

Diagnóstico del Estado del Ambiente Marino-Costero
del Pacífico Centro Sur de México

Informe temático
**Cambio
Climático**



Contenido

1. Introducción.....	4
2. Metodología	4
3. Elementos conceptuales de referencia	5
3.1 Variabilidad climática y ENSO	5
3.2 Riesgo climático.....	5
3.3 Adaptación y resiliencia	5
4. Proyecciones de cambio climático.....	6
4.1. Afectaciones por aumento del nivel del mar en el PCS	6
4.2. Afectaciones por fenómeno ENSO en PCS	7
4.3. Panorama de eventos hidrometeorológicos extremos asociados con el cambio climático en PCS de México	8
4.4. Panorama de las sequías en PCS de México	9
4.5. Evidencia de la acidificación en el Pacífico Centro-Sur de México.....	13
5. Estrategias de adaptación y mitigación.....	14
5.1. Sistemas de alerta temprana.....	14
5.2. Ley General de Cambio Climático (LGCC)	15
5.3. Programa Especial de Cambio Climático (PECC) 2021-2024.....	15
5.2 Vinculación con problemas prioritarios compartidos	16
5.2.1 Degradación y pérdida de hábitats marino-costeros.....	16
5.2.2 Reducción de recursos pesqueros	17
5.2.3 Degradación de la calidad del agua	17
6. Hallazgos relevantes.....	18
6.1 Vulnerabilidades identificadas	18
6.2 Interacciones con problemas compartidos	19
7. Conclusiones	20
8. Bibliografía.....	21

Siglas y Acrónimos

ADT: Análisis de Diagnóstico Transfronterizo

CAF: Marco de Adaptación de Cancún

CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

CONAPESCA: Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca

ENSO: El Niño-Oscilación del Sur

FAN: Florecimientos Algales Nocivos

GEM: Gran Ecosistema Marino

PACA: Pacífico Costero Centroamericano

PCS: Pacífico Centro Sur de México

SEMARNAP: Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

1. Introducción

El presente informe analiza las tendencias, impactos y desafíos relacionados con el cambio climático en la región del Pacífico Centro Sur de México, como parte del Análisis de Diagnóstico Transfronterizo (ADT) del Gran Ecosistema Marino del Pacífico Costero Centroamericano (GEM-PACA). Esta región, que comprende los estados costeros desde Jalisco hasta Chiapas, enfrenta crecientes presiones climáticas que afectan sus ecosistemas marinos y costeros, así como las comunidades que dependen de ellos.

El cambio climático actúa como un multiplicador de las amenazas existentes en la región, exacerbando los tres problemas compartidos identificados en el ADT: la degradación de hábitats marino-costeros, la reducción de recursos pesqueros y el deterioro de la calidad del agua. La variabilidad climática, particularmente asociada al fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), genera impactos significativos que requieren atención urgente y coordinada entre México y Guatemala.

Los efectos del cambio climático en la región se manifiestan a través de:

- Aumento en la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos.
- Incremento en la temperatura superficial del mar y atmosférica
- Alteraciones en los patrones de precipitación.
- Acidificación oceánica.
- Modificación en la distribución de especies marinas.

2. Metodología

La metodología empleada para este informe se fundamenta en los siguientes componentes:

Análisis documental

- Revisión de literatura científica y técnica sobre cambio climático en la región.
- Análisis de informes institucionales y bases de datos climatológicas.
- Evaluación de documentos de política pública y gestión ambiental.

Análisis de datos climáticos

- Evaluación de series temporales de temperatura y precipitación.
- Análisis de tendencias en eventos extremos.
- Estudio de patrones de variabilidad climática.

Evaluación de impactos

- Identificación de efectos directos e indirectos del cambio climático.

- Análisis de vulnerabilidades sectoriales.
- Valoración de capacidades adaptativas.

Consulta con expertos

- Entrevistas con especialistas en clima y ecosistemas marinos.
- Validación de hallazgos con actores clave.
- Identificación de prioridades de acción.

3. Elementos conceptuales de referencia

3.1 Variabilidad climática y ENSO

3.1 Variabilidad climática y ENSO

El fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) es el principal mecanismo de variabilidad climática después del ciclo anual. En los trópicos, la radiación solar calienta la superficie terrestre y oceánica, generando movimientos atmosféricos que determinan el clima regional (Magaña et al., 1999). La interacción océano-atmósfera es clave para entender estas variaciones.

El Niño y La Niña alteran las condiciones del océano Pacífico tropical del este. Durante El Niño, la temperatura superficial del mar aumenta entre 1 y 3°C, mientras que durante La Niña disminuye, afectando la formación de nubes y el ciclo anual del clima (Magaña y Ambrizzi, 2005). La intensidad y localización de estas anomalías determinan sus impactos, por lo que no todos los eventos son iguales. Eventos extremos de El Niño, como los de 1982, 1997 y 2015, generaron efectos climáticos significativos a nivel mundial, al igual que las intensas La Niña de 1988, 1999 y 2011.

3.2 Riesgo climático

El riesgo climático surge de la combinación de amenazas climáticas, exposición y vulnerabilidad. Las amenazas incluyen eventos hidrometeorológicos extremos, cambios graduales en patrones climáticos y alteraciones en ciclos oceanográficos. La exposición depende de la ubicación geográfica, las características del territorio y la distribución de población e infraestructura. La vulnerabilidad se asocia a condiciones socioeconómicas, estado de los ecosistemas y capacidades institucionales.

El impacto negativo ocurre cuando el riesgo alcanza niveles críticos. Determinar estos umbrales es clave para implementar medidas preventivas oportunas. Las decisiones humanas sobre el uso de recursos naturales influyen en la magnitud de los impactos, haciendo necesaria la adaptación a condiciones climáticas extremas.

3.3 Adaptación y resiliencia

La adaptación al cambio climático implica ajustes en sistemas naturales y humanos, desarrollo de capacidades institucionales, medidas preventivas y fortalecimiento de la

resiliencia comunitaria. Comprender los conceptos de riesgo, peligro y vulnerabilidad es esencial para definir estrategias de gestión adecuadas. La prevención es más efectiva y económica que la recuperación tras un desastre (Lightbody y Fuchs, 2018).

4. Proyecciones de cambio climático

4.1. Afectaciones por aumento del nivel del mar en el PCS

El aumento del nivel del mar es una de las principales amenazas asociadas al cambio climático en las zonas costeras. En la región del Pacífico Centro Sur, este fenómeno tiene el potencial de generar erosión costera, inundaciones permanentes, salinización de acuíferos y afectaciones a la infraestructura costera (Estrada et al., 2023).

Estudios recientes indican que la tasa de incremento del nivel del mar en el Pacífico Mexicano es, en promedio, de 1.1 mm por año, menor que en el Golfo de México (2.4 mm por año) y la media global (1.8 mm por año). No obstante, en algunas áreas del sur del Pacífico Mexicano, particularmente en las costas de Oaxaca y Guerrero, se han registrado descensos en el nivel medio del mar con tasas de -1.5 y -2.8 mm por año, respectivamente. Estos cambios pueden atribuirse a movimientos verticales de la corteza terrestre debido a la actividad sísmica y procesos de subsidencia (López-Espinoza et al., 2023).

Las proyecciones de cambio climático sugieren que el aumento del nivel del mar continuará con variaciones regionales significativas. Modelos climáticos indican que, bajo escenarios de emisiones elevadas (RCP8.5) (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático [IPCC], 2024), el nivel del mar podría incrementarse en más de 1 metro para finales del siglo, lo que agravaría los impactos en la región (Estrada et al., 2023). En la región Pacífico Centro Sur de México, se esperan cambios del nivel del mar mixtos (Tabla 1).

