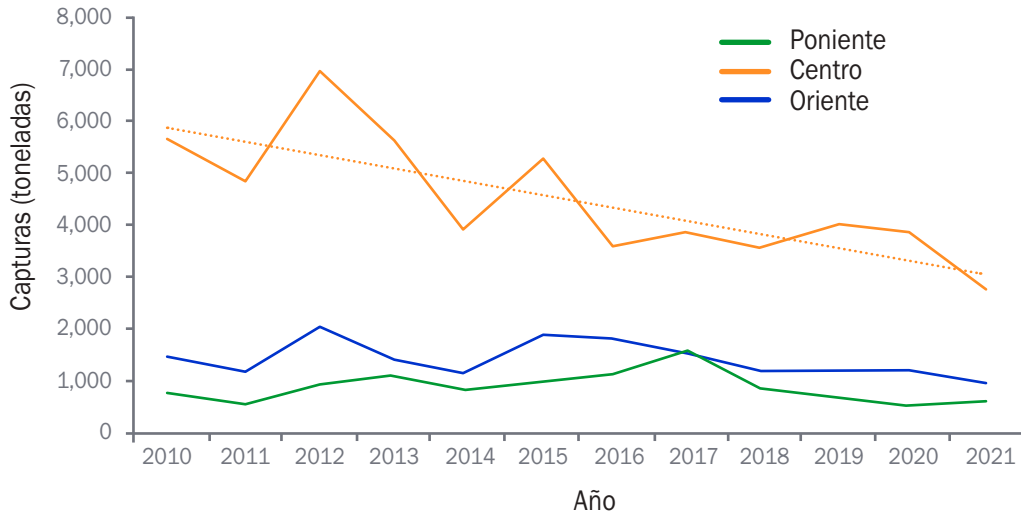


Figura 10. Tendencia de las capturas de mero en el periodo de 2010 - 2021 en las zonas de estudio.2021.

En la figura 11, se observa que en los años 2013 y 2017 las capturas de pulpo muestran una disminución mientras que las capturas de mero se incrementan.

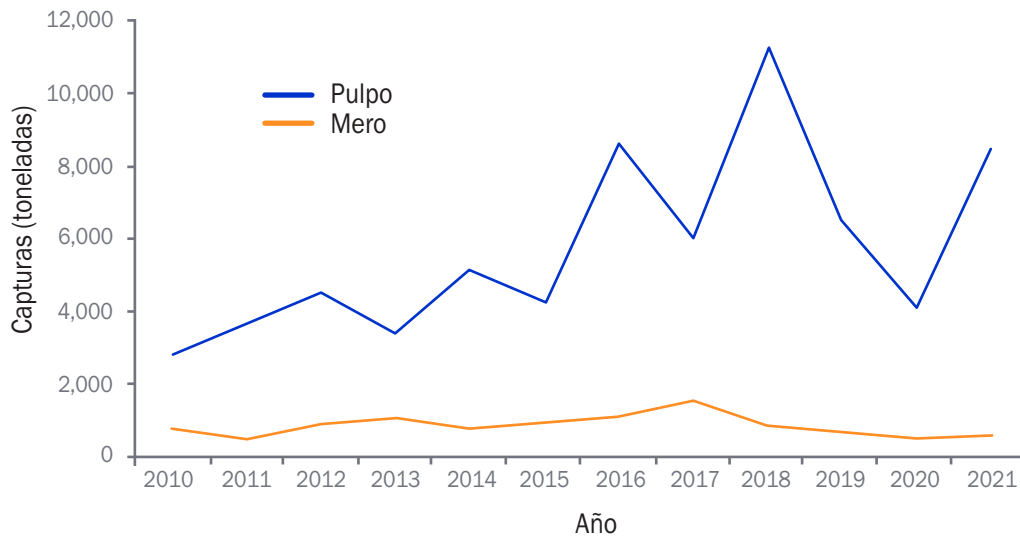


Figura 11. Tendencia de las capturas de pulpo y mero en el periodo de 2010 - 2021 en la Zona Poniente.

Exposición ecológica

Se utilizaron doce indicadores socioecológicos asociados con el cambio climático. El aumento de las temperaturas y la productividad (Concentración de Clorofila **a**), se emplearon exclusivamente para describir las variaciones derivadas de los posibles efectos del cambio climático. Asimismo, las abundancias de las capturas históricas y actuales se describieron individualmente debido a sus características inherentes.

Por otro lado, las nueve variables restantes, que abordan la percepción del cambio climático y los cambios en el hábitat, fueron analizadas mediante un enfoque multivariado basado en permutaciones (PERMANOVA) para evaluar la exposición ecológica de las comunidades costeras de Yucatán.

Cambios históricos en las condiciones oceanográficas.

El análisis de la temperatura superficial del mar (TSM) en el periodo entre 2010 - 2021 muestra una tendencia hacia el aumento de esta variable ambiental en las tres zonas de estudio (Figura 12). Los resultados del ANOVA de medidas repetidas indican que existen diferencias significativas entre la zona Poniente y el resto de las zonas de estudio ($p = 0.001$), y se observan mayores temperaturas en esta zona. En cuanto a la TSM, entre la zona Centro y la zona Oriente no existen diferencias significativas ($p = 0.175$).





Figura 12. Tendencia de la temperatura superficial del mar (°C) en el periodo comprendido de 2010 a 2021 en las distintas zonas de estudio de las costas del estado de Yucatán.

Durante el periodo de 2010 al 2021, en la zona Poniente la temperatura promedio fue de 27.4°C. Los años más fríos fueron en 2010 y 2011, con temperaturas promedio de 26.3°C y 26.7°C, respectivamente. Siendo este primer año el más frío de la serie analizada, con un valor de la anomalía de - 1.05 (Figura 13).

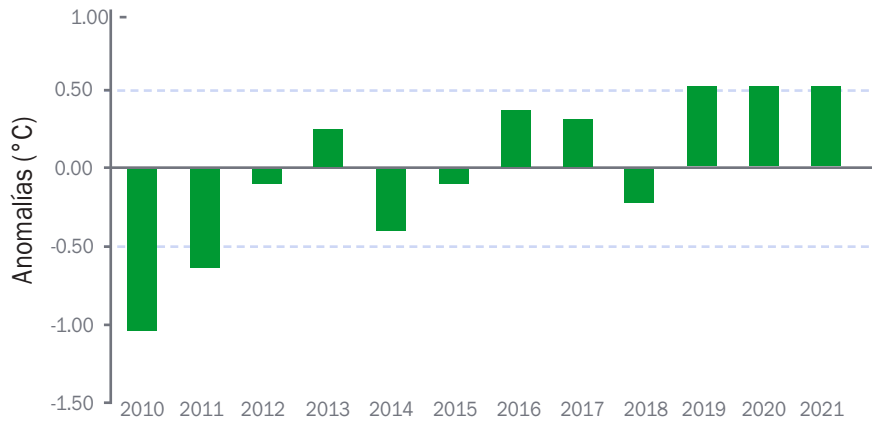


Figura 13. Comportamiento de las anomalías de la TSM en la zona Poniente durante el periodo de 2010 - 2021.

Por otra parte, los años de anomalías positivas o cálidas se observaron en los años 2019, 2020 y 2021, con un valor de las anomalías de 0.518, 0.513 y 0.509, respectivamente. Las anomalías mensuales de la TSM de los años 2010 y 2021 muestran un incremento. Asimismo, se observa una reducción en las anomalías frías, que en 2010 se extendían de noviembre hasta abril, mientras que en 2021 se observan de enero a marzo (Figura 14).

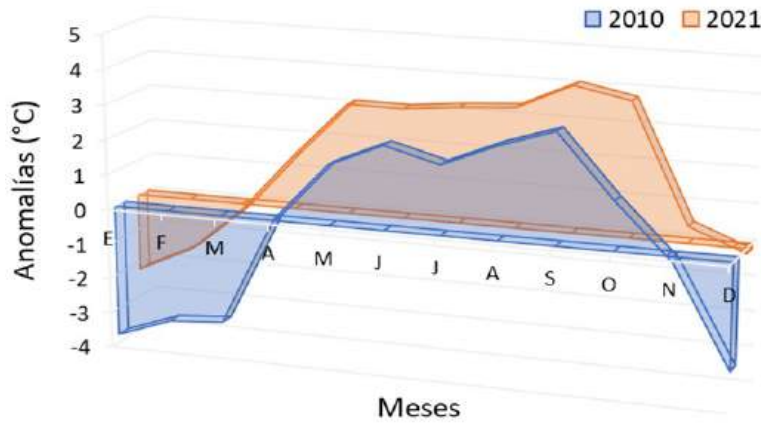


Figura 14. Anomalías de la TSM mensual en la zona Poniente en los años 2010 y 2021.

En la zona Centro, las anomalías de la TSM muestran que los años más fríos fueron en 2010 y 2011 (Figura 15). Los años de anomalías positivas o cálidas se observaron en los años 2019, 2020 y 2021, siendo el año 2020 el más cálido. Las anomalías mensuales de la TSM en la zona Centro de los años 2010 y 2021 muestran el incremento de la TSM (Figura 16).

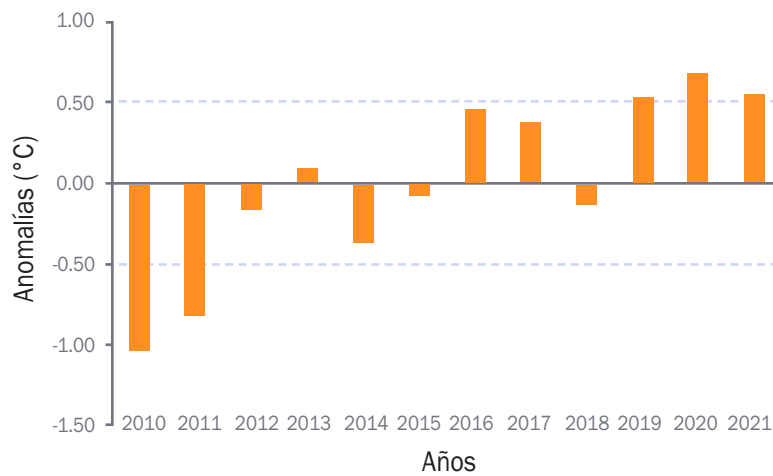


Figura 15. Promedio anual de las anomalías de la TSM en la zona Centro en el periodo de 2010 - 2021.

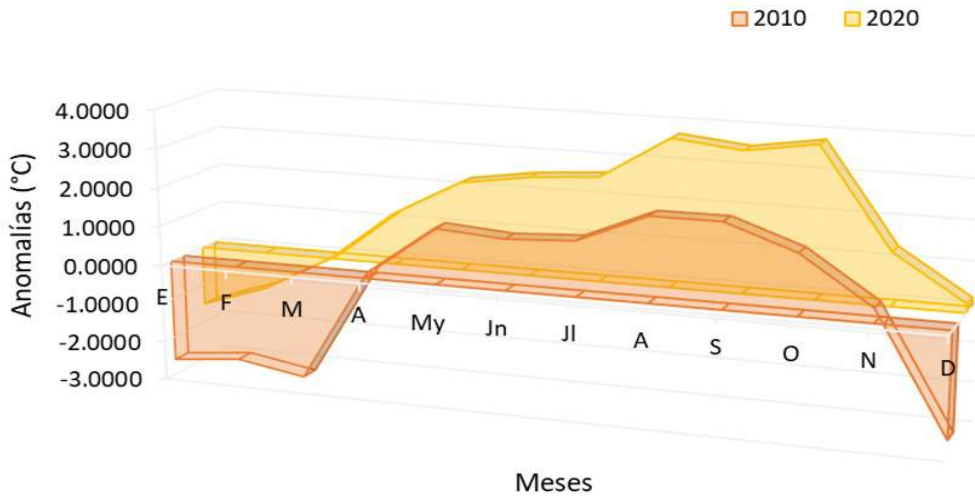


Figura 16. Anomalías de la TSM mensual en la zona Centro en los años 2010 y 2021.

En la zona Oriente, las anomalías de la TSM indican que los años más fríos fueron en 2010 y 2011, siendo este último año el más frío en el periodo de análisis (Figura 17).

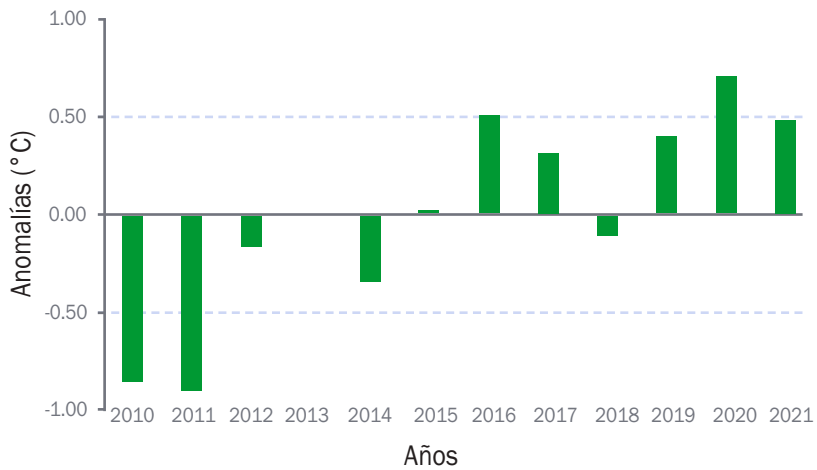


Figura 17. Promedio anual de las anomalías de la TSM en la zona Oriente en el periodo de 2010 - 2021.

Los años de anomalías cálidas se observaron en los años 2016, 2017, 2019, 2020 y 2021. El año 2020 mostró mayor valor de anomalía cálida. En cuanto a las anomalías mensuales de la TSM, en la zona Oriente de los años 2010 y 2021 se observa una notable disminución de las anomalías negativas o frías (Figura 18).

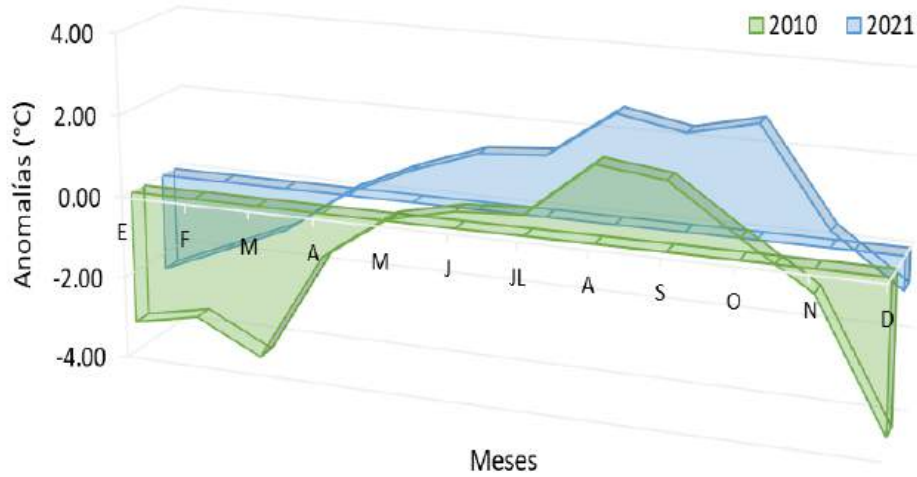


Figura 18. Anomalías de la TSM mensual en la zona Oriente en los años 2010 y 2021.

Relación entre los cambios de temperatura y las capturas.

El análisis de regresión entre la temperatura superficial del mar (TSM) y las capturas de pulpo en cada zona de estudio muestran que no existe relación entre las capturas de pulpo y la TSM (Zona Poniente, $p = 0.2325$; Zona Centro $p = 0.6849$; Zona Oriente, $p = 0.0788$). En la figura 19, se muestra la tendencia de la TSM en la zona Poniente y las capturas de pulpo en el periodo de 2010 - 2021, las cuales no tienen alguna relación.

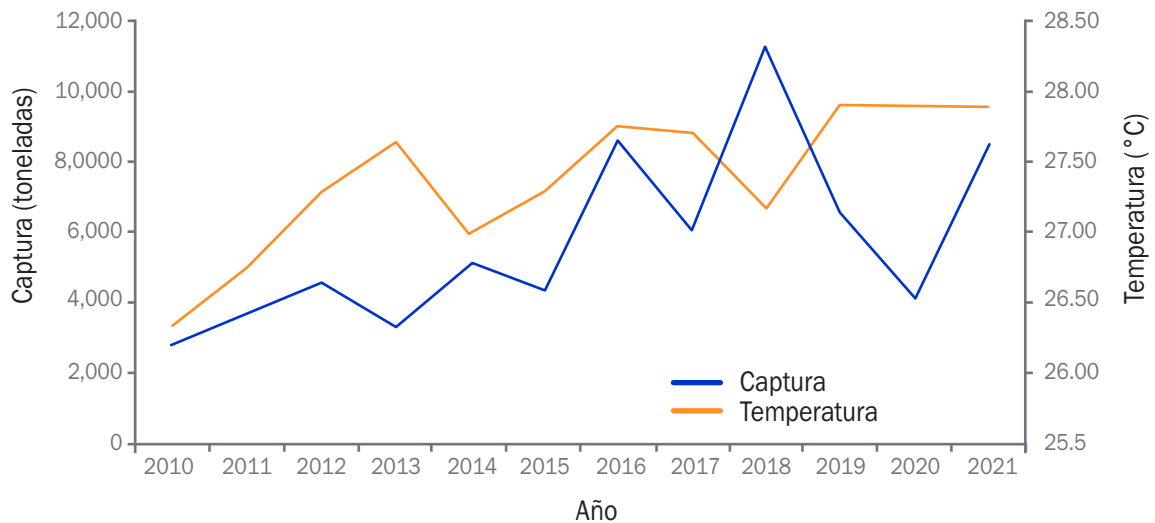


Figura 19. Tendencia de la temperatura superficial del mar (línea naranja) y las capturas de pulpo (línea color azul) en la zona Poniente en el periodo de 2010 - 2021.

Cambios históricos en la productividad oceánica de la Península de Yucatán.

En las zonas Centro, Oriente y Poniente, la concentración de clorofila **a** no mostró una tendencia clara positiva o negativa (Figura 20). No obstante, se observó que los valores más altos de clorofila **a** se registraron en la zona Oriente (0.32-0.45 mg/m³), seguidos por la zona Poniente (0.18-0.27 mg/m³). En contraste, la zona central exhibió los valores más bajos en la concentración de clorofila (0.12-0.16 mg/m³). Si bien la clorofila **a** es un pigmento clave en la fotosíntesis del fitoplancton y su medición es ampliamente utilizada para estimar la biomasa de estas microalgas, es fundamental tener en cuenta que existen otros pigmentos fotosintéticos presentes en diferentes especies de fitoplancton. La concentración de clorofila **a** no refleja esta diversidad de pigmentos ni la composición específica de la comunidad fitoplanctónica.

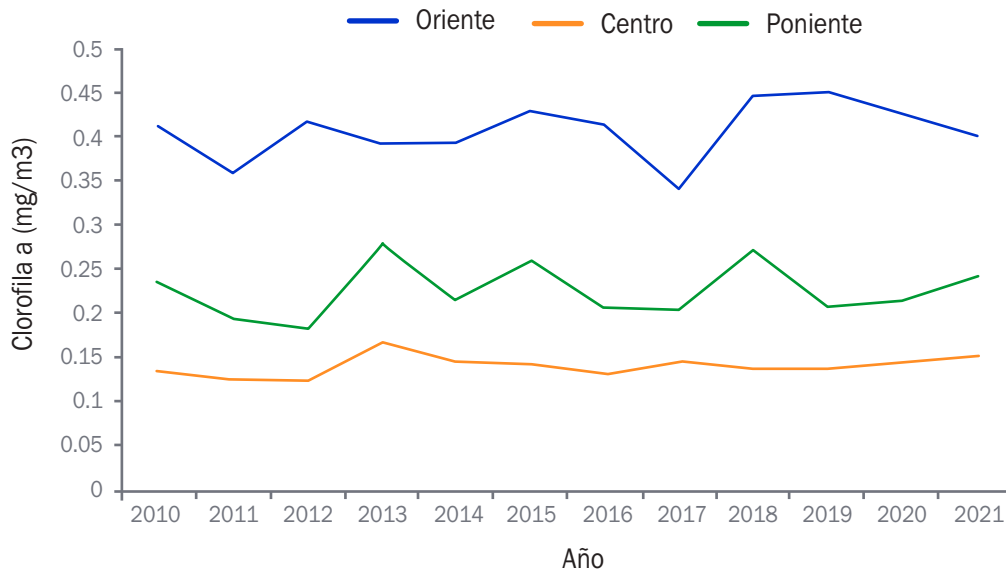


Figura 20. Productividad de las tres regiones (2010 - 2021) datos tomados como referencias de tres comunidades correspondientes a cada región, oriente (Río Lagartos), centro (Telchac) y poniente (Celestún).

Relación entre los cambios de clorofila y las capturas

El análisis de regresión en la zona oriente muestra que la productividad primaria tiene una relación positiva y significativa con las capturas totales ($p = 0.00015^*$), mientras que en la zona centro podría tener una relación positiva, pero su significancia estadística es marginal ($p = 0.055$). La **productividad primaria** en la zona poniente no parece estar relacionada de manera significativa con las capturas totales ($P = 0.195$).

Percepción del cambio climático y afectaciones del cambio de hábitats sobre la actividad pesquera a través del análisis multivariado basado en permutaciones (PERMANOVA).

Se emplearon 9 indicadores relacionados con el cambio climático, como huracanes, tormentas, mareas rojas, altas temperaturas y frentes fríos, junto con cambios en los hábitats como manglares, dunas, sargazos y fondo marino. Ya que, estos indicadores podrían tener un impacto significativo en la actividad pesquera.

El análisis de varianza de una vía basado en permutaciones (PERMANOVA) reveló que no hay diferencias significativas entre las regiones costeras: centro, oriente y poniente, que pertenecen al estado de Yucatán ($Pseudo-F= 1.559$; $p=0.083$). Por otro lado, el análisis de coordenadas principales (PCoA) explicó el 57.44% de la variabilidad total utilizando los tres primeros componentes (Figura 21), resaltando una correlación positiva entre el manglar y el fondo marino en el eje horizontal (PCoA1), lo que influyó en la distribución de las muestras. En el eje vertical (PCoA2), se identificó una correlación positiva entre las altas temperaturas y las dunas, lo que contribuyó a la dispersión de las muestras. Sin embargo, en la tercera dimensión (PCoA3) se encontró una correlación negativa entre las dunas y el sargazo (Figura 21).

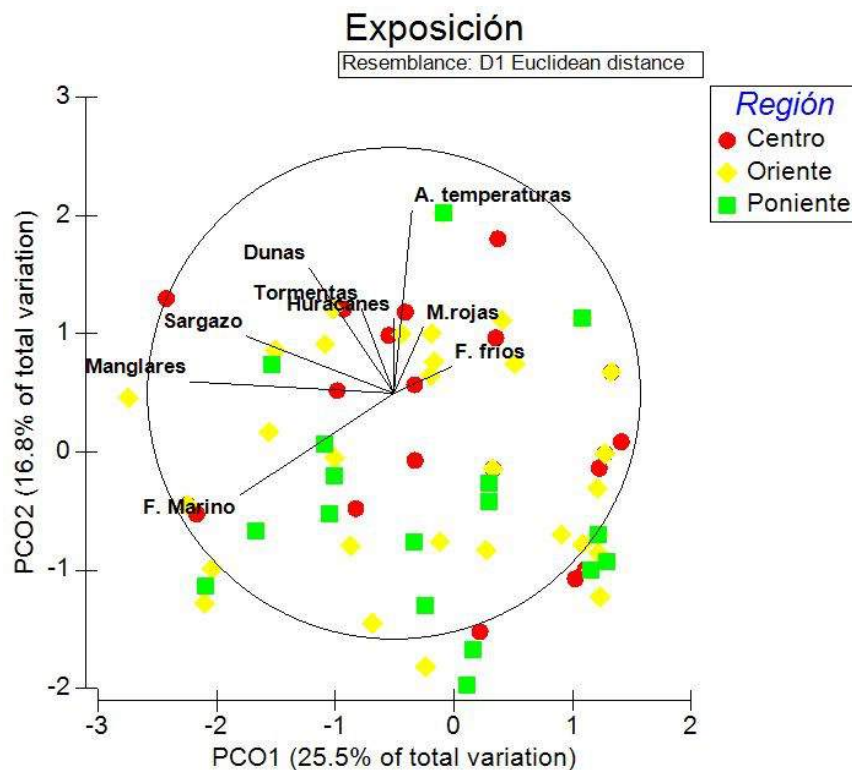


Figura 21. Coordenadas principales PCoA 1 vs PCoA 2 de nueve descriptores multivariados de la exposición ecológica medidos en las comunidades costeras de Yucatán en la región: centro, oriente y poniente.

Los datos recopilados en la tabla 11 revelaron que las comunidades costeras de Yucatán presentaban un nivel medio de exposición al cambio climático, con valores comprendidos entre 0.34 y 0.66.

Tabla 11. Índices de exposición ecológica ponderados en las comunidades costeras de Yucatán por región: centro, oriente y poniente (valores ponderados de cada factor 0 - 0.11 para sumar entre todos los factores el valor de 1).

Zona de estudio	H	T	MR	FF	TA	M	D	S	FM	Exposición
Centro	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.06	0.05	0.05	0.08	0.44
Oriente	0.04	0.04	0.06	0.04	0.05	0.06	0.07	0.06	0.05	0.46
Poniente	0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.06	0.05	0.05	0.08	0.46

Sensibilidad socioeconómica

En el análisis de sensibilidad se utilizaron diecisiete indicadores sociales y económicos para analizar un contexto socioeconómico de las comunidades costeras de Yucatán. Entre estos indicadores se consideraron variables como dependencia económica, el tipo de pescador, los ingresos mínimos y máximos, los precios históricos y actuales. Por otro lado, los catorce indicadores restantes se integraron en un análisis multivariado basado en permutaciones (PERMANOVA) con el fin de estimar la sensibilidad socioeconómica de dichas comunidades costeras.



