

# Evaluaciones de vulnerabilidad de las comunidades costeras y de cambio en la disponibilidad de los recursos pesqueros y acuícolas de la costa de México

OCTUBRE 2021



EDF-UABCS e INAPESCA promueven el uso justo de esta publicación. Se solicita que sea citada apropiadamente cuando corresponda.

Forma sugerida de citar este documento:

Reyes Bonilla, H., Morzaria Luna, H.N., Petatán Ramírez, D., Vázquez Vera, L., Cruz Piñón, G., Dorantes, J.M., Torres Origel, J.F., Rojas Montiel, B., Torres Rodríguez, L.M., Cisneros Mata, M.A., Pérez Muñoz, A., Lara Mendoza, R.E., López Téllez, N.A., Díaz Uribe, J.G., Ingle de la Mora, G., Jiménez Quiroz, M.C., Martínez Moreno, R., Castro Garibay, H. y Calderón Alvarado, J.M. (2021). Evaluaciones de vulnerabilidad de las comunidades costeras y de cambio en la disponibilidad de los recursos pesqueros y acuícolas de la costa de México. EDF de México y UABCS. La Paz Baja California Sur, México.

**Agradecemos al Banco Interamericano de Desarrollo (BID), por el financiamiento otorgado para la elaboración de este estudio.**

Las opiniones expresadas en esta publicación, que fue apoyada mediante una consultoría del BID con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural del gobierno mexicano, son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Coordinación general:

Dr. Héctor Reyes Bonilla - Universidad Autónoma de Baja California Sur

**Coautores:**

Dra. Hem Nalini Morzaria Luna – Centro Intercultural de Estudios de Desiertos y Océanos.

Dr. David Petatán Ramírez - Universidad Autónoma de Baja California Sur

Biol. Leonardo Vázquez Vera – Consultor independiente

Dra. Gabriela Cruz Piñón - Universidad Autónoma de Baja California Sur

M. en C. José Manuel Dorantes - Universidad Autónoma de Baja California Sur

M. en C. Juan Francisco Torres Origel – Consultor Independiente

M. en C. Bárbara Rojas Montiel – Universidad Autónoma de Baja California Sur

M.C. Alejandro Pérez Muñoz- Instituto de Nacional de Pesca y Acuacultura

Dr. Raúl Lara Enrique Lara Mendoza - Instituto de Nacional de Pesca y Acuacultura

M en C. Luz María Torres Rodríguez - Instituto de Nacional de Pesca y Acuacultura

Dr. Miguel Ángel Cisneros Mata - Instituto de Nacional de Pesca y Acuacultura

Dra. Norma Angélica López Téllez - Instituto de Nacional de Pesca y Acuacultura

Dr. Juan Gabriel Díaz Uribe - Instituto de Nacional de Pesca y Acuacultura

Dra. Genoveva Ingle de la Mora - Instituto de Nacional de Pesca y Acuacultura

Dra. María del Carmen Jiménez Quiroz -Instituto de Nacional de Pesca y Acuacultura

M. en C. Hiram Castro Garibay - Instituto de Nacional de Pesca y Acuacultura

M. en C. Rodrigo Martínez Moreno - Instituto de Nacional de Pesca y Acuacultura

Ocean. Juan Carlos Lapuente Landero - Instituto de Nacional de Pesca y Acuacultura

Dr. Juan Manuel Calderón Alvarado – Environmental Defense Fund

# CONTENIDO

Evaluaciones de vulnerabilidad de las comunidades costeras y de cambio en la disponibilidad de los recursos pesqueros y acuícolas de la costa de México .....	6
Introducción.....	6
Objetivos:.....	7
Objetivo A. Evaluar la vulnerabilidad socioeconómica de más de 10,000 poblaciones costeras, y más de 7,000 instalaciones acuícolas de México, tomando como base dos escenarios de cambio climático (SSP 6.0 y SSP 8.5) y el horizonte futuro al año 2050.....	8
Metodología.....	11
Selección de localidades costeras.....	12
Escenarios futuros .....	13
Datos espaciales utilizados sobre el sector pesquero .....	14
Cálculo de la vulnerabilidad .....	14
Resultados.....	15
Condiciones oceanográficas futuras .....	15
Vulnerabilidad socioeconómica de las comunidades costeras .....	18
Objetivo B. Estimar la vulnerabilidad de las facilidades acuícolas de aguas interiores y la zona costera del país al cambio climático. ....	30
Introducción.....	¡Error! Marcador no definido.
Retos del sector acuícola ante el cambio climático.....	32
Metodología.....	32
Selección de criterios de vulnerabilidad .....	32
Resultados.....	34
Objetivo C. Modelar los posibles cambios de distribución de 20 especies marinas de interés pesquero y acuícola clave para los mismos escenarios y horizonte. ....	44
Introducción.....	¡Error! Marcador no definido.
Metodología.....	45

<b>Conclusiones .....</b>	76
<b>Recomendaciones clave .....</b>	78
<b>Productos e información disponibles .....</b>	80
<b>Referencias.....</b>	82
<b>Anexo I. Indicadores definidos en conjunto con investigadores de INAPESCA para la evaluación de los componentes de la vulnerabilidad pesquera y acuícola. (*) Indica indicadores basados en proyecciones futuras.....</b>	87
<b>Anexo II. Paquetes del sistema de cómputo R utilizados en el análisis de datos y visualización de resultados .....</b>	92
<b>Anexo III. Lista de especies de interés pesquero y acuícola seleccionados por Región de Pesca y Acuacultura.....</b>	95
<b>Anexo IV. Fuentes consultadas para los registros de ocurrencias de las especies.....</b>	97
<b>Anexo V. Fuentes de datos oceanográficos para crear los modelos de distribución potencial de recursos marinos. ....</b>	98

# EVALUACIONES DE VULNERABILIDAD DE LAS COMUNIDADES COSTERAS Y DE CAMBIO EN LA DISPONIBILIDAD DE LOS RECURSOS PESQUEROS Y ACUÍCOLAS DE LA COSTA DE MÉXICO.

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático está afectando la forma de vida de millones de personas en el planeta, y se espera que en las próximas décadas sus efectos se vean acentuados. En respuesta, los gobiernos están comenzando la planeación de estrategias de adaptación de sus sociedades a las futuras condiciones.

Los escenarios climáticos indican que para los océanos de México habrá cambios en el nivel del mar y en la intensidad de tormentas y huracanes, mientras que las condiciones fisicoquímicas de los mares se verán alteradas por el incremento en la temperatura, la concentración de oxígeno, la productividad primaria, y la acidificación oceánica. Estos eventos son preocupantes ya que afectarán directamente la calidad del servicio ecosistémico que representa la pesca y la acuacultura, que es un elemento clave para la seguridad alimentaria del país, y para millones de personas que constituyen la cadena productiva.

Para enfrentar la situación el Gobierno mexicano está construyendo un Plan Estratégico de Cambio Climático para el Sector Agroalimentario, el cual en el caso de la pesca y acuacultura busca impulsar el manejo sustentable de los stocks y promover el aumento en la producción pesquera y acuícola, satisfaciendo así la demanda nacional e internacional de productos acuáticos.

En buena medida, el éxito de las acciones dependerá de la capacidad con la que cuente México para lograr la adaptación eficiente de los residentes de la zona costera al cambio climático, y entre las necesidades más inmediatas esta reconocer el grado de vulnerabilidad que presentan las personas, y prever la posible respuesta de los recursos pesqueros y acuícolas a los cambios esperados en las condiciones oceanográficas. El presente estudio va en esa dirección y está generando información base que ayudará a

definir los criterios para la priorización y toma de decisiones, que impulsen el buen desempeño de la pesca y la acuacultura en el contexto del cambio climático.

## **OBJETIVOS DE ESTE TRABAJO:**

- a) Evaluar la vulnerabilidad socioeconómica de más de 10,000 poblaciones costeras, y más de 7,000 instalaciones acuícolas de México, tomando como base dos escenarios de cambio climático (SSP 6.0 y SSP 8.5) y el horizonte futuro al año 2050;
- b) Estimar la vulnerabilidad de las facilidades acuícolas de aguas interiores y la zona costera del país al cambio climático;
- c) Modelar los posibles cambios de distribución de 20 especies marinas de interés pesquero y acuícola clave para los mismos escenarios y horizonte.

Los resultados proporcionarán información que permita a las autoridades que manejan las actividades pesqueras y acuícolas de México, detectar los municipios y estados del país que requieren con mayor urgencia la puesta en práctica de acciones de adaptación, buscando asegurar el bienestar futuro del sector pesquero y acuícola del país.

## **OBJETIVO A**

**EVALUAR LA VULNERABILIDAD SOCIOECONÓMICA DE MÁS DE 10,000 POBLACIONES COSTERAS, Y MÁS DE 7,000 INSTALACIONES ACUÍCOLAS DE MÉXICO, TOMANDO COMO BASE DOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO (SSP 6.0 Y SSP 8.5) Y EL HORIZONTE FUTURO AL AÑO 2050.**

La pesca es uno de los servicios ambientales proporcionados por los sistemas marinos, crítico para mantener el sustento y la seguridad alimentaria de casi 12 millones de personas en el mundo (Chuenpagdee et al. 2006; Perry et al. 2010). Los sistemas marinos socioecológicos dependientes de la pesca son particularmente vulnerables a los efectos del cambio climático, incluyendo el aumento del nivel del mar, la acidificación, el calentamiento del océano, y el aumento en la intensidad y frecuencia de fenómenos climáticos extremos (Halpern et al. 2009; Iwasaki et al. 2009). Adicionalmente, debido a las interconexiones entre los sistemas costeros y marinos, el cambio climático interactúa con impactos antropogénicos acumulativos como los flujos de nutrientes, la contaminación, la sobrepesca, y la degradación del hábitat (Harley y Rogers-Bennett 2004; Crain et al. 2009). El efecto combinado sobre las actividades pesqueras podría incluir cambios en la distribución espacial y temporal del esfuerzo pesquero, las especies objetivo, el lugar donde se desembarca y procesa el pescado, y las características de las flotas pesqueras (Haynie y Pfeiffer 2012; Kaplan et al. 2013). En resumen, consecuencias significativas para la seguridad alimentaria.

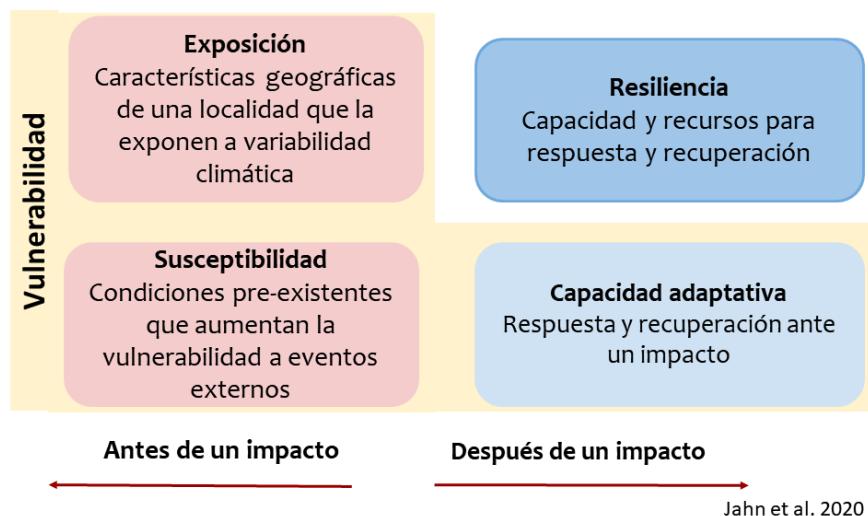
Los impactos del cambio climático afectarán principalmente a los pescadores artesanales, que normalmente representan más del 90% del total de personas empleadas en la actividad en los países en desarrollo (Badjeck et al. 2010). Esto se debe a que éstos operan a pequeña escala, y además, sus características socioeconómicas, demográficas y políticas hacen que su capacidad de adaptación suela ser limitada (Morton 2007). Evaluar el efecto del cambio climático en las comunidades pesqueras y su capacidad de adaptación, es un primer paso necesario e importante para fundamentar las estrategias

de gestión. Ello permitirá ofrecer información a los tomadores de decisiones para diseñar mejores políticas de manejo y aumentar la resiliencia de las comunidades costeras.

La vulnerabilidad de las comunidades pesqueras a los efectos del cambio climático se ha estudiado utilizando diferentes metodologías (Badjeck et al. 2010; Cinner et al. 2012; Jacob et al. 2013; Morzaria-Luna et al. 2014; Himes-Cornell y Kasperski 2015;). Para este estudio se selecciona el marco conceptual diseñado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Cinner et al. 2012; Figura 1), en el que la vulnerabilidad se entiende como el grado en que una entidad social es capaz de hacer frente a los efectos adversos de una perturbación. En la práctica, la vulnerabilidad se estima evaluando en conjunto la presión ambiental (exposición), la susceptibilidad al daño y la adaptación (capacidad de las personas para anticipar, responder y recuperarse de las perturbaciones; Marshall et al. 2013; Himes-Cornell y Kasperski 2015;). No existen medidas únicas de exposición, susceptibilidad o capacidad de adaptación, sino que su análisis depende de la escala del estudio y de la disponibilidad de datos (Adger 2006; Cinner et al. 2013).

El enfoque citado también es seguido en el Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (INECC, 2019), el cual presenta un conjunto estructurado de mapas que ilustran la vulnerabilidad territorial de México ante el cambio climático y pretende orientar estrategias de adaptación y la toma de decisiones. El alcance del atlas es nacional y la resolución de la información es a nivel municipal. La elaboración de este atlas se basó en la vinculación entre los conflictos ambientales y los impactos ante el cambio climático, así como la vulnerabilidad de los sectores sociales y de los ecosistemas. El atlas muestra la vulnerabilidad actual y futura de los municipios de México ante deslaves, inundaciones y estrés hídrico y lo más importante, muestra las causas subyacentes que hacen vulnerable.

## Componentes de la vulnerabilidad



**Figura 1.** Componentes de la vulnerabilidad.

Además, existen varios trabajos académicos enfocados a la evaluación de la vulnerabilidad socioeconómica al cambio climático. Ibarrarán et al. (2010) evaluaron la capacidad de recuperación actual de los estados de México, y estimaron la susceptibilidad por medio de la infraestructura, la seguridad alimentaria, los recursos hídricos y la salud de la población. Para evaluar la capacidad de adaptación se consideraron la disponibilidad de los recursos humanos, la capacidad económica y la capacidad del medio ambiente. Dichos datos sirvieron para alimentar un modelo con el cual se pueden realizar predicciones para México hasta el año 2095. Así mismo, Mac Gregor-Gaona et al. (2021) elaboraron un Índice de riesgo urbano por cambio climático para la Ciudad de México, buscando evaluar avances o retrocesos en la meta nacional de reducir 50% la vulnerabilidad al cambio climático para 2030.

En relación con la pesca, Morzaria-Luna et al. (2014) revisaron la vulnerabilidad social al cambio climático en 12 comunidades costeras del norte del Golfo de California con el fin de identificar algunas estrategias de mitigación y adaptación. En este estudio se utilizaron indicadores cuantitativos para evaluar la susceptibilidad, la exposición y la capacidad de

adaptación, y los resultados indicaron que la vulnerabilidad fue mayor en comunidades con alta dependencia a la pesca y baja diversificación económica.

Finalmente, se efectuó un análisis rápido como parte del documento "Cambio climático y pesca en México: Recomendaciones de política pública" (EDF-ICPMX 2021), donde se encontró que para los años 2050 y 2100 la vulnerabilidad de las comunidades costeras en la República Mexicana presenta variaciones espaciales. En la actualidad, los estados en el Pacífico tropical (Guerrero, Oaxaca y Chiapas) tienen el mayor número de municipios con baja capacidad de adaptación, mientras que a futuro, considerando un escenario que refleja sustentabilidad (SSP126), se observó un incremento en la exposición en las comunidades al sur de la Península de Baja California y en la Península de Yucatán. Finalmente, un escenario que refleja un desarrollo impulsado por combustibles fósiles (SSP585) predice un incremento en la exposición en las comunidades del Golfo de México.

## METODOLOGÍA

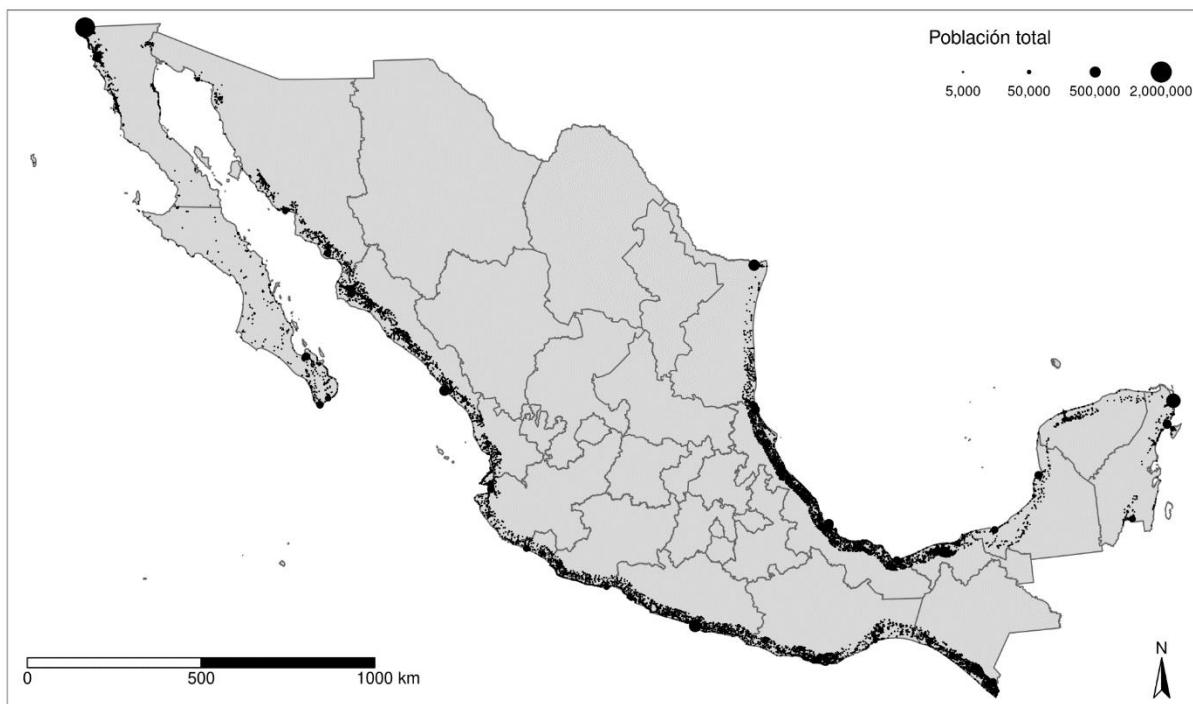
En el presente estudio se desarrolló un análisis de vulnerabilidad basado en el cálculo de la exposición, susceptibilidad y capacidad. Para medir la exposición se utilizó índices que evalúan los impactos humanos y las condiciones ambientales actuales tanto en el medio marino como en el terrestre. La susceptibilidad se basó en la dependencia de cada comunidad costera de la pesca y la acuacultura, como reflejo de cómo estas actividades económicas contribuyen a la economía, el bienestar y la seguridad alimentaria. La capacidad de adaptación se estima a partir de indicadores que permitirán a las comunidades responder y recuperarse ante un evento negativo, bajo el supuesto de que comunidades con alto grado de educación y servicios, bajo nivel de pobreza, infraestructura, oportunidades de empleo y diversificación económica, y bajo grado de disrupción en las características de la población, tendrá una mayor capacidad de adaptación (Anexo I).

Se obtuvo una única puntuación de vulnerabilidad cuantitativa basada en los índices en conjunto. Posteriormente, se estimó la vulnerabilidad bajo condiciones de cambio

climático, al reemplazar los valores de condiciones ambientales por valores futuros bajo escenarios de cambio climático modelos globales, y el horizonte futuro utilizado fue 2030-2050, dado que es la forma como se presenta en las bases de datos del CMIP6. Las fuentes de datos, los índices utilizados y los análisis se explican en detalle a continuación. Todos los análisis se realizaron utilizando el sistema de análisis estadístico y de programación R (R Core Team, 2020). El código y datos se depositaron en <https://github.com/hmorzaria/vulnerabilidadmexico>, y el listado de programas empleados se encuentra en el Anexo II.

## SELECCIÓN DE LOCALIDADES COSTERAS.

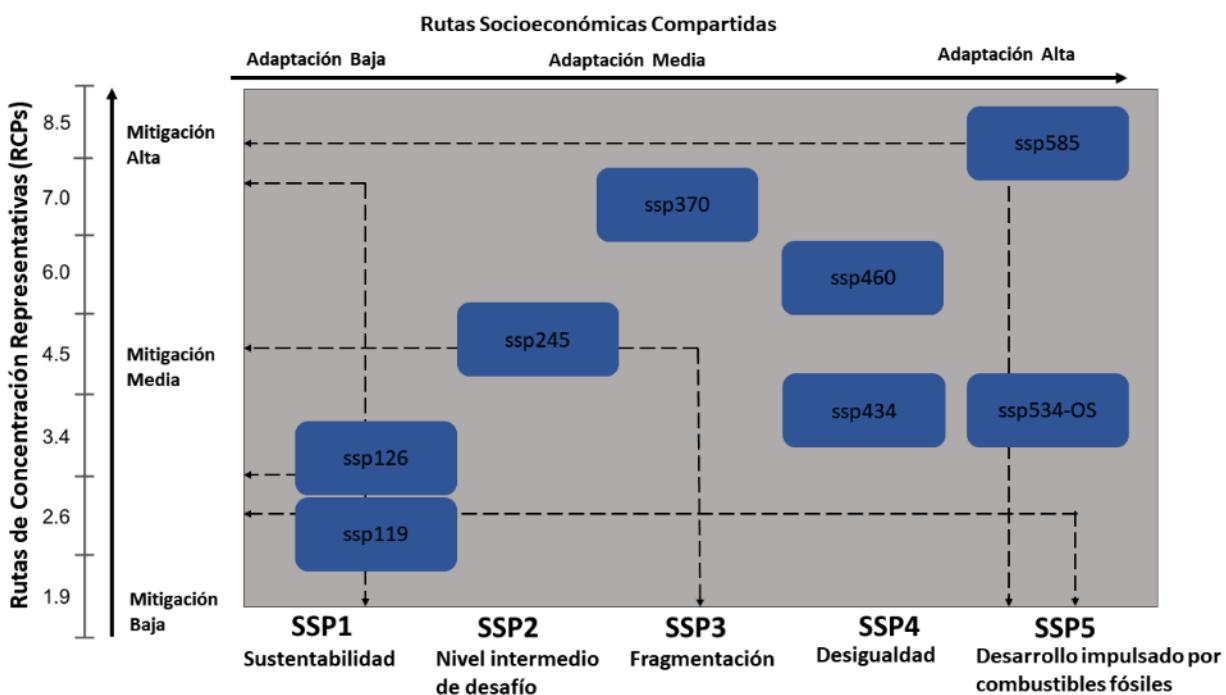
Las comunidades costeras fueron definidas como aquellas situadas en una banda a 30 km de la costa, y se identificó un total de 29,872 para todo el país. No obstante, solo 12,905 de ellas cuentan con datos censales y fueron utilizadas en este análisis (Figura 2).



**Figura 2.** Localidades costeras tomadas en cuenta en el análisis.

## ESCENARIOS FUTUROS

Se utilizaron proyecciones realizadas como parte del CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project 6), los cuales sirven como base para el 6<sup>a</sup> informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Los modelos trabajan a partir de escenarios que proyectan emisiones futuras de gases de efecto invernadero (Eyring et al. 2016) e incluyen cinco Rutas Socioeconómicas Compartidas (SSP; Grose et al. 2020) las cuales describen posibles tendencias en el desarrollo de la sociedad y los ecosistemas durante el siglo XXI (Figura 3): SSP1 - sostenibilidad, SSP2 - medio del camino, SSP3 - rivalidad regional, SSP4 - desigualdad y SSP5 - desarrollo impulsado por combustibles fósiles (O'Neill et al. 2014; Riahi et al. 2017). Finalmente, las Rutas de Concentración Representativas (RCPs) simbolizan los resultados físicos futuros del cambio climático y se basan en el forzamiento radiativo ( $\text{W/m}^2$ ) en la tropopausa, en relación con los niveles preindustriales (Hayhoe et al. 2017; O'Neill et al. 2016).



**Figura 3.** Escenarios (SSP), que resultan de la combinación de una Ruta Socioeconómica Compartida (SSP), y una Ruta de Concentración Representativa (RCP) que indica el forzamiento radiativo esperado ( $\text{W/m}^2$ ).

Para el análisis se utilizaron los escenarios SSP5 (SSP585), que refleja un desarrollo impulsado por combustibles fósiles, y el SSP1 (SSP126) que refleja sustentabilidad para el horizonte 2050. Se trabajaron las predicciones de las siguientes variables oceanográficas, en un radio de 30 km alrededor de cada comunidad: temperatura superficial del mar, productividad primaria y oxígeno disuelto, tomadas del Max-Planck-Institut für Meteorologie (Jungclaus et al. 2013). Las variables terrestres utilizadas fueron temperatura mínima promedio mensual (°C), temperatura máxima promedio mensual (°C) y precipitación promedio mensual (mm) estimadas para el periodo 2041-2060 por el proyecto WorldClim ([https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6\\_clim2.5m.html](https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6_clim2.5m.html)), para el modelo CNRM-CM6-1 del Centre National de Recherches Météorologiques/ Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique (Gurvan et al. 2016; Voldoire et al. 2019).

## DATOS ESPACIALES UTILIZADOS SOBRE EL SECTOR PESQUERO

Las fuentes de datos para el análisis socioeconómico se resumen en el Anexo I. La información fue obtenida, almacenada y posteriormente se llevó a cabo su limpieza y agregación para poder calcular la vulnerabilidad. A partir del Atlas de Localidades Pesqueras desarrollado por Ramírez-Rodríguez et al. (2004), en sus diferentes versiones, se georreferenciaron sitios de desembarque para embarcaciones mayores y menores, de modo que se pudiera asignar su producción a cada municipio. Se identificaron 607 sitios de desembarque en el Golfo de México, así como 1,118 para el Pacífico y Golfo de California.

## CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD

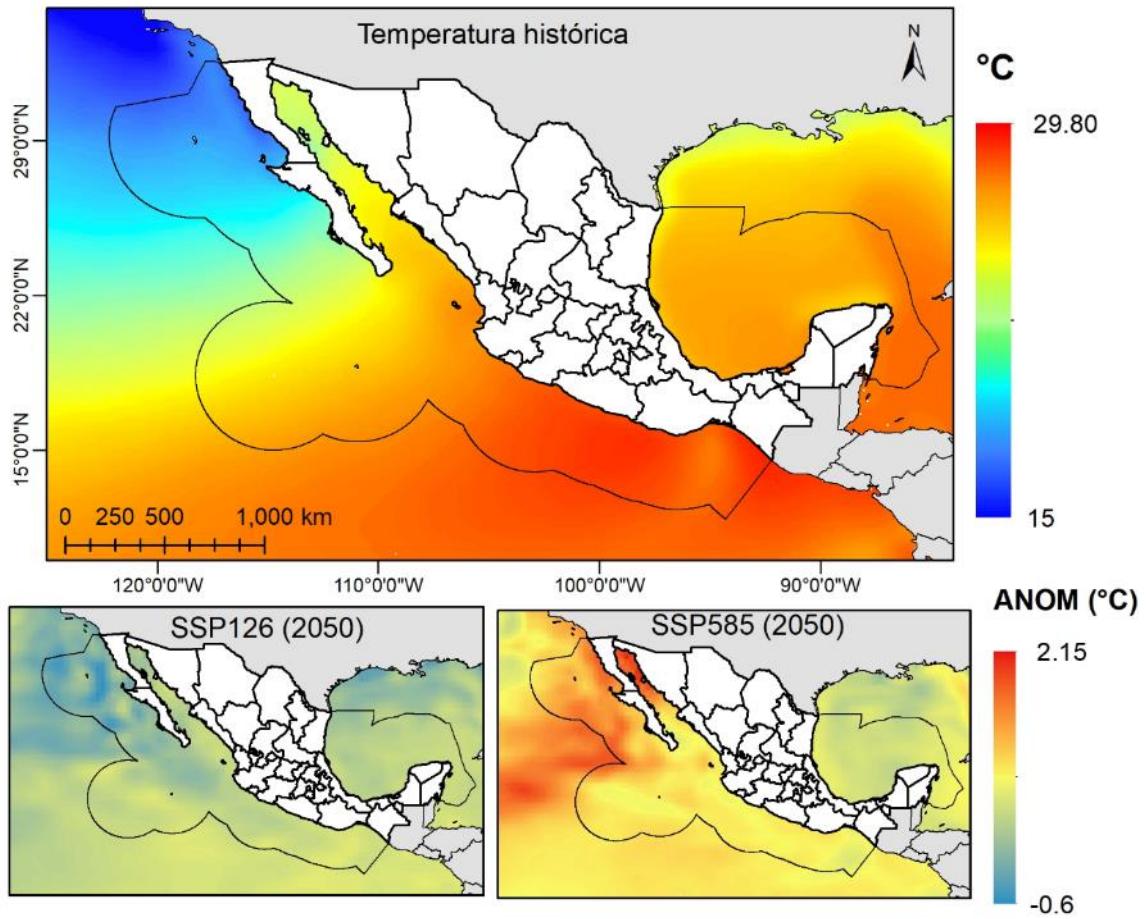
Para cada una de las localidades costeras se generaron índices de susceptibilidad, capacidad de adaptación y exposición, determinados con base en los indicadores citados en el Anexo I. El primer paso del análisis consiste en analizar para cada índice, las variables seleccionadas usando un análisis de componentes principales. Se comprobó que el juego de variables provee una solución de un factor mediante una prueba de scree

de Catell (Raîche et al. 2013), la cual demuestra que las variables miden un solo concepto. A continuación, las variables se estandarizaron en una escala de media igual a cero y error estándar igual a 1, y se comprobó la consistencia interna de cada índice mediante la theta de Armor; cuanto más se acerque el valor de la fiabilidad theta a 1, mayor será la consistencia interna (Armor 1973). El análisis se llevó a cabo en el entorno estadístico R (R Core Team 2020).

## RESULTADOS

### Condiciones oceanográficas futuras

Los resultados obtenidos representan la información más detallada disponible sobre los cambios que se espera observar en la temperatura, la productividad primaria y la cantidad de oxígeno en los mares de México hacia el año 2050. Como lo muestra la Figura 4, si los países logran controlar las emisiones de carbono e impulsar el uso de energías limpias (escenario SSP126), se espera que en el horizonte de interés a nivel nacional los aumentos en la temperatura serían relativamente menores ( $<0.5^{\circ}\text{C}$ ), e incluso se sugiere un ligero decremento de la temperatura superficial en aguas oceánicas de latitudes superiores a los  $28^{\circ}\text{N}$  en el Pacífico, y también en el norte del Golfo de México; al mismo tiempo, en regiones tropicales del país los cambios posiblemente sean poco apreciables. Si por otra parte, las emisiones continúan a la tasa actual (escenario SSP585), a nivel nacional se esperan aumentos de entre  $1.5^{\circ}$  y hasta más de  $2^{\circ}\text{C}$ , siendo más intensos en la costa occidental que en la oriental del país. Llama la atención la elevación predicha para la parte norte del Golfo de California ( $>26^{\circ}\text{N}$ ) y el Pacífico norte, a partir de Bahía Magdalena.