Tabla 1. Proyecciones de cambios del nivel de mar en el PCS de México

Estado	Proyección del Aumento del Nivel del Mar	Fuente
Chiapas	No disponible	
Oaxaca	-2.8 mm/año	López-Espinoza et al. (2023)
Guerrero	-1.5mm/año	López-Espinoza et al. (2023)
Michoacán	Tasa anual de incremento del nivel medio del mar durante los últimos 20 años ha sido el doble de la velocidad promedio de las ocho décadas precedentes, cuyo rango de variación oscilaba entre 10 y 20 centímetros por siglo	Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2022)
Colima	30 cm en los próximos 25 años, 27-34 cm para 2050	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2024) Diario de Colima (2024)

Jalisco	1-2 metros	Reyes et al. (2010) en Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático Jalisco
---------	------------	--

En términos económicos, el daño anual esperado por inundaciones costeras en México es, actualmente, de aproximadamente 130 millones de dólares (Estrada y Calderón-Bustamante, 2023). Para 2080, este valor podría ascender hasta los 10 mil millones de dólares anuales, debido a la combinación de factores climáticos y socioeconómicos. Aunque los estados con mayor riesgo se encuentran en el Golfo de México, regiones del Pacífico como Manzanillo (Colima), Guerrero y Oaxaca también enfrentan un aumento del riesgo por inundaciones (Ortiz Haro et al., 2023).

4.2. Afectaciones por fenómeno ENSO en PCS

El cambio climático está intensificando la variabilidad y frecuencia de los fenómenos de El Niño y La Niña en el Pacífico centro-sur de México, alterando los patrones de temperatura y precipitación en la región (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC], 2016). El aumento de la temperatura global contribuye a modificar la circulación atmosférica y oceánica, lo que puede amplificar los efectos de estos eventos climáticos (Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño [CIIFEN], s.f.).

Durante El Niño, se observan sequías más prolongadas y temperaturas más cálidas, mientras que La Niña tiende a provocar lluvias extremas e inundaciones más severas (Magaña, 1999). Estos cambios impactan la agricultura, los ecosistemas y la disponibilidad de agua, aumentando los desafíos para las comunidades que dependen de estos recursos (INECC, 2016).

Por su parte, el sector pesquero en el Pacífico Centro Sur de México ha sufrido impactos con reducciones en capturas de diferentes especies comerciales y de la pesca artesanal, lo que se traduce en pérdidas económicas y deterioro de la calidad de vida de los pobladores y comunidades costeras dependientes de la actividad pesquera como medio fundamental de vida (Tabla 2).

Tabla 2. Impactos documentados en pesquerías durante eventos El Niño

Periodo	Estado	Reducción en capturas	Especies afectadas	Referencia
1997-1998	Oaxaca	30%	Múltiples especies	Magaña, 1999
1997-1998	Michoacán	28.6%	Pelágicos menores	SEMARNAP, 2000
1997-1998	Chiapas	9.8%	Camarón, escama	SEMARNAP, 2000

1997-1998	Jalisco	2.6%	Múltiples especies	SEMARNAP, 2000
2015-2016	Regional	15-40%	Atún, sardina	CONAPESCA, 2021

Entre los impactos del calentamiento global observados en el Pacífico Centro Sur de México, asociados a eventos del Niño, se reportan blanqueamientos en corales que han ido incrementándose hasta su punto más alto, documentado en el verano de 2023 en Huatulco con mortalidades de hasta el 93 % de los arrecifes coralinos (López-Pérez et al., 2024). (Tabla 3).

Tabla 3. Eventos históricos de blanqueamiento de corales en el Pacífico mexicano asociados a El Niño (1982-2023).

Año	Ubicación	Porcentaje de blanqueamiento	Especies afectadas	Referencia
1982-1983	Región Pacífico	Extensivo (no cuantificado)	Múltiples especies	Glynn et al., 1997
1987	Cabo Pulmo	Moderado	<i>Pocillopora spp.</i>	Reyes-Bonilla, 1987
1997-1998	Golfo de California	>50%	Múltiples especies	Iglesias-Prieto et al., 2003
2009-2010	Sur mexicano	30-60%	<i>Pavona, Pocillopora</i>	López-Pérez et al., 2016
2015-2016	Costa central	25-75%	Múltiples especies	Nava et al., 2021
2023	Huatulco	50-93%	<i>Pavona gigantea</i>	López-Pérez et al., 2024

4.3. Panorama de eventos hidrometeorológicos extremos asociados con el cambio climático en PCS de México

La intensificación en la frecuencia y severidad de eventos climáticos extremos constituyen una de las manifestaciones más evidentes del cambio climático (IPCC, 2021). En la región del Pacífico Centro Sur (PCS), dichas manifestaciones se evidencian a través de cambios significativos en los patrones de distintos fenómenos hidrometeorológicos de gran intensidad. La evidencia documentada por Magaña (1999) durante El Niño de 1998 mostró cómo los eventos extremos pueden desencadenar impactos en cascada: las temperaturas excepcionalmente altas provocaron incendios forestales sin precedentes, afectando más de 500,000

hectáreas en la región. De manera similar, Landa et al. (2008) analizaron cómo las lluvias extraordinarias de 2007 en Chiapas evidenciaron la vulnerabilidad de la región ante estos fenómenos extremos, documentando impactos que sobrepasaron la capacidad de respuesta local. La intensidad de estos eventos se ha visto exacerbada, no solo por el efecto del cambio climático, sino también por factores antropogénicos; como documentan Tovilla-Hernández y Salas-Roblero (2019) para la región costera del PCS, el cambio de uso de suelo y la degradación de ecosistemas han amplificado la magnitud de sus impactos.

Estas manifestaciones se evidenciaron en los incendios forestales causados por las altas temperaturas asociadas al Niño de 1998, los cuales afectaron grandes extensiones de superficies de bosques y pastizales. En Oaxaca se afectaron 241,708 ha., seguido por Chiapas con 198,808 ha, Michoacán 25,790 ha., Guerrero con 19, 203 ha., Jalisco con 18, 196 ha y Colima con 1,191 ha afectadas (Magaña, 1999; SEMARNAP, 2000), siendo este último el estado con la menor superficie afectada dentro de la región considerada por el proyecto Pacífico Sostenible. Un estudio realizado por Landa et. al. (2008) en Chiapas, a raíz de la ocurrencia de lluvias extremas extraordinarias en octubre de 2007, identificó como elementos de adaptación al cambio climático el colapso del municipio de Ocoatepec ante los impactos socioambientales que rebasan su capacidad, como transformaciones de uso del suelo en las cuencas Grijalva y Usumacinta y el manejo hidráulico. Asimismo, se señalaron acciones desvinculadas del pronóstico meteorológico con inundaciones con graves repercusiones para las personas y sus bienes. Las aportaciones evidenciaron en este municipio (i) la alta vulnerabilidad construida y de la escasa preparación ante lluvias intensas, (ii) vulnerabilidad incrementada por el deterioro ambiental y el insuficiente manejo de la información y (iii) importancia del uso oportuno de la información climática, para prevenir desastres.

Las lecciones aprendidas en el municipio de Ocoatepec, norte de Chiapas, pueden ser las mismas que en los municipios costeros del Pacífico Centro Sur ante eventos hidrometeorológicos extremos, debido a que los problemas son una constante por ejemplo, el cambio de uso de suelo (Tovilla-Hernández y Salas-Roblero, 2019), alteraciones hidrológicas (Carbajal, 2014), la tala excesiva del ecosistema de manglar (Hernández y Espino, 1999) lo que hace más vulnerable de inundaciones a sus poblaciones costeras, entre otras.