Abundancia de las principales pesquerías de las costas de Yucatán

La abundancia pesquera (kg) en las costas de Yucatán, ha disminuido significativamente en las últimas tres décadas. Los resultados demostraron que, en el pasado, las comunidades pesqueras de la zona Poniente solían capturar alrededor de 130 kg de producto fresco por embarcación mientras que en la zona Oriente y la zona Centro las capturas rondaban entre los 86 y 69 kg, respectivamente (Figura 22). Sin embargo, en la actualidad las capturas apenas superan los 50 kg por embarcación, esto también derivado del crecimiento del esfuerzo en el estado de 3,013 embarcaciones en los 90´s a 7,000 embarcaciones en 2018. En la Tabla 10, se observa que en la mayoría de las pesquerías se ha incrementado el esfuerzo pesquero. Ciertamente, son diversos factores que influyen en las capturas. Sin embargo, es evidente que las pesquerías costeras más importantes están mostrando claros signos de disminución debido a la sobrepesca. Esto se evidencia en la necesidad de alejarse más de la costa para encontrar las especies de interés comercial, la captura de ejemplares más pequeños y la reducción general en los volúmenes de pesca.

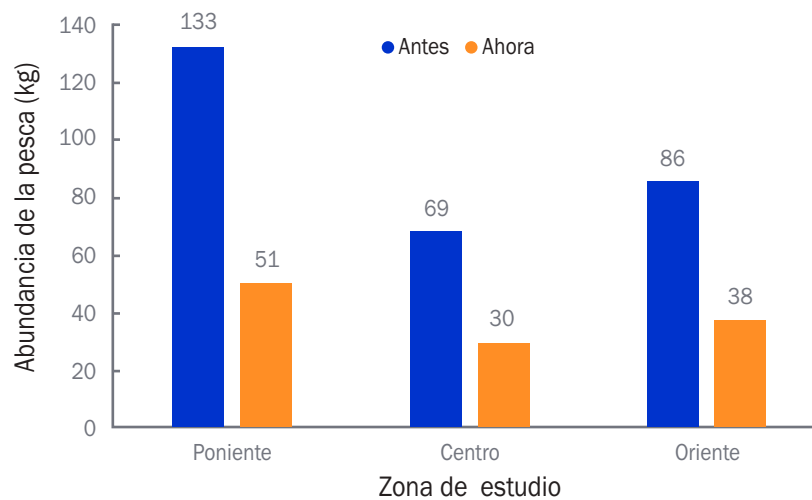


Figura 22. Abundancia pesquera (kg capturados por embarcación) de especies de importancia comercial en las comunidades costeras de Yucatán por zonas de estudio: centro, oriente y poniente.

En cuanto a la pesquería de pulpo, las comunidades del poniente solían capturar alrededor de 170 kg por embarcación, mientras que en el oriente y el centro estas cifras eran más bajas, alcanzando entre los 75 y 98 kg, respectivamente por embarcación. Hoy en día, la pesca de pulpo no supera los 70 kg en el poniente y los 50 kg en el oriente por embarcación, siendo el centro el que registra las capturas más bajas, con tan solo 35 kg por embarcación (Figura 23).

En la pesquería de escama también se observa una tendencia a la baja tanto en las capturas históricas como actuales (Figura 23). Históricamente, la captura de escama en la zona centro, oriente y poniente oscilaba entre los 80 y 100 kg por embarcación, pero en la actualidad estas apenas alcanzan los 40 kg por embarcación. Aunque no se dispone de información sobre las capturas de langosta en el poniente, se registró una disminución de las capturas del centro y oriente de Yucatán. En el pasado, las capturas de langosta eran superiores en la zona Oriente (78 kg por embarcación), pero en la actualidad ambas regiones no superan los 30 kg de captura fresca por embarcación. Aunque es importante señalar, que la pesquería de langosta ha cambiado en los últimos 3 años, ya que los compradores solicitan langosta viva. Por lo que, las embarcaciones no pueden transportar más de 30 kg de langosta por viaje de pesca (Figura 23).

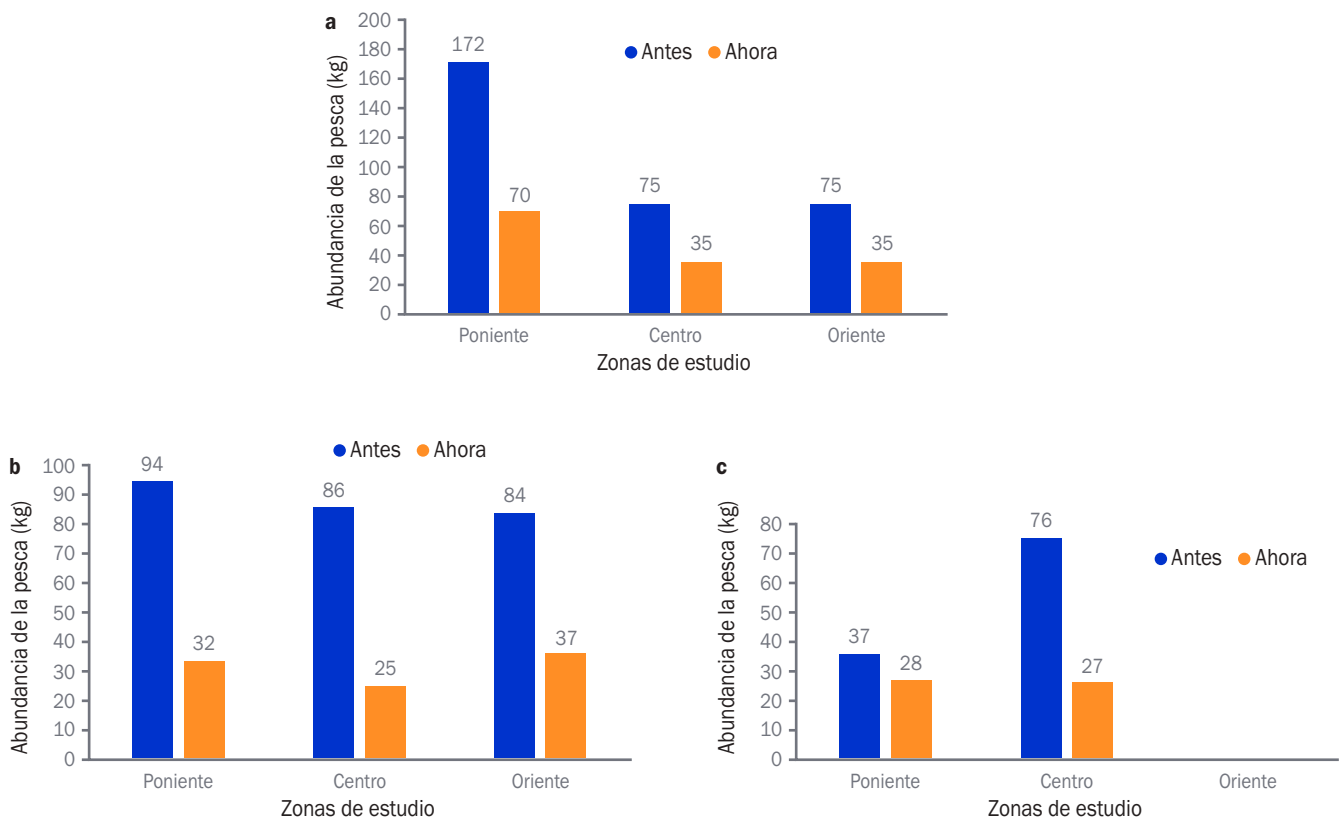


Figura 23. Abundancia pesquera (kg capturados por embarcación) de especies de importancia comercial en las comunidades costeras de Yucatán por zonas de estudio: centro, oriente y poniente.

Dependencia económica: tipo de pescador.

En la figura 24 se evidenció que de la población de pescadores en el estudio ($n=78$), el 65% son pescadores parciales, lo que significa que no pescan durante toda la semana o se dedicaban únicamente a las temporadas de pesca importantes. Mientras que, el 35% restante son pescadores de tiempo completo, esto indica, que la pesca es su única fuente de empleo y se dedica a esta actividad durante todo el año. Dentro del grupo de pescadores parciales, se observó que el 22% pertenecen a la zona Poniente, el 39% a la zona Centro y el otro 39% a la zona Oriente (Figura 25). En cuanto al grupo de pescadores de tiempo completo, se encontró que el 52% son de la zona Poniente, el 26% del Oriente y el 22% del Centro (Figura 25).

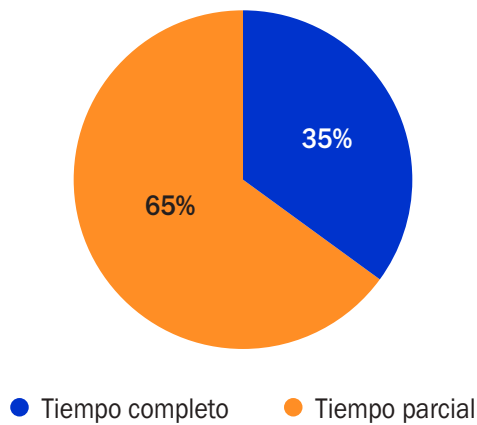


Figura 24. Porcentaje de pescadores de tiempo parcial y tiempo completo considerando el total de pescadores encuestados en las ocho comunidades pesqueras.

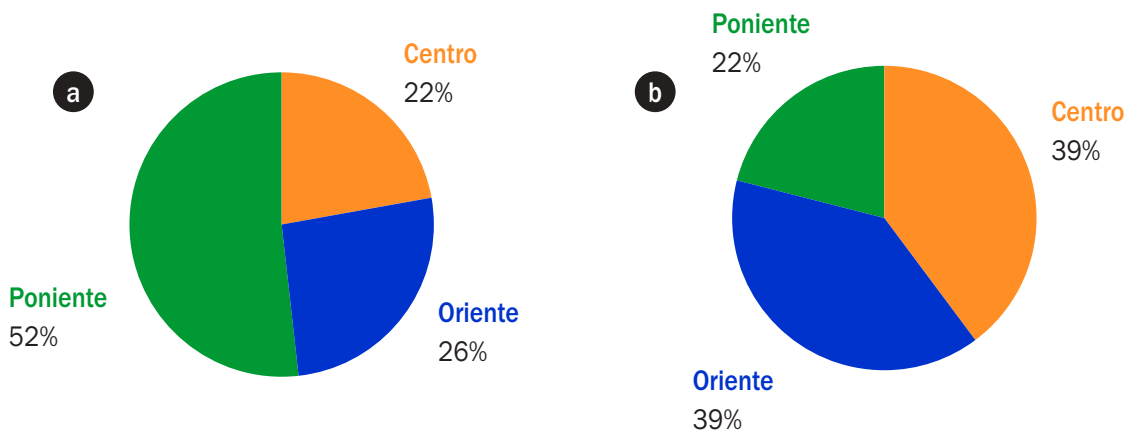


Figura 25. Comparación entre pescadores de tiempo completo (a) y tiempo parcial (b) en las comunidades costeras de Yucatán, desglosado por zona de estudio.

Dependencia económica: ingresos aproximados máximos y mínimos actuales.

En general, se observó que los pescadores de la costa de Yucatán obtienen ganancias mínimas (GMin) que van desde los \$400 hasta los \$800, mientras que las ganancias máximas (GMáx) oscilan entre los \$1,600 y los \$4,500 (Figura 26). Sin embargo, las pesquerías más destacadas en la región fueron principalmente la pesca de pulpo, escama y langosta. En el caso específico de la pesquería de pulpo, se observó que los valores más bajos en el GMin se registraron en el centro (\$317), seguidos por el oriente (\$333). Por otro lado, el poniente obtuvo los valores más altos en GMin, alcanzando los \$559. Con respecto al G.Max, el centro obtuvo los valores más bajos (\$1,917), mientras que el oriente y el poniente registraron valores cercanos entre los \$2,758 y \$2,867, respectivamente.

En cuanto a la pesca de escama, los valores de G. Min no superaron los \$250 en el centro, oriente y poniente. Del mismo modo, la ganancia máxima obtenida en el centro, oriente y poniente no fue superior a los \$1,100. Por último, en la pesca de langosta, se observaron los valores más bajos en ganancia mínima en el oriente (\$700), mientras que el centro y el poniente tuvieron valores entre los \$2,000 y \$3,000. En contraste, los valores más altos en G. Máx se observaron en el poniente (\$15,000), seguidos por el oriente (\$4,723) y el centro (\$2,250).

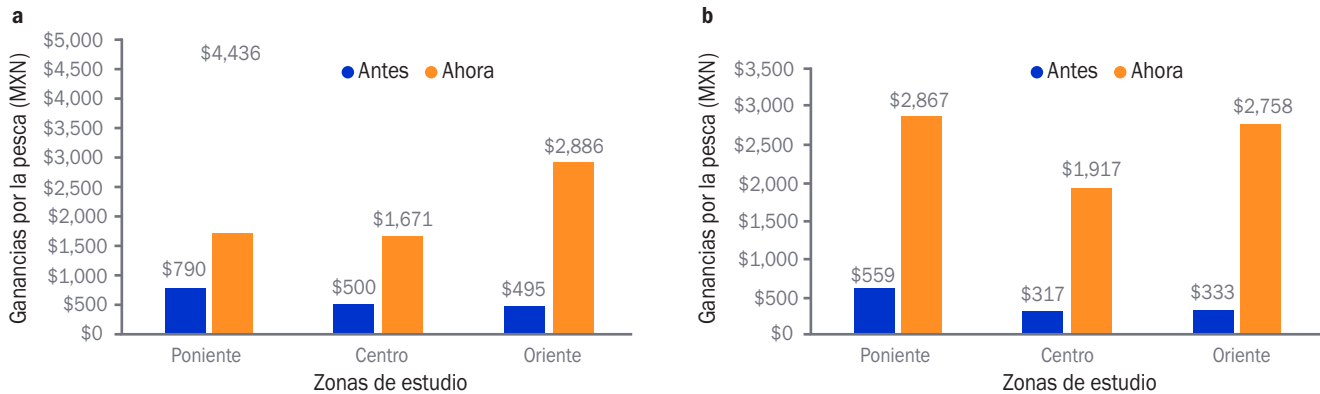


Figura 26. Ganancias mínimas y máximas por la actividad pesquera (a) y por la captura de pulpo (b) de las comunidades costeras de Yucatán zonas de estudio.

Precios históricos y actuales de las principales pesquerías de las costas de Yucatán

Los resultados presentados en la figura 27 revelan que, durante más de 10 años, el precio del producto derivado de la pesca se ha mantenido por debajo de los \$200 MXN por kilogramo. En cuanto a la pesquería de pulpo, los precios históricos en las tres zonas (centro, oriente y poniente) fueron de \$50 MXN por kilogramo, pero en la actualidad estos precios han casi duplicado su valor. Por otro lado, en la pesca de escama, los precios históricos fueron similares en el centro y el oriente, ambos con un valor de \$73 MXN por kilogramo, mientras que el poniente registró los precios más bajos, con \$36 MXN por kilogramo.

En el caso de la pesca de langosta, no se dispuso de información sobre los precios históricos en el centro y los precios actuales del poniente. Sin embargo, en el oriente se observó una ligera depreciación del precio del producto, pasando de \$497 MXN en el pasado a \$409 MXN en la actualidad.

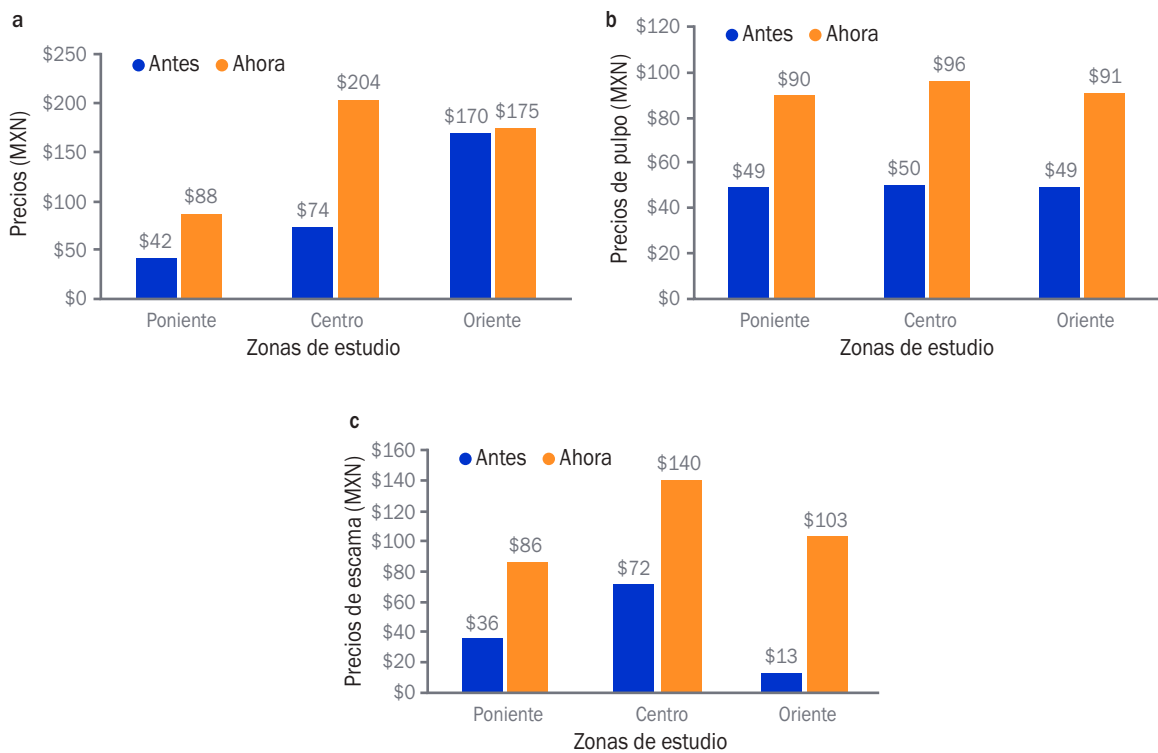


Figura 27. Variación de los precios históricos (más de 20 años) y actuales de las especies de importancia comercial de las comunidades costeras de Yucatán por zona de estudio (a). las principales especies en las zonas de estudio son: pulpo (b), escama (c) y langosta (d).

Aspectos socioeconómicos analizados mediante un análisis multivariado basado en permutaciones (PERMANOVA)



Se emplearon catorce indicadores socioeconómicos para estimar la sensibilidad socioeconómica de las comunidades costeras. Estos indicadores incluyen la edad, el grado de experiencia en la pesca, el nivel de alfabetización, el número de personas dependientes en el hogar, el consumo de pescado, la distancia del lugar de captura, el nivel de migración, el nivel de adicción, el nivel de robos, el nivel de desempleos, el grado de violencia en la comunidad, el grado de desorganización, el costo de los servicios básicos y el costo total del viaje de captura.

El análisis estadístico multivariado de una vía basado en permutaciones (PERMANOVA) demostró diferencias significativas entre las regiones costeras pertenecientes a Yucatán (Pseudo $F = 2.598$; $p(\text{perm}) = 0.0009$). Al realizar pruebas t multivariadas en pares, se destacó una notable diferencia entre las regiones: centro-poniente ($p(\text{perm}) = 0.051$) y el oriente-poniente ($p(\text{perm}) = 0.0004$). Sin embargo, las regiones centro-oriente mostraron similitudes estadísticamente significativas ($p(\text{perm}) = 0.271$). En cuanto al análisis de componentes principales (PCoA), este explicó el 46.32% de la variación total utilizando los tres primeros componentes (Figura 27). En el PCoA, se observó una correlación positiva en el eje horizontal (PCoA 1) entre los indicadores robo y violencia, lo que contribuyó en la dispersión en este eje. En el eje vertical (PCoA 2), las variables relacionadas con el número de personas dependientes en el hogar y el desempleo fueron las principales contribuyentes en esta dirección. Además, en el tercer eje (PCoA 3), se determinó una correlación positiva entre el número de personas dependientes del hogar y la distancia de viaje (Figura 28).

Los datos recopilados en la tabla 12 mostraron que las comunidades costeras de Yucatán presentaban un nivel medio de sensibilidad al cambio climático, con valores comprendidos de 0.40 para la zona centro, 0.36 para la zona oriente y 0.49 para la zona poniente.

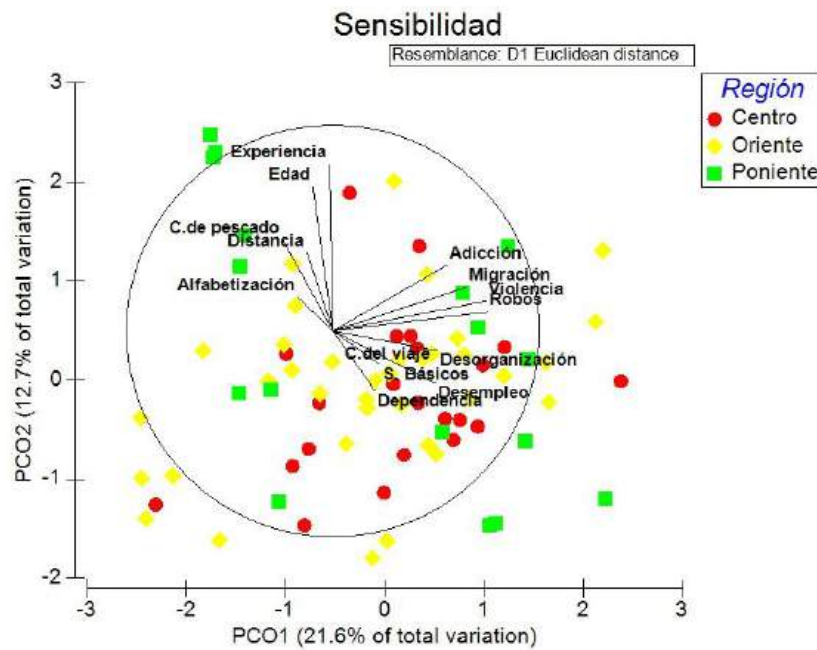


Figura 28. Coordenadas principales PCoA 1 vs PCoA 2 de catorce descriptores multivariados de la sensibilidad socioeconómica medidos en las comunidades costeras de Yucatán en la región: centro, oriente y poniente.

Tabla 12. Índices de sensibilidad socioeconómica ponderados en las comunidades costeras de Yucatán (valores ponderadores de cada factor 0 - 0.07 para sumar entre todos los factores el valor de 1).

Indicador	Zonas de estudio		
	Centro	Oriente	Poniente
Edad	0.035	0.034	0.04
Alfabetización	0.037	0.04	0.04
Personas dependientes	0.035	0.03	0.035
Consumo de pescado	0.02	0.018	0.02
Distancia (ahora-millas)	0.018	0.02	0.03
Migración	0.066	0.035	0.035
Adicciones	0.05	0.03	0.06

Robos	0.031	0.02	0.032
Desempleo	0.036	0.04	0.03
Violencia	0.05	0.02	0.02
Desorganización	0.035	0.03	0.06
Disponibilidad de servicios básico	0.02	0.03	0.03
Costos operativos por viaje	0.025	0.02	0.025
Sensibilidad	0.4	0.36	0.49

Capacidad adaptativa socioecológica

La capacidad de adaptación se evaluó mediante un análisis multivariado de cinco indicadores socioeconómicos. Asimismo, se realizó una tabla con información acerca de la vulnerabilidad pesquera y climática de las especies más importantes económicamente para la región con el objetivo de describir la capacidad de recuperación ecológica de estas especies ante el cambio climático.

Capacidad de recuperación ecológica.

Con base en los datos recopilados de FishBase y SeaLifeBase sobre la vulnerabilidad pesquera y climática, se pudo determinar que especies como *Cynoscion nebulosus*, *Epinephelus morio*, *Centropomus undecimalis*, *Octopus maya*, *Lachonalaimus maximus* y *Haemulon plumieri* presentan un nivel de vulnerabilidad pesquera y climática alta o muy alto. Por otro lado, *Lutjanus griseus*, *Ocyurus chrysurus* y *Scomberomorus cavalla* muestran un nivel de vulnerabilidad moderado-alto (Tabla 13). En contraste, *Panulirus argus* exhibió una vulnerabilidad baja-moderada, mientras que, *Callinectes sapidus* se consideró una vulnerabilidad baja. Con respecto a *Isostichopus badionotus*, no se encontró información disponible sobre su vulnerabilidad. No obstante, para esta especie se ha descrito un rango de temperatura que oscila entre los 12 a 26.7 °C. Como dato complementario, en la tabla 14 se indica el estado de explotación de las principales especies pesqueras en zona costera de Yucatán (DOF, 2023).

Tabla 13. Vulnerabilidad pesquera y climática de especies de importancia comercial de las comunidades costeras de Yucatán.