**Figura 4.** Temperatura histórica y proyecciones al año 2050 para los escenarios SSP126 y SSP585.

Por otra parte, respecto a la productividad primaria (Figura 5), los cambios potenciales parecen ser más notorios. Incluso bajo el escenario SSP126, se denota una baja en la tasa de fijación de carbono en el centro del Golfo de México, la zona cercana a la frontera México-Estados Unidos y los alrededores de Isla Guadalupe, y en el Golfo de Tehuantepec, y cierta estabilidad en la zona costera tropical del Pacífico mexicano y el sur del Golfo de México. Por otra parte, en el escenario de cambio climático más negativo (SSP585), la disminución de la productividad primaria es generalizada y muy relevante (depresiones de hasta  $200 \text{ g.m}^{-3}$  en amplias secciones del océano), aunque mostrando menores impactos en zonas costeras del Golfo de México y en sitios de presencia de surgencias causadas por viento (Golfo de Tehuantepec, Bahía de Banderas, Bahía Magdalena), todos considerados como Centros de Productividad Biológica. Es interesante que los modelos también proponen un marcado aumento en la productividad

oceánica (valor superior a  $300 \text{ g.m}^{-3}$ ) en el norte del Golfo de México y en algunas regiones costeras del país como la zona correspondiente a Veracruz a Campeche, así como en el Golfo de Tehuantepec. Este resultado es relevante ya que, si el patrón estacional de corrientes permanece, dichas zonas pueden eventualmente exportar nutrientos a otras regiones y ayudarlas a mantener su productividad pesquera

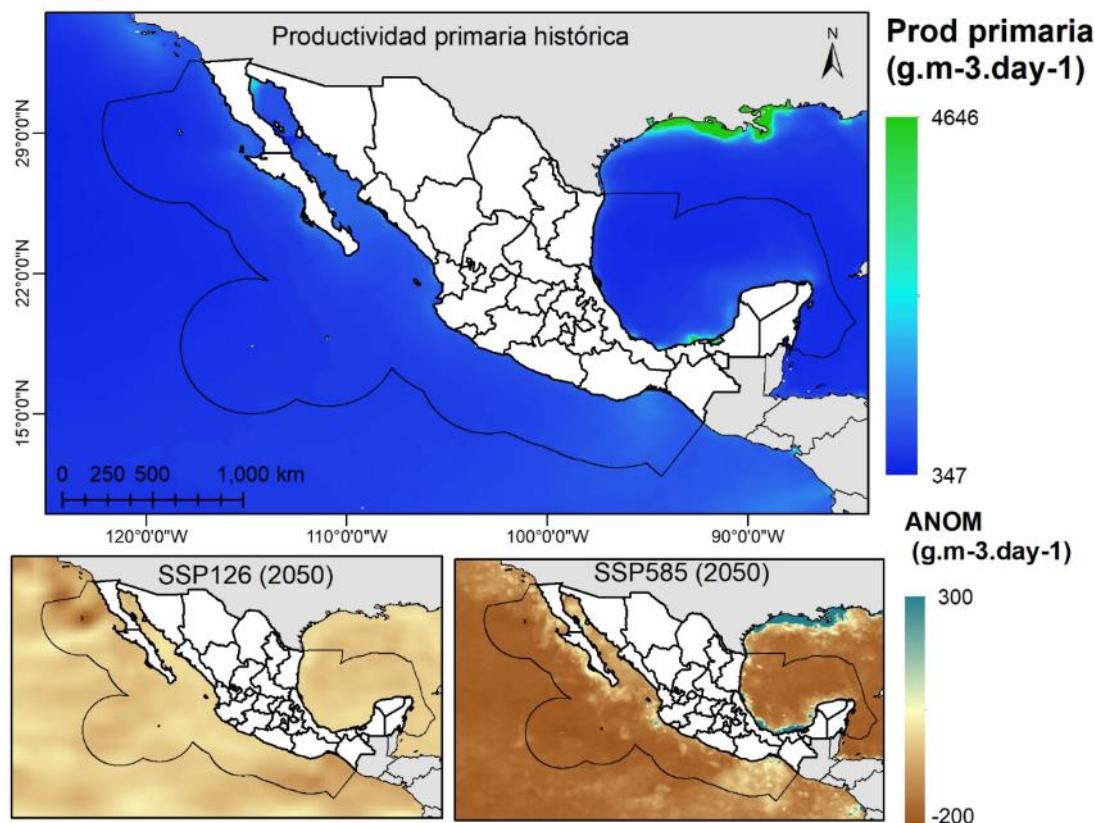
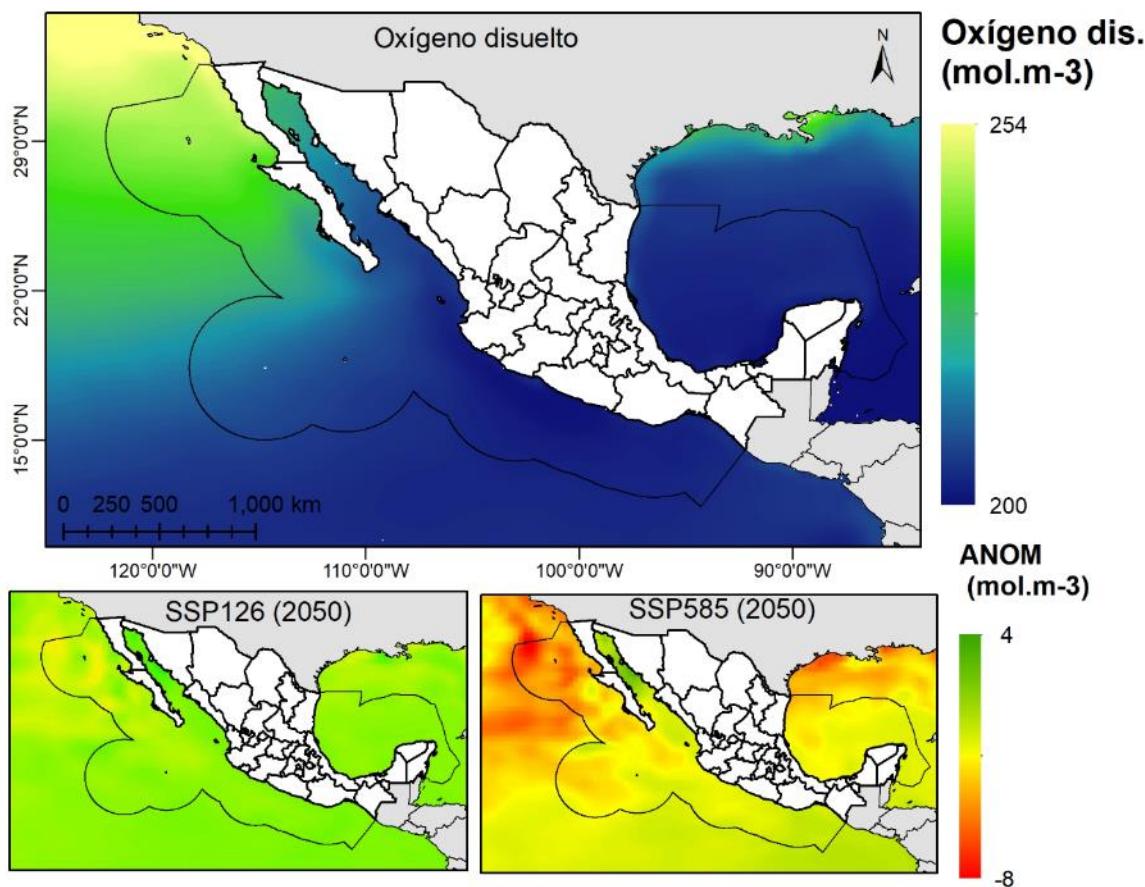


Figura 5. Productividad primaria histórica y proyecciones al año 2050 para los escenarios SSP126 y SSP585.

Para el caso del oxígeno disuelto (Figura 6), los cambios parecen ser ligeros bajo el escenario SSP126, con práctica estabilidad o pocas reducciones a escala del país. No obstante, en el escenario SSP585 se denotan cambios relativamente pronunciados en el noroeste de México, frente a la costa occidental de la Península de Baja California, y más acentuados en el estado de Baja California. En el Océano Atlántico, la región norte del Golfo de México sería la más impactada con una disminución de hasta  $8 \text{ mol.m}^{-3}$  bajo el

escenario negativo extremo, condición que puede afectar las pesquerías y los cultivos marinos en Tamaulipas. Finalmente, en este mismo escenario se propone que la región norte del Golfo de California ( $>27^{\circ}\text{N}$ ), se podría tener un ligero incremento en el oxígeno (4 mol.m<sup>-3</sup>), por lo que la región podría ser considerada como un “refugio” ante los cambios de concentración de este gas.



**Figura 6.** Concentración de oxígeno histórica y proyecciones al año 2050 para los escenarios SSP126 y SSP585.

### Vulnerabilidad socioeconómica de las comunidades costeras

Para facilitar la visualización de los datos, los valores de susceptibilidad, capacidad de adaptación, exposición y vulnerabilidad fueron asignados a categorías “alta”, “baja” y “mediana” en base a cuartiles; la categoría alta corresponde al último cuartil ( $> 75\%$ ),

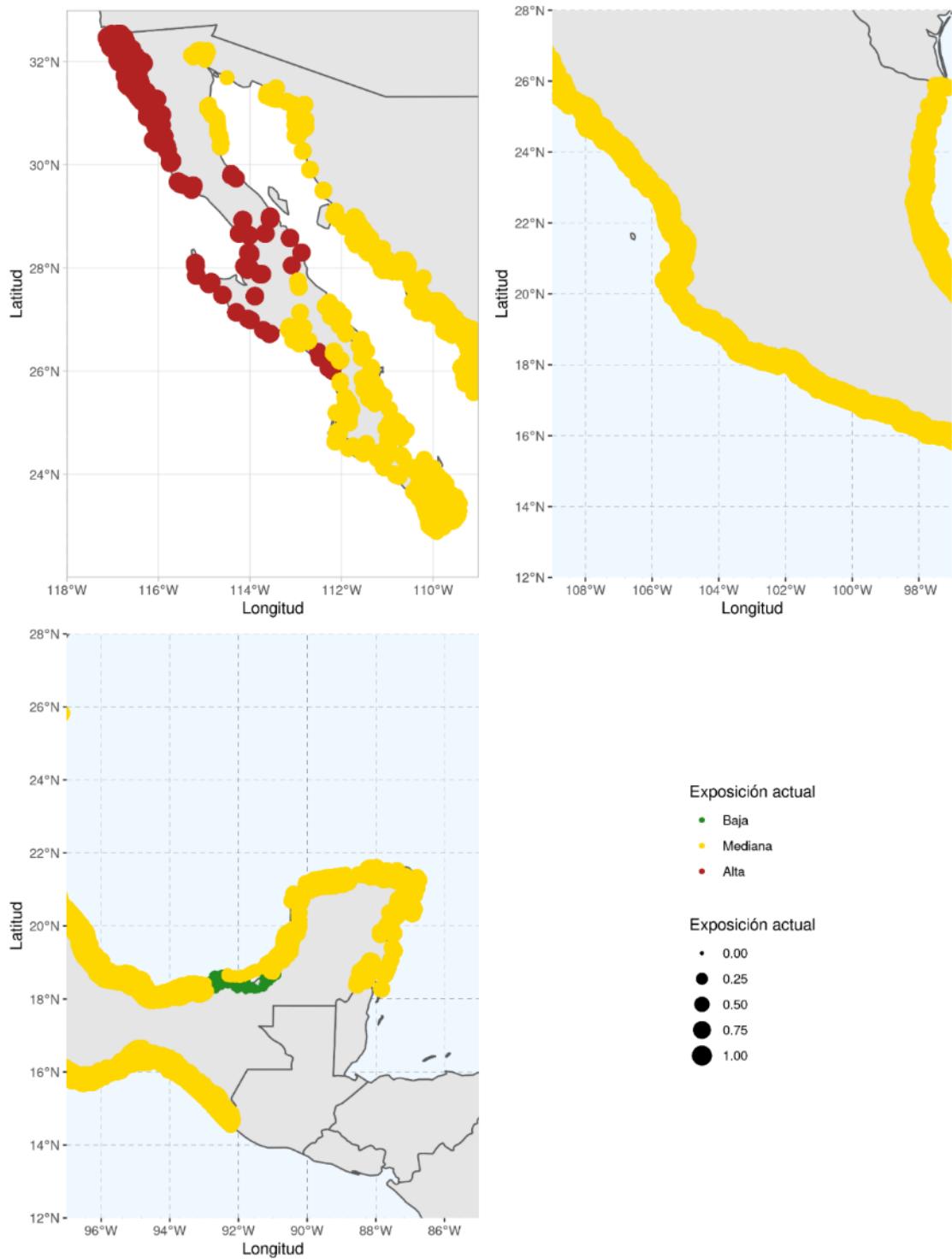
mediana el segundo y tercer cuartil (25-75), y el último cuartil (<25%) a la “baja”. Un esquema de colores de semáforo se utiliza en las figuras en base a estas categorías. El color depende de la direccionalidad del componente; por ejemplo, un valor alto de adaptación es positivo, y por tanto se le asignó el color verde; mientras que un valor alto de susceptibilidad es negativo y se le asignó un color rojo.

Nuestro análisis cumple con las indicaciones de Pinnegar et al. (2019), los indicadores económicos se han escalado correctamente para tener en cuenta las grandes diferencias entre comunidades o municipios, en términos de tamaño de la población total. Se utilizó un número adecuado de indicadores, pues un número pequeño puede afectar la sensibilidad de los resultados, y también se consideró la redundancia entre los indicadores, lo que podría provocar un efecto desproporcionado en las puntuaciones finales de vulnerabilidad.

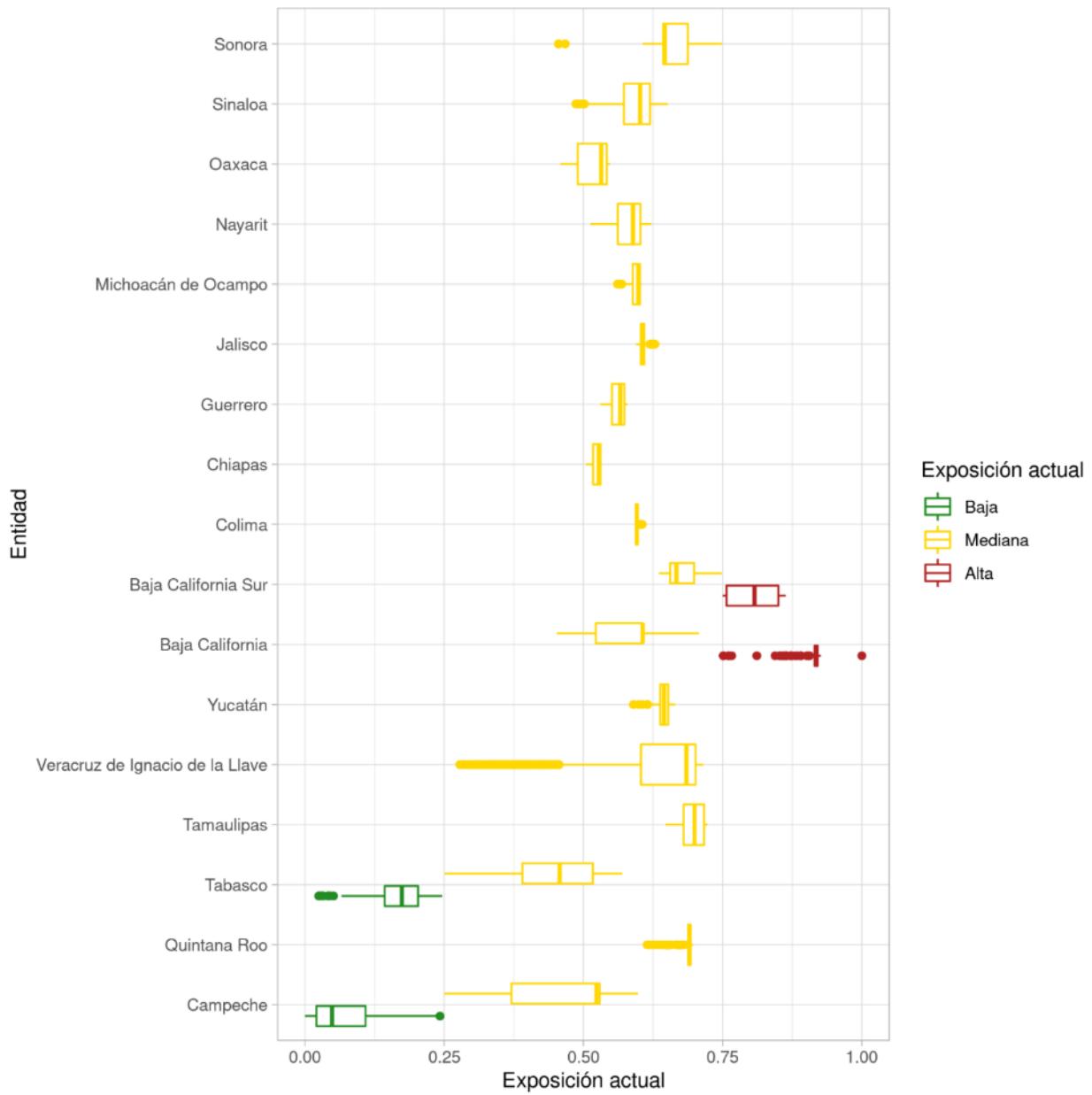
Finalmente, para reducir el tamaño del presente documento, solo se presentan resultados de exposición, susceptibilidad y capacidad adaptativa para el presente y el escenario SPS585, pero los de vulnerabilidad aparecen en completo detalle.

En relación con la exposición a la que tendrán que enfrentarse las comunidades costeras del país, los datos (Figura 7) muestran que esta es mayor en los estados de Baja California y Baja California Sur, aunque en el Golfo de México los estados de Tamaulipas, Veracruz y Quintana Roo están siendo más impactados, aunque el indicador no tiene gran diferencia con el resto de las entidades.

La Figura 8 presenta un desglose de la información por localidad. Puede verse que todas las localidades trabajadas en la Península de Baja California presentan niveles altos de exposición, mientras que todas las de Tabasco y Campeche reciben una presión ambiental menor.



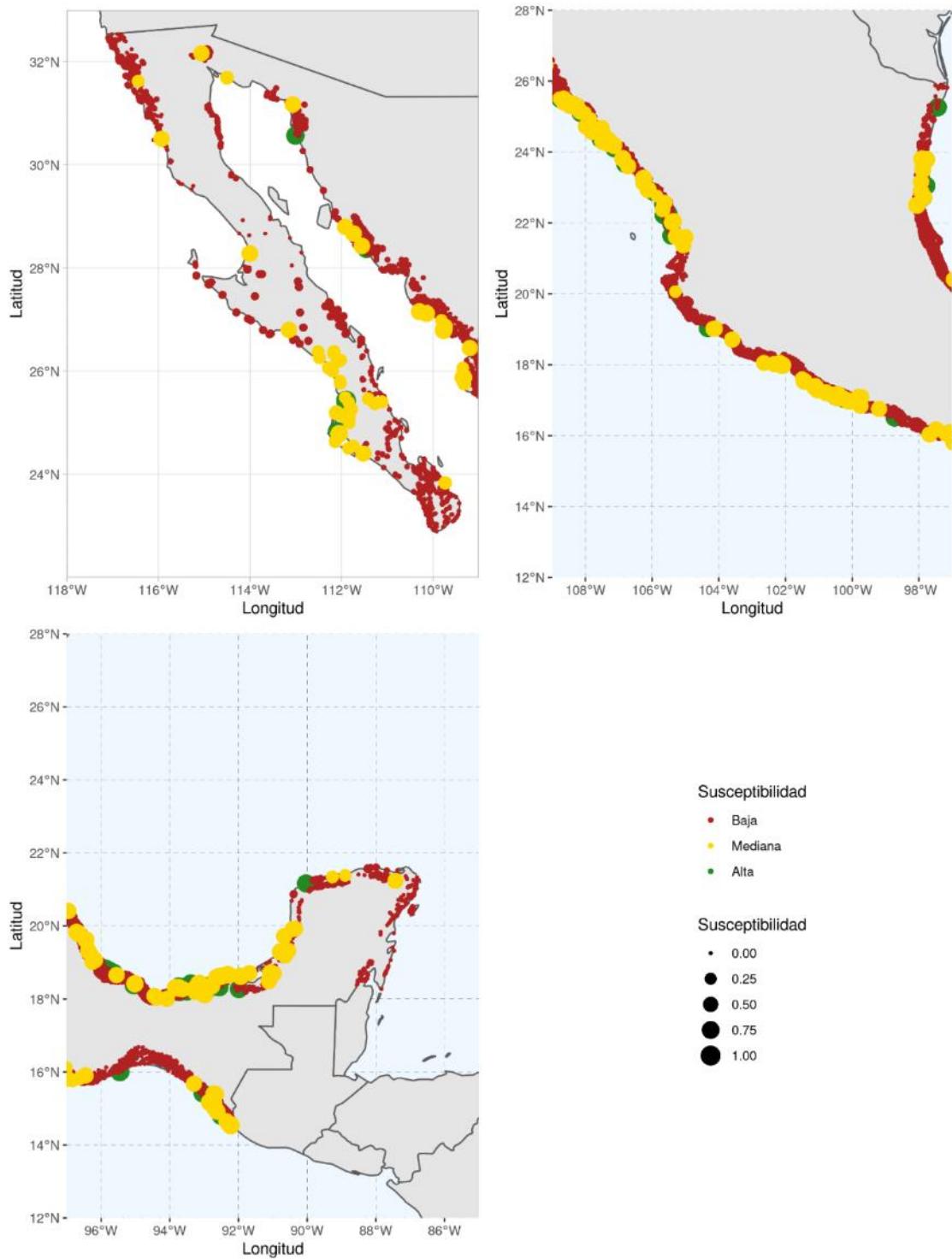
**Figura 7.** Mapas presentando valores del indicador general de exposición actual de las comunidades costeras a escala nacional.



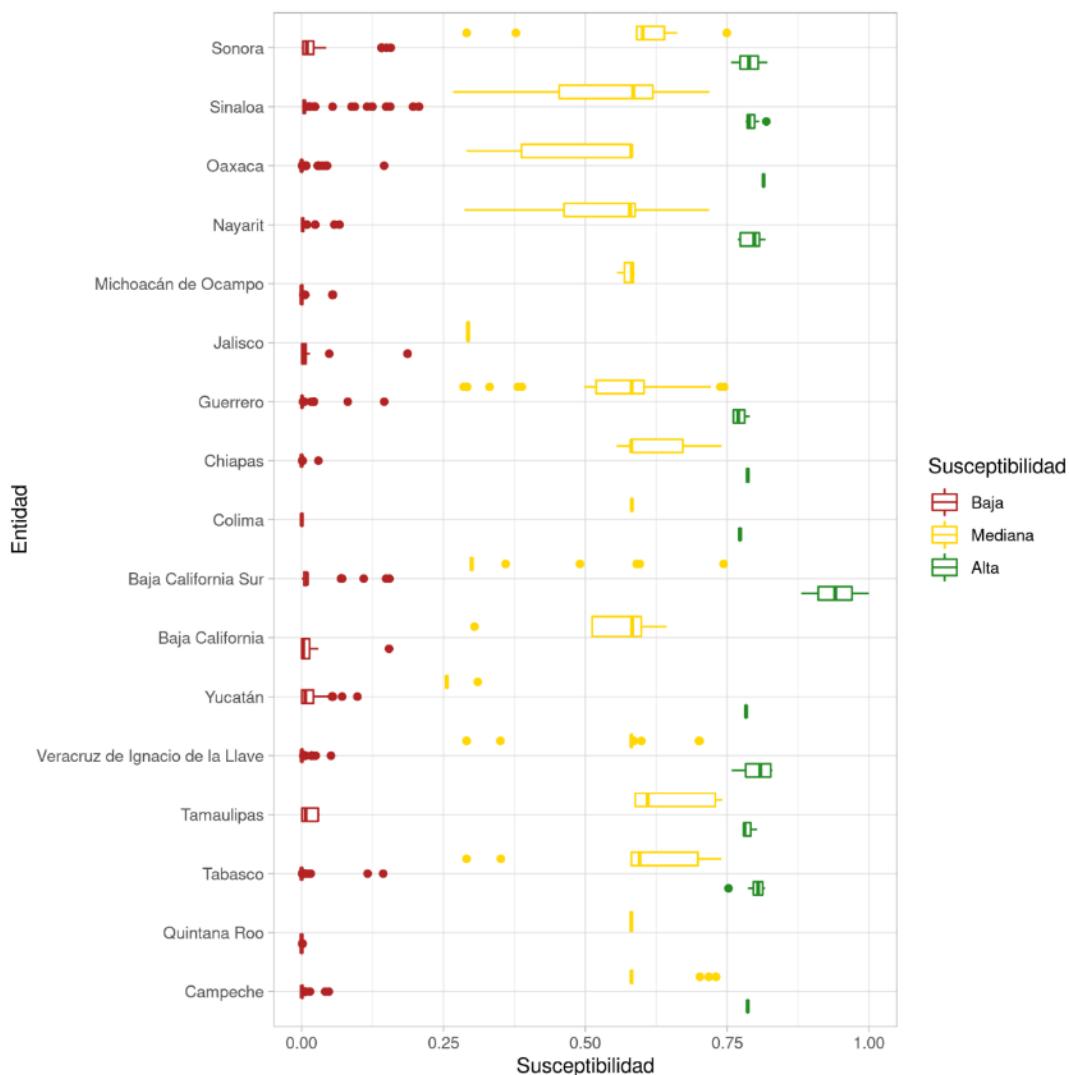
**Figura 8.** Diagrama de caja y bigotes que muestra la exposición actual por entidad.

La susceptibilidad refleja la dependencia de las comunidades costeras en la pesca y actividades acuícolas. Los mapas presentando los datos en forma espacial (Figura 9) indican que las comunidades responden de forma muy heterogénea según el indicador. Esto se debe a que el indicador está muy ligado al tamaño de la población, de manera que enclaves pequeños históricamente han recibido poco apoyo y sus condiciones de vida son más humildes, mientras que las ciudades cuentan con muchos más programas y recursos otorgados por los gobiernos estatales y federales, y sus actividades suelen estar mucho más diversificadas, lo que disminuye su susceptibilidad socioeconómica.

Los mapas (Figura 9) de manera general muestran que Sonora, Baja California, Baja California Sur, Guerrero y Oaxaca son estados más frágiles (susceptibles) ante el cambio climático, debido a su gran dependencia socioeconómica a la pesca. Caso inverso en la costa del Pacífico lo representan Jalisco, Quintana Roo y Chiapas, donde una gran parte de la población costera no vive de la pesca, sino realiza otras actividades (turismo, agricultura o ganadería). En el Golfo de México, Veracruz y Tabasco son los estados más susceptibles, mientras que Quintana Roo, que depende básicamente del turismo, está en una mejor situación (Figura 10).

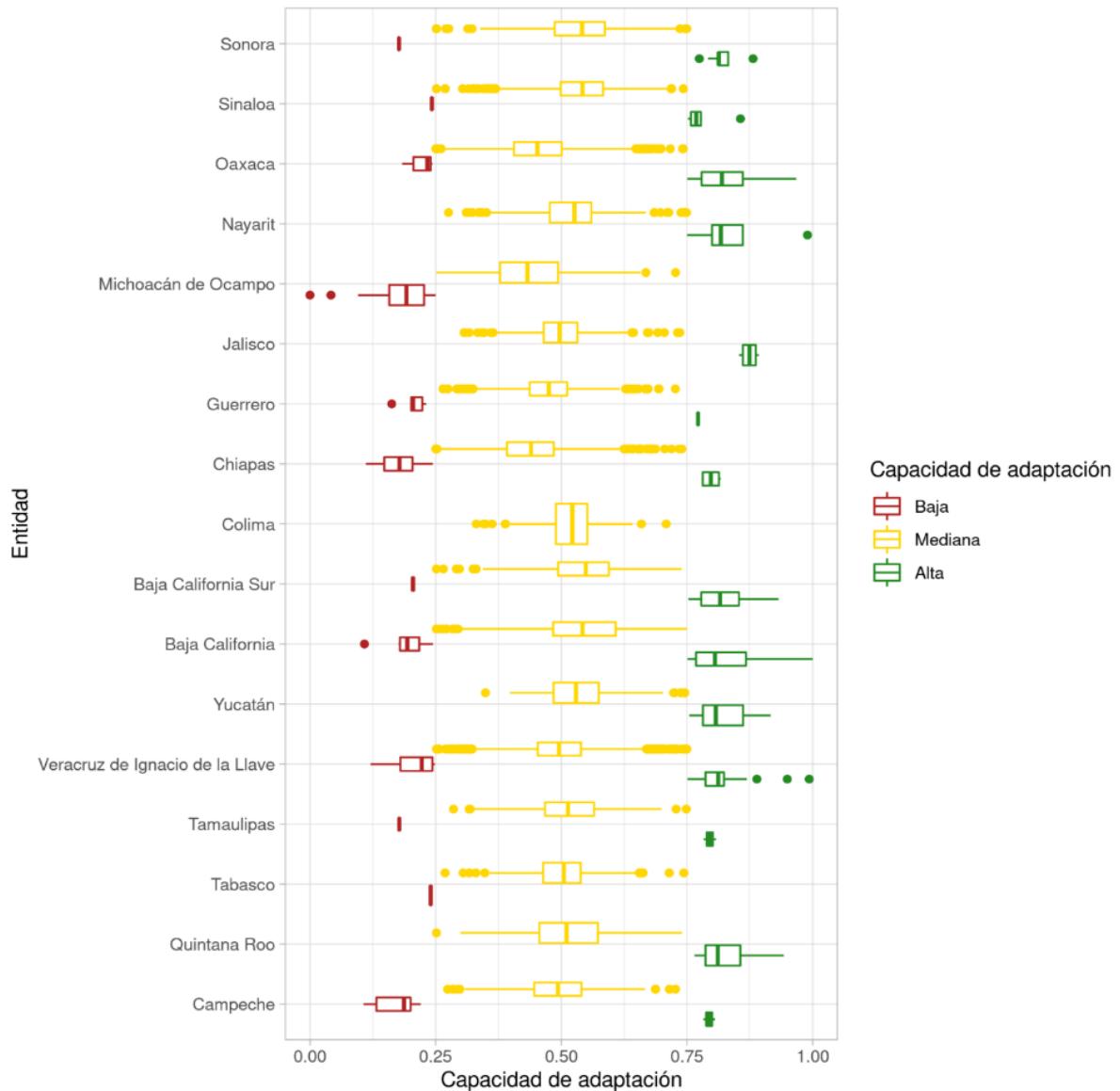


**Figura 9.** Mapas presentando valores del indicador general de susceptibilidad actual a cambio climático de las comunidades costeras a escala nacional.



**Figura 10.** Diagrama de caja y bigotes que muestra el nivel de susceptibilidad actual a cambio climático por entidad.

La capacidad de adaptación se basa en aspectos socioeconómicos actuales. Los resultados (Figura 11) indican que la situación a nivel nacional no difiere mucho, pero los estados de Colima, Jalisco, Nayarit y Yucatán son los que cuentan con comunidades con mayor capacidad de adaptación (ninguna está señalada en rojo). En contraste, Veracruz, Michoacán, Guerrero, Campeche y Baja California Sur son los que tienen la menor capacidad de adaptación.

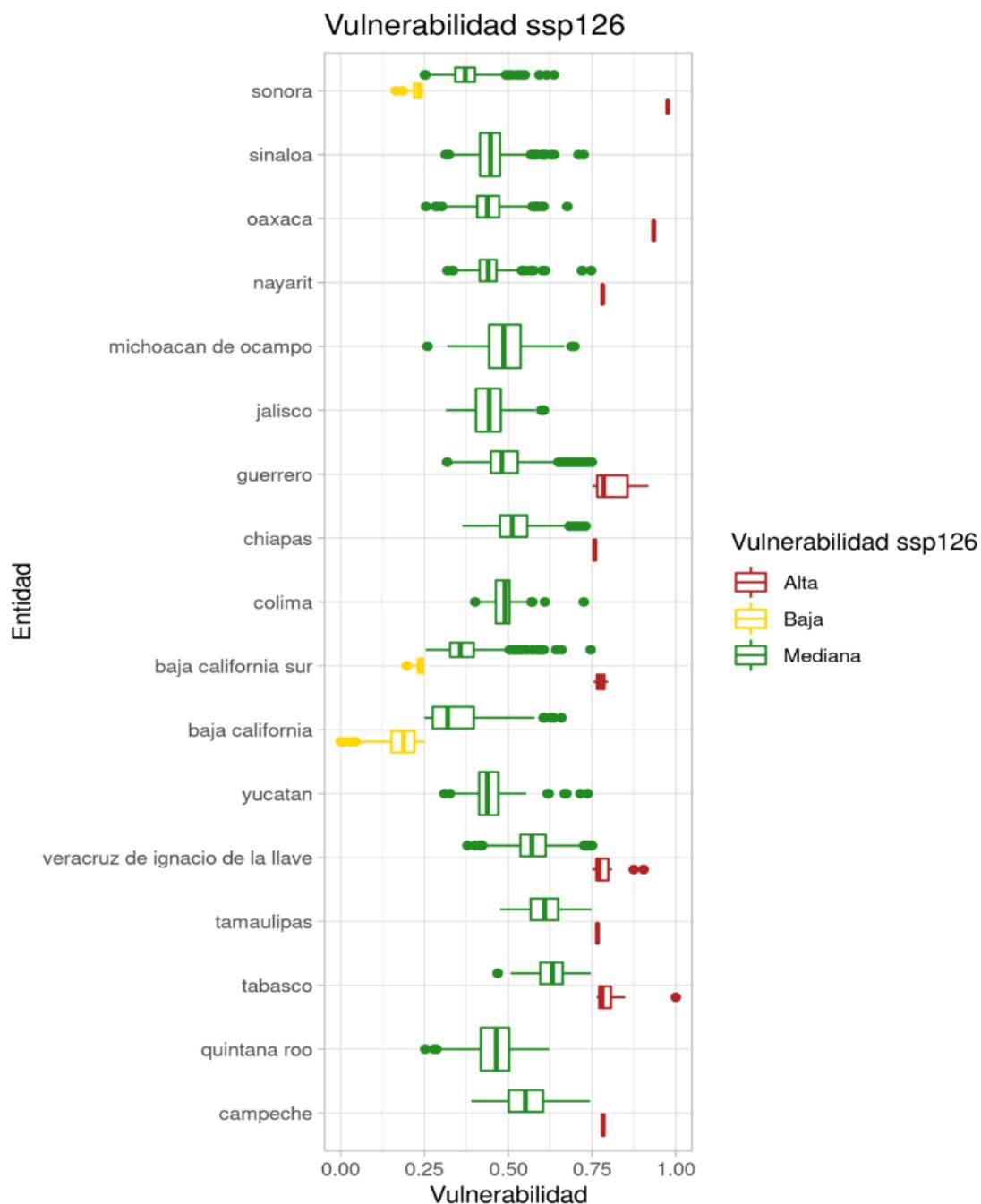


**Figura 11.** Diagrama de caja y bigotes que muestra el nivel de capacidad de adaptación actual a cambio climático por entidad.