4.4. Panorama de las sequías en PCS de México

Diversos estudios y análisis proyectan un aumento en la frecuencia e intensidad de las sequías en la región Pacífico Centro Sur de México. El panorama regional muestra una

situación preocupante: Chiapas enfrenta una probabilidad del 75% de sequías prolongadas con un calentamiento de 3°C; Oaxaca experimenta una reducción dramática en el suministro de agua, pasando de 276.4 a 107 litros diarios por persona; Guerrero presenta una degradación del suelo en el 92% de su superficie costera; Michoacán tiene el 93% de sus municipios en condiciones severas de sequía; Colima registra condiciones anormalmente secas en el 75% de su territorio; y Jalisco muestra una crisis hídrica con el 85.6% de sus municipios afectados por algún grado de sequía y riesgo de incendios (Tabla 4). A continuación, se presentan las proyecciones detalladas para cada estado:

Chiapas:

- Aumento de la probabilidad de sequía: De acuerdo con Probable Futures (2024), se prevé que la probabilidad anual de sequías de más de un año aumente significativamente con el incremento de la temperatura global. Con un calentamiento de 3 °C, la probabilidad anual en la región de los Altos Centrales podría llegar al 75%.
- Aridificación: Con una alta probabilidad de sequía, Chiapas podría sufrir una aridificación, es decir, una transición a largo plazo hacia una sequía permanente (Probable Futures, 2024).
- Disminución de la precipitación: Según García-García y Montero-Martínez (2019), se esperan tendencias decrecientes de la precipitación anual en las cuencas de la Sierra Madre y la costa de Chiapas.
- Aumento de la evaporación: García-García y Montero-Martínez (2019) proyectan un aumento en la variabilidad interanual de la evaporación, lo que implica una mayor demanda de agua para los cultivos.
- Aumento del riesgo de incendios: Como señala el H. Ayuntamiento de San Cristóbal de Las Casas (2023), se espera que aumente el riesgo de incendios forestales debido a la disminución de la precipitación y al aumento de la temperatura.
- Posible desertificación: García-García y Montero-Martínez (2019) advierten que la disminución de la precipitación y el aumento de la evaporación podrían causar una mayor desertificación en Chiapas, afectando la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

Oaxaca:

- Escasez de agua: El Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública de Oaxaca (2024) estima que para el año 2050, el 52% de la población global experimentará escasez severa de agua, y Oaxaca no es una excepción.
- Estrés hídrico: Según el CESOP (2024), Oaxaca se encuentra en la categoría de presión moderada sobre los recursos hídricos, con un nivel del indicador entre el 10 y el 20%.

- Disminución del suministro de agua: El CESOP (2024) reporta que, en 2021, el suministro de agua en Oaxaca fue de 107 litros diarios por persona, en contraste con los 276.40 litros de 1996.
- Pérdidas en el sistema de abastecimiento: Como señala el CESOP (2024), se estima una pérdida de aproximadamente el 30% del agua suministrada debido a la falta de mantenimiento de las redes de abastecimiento.
- Sequías más intensas: Ruiz-Luna et al. (2021) pronostican que las sequías en Oaxaca serán cada vez más intensas debido al cambio climático.

Guerrero:

- Sequías predecibles: La Comisión Nacional del Agua (2024) indica que los avances en el entendimiento del clima permiten asegurar que la sequía en la costa de Guerrero es predecible.
- Impactos en la agricultura: CONAGUA (2024) señala que los impactos de la sequía más frecuentes se dan en la agricultura de temporal.
- Degradación del suelo: Según CONAGUA (2024), el Consejo de Cuenca de la costa de Guerrero presenta un nivel de degradación ligero en el 92% de su superficie.
- Retraso en el inicio de las lluvias: CONAGUA (2024) reporta que la falta de lluvias en abril, mayo e incluso junio, genera con frecuencia un retraso del inicio de las lluvias, con impactos negativos en la agricultura.
- Aumento de la aridez: De acuerdo con el Programa Nacional Hídrico (2020-2024), el cambio climático podría aumentar la aridez en Guerrero, especialmente en la región Norte.

Michoacán:

- Crisis de sequía: Muñoz Torres (2024) advierte que, de no registrarse una óptima temporada de lluvias, Michoacán podría enfrentar una grave crisis de sequía.
- Escasez de agua: La CONAGUA (2024) prevé la escasez de agua en algunos puntos de Michoacán si se replica una deficiente temporada de lluvias.
- Emergencia por sequía: Animal Político (2024) reporta que Michoacán ocupa el cuarto lugar nacional en sequía, con el 93% de sus municipios en condiciones severas.
- Afectaciones a la agricultura: Según Animal Político (2024), se estima que hay 58 mil hectáreas de cultivos de temporal afectadas por la sequía, principalmente maíz y sorgo.
- Aumento de la sequía: El Instituto de Información Estadística y Geográfica (2024) muestra en su análisis multitemporal del Índice de Sequía de Diferencia Normalizada (NDDI) un aumento de la sequía en Michoacán a partir de 2017.
- Acciones de mitigación: La Secretaría del Medio Ambiente de Michoacán (2024) promueve acciones para el cuidado del agua, como el cambio de la manguera por una cubeta al lavar el coche y la reparación de fugas.

Colima:

- Condiciones anormalmente secas: El Occidental (2024) reporta que el 75% del territorio de Colima se encuentra anormalmente seco.
- Sequía moderada: Según El Occidental (2024), los municipios de Colima, Villa de Álvarez, Comala, Coquimatlán, Cuauhtémoc, Tecomán e Ixtlahuacán presentan sequía moderada.
- Riesgo para los cultivos: El Occidental (2024) advierte que existe el riesgo de que la planta de cultivos no se desarrolle bien debido a la falta de precipitaciones.
- Aumento de la temperatura: La Jornada Estatal contra el Cambio Climático (2024) proyecta un aumento gradual de la temperatura en Colima en todos los escenarios de cambio climático.
- Disminución de la precipitación: La JECC (2024) prevé una disminución gradual de la precipitación en Colima, llegando a un 14.2% por debajo con respecto al período 1981-2010.
- Estrategias para un uso sustentable del agua: El Comentario (2024) reporta que la Comisión Nacional del Agua en Colima trabaja en conjunto con el Gobierno federal para implementar estrategias que garanticen un uso sostenible del agua.

Jalisco:

- Sequía en la mayoría de los municipios: LatinUS (2024) informa que el 85.6% de los municipios de Jalisco registran algún grado de sequía.
- Sequía extrema: Según LatinUS (2024), ocho municipios de Jalisco presentan sequía extrema.
- Bajos niveles en las presas: UDG TV (2024) reporta que las 24 presas de Jalisco, incluyendo el lago de Chapala, se encuentran en promedio a menos de la mitad de su capacidad.
- Aumento de la sequía: De acuerdo con UDG TV (2024), se prevé que la sequía en Jalisco podría empeorar debido a los efectos del Niño y la Niña.
- Aumento del riesgo por sequía: La revista Tecnología y Ciencias del Agua (2024) proyecta un aumento en el índice de exposición y riesgo por sequía en Jalisco.
- Crisis de agua en la Zona Metropolitana de Guadalajara: UDG TV (2024) señala que la presa Calderón, que abastece al norte de la Zona Metropolitana de Guadalajara, se encuentra a un 29% de su capacidad.