Nombre común	Nombre científico	Rango de temperatura (°C)	Temperatura media (°C)	Tiempo de generación	Vulnerabilidad pesquera	Vulnerabilidad climática	Referencia
Boquinete	<i>Lachonalaimus maximus</i>	23.7 - 28.2	27.2	S/N	Alta	S/N	Fishbase
Carito	<i>Scomberomorus cavalla</i>	23.5 - 28.1	27.2	6.1 (4.5-7.3) años	Moderada-Alta	Moderada-Alta	Fishbase
Chac-chí	<i>Haemulon plumierii</i>	23.4 - 28	25.9	3.5 (3.1-7.0) años	Alta	S/N	Fishbase
Curvina	<i>Cynoscion nebulosus</i>	12 - 26.7	24.3	5.8 (4.0-6.7) años	Alta	Alta	Fishbase
Jaiba	<i>Callinectes sapidus</i>	12.3 - 28	24.4	S/N	Baja	Baja	Sealifebase
Langosta	<i>Panulirus argus</i>	23.7 - 28	26.7	S/N	Baja-Moderada	Baja-Moderada	Sealifebase
Mero	<i>Epinephelus morio</i>	11.5 - 25.7	19.1	8.9 (6.9-10.9) años	Alta	Alta	Fishbase
Pargo mulato	<i>Epinephelus morio</i>	20 - 27.5	24.8	6.6 (4.8-8.8) años	Moderada	S/N	Fishbase
Rubia	<i>Ocyurus chrysurus</i>	21.7 - 27.9	25.9	6.9 (3.9-8.5) años	Moderada	Muy alta	Fishbase
Pepino	<i>Isostichopus badionotus</i>	22.8- 28	25.5	S/N	S/N	S/N	Sealifebase
Pulpo	<i>Octopus maya</i>	23.9 -27.7	26.5	S/N	Muy alta	Muy alta	Sealifebase
Robalo	<i>Centropomus undecimalis</i>	23.5 - 28.1	27.3	S/N	Moderada-Alta	Muy alta	Fishbase

Tabla 14. Estado de explotación de los principales recursos pesqueros de la zona costera de Yucatán.

Nombre común	Nombre científico	Estatus en la Carta Nacional Pesquera
Boquinete	<i>Lachonalaimus maximus</i>	SD
Carito	<i>Scomberomorus cavalla</i>	Sujeto a veda temporal
Chac-chí	<i>Haemulon plumierii</i>	En aprovechamiento
Curvina	<i>Cynoscion nebulosus</i>	En aprovechamiento
Jaiba	<i>Callinectes sapidus</i>	En aprovechamiento
Langosta	<i>Panulirus argus</i>	Veda temporal
Mero	<i>Epinephelus morio</i>	Veda permanente
Pargo mulato	<i>Lutjanus griseus</i>	En aprovechamiento
Rubia	<i>Ocyurus chrysurus</i>	En aprovechamiento
Pepino	<i>Isostichopus badionotus</i>	Veda temporal
Pulpo	<i>Octopus maya</i>	En aprovechamiento
Robalo	<i>Centropomus undecimalis</i>	En aprovechamiento

SD: No aparece listado en la Carta Nacional Pesquera 2023. Fuente (DOF, 2023)



Capacidad de recuperación ecológica.

La capacidad adaptativa se realizó incluyendo variables como empleos alternativos, seguro médico, apoyos económicos, estrategias de ahorro y acuacultura. Los resultados observados en el análisis multivariado de una vía basado en permutaciones (PERMANOVA) indicaron notables diferencias entre las regiones costeras de Yucatán ($Pseudo F=2.3762$; $p (perm)= 0.0186$). Al emplear pruebas t multivariadas en pares, se observó una diferencia significativa entre las regiones: poniente - oriente ($p (perm)= 0.0048$). Sin embargo, los valores en la región poniente - centro ($p (perm)=0.3734$) y centro - oriente ($p (perm)=0.1366$) no presentaron diferencias. En este sentido, el análisis de componentes principales (PCoA) explicó el 79.4% de la variación total utilizando las tres primeras coordenadas (Figura 29).

En el PCoA, se observó una correlación positiva en el eje horizontal (PCoA1) entre el seguro social y acuacultura, lo que contribuyó en la dispersión en este eje. En el eje vertical (PCoA2), la variable empleos alternativos presentó una variable positiva con la acuacultura, mismas que contribuyeron en esta dirección. Así mismo, en el tercer eje (PCoA3), también se determinó una correlación positiva entre las variables acuacultura y apoyo.

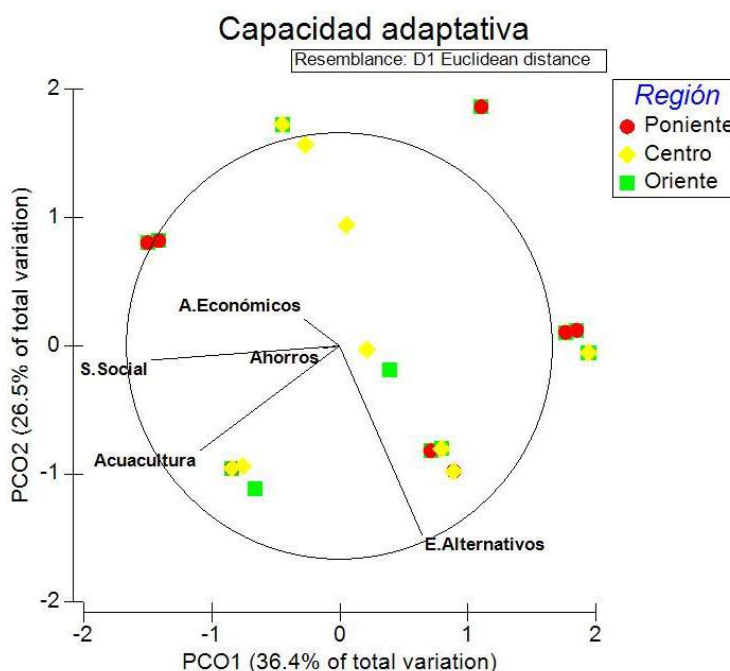


Figura 29. Coordenadas principales PCoA 1 vs PCoA 2 de cinco descriptores multivariados de la capacidad adaptativa medidos en las comunidades costeras de Yucatán en la región: centro, oriente y poniente.

Los datos recopilados en la tabla 15 revelaron que las comunidades costeras del centro de Yucatán presentaban un nivel alto de capacidad adaptativa ($CA=0.6$) ante fenómenos del cambio climático. Sin embargo, el oriente y poniente demostraron una baja capacidad adaptativa ($CA=0.2$).

Tabla 15. Índices de la capacidad adaptativa ponderados en las comunidades costeras de Yucatán por región: centro, oriente y poniente (valores ponderadores de cada factor 0 - 0.2 para sumar entre todos los factores el valor de 1).

Zona de estudio	Seguro médico	Empleo alternativo	Apoyos económicos	Ahorro	Acuicultura	Capacidad adaptativa
Centro	0.09	0.18	0.18	0.18	0.05	0.68
Oriente	0.09	0.08	0.09	0.1	0.07	0.43
Poniente	0.05	0.09	0.1	0.09	0.15	0.46

Vulnerabilidad socioecológica de la pesca ante el cambio climático

Los resultados obtenidos en la tabla 16 indicaron que las regiones más vulnerables al cambio climático en la pesca fueron el oriente (V= 0.40) y poniente (V= 0.48). Por otro lado, las comunidades costeras del centro de Yucatán mostraron una vulnerabilidad más baja (V=0.25), lo que sugiere una mayor capacidad adaptativa en comparación con las otras regiones pesqueras de Yucatán (Figura 30).

Tabla 16. Índices de la vulnerabilidad en las comunidades costeras de Yucatán por región: centro, oriente y poniente.

Zona	Exposición	Sensibilidad	Capacidad adaptativa	Vulnerabilidad	Nivel
Centro	0.44	0.49	0.68	0.25	Baja
Oriente	0.43	0.40	0.43	0.40	Media
Poniente	0.46	0.48	0.46	0.48	Media

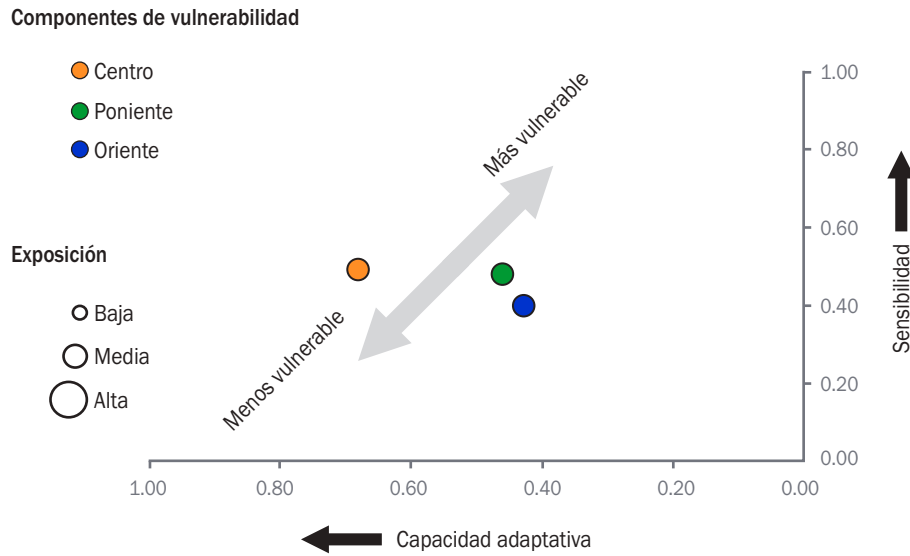


Figura 30. Componentes clave de la vulnerabilidad, comparando sensibilidad con capacidad de adaptación y el grado de exposición se indica con el tamaño de los círculos (Círculo más grande = mayor exposición).

Interacciones clave: modelos mentales de la vulnerabilidad socioecológica de las comunidades pesqueras de Yucatán.

Los sistemas socioecológicos pesqueros en las zonas Poniente, Centro y Oriente de la región costera de Yucatán presentan una interconexión de elementos que revelan un estado de vulnerabilidad. Los modelos mentales contruidos a partir de las percepciones de los actores locales evidencian las conexiones entre estos elementos y su fragilidad frente al cambio climático y las presiones derivadas de la actividad pesquera.

En estos modelos mentales se observan relaciones directas, tanto positivas como negativas. El cambio climático, por ejemplo, intensifica la erosión costera, la proliferación de mareas rojas, la presencia de frentes fríos, el aumento de la temperatura superficial del mar y la frecuencia e intensidad de huracanes y tormentas. Los modelos mentales de la zona poniente (Sisal y Celestún) ilustran cómo las actividades antropogénicas contribuyen negativamente a la erosión costera, la disminución de la vegetación de manglar y el bienestar comunitario, mientras que el cambio climático y la sobreexplotación afectan negativamente la abundancia de especies de importancia comercial como el pulpo, el mero y la jaiba (Figuras 31 y 32).

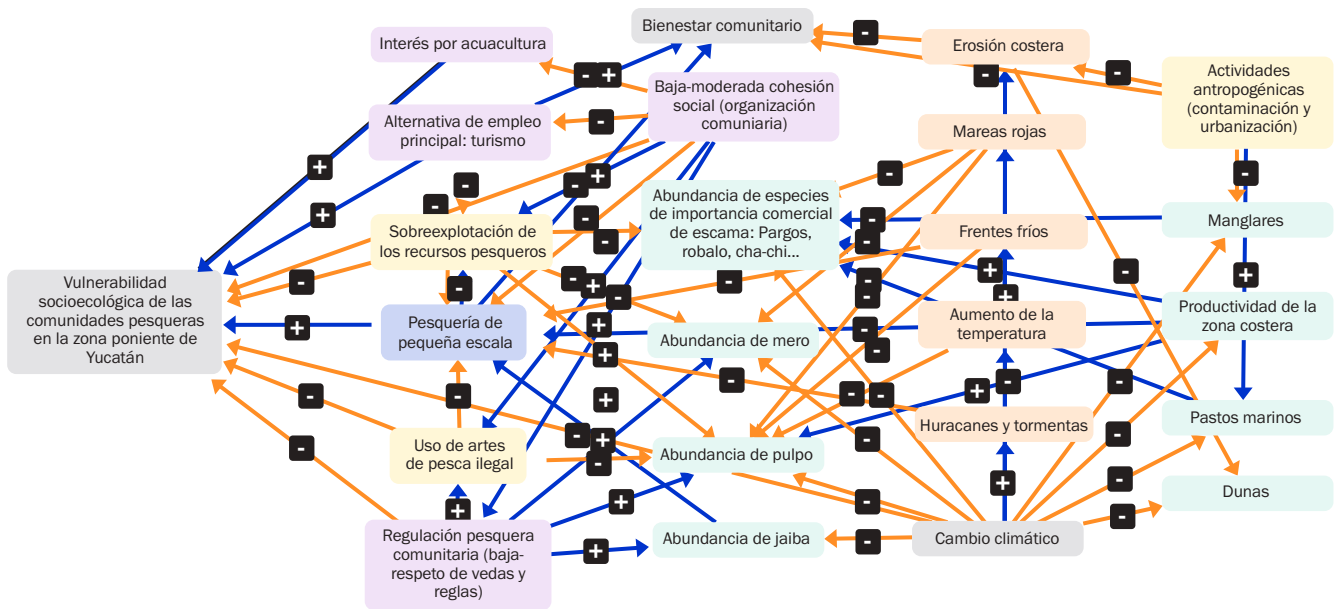


Figura 31. Modelo mental (mapa cognitivo difuso) de la representación de la vulnerabilidad socioecológica de la zona poniente (Sisal y Celestún). Las flechas de color naranja indican un efecto negativo y las flechas de color azul señalan un efecto positivo.

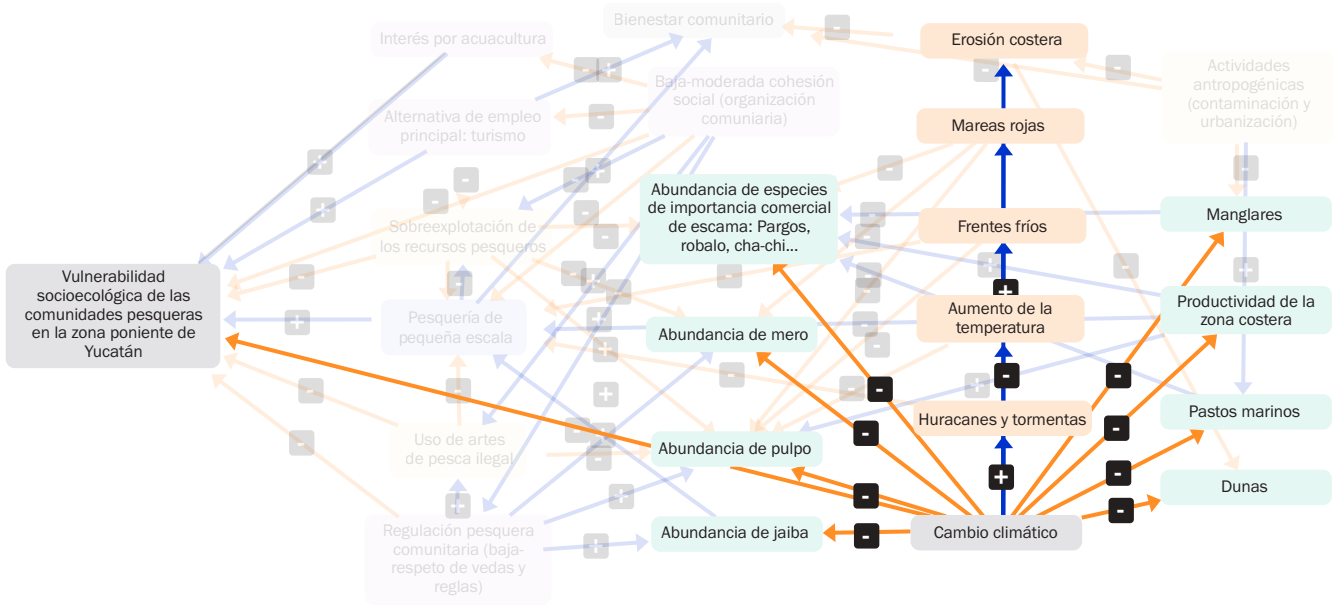


Figura 32. Modelo mental (mapa cognitivo difuso) y representación de la vulnerabilidad socioecológica ante el cambio climático en la zona poniente (Sisal y Celestún). Las flechas de color naranja indican un efecto negativo, y las flechas de color azul señalan un efecto positivo.

En la figura 33, se presenta el modelo mental de la vulnerabilidad socioecológica ante el cambio climático en la zona Centro (Chuburná, Progreso y Telchac). En donde se observa un cambio de importancia de las especies con la zona Poniente. En la figura 34, se muestra el modelo mental de la vulnerabilidad socioecológica ante el cambio climático en la zona Oriente (Dzilam de Bravo, San Felipe y Rio Lagartos).

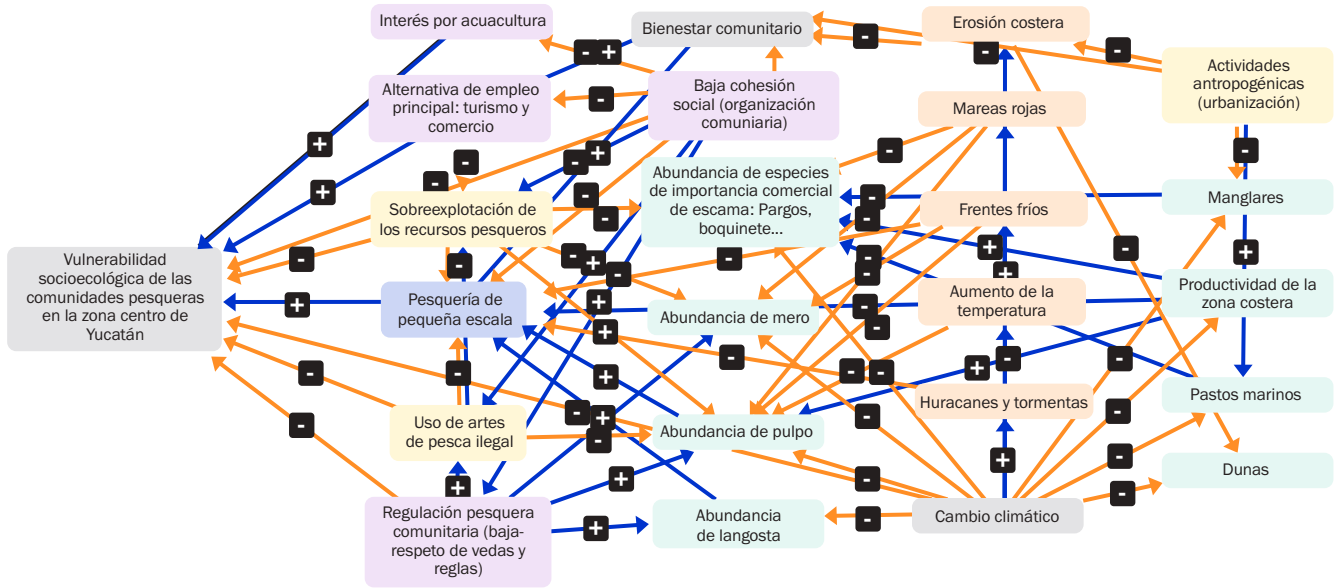


Figura 33. Modelo mental (mapa cognitivo difuso) y representación de la vulnerabilidad socioecológica ante el cambio climático en la zona centro (Chuburná, Progreso y Telchac) flechas de color naranja: efecto negativo, flechas de color azul: efecto positivo.

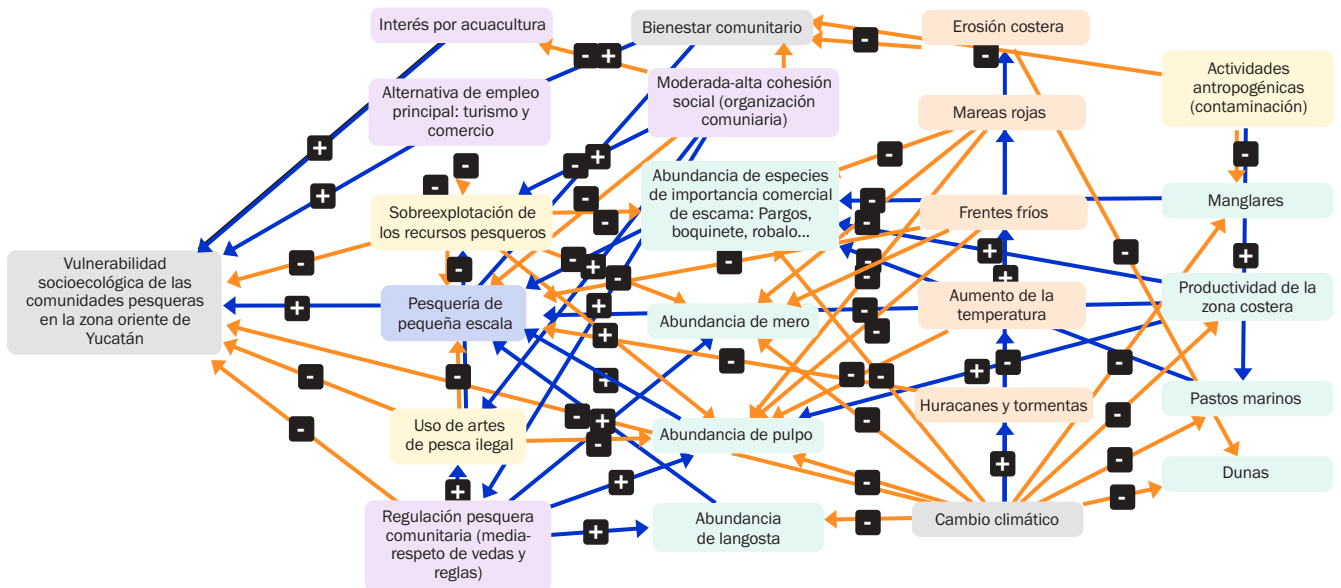


Figura 34. Modelo mental (mapa cognitivo difuso) y representación de la vulnerabilidad socioecológica ante el cambio climático en la zona oriente (Dzilam de Bravo, San Felipe y Rio Lagartos) flechas de color naranja: efecto negativo, flechas de color azul: efecto.

Impactos antropogénicos y aspectos sociales en las zonas de estudio

Zona Poniente: Celestún y Sisal

• Impacto ambiental por la contaminación de residuos sólidos

Según los resultados de las encuestas, los pescadores de Celestún identifican varios problemas en su comunidad, siendo uno de los más destacados la acumulación de basura. Señalan la falta de un sistema de separación de residuos en la localidad, lo que conduce a la quema indiscriminada de desechos, incluyendo plásticos (Figura 35). Además, expresan preocupación por la presencia de perros callejeros, los cuales representan un riesgo para la salud pública al propagar enfermedades como la rabia. Además de perturbar la fauna local y presentar comportamientos agresivos hacia las personas.

De igual forma, reconocen la contaminación provocada por el aceite de las embarcaciones y los residuos generados por la actividad pesquera, como restos de alimentos y vísceras. Esta problemática de contaminación, especialmente por residuos plásticos, se evidencia tanto en las calles de Celestún como en la ría y la zona costera. Finalmente, se evidenció la escasez de servicios básicos, como el agua potable, debido a un tramo de la red de abastecimiento resultó dañado a causa de un incendio. Esta situación se ha presentado en repetidas ocasiones durante el mes de mayo, específicamente en los años 2019, 2022 y 2024, dejando sin suministro de agua a aproximadamente 10,000 habitantes (Figura 36).

• Empleos alternativos

En cuanto a las alternativas de empleo para obtener ingresos durante las temporadas de vedas o cuando se presentan frentes fríos, los pescadores de Celestún señalan que se dedican a la extracción de sal, apicultura y chapeo de terrenos. Algunos tienen la posibilidad de trabajar en embarcaciones de turismo. Es importante destacar que estos trabajos son informales, y los pescadores carecen de servicio médico o prestaciones.



Figura 35. Problemáticas en la localidad de Celestún Yucatán: (a) Perros callejeros dentro del basurero, (b) Residuos sólidos en las calles y una charca que se utilizó para extraer sal.



Figura 36. Pobladores de Celestún esperando una pipa para poder suministrarles de agua potable, debido a la falta de este recurso en sus hogares.

Por otro lado, la declaración de la comunidad de Sisal como Pueblo Mágico y Playa Platino ha permitido diversificar las fuentes de empleo, especialmente hacia el ecoturismo y la venta de pescado y marisco. Sin embargo, esta no ha sido la única opción. La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), establecida en la comunidad desde hace más de 20 años, ha influenciado en los pescadores despertando un creciente interés por el cultivo de especies endémicas de la región. Esto les permitió crear la primera granja acuícola para el cultivo de Octopus maya, denominada Moluscos del Mayab, la cual aún no se encuentra en operación.

• Cambios en la comunidad

Basado en las observaciones realizadas durante salidas a campo para la aplicación de las encuestas, los pescadores en la comunidad de Sisal expresaron una constante preocupación por los cambios en su entorno. En primer lugar, mencionaron el recurrente estancamiento de arena en la entrada del sitio de desembarque principal, lo cual dificulta las labores de pesca y dragado, ya que la arena vuelve a acumularse rápidamente (Figura 37). Otro problema señalado es la enorme acumulación de basura, que genera diversas problemáticas sanitarias.



Figura 37. Problemáticas en la localidad en Sisal Yucatán: residuos sólidos en el puerto de abrigo de la comunidad de Sisal, Yucatán (imagen de lado izquierdo) y banco de arena en la entrada del sitio de desembarque de la comunidad de Sisal, Yucatán.

Además, los pescadores destacaron que la llegada de inversores extranjeros ha causado un gran impacto negativo en las dunas costeras, las cuales se han reducido constantemente debido a la construcción de hoteles y la urbanización (Figura 38). La pérdida de sedimentos en la playa causa su deterioro, retroceso y pérdida de calidad como hábitat, además de reducir su capacidad de protección, poniendo en peligro propiedades y bienes. A esto se suma el impacto económico y la pérdida de servicios ambientales, así como el daño a los ecosistemas costeros cercanos (Cuevas-Jiménez et al., 2009).