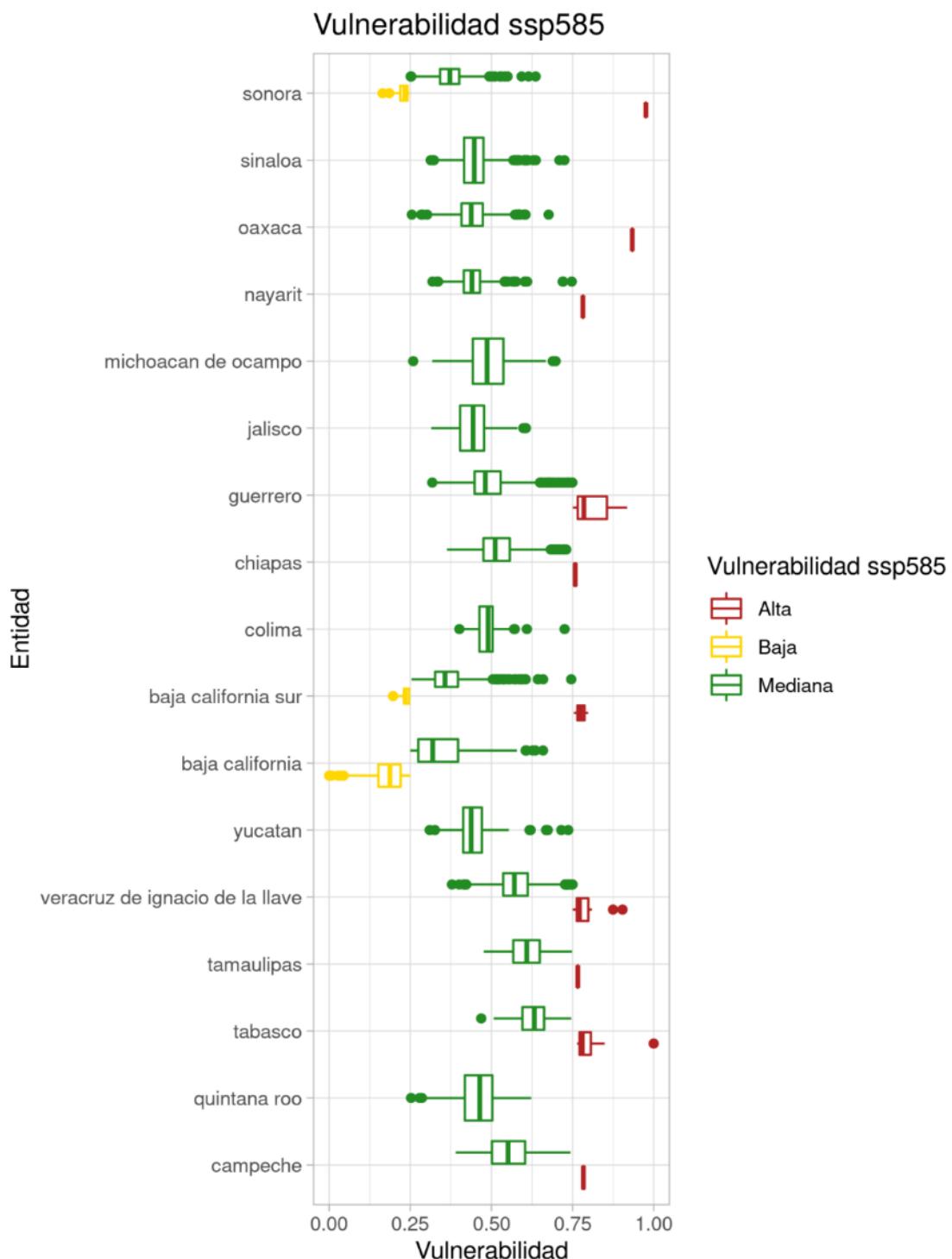
El indicador clave en el presente estudio es la vulnerabilidad de las comunidades costeras, el cual amalgama los tres previamente mostrados.

Los estados de Tabasco, Veracruz, Campeche, y Tamaulipas en el Golfo de México presentan la mayor vulnerabilidad en el escenario SSP126 (Figura 12), mientras que en el Pacífico, los estados de Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Baja California Sur y Sonora son los que tendrían las peores condiciones de resiliencia ante las modificaciones ambientales. Los patrones citados son similares en el escenario SSP585, pero más acentuados (Figura 13).

Al analizar los tres componentes de la vulnerabilidad (Figuras 14 y 15), se aprecia que las causas de la alta vulnerabilidad en estas zonas difieren. Para algunos estados como Baja California puede atribuirse a su alta susceptibilidad, es decir su mayor dependencia pesquera, mientras que otros como Guerrero, tienen mayor exposición a los impactos ambientales negativos del cambio climático. Esto sugiere que las estrategias de respuesta y adaptación necesarias son diferentes para diferentes entidades.

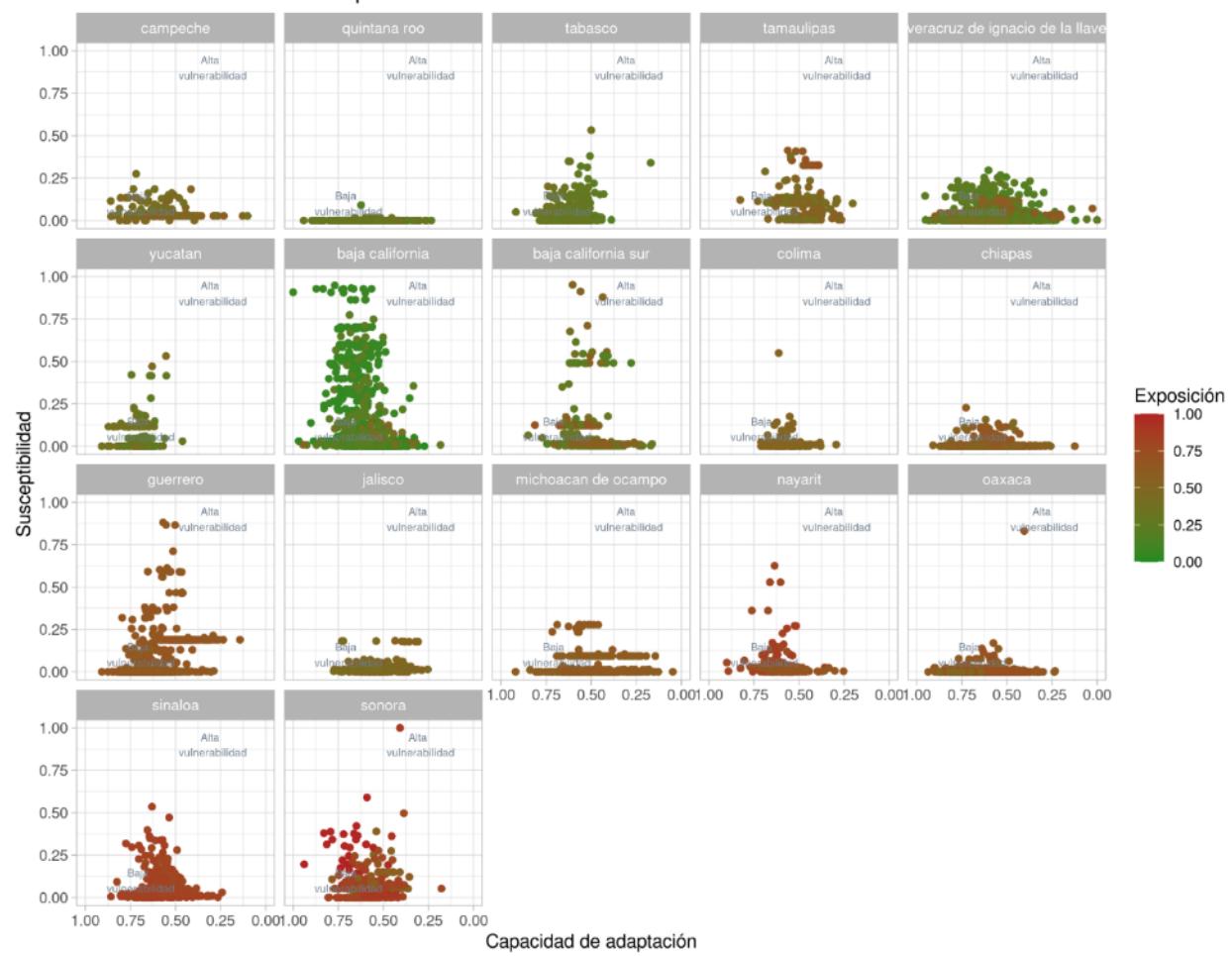


**Figura 12.** Vulnerabilidad en el escenario SSP126. La exposición está determinada como el cambio entre la exposición histórica y bajo cambio climático.



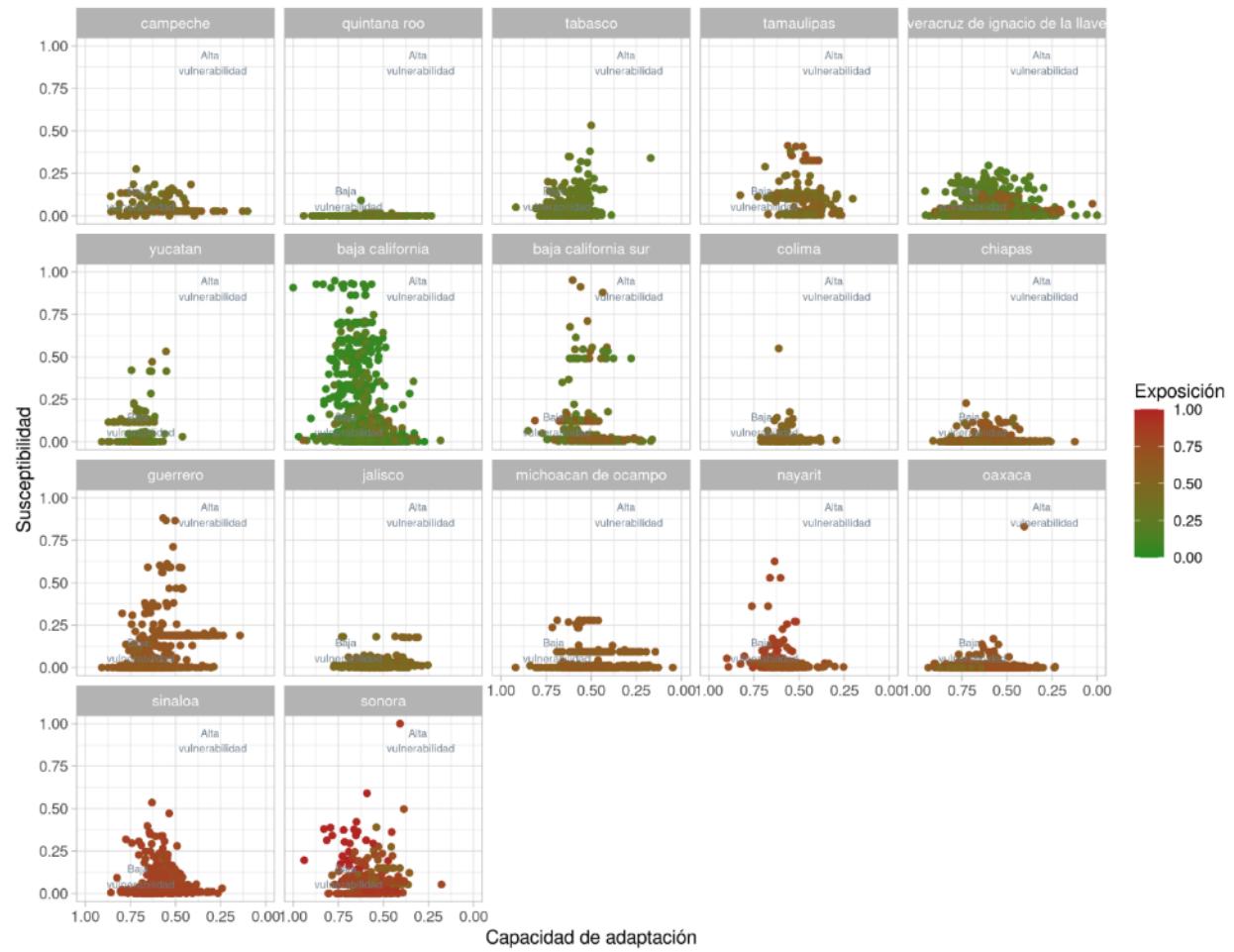
**Figura 13.** Vulnerabilidad en el escenario SSP585. La exposición está determinada como el cambio entre la exposición histórica y bajo cambio climático.

### Escenario Vulnerabilidad ssp126



**Figura 14.** Componentes de la vulnerabilidad en el escenario SSP585.

### Escenario Vulnerabilidad ssp585



**Figura 15.** Componentes de la vulnerabilidad en el escenario SSP585.

## **OBJETIVO B**

### **ESTIMAR LA VULNERABILIDAD DE LAS FACILIDADES ACUÍCOLAS DE AGUAS INTERIORES Y LA ZONA COSTERA DEL PAÍS AL CAMBIO CLIMÁTICO.**

Se estima que el sector acuícola mexicano está conformado por 56,250 personas, que operan aproximadamente 9,320 instalaciones que abarcan más de 125 mil hectáreas, y que están distribuidas en todas las entidades federativas, para el cultivo de más de sesenta especies de peces, plantas, algas, anfibios y moluscos (CONAPESCA 2017). Entre 2016 y 2018, la producción acuícola promedio (sistemas controlados), fue de 238,400 toneladas (peso vivo), con un valor de primera compra de 15,300 millones de pesos que contribuye con el 40% al valor total de las producciones nacionales<sup>1</sup>. Entre 2016 y 2018, el volumen de producción acuícola creció a una tasa de 6% anual y de acuerdo con datos de la Encuesta Nacional en el sector pesquero y acuícola existe un 25% de instalaciones acuícolas que están fuera del Registro Nacional de Pesca y Acuacultura (SAGARPA-IICA 2019), por lo tanto es factible que el sector acuícola este integrado por aproximadamente 100,000 personas a la fecha de elaboración del presente documento (CONAPESCA 2017; Vázquez-Vera y Chávez Carreño 2021), quienes se emplean de manera directa e indirecta en el cultivo de especies acuáticas y el mantenimiento de las instalaciones.

El cambio climático puede impactar a los acuicultores en diferentes maneras e intensidades, por ejemplo en el Pacífico Mexicano se han documentado los efectos de las anomalías térmicas, el aumento de la intensidad de la surgencia y las bajas de oxígeno y pH asociadas a la mortalidad de organismos sésiles y a la dificultad para producir estructuras calcáreas (concha) en los cultivos y los ecosistemas donde habitan

---

<sup>1</sup> Las principales especies que hoy se cultivan son el camarón, la tilapia, la trucha, el ostión, el atún, el bagre y la carpa. Entre 2005 y 2018, la acuacultura contribuyó, en promedio, con 12% ( $\pm$  desviación estándar 3%) de la producción total nacional (pesca y acuacultura) y aportó cerca de 40% del valor nacional de la producción conjunta, estimado en 36,000 millones de pesos en promedio para esos años (CONAPESCA, 2017).

(Micheli 2012; Woodson et al. 2018; Arafet-Dahlmau et al. 2020; Beas-Luna, et al. 2020). Por otro lado, los modelos predictivos de inundación por la elevación del nivel medio del mar en el territorio nacional hacen evidente que las zonas acuícolas principalmente en el sur de Tabasco y Campeche son muy vulnerables (Flores-Nava 2010), además que la actividad acuícola que se realiza en las costas del Golfo de México es susceptible al impacto de huracanes, además de la acidificación y florecimiento de algas nocivas (Flores-Nava 2010; Petatán y Abas 2021). En cuanto a los cuerpos de agua interiores, si no hay control de las condiciones estos posiblemente se verán perturbados por el aumento de la temperatura del aire, la variación en las precipitaciones, la eutrofización, la estratificación y la hipoxia (Aranceta-Garza, et al. 2021). De acuerdo con Alcocer-Durand et al. (2015), la contaminación y la baja disponibilidad del agua serán componentes clave en los principales lagos y ríos de la nación según los modelos de cambio climático con horizonte a 2050-2080.

La planeación espacial integrando estudios de capacidad de carga, y los modelos de cambio climático y vulnerabilidad, serán fundamentales para tomar decisiones sobre dónde cultivar, cuáles pueden ser las especies más resistentes a las condiciones futuras, y de ahí impulsar tipos de cultivo idóneos para cada región del país. Finalmente, conocer las condiciones socioeconómicas y la vulnerabilidad del sector acuícola es fundamental para dirigir los esfuerzos y orientar los apoyos federales a fin de cumplir las metas del PND 2019-2024 y obtener buenos resultados. Si bien existe una serie de análisis enfocados a evaluar los conceptos teóricos de la vulnerabilidad de la acuacultura mexicana ante el cambio climático, estos se han realizado solo para algunas entidades federativas del país, unas cuantas especies, o de manera general al nivel de reflexiones y síntesis (Flores-Nava et al. 2010; Trejo-Igueravide 2010; Liñán-Cabello et al. 2016). El presente estudio es el primero en integrar información a nivel nacional para determinar la vulnerabilidad de las instalaciones acuícolas del país usando los modelos más actuales de cambio climático.

## **RETOS DEL SECTOR ACUÍCOLA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO**

Se estima que México tendrá 138.1 millones de habitantes en 2030 y 148.2 millones en 2050 (CONAPO 2018). En paralelo y de acuerdo con la FAO (2020), el crecimiento proyectado para la acuacultura mexicana en 2030 es de más de 40%, pues pasaría de producir 247,000 toneladas a 365,000 toneladas. Satisfacer esta demanda de alimento implica un reto mayor ya que deberá realizarse de manera sustentable y socialmente justa (FAO 2021; DOF 2020; Boyd et al. 2020).

Los efectos del cambio climático en los cultivos varían en función del grupo de especies objetivo y su ubicación. México es el séptimo productor de camarón más importante a nivel mundial, y 70% del volumen depende del cultivo; en este caso, algunos de los factores que tendrán impacto son el aumento del nivel del mar, el calentamiento del agua de mar y la incidencia de huracanes y tormentas, como lo indican modelos recientes que identifican cambio en la distribución natural de las principales especies de camarón (café, blanco y azul; Cota-Durán, et al. 2021). Esto representa un reto mayúsculo para la producción de semilla y cultivo en áreas donde las condiciones serán adversas. Adicionalmente, Petatán y Abas (2021) señalaron una disminución importante<sup>2</sup> (30%) en la producción primaria en el noroeste con horizonte a 2050 y 2100, lo que muy posiblemente tenga un efecto negativo para la maricultura.

## **METODOLOGÍA**

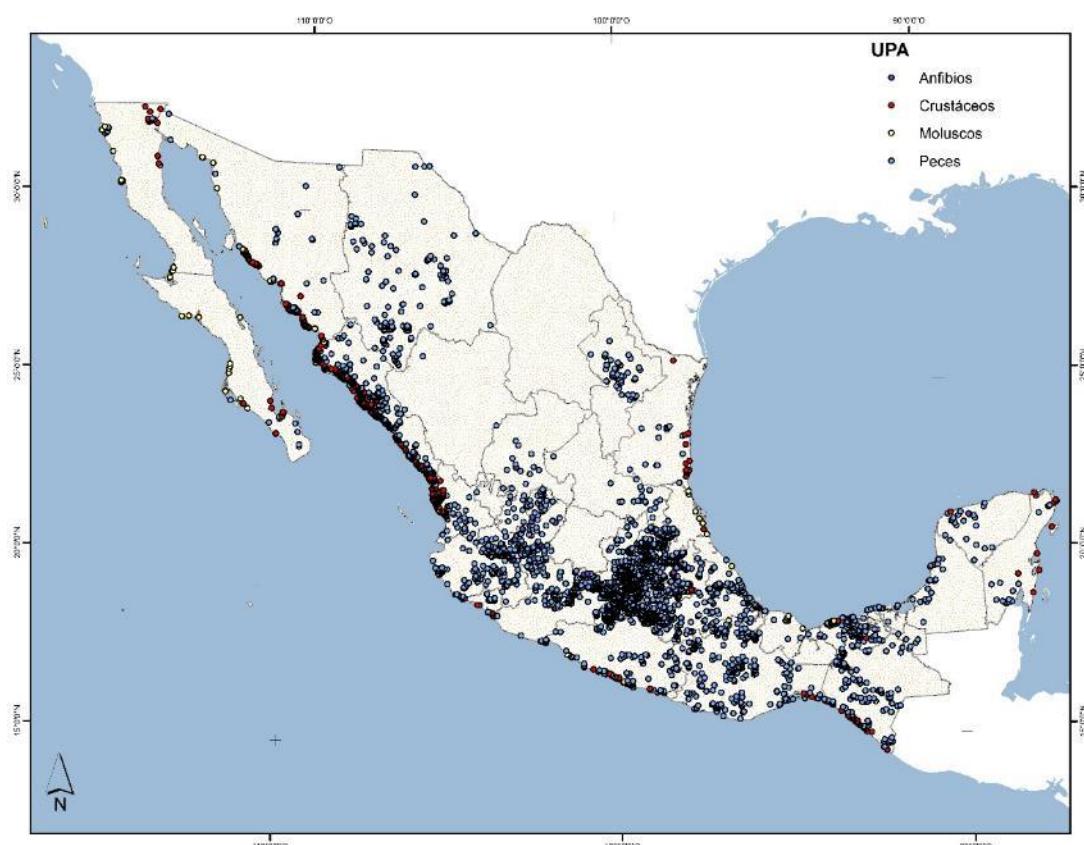
### **Selección de criterios de vulnerabilidad**

En coordinación con el grupo Impacto Colectivo por la Pesca y Acuacultura Mexicanas, (ICPMX), Environmental Defense Fund (EDF), el Instituto Nacional de Pesca y Acuacultura (INAPESCA) y el equipo consultor, se realizaron cuatro sesiones de trabajo para definir los criterios más relevantes para orientar el análisis e incluir las variables más pertinentes. A partir de ahí se definieron los indicadores a aplicar para evaluar los

---

<sup>2</sup> Este resultado es considerando el modelo SSP585 que representa el escenario de desarrollo socioeconómico dependiente del consumo intenso de combustibles fósiles.

componentes de la vulnerabilidad mencionados en secciones previas de este documento (exposición, capacidad adaptativa y susceptibilidad), y se siguió la metodología delineada en el Objetivo A, en resumen, las variables fueron estandarizadas y normalizadas, y estos valores fueron revisados con un análisis de componentes principales para calcular un vector de vulnerabilidad único para cada uno de los 2,469 municipios de las 32 entidades federativas, donde están ubicadas las 7,251 instalaciones acuícolas trabajadas, que cuentan con información georeferenciada (Figura 16). Toda la información fue procesada y analizada utilizando el Software ArcMap v 10.8 (ESRI, 2021).



**Figura 16.** Ubicación de las unidades económicas acuícolas y las instalaciones de cultivo (granjas) que operan en la producción de organismos marinos, salobres y dulceacuícolas.

## Cálculo de la vulnerabilidad

Para cuantificar la susceptibilidad, se tomaron en cuenta cuatro variables que permitieron conocer el nivel de dependencia de la población sobre la actividad acuícola: número de

permisos acuícolas per cápita, la superficie de cultivo de los 2,720 polígonos otorgados para el cultivo de especies de agua marinas, dulces y salobres, y 321 estanques de camaronicultura en el noroeste del país (Torres-Origel 2019). En cuanto a los volúmenes históricos de producción acuícola no fueron incorporados debido a la inconsistencia en la información y la diferencia en la escala espacial, sin embargo, la superficie de cultivo cumple como indicador robusto considerando que en un 90% de los cultivos se realizan de manera semi-extensiva. Por último, se incluyó el número de especies cultivadas en cada unidad acuícola.

El grado de exposición fue determinado a partir de variables relevantes para los cultivos que se realizan en estanques o aguas interiores, que son las posibles modificaciones, el rango (valores máximos y mínimos) de temperatura del aire, grado de riesgo por inundaciones, grado de peligro por presencia de ciclones y huracanes, índice de impacto antropogénico, índice de impacto humano en la biodiversidad, balance hídrico de las concesiones de agua otorgadas por municipio. En el caso de los cultivos marinos también se consideró el efecto de mareas rojas, ya que estas afectan la calidad del agua.

Por último, la capacidad adaptativa se estimó a partir de seis grupos de indicadores que incluyen la composición de la población, grado de pobreza, características de la comunidad, infraestructura, población indígena y disruptión personal. a nivel de entidad federativa y municipio.

Una vez con todos los datos, se procedió a la estandarización y análisis estadístico señalado en secciones previas.

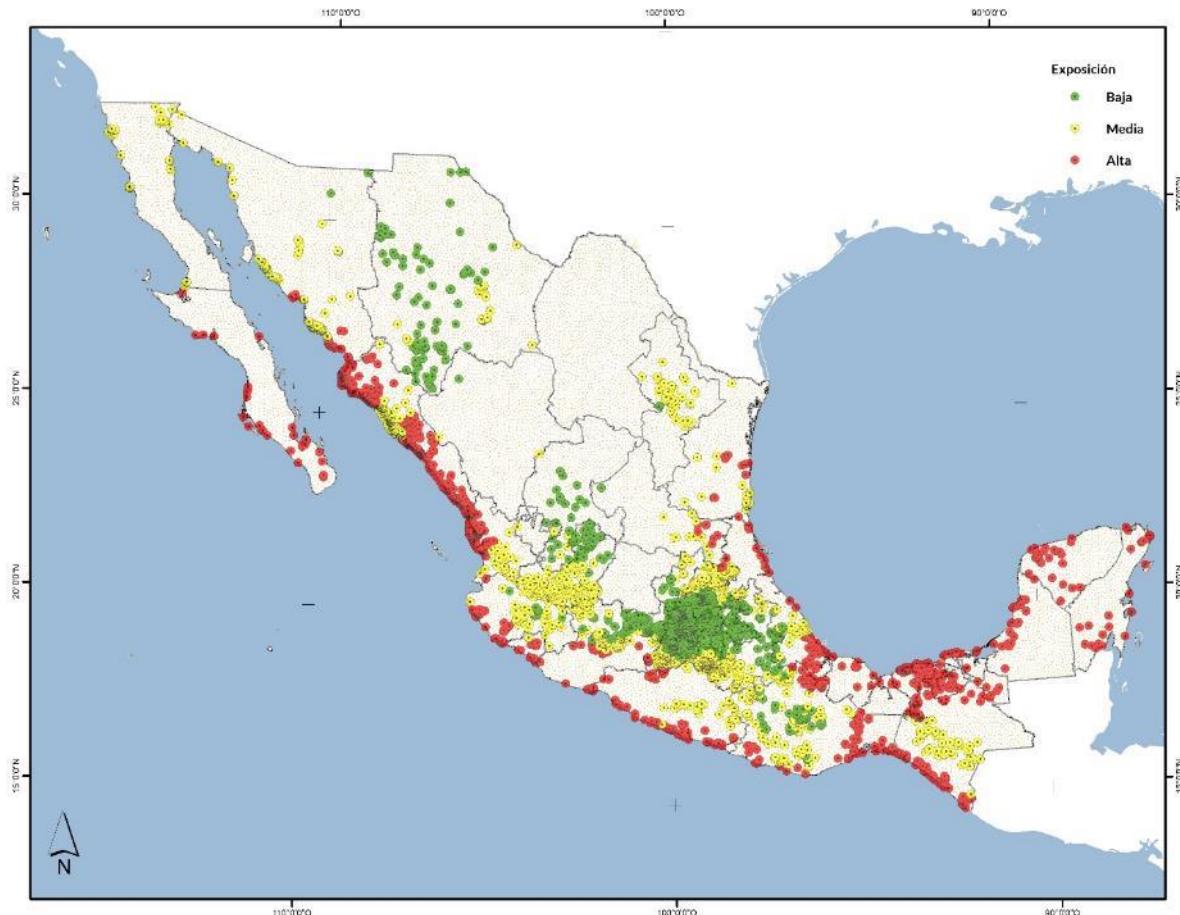
## RESULTADOS

Para presentar la información de los valores calculados para las 7,251 instalaciones acuícolas se presenta un mapa y una gráfica por componente. Los valores de cada índice fueron agrupados por cuantiles y clasificados como vulnerabilidad baja (cuartil 1), media (cuartil 2) y alta (cuartil 3). Se utilizó un código de coloración de semáforo para indicar la tendencia del indicador; por ejemplo, un valor alto (cuartil 3) de capacidad adaptativa

implica una tendencia favorable (verde) mientras que un valor alto de exposición implica una tendencia perjudicial (rojo).

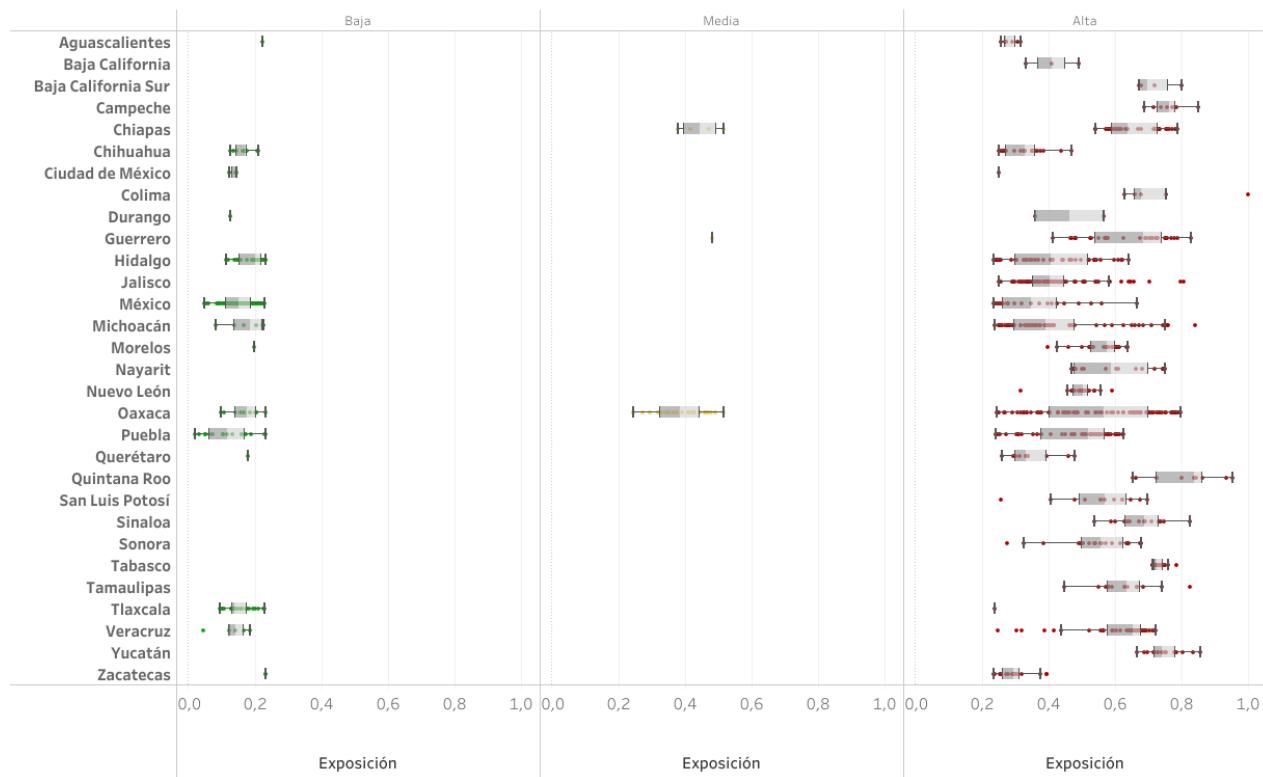
Los valores fueron agrupados además para cada entidad federativa y se presentan en diagramas de cajas y bigotes (min- cuartiles 1,2,3-máx) separados por sus valores de baja, media y alta susceptibilidad, exposición, capacidad adaptativa y vulnerabilidad. Finalmente, se presentan los datos de la vulnerabilidad bajo los escenarios SSP 126 y SSP 585.

La exposición a las variables climáticas de las instalaciones acuícolas es más alta en las zonas costeras del país en comparación con las entidades sin litoral. No obstante, algunas instalaciones alejadas de la costa en entidades como Tabasco, Puebla y Yucatán también resultaron con valores altos de exposición (Figura 17).



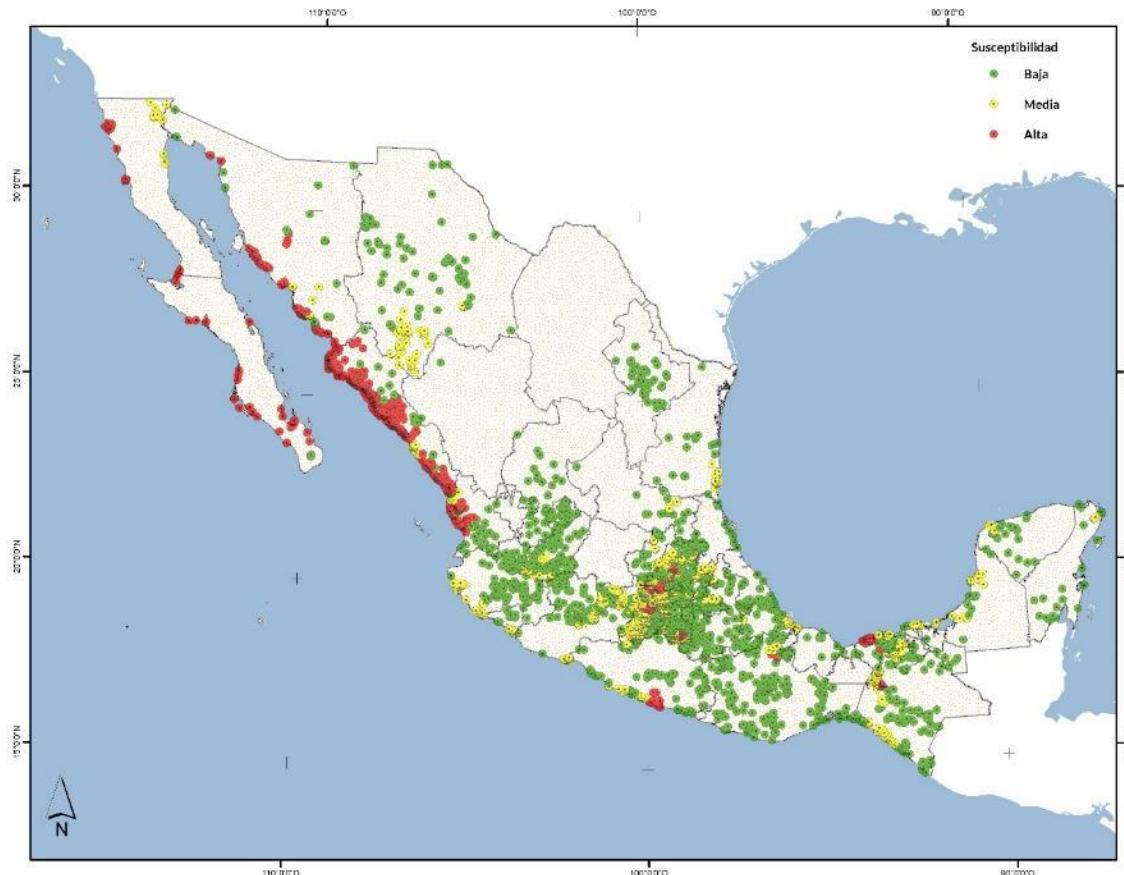
**Figura 17.** Mapa que muestra el grado de exposición de las instalaciones acuícolas analizadas.

Para profundizar en la presentación de los datos, se generó un gráfico (Figura 18) que muestra los valores para cada estado, de los cultivos con media, baja y alta exposición. Es evidente que pocos sitios y en relativamente pocos estados, están en una condición tal que pueden verse exentos de ser afectados por cambios ambientales a futuro.