Tabla 4. Riesgo de incendios por sequía en el PCS

Estado	Aumento de Temperatura (°C)	Disminución de la Precipitación (%)	Riesgo de Incendios
Chiapas	3 3.4 (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2010; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2017)	-0.7 a -1 mm/día (INECC, 2010)	Alto (SEMARNAT, 2017)

Oaxaca	+0.094 (Tmax), + 0.146 (Tmin) (INECC, 2019)	No significativa (-2.268 mm/año) (INECC, 2019)	Medio (Gobierno del Estado de Oaxaca, 2019)
Guerrero	2 4 por siglo (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2007)	-0.2 a -1 mm/día por siglo (noroeste) (SEMARNAT, 2024)	Alto (SEMARNAT, 2024)
Michoacán	+0.015 (Tmax), +0.021 (Tmin) (INECC, 2019)	Significativa (+7.220 mm/año) (INECC, 2019)	Alto (Gobierno del Estado de Michoacán, 2024)
Colima	0.9 4.5 (INECC, 2024)	Hasta -14.2% (INECC, 2024)	Medio (INECC, 2024)
Jalisco	2 4 por siglo (INECC, 2023)	No disponible	Alto (INECC, 2023)

4.5. Evidencia de la acidificación en el Pacífico Centro-Sur de México

A pesar de la limitada información específica sobre la acidificación en el Pacífico Centro-Sur de México, diversos estudios e iniciativas evidencian que este proceso está en marcha. La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) ha desarrollado el Sistema de Alerta de Acidificación Oceánica (SATacid) como parte de su Sistema de Información y Análisis Marino (SIMAR) (CONABIO, 2022). Este sistema contribuye al monitoreo y la comprensión de la acidificación en aguas mexicanas, incluyendo la región del Pacífico Centro-Sur.

Investigaciones realizadas por el Instituto Politécnico Nacional – CIIDIR Sinaloa, con apoyo de la Secretaría de Marina (SEMAR) y el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INAPESCA), han monitoreado la acidificación a lo largo del Pacífico mexicano desde 2016 a través de cruceros oceanográficos (Espinosa Carreón et al., 2021). Los resultados muestran variaciones en el secuestro de CO₂ y el pH en diferentes zonas. En el Pacífico tropical mexicano, se han registrado condiciones de acidificación natural debido a procesos de surgencias, pero la acidificación antropogénica podría exacerbar estas condiciones (Espinosa Carreón et al., 2021; Hernández-Ayón et al., 2019).

Un estudio en el Golfo de Tehuantepec revela que esta región del Pacífico Centro Sur de México experimenta de forma natural condiciones de bajo pH debido a las surgencias, lo que ha llevado a la adaptación de las comunidades coralinas a estas condiciones subóptimas (Hernández-Ayón et al., 2019). Sin embargo, la acidificación antropogénica podría intensificar la acidificación, afectando la calcificación, el crecimiento y la supervivencia de los corales, con consecuencias para la biodiversidad y la salud del ecosistema (Hernández-Ayón et al., 2019).

Aun cuando no se tienen evidencias medidas del grado de afectación que sufren la biota marina por la acidificación del océano en el PSC de México, se conoce que este fenómeno afecta a diversos organismos marinos, alterando la estructura y función de los ecosistemas. Los corales, especialmente los pétreos que forman los arrecifes, son vulnerables a la disminución del pH, lo que dificulta su calcificación y crecimiento, debilitando las estructuras arrecifales y afectando la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que proporcionan.

Moluscos como ostras, almejas y mejillones, de importancia comercial en la región, experimentan dificultades en la formación de conchas, impactando su crecimiento, reproducción y supervivencia, lo que tiene consecuencias negativas para las pesquerías y la acuicultura, afectando a las comunidades costeras que dependen de estos recursos.

Crustáceos como cangrejos, langostas y camarones también se ven afectados, ya que la acidificación dificulta la formación de sus exoesqueletos de quitina, afectando su protección, movilidad y alimentación, con consecuencias para su supervivencia y las cadenas tróficas. Aunque los efectos en los peces son menos directos, estudios muestran que la acidificación puede alterar su comportamiento, capacidad olfativa para encontrar alimento y detectar depredadores, y su respuesta de escape ante amenazas, lo que puede alterar las interacciones entre especies y la dinámica de las poblaciones, con consecuencias para la biodiversidad y la pesca.

La acidificación del mar puede tener efectos en cascada en la red trófica marina, afectando a organismos en la base de la cadena alimentaria, como los pterópodos, y propagándose a niveles tróficos superiores, impactando a depredadores como peces, aves y mamíferos marinos. Además, puede afectar las primeras etapas de vida de muchas especies marinas, incluyendo las larvas de organismos calcificadores, lo que puede tener consecuencias a largo plazo para la estructura y función de los ecosistemas.

5. Estrategias de adaptación y mitigación

5.1. Sistemas de alerta temprana

Los sistemas de alerta temprana son fundamentales como herramienta de adaptación al cambio climático en el Pacífico Centro Sur de México. Según la Coordinación Nacional de Protección Civil (CNPC, 2023), estos sistemas se basan en cuatro componentes esenciales: conocimiento previo de los riesgos, sistemas de medición y monitoreo, difusión de alertas públicas y planes de respuesta. Para esta región, que comprende los estados costeros desde Jalisco hasta Chiapas, operan el Sistema de Alerta Temprana para Ciclones Tropicales (desde 2000), el Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis (desde 2013) y el Servicio Meteorológico Nacional (desde 1877).

Sin embargo, recientes eventos han demostrado debilidades críticas en estos sistemas. El caso más notable fue el huracán Otis en octubre de 2023, donde el sistema de alerta temprana no logró anticipar adecuadamente la intensificación explosiva del fenómeno, que pasó de tormenta tropical a huracán categoría 5 en menos de 12 horas, causando devastación en Acapulco. Este fallo evidenció la necesidad urgente de mejorar los sistemas de monitoreo y predicción, especialmente ante la intensificación de eventos extremos asociados al cambio climático.

A pesar de contar con tecnologías avanzadas como el CellBroadcast, que permite llegar al 75.5% de la población a través de telefonía móvil, y un sistema integrado de monitoreo a través del CENACOM, persisten desafíos importantes en la región. Es crucial fortalecer la coordinación entre instituciones, mejorar la cobertura en zonas vulnerables y, sobre todo, actualizar los sistemas de predicción para responder a las nuevas dinámicas climáticas que generan fenómenos cada vez más intensos y menos predecibles (CNPC, 2023). La efectividad de estos sistemas dependerá no solo de la tecnología disponible, sino también de su capacidad para adaptarse rápidamente a las condiciones cambiantes del clima.

5.2. Ley General de Cambio Climático (LGCC)

La Ley General de Cambio Climático (LGCC) establece las bases jurídicas para la acción climática en México, regulando la adaptación y mitigación en distintos sectores. Establece un marco legal útil para la adaptación en el PCS, pero necesita mayor flexibilidad y especificidad regional para abordar desafíos propios de la zona marino-costera.

Fortalezas de la LGCC para el PCS

- Marco normativo sólido para la protección ambiental : La ley reconoce la importancia de los ecosistemas costeros y marinos en la mitigación del cambio climático.
- Distribución de competencias: Define las atribuciones de la federación, estados y municipios, permitiendo a las entidades costeras del PCS desarrollar programas específicos.
- Inclusión de sectores estratégicos: Se identifican sectores clave como la pesca, el turismo y el transporte marítimo en la agenda de mitigación y adaptación.

Áreas de Mejora de la LGCC para el PCS

- Falta de especificidad en el contexto marino-costero: Aunque se reconoce la vulnerabilidad de las zonas costeras, no se desarrollan estrategias concretas para la gestión sostenible de los sectores azules.
- Poca flexibilidad para enfoques regionales: No se contemplan mecanismos de adaptación que respondan a necesidades específicas del PCS, como la gestión de riesgos asociados a ciclones y eventos extremos.
- Débil integración con acuerdos transfronterizos: No se mencionan estrategias para coordinar esfuerzos con países vecinos en la conservación del GEM-PACA.

5.3. Programa Especial de Cambio Climático (PECC) 2021-2024

El PECC 2021-2024 establece un marco de adaptación y mitigación para reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas marino-costeros y los sectores productivos ante el cambio climático. En el caso del PCS, las estrategias del PECC se alinean parcialmente con las necesidades de la región, con áreas de oportunidad clave.