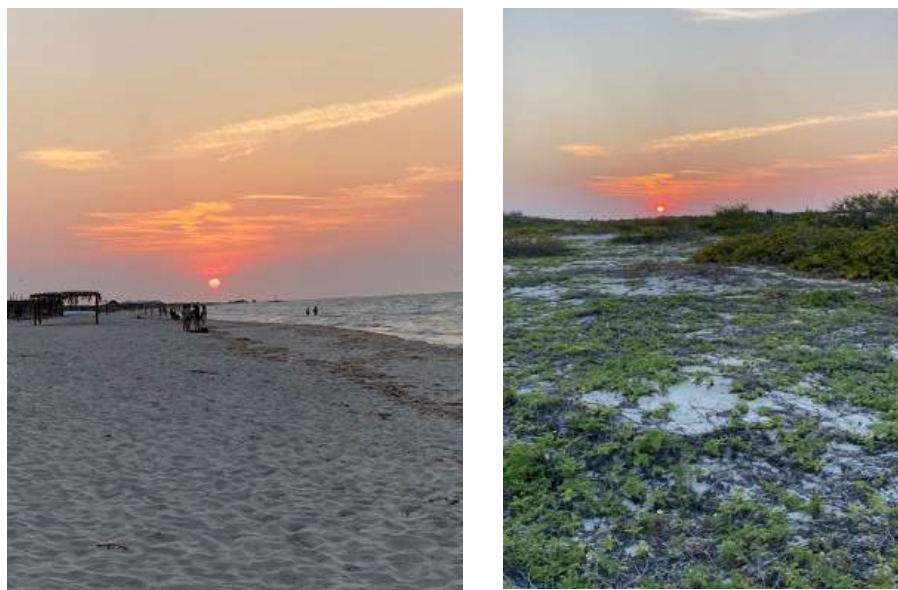


Figura 38. Problemáticas en la localidad en Sisal Yucatán: construcción de palapas en la orilla de la playa (imagen de lado izquierdo) y dunas costeras (imagen de lado derecho).

Zona Centro: Chuburná, Telchac y Progreso

• Conflictos sociales del ecoturismo

En la comunidad de Chuburná, el rápido y fácil acceso vial ha permitido desarrollar algunas alternativas laborales para los pescadores (Figura 39). Sin embargo, también ha generado conflictos dentro de la comunidad. Los pescadores mencionaron que, debido al declive de la pesca, el ecoturismo se ha convertido en una de las principales fuentes de empleo. No obstante, esta actividad ha creado tensiones, ya que los pescadores de tiempo completo no pueden participar en estas actividades al no contar con la infraestructura adecuada, los equipos necesarios o no pertenecer a alguna cooperativa que brinde estos servicios. Por otro lado, los pescadores parciales se dedican tanto a la pesca de escama como al ecoturismo. Esto genera el descontento de los pescadores de tiempo completo en la comunidad.



Figura 39. Puerto de abrigo de la localidad de Chuburná Yucatán.

- **Conflictos ambientales**

En la comunidad de Telchac, los pescadores han observado que la erosión costera y el transporte de arena por las corrientes marinas han afectado la entrada al puerto de abrigo, llegando a obstruirlo en ocasiones debido a la acumulación de sedimentos (Figura 40). Esta problemática dificulta el paso de las embarcaciones, ralentizando su entrada y salida, y pone en riesgo los motores debido al bajo nivel del agua en la entrada del puerto (Figura 41).



Figura 40. Encuesta a pescadores en la localidad de Telchac Yucatán.



Figura 41. Dragado de playa en la entrada del puerto de abrigo de Telchac puerto Yucatán.

Los pescadores de Progreso están al tanto de la tala de manglares y la destrucción de dunas costeras en las áreas de Progreso y Chicxulub (Figura 42). No obstante, debido a la ubicación del puerto de abrigo en la parte interna del Puerto de abrigo de Yucalpetén, no perciben que estas actividades afecten directamente a la pesca o a los recursos pesqueros, este problema suele pasar en varios puertos de abrigo del estado ya que, al no percibir el daño a la flora en su alrededor, estas afectaciones podrán seguir incrementando (Figura 43). La construcción de desarrollos inmobiliarios, carreteras y la tala ilegal son las principales causas de la deforestación de los bosques de manglar en la costa de Yucatán. Se estima que estas prácticas han provocado la pérdida de entre 20,000 y 30,000 hectáreas de manglar en todo el litoral del estado.

De acuerdo con Osorio Olvera et al., (2024), durante el periodo del 2005 al 2015, el Área Natural Protegida (ANP) de Celestún registró una disminución de la superficie de manglar de 103 ha. Los manglares son sometidos a fuertes presiones antropogénicas derivadas de la extracción constante de madera para la construcción, la tala ilegal para el mantenimiento de viviendas, la producción de carbón vegetal y el uso artesanal de la sal (salinas) por parte de las comunidades aledañas a la reserva. En Celestún, se observa un fuerte cambio de uso de suelo para la expansión de la actividad turística y la posible construcción de infraestructuras. Mientras que el ANP de Río Lagartos muestra una disminución de las tasas de deforestación y un aumento de la recuperación del manglar.



Figura 42. Destrucción de manglares en la zona de Progreso y Chicxulub Yucatán para la construcción de viviendas irregulares.



Figura 43. Puerto de abrigo "La Caleta" para embarcaciones menores en el Puerto de Progreso Yucatán (Flecha roja indica la ubicación de la Caleta).

• Empleos alternativos

Debido a la escasez de escama, pulpo y langosta, los pescadores de Telchac han tenido que buscar alternativas para generar ingresos, como la venta de mariscos crudos empaquetados o la apertura de restaurantes de mariscos. Sin embargo, la demanda estacional de estos productos ha llevado a los pescadores a desplazarse a otras comunidades, como Progreso, para adquirir productos que no están disponibles en su propia comunidad (Figura 44).



Figura 44. Comedor de Pescados y Mariscos propiedad de un pescador en Telchac.

Zona Oriente: Dzilam de Bravo, Río Lagartos y San Felipe

• Conflictos ambientales

La pesquería de pepino de mar en Dzilam de Bravo, iniciada en el año 2000, alcanzó su auge económico en 2012 debido a la alta demanda en mercados asiáticos. Sin embargo, este éxito tuvo un costo social significativo para la comunidad local. La afluencia de pescadores foráneos trajo consigo cambios culturales y vicios perjudiciales, como el aumento de la ilegalidad, la práctica del "pachochero" (solicitar productos pesqueros de forma gratuita) y el incremento en el consumo de alcohol y drogas. Estos problemas sociales, desencadenados por la pesca del pepino de mar, persisten en la comunidad hasta la actualidad (Figura 45).

• Empleos alternativos

La participación de las mujeres en la pesca en Yucatán, particularmente en Dzilam de Bravo, ha sido y sigue siendo fundamental. Desde la década de 2000, las mujeres han desempeñado un papel crucial en la cadena de valor de los productos pesqueros, realizando tareas como la limpieza, cocción y fileteado de especies como langosta, pulpo y escama. Estas actividades les brindan a las mujeres de la localidad una fuente de empleo constante y contribuyen a la economía local (Figura 46).



Figura 45. Captura ilegal de especies de pulpo y pepino de mar en la localidad de Dzilam de Bravo Yucatán.



Figura 46. C. Participación de la mujer en las actividades de pesca en Dzilam de Bravo.

• Organización pesquera y cambios en la pesca de langosta

Desde hace algunos años, la comunidad de Río Lagarto se ha distinguido por su constante y efectiva organización en la actividad pesquera, lo que les ha permitido mantener y preservar los recursos pesqueros (Figura 47). En esta comunidad, la principal fuente de ingreso es la pesca de langosta (*Panulirus argus*), la cual se ha adaptado a las demandas del mercado. Inicialmente, la pesca de langosta se realizaba mediante técnicas como el buceo, donde la cola de langosta era el producto más valorado económicamente. Sin embargo, recientemente, la pesca ha cambiado hacia la captura de la langosta viva, lo que ha incrementado notablemente el precio del producto, llegando a valer hasta tres veces más que la cola de langosta.



Figura 47. Puerto de abrigo y artes de pesca empleados en la localidad de Río Lagartos.

En los últimos años, las langostas se capturan por medio de trampas o ganchos, por pescadores de San Felipe y Río Lagartos, estas se entregan vivas en la planta empacadora centralizada en la SPPP Manuel Cepeda Peraza en Río Lagartos. Esta cooperativa se encuentra apoyada por la empresa Internacional Ocean Leader, la cual ha dotado de tanques y del equipo necesario para mantener las langostas vivas.

Una vez en la planta, las langostas se colocan en los tanques con agua salada y con sistemas de aireación. Antes de ser empacadas, las langostas deben permanecer en los tanques al menos por 12 horas con el objetivo de que puedan estar bien oxigenadas y sin ningún estrés post-captura. Posteriormente, son exportadas vivas desde el aeropuerto de Mérida hacia las instalaciones de Ocean Leader en Cancún, Quintana Roo. Desde allí, son transportadas vía aérea a Tijuana, México, antes de llegar a sus destinos finales en mercados asiáticos, principalmente Hong Kong y China, que en los últimos años han superado a Taiwán y Estados Unidos como principales importadores (Izquierdo y Guerrero, 2023).

• Organización y el rol de las mujeres en la pesca

San Felipe se destaca por tener la mejor organización pesquera de todo Yucatán (Figura 48). En esta comunidad, los pescadores han mencionado que la vigilancia de los recursos pesqueros es llevada a cabo principalmente por ellos mismos, con el apoyo de las autoridades federales. Esta colaboración ha permitido mantener y preservar sus recursos. Además, han solicitado a las autoridades extender los periodos de veda de las especies más importantes económicamente en la región, valorando los beneficios de este mecanismo. En San Felipe, también existe una población de mujeres que se dedican exclusivamente a la pesca de crustáceos como el maxquil, lo que constituye su principal fuente de ingreso y demuestra los diversos roles de la mujer en la actividad pesquera.

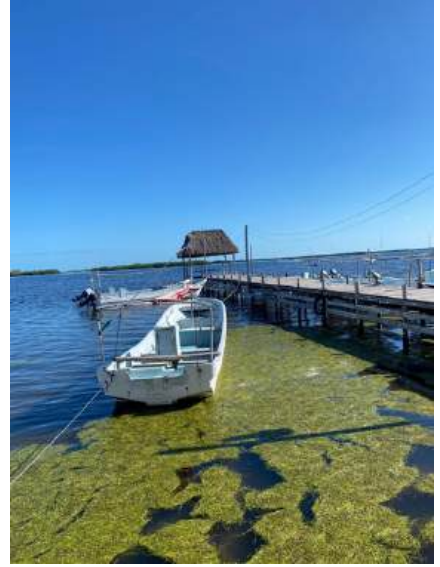


Figura 48. Puerto de abrigo de la comunidad de San Felipe Yucatán, afectado por el sargazo.



Encuesta digital a informantes clave

Se obtuvieron 21 respuestas por parte de los informantes clave. 13 fueron las instituciones que contestaron de manera voluntaria. Los roles y responsabilidades de los encuestados dentro de sus organizaciones en relación con la pesca y la acuicultura fueron diversos: Investigación, participación en la actividad pesquera y se realizan las gestiones correspondientes al otorgamiento de permisos de pesca, atención de las necesidades de investigación en materia de Pesca y Acuicultura, jefes de proyectos de la pesquería en Yucatán, gestiona convenios, programas y acciones que aporten valor a la actividad pesquera del Estado, apoyo técnico en torno a ZRP, mesa directiva de CANAIPESCA, capacita, coordina y asesora en aspectos pesqueros y acuícolas e instituciones académica encargadas de respaldar y generar información y conocimiento científico y tecnológico relacionadas con la pesca, la acuicultura (Figura 49).

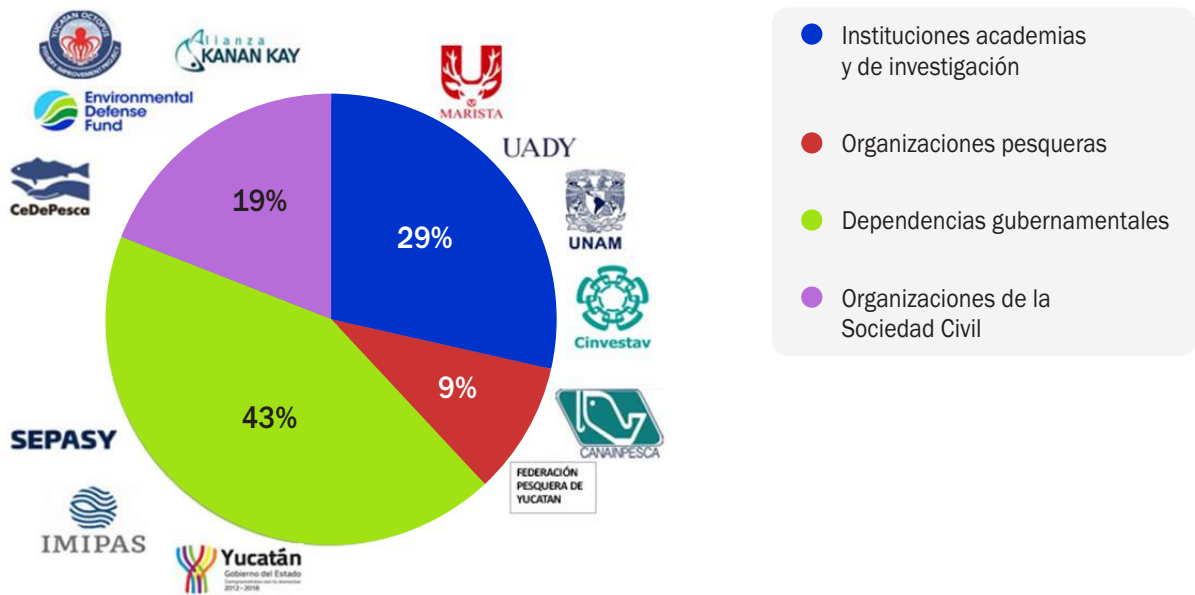


Figura 49. Informantes clave que realizaron la encuesta digital en Google Form.

Gestión de la pesca

En el estudio, se preguntó a los informantes clave sobre cómo sus instituciones evalúan la vulnerabilidad de los pescadores, acuicultores y comunidades costeras frente al cambio climático y los cambios en el ambiente marino. Para analizar las respuestas, se realizó una estandarización de estas, utilizando como referencia la tabla 17 y la figura 50, las cuales detallan los criterios y métodos empleados en la evaluación de la vulnerabilidad.

Tabla 17. Estandarización de las respuestas de la pregunta dos dirigida a informantes clave.

Pregunta	Informantes clave	Respuestas		
		Sí evalúan	No evalúa	En proceso
Cómo evalúa su institución la vulnerabilidad de los pescadores/as, acuicultores/as y las comunidades costeras frente al cambio climático y los cambios en el ambiente marino	Dependencias gubernamentales	9	1	6
	Instituciones académicas y de investigación	8	1	0
	Organizaciones de la Sociedad Civil.	1	2	2
	Organizaciones pesqueras	0	2	0

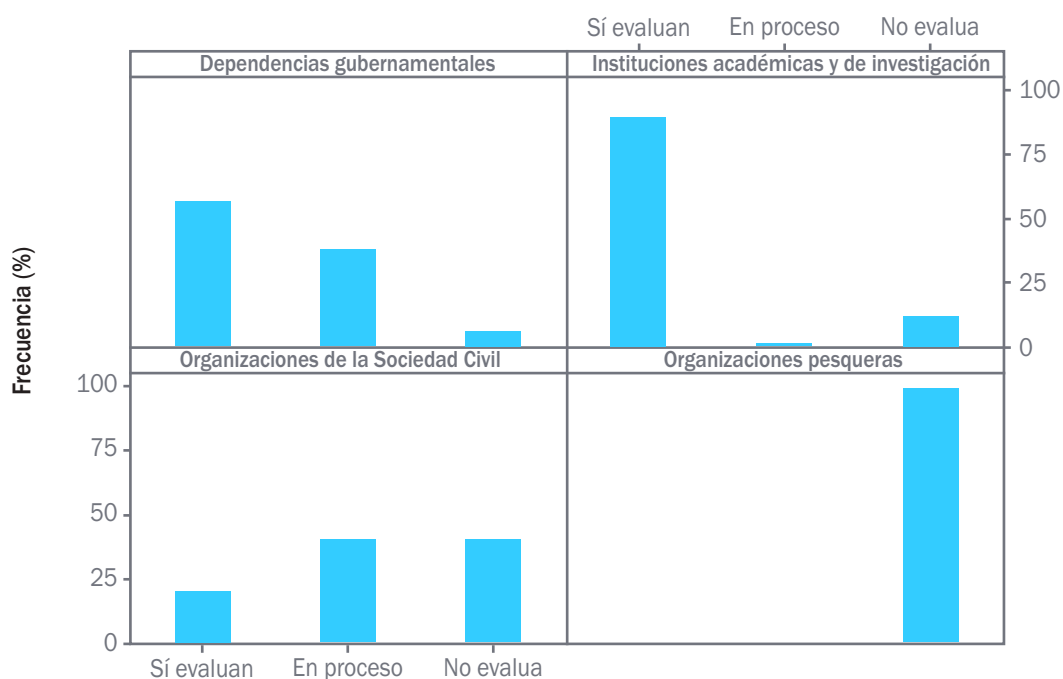


Figura 50. Respuestas sobre si evalúan la vulnerabilidad en cada organización encuestada.

Se evaluaron las medidas y estrategias implementadas por diferentes instituciones para apoyar la adaptación al cambio climático y la mitigación de sus impactos en la pesca y acuicultura. Un análisis cualitativo (Tabla 18) reveló que las dependencias gubernamentales lideran la implementación de dichas medidas, mientras que las organizaciones pesqueras se enfocan principalmente en la concienciación ambiental y en agregar valor a sus productos para mejorar sus ingresos. Las respuestas fueron categorizadas y analizadas mediante un proceso de estandarización (Figura 51).

Tabla 18. Estandarización de las respuestas de la pregunta abierta no. tres dirigida a informantes clave.

Informantes clave	Canales cooperación	Conciencia	Evaluaciones	Talleres	Ninguna	Diversificación	Investigación
Dependencias gubernamentales	1	0	2	4	2	1	3
Instituciones académicas y de investigación	2	0	0	3	1	0	0
Organizaciones de la Sociedad Civil	2	1	2	2	0	0	0
Organizaciones pesqueras	0	1	0	0	0	1	0



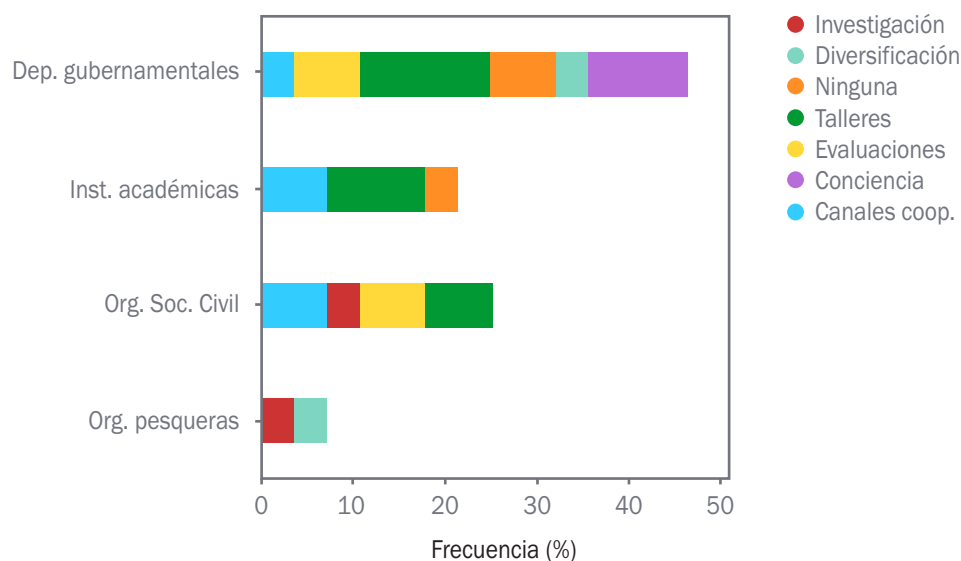


Figura 51. Respuestas sobre qué medidas o estrategias han implementado cada institución para apoyar a los pescadores/as y acuacultores/as en la adaptación al cambio climático.

Los resultados indican que más del 50% de las organizaciones e instituciones encuestadas carecen de programas o proyectos específicos para fomentar la resiliencia de las comunidades costeras frente al cambio climático. No obstante, se informó sobre la búsqueda activa de estrategias y la incorporación gradual de acciones dirigidas a abordar esta problemática.

La coordinación interinstitucional se realiza principalmente a través de la participación en proyectos, foros y convenios, así como en talleres, conferencias y reuniones. Sin embargo, los encuestados confirmaron una falta de comunicación entre las organizaciones pesqueras y otras instituciones en relación con la vulnerabilidad pesquera y la contribución potencial de la investigación a este tema (Tabla 19 y Figura 52).

Tabla 19. Estandarización de las respuestas de la pregunta abierta no. cinco dirigida a informantes clave.

Pregunta	Descripción	Ponderación
¿Coordinación de las instituciones con otras entidades gubernamentales, organizaciones no gubernamentales u organismos internacionales para abordar la vulnerabilidad pesquera y acuícola ante el cambio climático?	*Foros académicos, talleres, conferencias, reuniones	12.28%
	*Constante comunicación (implementación de opciones viables para el pescador)	3.51%
	*Participación en proyectos, mediante vinculación y convenios de colaboración entre instituciones.	84.21%

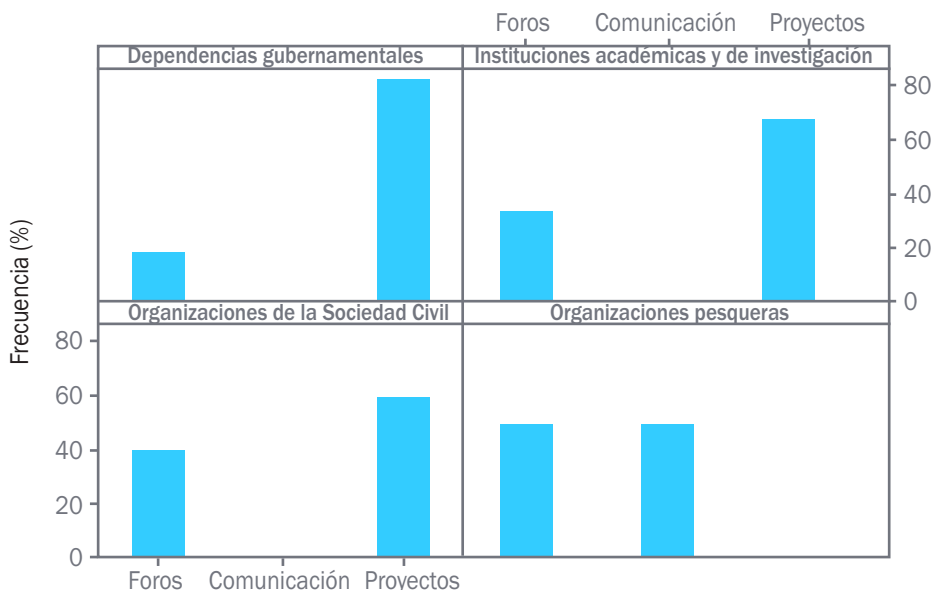


Figura 52. Respuestas sobre cómo se coordinan los informantes clave para la realización de acciones ante el cambio climático.

En cuanto a las prioridades de gestión ambiental y adaptación al cambio climático, el 42% de los informantes clave destacaron la importancia de la evaluación pesquera y la actualización de las herramientas de manejo. Estas acciones se consideran esenciales para abordar la desigualdad entre comunidades y combatir la pesca ilegal a través de una mayor inspección y vigilancia. Las organizaciones pesqueras, en particular, enfatizaron la relevancia de esta cuestión (Tabla 20 y Figura 53).

Tabla 20. Estandarización de las respuestas de la pregunta abierta no. seis dirigida a informantes clave

Pregunta	Descripción	Ponderación
Principales prioridades de las instituciones en términos de gestión ambiental y adaptación al cambio climático en a actividad pesquera o acuícola.	*Establecer medidas de mitigación, desarrollo sustentable, gobernanza y políticas públicas.	8%
	*Actividades de inspección y vigilancia comunitaria.	3%
	*Evaluación de recursos pesqueros, analizar, actualizar, adecuar herramientas de manejo necesarias.	42%
	*Implementan medidas de recuperación a través de las Zonas de Refugio Pesquero.	11%
	*Cuidado del medio ambiente y la atención a las comunidades con necesidades o en condiciones de vulnerabilidad.	35%

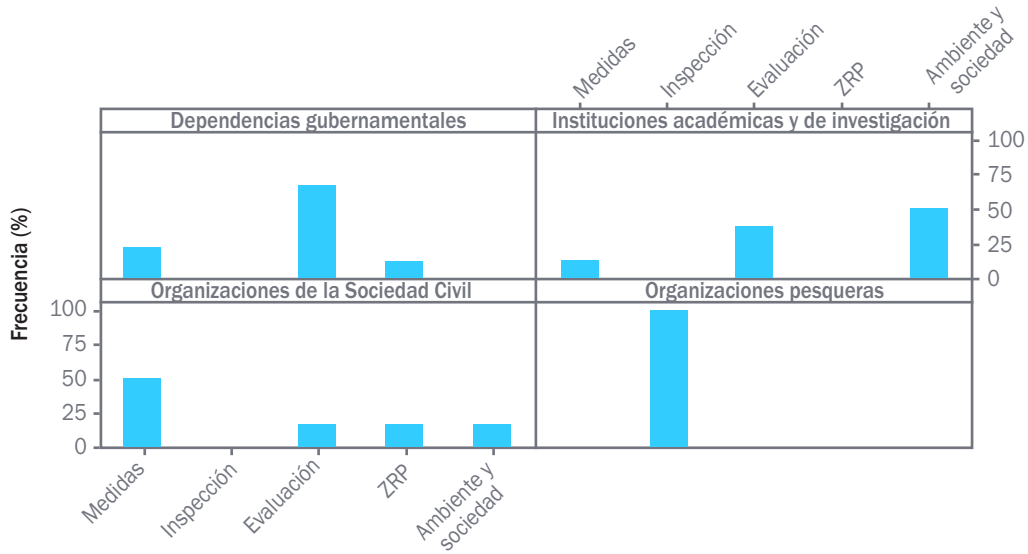


Figura 53. Respuestas sobre la principal prioridad de cómo los informantes clave toman en cuenta las acciones ante el cambio climático.