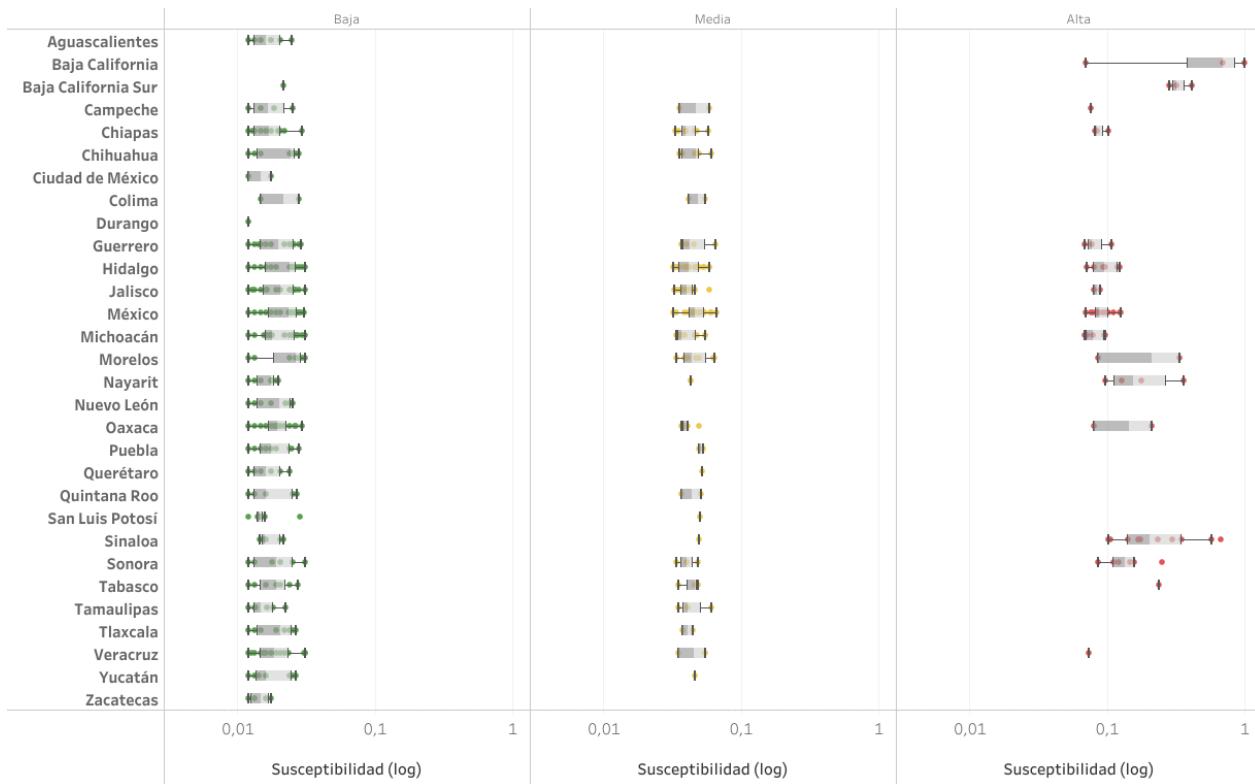
**Figura 18.** Gráfica de cajas y bigotes de los valores de exposición de facilidades acuícolas, agrupada por entidad federativa.

En relación con la susceptibilidad al cambio climático, los datos muestran que las instalaciones acuícolas en la zona noroeste (Baja California, Baja California Sur, Sinaloa, Sonora) pueden verse más afectadas que las del resto del país (Figura 19). Esto es congruente considerando que la mayor superficie de cultivo se encuentra en esta región, así como el mayor número de personas que dependen de la acuicultura; la región citada aporta más del 60% del volumen nacional acuícola (230 mil toneladas anuales en promedio) (CONAPESCA 2017).



**Figura 19.** Mapa que muestra el grado de susceptibilidad de las instalaciones acuícolas analizadas.

El gráfico (Figura 20) que muestra los valores para cada estado, deja ver que para estados del norte (Nuevo León, Aguascalientes, Zacatecas, Durango) y para la Ciudad de México, la susceptibilidad en general es muy baja, contrastando claramente con Baja California, donde todas las instalaciones están en riesgo.

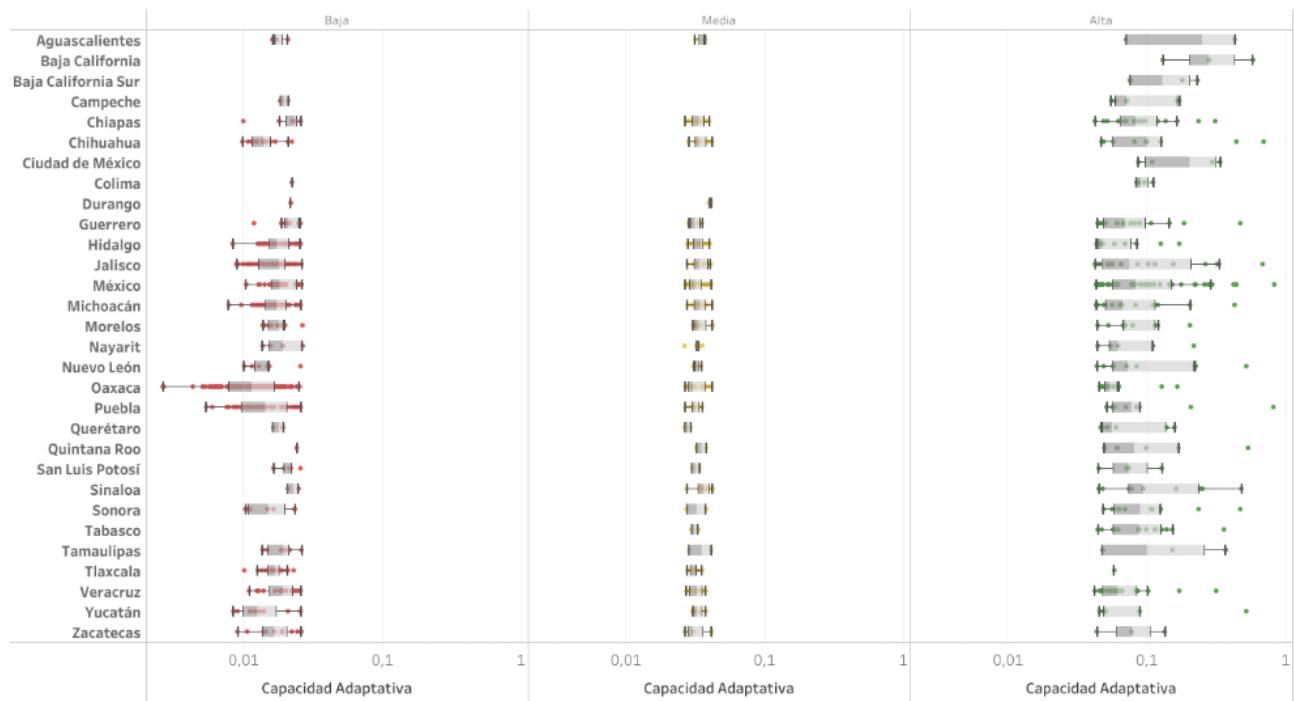


**Figura 20.** Gráfica de cajas y bigotes de los valores de susceptibilidad de facilidades acuícolas, agrupada por entidad federativa.

La menor capacidad adaptativa se encontró en las entidades sin litoral, mientras que en la zona costera y las regiones continentales noroeste y sureste de México y centro, la capacidad adaptativa para la acuacultura parece ser mayor (Figura 21). Revisando por estado (Figura 22), en Baja California, Baja California Sur y la Ciudad de México todos los sitios de cultivo presentan altas capacidades adaptativas, mientras que Durango y Tlaxcala en especial, parece estar en malas condiciones para enfrentar el problema del cambio climático.

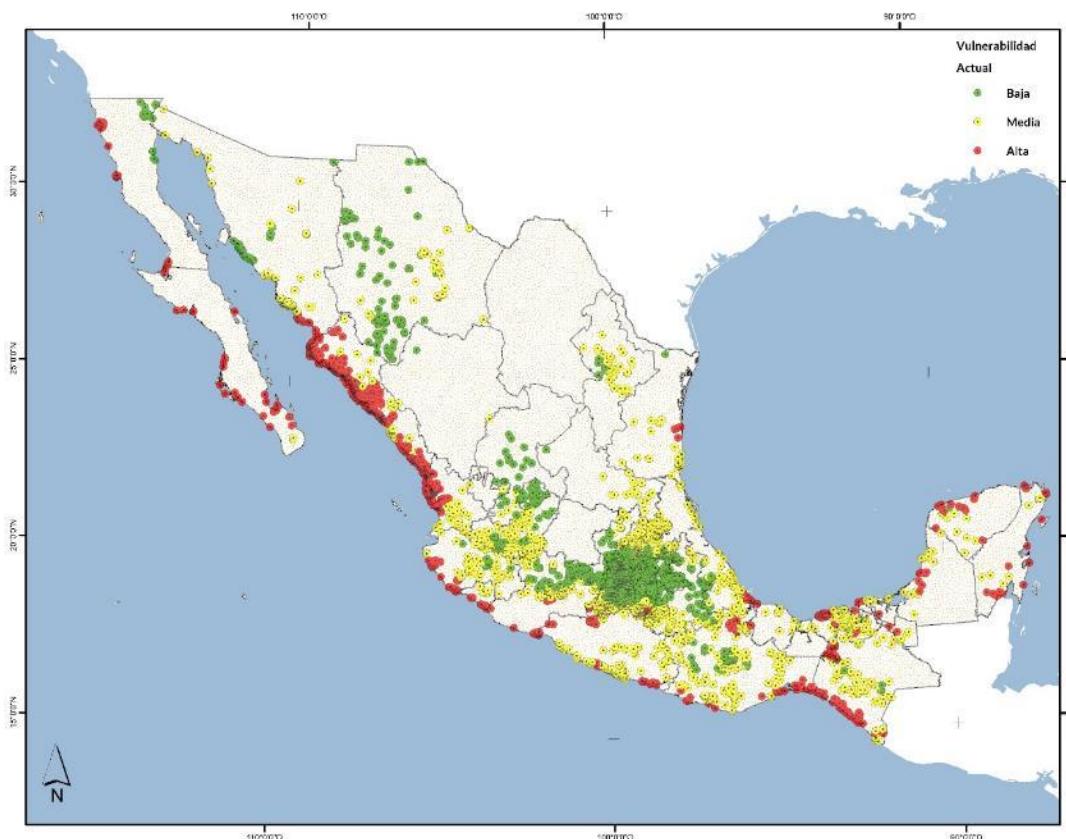


**Figura 21.** Mapa que muestra el grado de capacidad adaptativa de las instalaciones acuícolas analizadas.

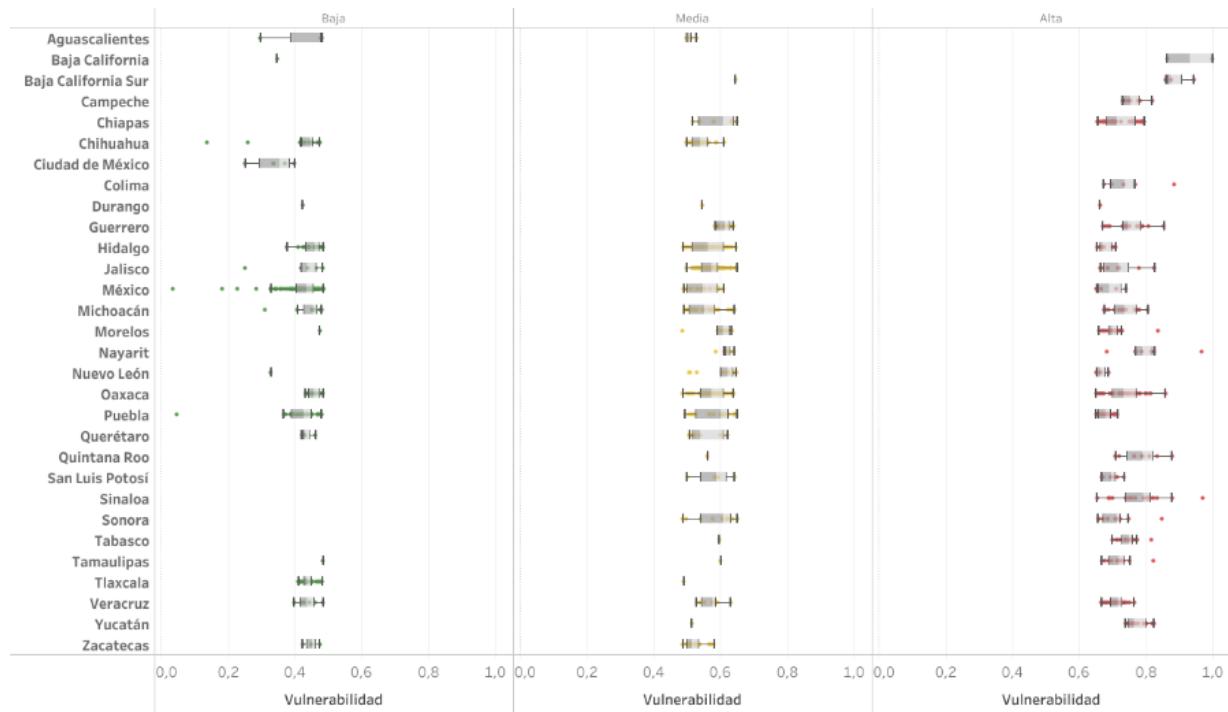


**Figura 22.** Gráfica de cajas y bigotes de los valores de capacidad adaptativa de facilidades acuícolas, agrupada por entidad federativa.

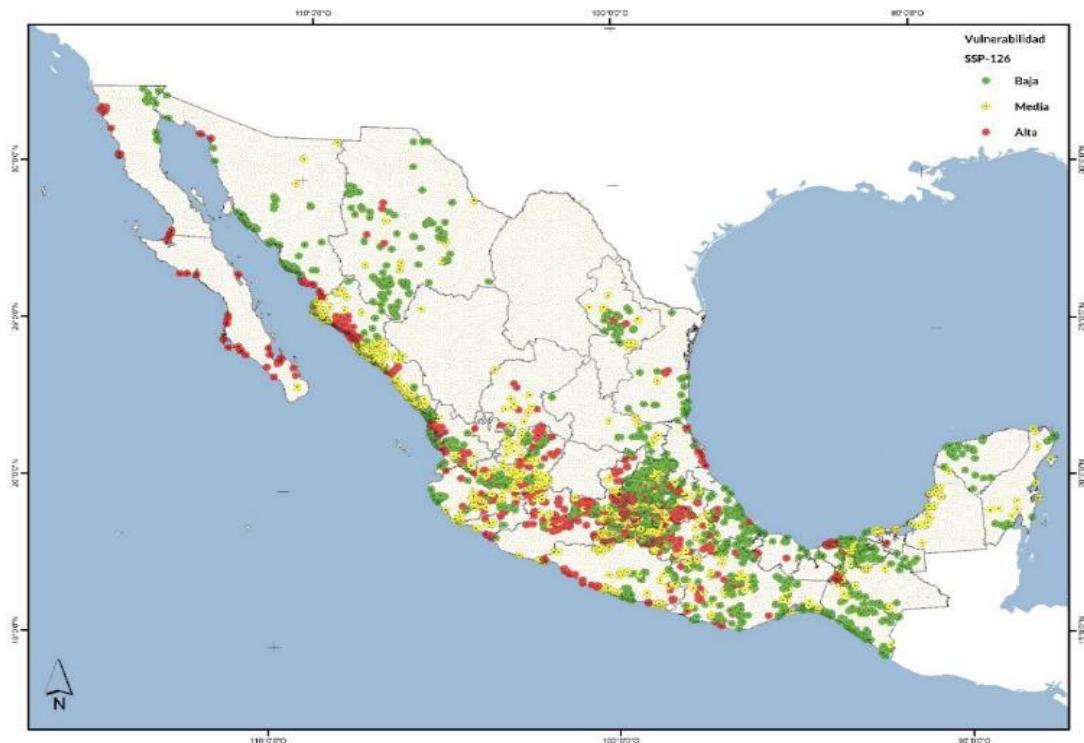
Finalmente, y en relación con la vulnerabilidad, puede verse en la Figura 23 que las instalaciones ubicadas en el Noroeste, Pacífico sur, y la Península de Yucatán, son las más vulnerables del país (Figura 24). Por otra parte, Bajo el escenario SSP 126 (sustentabilidad) esto cambiaría y serían las entidades sin litoral en la región central del país las que tendrían mayor vulnerabilidad ante los efectos de cambio climático (Figuras 25, 26). Bajo el escenario más drástico (SSP585), el aumento en la vulnerabilidad aumenta en la mayoría de las entidades, aunque es más notoria en Yucatán, Chiapas y Veracruz (Figuras 27, 28).



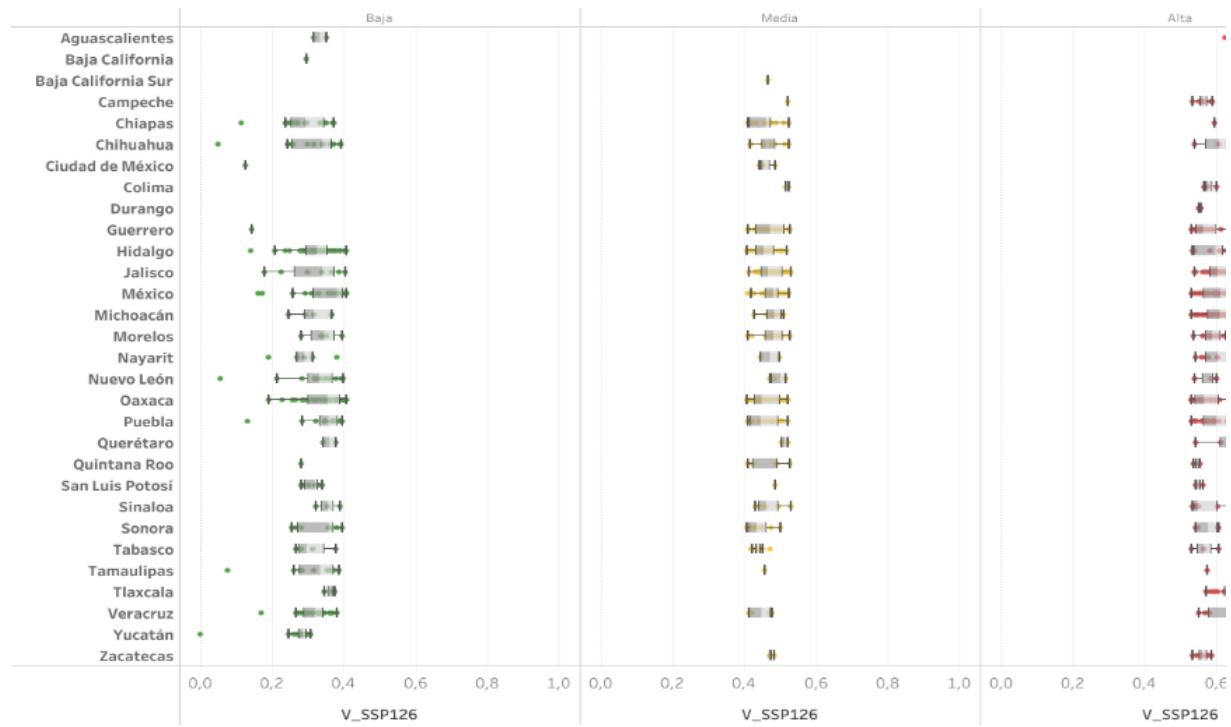
**Figura 23.** Mapa que muestra el grado de vulnerabilidad actual de las instalaciones acuícolas analizadas.



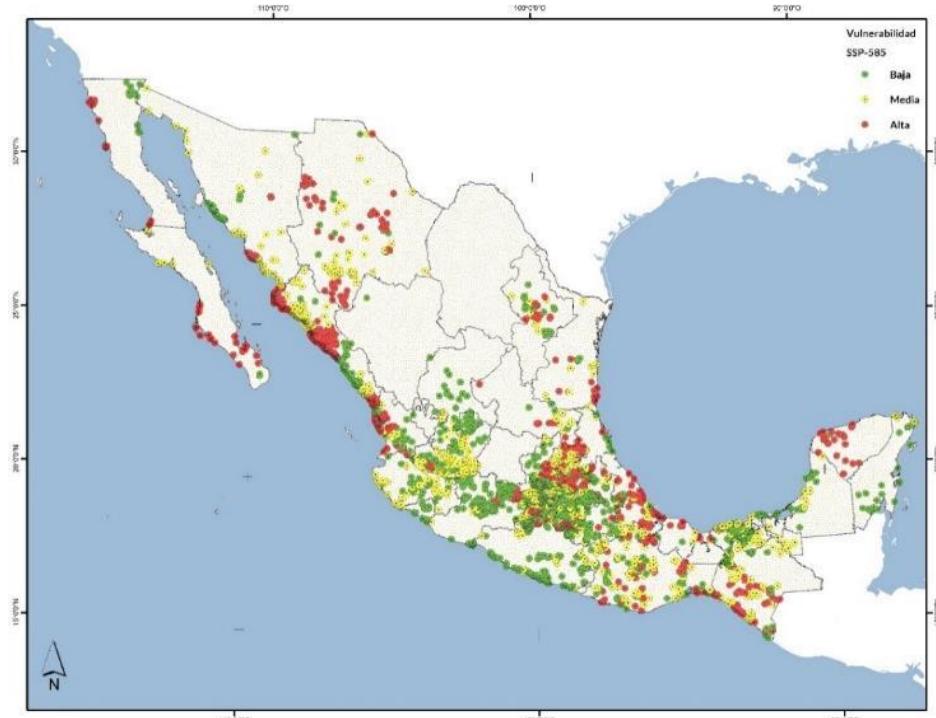
**Figura 24.** Gráfica de cajas y bigotes de los valores de vulnerabilidad actual de facilidades acuícolas, agrupada por entidad federativa.



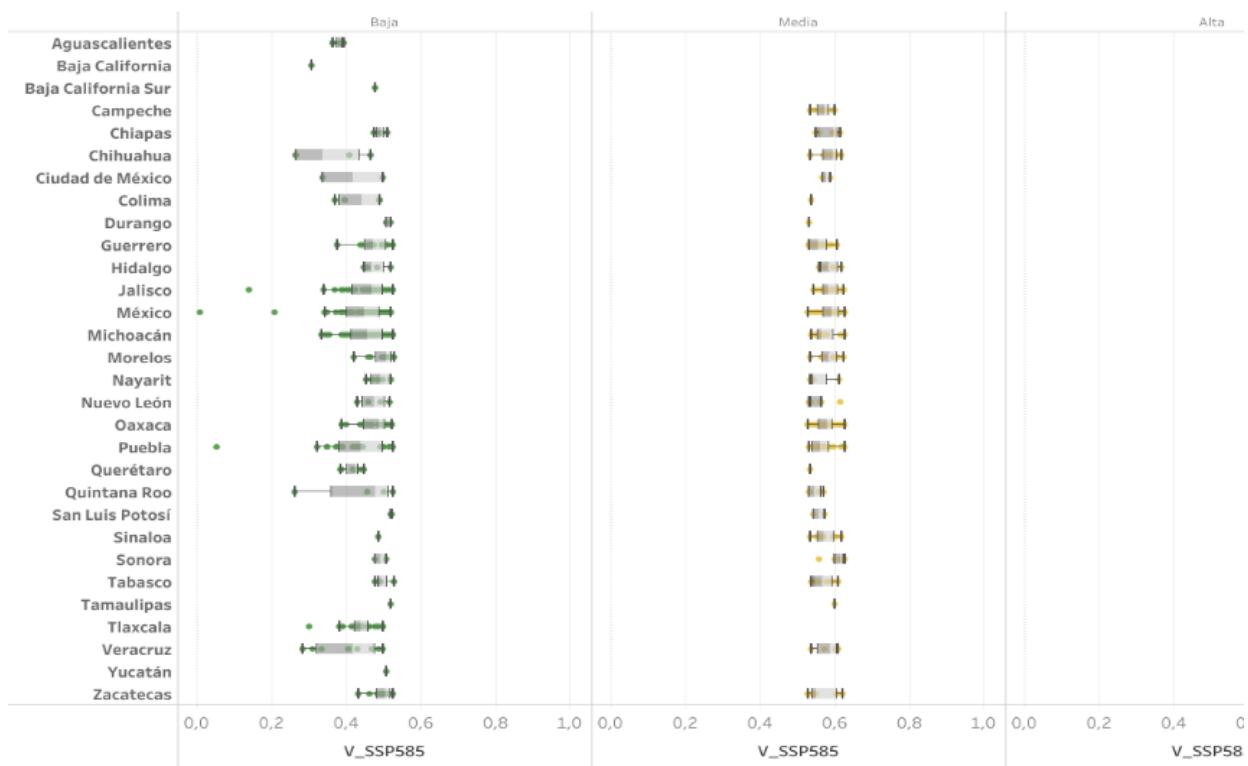
**Figura 25.** Mapa que muestra el grado de vulnerabilidad futura (SSP126) de las instalaciones acuícolas analizadas.



**Figura 26.** Gráfica de cajas y bigotes de los valores de vulnerabilidad futura (escenario SSP126) de facilidades acuícolas, agrupada por entidad federativa.



**Figura 27.** Mapa que muestra el grado de vulnerabilidad futura (SSP585) de las instalaciones acuícolas analizadas.



**Figura 28.** Gráfica de cajas y bigotes de los valores de vulnerabilidad futura (escenario SSP585) de facilidades acuícolas, agrupada por entidad federativa.

A manera de resumen, la susceptibilidad al cambio climático del sector acuícola es mayor en el noroeste del país, mientras que la exposición es mayor en las zonas costeras. Finalmente, la capacidad adaptativa es superior en el noroeste. El resultado final es que las instalaciones de acuacultura situadas en el norte, Pacífico sur, y la Península de Yucatán, son las más vulnerables, y podrían ser prioritarias para su atención. Cuando se incorporan los escenarios de cambio climático, el SSP126 apunta a que las entidades sin litoral en el centro de México serán potencialmente más afectadas por el cambio climático, pero si la emisión de gases de invernadero aumenta a la velocidad actual, y se presenta el escenario más drástico (SSP585), la vulnerabilidad acuícola aumentará en todo el país, pero especialmente en Yucatán, Chiapas y Veracruz.

Los resultados de este análisis son únicos en su tipo, y pueden ser de gran relevancia para identificar oportunidades, fortalecer a los acuicultores y diseñar una estrategia que permita incrementar su resiliencia.

## OBJETIVO C

### MODELAR LOS POSIBLES CAMBIOS DE DISTRIBUCIÓN DE 20 ESPECIES MARINAS DE INTERÉS PESQUERO Y ACUÍCOLA CLAVE PARA LOS MISMOS ESCENARIOS Y HORIZONTE.

Una de las formas para explorar las posibles consecuencias del cambio ambiental sobre la distribución de las especies, es la construcción de modelos de distribución potencial que abarquen escalas espaciales grandes (por ejemplo, regiones biogeográficas o grandes ecosistemas marinos), y que permitan inferir la respuesta en la distribución geográfica y la abundancia de las poblaciones y ocasionadas por la variabilidad ambiental y cambio climático (Doney et al. 20112). Esta metodología ha demostrado ser muy eficiente en sus resultados (Peterson et al. 2015; Melo-Merino et al. 2020), y básicamente funciona de esta manera. a partir de puntos de ocurrencia de las especies y las variables ambientales se crea un modelo de nicho ecológico, el cual muestra la calidad del hábitat para cada punto del mapa de trabajo en una escala de 0 a 1. En el caso de las simulaciones de los efectos del cambio climático, posteriormente es posible cambiar los parámetros del modelo para evaluar el efecto de condiciones futuras, los cuales se expresan en forma de cambios en la probabilidad de presencia de la especie.

El algoritmo más utilizado para modelar la distribución de especies utilizando datos de presencia y variables ambientales, está basado en el principio de máxima entropía, y está implementado en el software MaxEnt (Melo-Merino et al. 2020). La idea básica es estimar (aproximar) la probabilidad de distribución desconocida de una especie (Phillips et al. 2006), a partir de las condiciones en que la especie tiene poblaciones permanentes, que indican que el hábitat es viable para su ocurrencia.

## METODOLOGÍA

Esta parte de la investigación requirió utilizar modelos de nicho ecológico y distribución potencial de especies para generarán mapas que indiquen sus zonas de presencia actual y futura de los 20 recursos pesqueros de interés para INAPESCA (Anexo III). El procedimiento requiere información georreferenciada precisa sobre los sitios conocidos de presencia de cada taxón, y de las condiciones oceanográficas imperantes en la costa del Pacífico mexicano. Los datos de distribución geográfica fueron proporcionados por las fuentes que se presentan en el Anexo IV, y las variables consideradas y sus fuentes aparecen en el Anexo V. Esta se toma a una resolución de 9 km de pixel, y corresponde a los mínimos, máximos y promedio de siete variables oceanográficas tomadas en superficie: temperatura, salinidad, concentración de fosfatos, silicatos y oxígeno disuelto, radiación fotosintéticamente activa, coeficiente de atenuación de la luz, productividad primaria y batimetría. Estas variables se han utilizado con éxito en la creación de modelos de distribución de especies en México para pelágicos menores (Petatán-Ramírez et al. 2019), camarones (Cota-Durán et al. 2020), pez dorado (Salvadeo et al. 2020) y otras especies marinas en México (Stranges et al. 2019; Petatán-Ramírez et al. 2020). Aunque las variables se descargaron a escala planetaria, estas se recortaron a longitudes de -130 a -70° y latitudes de -15° a 40° a una resolución espacial de 0.0833° ( $\approx$  9 km). El recorte corresponde a la distribución de las especies, pues, aunque son de interés pesquero para México, su distribución no se limita a los límites geográficos del país.

Debido a que las variables ambientales pueden estar correlacionadas, se hizo un análisis para prevenir la multicolinealidad con el factor de inflación de la varianza (VIF) y correlación de Pearson utilizando el paquete en Virtualspecies en el software R (R Development Core Team, 2021). Para la modelación final se utilizaron solamente las variables sugeridas por la función removeCollinearity en R (Leroy et al., 2016). Las variables finales seleccionadas fueron: batimetría, fosfatos (mínimos), productividad primaria (mínimos y máximos), atenuación de luz (mínimos), tipo de costa, oxígeno disuelto (máximos), salinidad, temperatura y silicatos (máximos), radiación fotosintéticamente activa (mínimos y máximos).

Para la elaboración los modelos y mapas de distribución potencial actual y futura se usa el programa Maxent versión 3.3.3k (<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/Maxent/>), que emplea un algoritmo probabilístico que utiliza variables ambientales y datos de presencia para construir un modelo de nicho ecológico, y luego valora la probabilidad de ocurrencia de la especie a la escala geográfica que se le solicite. Los modelos se evaluaron tomando 70% de los datos de presencia de las especies para el entrenamiento, mientras que el 30% restante se utilizó para la validación de los mismos mediante el método de validación cruzada. Se generaron 10,000 pseudo-ausencias para el entrenamiento y la evaluación se llevó a cabo por el área bajo la curva ROC (Receiver Operating Characteristic). Para la salida de los modelos en formato ráster, se seleccionó el formato de salida logístico (valores de disponibilidad de hábitat comprendidos entre 0 y 1).

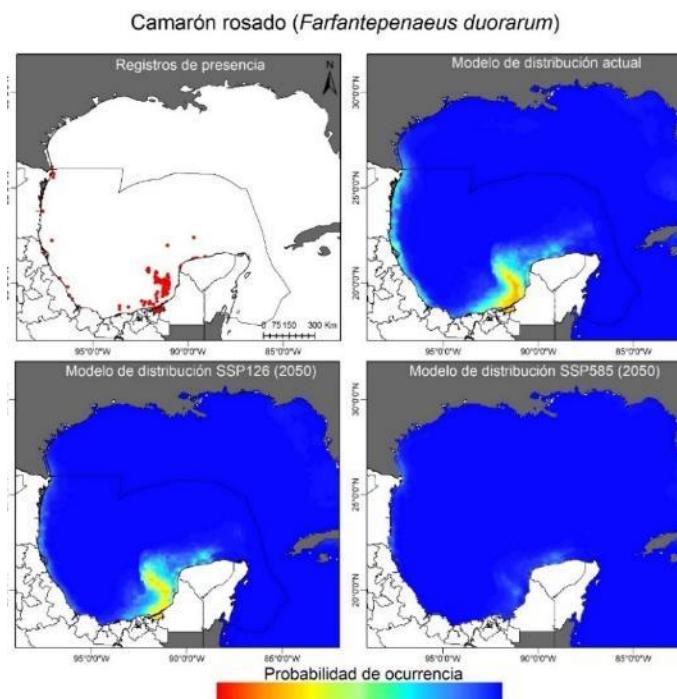
Los modelos de distribución espacial futura fueron construidos con base en los pronósticos de temperatura, concentración de oxígeno y productividad primaria para el horizonte 2050, citados adelante para los escenarios SSP585 y SSP126. Una vez creados los escenarios de cambio climático a alta resolución, se realizó una comparativa entre el valor promedio histórico de las tres variables analizadas y las variables al año 2050 para encontrar patrones espaciales de zonas de mayor afectación en los mares mexicanos.

Para determinar los cambios en la distribución de las especies, para los modelos actuales y los futuros se generaron mapas binarios de presencia/ausencia de las especies a partir del parámetro del 10% percentil generado por MaxEnt como umbral de presencia, es decir, se evaluaron los rasters generados por el software y las celdas con un valor superior al umbral se consideran adecuados para la presencia de la especie; valores inferiores a este, se tomaron como ausencia. A partir de ahí se calculó el área (en km<sup>2</sup>) de distribución actual y futura de las especies en los mares mexicanos, utilizando como referencia la zona económica exclusiva. El último paso fue comparar la distribución actual y la que se propone con los modelos SSP126 y SSP 585, para determinar cambios en la probabilidad de ocurrencia, y determinar los sitios en donde las especies pueden permanecer, desaparecer o establecerse en otras zonas, como resultado del cambio en las condiciones climáticas.