Fortalezas del PECC para el PCS

- Consideración de ecosistemas marino-costeros: Se reconocen los manglares, arrecifes y pastos marinos como infraestructuras naturales clave para la adaptación y reducción de riesgos.
- Incorporación de estrategias de adaptación sectorial: Se incluyen acciones dirigidas a la pesca, el turismo y la infraestructura portuaria, con énfasis en sostenibilidad.
- Mecanismos de financiamiento y gobernanza climática: Se establece la coordinación entre distintos niveles de gobierno y actores del sector privado para la implementación de políticas de adaptación.

Áreas de Mejora del PECC para el PCS

- Falta de enfoque transfronterizo: No se abordan estrategias específicas para la cooperación regional con otros países del Gran Ecosistema Marino del Pacífico Costero Centroamericano (GEM-PACA).
- Limitada integración de la variabilidad climática en el manejo pesquero: Aunque se menciona la vulnerabilidad de las pesquerías, no hay estrategias concretas para la adaptación de los sistemas pesqueros al fenómeno ENSO.
- Infraestructura costera y puertos: No se detallan medidas específicas para la adaptación portuaria ante el aumento del nivel del mar y los eventos climáticos extremos.

5.4 Vinculación con problemas prioritarios compartidos

El cambio climático actúa como un multiplicador de amenazas que intensifica significativamente los tres problemas compartidos identificados en la región. A continuación, se detalla cómo el cambio climático interactúa y exacerba cada uno de estos problemas:

5.4.1 Degradación y pérdida de hábitats marino-costeros

5.4.1 Degradación y pérdida de hábitats marino-costeros:

Causas subyacentes:

- Incumplimiento de las leyes y leyes inadecuadas, corrupción e inadecuada vigilancia y control y recursos insuficientes: El cambio climático aumenta la importancia de la aplicación de las leyes y la vigilancia para proteger los hábitats vulnerables.
- Ordenamiento territorial inadecuado e inexistente y falta de gobernanza: La planificación territorial que considera el cambio climático es crucial para la adaptación y la conservación del hábitat.
- Falta de educación: La educación ambiental promueve la adaptación al cambio climático y la conservación de los hábitats.

Causas raíz:

- Modelo nacional extractivista: Este modelo puede aumentar la vulnerabilidad al cambio climático al promover la sobreexplotación de los recursos y la degradación del hábitat.
- Falta de voluntad política: La falta de voluntad política para abordar el cambio climático puede llevar a la degradación del hábitat y al aumento de la vulnerabilidad.

5.4.2 Reducción de recursos pesqueros

Causas subyacentes:

- Falta de políticas públicas: La falta de políticas para la pesca sostenible y la adaptación al cambio climático puede agravar la reducción de los recursos pesqueros.
- Inadecuada administración de los recursos pesqueros: La gestión pesquera que ignora el cambio climático puede llevar a la sobreexplotación y al colapso de las poblaciones.

Causas raíz:

- Modelo económico extractivista o no sustentable: Este modelo puede promover la sobrepesca y reducir la resiliencia de los ecosistemas al cambio climático.
- Baja capacidad institucional: La falta de recursos institucionales puede dificultar la adaptación al cambio climático en la pesca.

5.4.3 Degradación de la calidad del agua

Causas subyacentes:

- Falta de asignación de recursos financieros: La falta de inversión en tratamiento de aguas y gestión de residuos aumenta la vulnerabilidad al cambio climático.
- Baja conciencia ambiental: La falta de conciencia ambiental puede llevar a la contaminación del agua y la degradación de los ecosistemas, aumentando la vulnerabilidad.
- Gobernanza y gobernabilidad débiles: La falta de coordinación institucional puede dificultar la adaptación al cambio climático y la gestión del agua.

Causas raíz:

- Consumo y mercado fragmentado (no hay economía circular): Este modelo genera residuos que contaminan el agua y aumentan la vulnerabilidad al cambio climático.
- Marco jurídico costero marino inexistente: La falta de protección legal de los ecosistemas acuáticos dificulta la adaptación al cambio climático y la gestión del agua.

6. Hallazgos relevantes

El cambio climático actúa como un multiplicador y catalizador de los problemas ambientales en la región del Pacífico Centro Sur de México. Los hallazgos identificados revelan impactos directos e indirectos que están transformando los ecosistemas marino-costeros y las comunidades que dependen de ellos, creando nuevas vulnerabilidades y exacerbando las existentes.

6.1 Vulnerabilidades identificadas

Las vulnerabilidades identificadas muestran cómo el cambio climático está afectando de manera diferencial a los componentes ecosistémicos, sociales e institucionales de la región, generando retos sin precedentes que requieren respuestas adaptativas urgentes.

A. Vulnerabilidades ecosistémicas relacionadas con el Cambio Climático:

- Blanqueamiento coralino por aumento de temperatura: Los arrecifes han experimentado eventos de blanqueamiento cada vez más severos, alcanzando mortalidades históricas de hasta 93% en Huatulco durante 2023, evidenciando una sensibilidad crítica al calentamiento oceánico.
- Pérdida de hábitats por eventos extremos: Los manglares y ecosistemas costeros están siendo impactados por huracanes más intensos y frecuentes, con pérdidas que superan el 60% de cobertura original en estados como Jalisco y Colima.
- Alteración de patrones oceanográficos: Los cambios en temperatura y circulación están modificando los patrones de surgencias y la disponibilidad de nutrientes, afectando la productividad primaria y las cadenas tróficas.
- Acidificación oceánica: Se observan impactos crecientes en organismos calcificadores, especialmente en zonas de surgencia como el Golfo de Tehuantepec, donde las condiciones naturalmente ácidas se están intensificando.

B. Vulnerabilidades Socioeconómicas ante el Cambio Climático

El cambio climático está transformando los medios de vida tradicionales y las estructuras económicas costeras:

- Disrupción de actividades pesqueras: El cambio en la distribución de especies comerciales debido al calentamiento oceánico ha provocado reducciones de hasta 30% en las capturas, con impactos severos en comunidades pesqueras artesanales.
- Aumento de riesgos climáticos: Las comunidades costeras enfrentan mayor exposición a eventos meteorológicos extremos, como evidenció el huracán Otis en 2023, revelando deficiencias en la preparación y respuesta ante desastres.
- Pérdida de seguridad alimentaria: La reducción en la disponibilidad de recursos pesqueros por cambios en la productividad marina está afectando la seguridad alimentaria local, especialmente en comunidades altamente dependientes de la pesca.

- Migración climática: Se observan desplazamientos de poblaciones costeras debido a la pérdida de medios de vida y el aumento de riesgos climáticos, generando presiones adicionales en áreas receptoras.

C. Vulnerabilidades Institucionales frente al Cambio Climático

Se identifican brechas significativas en la capacidad institucional para responder a los desafíos del cambio climático:

- Sistemas de alerta temprana inadecuados: La intensificación explosiva de fenómenos meteorológicos, como el huracán Otis, ha evidenciado limitaciones en los sistemas de predicción y alerta.
- Déficit en planificación climática: Los instrumentos de ordenamiento territorial y planes de desarrollo costero no incorporan adecuadamente escenarios de cambio climático ni medidas de adaptación.
- Capacidad adaptativa limitada: La falta de recursos técnicos y financieros restringe la implementación de medidas de adaptación al cambio climático en escalas significativas.
- Coordinación insuficiente: La respuesta al cambio climático requiere una coordinación interinstitucional que actualmente es débil, especialmente en el manejo de recursos transfronterizos.