En cuanto a las prioridades de gestión ambiental y adaptación al cambio climático, el 42% de los informantes clave destacaron la importancia de la evaluación pesquera y la actualización de las herramientas de manejo. Estas acciones se consideran esenciales para abordar la desigualdad entre comunidades y combatir la pesca ilegal a través de una mayor inspección y vigilancia. Las organizaciones pesqueras, en particular, enfatizaron la relevancia de esta cuestión (Tabla 20 y Figura 53).

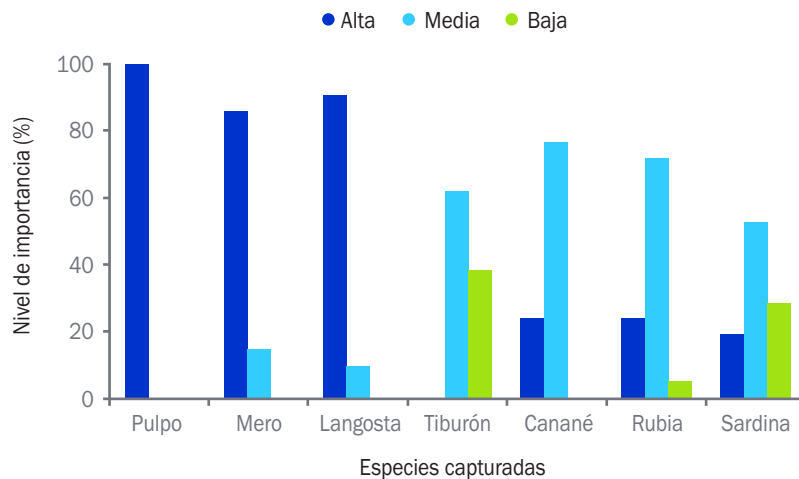


Figura 54. Percepción de los informantes clave de las especies de importancia económica para los pescadores de la costa de Yucatán.



Figura 55. Principales especies de importancia comercial en Yucatán.

La percepción de los informantes clave ante eventos climáticos, registra que los huracanes seguido por las mareas rojas son las externalidades causadas por la naturaleza que les ha afectado en la actividad pesquera y que en los últimos años se han tenido fuertes eventos de este tipo en la región. Aguilar-Trujillo et al. (2017) señalan que la región oriental de Yucatán (Dzilam a El Cuyo) presenta condiciones propicias para el desarrollo de floraciones de algas nocivas (FAN). Estas condiciones incluyen una alta cobertura de vegetación acuática sumergida, corrientes de baja intensidad y un elevado aporte de nutrientes proveniente de descargas de aguas subterráneas. Los autores detectaron altos niveles de fosfatos previos a las FAN, lo que sugiere una posible relación entre la disponibilidad de nutrientes y la proliferación de estas algas.

Por otro lado, las lluvias fueron las menos mencionadas esto se cree a que estos eventos no han sido tan fuertes en los últimos años, en donde es la zona centro del litoral de Yucatán las comunidades en donde la marea roja es más abundante la eutroficación, debido a la contaminación orgánicas por parte de los asentamientos humanos (Figura 56).

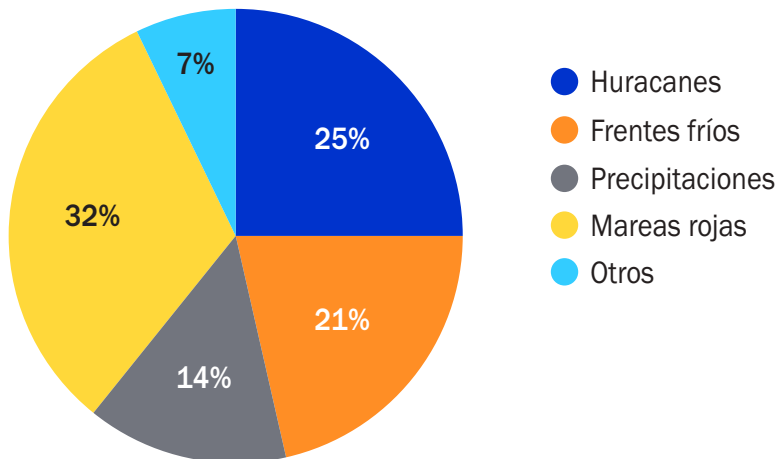


Figura 56. Percepción de los informantes clave con respecto a los eventos climáticos que han aumentado y afectado a la actividad pesquera y acuícola.

La percepción de los informantes clave respecto a la acuicultura muy pocos encuestados mencionaron que la actividad no es favorable económicamente para el estado, por otro lado, más del 50% mencionó que podría ser una actividad viable para sus ingresos de los pescadores, y que pudiera ser una alternativa a la escasa pesca que existe en la región, también mencionan que la acuicultura aunque hoy en día no está una actividad importante en la zona, se han realizado estudios que evidencian que la actividad de la acuicultura puede ayudar a la economía en las comunidades aledañas al sistema costero de Yucatán (Figura 57).

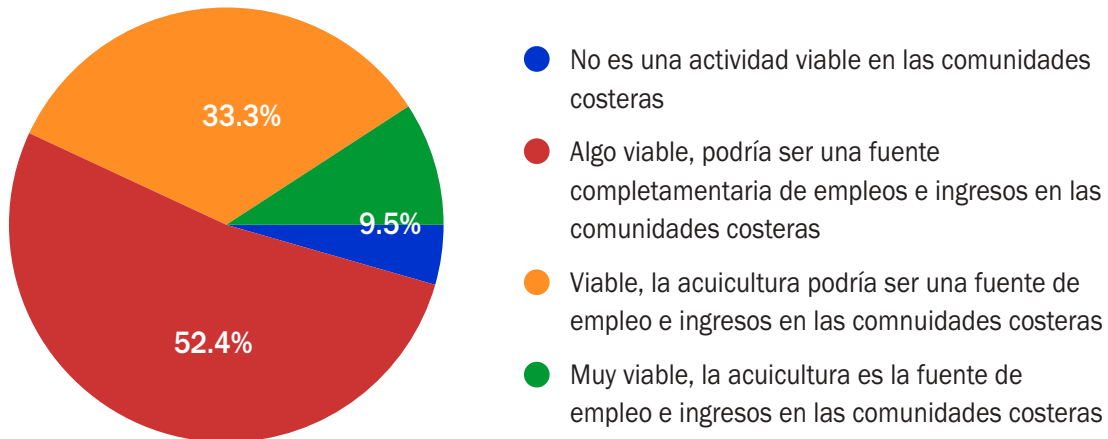


Figura 57. Percepción de los informantes clave con respecto a si la acuicultura es una actividad económica complementaria viable para las comunidades costeras de Yucatán.

Vulnerabilidad socioecológica de la acuicultura ante el cambio climático

Los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad socioecológica de la acuicultura ante el cambio climático, indican que la vulnerabilidad de la jaiba suave es media ($V=0.47$) y del cultivo de tilapia es baja ($V = 0.086$). Esta diferencia se debe a que la jaiba muestra una alta sensibilidad, ya que depende del medio natural para obtener los organismos juveniles y se carecen de estudios poblacionales detallados, como es el caso de la jaiba azul en Celestún. En contraste, la tilapia muestra una baja vulnerabilidad, ya que los crías provienen de laboratorios donde se puede controlar la temperatura, el flujo de agua y la alimentación, lo que reduce su dependencia a las condiciones del medio natural. Además, se cuenta con toda la biotecnología del cultivo de la tilapia (Tabla 21).

Los resultados de la evaluación de la exposición y sensibilidad de la maricultura ante el cambio climático, señalan que la corvina pinta (*Cynoscion nebulosus*), muestra mayor exposición a los cambios de temperatura siendo susceptible al cambio climático. El ostión (*Crassostrea virginica*) mostró una baja exposición, debido a la buena adaptabilidad a zonas de cultivo con altas salinidad, y alta estabilidad de las variables ambientales (Tabla 22).

Tabla 21. Ponderación de la vulnerabilidad socioecológica de la acuicultura ante el cambio climático.

Especie acuícola	Componentes de la vulnerabilidad			Vulnerabilidad
	Exposición	Sensibilidad	Capacidad adaptativa	
Jaiba suave	0.33	0.28	0.14	0.47
	Media	Alta	Media	Media
Tilapia	0.168	0.108	0.19	0.086
	Baja	Baja	Alta	Baja

Tabla 22. Evaluación de la exposición y la sensibilidad de especies con potencial para la maricultura en el estado de Yucatán.

Especie acuícola	Componentes de la vulnerabilidad	
	Exposición	Sensibilidad
Corvina pinta	Alta	Alta
Ostión americano	Baja	Baja

Asimismo, la baja exposición del ostión americano se debe a que los reproductores y las semillas de ostión americano provienen de laboratorios comerciales (hatcheries). Mientras que la corvina pinta, en este momento, los reproductores provienen del medio natural, y desovan en laboratorios de centros de investigación (UMDI-SISAL-UNAM). En Yucatán, la maricultura (cultivos experimentales) de especies como el ostión se ha desarrollado principalmente en lagunas costeras, entornos más protegidos que la Zona de Refugio Pesquero de Celestún donde se ubican las jaulas flotantes para la corvina pinta. Una de las ventajas de los ostiones es que sus cultivos no requieren grandes profundidades para a diferencias de los peces. En caso de huracanes, las canastas ostrícolas pueden retirarse temporalmente de la zona de cultivo y reubicarse una vez que las condiciones climáticas mejoren, ya que los ostiones pueden sobrevivir fuera del agua durante varias horas. Otro aspecto que contribuye a la alta sensibilidad de la corvina pinta, es la inexistencia de un alimento pelletizado específico para la especie. En cambio, el ostión, al ser un organismo filtrador se alimenta de la materia orgánica en suspensión en el sitio de cultivo, es decir, no requiere alimento comercial.

Un estudio bioeconómico demostró que la zona Oriente, específicamente Rio Lagartos, muestra condiciones ideales y estables para el cultivo del ostión americano. Asimismo, la zona Oriente es adecuada para el cultivo de algas marinas, principalmente en Dzilam de Bravo, en donde se realizó un cultivo piloto de *Kappaphycus alvarezii*. Los resultados de los cultivos pilotos que se realizan de la corvina pinta, así como el estudio bioeconómico permitirá conocer más sobre la especie y su potencial acuícola en las costas de Yucatán.

La capacidad adaptativa de la acuicultura ante el cambio climático se evalúa a través de diversos factores que determinan cómo los productores del sector acuícola puede responder y ajustarse a los impactos presentes y futuros del cambio climático. Por lo que, la capacidad adaptativa en la maricultura no fue posible evaluarse en los cultivos experimentales. En otras palabras, la capacidad adaptativa, evalúa la habilidad de las personas para implementar cambios y ajustes en sus prácticas, tecnologías y estrategias de manejo para hacer frente a los desafíos climáticos. Esto incluye la adopción de nuevas tecnologías, la modificación de los ciclos de producción, la selección de especies más resistentes y la implementación de medidas de mitigación y adaptación.

En el caso de la corvina pinta, el pargo canané, el ostión americano y el pepino de mar han sido cultivos experimentales para evaluar la viabilidad biológica, y en algunos casos la viabilidad técnica y económica de las especies. Hasta el momento, no existen un grupo de acuicultores, sociedad cooperativa o una empresa comercial que tenga maricultura comercial en las costas yucatecas.



DISCUSIÓN



Vulnerabilidad socioecológica en las comunidades pesqueras



El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la vulnerabilidad socioecológica de las comunidades pesqueras en Yucatán frente al cambio climático, centrándose en los eventos extremos y cambios ecosistémicos que afectan a estas comunidades, exacerbados por el cambio climático (Chambers, 2006). La evaluación identificó que varias especies pesqueras de importancia comercial presentan riesgos moderados, altos o muy altos debido a la combinación de cambio climático y presión pesquera. Asimismo, se detectaron comunidades altamente dependientes de estas especies, con diferentes capacidades de adaptación ante la disrupción de pesquerías clave.

Los resultados del estudio revelan una variabilidad en la vulnerabilidad de las comunidades pesqueras de Yucatán frente al cambio climático. Las comunidades de la zona centro presentan una menor vulnerabilidad en comparación con las ubicadas en las regiones oriente y poniente. Esta disparidad se atribuye a la posición geográfica de cada localidad y a los distintos efectos climáticos que experimentan, como huracanes y mareas rojas, los cuales impactan significativamente sus bienes y actividades. Esta situación, a su vez, genera presión a nivel local y nacional debido a la disminución de las capturas, resultando en una disipación de las rentas (Salas et al., 2007).

Factores como la marginalidad, especialmente en comunidades alejadas de la capital del estado con mayores índices de pobreza, pueden exacerbar la vulnerabilidad (Bene, 2009). A pesar de que la Península de Yucatán y el Mar Caribe son reconocidos por su alta vulnerabilidad a eventos climáticos extremos (Andrade-Velázquez y Medrano-Pérez, 2021), los resultados de este estudio evidencian la necesidad de considerar que la vulnerabilidad de las zonas variará en tanto se tomen en cuenta mayor número de indicadores, así como aquellos que se analicen con mayor rigurosidad.

Sensibilidad socioeconómica

La sensibilidad socioeconómica en el contexto de la vulnerabilidad pesquera al cambio climático se define como el grado en que los factores económicos y sociales de las comunidades pesqueras son afectados por los cambios climáticos. Esta sensibilidad puede manifestarse a través de impactos en los patrones estacionales a largo plazo, eventos meteorológicos adversos a corto plazo y catástrofes relacionadas con el clima (Mulyasari et al., 2020). La evaluación de estas vulnerabilidades socioeconómicas es fundamental para diseñar estrategias de adaptación efectivas en el sector pesquero (Pinto et al., 2023).

Dependencia económica de la pesca

La dependencia es un concepto multidimensional asociado a factores económicos, sociales y culturales. Generalmente, la dependencia de la pesca se describe desde una perspectiva económica, destacando la relevancia de la pesca en cuanto a la generación de empleos y su contribución al Producto Interno Bruto (PIB) de una región específica (Lukić et al., 2019). El Comité Científico, Técnico y Económico de la Pesca de la Unión Europea definen a la dependencia como el grado en que los agentes, las empresas, los sectores y las comunidades dependen de la pesca: la importancia de las actividades relacionadas con la pesca viene determinada por el grado en que se depende de estas actividades para obtener ingresos, estatus, identidad y cultural (STECF, 2023).

De acuerdo a los resultados del presente estudio, la zona poniente presenta el mayor porcentaje de pescadores que se dedican de tiempo completo a la pesca. Por lo que, su dependencia a la pesca es alta en comparación a las otras zonas de estudio. En las zonas Centro y Oriente, la tendencia es a la diversificación de actividades, debido a la disminución de las capturas y a la temporalidad de las vedas. Bailey & Pomeroy (1996) mencionan que las comunidades dependientes de los recursos suelen describirse como vulnerables a los cambios inducidos desde el exterior debido a su dependencia de un único sistema de recursos.





De tal forma, que en un escenario en donde se presente el descenso de la producción pesquera o el aumento de frentes fríos que no permiten realizar la actividad pesquera debido al cambio climático reducirá el nivel de ingresos de los pescadores de la zona Poniente. Mulyasari, et al. (2020) mencionan que la gran dependencia económica de la pesca como principal fuente de ingresos familiares es la razón por la que los pescadores son más vulnerables al cambio climático. De tal forma, que el aumento de la frecuencia de las precipitaciones, el incremento de la temperatura y los fenómenos climáticos extremos agravarán la vulnerabilidad de los pescadores de la zona Poniente, y por lo tanto a sus familias.

Aunque este estudio fue dirigido a pescadores, es importante señalar que la dependencia a la pesca por una comunidad va más allá de la captura. Una vez captura el producto, este puede tener diversos procesos (p.ej. congelado, fileteado o salado), en los cuales participan más personas de la comunidad. En el caso de la pesquería de jaiba en la comunidad de Celestún, una vez capturadas las jaibas, se pueden vender enteras o pueden ser cocidas por el pescador para obtener la carne. La actividad para obtener la pulpa o carne se realiza por mujeres de la comunidad.

Resiliencia

Dentro de las diversas estrategias que han adoptado las comunidades pesqueras para afrontar las dificultades o dependencia a la pesca destaca el turismo o ecoturismo. En la zona Poniente, tanto en Celestún como en Sisal, los pobladores ofrecen recorridos ecoturísticos para la observación de la fauna como las aves, cocodrilos y mapaches, así como senderos para recorrer los manglares o los ojos de agua (manantiales). En la zona Centro, en específico en Chuburná, se ha desarrollado el ecoturismo del sitio conocido como “La Isla de los Columpios”, en donde participan varios pescadores. De igual forma, en la zona Oriente, existen alternativas ecoturísticas.





Exposición ecológica

La sensibilidad de los sistemas ecológicos al cambio climático incluye tolerancias fisiológicas al cambio y variabilidad en condiciones físicas y químicas como la temperatura, pH, productividad, etc.). Esto ha creado la necesidad de evaluar ambos sistemas en conjunto. Submodelos sobre el análisis de la vulnerabilidad con respecto a la exposición al cambio climático, llamado en el presente trabajo sensibilidad ecológica evalúa el impacto del cambio climático en los sistemas ecológicos como es el impacto físico de la exposición a factores estresantes climáticos combinados con la sensibilidad de estos ecosistemas (Cinner et al., 2013).

En los últimos años se ha realizado una labor fuerte con respecto al conocimiento de las afectaciones que tienen los cambios climáticos y las comunidades pesqueras, pero este cambio de clima se ha venido estudiando desde los primeros trabajos está el de Manzano-Sarabia et al. (2008) quienes observan grandes extensiones de áreas calientes con temperaturas elevadas, con o sin efectos de El Niño, teniendo una fuerte influencia sobre los componentes biológicos en la zona marino-costera del Golfo de México, más tarde en 2007, el IPCC hizo pública una tendencia lineal actualizada de temperatura (1996-2005) de $0.74 \pm 0.18^\circ\text{C}$ que fue mayor que la estimación previa para 1901-2000. La tendencia lineal de calentamiento a lo largo de los últimos 50 años ($0.13 \pm 0.03^\circ\text{C}$ por década) es casi el doble que la de los últimos 100 años (IPCC, 2014).

Por otra parte, en un estudio durante el periodo 1996-2010 sobre los cambios de temperatura en la superficie del mar en el sur del Golfo de México y en la Plataforma de Yucatán; mencionan que estos años fueron más fríos (Gallegos et al., 2010), lo que evidencia a lo observado en este trabajo, que a diferencia de los años más cálidos en los últimos años, esto ha afectado a la pesca en la región como lo menciona Buesa (2012), que las langostas tienden a emigrar a aguas más profundas ante la llegada de los huracanes pues la excesiva precipitación tiene efectos sobre la salinidad y temperatura en la columna de agua alterando el hábitat de estos organismos por lo que se desplazan a sitios con condiciones más aptas, tal es el caso de las especies de langosta en Yucatán (Rivera-Arriaga et al., 2020) las cuales bajan sus capturas meses posteriores a los huracanes esto para la zona oriente del estado.

La relación de la clorofila encontrada positiva con las capturas se asemeja a lo observado por Manzano Sarabia et al. (2008) quienes mencionan haber registrado un importante efecto del calentamiento global en el Golfo de México, los autores encuentran evidencias empíricas observando grandes áreas calientes del Golfo vinculadas con severo efecto del Niño ocurrido el año previo en el Océano; por ejemplo, la gran área caliente de 1998 la cual la relacionan como una fuerte respuesta biológica negativa, a las capturas pesqueras, niveles de clorofila y producción primaria neta, en el suroeste del Golfo de México.

Escenarios futuros del aumento de temperatura en la costa de Yucatán

Ante los escenarios del IPCC, establecidos del aumento de temperatura superficial del mar se puede tomar como referencia en comparación con las tolerancias con las especies. Los escenarios son los siguientes (Tabla 23):

Tabla 23. Escenarios ante el cambio climático con respecto a la variabilidad de la temperatura.

Escenarios cambio climático	Aumento de temperatura
RCP 2.6	0.9 - 2.3 C
RCP 4.5	1.7 - 3.2 C
RCP 6	2.0 - 3.7 C



El presente estudio se enfocó en recopilar información de los escenarios del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) para evaluar el impacto potencial del cambio climático en las especies de mayor relevancia comercial en la costa de Yucatán. Siguiendo la metodología de Cisneros-Montemayor et al. (2020), se analizó el escenario RCP 2.6 utilizando el Modelo de Envoltura Bioclimática Dinámica (DBEM), el cual incorpora la ecofisiología de cada especie y se basa en los datos de captura de la Carta Nacional Pesquera de México (DOF, 2018).

Los resultados revelaron que las especies de importancia comercial en la costa de Yucatán presentan diferentes niveles de vulnerabilidad al cambio climático. La Tabla 24 muestra los valores específicos para cada especie, incluyendo el cambio porcentual en la captura máxima potencial, la variación en el valor económico de la captura (promedio entre 2005 y 2010) y el cambio en la captura máxima potencial ponderado por el Índice de Importancia Estacional de Captura (IEC). Cambio porcentual en captura máxima potencial para especies comerciales de Yucatán bajo el escenario RCP 2.6, así mismo, el cambio en valor de capturas y cambio en captura máxima potencial ponderado por el índice de importancia estacional de captura.

Tabla 24. Cambio porcentual en captura máxima potencial para especies comerciales de Yucatán bajo el escenario RCP 2.6, así mismo, el cambio en valor de capturas y cambio en captura máxima potencial ponderado por el índice de importancia estacional de captura.

Especie	Cambio porcentual captura máxima potencial	Cambio en valor de captura (USD, promedio 2005-2010)	Cambio en captura potencial ponderado por el IEC
<i>Cynoscion nebulosus</i>	25	123	0.557
<i>Mycteroperca bonaci</i>	6		0.193
<i>Sphyraena barracuda</i>	1		
<i>Ocyurus chrysurus</i>	-27	-1.783	-1.584
<i>Lutjanus synagris</i>			-0.245
<i>Centropomus undecimalis</i>		-1.7	
<i>Panulirus argus</i>		-588	
<i>Scomberomorus cavalla</i>		-853	
<i>Scomberomorus maculatus</i>		-1.469	-1.211
<i>Lutjanus campechanus</i>	0.46	-1.927	

Pulpo maya. Las implicaciones del cambio climático en la pesca incluyen cambios en la abundancia y distribución de especies marinas, que afectan las capturas de las especies de importancia comercial y las comunidades pesqueras, exacerbando los desafíos existentes de la sobrepesca en la región. En cuanto al pulpo maya (*Octopus maya*), Ángeles-González et al. (2021) proyectaron modelos de nicho correlativos y mecanicistas (MNM) basados en temperatura y salinidad considerando los escenarios para el cambio climático. Los resultados que obtuvieron sugieren que las poblaciones de pulpo rojo de la Península de Yucatán occidental son particularmente vulnerables a los escenarios de calentamiento, especialmente en los escenarios RCP 8.5, ya que el umbral térmico se habrá superado para el 2090-2100. Por lo que, para el periodo 2040-2050, la aptitud para el pulpo rojo en la zona occidental de la Península de Yucatán habrá disminuido y, en menor medida, en el norte para la mayoría de los escenarios. No obstante, también sugieren que las aguas más profundas pueden actuar como refugios térmicos en los escenarios RCP 8.5.

Mero. El cambio climático es el problema ambiental más importante; dos de sus consecuencias son el incremento de la temperatura superficial del mar y la profundidad. El impacto potencial de estas variables ha sido proyectado hacia finales del siglo XXI por el *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) mediante diferentes escenarios (Rijnsdorp et al., 2009). En el escenario más drástico (RCP 8.5) se estima un aumento del 3.7 °C de la temperatura superficial del mar y el crecimiento de su nivel en 0.63 metros. Algunos efectos de las condiciones climáticas serían la pérdida de diversas especies, decremento de la línea de costa actual o su erosión, aumento de inundaciones y disminución de zonas de crianza de peces (humedales y manglares), entre otras afectaciones. Este escenario podría agravar la recuperación de la pesquería del mero rojo, debido a su baja disponibilidad y bajo cumplimiento de la normatividad, poniendo en riesgo el desarrollo de esta actividad en la región.

Capacidad adaptativa

El presente estudio identificó una baja capacidad de adaptación en las comunidades pesqueras de Yucatán (Sisal, Celestún, Dzilam de Bravo, Río Lagartos y San Felipe), lo que incrementa su vulnerabilidad socioecológica. La falta de seguridad médica se manifestó como una preocupación transversal en todas las comunidades. Se observaron diferencias regionales en cuanto a estrategias de ahorro y acceso a empleos alternativos y apoyos gubernamentales. Las comunidades del occidente (Celestún y Sisal) mostraron una menor capacidad de adaptación en comparación con las del oriente (Dzilam de Bravo, Río Lagartos y San Felipe) y el centro (Chuburná, Telchac y Progreso).