## RESULTADOS

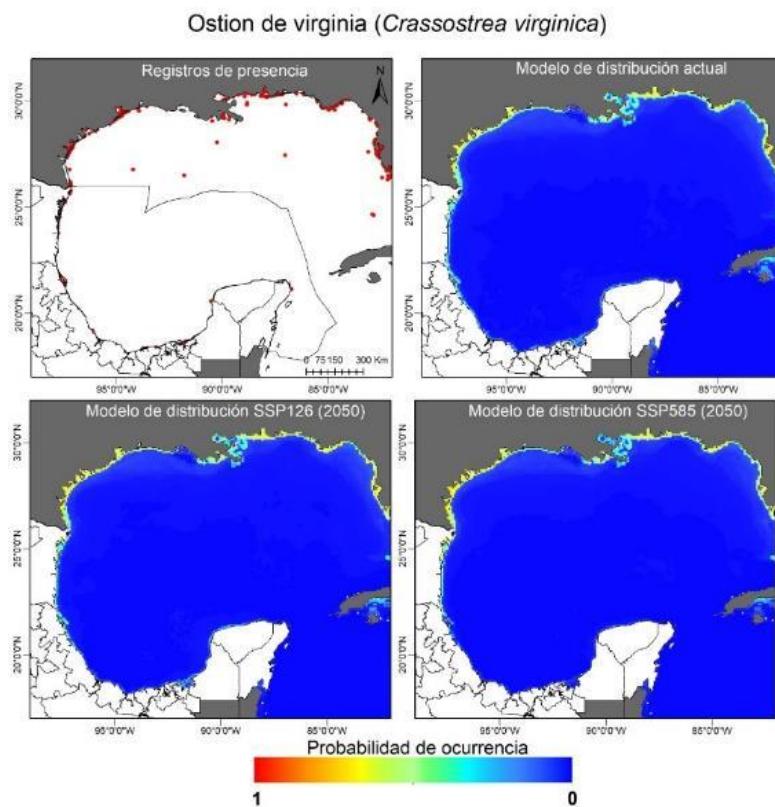
La sección presentará los resultados de todas las especies comprometidas, que serán descritas comenzando por las residentes del Golfo de México-Mar Caribe, y posteriormente las del Pacífico tropical-Golfo de California. Cabe señalar que por cuestiones de espacio los mapas aparecen en tamaño pequeño; sin embargo, tienen suficiente calidad para ser copiados y revisados en mayor detalle, y las imágenes de alta definición están en los archivos entregados de forma paralela a este documento.

El camarón rosado (*Farfantepenaeus duorarum*; Figura 29) actualmente tiene un área total de distribución en México de 65,000km<sup>2</sup>, y de acuerdo a las simulaciones puede presentar cambios importantes en su distribución: bajo el escenario SSP126, su zona de presencia disminuiría un 32% y las poblaciones quedarían prácticamente limitadas a la zona de Tabasco y Campeche, mientras que bajo el escenario SSP585 su área de distribución casi desaparece, solo permaneciendo sitios viables de ocurrencia en pequeñas partes adyacentes a los estados de Campeche y Yucatán.



**Figura 29.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) del camarón rosado *Farfantopenaeus duorarum*, según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

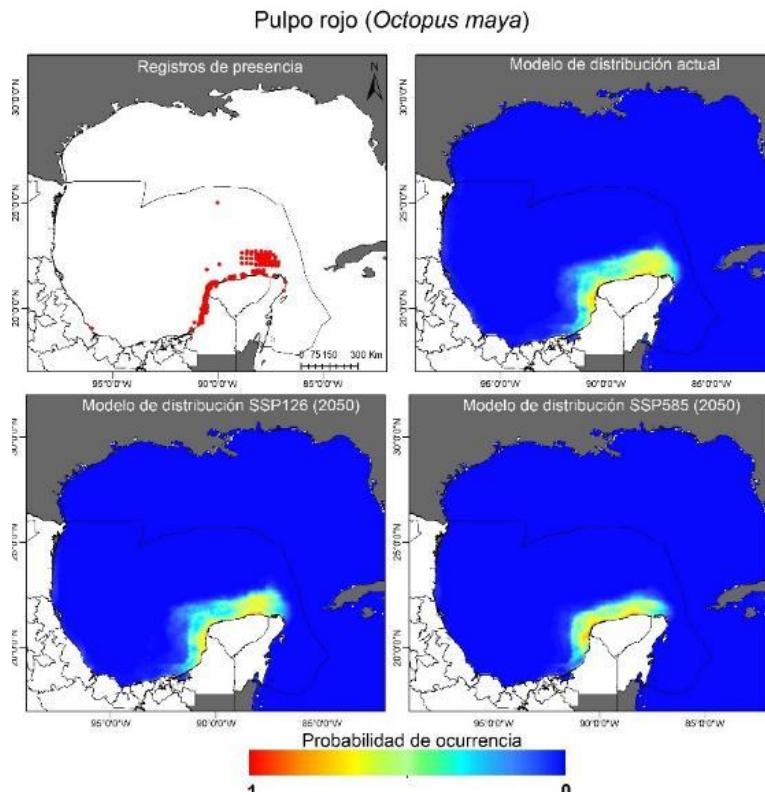
En relación con moluscos seleccionados para el estudio, el ostión de virginica (*Crassostrea virginica*; Figura 30) con una distribución limitada a la línea de costa (apenas perceptible en la figura debido a la escala), tiene un área de distribución aproximada de 10,000 km<sup>2</sup>, misma que presentaría una disminución del 12% bajo el escenario SSP126. En contraste, bajo el escenario SSP585 habría una disminución de área ocupada del 42%, siendo adecuado el entorno en la zona del norte de Veracruz y Tamaulipas, pero poco apto desde el sur del Veracruz y en la Península de Yucatán.



**Figura 30.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) del ostión de Virginia *Crassostrea virginica*, según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

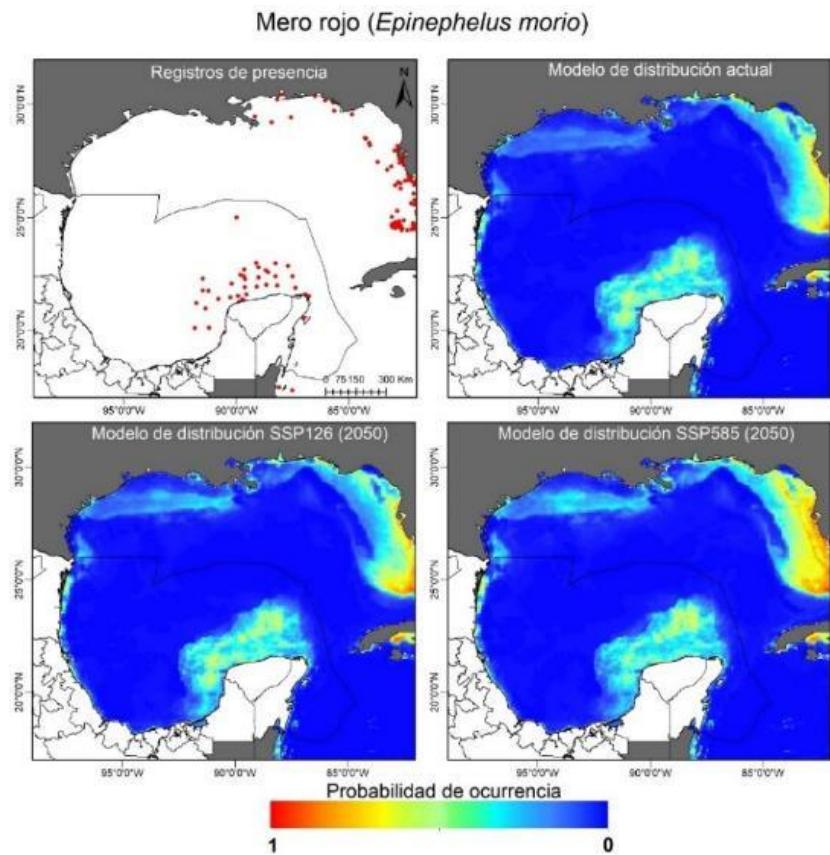
Para el pulpo rojo (*Octopus maya*; Figura 31), se encontró que la distribución de la especie actualmente abarca alrededor de 42,000 km<sup>2</sup>, sin embargo, de acuerdo con las proyecciones, en promedio en los dos escenarios futuros se tendría una disminución en el hábitat del 19%, limitando su presencia a las zonas más someras del banco de

Campeche y Yucatán, y por ende disminuyendo su área de distribución a 34,000 km<sup>2</sup>. La relevancia del resultado debe ser analizada con detalle, comparando las áreas de pérdida de poblaciones con los sitios de pesca.



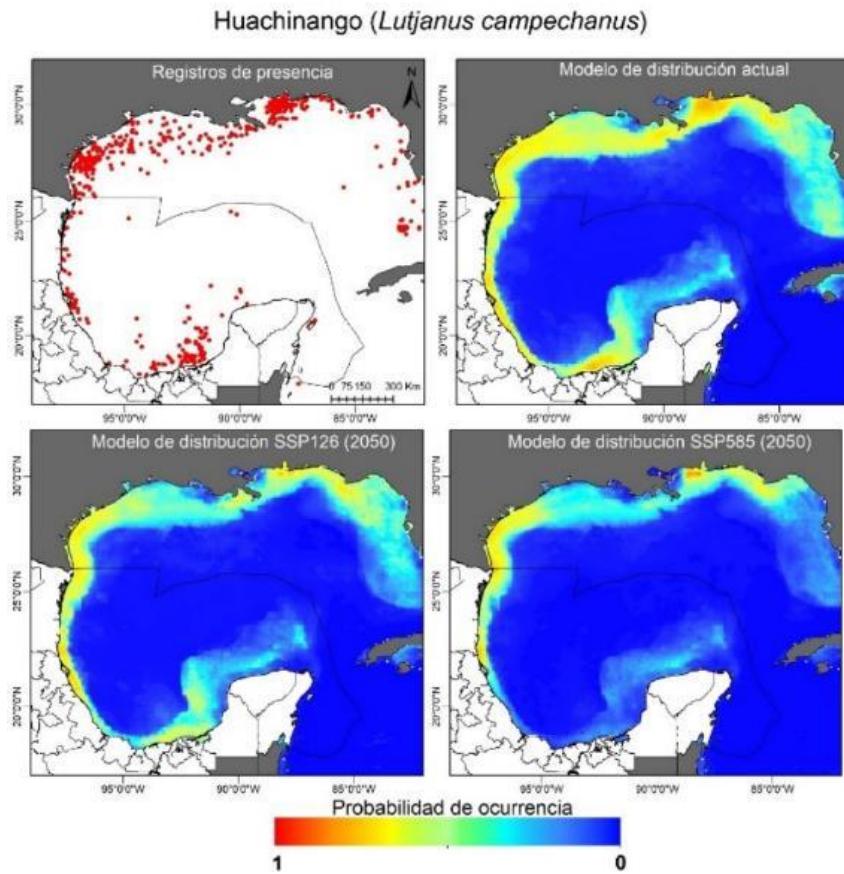
**Figura 31.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) del pulpo rojo *Octopus maya*, según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

Para el mero rojo (*Epinephelus morio*; Figura 32), los modelos indican que en la actualidad cuenta con un área de distribución aproximada de 152,000 km<sup>2</sup> m, y afortunadamente (quizá por la afinidad tropical de la especie), se sugieren solamente ligeros cambios espaciales (alrededor del ±1%) en el Banco de Campeche bajo los dos escenarios de cambio climático. En resumen, esta especie parece tener las condiciones biológicas que le permitan resistir adecuadamente las fluctuaciones ambientales resultantes del cambio climático global.



**Figura 32.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) del mero rojo *Epinephelus morio*, según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

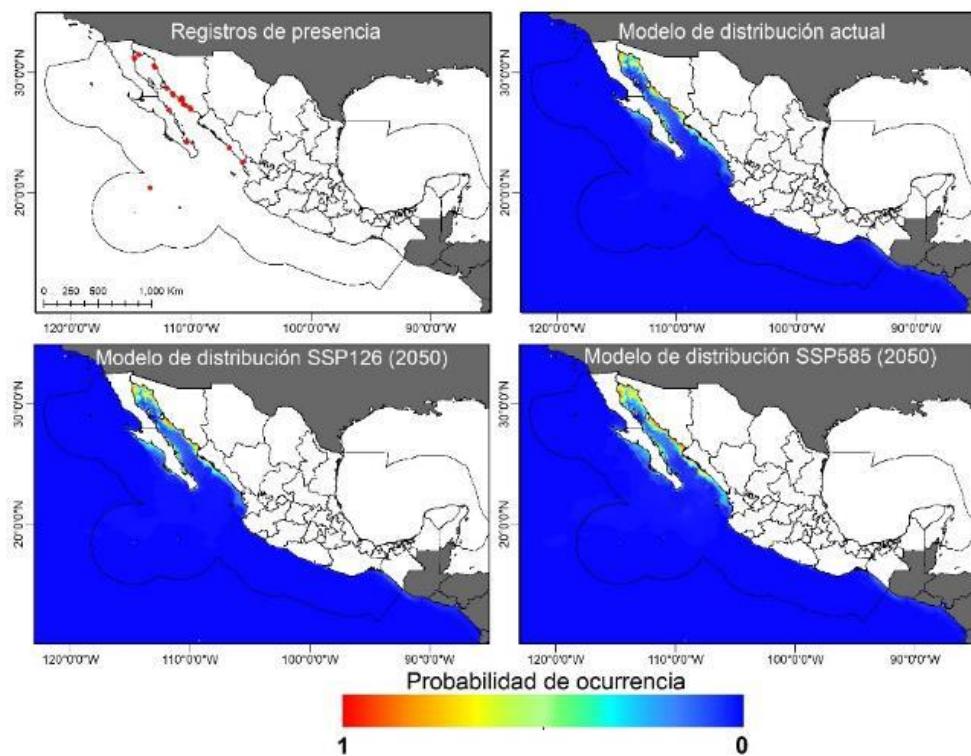
Finalmente para la costa oriental de México, en el caso del huachinango (*Lutjanus campechanus*; Figura 33) se estimó un área de distribución de 110,000 km<sup>2</sup>. Bajo el escenario SSP126 se espera una disminución en la distribución del 12% de superficie, principalmente en la zona de Campeche, mientras que bajo el escenario SSP585 esa cifra se eleva hasta casi el 70%, de tal modo que las poblaciones se vuelven escasas o inexistentes en desde la península de Yucatán hasta el sur de Veracruz, y solo permanecen en buen estado en el norte de Veracruz y Tamaulipas.



**Figura 33.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) del huachinango del golfo *Lutjanus campechanus*, según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

La medusa bola de cañón (*Stomolophus* sp.; Figura 34) de acuerdo con el modelo actual, tiene una distribución de 49,000 km<sup>2</sup>. Bajo el escenario SSP126 se tendría una disminución de solo el 4% en su distribución, mientras que bajo el escenario SSP585 se tendría un aumento en la zona apta para la presencia de sus poblaciones, del 20%. Este incremento ocurriría en la costa oriental del Golfo de California y en la zona norte del mismo. Es decir, la medusa bola de cañón parece ser un organismo que se verá favorecido por las nuevas condiciones del mar, y ello puede llevar a ajustes en diversos aspectos ligados a su plan de manejo.

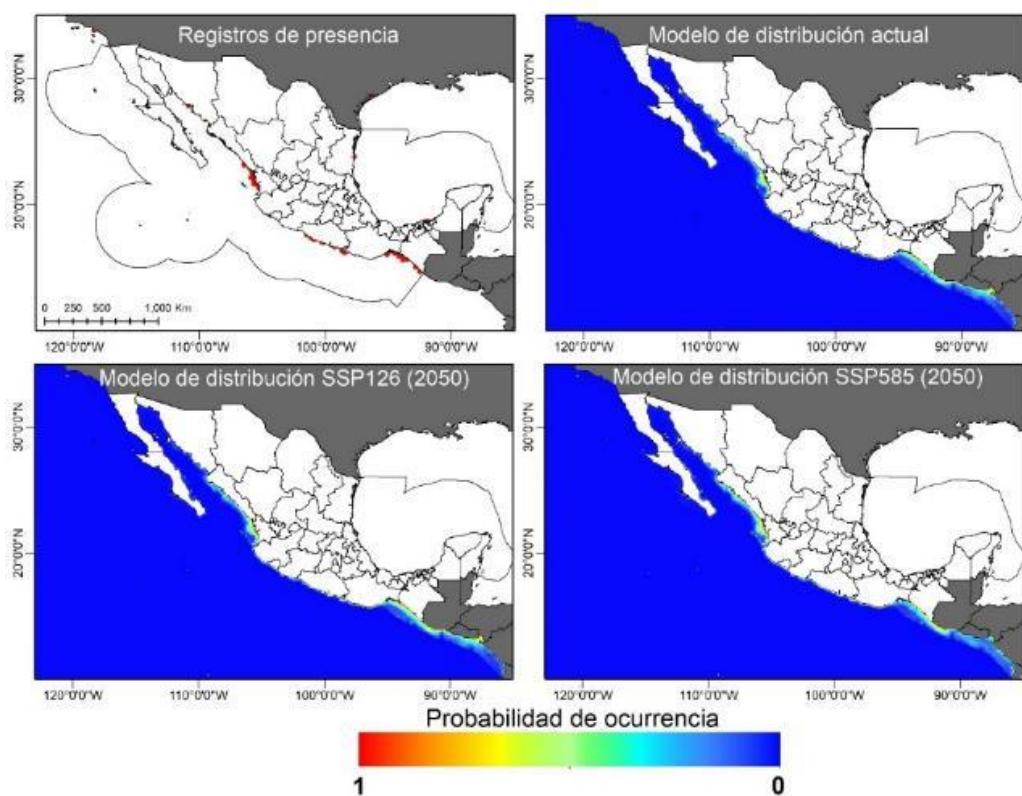
### Bola de cañón (*Stomolophus* spp.)



**Figura 34.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) de la medusa bola de cañón *Stomolophus* sp., según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

El camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*; Figura 35) cuenta con una distribución actual cercana a los 33,000 km<sup>2</sup>. En promedio, bajo ambos escenarios futuros se tendría un incremento del 13% en su distribución, principalmente al interior del Golfo de California, al norte de Sinaloa y sur de Sonora. Segunda especie que parece verse favorecida por las condiciones futuras en el océano, lo que lleva a tener previsión un manejo que tenga en perspectiva graduales aumentos futuros en las capturas, ya que la biomasa extraída de esta especie, es proporcional a su zona de residencia (Cota-Durán et al. 2021).

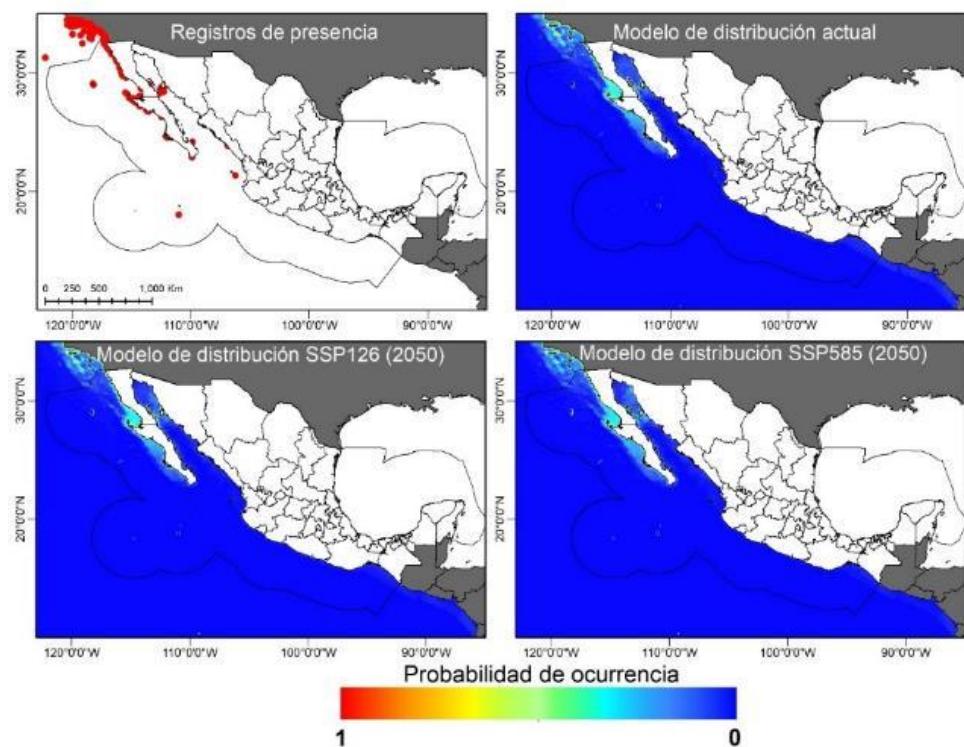
### Camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*)



**Figura 35.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) del camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

La langosta roja (*Panulirus interruptus*; Figura 36) tiene un superficie actual de ocurrencia de alrededor de 56,000 km<sup>2</sup>. De acuerdo con los escenarios SSP126, habría una disminución del 4% en el tamaño de su habitat, mientras que en el SSP585 habría una disminución del 9%. La zona de mayor afectación corresponde a la costa occidental de Baja California Sur. De manera semejante a la medusa antes mencionada, la langosta roja no parece que tendrá cambios importantes en su zona de presencia en las costas de México.

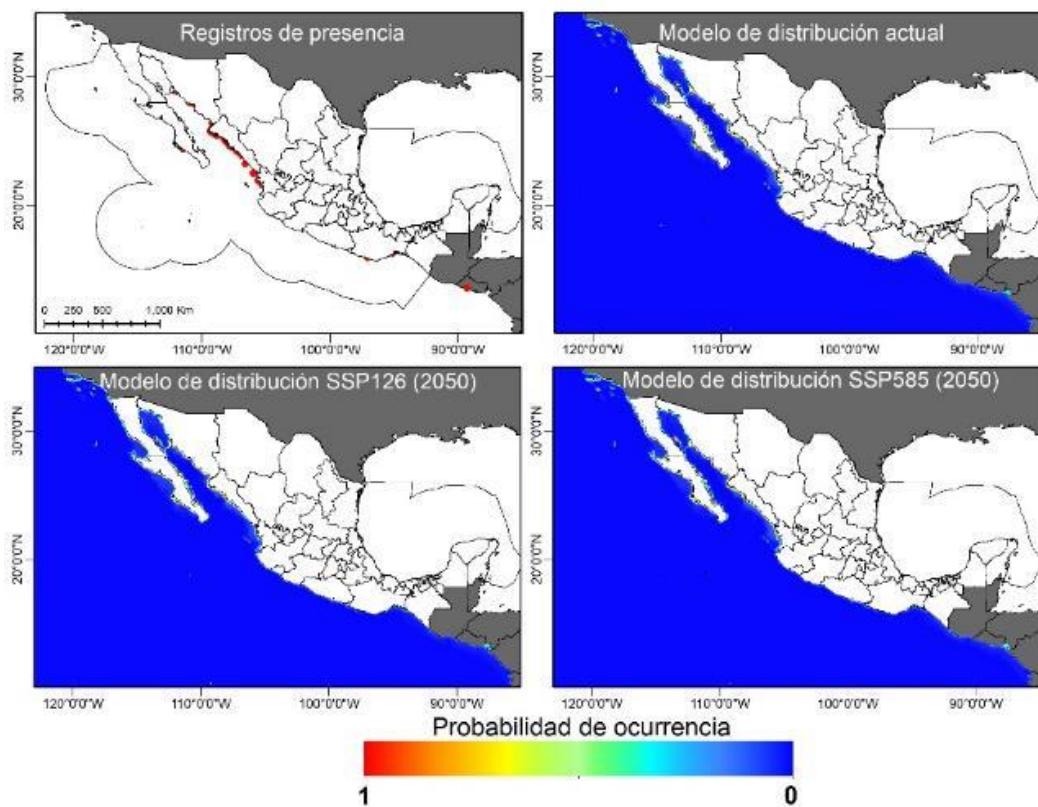
### Langosta roja (*Panulirus interruptus*)



**Figura 36.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) de la langosta roja *Panulirus interruptus*, según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

En relación con los moluscos, el ostión de placer (*Crassostrea corteziensis*; Figura 37) tiene una distribución actual cercana a los 40,000 km<sup>2</sup>; desafortunadamente habita aguas tan someras que su zona de ocurrencia es inapreciable en el mapa, debido a la escala. Bajo el escenario SSP126, esta especie puede ver un incremento en su distribución del 3%, mientras que bajo el escenario SSP585 se vería afectada pero muy ligeramente, perdiendo solamente el 2% de la superficie de hábitat viable. En resumen, no se esperan cambios importantes en las zonas de captura futura de este ostión en el Pacífico mexicano.

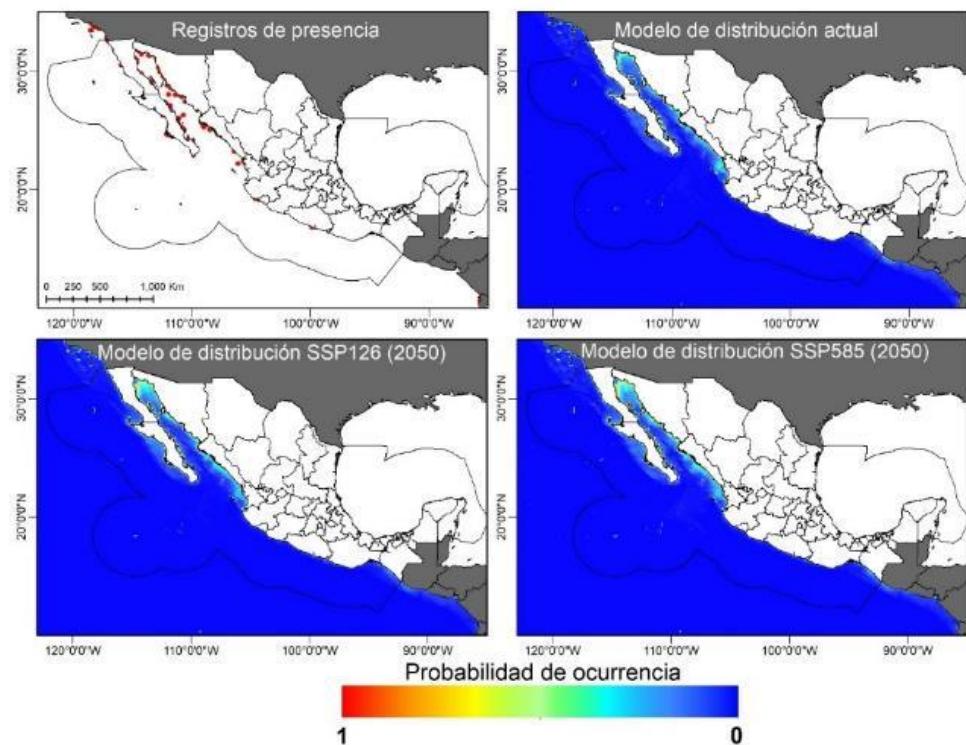
### Ostión de placer (*Crassostrea corteziensis*)



**Figura 37.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) del ostión de placer *Crassostrea corteziensis*, según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

La almeja blanca (*Dosinia ponderosa*; Figura 38) en la actualidad tiene un área de distribución muy extensa en México, y cercana a los 100,000 km<sup>2</sup>. Bajo los escenarios de cambio climático, esta distribución podría verse beneficiada al aumentar en un 14% bajo el escenario SSP126 y hasta 20% bajo el escenario SSP585. Las zonas donde mejoraría el ambiente y favorecería su distribución es la región del Alto Golfo y lo largo de la plataforma continental del Golfo de California.

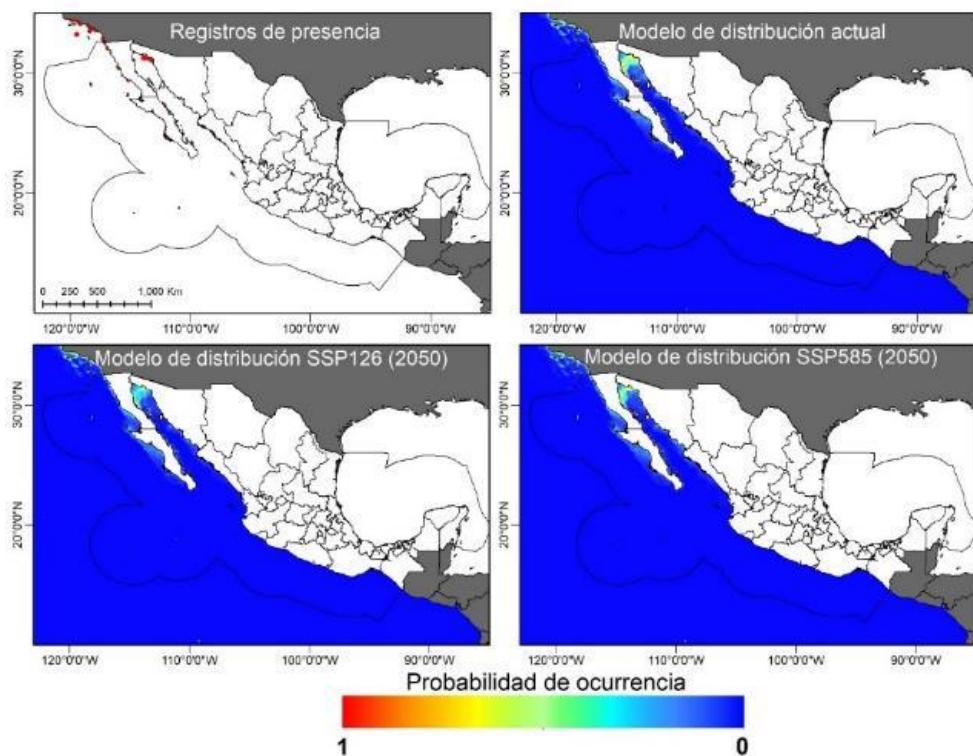
### Almeja blanca (*Dosinia ponderosa*)



**Figura 38.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) de la almeja blanca *Dosinia ponderosa*, según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

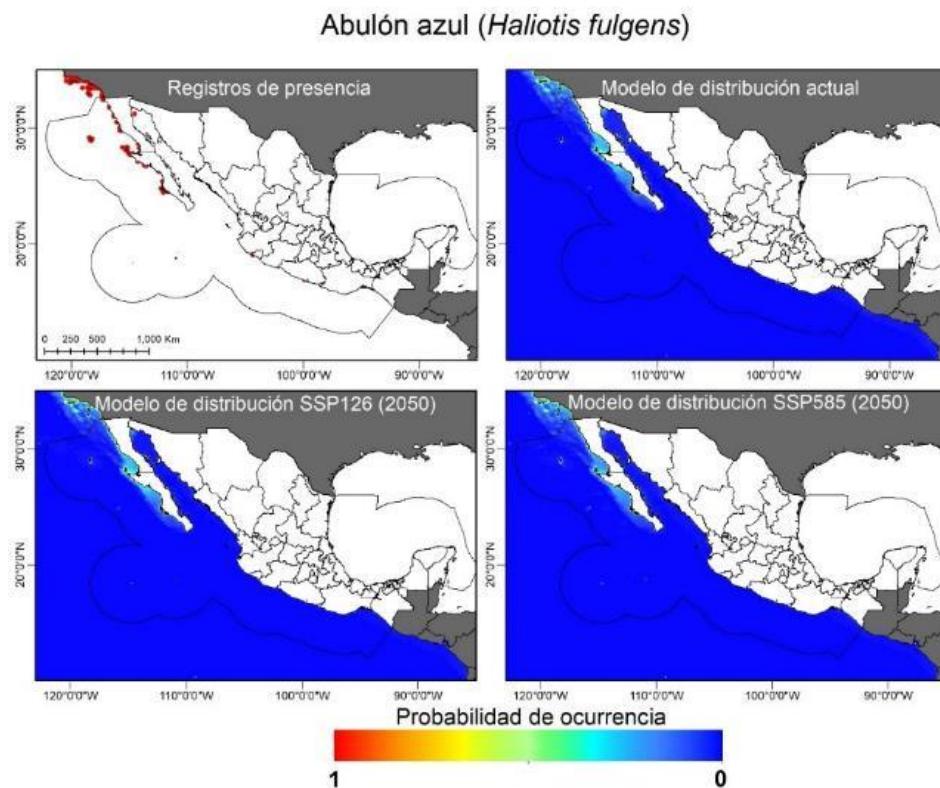
La almeja generosa (*Panopea generosa*; Figura 39) presenta un área de distribución actual aproximada de 27,000 km<sup>2</sup>. De acuerdo con las simulaciones, en ambos escenarios de cambio climático la especie vería reducida su zona de ocurrencia, y promediando los resultados del SSP126 y SSP585, se tendría un decremento promedio del 31% para el año 2050. La región del país donde las poblaciones podrían mantenerse en mejor estado es el Alto Golfo de California, donde la especie tendría un área de extensa distribución, y se vería menos impactada respecto a los escenarios climáticos.

