

An aerial photograph of a coastal town, likely in Yucatán, Mexico. The foreground is dominated by a long concrete pier where dozens of small, light-colored motorboats are docked. The water is dark and calm. In the background, a cluster of colorful buildings is visible along the shoreline, with a dense mangrove forest and a body of water extending to the horizon under a clear sky.

RESUMEN EJECUTIVO

EVALUACIÓN RAPIDA DE CAMBIO CLIMÁTICO EN YUCATÁN



**Environmental
Defense
Fund**



INTRODUCCIÓN

El cambio climático actual se caracteriza por un ritmo acelerado y una magnitud sin precedentes, siendo las actividades antropogénicas las principales responsables. El aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera es una de las primordiales causas. Las actividades humanas, tales como la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) para la generación de energía, la deforestación y la agricultura, son las principales fuentes de emisiones de estos gases.

El cambio climático y los factores antropogénicos están generando alteraciones en los ecosistemas costeros y marinos, lo que tiene un impacto negativo en la abundancia y distribución de las especies de interés para la pesca y la acuicultura. La creciente frecuencia de eventos climáticos extremos puede afectar el hábitat, la productividad, así como afectar las operaciones e infraestructura físicas de la pesca y la acuicultura (IPCC, 2020). Esta situación amenaza la seguridad alimentaria y económica de las comunidades costeras, las cuales se enfrentan a la disminución de los recursos marinos, el deterioro de los ecosistemas y una creciente incertidumbre en sus medios de vida.

Es crucial identificar las especies marinas, comunidades costeras y sistemas de producción más vulnerables en la pesca y la acuicul-

tura, ante las amenazas del cambio climático. Las evaluaciones rápidas de vulnerabilidad se presentan como herramientas indispensables, ya que permiten, en un corto tiempo, identificar y analizar el grado de susceptibilidad de estos sectores, proporcionando información esencial para el diseño de estrategias de adaptación que permitan a las comunidades costeras hacer frente a los impactos del cambio climático. Esto permite priorizar las acciones de adaptación y los recursos disponibles hacia las áreas y grupos que más los necesitan.

La evaluación de vulnerabilidad ante el cambio climático con un enfoque socioecológico es una herramienta que analiza la susceptibilidad de los sistemas humanos y naturales a los impactos del cambio climático, considerando la interacción entre los aspectos sociales, económicos y ecológicos. A diferencia de las evaluaciones tradicionales que se centran en factores individuales (como la exposición a eventos climáticos extremos), el enfoque socioecológico reconoce que la vulnerabilidad es el resultado de la interacción compleja entre factores sociales (organización social, valores culturales, equidad, acceso a recursos), económicos (medios de vida, acceso a mercados, dependencia a la pesca) y ecológicos (salud de los ecosistemas, biodiversidad, servicios ecosistémicos, entre otros).

Los componentes esenciales de la vulnerabilidad son: la exposición, la sensibilidad y la capacidad adaptativa. En el caso de las comunidades pesqueras, la exposición refleja en qué medida el recurso del que dependen las comunidades costeras se verá afectado por el cambio climático. La sensibilidad se refiere al grado en que los sistemas pesqueros (especies, ecosistemas, comunidades y economías) se ven afectados por los impactos del cambio climático. La capacidad adaptativa refleja la habilidad de las personas para anticipar y responder a los cambios y para minimizar, enfrentar y recuperarse de las consecuencias de los cambios en la disponibilidad de bienes y servicios ecosistémicos estimulados por el cambio climático o cambios en la gestión.



Yucatán

El estado de Yucatán, en el sureste de México cuenta con una línea de costa de 378 km. Esta línea comienza desde Celestún y se extiende en dirección noreste hasta Yucalpetén. Desde allí, la dirección de la costa cambia hacia el este y continúa hasta finalizar en El Cuyo. La pesca es una actividad fundamental para la economía y la cultura de las comunidades costeras de Yucatán. De igual forma, el turismo de playa, así como el turismo cultural y ecoturismo, son importantes fuentes de ingresos para las comunidades costeras, que ofrecen actividades como buceo, snorkel, avistamiento de aves, visitas a sitios arqueológicos y reservas naturales.