Estos resultados contrastan con los hallazgos de Vidal-Hernández et al. (2021), quienes señalaron que Progreso, San Felipe y Sisal son altamente dependientes del turismo, lo que podría generar una mayor diversidad de empleos y apoyos gubernamentales. Sin embargo, el presente estudio revela que las comunidades del occidente y oriente tienen menos acceso a estas oportunidades. Las variaciones observadas en las comunidades del centro de Yucatán podrían atribuirse a su mayor accesibilidad y a la capacidad del sistema portuario, que impulsa el turismo y el comercio, atrayendo más inversión y apoyo gubernamental. Este desarrollo económico resultante podría mejorar la capacidad



adaptación de estas comunidades a los cambios en la pesca. Por lo que, mejorar la capacidad de adaptación y diversificar las actividades económicas relacionadas con la pesca podrían brindar beneficios significativos a estas comunidades (Thiault et al., 2019). Por lo tanto, es necesario desarrollar estrategias que generen ingresos económicos y aumenten la flexibilidad económica para mejorar la capacidad de adaptación. Una alternativa viable para estas comunidades es promover el uso de especies con un valor comercial más bajo e identificar nichos de mercados para los descartes pesqueros (Leitão y Baptista, 2017).

Asimismo, la acuicultura se perfila como otra opción que ha suscitado un interés constante en las comunidades pesqueras del oriente y poniente de Yucatán, considerándola como una actividad potencialmente beneficiosa para su desarrollo económico. Actualmente, la acuicultura es una actividad que puede abordar y satisfacer los desafíos nutricionales, económicos y ambientales a nivel global (FAO, 2020; Naylor et al., 2021). Además, esta actividad es de suma relevancia para cumplir con los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la FAO, especialmente aquellos relacionados con la seguridad alimentaria, el crecimiento económico y la generación de empleos (Hambrey, 2017). Por otro lado, Barnes et al., (2020) demostraron que, además de la creación de ingresos económicos, la atención a la comunidad y la educación pueden mejorar en gran medida la capacidad de adaptación de las comunidades pesqueras.



Informantes clave

El aporte de los saberes locales tanto de los usuarios como de los manejadores son de gran relevancia, ya que con esta información se puede reflejar las importantes problemáticas, conflictos y preocupaciones que ocurren en cada comunidad, es así que incluir a los informantes clave dentro del análisis de vulnerabilidad, quienes son personas que no viven estas afectaciones día con día y que les resulta difícil entender hasta cierto punto al sector, dando como resultado una problemática a la hora de realizar acciones ante estas situaciones, es por ello que este tipo de estudios integrales puede ser utilizado para fundamentar información base para el tipo de manejo social y de actividad, que puede ser utilizado para el sector acuícola y pesquero incluyendo a todas las partes interesadas en la evaluación, así lo menciona Tuler et al. (2013) en su trabajo, quienes discuten cómo los informantes clave están fuera de la realidad de la dinámica social, económica y cultural de las comunidades y de como un marco de evaluación de análisis rápido en la vulnerabilidad puede informar a los administradores sobre cómo intervenir y mitigar las consecuencias indeseables para las comunidades.

Este estudio, que integró perspectivas sociales a través de informantes clave, reveló una falta de conciencia sobre el cambio climático y sus impactos en las comunidades pesqueras y acuícolas. Esta falta de conocimiento aumenta la vulnerabilidad de estas comunidades, especialmente en términos económicos, debido a su dependencia de la extracción de recursos. Los resultados de este estudio pueden ayudar a las autoridades a formular estrategias de adaptación más efectivas, al identificar las preocupaciones locales y promover una mayor conciencia sobre los efectos del cambio climático.

Atlas de riesgo ante peligros naturales de Yucatán

La exploración del atlas de riesgo de Yucatán reveló que, si bien proporciona información valiosa a nivel municipal para identificar zonas vulnerables a inundaciones y erosión, su resolución limitada (menor a 1:50,000) impide un análisis detallado de comunidades rurales y de menos de 5,000 habitantes. Esta limitación dificulta la identificación de todas las actividades afectadas en estas comunidades y, en consecuencia, puede resultar en que no sean consideradas en políticas públicas y estrategias de adaptación al cambio climático, como las recomendadas por el IPCC (2014).



Vulnerabilidad socioecológica de la acuicultura al cambio climático



El cambio climático ha sido influenciado por procesos naturales. No obstante, los factores causados por la actividad humana están adquiriendo mayor relevancia en lo que respecta al calentamiento global (Mikhaylov et al., 2020). Las actividades antropogénicas, especialmente la quema de combustibles fósiles y el cambio de uso de suelo (p.ej. la urbanización), han incrementado la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera (Sahagún-Sánchez et al., 2018; Pérez-Landa et al., 2019). El incremento de estas emisiones ha provocado cambios tanto globales como regionales en la temperatura, la precipitación y otras variables climáticas (Pérez Landa et al., 2019).

El cambio climático plantea diversas amenazas para los sistemas de producción acuícola, siendo el aumento del nivel del mar una de las más preocupantes. Muchas unidades de producción se encuentran ubicadas en zonas costeras vulnerables, como estuarios y lagunas costeras. En México, por ejemplo, gran parte de las granjas de camarón y tilapia se sitúan a lo largo de las costas del Golfo de México, Mar Caribe, Océano Pacífico y Golfo de California. Estas regiones son propensas a huracanes y tormentas tropicales, que no solo incrementan el nivel del mar, sino que también causan inundaciones y otros daños a las instalaciones acuícolas, poniendo en riesgo la producción y los medios de subsistencia de quienes dependen de esta actividad. Por otro lado, otras especies son menos vulnerables debido a su ubicación en zonas serranas como el cultivo de trucha en Oaxaca, Hidalgo y Veracruz. Sin embargo, no están exentas de los cambios en los regímenes climáticos por el CC.

En Yucatán, los sistemas de producción acuícolas establecidos en tierra adentro (continentales) requieren suministro de electricidad principalmente para el funcionamiento de los sistemas de aireación y alumbrado de las instalaciones. Por lo que, las fallas en el suministro eléctrico pueden afectar la supervivencia de los organismos y la producción (biomasa). Algunas unidades de producción cuentan con plantas de luz de diésel o gasolina para casos de emergencia.

Antecedentes de la acuicultura en Yucatán

El sector acuícola en el estado de Yucatán se inició en 1964 con la instalación de la primera granja de producción de peces de ornato (Enmanuel), localizada en Hunucmá. Posteriormente, en la década de 1970 se introdujeron la tilapia, *Oreochromis niloticus* y el bagre de canal, *Ictalurus punctatus* (Flores-Nava et al., 2016). Años más tarde, Rihani et al. (1988) mencionan que el primer cultivo de *C. virginica* en Yucatán se realizó en la localidad pesquera de San Felipe, donde se introdujeron 30,000 organismos juveniles provenientes de Tabasco. De igual forma, reportan que se realizaron cultivos de jaiba azul (*Callinectes sapidus*) en Celestún y en Dzilam de Bravo en encierros rústicos.

En 1994, se instaló la primera granja comercial de rana toro (*Lithobates catesbeianus*) en Tahmek (Flores-Nava et al., 2016). Entre 1986 y 1990, iniciaron las investigaciones para el cultivo del camarón blanco del Golfo (*Litopenaeus setiferus*) y su engorda en sistemas cerrados instalados en Telchac

y en El Cuyo (Flores-Nava et al., 1994). Cabrera-Rodríguez et al. (1997), cultivaron semillas silvestres de ostión americano procedentes de bancos naturales de la laguna de Tamiahua en Veracruz y de la laguna Mecoacán ubicada en Tabasco dentro de la laguna de Río Lagartos, Yucatán.

Isla-Esquivel et al., (2011) señalan que, en el 2002, el cultivo rural de tilapia recibió un gran impulso con el proyecto 'Cultivo tradicional de tilapia en estanques circulares', promovido por la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) a través del Programa de Acuicultura Rural Integrado a Cultivos Agrícolas (PRONAAR). Olvera Novoa et al., (2005), reportan que para el 2005 estaban en proceso de instalación 19 granjas distribuidas en todo el estado de Yucatán, principalmente en la zona norte (Figura 58). De acuerdo con las entrevistas a los pescadores de Celestún, las granjas señaladas como la 17 (Chávez Cauich y Asociados) y 18 (Las Suricatas) de la Figura 58, ya no están en operación.



De acuerdo con Flores-Nava et al. (2016), las especies con potencial acuícola en el estado de Yucatán son la jaiba (*Callinectes sapidus*), la mojarra castarrica (*Cichlasoma urophthalmus*), el robalo (*Centropomus undecimalis*), el pargo canané (*Ocyurus chrysurus*), la chivita (*Melogena corona*), el ostión americano (*Crassostrea virginica*) y las algas rojas (*Kappaphycus alvarezii*). Otras especies que se han identificado con potencial acuícola, y que se han cultivado experimentalmente por universidades y centros de investigación, son: el róbalo (*Centropomus undecimalis*), tambor rojo (*Scianops ocellatus*), pulpo (*Octopus maya*), y pepino de mar (Poot-López y Gasca-Leyva, 2016).

Tabla 25. Lista de especies acuícolas cultivadas en el estado de Yucatán en las zonas de estudio.

Especie /Zona	Especie	Poniente	Centro	Oriente
Especies comerciales cultivadas en unidades de producción en tierra				
Tilapia	<i>Oreochromis niloticus</i>			
Camarón blanco	<i>Litopenaeus vannamei</i>			
Langosta australiana	<i>Cherax quadricarinatus</i>			
Jaiba suave	<i>Callinectes sapidus</i>	X		
Permisos de acuicultura de fomento vigentes (cultivos acuícolas en aguas de jurisdicción Federal)				
Ostión americano	<i>Crassostrea virginica</i>		X	X
Ostión de mangle	<i>Crassostrea rizophora</i>		X	X
Callo de hacha	<i>Atrina maura</i>		X	X
Algas rojas	<i>Gracilaria spp.</i>		X	X
Pargo canané	<i>Ocyurus chrysurus</i>		X	X
Corvina roja	<i>Sciaenops ocellatus</i>		X	X
Antecedentes de especies con cultivos experimental o pilotos				
Ostión americano	<i>Crassostrea virginica</i>	X		X
Mero	<i>Epinephelus morio</i>	X		
Curvina pinta	<i>Cynoscion nebulosus</i>	X		

Algas rojas	<i>Kappaphycus alvarezii</i> , <i>Gracilaria cornea</i> y <i>Rhodomenia pseudopalmata</i>		X
Pulpo maya	<i>Octopus maya</i>	X	
Pepino de mar	<i>Isostichopus badionotus</i> <i>Holothuria floridana</i>		X
Cobia	<i>Rachycentron canadum</i>		X
Pargo canané	<i>Ocyurus chrysurus</i>	X	

Al respecto, los pescadores de las zonas de estudio expresaron su interés por el cultivo de jaiba (Tabla 26). Esto se debe a que esta especie de crustáceo es importante como carnada para la pesquería del pulpo. De igual forma, los pescadores mencionaron que cuando es la temporada de pesca de pulpo, la jaiba del estado no es suficiente, por lo que tienen que comprar carnada de Tabasco y Veracruz (jaibas y cangrejos). En Chuburná, los pescadores mencionaron que podrían tener cultivos acuícolas en el puerto de abrigo, en donde puede ser cuidado y vigilado. En la zona Poniente, los pescadores indicaron que están interesados en los cultivos acuícolas de pepino de mar, ostión americano, pargos y maxquil. Este último también es una especie importante para la pesquería de pulpo, ya que sirve de carnada como la jaiba.

Tabla 26. Especies identificadas con interés para su cultivo en las zonas de estudio.

Especies
1. Jaiba (<i>Callinectes sapidus</i>)
2. Ostión americano (<i>Crassostrea virginica</i>)
3. Pargos (no especificaron especie)
4. Maxquil (<i>Libinia dubia</i>)
5. Tilapia (<i>Oreochromis</i> spp.)
6. Pepino de mar

Unidades de producción acuícola en las zonas de estudio

De acuerdo con los avisos de producción y de cosecha de la CONAPESCA, durante el 2019 operaron 24 unidades de producción de tilapia en el estado de Yucatán. En los primeros cuatro meses del 2024, las unidades de producción que reportan actividad son nueve, de las cuales una se dedica a la producción de peces de ornato (CORPORATIVO ACUÍCOLA ENMANUEL SA DE CV), y el resto a la engorda de tilapia (Tabla 27). Cabe señalar, que estas unidades de producción no se encuentran en las comunidades pesqueras.

Tabla 27. Unidades de producción acuícolas con reporte de avisos de cosecha en 2019 y en el primer trimestre del 2024 en el estado de Yucatán.

2019	2024
Acuacultores de Mulchechen SC de RL	Productor Bovino TMX S.P.R. de R.L.
Acuacultores de Tetiz SC de RL de CV	Agroindustria Mayatil S.A. de C.V.
Acuacultores Pesca Fina S. de R.L. de C.V.	Jorge Luis Gamboa Álvarez
Acuicultura integral San Miguel S. de RL de CV	Bubul Ha S.P.R. de R.L. de C.V.
Agrosistemas Yaxchilam SPR DE RL DE CV	Acuacultores Pesca Fina S. de R.L. DE C.V.
Acuícola Garza Productores y Comercializadora, S.A. DE C.V.	Ix Cay de Santa María S.C. DE R.L.
Bubul Ha S.P.R. de R.L. de C.V.	Productos Acuícolas de Yucatán S.A. de C.V.
Arturo González González	Agrosistemas Yaxchilam SPR de R.L. de C.V.
Granja el Abuelo Chino S.C. DE R.L.	Corporativo Acuícola Enmanuel SA de CV
El Boquinete SC de RL	
Central Acuícola, S.A de C.V.	
David Peña Garza	
Ix Cay de Santa María Acu SC de RL	
Hool- Chakan SC de RL	
Jose Yazman Baas Baas	

Juan poot poot

José Pedro Sosa Canul

Kin Yuc Agroacuacultura del Sureste SC de RL de CV

Martina uicab uc

Manuela de Jesús Poot Uicab

Naturaleza y tranquilidad SC de RL de CV

Productos Acuícolas de Yucatán SA de CV

Yeni SC de RL de CV

Rolando Alejandro Matos Llanes

Corporativo Acuícola Enmanuel SA de CV

Como resultado de las encuestas en las zonas de estudio, se ubicó una unidad de producción de jaiba suave en la localidad de Celestún. Esta unidad no fue identificada en los avisos de cosecha porque no cuenta con el Registro Nacional de Pesca y Acuicultura (RNPA). Esto se debe a la falta de documentos notariales y a la falta de orientación sobre los trámites necesarios, que deben realizarse en la ciudad de Mérida.

Factores sociales y recursos humanos que impactan en el desarrollo de la acuacultura

De acuerdo con los avisos de producción y de cosecha de la CONAPESCA, durante el 2019 operaron 24 unidades de producción de tilapia en el estado de Yucatán. En los primeros cuatro meses del 2024, las unidades de producción que reportan actividad son nueve, de las cuales una se dedica a la producción de peces de ornato (CORPORATIVO ACUÍCOLA ENMANUEL SA DE CV), y el resto a la engorda de tilapia (Tabla 27). Cabe señalar, que estas unidades de producción no se encuentran en las comunidades pesqueras.



LÍNEA BASE DE ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN



Estrategias de adaptación para la pesca

1. Diversificación económica y financiera.

- **Promoción de alternativas laborales:** Fomentar las actividades económicas complementarias como el turismo ecológico, el procesamiento y comercialización de productos pesqueros y acuícolas sobre todo en comunidades marginadas como en el caso de Celestún Yucatán.
- **Capacitación y educación:** Desarrollar programas de capacitación en nuevas habilidades y tecnologías para los trabajadores del sector pesquero y acuícola en el estado de Yucatán agilizar sus trámites, así como modernizar sus sistemas y finalmente al capacitarlos podrán minimizar sus costos.
- **Capacitación financiera:** Desarrollar programas de acceso a financiamientos para la resiliencia de las organizaciones pesqueras, que incentiven su economía y que promuevan prácticas pesqueras sostenibles en el estado.

2. Gestión sostenible de los recursos pesqueros

- **Colaboración** de autoridades con las comunidades para definir tallas mínimas permitidas de las principales especies, que no tienen una talla mínima de captura, como es el caso de los pargos, corvina y robalo.
- **Proponer** estudios poblacionales de especies utilizadas como carnada (jaiba y maxquil) para formular estrategias de manejo.
- **Establecer**, en colaboración con las autoridades, una sanción específica para abordar el principal problema de la pesca ilegal (uso del compresor).
- **Monitoreo y regulación** con participación comunitaria y autoridades: Implementar sistemas de monitoreo y regulación eficaces para controlar las capturas y asegurar el cumplimiento de vedas y reglamentos, apoyados por inspección y vigilancia conjunta entre la comunidad y las autoridades, con énfasis en crear un comité de vigilancia comunitario que permita el empoderamiento de las comunidades.





3. Conservación de ecosistemas

Protección de dunas costeras, manglar y vegetación asociada:

Implementación de coacciones entre autoridades y comunidades del estado de Yucatán para preservar los hábitats esenciales y promover la biodiversidad en las áreas naturales protegidas como la Ría de Celestún y la Ría de Río Lagartos y San Felipe, específicamente en las comunidades que presentaron mayor vulnerabilidad ecológica en el presente estudio. Sugiriendo programas de limpieza de manglares y de playas, así como campañas para brindar información ambiental en escuelas y parques en donde se manifieste a la comunidad que el impacto a la flora y fauna de alrededor de su comunidad será reflejo de su productividad en las actividades pesqueras y acuícolas.

4. Innovación y tecnología

Investigación y Desarrollo: Invertir en investigación para mejorar las prácticas acuícolas y pesqueras, desarrollando tecnologías que incrementen la eficiencia y sostenibilidad de los recursos pesqueros en el Estado.

5. Infraestructura resiliente

- **Mejoramiento de Infraestructuras:** Construir y adaptar infraestructuras para hacerlas más resistentes a eventos climáticos extremos, como diques, sistemas de drenaje y muelles, en las zonas correspondientes con mayores afectaciones.
- **Desarrollo de instalaciones acuícolas seguras:** Promover el diseño y construcción de instalaciones acuícolas que puedan resistir cambios en las condiciones ambientales.

6. Participación comunitaria y gobernanza

- **Fortalecimiento de la gobernanza local:** Involucrar a las comunidades en la toma de decisiones, promoviendo la acción colectiva y el empoderamiento comunitario entre comunidades, como es el compartir experiencias entre las zonas poniente, centro y oriente del estado. Por lo que, el enfoque de la gobernanza adaptativa es apropiado para influir en la sostenibilidad de la pesca de pequeña escala, al abordar los complejos desafíos que enfrentan estos sistemas ante los factores de cambio climático y factores antropogénicos.
- **Educación y conciencia ambiental:** Implementar programas de educación y sensibilización sobre el cambio climático y su impacto en los recursos pesqueros y acuícolas, específicamente en las comunidades costeras de mayor vulnerabilidad.
- **El riesgo en la infraestructura costera** debe ser considerado prioritario de la agenda política local y buscar el nivel de coordinación inter e intra sectorial para conducir a la resiliencia de las comunidades costeras en Yucatán, especialmente de aquellas comunidades costeras más vulnerables, en este caso las del Oriente y Poniente del estado.

7. Seguridad Alimentaria y Sustentabilidad

- **Fomento de la seguridad alimentaria:** Diversificar las fuentes de alimentos y promover prácticas de pesca y acuicultura que aseguren la disponibilidad de recursos a corto y largo plazo.
- **Promoción del consumo responsable:** Fomentar el consumo de especies menos explotadas para las comunidades costeras del Centro y Oriente del estado como es el caso del consumo de especies como pargos.



8. Colaboración y Redes

- **Establecimiento de redes de colaboración estatales y municipales:**

Fomentar la colaboración entre comunidades pesqueras y no pesqueras, organizaciones no gubernamentales, empresas, instituciones académicas para compartir conocimientos y recursos de manera constante y efectiva.

- **Fortalecer la colaboración y el intercambio de información** entre diferentes instituciones, como la Secretaría de Protección Civil, para aumentar la resiliencia de las comunidades costeras, ya que al proporcionar datos sobre eventos climáticos y liderar la prevención y atención ciudadana ante desastres naturales, juega un papel crucial en este proceso. Al trabajar de manera conjunta, y en el marco del ordenamiento costero de Yucatán, se pueden anticipar los impactos de estos eventos en actividades económicas clave como la pesca, y así implementar medidas de adaptación y protección más efectivas. El ordenamiento costero, al regular el uso del suelo y las actividades en la zona costera, permite identificar áreas vulnerables y establecer medidas de mitigación que reduzcan los riesgos asociados a eventos climáticos extremos.

- **Participación en programas internacionales:** Involucrarse en programas y acuerdos internacionales que aborden el cambio climático y la sostenibilidad de los océanos.

- **Establecer acuerdos y metas** de todos los participantes para el desarrollo de estrategias que aborden el tema de vulnerabilidad en las comunidades costeras, esto ante el efecto del cambio climático.



Estrategias de adaptación para la acuicultura

La falta de energía eléctrica y agua potable en las comunidades costeras de Yucatán, evidenciada en la evaluación de vulnerabilidad de la pesca y acuicultura al cambio climático, representa un obstáculo para su desarrollo sostenible. Para superar esta barrera, se propone la tecnificación de la acuicultura mediante la instalación de sistemas de recirculación de agua y paneles solares. Esta medida no solo mejoraría la productividad y resiliencia de las unidades de producción, sino que también contribuiría a la mitigación del cambio climático, alineándose con el eje estratégico M1 (Acelerar la transición energética hacia fuentes de energía limpia) de los Pilares de la Política Nacional de Cambio Climático en México:

Tecnificación de la acuicultura

Objetivo	Implementar medidas de adaptación específicas para disminuir la vulnerabilidad y los efectos del cambio climático en la acuicultura.
Población objetivo	Productores acuícolas de unidades de producción continental (en tierra).

Acciones

Acción 1	Desarrollar programas de apoyo para la implementación de técnicas de recirculación de agua en acuicultura en las unidades de producción.
Descripción de la acción	Se propone un programa de apoyo económico y capacitación para que los acuicultores puedan adoptar sistemas de recirculación de agua, mejorando así la eficiencia y sostenibilidad de sus operaciones. El programa deberá incluir formación práctica sobre el funcionamiento, limpieza y mantenimiento de estos sistemas.
Objetivo de la acción	El objetivo de este programa es la reducción y uso eficiente de recurso agua en las unidades de producción.
Alineación con la Política Nacional de Cambio Climático	A2.6 Impulsar el uso eficiente y sustentable del recurso hídrico en todas las actividades productivas actualizando periódicamente la disponibilidad total de agua.
Acción 2	Desarrollar programas de incentivos y asistencia técnica para promover la integración de sistemas fotovoltaicos en la infraestructura de producción acuícola.

Descripción de la acción	Dada la vulnerabilidad de las zonas costeras a fenómenos climáticos extremos y a las fluctuaciones en el suministro eléctrico, se propone la implementación de sistemas fotovoltaicos en las granjas acuícolas como una medida de adaptación que garantice la continuidad de la producción y reduzca las pérdidas económicas asociadas a la falta de energía.
Objetivo de la acción	El objetivo de este programa es la reducción de riesgos por la pérdida de la producción (muerte de organismos) debido a la falta de energía eléctrica en las unidades de producción acuícolas establecidas en las comunidades costeras.
Alineación con la Política Nacional de Cambio Climático	M1. Acelerar la transición energética hacia fuentes de energía limpia

La eutrofización identificada en la evaluación de vulnerabilidad de la pesca y acuicultura en Yucatán, respaldada por investigaciones adicionales, plantea un desafío para la salud del ecosistema costero. Para mitigar este problema, se propone la implementación de prácticas de maricultura que incluyan especies como: pepinos de mar, ostiones y algas marinas. Estas especies pueden contribuir a la reducción de la carga de nutrientes y a la mejora de la calidad del agua en la zona.

Sustentabilidad en el aprovechamiento y uso de los recursos naturales

Objetivo	Implementar medidas de adaptación específicas para disminuir la vulnerabilidad y los efectos del cambio climático en la acuicultura.
Población objetivo	Productores acuícolas de cultivos marinos (maricultura) desarrollados en zonas estuarinas, lagunas costeras y en el mar abierto.

Acciones

Acción 1	Impulsar el desarrollo de la maricultura de especies con bajo impacto en el ecosistema y que mejoren la calidad del agua de las zonas costeras en Yucatán.
Descripción de la acción	Pepino de mar, ostiones y algas marinas.

Descripción de la acción

Se propone un programa de apoyo en infraestructura y capacitación para que los personas de las comunidades pesqueras interesados en diversificar sus actividades productivas con la acuicultura (maricultura) puedan implementar sus cultivos. El programa deberá incluir la capacitación de los productores y la coordinación con las autoridades de las ANP para el establecimiento de las zonas de cultivo.

Objetivo de la acción

El objetivo de este programa es impulsar la maricultura en las comunidades costeras de Yucatán y a la vez contribuir a la reducción de la eutroficación.

Alineación con la Política Nacional de Cambio Climático

A3.2 Garantizar la restauración, conectividad, aprovechamiento sostenible y conservación de los ecosistemas como bosques, selvas, sistemas costeros, mares, ecosistemas riparios, humedales y de las comunidades bióticas que albergan y sus servicios ambientales.