### Almeja generosa (*Panopea generosa*)



**Figura 39.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) de la almeja generosa *Panopea generosa*, según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

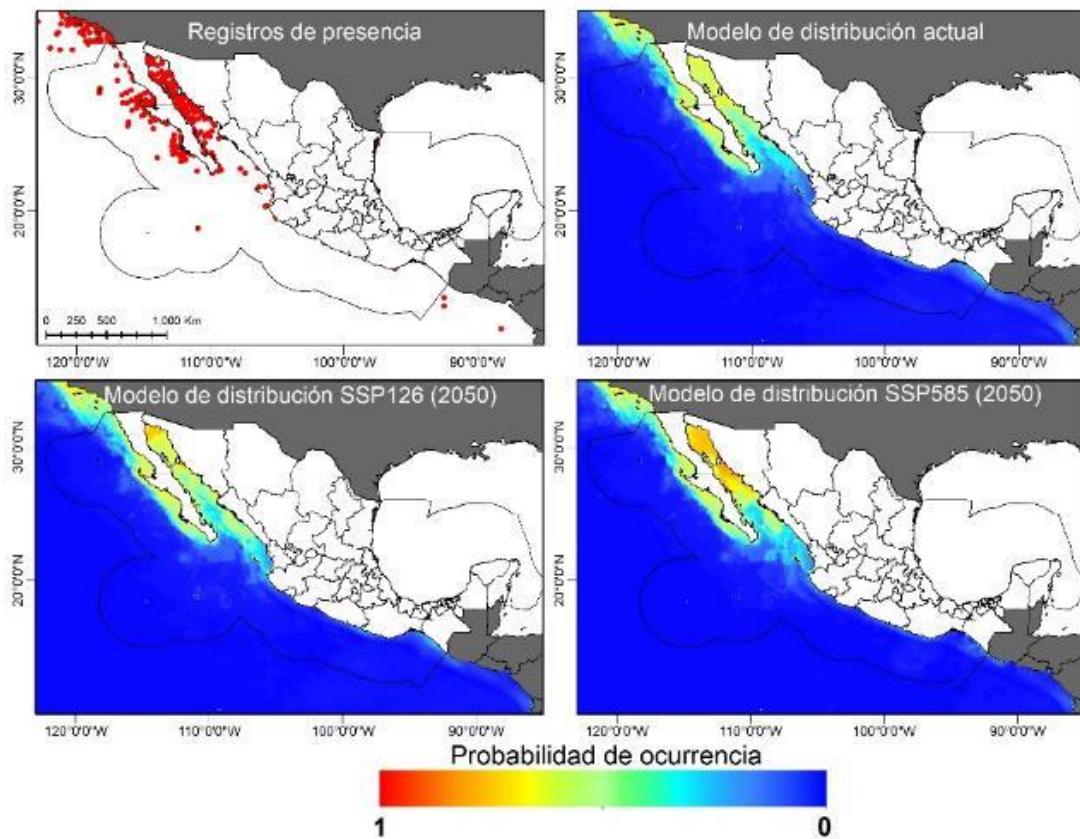
El abulón azul (*Haliotis fulgens*; Figura 40) en el presente tiene un superficie de presencia de aproximadamente 42,000 km<sup>2</sup>. Bajo el escenario SSP126 su área de distribución podría aumentar un 2%, sin embargo, bajo el escenario muy cálido, el SSP585 la distribución en al área con condiciones adecuadas para la permanencia de las poblaciones podría disminuir en un 36%. Tal decrecimiento es mas marcado en el área desde Laguna San Ignacio hasta Bahía de San Sebastián de Vizcaíno, en Baja California Sur. La perspectiva para este recurso no es buena para muchas comunidades que tradicionalmente lo han utilizado desde hace décadas, y para las que aún representa un elemento fundamental no solo en su economía, sino en su modo de vida.



**Figura 40.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) del abulón azul *Haliotis fulgens*, según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

Pasando a la ictiofauna de interés en la costa occidental de México, los modelos para la sardina monterrey (*Sardinops sagax*; Figura 41) muestran que en la actualidad tiene una cobertura de 374,000 km<sup>2</sup>, y que bajo el escenario SSP126 se tendría un incremento del 2%, principalmente en la zona norte del Golfo de California. En contraste, tomando en cuenta el escenario SSP585 habría una disminución del 8% en la superficie potencial de presencia de poblaciones, aunque al mismo tiempo puede verse una mejora en las condiciones del hábitat en la zona norte del Golfo de California, y una baja de calidad ambiental en el sur de esa región. Nótese que las zonas de presencia de los stocks de Bahía Magdalena o el noroeste de la Península de Baja California no muestran demasiado cambio, cosa que ya se había mencionado en publicaciones previas (Petatán Ramírez et al. 2019).

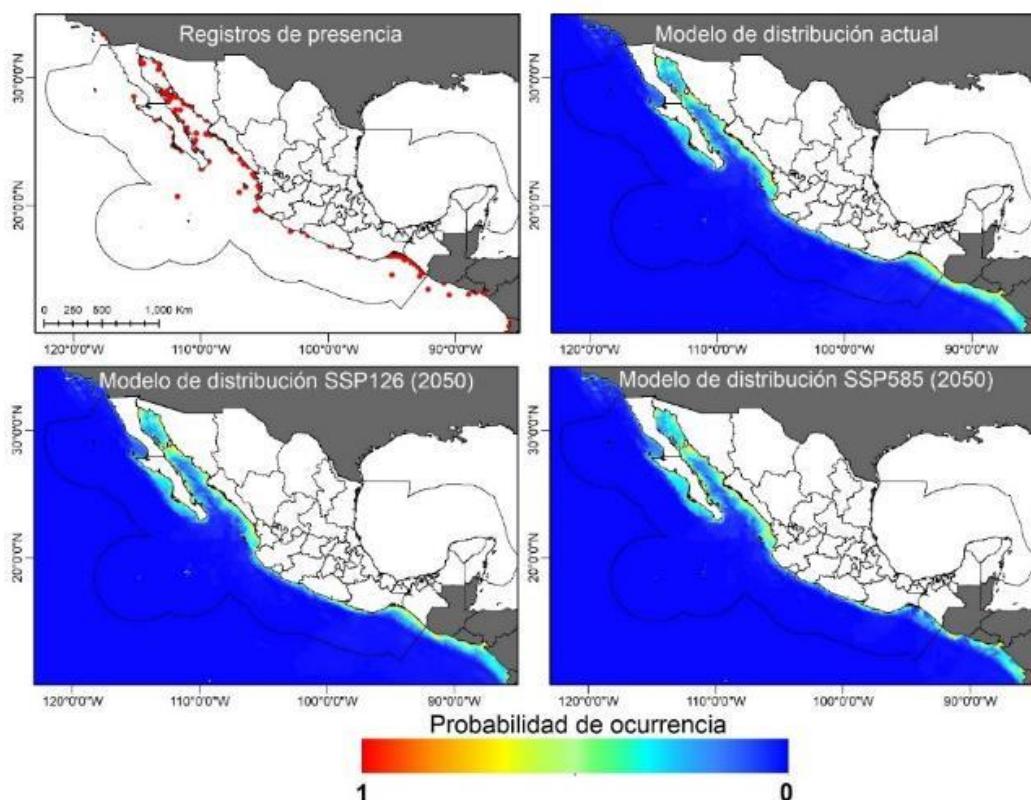
### Sardina monterrey (*Sardinops sagax*)



**Figura 41.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) de la sardina monterey *Sardinops sagax* según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

La sardina crinuda (*Ophistonema libertate*; Figura 42) actualmente se distribuye en un área cercana a los 217,000 km<sup>2</sup>. Bajo los escenarios de cambio climático, no tendría cambios importantes en su área total de distribución ( $\approx 0.26\%$ ), sin embargo, de acuerdo con los modelos, la zona sur del país tendría una disminución en su presencia (Golfo de Tehuantepec), sin embargo, esta área perdida al sur, se recuperaría en el noroeste de México donde aumenta su área de distribución.

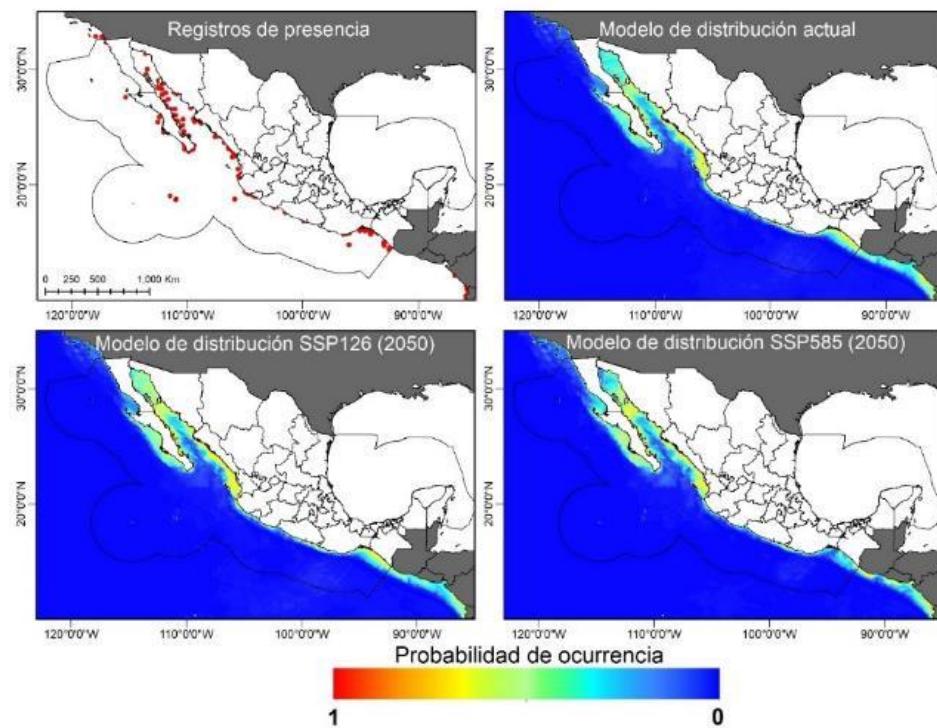
### Sardina crinuda (*Ophistonema libertate*)



**Figura 42.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) de la sardina crinuda *Ophistonema libertate* según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

El huachinango (*Lutjanus peru*; Figura 43) tiene una distribución muy amplia, y actualmente se distribuye en aguas mexicanas ocupando un área aproximada de 279,000 km<sup>2</sup>. De acuerdo con el escenario SSP126, con un ligero aumento en la temperatura se espera incremento del 3% en su zona de ocurrencia, mientras que bajo el escenario SSP585, con condiciones mucho más cálidas y menos oxigenadas y productivas, se tendría un decremento del 2%, y la zona más afectada será el Golfo de Tehuantepec. Puede concluirse que en general la especie mantendrá un buen estado de conservación hacia el futuro, pero su respuesta está ligada a la geografía y ello debe tomarse en cuenta, dado que este es un animal con gran capacidad de movimiento.

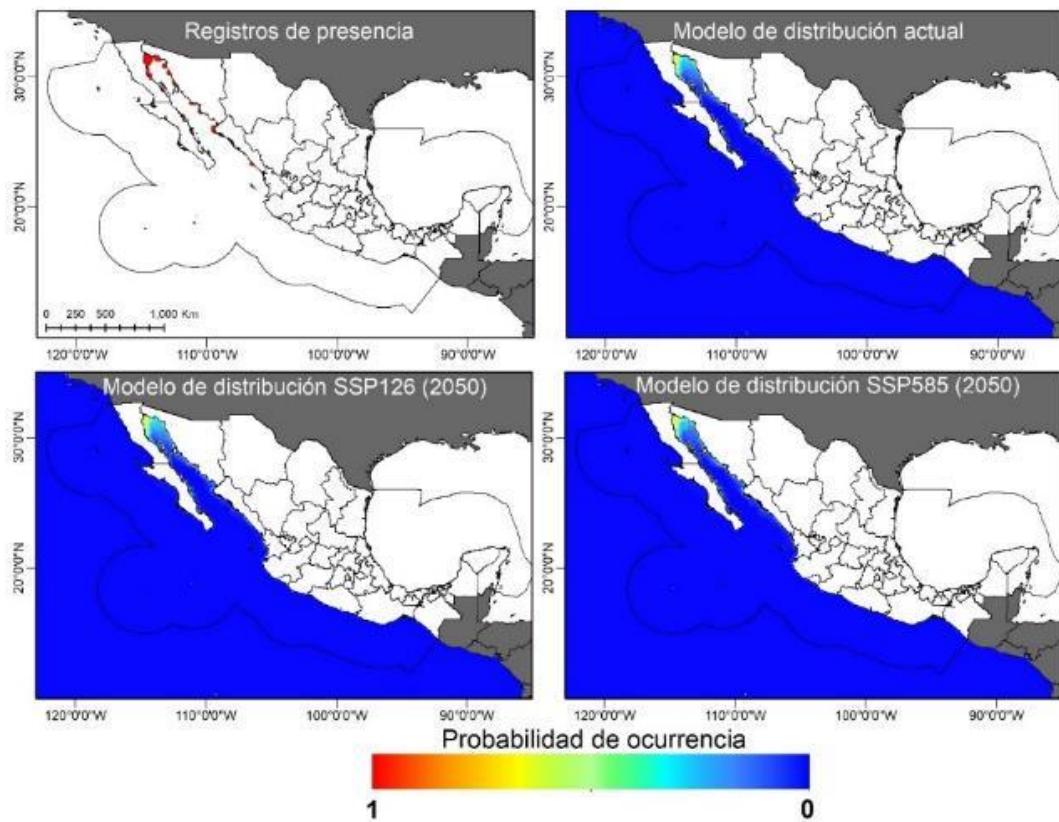
### Huachinango (*Lutjanus peru*)



**Figura 43.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) del huachinango del pacífico *Lutjanus peru* según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

La totoaba (*Totoaba macdonaldi*; Figura 44) es una especie endémica y que tiene una distribución limitada al interior del Golfo de California, y es reconocida por su gran relevancia socioeconómica para los habitantes de esa región, así como su importancia geopolítica. Según el modelo de nicho ecológico y distribución potencial la especie actualmente tiene un área de con una ocupación de 16,000 km<sup>2</sup>. Bajo los escenarios de cambio climático, SSP126 y SSP585 se espera práctica estabilidad, e incluso un aumento en la distribución del 9%. El Alto Golfo de California continuaría como su principal zona de presencia. Este tipo de información es útil pensando en los continuos esfuerzos de restauración de poblaciones que se están llevando a cabo en el golfo, sobre todo pensando en que se están introduciendo miles de organismos en zonas que históricamente no fueron de abundancia de la especie (el sur de la Península de Baja California), y que según los modelos a futuro, seguirán siendo de mala calidad ambiental para este organismo.

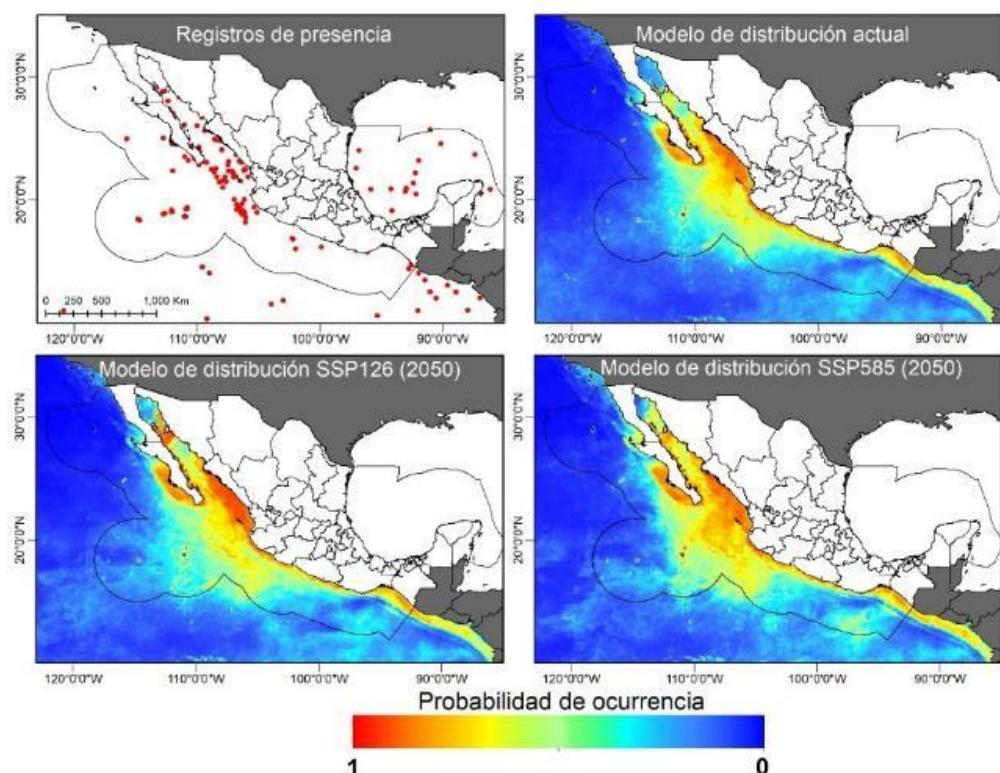
### Tototaba (*Totoaba macdonaldi*)



**Figura 44.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) de la totoaba *Totoaba macdonaldi* según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

Finalmente, para la región del Pacífico-Golfo de California, el tiburón sedoso (*Carcharhinus falciformis*; Figura 45) muestra una amplia distribución actual, ya que es un organismo que puede habitar zonas pelágicas (1,772,000 km<sup>2</sup> en total). Según el análisis, su distribución en promedio aumentaría en 5.5% bajo los dos escenarios de cambio climático, principalmente alrededor de las Grandes Islas en el Golfo de California y en Bahía de Vizcaíno en la Península de Baja California. No parece haber un impacto importante causado por las modificaciones ambientales esperadas, sobre la zona de presencia de este recurso.

### Tiburón sedoso (*Carcharhinus falciformis*)

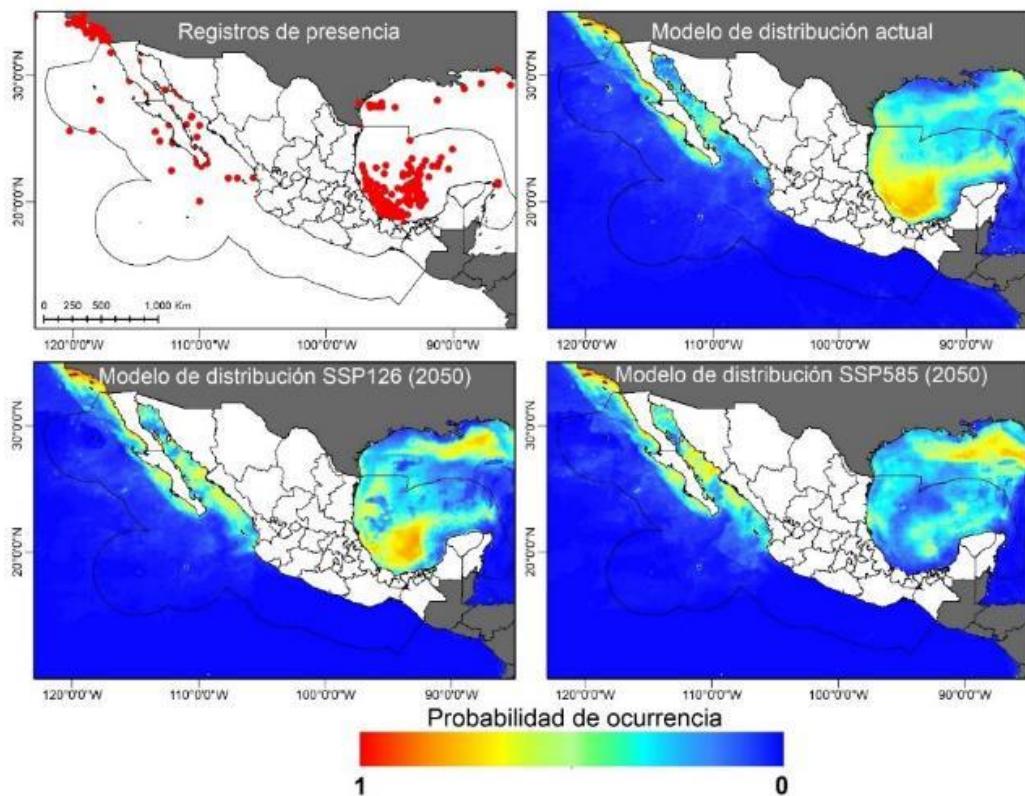


**Figura 45.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) del tiburón sedoso *Carcarhinus falciformis* según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

La siguiente sección se relaciona con las especies presentes en ambas costas del país.

El tiburón mako (*Isurus oxyrinchus*; Figura 46) cuenta con una distribución actual aproximada de 87,000 km<sup>2</sup>, siendo más extensa en el Golfo de México que en cualquier otra región del país. Bajo el escenario SSP126, el área apta de presencia de esta especie disminuiría en un 4%, mientras que bajo el escenario SSP585 se tendría un decremento muy superior, del 22% en su distribución. Estos cambios pueden ser notorios al interior del Golfo de California (donde aumentaría su presencia, especialmente en el norte), y en la costa de Veracruz y Tabasco (caso contrario, pues podría haber una reducción muy importante en sus zonas de captura).

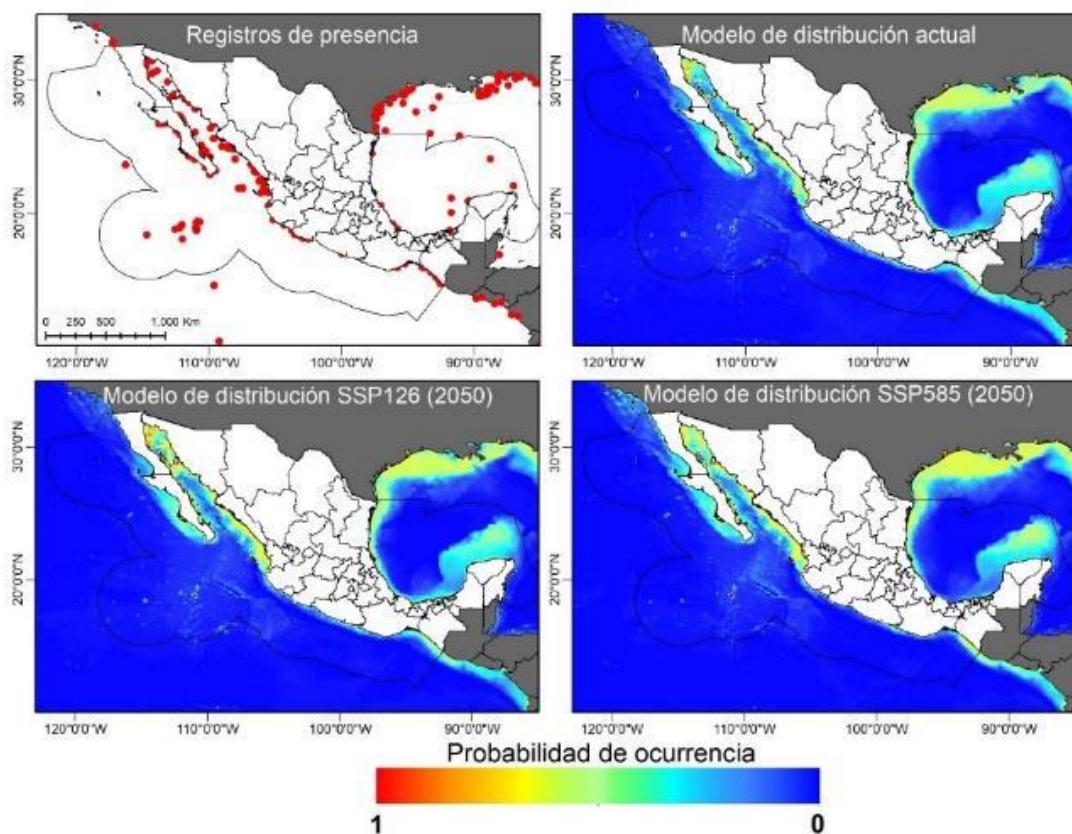
### Mako (*Isurus oxyrinchus*)



**Figura 46.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) del tiburón mako *Isurus oxyrinchus* según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

El recurso “tiburón martillo” abarca cinco especies, las cuales fueron analizadas por separado. En el caso de *Sphyrna lewini*; Figura 47), este organismo se distribuye actualmente a lo largo de 460,000 km<sup>2</sup> de litoral, y en aguas adyacentes. Bajo el escenario SSP126, se prevé un incremento en su área de ocurrencia del 2%, mientras que bajo el escenario SSP585 (condiciones más cálidas y menos productivas), disminuiría en apenas 1%, y esos cambios se presentarían en la porción más tropical del Pacífico mexicano, así como en Veracruz y Tabasco en el Golfo de México. Por otra parte, se sugiere que este tiburón podría aumentar su presencia al interior del Golfo de California, lo que indicaría que las condiciones oceanográficas ahí se volverían más aptas para su presencia.

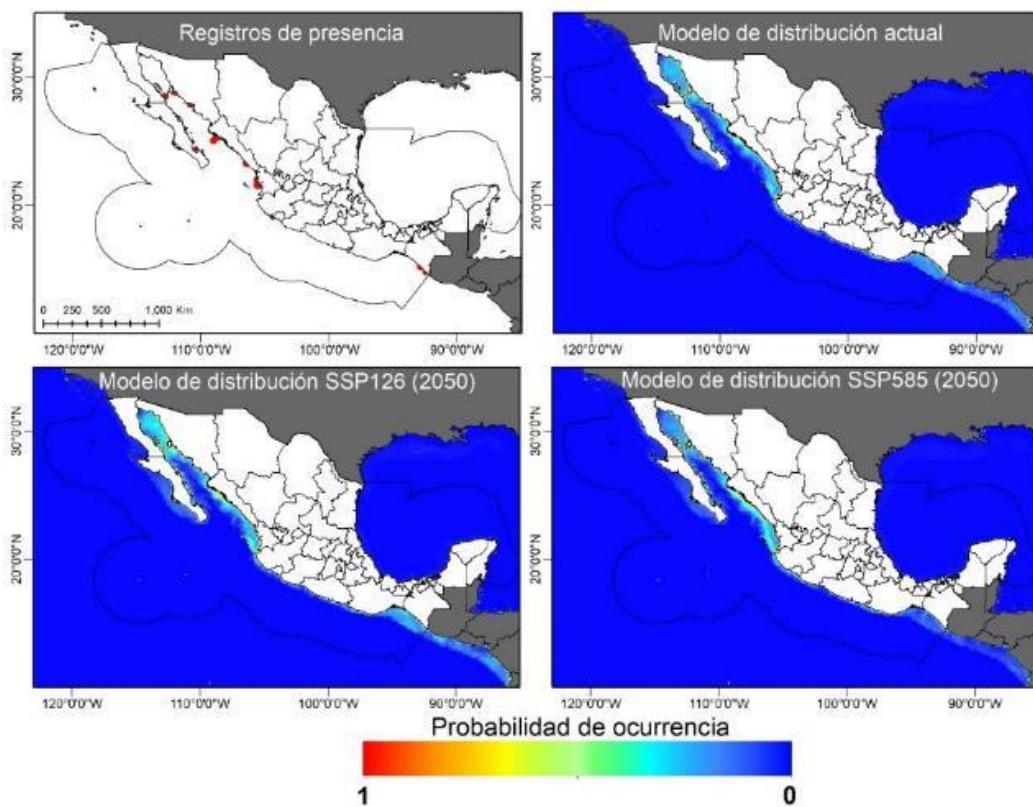
### Tiburón martillo (*Sphyraña lewini*)



**Figura 47.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) del tiburón martillo *Sphyraña lewini* según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

La cornuda *Sphyraña media* (Figura 48) presenta una distribución actual de 85,000 km<sup>2</sup>. Bajo el escenario SSP126 tendría un incremento en su hábitat muy notorio, del 35%; en especial nótese la mayor probabilidad de ocurrencia en la región norte del Golfo de California. Por otra parte, bajo el escenario SSP585 se tendría un incremento menor (solo del 10%), viéndose beneficiadas sus poblaciones por la mejor ambiental en la plataforma continental de Nayarit y Sinaloa.

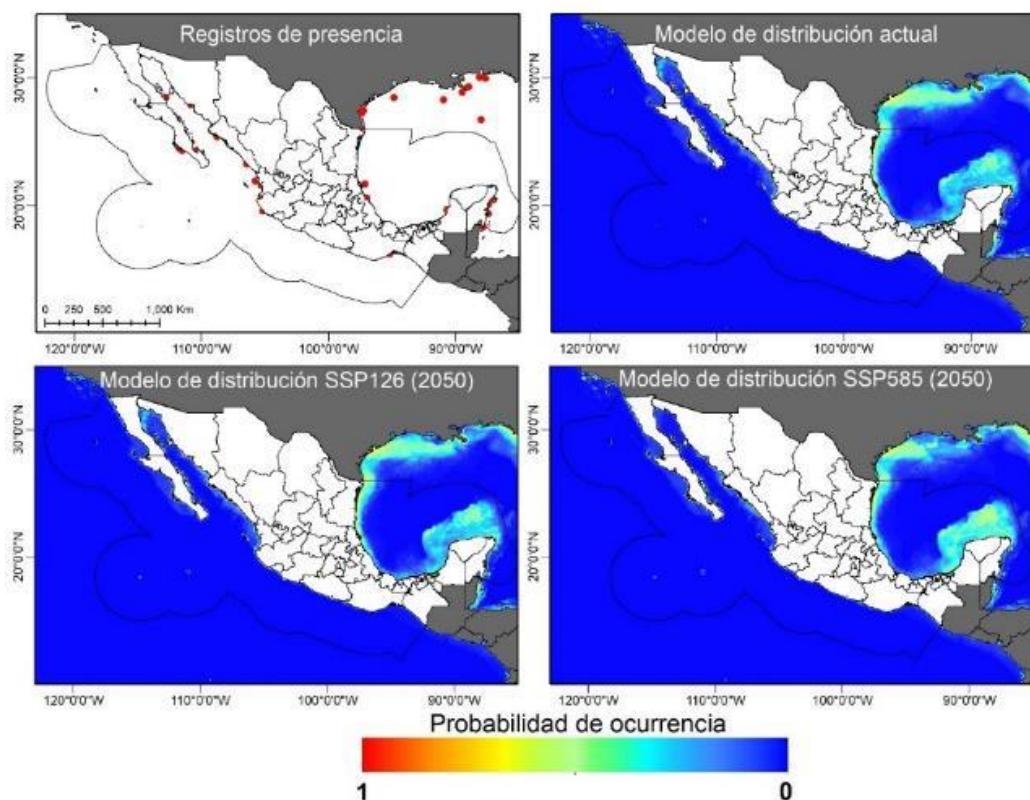
### Tiburón martillo (*Sphyrna media*)



**Figura 48.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) de la cornuda *Sphyrna media* según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

El tiburón martillo gigante (*Sphyrna mokarran*; Figura 49) actualmente se distribuye en un área aproximada de 272,000 km<sup>2</sup>, y en especial en aguas del Golfo de México. De acuerdo con el escenario SSP126, la especie sufriría un decremento de su superficie total de presencia del 13%, mientras que bajo el escenario SSP585 el decremento sería solo cercano al 5%. En el Golfo de México este tiburón prácticamente permanece estable en su zona de ocurrencia, pero en el Pacífico y Golfo de California disminuiría su presencia, aunque de por sí la especie no es muy común.

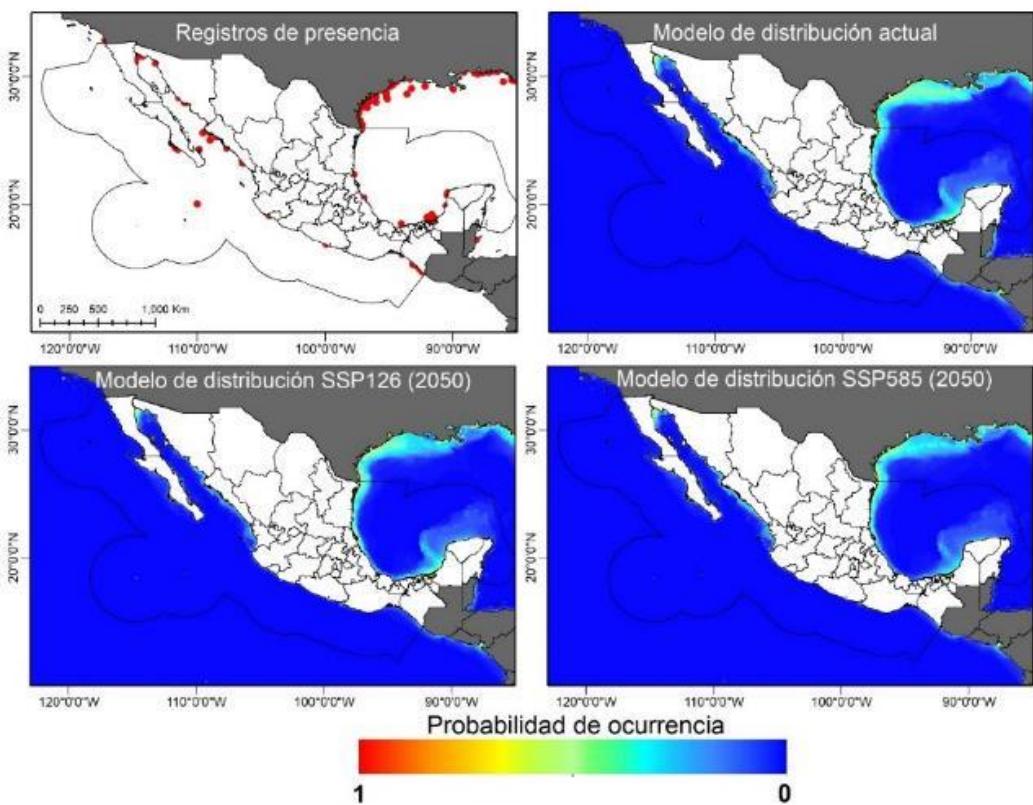
### Tiburón martillo (*Sphyrna mokarran*)



**Figura 49.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) del tiburón martillo gigante *Sphyrna mokarran* según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

El tiburón cabeza de pala (*Sphyrna tiburo*; Figura 50) presenta una distribución actual cercana a los 84,000 km<sup>2</sup>, en especial dentro del Golfo de México. De acuerdo con el escenario SSP126, se tendría una disminución del 25% en la distribución de la especie, viéndose afectadas las poblaciones actualmente presentes en la costa de Sinaloa. Por otro lado, tomando el escenario SSP585 la afectación sería mayor y a escala nacional, al disminuir en un 32% su hábitat disponible, afectando en especial los mares frente a Sinaloa, Campeche y Veracruz.