Este informe presenta una evaluación rápida de la vulnerabilidad al cambio climático en los ecosistemas y comunidades costeras de Yucatán, con énfasis en la pesca y acuicultura. Para evaluar la vulnerabilidad pesquera se adaptó el marco de Marshall (2009), y se consideraron ocho comunidades costeras, divididas en tres zonas de estudio:

- **Zona Poniente:** Celestún y Sisal.
- **Zona Centro:** Chuburná, Progreso y Telchac.
- **Zona Oriente:** Dzilam de Bravo, San Felipe y Río Lagartos.

Vulnerabilidad Socioecológica

La vulnerabilidad socioecológica se considera como la susceptibilidad de una comunidad para responder ante las presiones ocasionadas por el cambio climático. Esta evaluación, basada en un enfoque ecosistémico, incluye componentes sociales y ecológicos. Se integraron datos climáticos, capturas pesqueras e información socioeconómica y ecológica, junto con el conocimiento local y observación participativa de pescadores y actores clave, para proporcionar una visión integral de los riesgos y desafíos que enfrenta el sector.

Exposición

En este estudio, la exposición ecológica y ambiental se definió como las condiciones del cambio climático que generan modificaciones en los sistemas socio-ecológicos pesqueros. Se realizó un análisis cualitativo de la percepción de los pescadores respecto a la vulnerabilidad de sus actividades y medios de vida ante eventos climáticos extremos (huracanes, sequías, inundaciones) y cambios en los ecosistemas marinos y costeros.



Los indicadores de exposición considerados fueron la temperatura superficial del mar, productividad primaria y eventos climatológicos (mareas rojas, frentes fríos, huracanes, entre otros). Debido a que la mayoría de las especies pesqueras de la región son más sensibles a los cambios de temperatura que a la acidificación, este último factor, que afecta principalmente a organismos calcificantes, no se incluyó como indicador.

La productividad primaria se mide comúnmente como la concentración de clorofila a (Chl-a). La clorofila a es un pigmento verde predominante en las algas. Su concentración en las aguas superficiales del mar se usa comúnmente como un indicador de la abundancia de fitoplancton en los océanos. De igual forma, la abundancia de peces y otras especies marinas está estrechamente vinculada a la producción primaria. Por esta razón, se consideró este factor en el estudio.

Sensibilidad

La sensibilidad socioeconómica de las zonas de estudio se evaluó principalmente a partir del grado de dependencia de la actividad pesquera.

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 englobándolo por zonas.

Capacidad Adaptativa

La capacidad adaptativa se definió el conjunto de características demográficas, económicas y de movilidad que mejoran las habilidades de las personas para mitigar, afrontar y recuperarse de los efectos ocasionados por el cambio climático (principalmente eventos climáticos extremos). Se evaluó mediante un índice socioeconómico compuesto por cinco variables clave: acceso a empleo, seguridad social, apoyos gubernamentales, empleos alternativos y acceso a programas acuícolas. Adicionalmente, se consideró el estado de vulnerabilidad pesquera y de cambio climático con indicadores ecológicos, a través de las características biológicas de las principales especies comerciales.



Vulnerabilidad de la pesca ante el cambio climático

La evaluación rápida se enfocó en las pesquerías de pequeña escala más relevantes para el sector pesquero, que son: el pulpo, langosta, la escama (incluye el mero diversas especies de pargos) y jaiba. La captura de especies, tanto para consumo local como para exportación, es una fuente importante de ingresos y empleos en el estado.