CONCLUSIONES





El instrumento del presente estudio ofrece una evaluación integral de factores sociales, económicos y ecológicos, para ser usados para analizar la vulnerabilidad de las comunidades costeras, esto con énfasis a las actividades pesqueras y acuícolas del estado de Yucatán. Se desarrollo una herramienta rápida con la finalidad de determinar valores e indicadores de las afectaciones y desafíos que enfrentan las comunidades de la zona ante los efectos del cambio climático, cambios en la temperatura, clorofila y producción oceánica fueron analizados para tratar de explicar una relación entre los factores antes mencionados.

Este estudio pretende ofrecer una herramienta útil para ayudar a las autoridades locales en la gestión de ayuda ante las posibles afectaciones a las comunidades, pudiendo en un futuro ofrecer programas de adaptación ante los cambios de clima. Si bien no pretende enfatizar los problemas locales, el documento otorga información importante que permita generar esfuerzos entre organizaciones que mejoren sus políticas locales que den como resultado mejores situaciones de vida a las comunidades que tanto han apoyado a la seguridad alimentaria de la región y que hoy en día están siendo vulnerables ante el cambio climático.

ANEXOS



Valores categóricos en los elementos de sensibilidad y capacidad adaptativa.

A continuación, se muestran los valores categóricos de los elementos de sensibilidad y capacidad adaptativa utilizados para determinar la vulnerabilidad socioecológica para cada uno de los factores analizados.

Tabla 28. Valores categóricos en los elementos de sensibilidad, factor social

Factor	Descripción del factor	Indicador (Referencia)	Elementos del indicador	Rango	Umbral de ponderación
Social	Factores sociales que influyen en realizar actividades pesqueras en la comunidad	Personas dependientes (Muallil et al., 2011).	Número de personas dependientes de la actividad pesquera por pescador	0 a 5 p/h	Bajo: 0-2 p/h; Moderada: 3-5 p/h; Alto: >5 p/h
		Grado de alfabetización (Muallil et al., 2011).	Grado máximo de estudio		Bajo: Sin estudio; Moderada: Primaria- Secundaria; Alto: >Bachillerato
		Organización comunitaria (Muallil et al., 2011).	Tipo de organización y nivel de cohesión dentro de las comunidades	50 a 25 %	Bajo: Más del 50% de la población pertenece a una cooperativa; Moderado: Entre el 25 y 50% de la población pertenece a una cooperativa; Alto: Menos del 25% de la población pertenece a una cooperativa

Tabla 29. Valores categóricos en los elementos de sensibilidad, factor económico.

Factor	Descripción del factor	Indicador	Elementos del indicador	Rango	Umbral de ponderación
Económico	Factores económicos que influyen en realiza actividades pesqueras en la comunidad	Dependencia de la pesca (Jonh et al., 2018).	Consumo de pescado	1 a 5 kg/sem	Bajo: 1-2 kg; Moderado: 2.1-4 kg; Alto: >4.1 kg
			Grado de dependencia de los recursos pesqueros objetivos	0-7 días	Bajo: 1-2 días; Moderado: 3-4 días; Alto: >5 días
		Ingresos económicos	Especies objetivos	Número de grupo de especies	Bajo: La captura de escama predomina en la comunidad; Moderada: La captura se componen de escamas y otros grupos; Alta: La captura se componen principalmente de otros grupos menos escama
			Ganancias máximas y mínimas por viaje de pesca		
			Acceso a programas de apoyo económico gubernamental estatal y federal	50 a 25 %	Bajo: Más del 50% de la población cuenta con un apoyo económico; Moderado: Entre el 25 y 50% de la población cuenta con un apoyo económico; Alto: Menos del 25% de la población cuenta con un apoyo económico

Tabla 30. Valores categóricos en los elementos de la capacidad adaptativa res (Muallil et al., 2011)

Factor	Descripción del factor	Indicador	Elementos del indicador	Rango	Umbral de ponderación
Social	Factores socioeconómicos que influyen en la migración de la actividad pesquera en la comunidad	Percepción del cambio climático	Nivel de concientización y conocimiento de los efectos del cambio climático y futuras consecuencias	50 a 25%	Bajo: Más del 50% de la población conoce el efecto del cambio climático; Moderado: Entre el 25 y 50% de la población conoce el efecto del cambio climático; Alto: Menos del 25% de la población conoce los efectos del cambio climático
		Servicios básicos	Acceso a servicios básicos		Bajo: 1-2 días; Moderado: 3-4 días; Alto: >5 días
		Financiamiento de la actividad	Costo promedio del viaje		
Económico		Capacidad de mercado	Grado de acceso a otros mercados para la distribución del producto	50 a 25%	Bajo: Más del 50% de la población puede acceder a otros mercados locales, nacionales e internacionales; Moderado: Entre el 25 y 50% de la población puede acceder a otros mercados locales, nacionales e internacionales; Altos: Menos del 25% de la población puede acceder a otros mercados locales, nacionales e internacionales

Disponibilidad
de empleos en
la comunidad
alternativos

50 a 25%

Bajo: Más del 50% de la población puede acceder a otros empleos en la comunidad; Moderado: Entre el 25 y 50% de la población puede acceder a otros empleos en la comunidad; Altos: Menos del 25% de la población puede acceder a otros empleos en la comunidad

REFERENCIAS



- Adger, W.N., 2006. Vulnerability. *Glob. Environ. Chang.* 16, 268–281. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>
- Aguilar-Trujillo A.C., Okolodkovb Y., Herrera-Silveira J.A., Merino-Virgilio F., Galicia-García C. .2017. Taxocoenosis of epibenthic dinoflagellates in the coastal waters of the northern Yucatan Peninsula before and after the harmful algal bloom event in 2011–2012. *Marine Pollution Bulletin* 119: 396–406
- Ahmed, N., Thompson, S., & Glaser, M. (2018). Global Aquaculture Productivity, Environmental Sustainability, and Climate Change Adaptability. *Environmental Management*, 63, 159-172. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1117-3>.
- Anderson, M. J. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecol.* 26, 32–46. doi: 10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x.
- Andrade-Velázquez, M. y Medrano-Pérez, O.R. 2021. Historical precipitation patterns in the South-Southeast region of Mexico and future projections. *Earth Sci. Res. J.* 25, 69–84.
- Arzabala-Molina JL, León-Medina R, Rosas-Vega R, Gullian-Klanian M, Paredes-Chi A, de Yta Castillo D, Sandoval-Gio JJ. (2022). Biotecnología acuícola y marina. Alternativa económicamente viable y sustentable para el desarrollo regional. En: Lugo R, Caamal-Velázquez JH, Cano-Sosa J. (Ed). XX Años de Biotecnología en el Sureste Mexicano y su aporte a la Sociedad. Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería Delegación Sur Sureste. 93-110.
- Audefroy, J. F., & Cabrera, B. N. (2018). La integración del conocimiento local para la adaptación al cambio climático: el caso de la costa yucateca. *Joel F. Audefroy Raymundo Padilla Lozoya*, 173.
- Bailey, C., & Pomeroy, C. (1996). Resource dependency and development options in coastal Southeast Asia. *Society & Natural Resources*, 9(2), 191–199. <https://doi.org/10.1080/08941929609380964>
- Barange, M., Bahri, T. & Beveridge, Malcolm & Cochrane, Kevern & Funge-Smith, Simon & Poulain, Florence. (2018). Impacts of Climate Change on Fisheries and Aquaculture. Synthesis of Current Knowledge, Adaptation, and Mitigation Options.
- Barnes, M.L., Wang, P., Cinner, J.E., Graham, N.A.J., Guerrero, A.M., Jasny, L., Lau, J., Sutcliffe, S.R., Zamborain-Mason, J., 2020. Social determinants of adaptive and transformative responses to climate change. *Nat. Clim. Chang.* 10 (9), 823–828.
- Behrenfeld, M. J., Randerson, J. T., McClain, C. R., Feldman, G. C., Los, S. O., Tucker, C. J., ... & Pollack, N. H. (2001). Biospheric primary production during an ENSO transition. *Science*, 291(5513), 2594-2597.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W., & Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology letters*, 15 4, 365-377 . <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x>.
- Béné C (2009) Are fishers poor or vulnerable? Assessing economic vulnerability in small-scale fishing communities. *J Dev Stud* 45(6):911–933.

- Bennett, N. J., Blythe, J., Tyler, S., & Ban, N. C. (2016). Communities and change in the anthropocene: understanding social-ecological vulnerability and planning adaptations to multiple interacting exposures. *Regional Environmental Change*, 16, 907-926.
- Bennett, N. J., Dearden, P., Murray, G., & Kadfak, A. (2014). The capacity to adapt? Communities in a changing climate, environment, and economy on the northern Andaman coast of Thailand. *Ecology and Society*, 19(2).
- Bervera-León H., Mario, Monteforte., Juan, Antonio, De-Anda-Montañez. (2022). Spatio-Temporal Variation of the Abundance of Pearl Oyster (*Pinctada mazatlanica*) Spat and Its Relevance in the Location of Suitable Sites for Extensive Pearl Oyster Culture. *Journal of Shellfish Research*, 41(1):85-94. doi: 10.2983/035.041.0105
- Biernacki, P. y Waldorf, D. (1981). Snowball sampling. Problem and techniques of chain referral sampling. *Sociol. Method. Res.* 10, 141-163.
- Boyd CE, D'Abramo LR, Glencross BD, et al. Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *J World Aquacult Soc.* 2020; 51: 578–633. <https://doi.org/10.1111/jwas.12714>
- Brander, K. (2010). Impacts of climate change on fisheries. *J. Mar. Syst.* 79, 389–402.
- Buesa, R. J. (2012). Hurricanes and the Caribbean spiny lobster (*Panulirus argus*) fisheries.
- Chambers, R. (2006) Vulnerability, coping and policy (editorial introduction). *IDS Bull*, 37, 33–40.
- Chávez-Villalba, J. (2014). Cultivo de ostión *Crassostrea gigas*: Análisis de 40 años de actividades en México. *Hidrobiológica* (24)3: pp.175-190. ISSN 0188-8897.
- Cinner, J.E., et al., Vulnerability of coastal communities to key impacts of climate change on coral reef fisheries. 2011. *Global Environ. Change*, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2011.09.018
- Cinner, J.E., Huchery, C., Darling, E.S., Humphries, A.T., Graham, N.A.J., Hicks, C.C., Marshall, N.A., McClanahan, T.R., (2013). Evaluating social and ecological vulnerability of coral reef fisheries to climate change. *PLoS One* 8, e74321. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0074321>.
- Cinner, J. E., Adger, W. N., Allison, E. H., Barnes, M. L., Brown, K., Cohen, P. J., Morrison, T. H. (2018). Building adaptive capacity to climate change in tropical coastal communities. *Nature Climate Change*, 8(2), 117-123.
- Cisneros-Montemayor A, Abas M., Palacios-Abrantes J, Gonzalez-Espinosa P (2020). Análisis espacial de efectos anticipados del cambio climático sobre la pesca en México: Un panorama para la adaptación. *Ciencia Pesquera*. 28(1 y 2): 31-44.
- CONAPESCA (2019). La pesca mexicana, una actividad inmensa como el mar. Recuperado 28 de abril de 2024, en <http://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuacultura-y-pesca>.

- CONAPESCA. (2023). Anuario Estadístico de Acuicultura 2021. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. (2023). Carta Nacional Pesquera. <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>
- CONAPESCA. (2024). *Acuasesor*. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. Recuperado de https://acuasesor.conapesca.gob.mx/transparencia_permisos.php
- Crespo Guerrero, J. M., & Fuentes Bernal, A. (2023). Estructura e impacto territoriales de la pesca comercial ribereña en los puertos de la Reserva Estatal “El Palmar”, Yucatán (México) / Territorial structure and impact of commercial inshore fishing in the ports of El Palmar State Reserve, Yucatán (México). *Ería*, 43(1), 5–26 <https://doi.org/10.17811/er.43.2023.5-26>
- Cuevas-Jiménez, A., & Euán-Ávila, J. 2009. Morphodynamics of carbonate beaches in the Yucatán Peninsula. *Ciencias Marinas*, 35(3),307-320.
- DOF, (2022). Acuerdo mediante el cual se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Acuícola. Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México, a 26 de septiembre de 2022. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5668529&fecha=17/10/2022 <https://www.gob.mx/imipas/acciones-y-programas/carta-nacional-acuicola>
- Doubleday Z.A., Clarke S.M, X. Li, G.T. Pecl, T.M. Ward, S. Battaglione, R. Stoklosa. (2013). Assessing the risk of climate change to aquaculture: a case study from south-east Australia, *Aquacult. Environ. Interact.* 3. 163–175, <https://doi.org/10.3354/aei00058>.
- Food and Agriculture Organization (FAO) (2016). La Agenda 2030, los objetivos de desarrollo sostenible y la pesca y la acuicultura. Roma: FAO. <https://www.fao.org/3/mq652s/mq652s.pdf>
- FAO. (2020). The State of World Fisheries and Aquaculture; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2020.
- FAO. (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461es>
- FishBase. (s. f.). Recuperado 28 de abril de 2024, de <https://www.fishbase.ca/>
- FishBase. (s.f.). FishBase: A global information system on fishes. <https://www.fishbase.org>
- Flores-Nava A., Villanueva-García-Benítez J., Vidal-Martínez V.M., Olvera-Novoa M.A., Alonzo-Marruffo E.R., Arreguín-Sánchez F., Poot-López G.R., Alonso-Alemán M., Maldonado-Repetto A. (2016). Diagnóstico de los sectores de la pesca y la acuicultura en el estado de Yucatán. Mérida (México): Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 122 p. Project No. UTF/MEX/117
- Flores-Nava, A. (1994). Desarrollo Científico y Tecnológico del cultivo de camarón blanco del Golfo *Penaeus setiferus* en estanques circulares. Secretaria de Pesca. 45 pp.
- Fraga, J., Salas, S., & Mexicano-Cintora, G. (s. f.). Fishing in Yucatan: From abundance to shortage, to the fragile institutional structures.

- Franklin, G. L., Medellín, G., Appendini, C. M., Gómez, J. A., Torres-Freyermuth, A., López González, J., & Ruiz-Salcines, P. (2021). Impact of port development on the northern Yucatan Peninsula coastline. *Regional Studies in Marine Science*, 45, 101835. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101835>
- Froehlich, H., Koehn J., Holsman K., Halpern B. (2021). Emerging trends in science and news of climate change threats to and adaptation of aquaculture. *Aquaculture*. 549. 737812. 10.1016/j.aquaculture. 2021. 737812.
- Georgianna, D., & Shrader, D. (2008). The effects of days at sea on employment, income, and hours of work: some preliminary evidence. *Human Ecology Review*, 185-193.
- Gephart J.A., Christopher D. Golden, Frank Asche, Ben Belton, Cecile Brugere, Halley E. Froehlich, Jillian P. Fry, Benjamin S. Halpern, Christina C. Hicks, Robert C. Jones, Dane H. Klinger, David C. Little, Douglas J. McCauley, Shakuntala H. Thilsted, Max Troell & Edward H. Allison (2021) Scenarios for Global Aquaculture and Its Role in Human Nutrition, *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 29:1, 122-138, DOI: 10.1080/23308249.2020.1782342
- Gissi, E., Manea, E., Mazaris, A., Frascchetti, S., Almpnidou, V., Bevilacqua, S., Coll, M., Guarnieri, G., Lloret-Lloret, E., Pascual, M., Petza, D., Rilov, G., Schonwald, M., Stelzenmüller, V., & Katsanevakis, S. (2020). A review of the combined effects of climate change and other local human stressors on the marine environment. *The Science of the total environment*, 755 Pt 1, 142564 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142564>.
- Gitelson, A. A., Peng, Y., Arkebauer, T. J., & Schepers, J. (2014). Relationships between gross primary production, green LAI, and canopy chlorophyll content in maize: Implications for remote sensing of primary production. *Remote Sensing of Environment*, 144, 65-72.
- Galappaththi, E. K., Susarla, V. B., Loutet, S. J. T., Ichien, S. T., Hyman, A. A., & Ford, J. D. (2022). Climate change adaptation in fisheries. *Fish and Fisheries*, 23, 4-21. <https://doi.org.ezproxy.uv.mx/10.1111/faf.12595>
- Gallegos-García, A., R. Rodríguez Sobreyra, R. Lecuanda (2010), “Variabilidad de la temperatura de la superficie del mar durante el periodo 1996-2008 en cuatro regiones marinas de la Zona Económica Exclusiva de México”, en A.B. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, y J.L. Rojas Galaviz (ed.), *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*, Semarnat/INE/UNAM-ICMYL/Universidad Autónoma de Campeche, pp. 269-282.
- Gómez M, M., Liu, Y., Ünal, V., Sánchez, J. L. (2021). Comparative analysis of the social vulnerability assessment to climate change applied to fisheries from Spain and Turkey. *Scientific Reports*, 11(1), 13949.
- Gómez Murciano, M., Liu, Y., Ünal, V., & Sánchez Lizaso, J. L. (2021). Comparative analysis of the social vulnerability assessment to climate change applied to fisheries from Spain and Turkey. *Scientific Reports*, 11(1), 13949. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93165-0>

- Gonzalez-Parrao C, Moratti M, Shisler S, Snilstveit B, Eyers J. (2021). PROTOCOL: Aquaculture for improving productivity, income, nutrition and women's empowerment in low- and middle-income countries: A systematic review and meta-analysis. *Campbell Syst Rev.* 24;17(3):e1188. <https://doi.org/10.1002/cl2.1195>
- Gretta, T., Pecl., Tim, M., Ward., Zoë, A., Doubleday., Steven, Clarke., Jemery, Day., Cameron, Dixon., Stewart, Frusher., Philip, Gibbs., Alistair, J., Hobday., Neil, Hutchinson., Sarah, Jennings., Keith, Jones., Xiaoxu, Li., Daniel, E., Spooner., Richard, Stoklosa. (2014). Rapid assessment of fisheries species sensitivity to climate change. *Climatic Change*, 127(3):505-520. doi: 10.1007/S10584-014-1284-Z
- Hall-Arber, M., Dyer, C. L., Poggie, J. J., McNally, J., & Gagne, R. (2001). New England's fishing communities.
- Hambrey, J. The 2030 Agenda and the Sustainable Development Goals: The Challenge for Aquaculture Development and Management. In *FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1141*; Food And Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2017.
- Harper, S., Adshade, M., Lam, V., Pauly, D., & Sumaila, U. (2020). Valuing invisible catches: Estimating the global contribution by women to small-scale marine capture fisheries production. *PLoS ONE*, 15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228912>.
- Hernández, B. (2002). Variabilidad interanual de las anomalías de la temperatura superficial del mar en aguas cubanas y su relación con eventos El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). *Investigaciones marinas Valparaíso*. 30:21-31.
- Hernández, M. A. (s. f.). Transformación de los sistemas naturales por actividades antropogénicas.
- Hinkel, J., & Klein, R. J. (2007). Integrating knowledge for assessing coastal vulnerability to climate change. *McFadden et al.(eds)*.
- Hinkel, Jochen. (2011). "Indicators of vulnerability and adaptive capacity": Towards a clarification of the science-policy interface. *Global Environmental Change*. 21. 198-208. 10.1016/j.gloenvcha.2010.08.002.
- Hoang, H. D., Momtaz, S., & Schreider, M. (2020). Assessing the vulnerability of small-scale fishery communities in the estuarine areas of Central Vietnam in the context of increasing climate risks. *Ocean & Coastal Management*, 196, 105302.
- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol.4, pp. 1-23.
- Huck SW (2008). *Reading Statistics and Research*. Pearson Education. Boston. 5ta.Edicion.
- INEGI (2024). Página principal. Recuperado 28 de abril de 2024, de <https://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/yuc/default.aspx>

- IPCC (2014). Summary for policymakers. In O. Edenhofer,, R. Pichs-Madruga,, Y. Sokona,, E. Farahani,, S. Kadner,, & K. Seyboth, (Eds.). *Climate change 2014:Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Islam, M., Barman, A., Kundu, G., Kabir, M., & Paul, B. (2019). Vulnerability of inland and coastal aquaculture to climate change: Evidence from a developing country. *Aquaculture and Fisheries*. <https://doi.org/10.1016/J.AAF.2019.02.007>.
- Izquierdo, J. M. C., & Guerrero, J. M. C. (2023). Organización espacial de la economía de la langosta en el estado de Yucatán, México. *Investigaciones Geográficas*, (80), 237-257.
- Johnson, JC. (1990). *Selecting Ethnographic Informants Qualitative Research Methods*. Series. SAGE Press. California. Vol 22. 96 pp.
- Kais, S., & Islam, M. (2017). Impacts of and resilience to climate change at the bottom of the shrimp commodity chain in Bangladesh: A preliminary investigation. *Aquaculture*. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2017.05.024>.
- Kaiser, H.F., (1960). The application of electronic computers to factor analysis. *Educ. Psychol. Meas.* 20, 141–151. <https://doi.org/10.1177/001316446002000116>.
- Kang, B., Pecl, G., Lin, L., Sun, P., Zhang, P., Li, Y., Zhao, L., Peng, X., Yan, Y., Shen, C., & Niu, W. (2021). Climate change impacts on China's marine ecosystems. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 31, 599 - 629. <https://doi.org/10.1007/s11160-021-09668-6>.
- Khoshnevis, S. y Shakouri, Dr.Bahram. (2010). The Effects of Climate Change on Aquaculture. *International Journal of Environmental Science and Development*. 378-382. 10.7763/IJESD.2010.V1.73.
- Kim, B.-T.; Brown, C.L.; Kim, D.-H. A. (2019). Assessment on the vulnerability of Korean aquaculture to climate change. *Marine Policy*, 99: 111-122. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.10.009>.
- Krishnakumar, P. K. (2008). Primer software and its application in marine biodiversity studies. In: *Winter School on Impact of Climate Change on Indian Marine Fisheries held at CMFRI, Cochin 18.1. 2008 to 7.2. 2008*.
- Krishnakumar, P. K. (s. f.). THE PRIMER SOFTWARE AND ITS APPLICATION IN MARINE BIODIVERSITY STUDIES.
- Leitão, F., Baptista, V., Erzini, K., (2018b). Reconstructing discards profiles of unreported catches. *Sci. Mar.* 82S1, 39–49. <https://doi.org/10.3989/scimar.04723.08A>.
- Lotze, H. (2021). Marine biodiversity conservation. *Current Biology*, 31: R1190-R1195 <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.06.084>.
- MacKintosh, A., Hill, G., Costello, M., Jueterbock, A., & Assis, J. (2023). Modeling Aquaculture Suitability in a Climate Change Future. *Oceanography*. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2023.s1.10>.

- Manzano-Sarabia, M. M. & Salinas-Zavala, C. A. (2008). Variabilidad estacional e interanual de la concentración de clorofila a y temperatura superficial del mar en la región occidental del Golfo de México: 1996-2007. *Interciencia*, 33(9), 628-634.
- Marshall, N. A., Tobin, R. C., Marshall, P. A., Gooch, M., & Hobday, A. J. (2013). Social Vulnerability of Marine Resource Users to Extreme Weather Events. *Ecosystems*, 16(5), 797-809. <https://doi.org/10.1007/s10021-013-9651-6>
- Marshall, N.A., Marshall, P.A., Tamelander, J., Obura, D., Malleret-King, D., Cinner, J.E., (2009). A framework for social adaptation to climate change. *Sustaining Tropical Coastal Communities and Industries*, IUCN. Gland, Switzerland.
- Marshall, N.A., Tobin, R.C., Marshall, P.A., Gooch, M., Hobday, A.J., (2013). Social vulnerability of marine resource users to extreme weather events. *Ecosystems* 16, 797–809. <https://doi.org/10.1007/s10021-013-9651-6>.
- Mayorga C., A. G. (2022). Percepción del impacto del cambio climático y las medidas de adaptación, en medios de vida de comunidades pesqueras del municipio de Marcovia [Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2022]. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/7259>
- McArdle, B. H., y Anderson, M. J. (2001). Fitting multivariate models to community data: a comment on distance-based redundancy analysis. *Ecology* 82, 290–297. doi: 10.1890/0012-9658(2001)082%5B0290:fmmtcd%5D2.0.co;2
- Mendenhall, E., Hendrix, C., Nyman, E., Roberts, P.M., Hoopes, J.R., Watson, J.R., Lam, V.W., Sumaila, U.R. (2020). Climate change increases the risk of fisheries conflict. *Mar. Policy*. p. 117.
- Monroy-García, C., Gutiérrez-Pérez, C., Medina-Quijano, H., Uribe-Cuevas, M., & Chable-Ek, F. (2019). La actividad pesquera de la flota ribereña en el estado de Yucatán: pesquería de escama. *México: Instituto Nacional de Pesca y Acuacultura*.
- Muhala V., Chicombo T.F., Macate I.E., Guimarães-Costa A., Gundana H., Malichocho C., Hasimuna O.J., Remédio A., Maulu S., Cuamba .L, Bessa-Silva A.R., Sampaio I. (2021) Climate Change in Fisheries and Aquaculture: Analysis of the impact caused by Idai and Kenneth cyclones in Mozambique. *Front. Sustain. Food Syst.* 5:714187 doi: 10.3389/fsufs.2021.714187.
- Olvera-Novoa, M. A., Arjona-Cambranes, K., Felaco, L., Martínez-Milián, G., & Sánchez-Tapia, I. (2024). Aquaculture of the chocolate chip sea cucumber, *Isostichopus badionotus*, in Yucatán, Mexico: Progress and challenges. *The World of Sea Cucumbers*, 717-736.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2023). Mujeres y Hombres en México 2021-2022. / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463907381.pdf
- Mulyasari G., Irham., Lestari, Rahayu, Waluyati., Any, Suryantini. (2019). Livelihood vulnerability to climate change of fishermen in the coastal area of Bengkulu province, Indonesia.. *Aacl Bioflux*,

- NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, Ocean Biology Processing Group. (2022). Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Aqua. Time Series, Area-Averaged of Chlorophyll a concentration (water only) 8-daily 4 km. NASA OB.DAAC, Greenbelt, MD, USA. Accessed on 4/25/2024 doi: 10.5067/AQUA/MODIS/L3M/CHL/2022
- NASA Ocean Color. (s. f.). Recuperado 28 de abril de 2024, de <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/l3/>
- Natale, F., Hofherr, J., Fiore, G., & Virtanen, J. (2013). Interactions between aquaculture and fisheries. *Marine Policy*, 38, 205-213. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOL.2012.05.037>
- Navarrete-Euan, H., Rodríguez-Escamilla, Z., Pérez-Rueda, E., Escalante-Herrera, K., & Martínez-Núñez, M. A. (2021). Comparing sediment microbiomes in contaminated and pristine wetlands along the coast of Yucatan. *Microorganisms*, 9(4), 877.
- Navarrete-Euan, H., Rodríguez-Escamilla, Z., Pérez-Rueda, E., Escalante-Herrera, K., & Martínez-Núñez, M. A. (2021). Comparing Sediment Microbiomes in Contaminated and Pristine Wetlands along the Coast of Yucatan. *Microorganisms*, 9(4), 877. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9040877>
- Naylor, R.L.; Hardy, R.W.; Buschmann, A.H.; Bush, S.R.; Cao, L.; Klinger, D.H.; Little, D.C.; Lubchenco, J.; Shumway, S.E.; Troell, M. (2021). A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*, 591, 551–563.
- Nguyen, T.T.X.; Bonetti, J.; Rogers, K.; Woodroffe, C.D. (2016). Indicator-based assessment of climate-change impacts on coasts: A review of concepts, methodological approaches and vulnerability indices. *Ocean Coast. Manag.* 123, 18–43.
- Noriega p., R., & Quiñones Aguilar, Á. (2021). Preámbulo. Evolución económica del turismo en Yucatán 2006-2018. *Península*, 16(2), 15-22.
- OECD, (2008). Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide. OECD, France <https://doi.org/10.1787/9789264043466-en>.
- Ojeda-Ruiz M.A., Petatán-Ramírez D, Guerrero-Izquierdo T, Salvadeo C. (2022). Rapid vulnerability assessment of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) fisheries facing climate change in Mexico. *Progress in Oceanography* 206. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2022.102826>.
- Osorio-Olvera, L., Rioja-Nieto, R., Guerra-Martínez, F. 2024. Prediction of mangrove recovery in natural protected areas of the Yucatan Peninsula. *Reg Environ Change* 24, 38. <https://doi.org/10.1007/s10113-024-02203-w>
- Pachauri, R.; Allen, M.; Barros, V.; Broome, J.; Cramer, W.; Christ, R.; Dubash, N.K. (2014). Climate Change; Synthesis Report; Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC: Geneva, Switzerland. p. 151.
- Palomares, M.L.D. and D. Pauly. Editors. 2024. SeaLifeBase. World Wide Web electronic publication. www.sealifebase.org, version (03/2024).