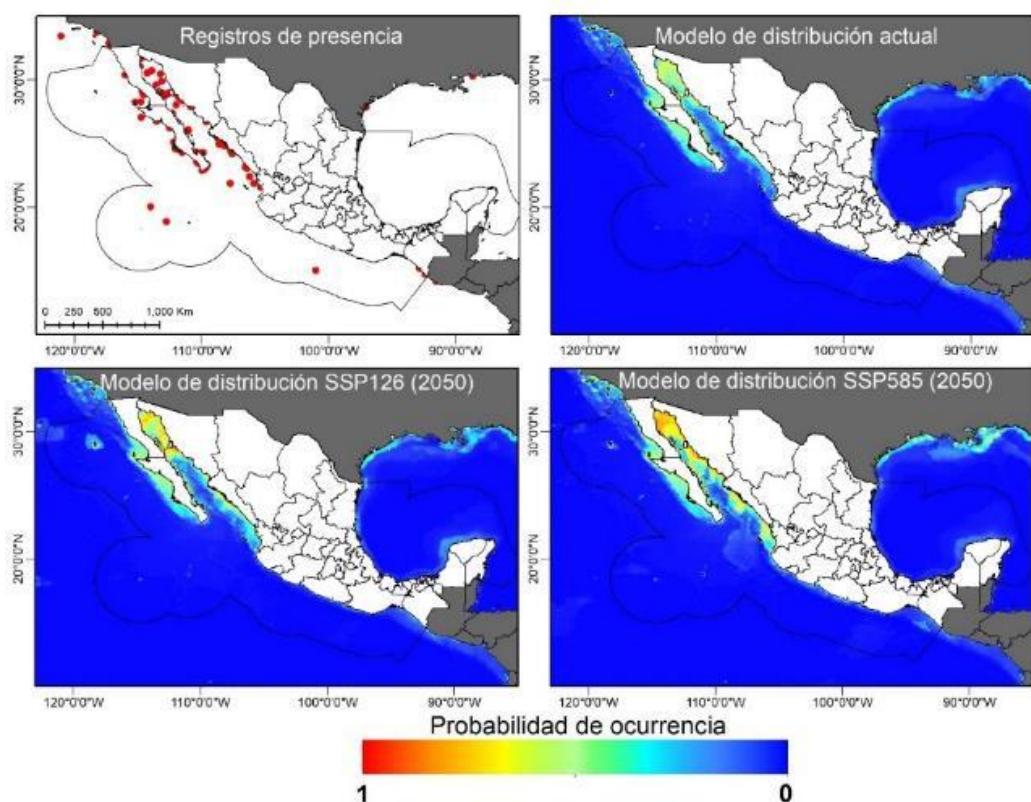
### Tiburón martillo (*Sphyraena tiburo*)



**Figura 50.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) del tiburón martillo *Sphyraena tiburo* según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

Para el tiburón martillo liso (*Sphyraena zygaena*; Figura 51), los modelos de nicho ecológico indican que en el presente cuenta con un área de hábitat disponible cercana a los 200,000 km<sup>2</sup>. Bajo el escenario SSP126, se espera que este hábitat se incremente en un 8%, mejorando las condiciones para la ocurrencia de la especie en el Golfo de California y los alrededores de la Isla Guadalupe. Bajo el escenario SSP585, el incremento del área de distribución sería del 25%, y sería muy marcado en todo el noroeste de México. Dentro del recurso “tiburón martillo”, esta especie y *S. media* parecen ser las que tienen mejores perspectivas a futuro.

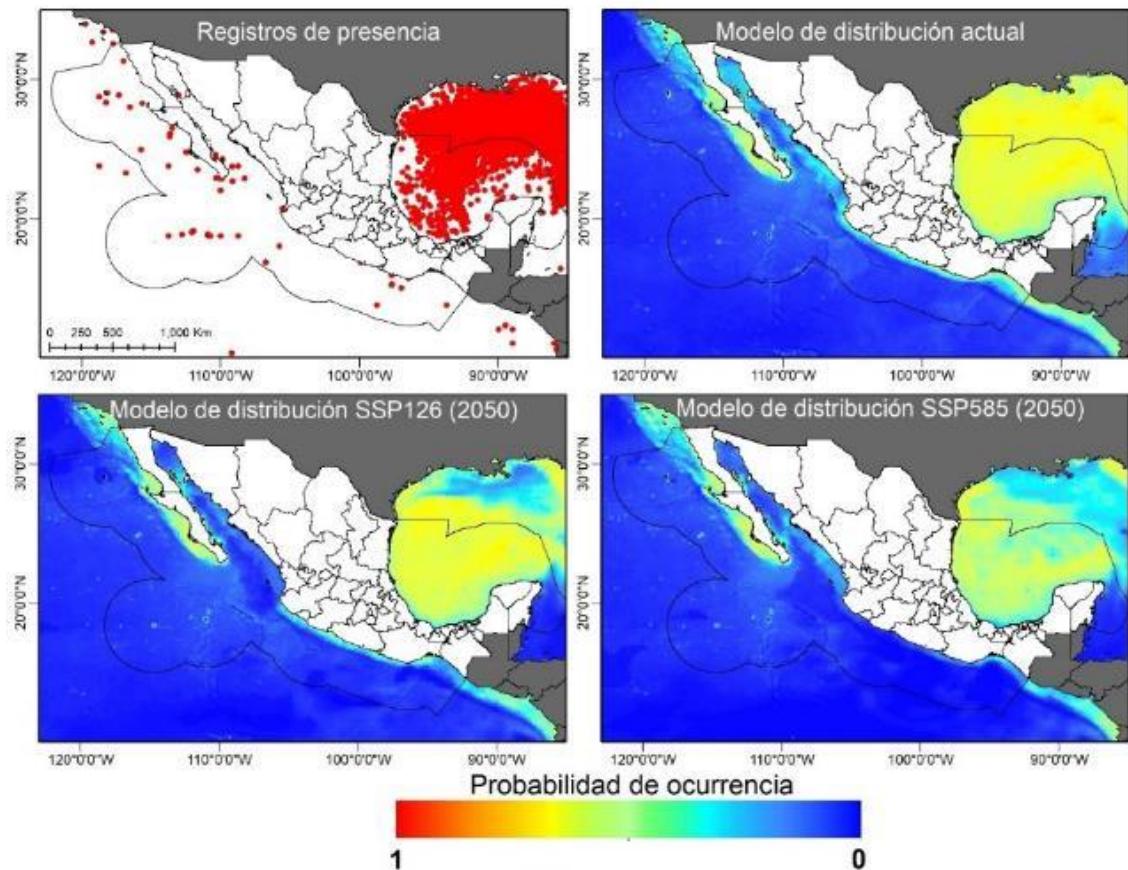
### Tiburón martillo (*Sphyrna zygaena*)



**Figura 51.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) del tiburón martillo *Sphyrna zygaena* según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

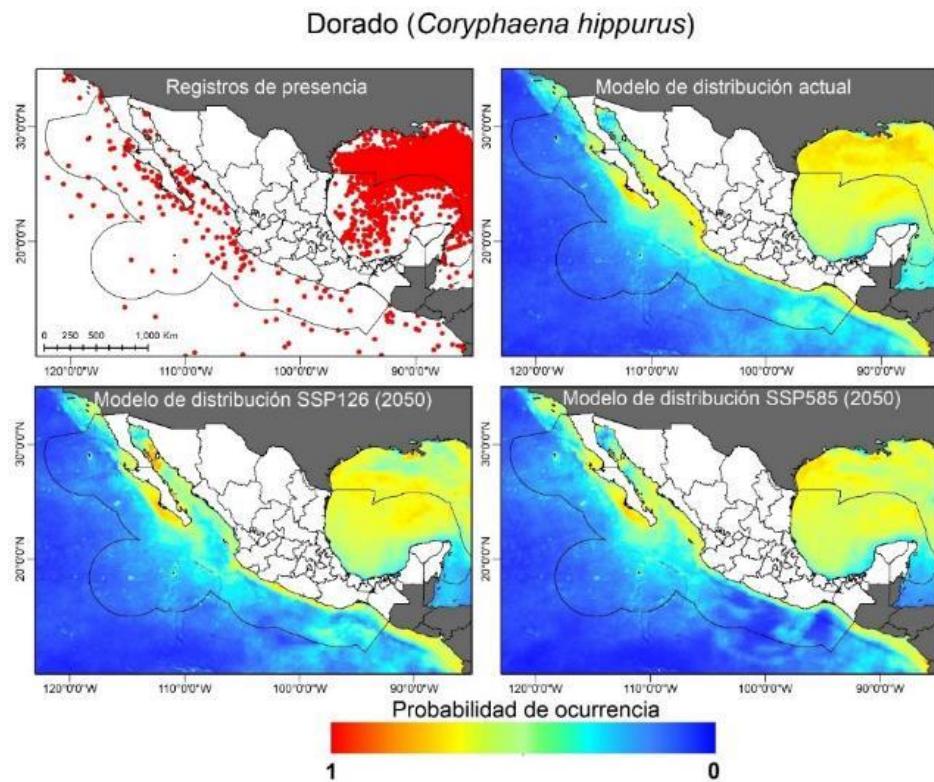
Pasando a peces óseos, en el caso del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*; Figura 52), este importante recurso marino actualmente cuenta con una distribución aproximada de 1,160,000 km<sup>2</sup>, viéndose beneficiado por las condiciones ambientales del Golfo de México y los alrededores de la Península de Baja California. De acuerdo con los escenarios de cambio climático, en promedio se tendría una disminución del 17% en su zona de ocurrencia, disminuyendo su presencia especialmente en la entrada del Golfo de California y en la zona norte de Quintana Roo, aunque la calidad del hábitat en todo el Golfo de México también se vería afectada.

### Atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*)



**Figura 52.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) de atún aleta amarilla *Thunnus albacares* según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

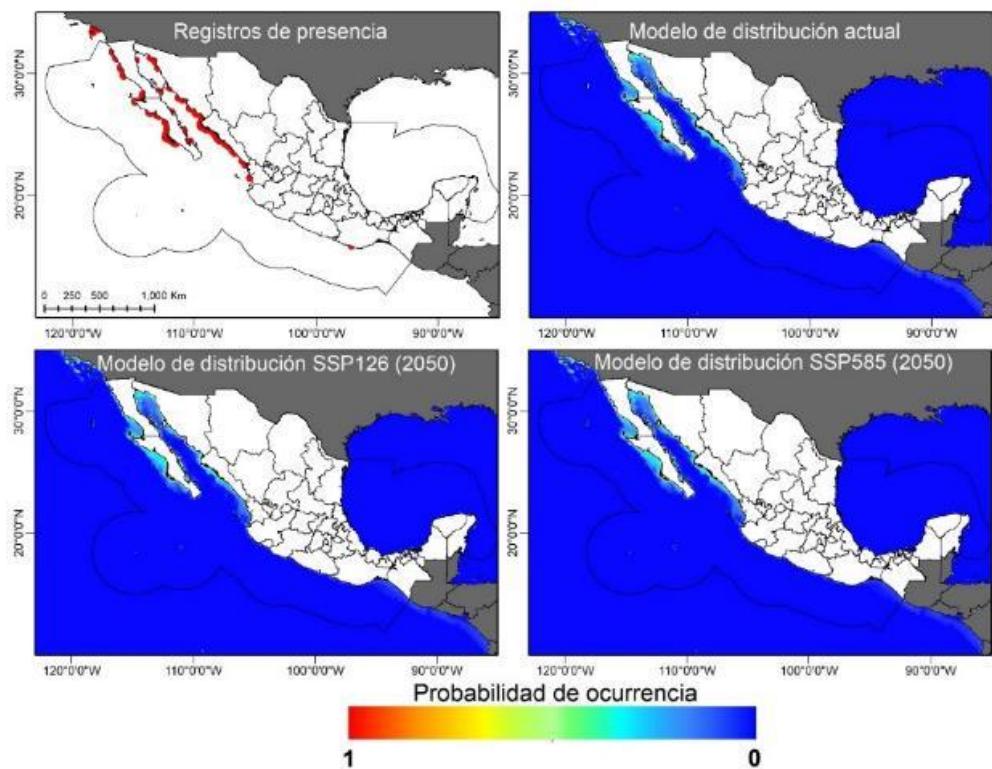
Finalmente, de acuerdo con los modelos, el dorado (*Coryphaena hippurus*; Figura 53), una especie pelágica y de importancia tanto comercial como deportiva, cuenta con una distribución actual de 2,087,000 km<sup>2</sup>. Bajo los escenarios de cambio climático, los cambios en su distribución total son menores, aumentando la calidad del hábitat ligeramente en el Golfo de California y especialmente en la costa occidental de la península de Baja California. Esto coincide con lo indicado en publicaciones previas (Salvadeo et al. 2020).



**Figura 53.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) del dorado *Coryphaena hippurus* según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

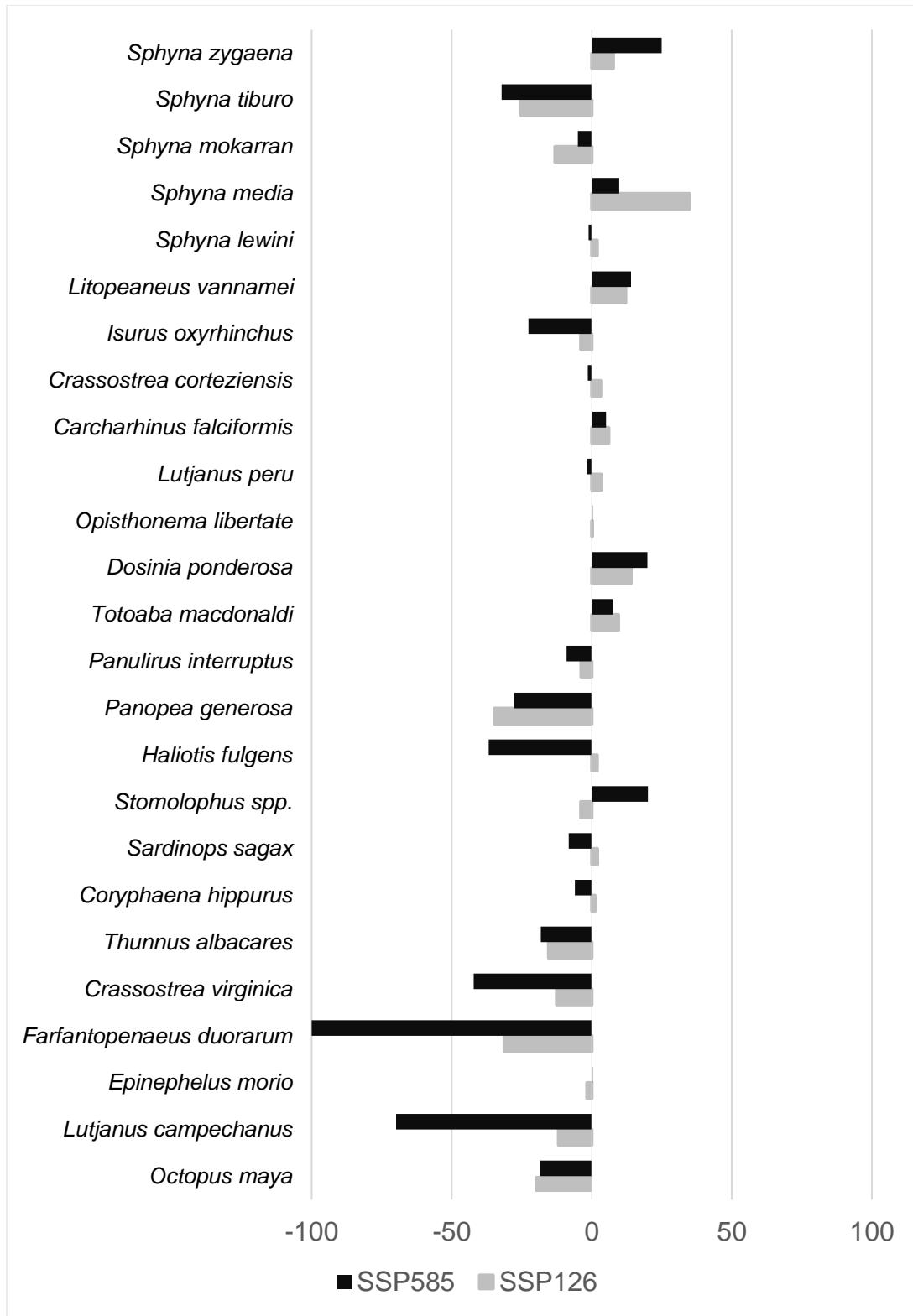
Por último, por solicitud expresa del personal de INAPESCA se llevó a cabo el análisis de distribución potencial de la especie de ostión japonés (*Crassostrea gigas*), la cual no se reside de manera natural en el país, pero se cultiva en muchas regiones y tiene gran importancia económica. En este caso se tomaron las mismas variables ambientales del presente y los futuros posibles, pero como sitios de ocurrencia se tomaron los puntos georeferenciados de localización de sus cultivos. A partir de ello, el modelo arrojó un área potencial de “distribución” de la especie, de 66,000 km<sup>2</sup>. Bajo el escenario SSP126 se espera un incremento en el 2% de su distribución, mientras que bajo el escenario SSP585 no se esperan cambios. Estos resultados deben ser interpretados de una forma relativamente distinta a los anteriores, en el sentido que el mapa delinea los sitios donde un cultivo de ostión japonés podría ser exitoso. En este entendido, los resultados indican que aparentemente en el futuro las zonas de cultivo de esta especie permanecerán donde ocurren en la actualidad (Figura 54).

### Ostión japonés (*Crassostrea gigas*)



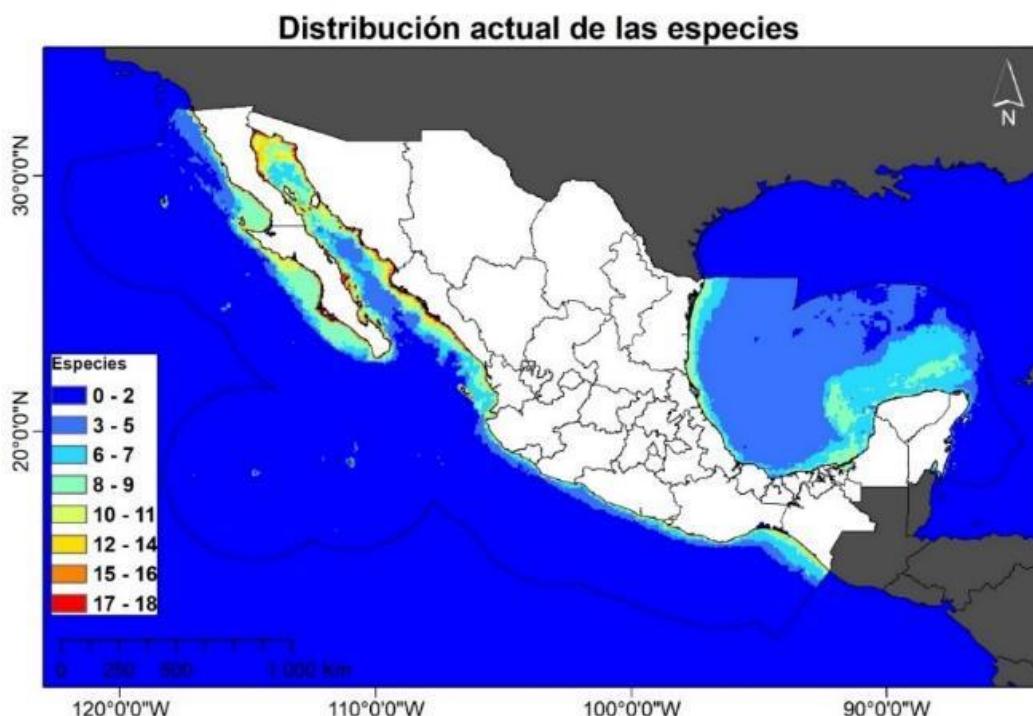
**Figura 54.** Mapas de distribución actual y potencial (año 2050) del ostión japonés *Crassostrea gigas* según los escenarios SSP126 y SSP585 de cambio climático.

En resumen, las especies que presentan la mayor pérdida de habitat por el cambio en las condiciones ambientales (Figura 55) corresponden al huachingo del golfo (*Lutjanus campechanus*), el camarón rosado (*Farfantopenaeus dourarum*), el tiburón martillo (*Sphyrna tiburo*), ostión de Virginia (*Crassostrea virginica*), almeja generosa (*Panopea generosa*) y el abulón azul (*Haliotis fulgens*). Por otra parte, la medusa bola de cañón (*Stomolophus* sp.), la almeja blanca (*Dosinia ponderosa*), y los tiburones martillo (*Sprhyna media* y *S. zygaena*) aparecen con mejores perspectivas.



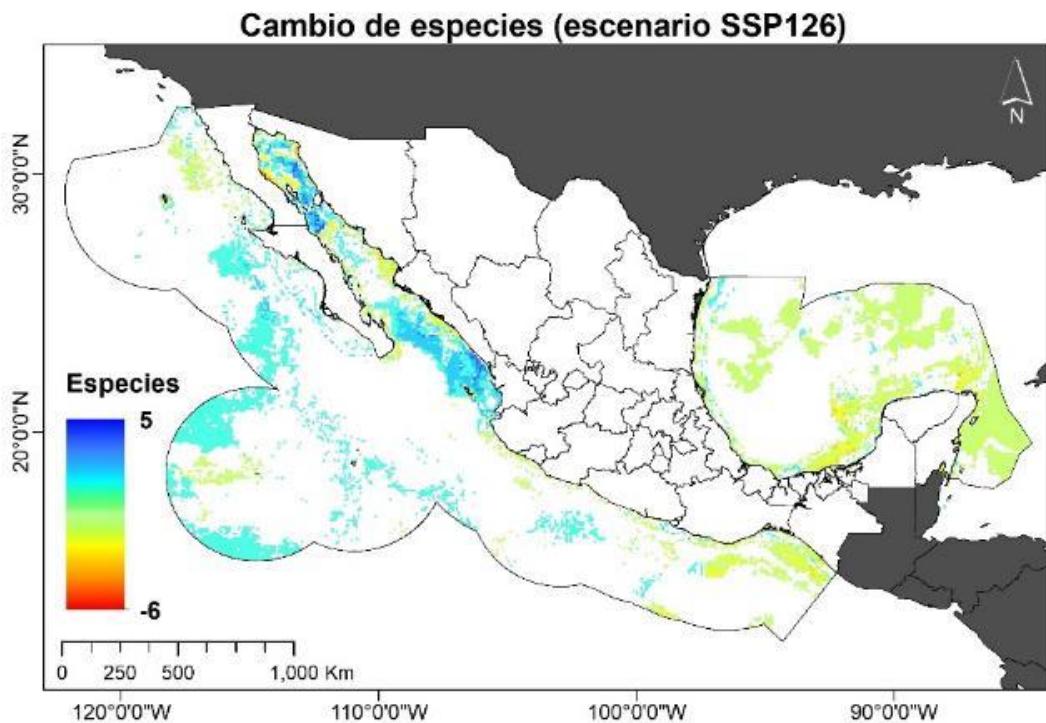
**Figura 55.** Resumen del cambio porcentual en el área de distribución de las especies.

En la Figura 56 se presenta la sumatoria de riqueza actual de especies seleccionadas para el análisis, y de acuerdo con los modelos de nicho ecológico, es evidente que tomando la totalidad de los recursos, estos se concentran en el Golfo de California y la costa occidental de la península de Baja California en el Pacífico, mientras que, en el Atlántico, la zona clave es el Banco de Campeche.



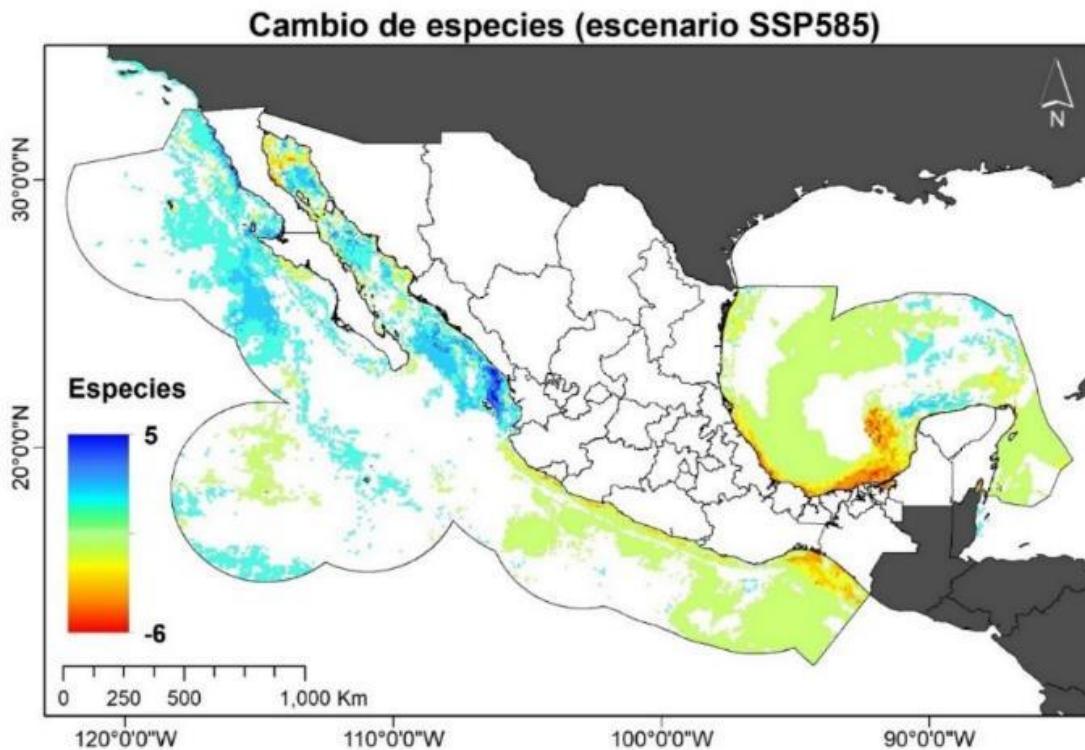
**Figura 56.** Riqueza de especies de interés pesquero analizadas, a lo largo del país.

Posteriormente, al comparar la distribución actual de las especies analizadas con la distribución esperada bajo el escenario SSP126 (Figura 57), puede verse una gran área de color verde en los golfos de México y de Tehuantepec, que indica una anomalía de riqueza cercana a cero; es decir, no se espera cambio importante en relación al número de recursos presentes en esas regiones, si logramos controlar la elevación de temperatura del planeta. Además, la costa del Pacífico, especialmente en los alrededores de las Grandes Islas, el sur de Sinaloa y el estado de Nayarit, verán un incremento en el número de recursos disponibles para su aprovechamiento.



**Figura 57.** Cambio en la presencia en los mares de México de las especies comerciales de interés para este estudio, de acuerdo con el escenario SSP126

Finalmente, al comparar la distribución actual con la distribución esperada para el año 2050 bajo el escenario SSP585 (Figura 58), se observa una zona con sensible pérdida de especies en el Golfo de México, correspondiente al sur de Veracruz, Tabasco y Campeche, donde se espera que hasta seis especies de las analizadas, dejen de estar presentes. Para el Océano Pacífico, la zona de mayor pérdida corresponde al Golfo de Tehuantepec (cambio de distribución de hasta seis especies), y en la costa oriental del estado de Baja California. Por último, se sugiere que habrá un aumento de riqueza de recursos pequeños en el noroeste de México, particularmente en Nayarit aunque en general se puede referir el Golfo de California y la costa del Pacífico de la Península de Baja California.



**Figura 58.** Cambio en la presencia en los mares de México de las especies comerciales de interés para este estudio, de acuerdo con el escenario SSP585.

## CONCLUSIONES DE ESTE TRABAJO

Objetivo A Evaluar la vulnerabilidad socioeconómica de más de 10,000 poblaciones costeras, y más de 7,000 instalaciones acuícolas de México, tomando como base dos escenarios de cambio climático (SSP 6.0 y SSP 8.5) y el horizonte futuro al año 2050.

- La susceptibilidad, exposición, y capacidad adaptativa de las comunidades costeras mostraron amplia variabilidad por entidad y región, y esta heterogeneidad de respuesta fue visible especialmente en los estados de Oaxaca, Veracruz, Campeche y Michoacán.
- En relación con la exposición Baja California y Baja California Sur en el Pacífico, y Tamaulipas, Veracruz y Quintana Roo en el Atlántico, tienen los indicadores más altos de daño actual, contrastando con Tabasco y Campeche.

- La susceptibilidad resultó ser más alta en Sonora, Baja California, Baja California Sur, Guerrero y Oaxaca, posiblemente debido a su gran dependencia socioeconómica a la pesca. Caso inverso son Jalisco, Quintana Roo y Chiapas, donde una gran parte de la población realiza otras actividades. En el Golfo de México, Veracruz y Tabasco son los estados más susceptibles, mientras que Quintana Roo, está en mejor situación.
- La capacidad de adaptación a nivel nacional no difiere mucho, pero Colima, Jalisco, Nayarit y Yucatán no tienen comunidades con niveles adaptativos bajos. Caso inverso son Veracruz, Michoacán, Guerrero, Campeche y Baja California Sur con baja capacidad de adaptación.
- Se presentan estados con alta vulnerabilidad en ambas costas, sobresaliendo Tabasco, Veracruz, Campeche, y Tamaulipas en el Golfo de México, y Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Baja California Sur y Sonora en el Pacífico.

Objetivo B. Estimar la vulnerabilidad de las facilidades acuícolas de aguas interiores y la zona costera del país al cambio climático

- La susceptibilidad al cambio climático del sector acuícola es mayor en el noroeste del país, mientras que la exposición es mayor en las zonas costeras, y la capacidad adaptativa es superior en el noroeste.
- A partir de lo anterior, se determinó que las instalaciones de acuacultura situadas en el noroeste, Pacífico sur, y la Península de Yucatán, son las más vulnerables, y podrían ser prioritarias para su atención.
- De acuerdo con las predicciones de los escenarios de cambio climático, si los impactos son relativamente menores (escenario SSP126) las entidades sin litoral (en el centro del país) se verán más afectadas por el cambio climático. Sin embargo, si la emisión de gases de invernadero se mantiene como en la actualidad (escenario SSP585), la vulnerabilidad acuícola aumentará en todo el país, pero especialmente en Yucatán, Chiapas y Veracruz.

Objetivo C Modelar los posibles cambios de distribución de 20 especies marinas de interés pesquero y acuícola clave para los mismos escenarios y horizonte.

- Las especies que pueden sufrir la mayor pérdida de habitat por el cambio en las condiciones ambientales son el huachingo del golfo (*Lutjanus campechanus*), el camarón rosado (*Farfantopenaeus dourarum*), el tiburón martillo (*Sphyrna tiburo*), ostión de Virginia (*Crassostrea virginica*), almeja generosa (*Panopea generosa*) y el abulón azul (*Haliotis fulgens*).
- En contraste, la medusa bola de cañón (*Stomolophus* sp.), la almeja blanca (*Dosinia ponderosa*), y los tiburones martillo (*Sprhyna media* y *S. zygaena*) se verán beneficiados en el sentido que su área de distribución aumentará.
- Tomando en cuenta la totalidad de las especies bajo análisis y las predicciones de cambios a partir de los escenarios, en el SSP126 el Golfo de México y el Golfo de Tehuantepec tienen mínimos cambios y no se esperan cambio importantes en relación al número de recursos presentes en esas regiones. Detallando un poco, los mayores incrementos en la cantidad de especies disponibles para su aprovechamiento se presentarían en el norte del Golfo de California, el sur de Sinaloa y el estado de Nayarit, verán un incremento en el número de recursos.
- Finalmente, bajo el escenario SSP585 puede haber pérdida de especies en el sur de Veracruz, Tabasco y Campeche, donde se espera que hasta seis especies que se pescan actualmente, pueden dejar de presentarse. Para el Océano Pacífico, el Golfo de Tehuantepec y la costa oriental del estado de Baja California se verían más impactados. En este escenario también puede haber un aumento de riqueza de recursos pequeños en Nayarit, el Golfo de California y la costa del Pacífico de la Península de Baja California.

## RECOMENDACIONES CLAVE

Los resultados de este análisis son únicos en su tipo, y pueden ser de gran relevancia para identificar oportunidades, fortalecer a los acuicultores y diseñar una estrategia que permita incrementar su resiliencia. Nos permitimos hacer una serie de recomendaciones

a la autoridad, respecto a estrategias para mejorar la capacidad de respuesta de las comunidades, y de INAPESCA, ante el cambio climático.

- Debido a la gran variación en la vulnerabilidad a nivel local, se requieren estrategias de adaptación ante el cambio climático de manera diferenciada por entidades, y dentro de cada una, la atención debe ponderarse entre los diversos municipios y localidades.
- Se recomienda que estudios posteriores conduzcan el análisis de vulnerabilidad de manera más detallada, separando comunidades que llevan a cabo actividades pesqueras y acuícolas, de otras que dependen de distintas actividades económicas.
- Para atender la exposición futura, se recomienda que las autoridades establezcan una red centralizada de monitoreo oceanográfico costero, que permita cuantificar de forma espacio-temporal (e idealmente en tiempo real) las anomalías de temperatura, oxígeno y demás variables ambientales. Esta red debe basarse en la participación de las comunidades y organizaciones pesqueras, y ser apoyada por la academia y el gobierno federal y los estatales.
- Es esencial que con base con información como la presentada en este estudio, se constituya un Atlas Nacional de Riesgo ante el Cambio Climático para el sector pesquero de México.
- De manera similar, es relevante comenzar a analizar la relación entre el cambio en las capturas de las especies de interés, y las condiciones oceánicas, para poder responder adecuadamente. Si es posible, tan información y enfoque puede ser incluido en las fichas de la Carta Nacional Pesquera.
- Desde la óptica acuícola debe ser prioritario atender la vulnerabilidad actual de la región noroeste del país, considerando su relevancia económica y contribución a la producción nacional.
- Finalmente, se sugiere que estos resultados, una vez discutidos y validados, sean difundidos a todos los miembros del sector pesquero en diversos medios, para concientizarlos de la situación e impulsarlos a comenzar a montar medidas adaptativas locales.

## PRODUCTOS E INFORMACIÓN DISPONIBLES

Objetivo A. Evaluar la vulnerabilidad socioeconómica de más de 10,000 poblaciones costeras, tomando como base dos escenarios de cambio climático (SSP 6.0 y SSP 8.5) y el horizonte futuro al año 2050.