Componente de Exposición

El análisis histórico de la temperatura superficial del mar muestra una tendencia hacia el incremento de este factor climático. Similarmente, otros estudios, indican que la temperatura superficial del mar (TSM) en el Golfo de México aumentó aproximadamente en $1.08 \pm 0.25^{\circ}\text{C}$ entre 1970 y 2020 (Wang et al., 2022). Los resultados indican que existen diferencias significativas entre la zona Poniente y el resto de las zonas de estudio, y se observan mayores temperaturas en esta zona. Durante el periodo analizado a corto plazo (2010-2021), en la zona Centro la temperatura promedio (TP) fue de 26.7°C , mientras que la TP del 2021 fue de 27.30°C . Esta tendencia se observó en la Zona Oriente, donde la TP del periodo analizado fue de 26.7°C y la temperatura del último año fue 27.22°C (año 2021). En la zona Poniente la TP fue de 27.38°C , y mostro un ligero aumento en el último año (27.88°C).

La productividad primaria en la Zona Oriente es significativamente mayor en comparación con las otras zonas de estudio (Centro y Poniente). Esta zona se caracteriza por tener grandes cantidades de nutrientes como nitritos y fósforo reactivo soluble, atribuible a la influencia de actividades agrícolas y ganaderas. Las condiciones mesoeutróficas (niveles moderados de nutrientes, como nitrógeno y fósforo) registradas para las costas de Yucatán están asociadas con las actividades humanas (descargas de aguas residuales domésticas de fosas sépticas y efluentes de los puertos). Las áreas con indicios de eutrofización son propensas a la aparición de las mareas rojas. Pescadores mencionaron que, en el 2011, se registró una marea roja que duró 150 días en la zona entre Dzilam de Bravo y San Crisanto afectando también a las zonas colindantes.

En la zona Oriente se observó una relación positiva entre la alta productividad primaria con las capturas pesqueras totales. Esto puede deberse a que las áreas con alta productividad primaria se caracterizan por tener poblaciones abundantes de zooplancton, peces y aves marinas.



En la zona Centro, se observó una correlación negativa entre las capturas de mero y la temperatura superficial del mar. A mayor temperatura disminuyen las capturas de mero. Esta tendencia sólo se observó en dicha zona, aunque no se descartan otros factores como las fluctuaciones en el precio que podrían influir en las capturas. Por otro lado, las capturas de pulpo y langosta no mostraron relación con la temperatura.

Los pescadores perciben que tienen mayores afectaciones cuando se presentan frentes fríos, debido a que no pueden salir a pescar. De igual forma, mencionan que son afectados por las mareas rojas, ya que los peces se mueren o se alejan de la zona costera. Los datos recopilados revelaron que las comunidades costeras de Yucatán presentaban un nivel medio de exposición al cambio climático.

Componente de Sensibilidad

En este estudio, se emplearon catorce indicadores socioeconómicos para estimar la sensibilidad de las comunidades costeras de Yucatán. Estos indicadores incluyen:

- edad
- grado de experiencia en la pesca
- nivel de estudios
- número de personas dependientes en el hogar
- consumo de pescado
- distancia del lugar de captura
- nivel de migración
- nivel de adicción
- nivel de robos
- nivel de desempleos
- grado de violencia en la comunidad
- grado de desorganización
- costo de los servicios básicos
- costo total del viaje de captura

Sensibilidad en las zonas estudiadas

El análisis de sensibilidad reveló diferencias significativas entre las zonas de estudio, destacando la zona Poniente. En esta área, los

pescadores reportaron mayores problemas de robos, violencia, adicciones y desorganización, y se observó una mayor proporción de pescadores libres, especialmente en Celestún.

Dzilam de Bravo, en la Zona Oriente, presenta una situación preocupante en relación a la pesca ilegal. A diferencia de San Felipe y Río Lagartos, en esta localidad se evidencia un menor cumplimiento de las vedas y tallas mínimas de captura. La afluencia de pescadores foráneos, debido a la pesquería de pepino de mar, trajo consigo cambios culturales como el aumento de la ilegalidad, la práctica del “pachocho” (solicitar productos pesqueros de forma gratuita) y el incremento de adicciones.