- Pandit, S.N.; Maitland, B.M.; Pandit, L.K.; Poesch, M.S.; Enders, E.C. (2017). Climate change risks, extinction debt, and conservation implications for a threatened freshwater fish: Carmine shiner (*Notropis percobromus*). *Sci. Total Environ.* 598, 1–11.
- Paz Noriega, R., Quiñones Aguilar, Á., Paz Noriega, R., & Quiñones Aguilar, Á. (2021). Preámbulo. Evolución económica del turismo en Yucatán 2006-2018. *Península*, 16(2), 15-22.
- Pech-Puch, D., Pérez-Povedano, M., Lenis-Rojas, O. A., Rodríguez, J., & Jiménez, C. (2020). Marine Natural Products from the Yucatan Peninsula. *Marine Drugs*, 18(1), 59. <https://doi.org/10.3390/md18010059>
- Pérez, C. G. (2014). El contexto de vulnerabilidad social de pescadores ribereños en la península de Yucatán. *Sociedad y Ambiente*, (5).
- Pérez-Landa, Irving & Galaviz-Villa, Itzel & Garay Marín, Juan. (2019). Incremento en el nivel de mar en la zona costera de Veracruz
- Pinto M., Albo-Puigserver M., Bueno-Pardo J., Monteiro J.N., Teodosio M.A., Leitao F. (2023). Eco-socio-economic vulnerability assessment of Portuguese fisheries to climate change. *Ecological Economics* 212, 107928. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.107928>
- Platas-Rosado D.E., Hernández-Arzaba J.C., Preza-Lagunes L., González-Reynoso L. (2016). El cambio climático global: impacto y adaptación de la acuicultura mexicana. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(spe14), 2875-2882. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016001002875&lng=es&tlng=es.
- Portman, M., Jin, D., Thunberg, E. (2009). Waterfront land use change and marine resource conditions: the case of New Bedford and Fairhaven, Massachusetts. *Ecological Economics* 68 (8e9), 2354e2362.
- Reid, G., Gurney-Smith, H., Marcogliese, D., Knowler, D., Benfey, T., Garber, A., Forster, I., Chopin, T., Brewer-Dalton, K., Moccia, R., Flaherty, M., Smith, C., & Silva, S. (2019). Climate change and aquaculture: considering biological response and resources. *Aquaculture Environment Interactions*, 11, 569-602. <https://doi.org/10.3354/aei00332>.
- Rihani VA. (1989). Información básica de la actividad pesquera en Yucatán 1988. Delegación Federal de Pesca y Departamento de Desarrollo Pesquero del estado de Yucatán. 59 pp.
- Rivera-Arriaga, E., I. Azuz-Adeath, O. D. Cervantes Rosas, A. Espinoza-Tenorio, R. Silva Casarín, A. Ortega-Rubio, A. V. Botello y B. E. Vega-Serratos (eds.), 2020. *Gobernanza y Manejo de las Costas y Mares ante la Incertidumbre. Una Guía para Tomadores de Decisiones*. Universidad Autónoma de Campeche, ricomar. 894 p.
- Rijnsdorp, A.D.; Peck, M.A.; Engelhard, G.H.; Möllman, C.; Pinnegar, J.K. Resolving the effect of climate change on fish populations. *ICES J. Mar. Sci.* 2009, 66, 1570–1583.

- Rodríguez-Serna, M., Carmona-Osalde, C., Guzmán-García, X., & Puerto-Novelo, E. (2016). Primeras experiencias para el desarrollo del cultivo de holoturidos (*Isostichopus badionotus* y *Holothuria floridana*) endémicos del golfo de México. *Revista AquaTIC*, (36).
- Rosas, C., Gallardo, P., Mascaró, M., Caamal-Monsreal, C. and Pascual, C. (2014) *Octopus maya*. In Iglesias, J., Fuentes, L. and Villanueva, R. (eds) *Cephalopod culture*. Dordrecht: Springer, pp. 383–396
- Sahagún-Sánchez, Francisco Javier, Reyes-Hernández, Humberto. (2018). Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México. *CienciaUAT*, 12(2), 6-21.
- Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries (STECF) - Social Data in Fisheries – update of the national profiles (STECF-22-14). Publications Office of the European Union, Luxembourg, (2023), doi:10.2760/31328, JRC133702.
- SeaLifeBase. (s.f.). SeaLifeBase: A global information system on marine life. <https://www.sealifebase.se>
- Soares, D., Millán, G., & Gutierréz-Montes, I. (2014). Reflexiones y expresiones de la vulnerabilidad social en el sureste de México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Solís-Ramírez, M.J. (1997) *Octopus maya*: biology and fishery in Mexico. In Lang, M.A. and Hochberg, F.G. (eds) *Proceedings of the Workshop on “The Fishery and Market Potential of Octopus in California”*. Washington, DC: Smithsonian Institution, pp. 105–113.
- Sosa Villalobos, Cinthya & Castañeda-Chávez, María & Amaro Espejo, Isabel & Galaviz-Villa, Itzel & Lango-Reynoso, Fabiola. (2016). Diagnosis of the current state of aquaculture production systems with regard to the environment in Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 44(2). 193-201. <https://doi.org/10.3856/vol44-issue2-fulltext-1>.
- Sostenible, D., Estatal, R., Palmar, E., Palmar, E., Objectives, S. D., Palmar, E., & Reserve, S. (2023). Estructura e impacto territoriales de la pesca comercial ribereña en los puertos de la Reserva Estatal El Palmar, Yucatán (México). 5–26.
- Sowman M., Raemaekers S. (2018). Socio-ecological vulnerability assessment in coastal communities in the BCLME region. *Journal of Marine Systems* 188: 160-171. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2018.01.008>.
- Steffen, W., Å. Persson, L. Deutsch, J. Zalasiewicz, M. Williams, K. Richardson, C. Crumley, P. Crutzen, C. Folke, L. Gordon, M. Molina, V. Ramanathan, J. Rockström, M. Scheffer, H. J. Schellnhuber, and U. Svedin. (2011). The Anthropocene: from global change to planetary stewardship. *Ambio: A Journal of the Human Environment* 40:739-761. <https://doi.org/10.1007/s13280-011-0185-x>.
- Sumaila UR, Pierruci A, Oyinlola MA, Cannas R, Froese R, Glaser S, Jacquet J, Kaiser BA, Issifu I, Micheli F, Naylor R and Pauly D. (2022). Aquaculture over-optimism? *Front. Mar. Sci.* 9:984354. doi: 10.3389/fmars.2022.984354.

- Thiault, L., Marshall, P.A., Gelcich, S., Collin, A., Chlous, F., Claudet, J., (2017). Mapping social- ecological vulnerability to inform local decision making. *Conserv. Biol.* 1–18. <https://doi.org/10.1111/cobi.12989>
- Thiault, L., Gelcich, S., Cinner, J.E., Lewin, S.T., Chlous, F., Claudet, J., (2019). Generic and Specific Facets of Vulnerability for Analysing Trade-offs and Synergies in Natural Resource Management 1–17. doi: <https://doi.org/10.1002/pan3.10056>.
- Trégarot, Ewan & D'Olivo, Juan & Botelho, Andrea & Cabrito, Andrea & Cardoso, Gabriel & Casal, Gema & Cornet, Cindy & Cragg, Simon & Degia, A. Karima & Fredriksen, Stein & Furlan, Elisa & Heiss, Georg & Kersting, Diego & Maréchal, Jean-Philippe & Meesters, Erik & O'Leary, Bethan & Pérez, Géraldine & Seijo-Núñez, Cristina & Simide, Remy & Juan, Silvia. (2023). Effects of climate change on marine coastal ecosystems -A review to guide research and management. *Biological Conservation.* 289. 110394. [10.1016/j.biocon.2023.110394](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110394).
- Tuler, S. P., Webler, T., & Polsky, C. (2013). A rapid impact and vulnerability assessment approach for commercial fisheries management. *Ocean & Coastal Management*, 71, 131e140.
- Valdez, O. E. J., Rosas, C., & Arena, L. (2010). La posible historia del pulpo maya leída en su ADN. *Ciencias*, (097).
- Van Dijk, T. (2000). *El discurso como estructura y proceso, estudios sobre el discurso [tomo I]*. Editorial Gedisa.
- Vidal-Hernández, L. A., de Yta-Castillo, D., Cuevas-Jiménez, A., Paredes-Chi, A., & Hernández-Herrera, I. (2021). Informe final del proyecto Resiliencia de socio-ecosistemas costeros de Yucatán: Vulnerabilidad y capacidad adaptativa ante el cambio climático PINCC 2020-21.
- Waldvogel, A., Feldmeyer, B., Rolshausen, G., Expósito-Alonso, M., Rellstab, C., Kofler, R., Mock, T., Schmid, K., Schmitt, I., Bataillon, T., Savolainen, O., Bergland, A., Flatt, T., Guillaume, F., & Pfenninger, M. (2020). Evolutionary genomics can improve prediction of species' responses to climate change. *Evolution Letters*, 4: 4 - 18. <https://doi.org/10.1002/evl3.154>.
- Weiskopf, S., Rubenstein, M., Crozier, L., Gaichas, S., Griffis, R., Halofsky, J., Hyde, K., Morelli, T., Morissette, J., Muñoz, R., Pershing, A., Peterson, D., Poudel, R., Staudinger, M., Sutton-Grier, A., Thompson, L., Vose, J., Weltzin, J., & Whyte, K. (2020). Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States. *The Science of the total environment*, 137782.
- Yadav, N.K., Patel, A.B., Singh, S.K. et al. Climate change effects on aquaculture production and its sustainable management through climate-resilient adaptation strategies: a review. *Environ Sci Pollut Res* (2024). <https://doi.org.ezproxy.uv.mx/10.1007/s11356-024-33397-5>
- Zou L-L, Wei Y-M. (2010). Driving factors for social vulnerability to coastal hazards in Southeast Asia: results from the meta-analysis. *Nat Hazards* 54:901–929. doi:10.1007/s11069-010-9513-x.

ÍNDICE DE TABLAS



Tabla 1. Clasificación de las zonas de estudio y las comunidades pesqueras que las integran.	20
Tabla 2. Indicadores y variables socioecológicas del componente de exposición de la vulnerabilidad de la pesca ante el cambio climático.	23
Tabla 3. Indicadores y variables socioecológicas del componente de sensibilidad de la vulnerabilidad de la pesca ante el cambio climático.	24
Tabla 4. Indicadores y variables socioecológicas del componente de capacidad adaptativa de la vulnerabilidad de la pesca ante el cambio climático.	25
Tabla 5. Indicadores de evaluación de la vulnerabilidad acuícola.	31
Tabla 6. Indicadores de exposición para la acuicultura modificado de Kim et al. (2019).	32
Tabla 7. Indicadores y puntuación de sensibilidad (Doubleday et al., 2013). Adaptado para el cultivo comercial de jaiba suave en Yucatán.	33
Tabla 8. Indicadores y puntuación de sensibilidad (Doubleday et al., 2013). Adaptado para el cultivo comercial de tilapia en Yucatán.	34
Tabla 9. Indicadores y puntuación de sensibilidad modificada de Cinner et al. (2013). Adaptado para el cultivo comercial de tilapia y jaiba suave en Yucatán.	35
Tabla 10. Aspectos sociales y pesqueros de las tres zonas de estudio.	38
Tabla 11. Índices de exposición ecológica ponderados en las comunidades costeras de Yucatán por región: centro, oriente y poniente (valores ponderados de cada factor 0 - 0.11 para sumar entre todos los factores el valor de 1).	51
Tabla 12. Índices de sensibilidad socioeconómica ponderados en las comunidades costeras de Yucatán (valores ponderadores de cada factor 0 - 0.07 para sumar entre todos los factores el valor de 1).	58
Tabla 13. Vulnerabilidad pesquera y climática de especies de importancia comercial de las comunidades costeras de Yucatán.	60
Tabla 14. Estado de explotación de los principales recursos pesqueros de la zona costera de Yucatán.	61
Tabla 15. Índices de la capacidad adaptativa ponderados en las comunidades costeras de Yucatán por región: centro, oriente y poniente (valores ponderadores de cada factor 0 - 0.2 para sumar entre todos los factores el valor de 1).	63
Tabla 16. Índices de la vulnerabilidad en las comunidades costeras de Yucatán por región: centro, oriente y poniente.	63
Tabla 17. Estandarización de las respuestas de la pregunta dos dirigida a informantes clave.	76
Tabla 18. Estandarización de las respuestas de la pregunta abierta no. tres dirigida a informantes clave.	77
Tabla 19. Estandarización de las respuestas de la pregunta abierta no. cinco dirigida a informantes clave.	78

Tabla 20. Estandarización de las respuestas de la pregunta abierta no. seis dirigida a informantes clave.	79
Tabla 21. Ponderación de la vulnerabilidad socioecológica de la acuicultura ante el cambio climático.	83
Tabla 22. Evaluación de la exposición y la sensibilidad de especies con potencial para la maricultura en el estado de Yucatán.	83
Tabla 23. Escenarios ante el cambio climático con respecto a la variabilidad de la temperatura.	90
Tabla 24. Cambio porcentual en captura máxima potencial para especies comerciales de Yucatán bajo el escenario RCP 2.6, así mismo, el cambio en valor de capturas y cambio en captura máxima potencial ponderado por el índice de importancia estacional de captura.	91
Tabla 25. Lista de especies acuícolas cultivadas en el estado de Yucatán en las zonas de estudio.	98
Tabla 26. Especies identificadas con interés para su cultivo en las zonas de estudio.	99
Tabla 27. Unidades de producción acuícolas con reporte de avisos de cosecha en 2019 y en el primer trimestre del 2024 en el estado de Yucatán.	100
Tabla 28. Valores categóricos en los elementos de sensibilidad, factor social.	113
Tabla 29. Valores categóricos en los elementos de sensibilidad, factor económico.	114
Tabla 30. Valores categóricos en los elementos de la capacidad adaptativa res (Muallil et al., 2011).	115

ÍNDICE DE FIGURAS



Figura 1. Porcentaje de producción de las principales especies acuícolas en México.	13
Figura 2. Principales impactos del cambio climático en la acuicultura y en los ecosistemas costeros. Fuente: Yadav et al., 2024, modificado.	15
Figura 3. Ubicación geográfica de las zonas de estudio, que están integradas por las localidades de Río Lagartos, San Felipe, Dzilam de Bravo (Oriente), Telchac Chuburná, Progreso (Centro); Sisal y Celestún (Poniente).	19
Figura 4. Elementos de vulnerabilidad socioecológica de comunidades pesqueras ante efectos del cambio climático.	23
Figura 5. Especies de importancia comercial en la zona Centro.	40
Figura 6. Especies de importancia comercial en la zona Oriente.	41
Figura 7. Especies de importancia comercial en la zona Poniente.	41
Figura 8. Tendencias de las capturas históricas de la pesquería de pequeña escala del 2010 - 2021. (Datos disponibles en CONAPESCA, 2022).	42
Figura 9. Tendencia de las capturas de pulpo en las zonas de estudio en el periodo de 2010 - 2021.	42
Figura 10. Tendencia de las capturas de mero en el periodo de 2010 - 2021 en las zonas de estudio.	43
Figura 11. Tendencia de las capturas de pulpo y mero en el periodo de 2010 - 2021 en la Zona Poniente.	43
Figura 12. Tendencia de la temperatura superficial del mar (°C) en el periodo comprendido de 2010 a 2021 en las distintas zonas de estudio de las costas del estado de Yucatán.	45
Figura 13. Comportamiento de las anomalías de la TSM en la zona Poniente durante el periodo de 2010 - 2021.	45
Figura 14. Anomalías de la TSM mensual en la zona Poniente en los años 2010 y 2021.	46
Figura 15. Promedio anual de las anomalías de la TSM en la zona Centro en el periodo de 2010 - 2021.	46
Figura 16. Anomalías de la TSM mensual en la zona Centro en los años 2010 y 2021.	47
Figura 17. Promedio anual de las anomalías de la TSM en la zona Oriente en el periodo de 2010 - 2021.	47
Figura 18. Anomalías de la TSM mensual en la zona Oriente en los años 2010 y 2021.	48
Figura 19. Tendencia de la temperatura superficial del mar (línea naranja) y las capturas de pulpo (línea color azul) en la zona Poniente en el periodo de 2010 - 2021.	48
Figura 20. Productividad de las tres regiones (2010 - 2021) datos tomados como referencias de tres comunidades correspondientes a cada región, oriente (Río lagartos), centro (Telchac) y poniente (Celestún).	49

Figura 21. Coordenadas principales PCoA 1 vs PCoA 2 de nueve descriptores multivariados de la exposición ecológica medidos en las comunidades costeras de Yucatán en la región: centro, oriente y poniente.	50
Figura 22. Abundancia pesquera (kg capturados por embarcación) de especies de importancia comercial en las comunidades costeras de Yucatán por zonas de estudio: centro, oriente y poniente.	52
Figura 23. Abundancia pesquera de especies de importancia comercial en las comunidades costeras de Yucatán por zonas de estudio: a) pulpo, b) escama y c) langosta.	53
Figura 24. Porcentaje de pescadores de tiempo parcial y tiempo completo considerando el total de pescadores encuestados en las ocho comunidades pesqueras.	54
Figura 25. Comparación entre pescadores de tiempo completo (a) y tiempo parcial (b) en las comunidades costeras de Yucatán, desglosado por zona de estudio.	54
Figura 26. Ganancias mínimas y máximas por la actividad pesquera (a) y por la captura de pulpo (b) de las comunidades costeras de Yucatán zonas de estudio.	55
Figura 27. Variación de los precios históricos (más de 20 años) y actuales de las especies de importancia comercial de las comunidades costeras de Yucatán por zona de estudio (a). las principales especies en las zonas de estudio son: pulpo (b), escama (c) y langosta (d).	56
Figura 28. Coordenadas principales PCoA 1 vs PCoA 2 de catorce descriptores multivariados de la sensibilidad socioeconómica medidos en las comunidades costeras de Yucatán en la región: centro, oriente y poniente.	58
Figura 29. Coordenadas principales PCoA 1 vs PCoA 2 de cinco descriptores multivariados de la capacidad adaptativa medidos en las comunidades costeras de Yucatán en la región: centro, oriente y poniente.	62
Figura 30. Componentes clave de la vulnerabilidad, comparando sensibilidad con capacidad de adaptación y el grado de exposición se indica con el tamaño de los círculos (Círculo más grande = mayor exposición).	64
Figura 31. Modelo mental (mapa cognitivo difuso) de la representación de la vulnerabilidad socioecológica de la zona poniente (Sisal y Celestún). Las flechas de color naranja indican un efecto negativo y las flechas de color azul señalan un efecto positivo.	65
Figura 32. Modelo mental (mapa cognitivo difuso) y representación de la vulnerabilidad socioecológica ante el cambio climático en la zona poniente (Sisal y Celestún). Las flechas de color naranja indican un efecto negativo, y las flechas de color azul señalan un efecto positivo.	65

Figura 33. Modelo mental (mapa cognitivo difuso) y representación de la vulnerabilidad socioecológica ante el cambio climático en la zona centro (Chuburná, Progreso y Telchac) flechas de color naranja: efecto negativo, flechas de color azul: efecto positivo.	66
Figura 34. Modelo mental (mapa cognitivo difuso) y representación de la vulnerabilidad socioecológica ante el cambio climático en la zona oriente (Dzilam de Bravo, San Felipe y Río Lagartos) flechas de color naranja: efecto negativo, flechas de color azul: efecto.	66
Figura 35. Problemáticas en la localidad de Celestún Yucatán: (a) Perros callejeros dentro del basurero, (b) Residuos sólidos en las calles y una charca que se utilizó para extraer sal.	67
Figura 36. Pobladores de Celestún esperando una pipa para poder suministrarles de agua potable, debido a la falta de este recurso en sus hogares.	68
Figura 37. Problemáticas en la localidad en Sisal Yucatán: residuos sólidos en el puerto de abrigo de la comunidad de Sisal, Yucatán (imagen de lado izquierdo) y banco de arena en la entrada del sitio de desembarque de la comunidad de Sisal, Yucatán.	68
Figura 38. Problemáticas en la localidad en Sisal Yucatán: construcción de palapas en la orilla de la playa (imagen de lado izquierdo) y dunas costeras (imagen de lado derecho).	69
Figura 39. Puerto de abrigo de la localidad de Chuburná Yucatán.	70
Figura 40. Encuesta a pescadores en la localidad de Telchac Yucatán.	70
Figura 41. Dragado de playa en la entrada del puerto de abrigo de Telchac puerto Yucatán.	70
Figura 42. Destrucción de manglares en la zona de Progreso y Chicxulub Yucatán para la construcción de viviendas irregulares.	71
Figura 43. Puerto de abrigo “La Caleta” para embarcaciones menores en el Puerto de Progreso Yucatán (Flecha roja indica la ubicación de la Caleta).	71
Figura 44. Comedor de Pescados y Mariscos propiedad de un pescador en Telchac.	72
Figura 45. Captura ilegal de especies de pulpo y pepino de mar en la localidad de Dzilam de Bravo Yucatán.	72
Figura 46. Participación de la mujer en las actividades de pesca en Dzilam de Bravo.	73
Figura 47. Puerto de abrigo y artes de pesca empleados en la localidad de Río Lagartos.	73
Figura 48. Puerto de abrigo de la comunidad de San Felipe Yucatán, afectado por el sargazo.	74
Figura 49. Informantes clave que realizaron la encuesta digital en Google Form.	75
Figura 50. Respuestas sobre si evalúan la vulnerabilidad en cada organización encuestada.	76
Figura 51. Respuestas sobre qué medidas o estrategias han implementado cada institución para apoyar a los pescadores/as y acuacultores/as en la adaptación al cambio climático.	78
Figura 52. Respuestas sobre cómo se coordinan los informantes clave para la realización de acciones ante el cambio climático.	79

Figura 53. Respuestas sobre la principal prioridad de cómo los informantes clave toman en cuenta las acciones ante el cambio climático.	80
Figura 54. Percepción de los informantes clave de las especies de importancia económica para los pescadores de la costa de Yucatán.	80
Figura 55. Principales especies de importancia comercial en Yucatán.	81
Figura 56. Percepción de los informantes clave con respecto a los eventos climáticos que han aumentado y afectado a la actividad pesquera y acuícola.	81
Figura 57. Percepción de los informantes clave con respecto a si la acuicultura es una actividad económica complementaria viable para las comunidades costeras de Yucatán.	82
Figura 58. Localización de las 19 granjas de tilapia que formaban el Sistema Producto Tilapia en el Estado de Yucatán en el 2005. Fuente: Olvera-Novoa et al., 2005.	97