6.2 Interacciones con problemas compartidos

El cambio climático actúa como un amplificador de los problemas ambientales existentes, creando interacciones complejas que requieren un abordaje integral. Su efecto multiplicador agrava los tres problemas prioritarios identificados en la región:

A. Interacción con la Degradación de Hábitats

- El aumento del nivel del mar y eventos extremos están acelerando la erosión costera, con tasas de incremento que varían desde 1.1 mm/año en el Pacífico mexicano hasta proyecciones de 1-2 metros en Jalisco para finales de siglo.
- Los cambios en patrones de precipitación y temperatura están alterando la distribución y composición de ecosistemas clave, particularmente manglares, con pérdidas documentadas de 32,929 hectáreas entre 1970-2020, probablemente como consecuencia de la sinergia entre los efectos del Cambio Climático y las acciones humanas.
- La intensificación de eventos El Niño está provocando blanqueamientos coralinos más frecuentes y severos, alcanzando mortalidades sin precedentes (50-93%) en áreas como Huatulco.
- El incremento en la frecuencia e intensidad de huracanes está causando daños directos a los ecosistemas costeros, como evidencian los más de 500,000 hectáreas de bosques y pastizales afectados durante El Niño de 1998.

B. Interacción con la Reducción de Recursos Pesqueros

- Los cambios en temperatura oceánica están modificando los patrones de distribución de especies comerciales, con reducciones documentadas de 30-40% en capturas durante eventos El Niño.
- La acidificación oceánica está afectando las cadenas tróficas marinas, particularmente en áreas de surgencia como el Golfo de Tehuantepec, impactando la productividad pesquera.
- Los cambios en patrones de surgencia están alterando la disponibilidad de nutrientes y la productividad primaria, afectando la base de las cadenas alimentarias marinas.
- Las modificaciones en ciclos reproductivos de especies comerciales están reduciendo el reclutamiento y la renovación de poblaciones pesqueras.

C. Interacción con la Degradación de la Calidad del Agua

- El aumento de temperatura está intensificando los procesos de eutrofización en sistemas lagunares y costeros, exacerbando la problemática de florecimientos algales nocivos.
- Los cambios en patrones de precipitación están modificando los aportes de sedimentos y contaminantes desde cuencas altas hacia zonas costeras.
- La intensificación de eventos extremos aumenta el arrastre de contaminantes y la resuspensión de sedimentos, deteriorando la calidad del agua costera.
- La acidificación oceánica está alterando los ciclos biogeoquímicos, afectando la capacidad de los ecosistemas para procesar contaminantes.

7. Conclusiones

1. El cambio climático representa una amenaza crítica y transformadora para los ecosistemas marino-costeros del Pacífico Centro Sur de México, actuando como multiplicador de problemas ambientales existentes. La evidencia muestra impactos sin precedentes, como el blanqueamiento del 93% de los arrecifes coralinos en Huatulco durante 2023 y la pérdida de más de 32,929 hectáreas de manglar en las últimas cinco décadas.
2. Los eventos El Niño/La Niña muestran patrones de intensificación que están alterando severamente los ecosistemas y las actividades económicas en la región. Los datos históricos revelan impactos cada vez más severos, particularmente en arrecifes coralinos, pesquerías y comunidades costeras, con reducciones de hasta 30% en capturas pesqueras y modificaciones significativas en la distribución de especies comerciales.
3. El cambio climático está modificando fundamentalmente los patrones oceanográficos de la región. Las alteraciones en las surgencias, la acidificación oceánica y los cambios en la temperatura superficial del mar están reconfigurando los ecosistemas marinos, con impactos documentados en la productividad primaria y las cadenas tróficas.

4. La evidencia científica demuestra una aceleración en la degradación de los servicios ecosistémicos críticos. La pérdida de manglares, el blanqueamiento coralino y la alteración de lagunas costeras están reduciendo la capacidad de estos ecosistemas para proporcionar protección costera, sustento económico y regulación climática local.
5. Las comunidades costeras enfrentan una transformación forzada de sus medios de vida tradicionales. La reducción del 30% en las capturas pesqueras durante la última década, junto con la modificación en la distribución de especies comerciales, está forzando cambios estructurales en las economías locales.
6. Las pérdidas económicas asociadas al cambio climático en la región son sustanciales y crecientes. El daño anual esperado por inundaciones costeras ha escalado de 130 millones de dólares actuales a proyecciones de hasta 10 mil millones de dólares anuales para 2080, evidenciando la magnitud del impacto económico futuro.
7. La adaptación al cambio climático en la región enfrenta obstáculos estructurales profundos. La evidencia muestra que más del 60% de los pescadores tienen ingresos por debajo de las líneas de pobreza, limitando severamente su capacidad adaptativa. Las comunidades costeras experimentan una vulnerabilidad creciente ante eventos climáticos extremos, mientras que los ecosistemas que las protegen continúan degradándose a tasas alarmantes.
8. Los sistemas de monitoreo y alerta temprana actuales demuestran limitaciones significativas frente a la intensificación de eventos climáticos extremos. La falta de anticipación a la intensificación explosiva del huracán Otis en 2023 evidencia la necesidad crítica de mejorar las capacidades predictivas y de respuesta ante eventos hidrometeorológicos extremos.
9. La vulnerabilidad institucional se manifiesta en la asignación desequilibrada de recursos, donde solo el 5% del presupuesto se destina al combate de la pesca ilegal, mientras que el 80% se dirige a subsidios que pueden fomentar indirectamente la sobreexplotación, comprometiendo la sostenibilidad de los recursos marinos.
10. La cooperación transfronteriza entre México y Guatemala emerge como un elemento crucial frente a los desafíos climáticos compartidos. La naturaleza transfronteriza de recursos como las poblaciones de peces migratorios y los ecosistemas conectados demanda una gestión coordinada que actualmente es insuficiente, como evidencia la falta de protocolos efectivos para el manejo conjunto de recursos pesqueros.

8. Bibliografía

Carbajal, E. (2014). Evaluación del impacto del azolvamiento en Laguna Cerritos a partir de la canalización del Río Cintalapa (Tesis de maestría). El Colegio de la Frontera Sur, Tapachula, México.