La dependencia económica de la pesca es mayor en la zona Poniente, donde representa el 52% de la actividad económica. En contraste, las zonas Centro y Oriente presentan porcentajes similares de dependencia (22% y 26% respectivamente), debido a que muchos pescadores se dedican a esta actividad a tiempo parcial y complementan sus ingresos con otras ocupaciones, como el turismo, la construcción o el transporte.

Ingresos

Las ganancias de los pescadores de la costa de Yucatán varían considerablemente, desde un mínimo de \$400 hasta un máximo de \$4,500 por viaje. Incluso, mencionan que en ocasiones no obtienen ganancias, y lo que obtienen es para pagar los costos del viaje de pesca. En la pesquería de pulpo, se observó que los valores más bajos en ganancias por viaje de pesca es un promedio de \$317.

Los ingresos de los pescadores son inestables, ya que dependen de las temporadas de pesca, las especies capturadas y las fluctuaciones de precios a lo largo del año. Para afrontar los meses de veda de pulpo, mero y langosta, suelen ahorrar durante las temporadas de mayor abundancia.

Durante más de 10 años, el precio de los productos obtenidos de la pesca se ha mantenido por

debajo de los \$200.00 MXN por kg. En cuanto a la pesquería de pulpo, los precios históricos en las tres zonas de estudio fueron de \$50.00 MXN por kg, pero en la actualidad estos precios han casi duplicado su valor (\$ 80.00 a \$110.00). Por otro lado, en la pesca de escama, los precios históricos fueron similares en el centro y el oriente, ambos con un valor de \$73.00 MXN por kg, mientras que el poniente registró los precios más bajos, con \$36 MXN por kg. Sin embargo, en la pesquería multiespecífica la variabilidad en el precio de especies es alta debido a la preferencia del consumidor.

Componente de Capacidad Adaptativa

La capacidad de adaptación se evaluó mediante un análisis multivariado que incluyó cinco indicadores socioeconómicos e indicadores de la capacidad de recuperación ecológica de las especies de importancia para la pesca frente al cambio climático.

Especies como la corvina pinta (*Cynoscion nebulosus*), el mero rojo (*Epinephelus morio*), el pulpo maya (*Octopus maya*), el boquinete (*Lachnolaimus maximus*) y el chac-chí (*Haemulon plumieri*) presentan una alta o muy alta vulnerabilidad a la pesca y al cambio climático. Otras especies, como el pargo mulato (*Lutjanus griseus*), el pargo canané (*Ocyurus chrysurus*) y el carito (*Scomberomorus cavalla*), muestran una vulnerabilidad moderada-alta, mientras que la langosta (*Panulirus argus*) presenta una vulnerabilidad baja-moderada y la jaiba azul (*Callinectes sapidus*) una vulnerabilidad baja.

Ante la disminución de las capturas, los pescadores de la zona Centro han diversificado sus actividades económicas, incursionando recientemente en el ecoturismo. En la zona Oriente, los pescadores también se dedican a otras actividades como el turismo, la agricultura, la venta de alimentos, pescados y mariscos. En menor escala, los pescadores de la zona Poniente han diversificado sus actividades al dedicarse a la

venta de pescados y mariscos, extracción del sal y apicultura.

Impactos antropogénicos en las zonas de estudio hacia el ecosistema

En Celestún y Sisal, localidades de la zona Poniente, se evidenció un problema de contaminación por residuos sólidos (basura). Charcas que en el pasado servían para la extracción de sal ahora están abandonadas y contaminadas, lo que representa un problema ambiental adicional. Los pescadores de la zona admiten que también contribuyen a la contaminación del agua con residuos de alimentos y aceite de motores.