- Tabla de datos (formato CSV y formato geográfico SHP) con la posición geográfica central de las localidades.
- Tabla de datos (formato CSV) de los indicadores socioeconómicos base utilizados para el cálculo de los tres ejes de la vulnerabilidad (descritos en el Anexo 1).
- Tabla de datos (formato CSV) con los valores estimados de exposición, susceptibilidad, capacidad de adaptación y vulnerabilidad para cada localidad, y de ambos escenarios futuros (SSP 126 y SSP 585).
- Mapas a escala regional, mostrando los valores de vulnerabilidad por localidad (en imagen PNG y formato SHP y raster).

Objetivo B. Estimar la vulnerabilidad de las facilidades acuícolas de aguas interiores y la zona costera del país al cambio climático.

- Tabla de datos (formato CSV) con la posición geográfica central de las instalaciones acuícolas y los indicadores socioeconómicos base utilizados para el cálculo de vulnerabilidad (ver Anexo 1).
- Tabla de datos (formato CSV) con los valores de exposición, susceptibilidad y vulnerabilidad para cada instalación.
- Mapas a escala regional, en imagen (JPG) y como archivos para uso en sistemas de información geográfica (formatos SHP y raster), presentando los resultados de manera descriptiva.

Objetivo C. Modelar los posibles cambios de distribución de 20 especies marinas de interés pesquero y acuícola clave (ver Anexo 2), para los mismos escenarios y horizonte.

- Mapas de distribución actual y futura de las especies seleccionadas, en imagen (JPG) y como archivos para uso en sistemas de información geográfica (formato SHP y raster).

## REFERENCIAS

- Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions*, 16(3), 268–281.
- Alcocer-Durand, Vilaclara Fatjo, G., Escolero Fuentes, O.A., Falcon, L., Valdespino, P y Mazari Hiriart, P. (2015). Cap- 2. Aguas continentales. En: Gay y García, C. y Rueda Abad (coord.). Reporte Mexicano de Cambio Climático. *GRUPO II Impactos, vulnerabilidad y adaptación*. Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN Obra Completa: 978-607-02-7369-8. Pp: 41-56.
- Arafeh-Dalmau, N., Schoeman, D. S., Montaño-Moctezuma, G., Micheli, F., Rogers-Bennett, L., Olguin-Jacobson, C., & Possingham, H. P. (2020). Marine heat waves threaten kelp forests. *Science*, 367(6478), 635.1-635. <https://doi.org/10.1126/science.aba5244>
- Aranceta-Garza, F. et al., Cambio climático y efecto en el desarrollo de la acuacultura. En: Vázquez-Vera, L. y Chávez-Carreño, P. (eds.) (2021). Diagnóstico de la acuacultura en México. ISBN: en proceso. *Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, AC. México*.
- Armor, D. J. (1973). Theta reliability and factor scaling. *Sociological Methodology*, 5, 17–50.
- Badjeck, M.-C., Allison, E. H., Halls, A. S., & Dulvy, N. K. (2010). Impacts of climate variability and change on fishery-based livelihoods. *Marine Policy*, 34(3), 375–383.
- Beas-Luna, R., Micheli, F., Woodson, C. B., Carr, M., Malone, D., Torre, J., Boch, C., Caselle, J. E., Edwards, M., Freiwald, J., Hamilton, S. L., Hernandez, A., Konar, B., Kroeker, K. J., Lorda, J., Montaño-Moctezuma, G., & Torres-Moye, G. (2020). Geographic variation in responses of kelp forest communities of the California Current to recent climatic changes. *Global Change Biology*, 26(11), 6457-6473. <https://doi.org/10.1111/gcb.15273>
- Boyd, C. E., D'Abramo, L. R., Glencross, B. D., Huyben, D. C., Juarez, L. M., Lockwood, G. S., McNevin, A. A., Tacon, A. G. J., Teletchea, F., Tomasso, J. R., Tucker, C. S., & Valenti, W. C. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3), 578-633. <https://doi.org/10.1111/jwas.12714>
- Chuenpagdee, R., Liguori, L., Palomares, M. L. D., & Pauly, D. (2006). *Bottom-up, global estimates of small-scale marine fisheries catches*. Fisheries Centre. University of British Columbia. <https://doi.org/10.14288/1.0074761>
- Cinner, J. E., Huchery, C., Darling, E. S., Humphries, A. T., Graham, N. A. J., Hicks, C. C., Marshall, N., & McClanahan, T. R. (2013). Evaluating social and ecological vulnerability of coral reef fisheries to climate change. *PloS One*, 8(9), e74321.
- Cinner, J. E., McClanahan, T. R., Graham, N. A. J., Daw, T. M., Maina, J., Stead, S. M., Wamukota, A., Brown, K., & Bodin, Ö. (2012). Vulnerability of coastal communities to key impacts of climate change on coral reef fisheries. *Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions*, 22(1), 12–20.
- CONAPESCA (2017). Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2017. México, SAGARPA. <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuacultura-y-pesca>.
- CONAPO (2018). Proyecciones de la población de México y de las entidades federativas 2016-2050. CONAPO. <https://www.gob.mx/conapo>.
- Cota-Durán, A., Petatán-Ramírez, D., Ojeda-Ruiz, M. Á., & Marín-Monroy, E. A. (2021). Potential Impacts of Climate Change on Shrimps Distribution of Commercial Importance in the Gulf of California. *Applied*

*Sciences*, 11(12), 5506.

Cota-Durán, A., Petatán-Ramírez, D., Ojeda-Ruiz, M. A., & Marín-Monroy, E. (2021). Potential impacts of climate change on shrimps distribution of commercial importance in the gulf of California. *Applied Sciences*. 2021; 11(12):5506. <https://doi.org/10.3390/APP11125506>

Crain, C. M., Halpern, B. S., Beck, M. W., & Kappel, C. V. (2009). Understanding and managing human threats to the coastal marine environment. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1162, 39–62.

D.O.F. (2020). Programa Nacional de Pesca y Acuacultura 2020-2024. Publicado el 30 diciembre de 2020.

Escoto Castillo, A., Sánchez Peña, L., & Gachuz Delgado, S. (2017). Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP): nuevas maneras de comprender el cambio climático y social. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 32(3), 669–693.

Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., & Taylor, K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, 9(5), 1937–1958.

FAO (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>.

FAO (2021). Marco estratégico para 2022-2031. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Roma, Italia.

Flores-Higuera, F. A., Reyes-Bonilla, H., Luis-Villaseñor, I. E., Mazón-Suástequi, J. M., Estrada-Godínez, J. A., Hernandez-Cortés, P., & Audelo-Naranjo, J. M. (2020). Effect of seawater acidity on the initial development of kumamoto oyster larvae crassostrea sikamea (Amemiya, 1928). *Journal of Shellfish Research*, 39(1), 21-30. <https://doi.org/10.2983/035.039.0103>

Garcia, H. E., Weathers, K. W., Paver, C. R., & Smolyar, I. (2019). *World Ocean Atlas 2018, Volume 3: Dissolved Oxygen, Apparent Oxygen Utilization, and Dissolved Oxygen Saturation*. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00651/76337/>

Grose, M. R., Narsey, S., Delage, F. P., Dowdy, A. J., Bador, M., Boschat, G., Chung, C., Kajtar, J. B., Rauniyar, S., Freund, M. B., Lyu, K., Rashid, H., Zhang, X., Wales, S., Trenham, C., Holbrook, N. J., Cowan, T., Alexander, L., Arblaster, J. M., & Power, S. (2020). Insights From CMIP6 for Australia's Future Climate. *Earth's Future*, 8(5).

Gurvan, M., Bourdallé-Badie, R., Bouttier, P.-A., Bricaud, C., Bruciaferri, D., Calvert, D., Chanut, J., Clementi, E., Coward, A., Delrosso, D., Ethé, C., Flavoni, S., Graham, T., Harle, J., Iovino, D., Lea, D., Lévy, C., Lovato, T., Martin, N., ... Vancoppenolle, M. (2016). *NEMO ocean engine*. Note du Pole de modélisation de l'Institut Pierre-Simon Laplace. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1472492>

Halpern, B. S., Kappel, C. V., Selkoe, K. A., Micheli, F., Ebert, C. M., Kontgis, C., Crain, C. M., Martone, R. G., Shearer, C., & Teck, S. J. (2009). Mapping cumulative human impacts to California Current marine ecosystems. *Conservation Letters*, 2(3), 138–148.

Harley, C., & Rogers-Bennett, L. (2004). *The potential synergistic effects of climate change and fishing pressure on exploited invertebrates on rocky intertidal shores*. <https://www.semanticscholar.org/paper/d3998ad90efa537825cb97733a55b4963abcd5ad>

- Hayhoe, K., Edmonds, J., Kopp, R. E., LeGrande, A. N., Sanderson, B. M., Wehner, M. F., & Wuebbles, J. (2017). Climate models, scenarios, and projections. *Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, I*, 133–160.
- Haynie, A. C., & Pfeiffer, L. (2012). Why economics matters for understanding the effects of climate change on fisheries. *ICES Journal of Marine Science: Journal Du Conseil*, 69(7), 1160–1167.
- Himes-Cornell, A., & Kasperski, S. (2015). Assessing climate change vulnerability in Alaska's fishing communities. *Fisheries Research*, 162, 1–11.
- Ibarrarán, M. E., Malone, E. L., & Brenkert, A. L. (2010). Climate change vulnerability and resilience: current status and trends for Mexico. *Environment, Development and Sustainability*, 12(3), 365–388.
- INECC. (2019). *Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático*. México. <sup>a</sup>. Edición (libro electrónico). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. México. [https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC\\_LibroDigital.pdf](https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC_LibroDigital.pdf)
- Iwasaki, S., Razafindrabe, B. H. N., & Shaw, R. (2009). Fishery livelihoods and adaptation to climate change: a case study of Chilika lagoon, India. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 14(4), 339–355.
- Jacob, S., Weeks, P., Blount, B., & Jepson, M. (2013). Development and evaluation of social indicators of vulnerability and resiliency for fishing communities in the Gulf of Mexico. *Marine Policy*, 37, 86–95.
- Jungclaus, J. H., Fischer, N., Haak, H., Lohmann, K., Marotzke, J., Matei, D., Mikolajewicz, U., Notz, D., & von Storch, J. S. (2013). Characteristics of the ocean simulations in the Max Planck Institute Ocean Model (MPIOM) the ocean component of the MPI-Earth system model. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5(2), 422–446.
- Kaplan, I. C., Gray, I. A., & Levin, P. S. (2013). Cumulative impacts of fisheries in the California Current. *Fish and Fisheries*, 14(4), 515–527.
- Leroy, B., Meynard, C.N., Bellard, C., Courchamp, F., 2016. virtualspecies, an R package to generate virtual species distributions. *Ecography* 39 (6), 599–607
- Liñan-Cabello, M. A., Quintanilla-Montoya, A. L., Sepúlveda-Quiroz, C., & Cervantes-Rosas, O. D. (2016). Anthropogenic Susceptibility to environmental variability of the aquaculture sector in the State of Colima, Mexico: Case study. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44(3), 649–656. <https://doi.org/10.3856/vol44-issue3-fulltext-24>
- Mac Gregor-Gaona, M. F., Anglés-Hernández, M., Guibrunet, L., & Zambrano-González, L. (2021). Assessing climate change risk: An index proposal for Mexico City. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 65, 102549.
- 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.
- McIlgorm, A., Hanna, S., Knapp, G., Le Floc'H, P., Millerd, F., & Pan, M. (2010). How will climate change alter fishery governance? Insights from seven international case studies. *Marine Policy*, 34(1), 170–177.

- Micheli, F., Saenz-Arroyo, A., Greenley, A., Vazquez, L., Montes, J. A. E., Rossetto, M., & Leo, G. A. D. (2012). Evidence that marine reserves enhance resilience to climatic impacts. *PLoS ONE*, 7(7), e40832. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040832>
- Morton, J. F. (2007). The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(50), 19680–19685.
- Morzaria-Luna, H. N., Turk-Boyer, P., & Moreno-Baez, M. (2014). Social indicators of vulnerability for fishing communities in the Northern Gulf of California, Mexico: Implications for climate change. *Marine Policy*, 45, 182–193.
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K. L., Hallegatte, S., Carter, T. R., Mathur, R., & van Vuuren, D. P. (2014). A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, 122(3), 387–400.
- O'Neill, B. C., Tebaldi, C., van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J.-F., Lowe, J., Meehl, G. A., Moss, R., Riahi, K., & Sanderson, B. M. (2016). The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(9), 3461–3482.
- Perry, R. I., Ommer, R. E., Barange, M., & Werner, F. (2010). The challenge of adapting marine social-ecological systems to the additional stress of climate change. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2(5), 356–363.
- Petatán Ramírez y Marina Abas (2021). Revisión y evaluación detallada sobre los orígenes, tendencias y perturbaciones potenciales originadas por el cambio climático que tengan impactos directos sobre la actividad acuícola y pesquera de México. ICPMX-EDF. It1-1c\_revisión\_evaluación\_sobre\_origenesfebrero\_2021.pdf (icpmx.org).
- Petatán-Ramírez, D., Ojeda-Ruiz, M. Á., Sánchez-Velasco, L., Rivas, D., Reyes-Bonilla, H., Cruz-Piñón, G., ... & Salvadeo, C. (2019). Potential changes in the distribution of suitable habitat for Pacific sardine (*Sardinops sagax*) under climate change scenarios. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 169, 104632.
- Peterson, A. T., Navarro-Sigüenza, A. G., Martínez-Meyer, E., Cuervo-Robayo, A. P., Berlanga, H., and Soberón, J. (2015). Twentieth century turnover of Mexican endemic avifaunas: Landscape change versus climate drivers. *Society advances*, 1, 1-5.
- Phillips, S. J. (2005). A brief tutorial on Maxent. *AT&T Research*, 190(4), 231-259.
- R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.
- Raîche, G., Walls, T. A., Magis, D., Riopel, M., & Blais, J.-G. (2013). Non-graphical solutions for Cattell's scree test. *Methodology: European Journal of Research Methods for the Behavioral & Social Sciences*, 9(1), 23–29.
- Ramírez Villegas, J., & Jarvis, A. (2010). Downscaling global circulation model outputs: the delta method decision and policy analysis Working Paper No. 1.
- Ramírez-Rodríguez, M., López-Ferreira, C., & Herrera, A. H. (2004). *Atlas de localidades pesqueras en México. Cartografía de semidetalle de costas e islas de México para la localización de sitios de captura y desembarque de la flota menor (pesquerías artesanales)*. CICIMAR-IPN-CONAPESCA.

Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J. C., Kc, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., ... Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions*, 42, 153–168.

SAGARPA-IICA (2019). El sector pesquero en México descrito a partir de la Encuesta Nacional de Pesca y Acuacultura 2016. México. Recuperado el 18 de mayo de 2021, de [https://www.academia.edu/38373761/IICA\\_EL\\_Sector\\_Pesquero\\_en\\_México\\_Feb\\_14\\_2019\\_pdf](https://www.academia.edu/38373761/IICA_EL_Sector_Pesquero_en_México_Feb_14_2019_pdf).

Salvadeo, C., Auliz-Ortiz, D. M., Petatán-Ramírez, D., Reyes-Bonilla, H., Ivanova-Bonchera, A., & Juárez-León, E. (2020). Potential poleward distribution shift of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) along the southern California Current System. *Environmental Biology of Fishes*, 103(8), 973-984.

Trejo-Igueravide, R., & Trejo-Igueravide, R. (2017). Evaluación de los cultivos acuícolas en Tamaulipas, México. *CienciaUAT*, 12(1), 114-133.

Vázquez-Vera, L. y Chávez-Carreño, P. (eds.) (2021). Diagnóstico de la acuacultura en México. ISBN: en proceso. *Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza*, AC. México.

Volodire, A., Saint-Martin, D., Sénési, S., Decharme, B., Alias, A., Chevallier, M., Colin, J., Guérémy, J. -F., Michou, M., Moine, M. -P., Nabat, P., Roehrig, R., Salas y Mélia, D., Séférian, R., Valcke, S., Beau, I., Belamari, S., Berthet, S., Cassou, C., ... Waldman, R. (2019). Evaluation of CMIP6 DECK Experiments With CNRM-CM6-1. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 11(7), 2177–2213.

Woodson, C. B., Micheli, F., Boch, C., Al-Najjar, M., Espinoza, A., Hernández, A., Vázquez-Vera, L., Sáenz-Arroyo, A., Monismith, S., & Torre, J. (2019). Harnessing marine microclimates for climate change adaptation and marine conservation. *Conservation Letters*. 2019; 12:e12609 <https://doi.org/10.1111/CONL.12609>

## ANEXO I.

Indicadores definidos en conjunto con investigadores de INAPESCA para la evaluación de los componentes de la vulnerabilidad pesquera y acuícola. (\*) Indica indicadores basados en proyecciones futuras.

Componente	Categoría	Indicador	Fecha	Fuente	Escala
Susceptibilidad	Nivel de dependencia	Número relativo de unidades económicas acuícolas al total de unidades económicas		Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas DENU	
		Número de unidades económicas acuícolas per capita	2021	( <a href="https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx">https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx</a> )	Localidad
		Número relativo de unidades económicas pesqueras al total de unidades económicas			
		Número de unidades económicas pesqueras per capita			
		Número de permisos de pesca per cápita	2017	Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca CONAPESCA ( <a href="https://datos.gob.mx/buscar/dataset/permisos-y-concesiones-de-pesca-comercial-para-embarcaciones-mayores-y-menores">https://datos.gob.mx/buscar/dataset/permisos-y-concesiones-de-pesca-comercial-para-embarcaciones-mayores-y-menores</a> )	Municipal
		Número de permisos acuícolas per cápita	2020	CONAPESCA ( <a href="https://datos.gob.mx/buscar/dataset/titulos-acuicolas-otorgados-por-la-conapesca">https://datos.gob.mx/buscar/dataset/titulos-acuicolas-otorgados-por-la-conapesca</a> )	Municipal

Número de unidades acuícolas en un radio de 10 km	2018	INAPESCA	Localidad
Superficie de cultivo en un radio de 10 km			
Producción acuícola y pesquera Golfo de Mexico	2016		
Producción acuícola y pesquera Océano Pacífico y Golfo de California	2018	CONAPESCA	Localidad
Exposición	Características ambientales		
	Temperatura superficial del mar (SST)	2003-2014	MODIS-Aqua ( <a href="https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/data/aqua/">https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/data/aqua/</a> )
	Productividad primaria	2003-2020	Oregon State University Localidad <a href="http://sites.science.oregonstate.edu/ocean/productivity/custom.php">http://sites.science.oregonstate.edu/ocean/productivity/custom.php</a>
	Oxígeno disuelto	Historica	World Ocean Atlas 2018 ( <a href="#">Garcia et al. 2019</a> )
	Índice de impacto antropogénico		
	Índice de impacto humano en la biodiversidad terrestre		CONABIO ( <a href="http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/">http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/</a> )
	Temperatura promedio anual		
	Intervalo diurno promedio (media del promedio mensual(temperatura máxima - temperatura mínima))	1970-2000	WorldClim ( <a href="https://www.worldclim.org">https://www.worldclim.org</a> )
	Precipitación promedio anual		

		Grado de peligro por presencia de ciclones tropicales	Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED
		Presencia de marea roja tóxica	( <a href="http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/">http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/</a> ) Localidad
		Grado de riesgo por inundaciones	
Capacidad adaptativa	Composición de la población hogar	2020	Censo Nacional de Población y Vivienda. INEGI ( <a href="https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Herramientas">https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Herramientas</a> ) Localidad
	Población ocupada		
	Educación post-secundaria		
	Grado promedio de escolaridad		
	Proporción de población menor de 15 años		
Pobreza	Población sin escolaridad	2020	Censo Nacional de Población y Vivienda. INEGI ( <a href="https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Herramientas">https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Herramientas</a> ) Localidad
	Población con servicios de salud subsidiados, o sin servicios de salud		
	Hogares sin bienes		
	Población desocupada		
	Indice de rezago social	2010	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social CONEVAL. ( <a href="https://datos.gob.mx/">https://datos.gob.mx/</a> ) Municipio
	Población con carencias en acceso a alimentación		
Características	Hogares con >3 de los hogares recámaras	2020	
	Hogares con piso de tierra		Censo Nacional de Población y Vivienda. INEGI Localidad

	Hogares con todos los servicios		<a href="https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Herramientas"><u>(https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Herramientas)</u></a>
	Hogares que disponen de energía eléctrica	2020	Comisión Federal de Electricidad CFE ( <a href="https://datos.gob.mx/banca/organization/cfe">https://datos.gob.mx/banca/organization/cfe</a> )
	Hogares con acceso a tecnologías de la información		
	Hogares con drenaje		
Infraestructura	Longitud de caminos	2020	
	Distancia a la vía más cercana		Instituto Mexicano del Transporte- IMT ( <a href="https://datos.gob.mx/buscada/dataset/red-nacional-de-caminos-representacion-cartografica-en-formato-digital-y-georreferenciada">https://datos.gob.mx/buscada/dataset/red-nacional-de-caminos-representacion-cartografica-en-formato-digital-y-georreferenciada</a> )
	Grado de acceso a caminos pavimentados	2010	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) Localidad
	Disponibilidad de agua	2008	CONAGUA ( <a href="http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?wms=1">http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?wms=1</a> ) Localidad
	Viviendas con agua entubada	2020	
Estructura del empleo	Población económicamente activa	2020	Localidad
	Población empleada		Censo Nacional de Población y Vivienda. INEGI
	Población que recibe 2x salario mínimo		<a href="https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Herramientas"><u>(https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Herramientas)</u></a>
	Población con servicios de salud		
	Diversificación económica		DENUE ( <a href="https://www.inegi.org.mx/">https://www.inegi.org.mx/</a> ) Localidad

			app/mapa/denue/default.aspx)
	Indice de complejidad económica	2020	Secretaría de economía ( <a href="https://datamexico.org/es_Municipio/eci/explore">https://datamexico.org/es_Municipio/eci/explore</a> )
Población indígena	Población indígena Migración de la población indígena por municipio Alfabetismo indígena por municipio	2020	INEGI ( <a href="https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Herramientas">https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Herramientas</a> ) Municipio Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. CONABIO ( <a href="http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/">http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/</a> )
	Población indígena desocupada		
Disrupción personal	Cambio en la población económicamente activa (2010-2020) Población que reside en otro estado Cambio en la población soltera Cambio en la población sin religión Cambio en los hogares femeninos	2010-2020 2020	INEGI Localidad ( <a href="https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Herramientas">https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Herramientas</a> ) INEGI Localidad ( <a href="https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Herramientas">https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Herramientas</a> )

## ANEXO II.

### Paquetes del sistema de cómputo R utilizados en el análisis de datos y visualización de resultados

Paquetes	aplicación	Referencia
data.table	Gestión de datos	Dowle et al. 2021
devtools	Instalación del paquete	Wickham et al. 2021
exactextractr	Extracción de datos ráster	Baston (2021)
geobuffer	Manipulación de datos espaciales	Stefan (2021)
gridExtra	Visualización de resultados	Auguie (2017)
here	Gestión de archivos	Müller (2020)
Hmisc	Manipulación de caracteres	Harrell (2021)
nFactors	Análisis de los datos	Raiche & Magis (2020)
paletteer	Visualización de resultados	Hvitfeldt (2021)
patchwork	Visualización de resultados	Pedersen (2020)
plotrix	Visualización de resultados	Lemon (2006)
pysch	Análisis de los datos	Revelle (2021)
raster	Manipular rásteres	Hijmans (2021)
readr	Leer archivos de datos	Wickham and Hester (2020)
readxl	Leer archivos de Excel	Wickham and Bryan (2019)
Redmonder	Paletas de colores	Innecco & Neuwirth (2017)
Rfast	Manipulación de datos	Papadakis et al. 2021
rgdal	Análisis de datos geoespaciales	Bivan et al. (2021)
rnatural-earth	Capas de fondo del mapa	South (2017)
sf	Gestión de datos espaciales	Pebesma (2018)
stars	Creación de rasters	

stringr	Manipulación de caracteres	Wickham (2019)
stringi	Manipulación de caracteres	Gagolewski (2021)
terrainr	Visualización ráster	Mahoney (2021)
tidygeocoder	Georeferenciación de datos	Cambon et al. 2021
tidyverse	Análisis y gestión de datos	Wickham et al. (2019)
tmap	Creación de mapas	Tennekes (2018)

### Referencias de la paquetería.

- Augie, B. (2017). gridExtra: Miscellaneous Functions for "Grid"  
 Graphics. R package version 2.3. <https://CRAN.R-project.org/package=gridExtra>
- Baston, D. (2021). exactextractr: Fast Extraction from Raster Datasets using Polygons. R package version 0.6.1. <https://CRAN.R-project.org/package=exactextractr>
- Bivand, R., T. Keitt and B. Rowlingson (2021). rgdal: Bindings for the 'Geospatial' Data Abstraction Library. R package version 1.5-23. <https://CRAN.R-project.org/package=rgdal>
- Cambon, J., D. Hernangómez, C. Belanger, and D. Possenriede (2021). tidygeocoder: Geocoding Made Easy. R package version 1.0.3. DOI: 10.5281/zenodo.4686074. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=tidygeocoder>.
- Dowle M. and A. Srinivasan (2021). data.table: Extension of `data.frame`. R package version 1.14.0. <https://CRAN.R-project.org/package=data.table>
- Gagolewski M (2021). \_stringi: Fast and portable character string processing in R\_. R package version 1.6.2, <https://stringi.gagolewski.com/>.
- Harrell, F.E. Jr (2021). Hmisc: Harrell Miscellaneous. R package version 4.6-0. <https://CRAN.R-project.org/package=Hmisc>
- Hijmans, R.J. (2021). raster: Geographic Data Analysis and Modeling. R package version 3.4-13. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>
- Hvitfeldt E. (2021). paletteer: Comprehensive Collection of Color Palettes. version 1.3.0. <https://github.com/EmilHvitfeldt/paletteer>
- Innecco, PMD and E. Neuwirth (2017). Redmonder: Microsoft(r)-Inspired Color Palettes. R package version 0.2.0. <https://CRAN.R-project.org/package=Redmonder>
- Mahoney, M (2021). terrainr: Landscape Visualizations in R and Unity. doi: 10.5281/zenodo.5142763 <https://doi.org/10.5281/zenodo.5142763>, R package version 0.5.0, <https://CRAN.R-project.org/package=terrainr>.
- Müller, K. (2020). here: A Simpler Way to Find Your Files. R package version 1.0.1. <https://CRAN.R-project.org/package=here>
- Papadakis, M., M. Tsagris, M. Dimitriadis, S. Fafalios, I. Tsamardinos, M. Fasiolo, G. Borboudakis, J. Burkhardt, C. Zou, K. Lakiotaki and C. Chatzipantsiou. (2021). Rfast: A Collection of Efficient and Extremely Fast R Functions. R package version 2.0.3. <https://CRAN.R-project.org/package=Rfast>
- Pebesma, E., 2018. Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data. The R Journal

10 (1), 439-446, <https://doi.org/10.32614/RJ-2018-009>

Pedersen, T.L. (2020). patchwork: The Composer of Plots. R package version 1.1.1. <https://CRAN.R-project.org/package=patchwork>

Raiche G. and D. Magis (2020). nFactors: Parallel Analysis and Other Non Graphical Solutions to the Cattell Scree Test. R package version 2.4.1. <https://CRAN.R-project.org/package=nFactors>

Revelle, W. (2021) psych: Procedures for Personality and Psychological Research, Northwestern University, Evanston, Illinois, USA, <https://CRAN.R-project.org/package=psych> Version = 2.1.6.

South, A. (2017). rnaturalearth: World Map Data from Natural Earth. R package version 0.1.0. <https://CRAN.R-project.org/package=rnaturalearth>

Stefan, V. (2021). geobuffer: Geodesic buffer around points (long, lat) using metric radius. R package version 0.0.0.9000. <https://github.com/valentinitnelav/geobuffer>

Tennekes, M. (2018). tmap: Thematic Maps in R. Journal of Statistical Software, 84(6), 1-39. doi: 10.18637/jss.v084.i06 <https://doi.org/10.18637/jss.v084.i06>.

Wickham, H. (2019). stringr: Simple, Consistent Wrappers for Common String Operations. R package version 1.4.0. <https://CRAN.R-project.org/package=stringr>

Wickham H. and J. Bryan (2019). readxl: Read Excel Files. R package version 1.3.1. <https://CRAN.R-project.org/package=readxl>

Wickham et al., (2019). Welcome to the tidyverse. Journal of Open Source Software, 4(43), 1686, <https://doi.org/10.21105/joss.01686>

Wickham H., and J. Hester (2020). readr: Read Rectangular Text Data. R package version 1.4.0. <https://CRAN.R-project.org/package=readr>

Wickham, H., J. Hester and W. Chang (2021). devtools: Tools to Make Developing R Packages Easier. R package version 2.4.2. <https://CRAN.R-project.org/package=devtools>

## ANEXO III.

Lista de especies de interés pesquero y acuícola seleccionados por Región de Pesca y Acuacultura.



Región	Nombre científico	Interés
IV	<i>Octopus maya</i>	PNA
IV	<i>Lutjanus campechanus</i>	P
IV	<i>Epinephelus morio</i>	P
IV	<i>Farfantepenaeus duorarum</i>	P
III y IV	<i>Crassostrea virginica</i>	PNA
IV y III	<i>Thunnus albacares</i>	P
I	<i>Sardinops sagax</i>	P
I	<i>Stomolophus spp.</i>	P
I	<i>Haliotis fulgens</i>	PNA
I	<i>Panopea generosa</i>	PNA
I	<i>Panulirus interruptus</i>	P
I	<i>Totoaba macdonaldi</i>	A
I	<i>Dosinia ponderosa</i>	PNA
I	<i>Opisthonema libertate</i>	P
I	<i>Lutjanus peru</i>	PNA
I y II	<i>Carcharhinus falciformis</i>	P
I y II	<i>Crassostrea corteziensis</i>	PNA
I y II	<i>Coryphaena hippurus</i>	P
I y II	<i>Prionace glauca</i>	P
I	<i>Litopeaneus vannamei</i> (*)	PNA
I	<i>Crassostrea gigas</i> (*)	A
I, II, III y IV	<i>Sphyrna spp.</i> (*)	P
I, II, III y IV	<i>Isurus oxyrinchus</i> (*)	P

P= Interés pesquero; P $\cap$ A = interés pesquero y acuícola; A= interés acuícola

La tabla está ordenada con base en la Región de Pesca y Acuacultura, y para la selección de especies se realizaron reuniones con especialistas de INAPESCA y con asesoría complementaria de las organizaciones civiles Environmental Defense Fund de México, Impacto Colectivo para la Pesca y Acuacultura Mexicanas, y Oceana, y se consideraron los siguientes criterios:

1. Volumen
2. Valor
3. Importancia ecológica
4. Importancia social (índice OCEANA)
5. Estatus de explotación
6. Importancia geopolítica
7. Susceptibilidad a cambio climático
8. Especies de interés particular para personal de INAPESCA (marcadas con asterisco)

## **ANEXO IV.**

Fuentes consultadas para los registros de ocurrencias de las especies.

<b>Nombre</b>	<b>Sitio</b>
Ocean Biogeographic Information System - OBIS speciesLink	<a href="http://www.iobis.org">www.iobis.org</a> <a href="http://splink.cria.org.br">splink.cria.org.br</a>
Global Biodiversity Information Facility - GBIF	<a href="http://www.gbif.org">www.gbif.org</a>
HOLOS Ecoinformatics Engine – Ecoengine	<a href="http://holos.berkeley.edu">holos.berkeley.edu</a>
iDigBio	<a href="http://www.idigbio.org">www.idigbio.org</a>
Biodiversity Information Serving Our Nation – Bison	<a href="http://bison.usgs.ornl.gov">bison.usgs.ornl.gov</a>
VertNet	<a href="http://www.vertnet.org">www.vertnet.org</a>
FishBase	<a href="http://www.fishbase.org">www.fishbase.org</a>
CONABIO	<a href="http://geoportal.conabio.gob.mx">http://geoportal.conabio.gob.mx</a>

## ANEXO V.

Fuentes de datos oceanográficos para crear los modelos de distribución potencial de recursos marinos.

Variable	Fuente	Periodo
Productividad primaria	Oregon State University ( <a href="https://www.science.oregonstate.edu/ocean.productivity/">https://www.science.oregonstate.edu/ocean.productivity/</a> )	2002-2020
Temperatura	Satélite MODIS Aqua ( <a href="https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/">https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/</a> )	2002-2020
Oxígeno disuelto	World Ocean Atlas 2018	Histórico (1950-2017)
Salinidad	World Ocean Atlas 2018	Histórico
Silicatos	World Ocean Atlas 2018	Histórico
Fosfatos	World Ocean Atlas 2018	Histórico
Atenuación de luz	MODIS Aqua	2002-2020
Radiación fotosintéticamente activa	MODIS Aqua	2002-2020
Batimetría	Global Bathymetric Chart of the Oceans <a href="https://www.gebco.net/">https://www.gebco.net/</a>	
Tipo de costa	Petatán-Ramírez et al. 2020	
Temperatura (SSP126 y SSP585)	<a href="https://esgf-node.llnl.gov/projects/esgf-llnl/">Max-Planck-Institut für Meteorologie (<a href="https://esgf-node.llnl.gov/projects/esgf-llnl/">https://esgf-node.llnl.gov/projects/esgf-llnl/</a>)</a>	2015-2050
Oxígeno disuelto (SSP126 y SSP585)	<a href="https://esgf-node.llnl.gov/projects/esgf-llnl/">Max-Planck-Institut für Meteorologie (<a href="https://esgf-node.llnl.gov/projects/esgf-llnl/">https://esgf-node.llnl.gov/projects/esgf-llnl/</a>)</a>	2015-2050
Productividad primaria (SSP126 y SSP585)	<a href="https://esgf-node.llnl.gov/projects/esgf-llnl/">Max-Planck-Institut für Meteorologie (<a href="https://esgf-node.llnl.gov/projects/esgf-llnl/">https://esgf-node.llnl.gov/projects/esgf-llnl/</a>)</a>	2015-2050

OCTUBRE 2021

# Evaluaciones de vulnerabilidad de las comunidades costeras y de cambio en la disponibilidad de los recursos pesqueros y acuícolas de la costa de México



GOBIERNO DE  
MÉXICO

AGRICULTURA  
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

INAPESCA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESCA  
Y ACUACULTURA

60 Aniversario  
1962-2022