- Centro de Ciencias de la Atmósfera. (2023). Estado y Perspectivas del Cambio Climático en México: Un Punto de Partida. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública de Oaxaca [CESOP]. (2024). Agua para el futuro de Oaxaca: Hidrografía Legislativa y Buenas Prácticas.
https://www.congresoaxaca.gob.mx/LXV/docs65.congresoaxaca.gob.mx/centros_estudios/CE_SOP/estudiosCESOP/Agua_para_el_futuro_de_Oaxaca_Hidrografia_Legislativa_y_Buenas_Practicas.pdf
- Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño. (s.f.). El Niño Oscilación del Sur. Recuperado de <https://ciifen.org/el-nino-oscilacion-del-sur/>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2011). Análisis espacial de las regiones más vulnerables ante las sequías en México.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2011). Estadísticas del agua en México, Comisión Nacional del Agua.
 pp.185.<https://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/sequiasB.pdf>
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2024). Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99927/PMPMS_CC_Costa_de_Guerrero.pdf
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2024). Extensión y distribución de manglares. Sistema de Monitoreo de Manglares de México (SMMM). Recuperado de: <https://www.biodiversidad.gob.mx/monitoreo/smmm/extensionDist>
- CONABIO. (2022). Sistema de Alerta de Acidificación Oceánica (SATacid). Sistema de Información y Análisis Marino (SIMAR). <https://simar.conabio.gob.mx/sidmo-infoceanos/>
- CONAPESCA. (2021). Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2021. Recuperado de Diario de Colima. (2024, 27 de agosto). Aumentar hasta 30 cm el nivel del mar en Colima.
<https://diariodecolima.com/noticias/detalle/2024-08-27-aumentar-hasta-30-cm-el-nivel-del-mar-en-colima>
- El Comentario. (2024). Fija Conagua meta de fortalecer la sustentabilidad hídrica para 2025.
<https://elcomentario.uco.mx/?p=177923>
- El Occidental. (2024). Sequía: Colima está seco en un 75%.
<https://oem.com.mx/eloccidental/local/sequia-colima-esta-seco-en-un-75-15853206>
- Espinosa Carreón, L., Hernández-Ayón, J. M., Norzagaray, O., Coronado-Álvarez, L., Chapa, C., Alonso-Rodríguez, R., ... & Álvarez-Borrego, S. (2021). Modelización de la Acidificación Oceánica en el Pacífico Mexicano. In Semana de la Acidificación Oceánica 2021: Construyendo una Red Global para la Acción Oceánica (pp. 11–12). Red Mundial de Observación de la Acidificación Oceánica.
- Fondo para el Medio Ambiente Mundial. (s.f.). Pacífico Sostenible. <https://pacificosostenible.org/>
- García-García, A., & Montero-Martínez, M. J. (2019). Variabilidad climática y eventos extremos en la cuenca del río Zanatenco, Chiapas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 10(3), 249-272.
- Glynn, P.W., & Leyte-Morales, G.E. (1997). Coral reefs of Huatulco, West Mexico: Reef development in upwelling Gulf of Tehuantepec. *Revista de Biología Tropical*, 45, 1033-1047.
- Gobierno del Estado de Jalisco. (2021). Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático. Periódico Oficial El Estado de Jalisco.
- Gobierno del Estado de Michoacán. (2024). Programa Especial de Temporada de Sequía, Estiaje e Incendios Forestales. <https://pcivil.michoacan.gob.mx/wp-content/uploads/2024/02/Programa-Especifico-de-Temporada-Incendios-Forestales-2024.pdf>
- Gobierno del Estado de Oaxaca. (2019). Cambio climático.
<https://www.oaxaca.gob.mx/semaedeso/wp-content/uploads/sites/59/2019/09/CAMBIO-CLIMATICO.pdf>

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal, Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza.
- Hernández, C. T., & Espino, G. D. (1999). Ecology, production and use of mangrove, *Conocarpus erectus* L., in Barra de Tecoaapa (Guerrero, Mexico). *Biotropica*, 31(1), 121-134.
[https://nube.conapesca.gob.mx/sites/cona/dgppe/2021/ANUARIO_ESTADISTICO_DE_ACUACULTURA Y PESCA 2021.pdf](https://nube.conapesca.gob.mx/sites/cona/dgppe/2021/ANUARIO_ESTADISTICO_DE_ACUACULTURA_Y_PESCA_2021.pdf)
- Hernández, B. D. G., & Espino, G. L. (1999). Assessment of the health status of a mangrove forest in Sonora, Mexico. *Wetlands Ecology and Management*, 7(4), 211-219.
- Hernández-Ayón, J. M., Martínez-Magaña, V. H., & Álvarez-Borrego, S. (2019). Acidificación en el Golfo de Tehuantepec, México: variabilidad natural y potencial impacto antropogénico. *Ciencias Marinas*, 45(3), 109–124.
- Hernández-Becerril, DU, Alonso-Rodríguez, R., Álvarez-Góngora, C., Barón-Campis, SA, Ceballos-Corona, G., Herrera-Silveira, J., ... Rodríguez-Salvador, R. (2007). Fitoplancton y microalgas marinas (FAN) tóxicas y débiles en las costas mexicanas. *Revista de Salud y Ciencias Ambientales, Parte A*, 42 (10), 1349–1363. <https://doi.org/10.1080/10934520701480219>
- Hinkel, J., Lincke, D., Vafeidis, A. T., Perrette, M., Nicholls, R. J., Tol, R. S. J., Marzeion, B., Fettweis, X., Ionescu, C., & Levermann, A. (2014). Coastal flood damage and adaptation costs under 21st century sea-level rise. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3292–3297. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222469111>
- H. Ayuntamiento de San Cristóbal de Las Casas. (2023). Plan de Acción Climática. https://www.sancristobal.gob.mx/wp-content/uploads/2023/08/PAC-San-Cristóbal-de-las-Casas_Final1.pdf
- Iglesias-Prieto, R., Reyes-Bonilla, H., & Rodríguez, R.R. (2003). Effects of 1997-1998 ENSO on coral reef communities in the Gulf of California, Mexico. *Geofísica Internacional*, 42, 467-471.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). (2007). La calidad del Agua en los Ecosistemas Costeros de México. SEMARNAP.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2010). Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Chiapas. https://uccrnn.org/wp-content/uploads/2017/06/2010_Chiapas_Programa-de-Accio%CC%81n-ante-el-Cambio-Clima%CC%81tico-del-Estado-de-Chiapas.pdf
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2016). El Niño, La Niña y la Oscilación del Sur. Recuperado de <https://www.gob.mx/inecc/prensa/el-nino-la-nina-y-la-oscilacion-del-sur-57602>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2019). Vulnerabilidad al cambio climático. https://cambioclimatico.gob.mx/estadosymunicipios/Vulnerabilidad/V_07.html
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2023). Jalisco ante el cambio climático. <https://iki-alliance.mx/wp-content/uploads/Plan-Estatal-de-Adaptaci%C3%B3n-al-Cambio-Clim%C3%A1tico-en-Jalisco.-Informe-final.pdf>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2024). Análisis climático del estado de Colima. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/921599/007_2024_publicacion_AnalisisClimatico_Colima_160624.pdf
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC]. (2024). Variables de vulnerabilidad, riesgos y peligros. https://cambioclimatico.gob.mx/estadosymunicipios/Vulnerabilidad/V_20.html

- Instituto de Información Estadística y Geográfica [IIEG]. (2024). Análisis de la sequía en Jalisco por medio del cálculo del Índice de Sequía de Diferencia Normalizada (NDDI) 2015-2020. <https://iieg.gob.mx/ns/>
- IPCC. (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, Pág.89.
- IPCC. (2021a). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. En prensa.
- IPCC. (2021b). Summary for Policymakers. En: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. En prensa.
- IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. En prensa.
- IPCC. (2024). Impactos, adaptación y vulnerabilidad regionales. https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/es/tssts-4-2.html
- Jornada Estatal contra el Cambio Climático [JECC]. (2024). Informe Jornada Estatal contra el Cambio Climático: Colima. México 2024. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/961852/021_2024Colima.pdf
- Landa, R., Magaña, V., & Neri, C. (2008). Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático (pp. 129-129). Semarnat.
- LatinUS. (2024). La sequía en Jalisco afecta a ocho de cada 10 municipios de la entidad. <https://latinus.us/mexico/2024/5/9/la-sequia-en-jalisco-afecta-ocho-de-cada-10-municipios-de-la-entidad-114586.html>
- Lightbody, L., & Fuchs, M. (2018). Every \$1 invested in disaster mitigation saves \$6. The PEW Charitable Trusts: Philadelphia, PA, USA.
- López-Pérez, A., Granja-Fernández, R., Ramírez-Chávez, E., Valencia-Méndez, O., Rodríguez-Zaragoza, F.A., González-Mendoza, T., & Martínez-Castro, A. (2024). Widespread Coral Bleaching and Mass Mortality of Reef-Building Corals in Southern Mexican Pacific Reefs Due to 2023 El Niño Warming. *Oceans*, 5, 196-209.
- López-Pérez, A.; Guendulain-García, S.; Granja-Fernández, R.; Hernández-Urraca, V.; Galván-Rowland, L.; Zepeta-Vilchis, R.; López-López, D. (2016). Reef community changes associated with the 2009–2010 El Niño in the southern Mexican Pacific. *Pac. Sci.*70, 175–190.
- Magaña, V. (1999). Los Impactos de El Niño en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Magaña, V., & Ambrizzi, T. (2005). Dynamics of subtropical vertical motions over the Americas during El Niño boreal winters. *Atmósfera*, 18(4), 211-235.
- Magaña, V., J.A. Amador y S. Medina, 1999: The mid-summer drought over Mexico and Central America. *J. Climate*, 12, 1577-1588.