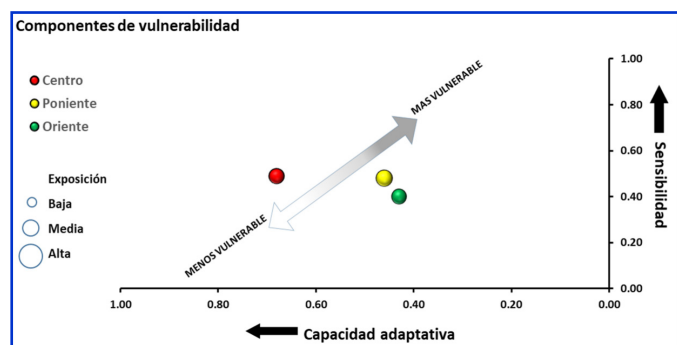
En San Felipe, zona Oriente, se ha observado un cambio drástico en el uso del suelo. Un área que anteriormente estaba cubierta de manglar ha sido lotificada para la construcción de viviendas. Esta problemática también se observó en la Zona Centro, en las localidades de Progreso y Chicxulub para la construcción de viviendas irregulares. Los manglares filtran y purifican el agua que fluye hacia el mar, eliminando sedimentos, nutrientes y contaminantes. Su disminución puede llevar a un aumento de la contaminación y la turbidez del

agua, afectando la vida marina y los ecosistemas costeros. Las raíces de los manglares actúan como barreras naturales que protegen las costas de la erosión causada por el oleaje y las corrientes. Su disminución deja a las costas vulnerables a la erosión, lo que puede llevar a la pérdida de tierras y daños a infraestructuras



Resultados de la vulnerabilidad (V) de la pesca ante al cambio climático

Las zonas más vulnerables al cambio climático en la pesca fueron la zona Oriente ($V=0.40$) y la zona Poniente ($V=0.48$). Las comunidades costeras de la zona Centro de Yucatán mostraron una vulnerabilidad más baja ($V=0.25$), lo que sugiere una mayor capacidad adaptativa en comparación con las otras zonas de estudio.



Existe una variabilidad en la vulnerabilidad de las comunidades pesqueras de Yucatán frente al cambio climático. Las comunidades de la zona Centro muestran una menor vulnerabilidad en comparación con las de las zonas Oriente y Poniente. Esta disparidad se debe a la ubicación

geográfica de cada localidad y a la exposición diferencial a eventos climáticos como frentes fríos, huracanes y mareas rojas, que afectan sus bienes y actividades. Además, la capacidad adaptativa en relación con los factores socio-económicos de las comunidades también difiere notablemente, con mayor capacidad adaptativa en la zona Centro diferente al Centro y Poniente.

Vías de acceso. Uno de los factores revelados por los encuestados y que conforma parte de la vulnerabilidad de las comunidades, es la diferencia entre las zonas de estudio en relación con las vías de acceso terrestre. La zona Centro cuenta con diversas vías de acceso terrestre, mientras que en las zonas Oriente y Poniente en ciertas ocasiones no se puede acceder a las comunidades pesqueras, debido a que solo existe una vía de acceso terrestre. En San Felipe y Río Lagartos, en época de lluvias, las constantes precipitaciones pueden imposibilitar el acceso terrestre por la inundación de las carreteras.

Principales hallazgos

- Las tres zonas presentan distintos grados y tipos de vulnerabilidad frente al cambio climático, con mayor atención a la zona Oriente y Poniente.
- Los usuarios carecen de información y herramientas para implementar medidas de adaptación efectivas.
- La acuicultura emerge como una alternativa prometedora para diversificar los medios de vida y reducir la dependencia de la pesca tradicional en comunidades vulnerables.

Medidas de adaptación

Se identificaron diversas medidas de adaptación para fortalecer la capacidad adaptativa del sector pesquero como la diversificación de actividades productivas, el desarrollo de prácticas de pesca y acuicultura sostenibles, la implementación de sistemas de alerta temprana y el fortalecimiento de la gobernanza pesquera.



Vulnerabilidad de la acuacultura ante al cambio climático

La acuacultura en Yucatán se encuentra en una fase emergente, caracterizada por unidades de producción continentales, predominantemente de tipo semi-intensivo y dedicadas a la engorda de tilapia. Las unidades de producción acuícolas comerciales en la región producen tilapia (*Oreochromis niloticus*), camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*), langosta de agua dulce (*Cherax quadricarinatus*), jaiba suave (*Callinectes sapidus*) y diversas especies de ornato.

La vulnerabilidad de la acuacultura ante el cambio climático se define 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. Por lo que, los sistemas de cultivos que muestran una mayor dependencia al medio natural mostrarán una mayor vulnerabilidad. Al igual que la evaluación de vulnerabilidad de la pesca, se utilizó un método basado en indicadores. Este método selecciona y evalúa indicadores indirectos de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación de los sistemas de cultivo y las especies cultivadas.

La evaluación rápida de la vulnerabilidad de la acuacultura ante el cambio climático se enfocó en los sistemas de producción continentales (jaiba suave y tilapia) existentes en la región.

Las unidades de producción continentales (instalaciones en tierra) utilizan sistemas de producción semi-intensivos. El laboratorio de producción de jaiba suave se ubica en Celestún, mientras que la unidad de producción de tilapia se encuentra en las cercanías de la comunidad pesquera Sisal. En el ámbito de la maricultura, durante el año 2021 se desarrollaron proyectos experimentales de cultivo de ostión americano y algas rojas en la zona Oriente, con el objetivo de evaluar su viabilidad y potencial productivo. Actualmente, existe un cultivo experimental de corvina pinta en la Zona de Refugio Pesquero de Celestún.

En la evaluación de la exposición de la vulnerabilidad de la acuacultura, se seleccionaron tres indicadores:

- temperatura
- inundaciones (por aumento del nivel del mar o lluvias intensas)
- disponibilidad de agua para los sistemas continentales.

El aumento de la temperatura del agua puede alterar las condiciones físicas de los estanques, como los niveles de oxígeno disuelto, lo que a su vez puede provocar floraciones de algas nocivas

y un aumento en las enfermedades parasitarias o bacterianas. Las inundaciones pueden destruir las instalaciones acuícolas (como estanques en tierra) y los organismos cultivados, o alterar los niveles de salinidad requeridos por las especies.

Los indicadores de sensibilidad de la acuicultura consideraron el tipo de sistemas en cada fase de cultivo, su grado de dependencia al medio ambiente y el tipo de alimento proporcionado (comercial o natural) a las especies. Un sistema de cultivo más dependiente del entorno natural será más sensible a los cambios provocados por el cambio climático. Por ejemplo, los cultivos que dependen de la disponibilidad de crías silvestres como es el caso del pulpo y el pargo canané serán más vulnerables en comparación con aquellos cultivos que utilizan crías procedentes de laboratorios como la tilapia y el ostión.

Resultados

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 y del cultivo de tilapia es baja. 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.

En cuanto a la capacidad adaptativa, este estudio, los acuicultores dedicados al cultivo de tilapia presenten un mayor grado de estudio, así como capacitación respecto al manejo de los organismos y buenas prácticas acuícola, en comparación a los productores de jaiba suave. Además, los productores de mojarra-tilapia han implementado estrategias para mitigar las altas temperatura en sus unidades de producción, mediante la implementación de tejabanés,

mallas sombras y áreas verdes. En el caso de a jaiba azul, esta especie se ve favorecida con las altas temperaturas que promueven el proceso de muda.