- Martínez, M. L., Intralawan, A., Vázquez, G., Pérez-Maqueo, O., Sutton, P., & Landgrave, R. (2014). The coasts of our world: Ecological, economic and social importance. *Ecological Economics*, 105, 254–270. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.06.002>
- Muñoz Torres, O. (2024). Prevé Conagua grave crisis de sequía para Michoacán en 2024. *El Sol de Morelia*. <https://oem.com.mx/elsoldemorelia/local/preve-conagua-grave-crisis-de-sequia-para-michoacan-en-2024-18872947>
- National Aeronautics and Space Administration. (2025). Aumento del nivel del mar. <https://ciencia.nasa.gov/resource/aumento-del-nivel-del-mar/>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2023). Understanding Ocean Acidification. <https://www.fisheries.noaa.gov/insight/understanding-ocean-acidification>
- Nava, H., López, N., Ramírez-García, P., & Garibay-Valladolid, E. (2021). Contrasting effects of the El Niño 2015-16 event on coral reefs from the central pacific coast of Mexico. *Marine Ecology*, 42, e12630.
- NTR Guadalajara. (2021, 2 de agosto). Subiría 2 metros nivel del mar en Vallarta. https://www.ntrguadalajara.com/post.php?id_nota=105186
- Organización de las Naciones Unidas. (2022). Nuestro planeta en peligro: Transformar los sistemas alimentarios para luchar contra el cambio climático. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/nuestro-planeta-en-peligro-transformar-los-sistemas>
- Organización del Tratado de Cooperación Amazónica. (2021). Análisis Diagnóstico Transfronterizo Regional de la Cuenca Amazónica (ADT). <https://otca.org/wp-content/uploads/2021/02/Analisis-Diagnostico-Transfronterizo-Regional-de-la-Cuenca-Amazonica-ADT.pdf>
- Organización Editorial Mexicana. (2025, 14 de febrero). Cambio climático y calentamiento global afecta temperatura de océanos chiapanecos. <https://oem.com.mx/diariodelsur/local/cambio-climatico-y-calentamiento-global-afecta-temperatura-de-oceanos-chiapanecos-14344063>
- Ortiz-Pérez, M. A., & Méndez-Linares, A. P. (2023). Sea level rise and coastal erosion in Tabasco, Mexico. **Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, *(109)*. <https://doi.org/10.14350/rig.81999>
- Pérez-Maqueo, O., Intralawan, A., & Martínez, M. L. (2007). Coastal disasters from the perspective of ecological economics. *Ecological Economics*, 63(1), 153–164. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.01.013>
- Probable Futures. (2025). Mapas de cambio climático. <https://probablefutures.org/es/maps/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2023). Representantes de la región participan en taller inaugural del Proyecto Pacífico Sostenible. <https://www.undp.org/es/costa-rica/comunicados-de-prensa/representantes-de-la-region-participan-en-taller-inaugural-del-proyecto-pacifico-sostenible>
- Reyes-Bonilla, H. 1987 coral reef bleaching at Cabo Pulmo reef, Gulf of California, Mexico. *Bull. Mar. Sci.* 1993, 52, 832–837
- Ruiz-Luna, A., Berlanga-Robles, C. A., & Hernández-Guzmán, R. (2021). La sequía de 2019 en localidades cañeras del norte de Oaxaca. Vulnerabilidad, prevención, adaptación y mitigación. *Sociedad y Ambiente*, (24), 1-23.
- Schlacher, T. A., Schoeman, D. S., Dugan, J., Lastra, M., Jones, A., Scapini, F., & McLachlan, A. (2007). Sandy beaches at the brink. *Diversity and Distributions*, 13(5), 556–560. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00359.x>
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2022). Estudio de los efectos del cambio climático en la cota de inundación del puerto de Lázaro Cárdenas, Michoacán. (Publicación Técnica No. 669). Instituto Mexicano del Transporte.

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2023). Inventario Nacional de Fuentes de Contaminación Plástica: Resumen Ejecutivo. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/817333/INFCP_RE_2023.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2017). Climate-Smart Agriculture in Chiapas, Mexico. https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a089dced915d3cfd00047a/CSA-en-Chiapas-Mexico_Spanish.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2024). Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación a la Sequía: Consejo de Cuenca de la Costa de Guerrero. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99927/PMPMS_CC_Costa_de_Guerrero.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2012). Estrategia Nacional de Cambio Climático: Visión 10-20-40.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2024). Diagnóstico Climático del Estado de Colima.
- Secretaría del Medio Ambiente de Michoacán. (2024). En sequía el 84% del territorio michoacano; cuida el agua con estas acciones diarias. <https://michoacan.gob.mx/>
- Semarnap, 2000. La gestión ambiental en México. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México. 374 pp.
- SEMARNAT-INECC (2012). Adaptación al cambio climático en México: visión, elementos y criterios para la toma de decisiones. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático-Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, México, D.F., Pág. 24 y 131
- Smithsonian Tropical Research Institute. (2015). La acidificación del océano y de los arrecifes. <https://stri.si.edu/es/noticia/la-acidificacion-del-oceano-y-de-los-arrecifes>
- Tecnología y Ciencias del Agua. (2024). Evaluación del riesgo por sequía hidrológica en áreas urbanas de México: Guadalajara y Monterrey. <https://revistatyca.org.mx/>
- The Ocean Foundation. (s.f.). Investigación de la acidificación del océano. <https://oceanfdn.org/es/investigaci%C3%B3n-de-la-acidificaci%C3%B3n-del-oc%C3%A9ano/>
- Toimil, A., Martín-López, B., Díaz, S., & Gershenson, C. (2020). Coastal risk assessment under climate change scenarios: A hybrid approach combining participatory methods and multi-criteria analysis. *Ocean & Coastal Management*, 190, 105170. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105170>
- Tovilla-Hernández, C., & Salas-Roblero, R. L. (2019). Los manglares del Pacífico Sur de México, situación actual y perspectivas para un Manejo Integral de la zona costera. In R. Silva Casarín & G. Azuz Adeath (Eds.), *Manejo costero en México* (pp. 322-353). Universidad Autónoma de Campeche.
- Tovilla-Hernández, C., De la Presa, P. J., & De la Cruz, M. G. (2013). Inventario y Monitoreo del Estado Actual de los Bosques de Manglar de Chiapas y Oaxaca. Sexto Informe del Proyecto. El Colegio de la Frontera Sur.
- Tudela, F. (1992). La modernización forzada del trópico: El caso de Tabasco: Proyecto integrado del Golfo. El Colegio de México.
- UDG TV. (2024). La sequía que viene... Para Jalisco. <https://udgtv.com/noticias/la-sequia-que-viene-para-jalisco/213765>
- Union of Concerned Scientists. (2023, 14 de febrero). Un nuevo análisis revela que el aumento en el nivel del mar representa una amenaza para la infraestructura de Estados Unidos indispensable para millones de personas y cientos de comunidades. <https://www.ucsusa.org/about/news/un-nuevo-analisis-revela-que-el-aumento-en-el-nivel-del-mar-representa-una-amenaza-para>

Universidad de Guadalajara. (2018). Jalisco ante el cambio climático, una visión a futuro. Instituto de Astronomía y Meteorología / Centro de Estudios Estratégicos para el Desarrollo.

Werner, A. D., & Simmons, C. T. (2009). Impact of sea-level rise on sea water intrusion in coastal aquifers. *Groundwater*, 47(2), 197–204. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2008.00535.x>