Vulnerabilidad socioecológica de la acuicultura continental 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 (mojarra)	0.168	0.108	0.19	0.086
	Baja	Baja	Alta	Baja



Vulnerabilidad de la maricultura ante al cambio climático

La maricultura aún no tiene presencia en el estado, de manera comercial. En un esfuerzo por diversificar la producción acuícola y aprovechar el potencial de la región, el Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables (IMIPAS) y la Secretaría de Pesca y Acuicultura Sustentables (SEPASY) con el apoyo de instituciones de investigación como la UNAM y el CINVESTAV han realizado cultivos experimentales de pargo canané (*Ocyurus chrysurus*), ostión americano (*Crassostrea virginica*) y algas rojas. Actualmente, se cultivaron juveniles de corvina pinta (*Cynoscion nebulosus*) en la Zona del Refugio Pesquero de Celestún para su engorda.

En el componente de exposición de la vulnerabilidad de la maricultura, los indicadores seleccionados dependieron de los requerimientos ambientales óptimos para cada especie. En el caso del ostión americano fueron la temperatura, la salinidad, la productividad primaria y el pH. Los factores ambientales seleccionados influyen en el crecimiento y la supervivencia de los bivalvos. La acidificación de los océanos puede afectar la biocalcificación en organismos calcificantes.

La evaluación rápida de la vulnerabilidad de la maricultura ante el cambio climático se enfocó en los componentes de exposición y sensibilidad de la corvina pinta y el ostión americano. Esto se debe, a que la maricultura en Yucatán se ha realizado de manera experimental.

Las zonas con alta productividad favorecen a la selección de sitios idóneos para la maricultura de bivalvos, proporcionando alimento natural a estas especies filtradoras. Se ha demostrado que los ostiones se alimentan de fitoplancton, materia orgánica en descomposición, y otros materiales en suspensión, como nitritos y fósforo. Esta capacidad de filtración los convierte en actores clave para mejorar la calidad del agua en zonas con ciertos niveles de eutrofización, ya que ayudan a reducir la concentración de nutrientes y a controlar el crecimiento excesivo de algas.

Resultados de vulnerabilidad socioecológica de la maricultura ante el cambio climático

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

La corvina pinta muestra mayor exposición (estrés) a los cambios de temperatura siendo susceptible al cambio climático. El ostión mostró una baja exposición, debido a la buena adaptabilidad a zonas de cultivo con altas salinidad, y alta estabilidad de las variables ambientales. Las poblaciones de ostión americano de las costas mexicanas del Golfo de México muestran mayor resistencia a altas temperaturas y niveles de salinidad que las poblaciones de Estados Unidos.

El ostión americano muestra una baja exposición debido 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. Los resultados de los cultivos pilotos que se realizan de la corvina pinta, como el estudio bioeconómico permitirá conocer más sobre la especie y su potencial acuícola en las costas de Yucatán.

La maricultura del 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. Los ostiones no necesitan grandes profundidades para ser cultivados a diferencias de los peces. Además, las canastas ostrícolas pueden retirarse temporalmente de la zona de cultivo y reubicarse una vez que las condiciones climáticas mejoren (p.ej. en caso de huracanes), 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 peletizado 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 con un enfoque 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 al aire libre, principalmente en Dzilam de Bravo, en donde se realizó un cultivo piloto de *Kappaphycus alvarezii*.

La capacidad adaptativa de la acuicultura ante el cambio climático se evalúa a través de diversos factores que determinan cómo el 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 cultivos experimentales. En otras palabras, la capacidad adaptativa, evalúa la habilidad del sector 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, que han evaluado 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.

Recomendaciones de especies para maricultura

El cultivo de ostiones y algas marinas ofrece numerosas ventajas. El cultivo de ostiones proporciona una acuicultura sostenible con servicios ecosistémicos como la extracción de nutrientes y la mejora de la calidad del agua. El cultivo de algas marinas contribuye a la producción de alimentos, al secuestro de carbono, y actúa como sumidero de CO₂, colaborando en la mitigación del cambio climático. Los sistemas integrados de acuicultura multitrófica (IMTA) que involucran pepinos de mar pueden ayudar en la biorremediación mediante el procesamiento de desechos orgánicos de otras actividades acuícolas como los cultivos de peces en la Zona del refugio Pesquero de Celestún, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.





CONCLUSIONES GENERALES

Encuestas digitales dirigidas a informantes clave. Los resultados de las encuestas a informantes clave del sector pesquero, correspondientes al Gobierno Federal (IMIPAS), Dependencias Estatales (SEPASY), Universidades (Universidad Marista de Mérida, UADY y la UNAM), Centros de Investigación (CINVESTAV), organizaciones pesqueras (CANAIPECA) y organizaciones de la Sociedad Civil (EDF, CeDePescas, entre otras). 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.

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 informantes clave afirman una falta de comunicación entre las organizaciones pesqueras y otras instituciones en relación con la vulnerabilidad pesquera y la contribución potencial de la investigación en ese tema. 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.

Las prioridades de gestión ambiental y adaptación al cambio climático en la pesca y acuicultura varían entre las diferentes instituciones, organizaciones y centros de investigación. Las dependencias de gobierno y las instituciones de investigación se enfocan en la evaluación de recursos pesqueros, analizar, actualizar, adecuar herramientas de manejo necesarias. Las organizaciones de la Sociedad Civil tienen como prioridad establecer medidas de mitigación, desarrollo sustentable, gobernanza y políticas públicas, así como la implementación de medidas de recuperación a través de las Zonas de Refugio Pesquero. Las organizaciones pesqueras suman esfuerzos para la inspección y vigilancia.

Recomendaciones

El cambio climático representa una amenaza significativa para la pesca y acuicultura en Yucatán. Es fundamental implementar medidas de adaptación para garantizar la sostenibilidad del sector y proteger los medios de vida de las comunidades pesqueras:

- **Fortalecer la investigación y monitoreo de los impactos del cambio climático** en los ecosistemas marinos y la actividad pesquera.
- **Promover la adopción de prácticas de pesca y acuicultura sostenibles** que reduzcan la vulnerabilidad al cambio climático.
- **Diseñar y aplicar un programa que promueva la acuicultura sustentable**, lo cual se menciona en los Programas de Conservación y Manejo de las Áreas Naturales Protegidas en el estado de Yucatán.
- **Implementar programas de capacitación y asistencia técnica** para las comunidades pesqueras y acuícolas en materia de adaptación al cambio climático.
- **Fortalecer la coordinación interinstitucional** y la participación de los actores clave en la gestión de la pesca y acuicultura frente al cambio climático.
- **Priorizar estudios bioeconómicos** que analicen la viabilidad económica (rentabilidad) de especies candidatas para la acuicultura (tanto continental como marina), integrando factores de riesgo relacionados con el cambio climático.
- **El fomento de la actividad acuícola requiere la coordinación de las autoridades involucradas** para la regulación permisos de investigación, de fomento o comerciales que se requieran.
- **Realizar la evaluación de las especies identificadas** para carnada de pulpo como el maskil y la jaiba azul.

Estrategias de adaptación generales para las zonas pesqueras de Yucatán

- **Diversificación** económica y financiera
- **Capacitación y educación**
- **Gestión sostenible** de los recursos pesqueros
- **Conservación** de ecosistemas
- **Monitoreo y regulación participativa**
- **Infraestructura resiliente**



Priorización de estrategias	Poniente	Centro	Oriente
Fomento de las actividades económicas complementarias o reforzar las existentes como el ecoturismo.	X	X	X
Fomento de mecanismos de financiamiento e innovaciones que se beneficien de las sinergias entre adaptación y mitigación en la pesca y acuicultura.	X		X
Implementación de mecanismos para la seguridad social de pescadores y familias.	X	X	X
Implementación de programas para promover el procesamiento y comercialización de productos pesqueros y acuícolas.	X		X
Información para los usuarios sobre los beneficios de las prácticas de pesca sostenible que están establecidas en las normas y reglas.	X		X
Fomento de la acuicultura de bajo impacto ambiental y bajos costos (no requieren equipos con consumo de energía eléctrica).	X		X



Environmental
Defense
Fund