



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS



Maestría en Ciencias en Oceanografía Costera

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PÉRDIDA DE SERVICIOS
ECOSISTÉMICOS POR AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR:
UNA APROXIMACIÓN PARA EL ESTADO DE COLIMA, MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

PRESENTA:

ENRIQUE QUIROZ VILLANUEVA

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, ENERO DE 2025

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS
POSGRADO EN OCEANOGRAFIA COSTERA

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PÉRDIDA DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS
POR AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR: UNA APROXIMACIÓN PARA EL ESTADO
DE COLIMA, MÉXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

Presenta

ENRIQUE QUIROZ VILLANUEVA

Aprobada por:



Dra. Violeta Zetzangari Fernández Díaz
Directora de tesis



Dra. María Cristina Garza Lagler
Sinodal



Dra. Gabriela de Jesús Arreguín Rodríguez
Sinodal



Dr. Omar Darío Cervantes Rosas
Sinodal

Asunto: Voto aprobatorio sobre trabajo
de tesis de grado de Maestría

Dra. Ivone Giffard Mena

Coordinadora de Investigación y
Posgrado, F.C.M.
Presente

Estimada Dra. Giffard:

Me dirijo a usted en mi calidad de **Directora de tesis** encargada de revisar la tesis de Maestría presentada por el estudiante **Enrique Quiroz Villanueva**, como parte de los requisitos para obtener el grado de **Maestro en Ciencias** en Oceanografía Costera.

Tras llevar a cabo una revisión minuciosa y exhaustiva del trabajo mencionado, es mi deber informarle que he emitido mi **Voto Aprobatorio** sobre la tesis titulada:

ECOSISTEMAS COSTEROS EN EL LITORAL DE COLIMA: UNA APROXIMACIÓN A LA VALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS POR AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR.

He realizado esta revisión con el compromiso de asegurar que el trabajo cumple con los estándares de calidad y excelencia académica requeridos por nuestro programa de posgrado. Después de un análisis detenido, he llegado a la conclusión de que el trabajo de tesis satisface plenamente estos criterios y representa una contribución valiosa al campo de la Oceanografía Costera.

El trabajo exhibe una sólida base teórica, una metodología rigurosa y una presentación coherente de los hallazgos. Las referencias bibliográficas están actualizadas y pertinentes, y las figuras y tablas son claras y respaldan eficazmente los argumentos del texto. La sección de conclusiones proporciona un resumen sólido de los resultados y sus implicaciones, la referencias y citas están actualizadas y son pertinentes.

Ensenada, B. C., a 7 de enero de 2025

Atentamente,



Dra. Violeta Zetzangari Fernández Díaz
Directora de tesis

c.c.p. Expediente del alumno

Asunto: Voto aprobatorio sobre trabajo
de tesis de grado de Maestría

Dra. Ivone Giffard Mena

Coordinadora de Investigación y
Posgrado, F.C.M.
Presente

Estimada Dra. Giffard:

Me dirijo a usted en mi calidad de **Sinodal** encargada de revisar la tesis de Maestría presentada por el estudiante **Enrique Quiroz Villanueva** como parte de los requisitos para obtener el grado de **Maestro en Ciencias** en Oceanografía Costera.

Tras llevar a cabo una revisión minuciosa y exhaustiva del trabajo mencionado, es mi deber informarle que he emitido mi **Voto Aprobatorio** sobre la tesis titulada:

ECOSISTEMAS COSTEROS EN EL LITORAL DE COLIMA: UNA APROXIMACIÓN A LA VALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS POR AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR.

He realizado esta revisión con el compromiso de asegurar que el trabajo cumple con los estándares de calidad y excelencia académica requeridos por nuestro programa de posgrado. Después de un análisis detenido, he llegado a la conclusión de que el trabajo de tesis satisface plenamente estos criterios y representa una contribución valiosa al campo de la Oceanografía Costera.

El trabajo exhibe una sólida base teórica, una metodología rigurosa y una presentación coherente de los hallazgos. Las referencias bibliográficas están actualizadas y pertinentes, y las figuras y tablas son claras y respaldan eficazmente los argumentos del texto. La sección de conclusiones proporciona un resumen sólido de los resultados y sus implicaciones, la referencias y citas están actualizadas y son pertinentes.

Ensenada, B. C., a 7 de enero de 2025

Atentamente,



Dra. Gabriela de Jesús Arreguín Rodríguez

Sinodal

c.c.p. Expediente del alumno

Asunto: Voto aprobatorio sobre trabajo
de tesis de grado de Maestría

Dra. Ivone Giffard Mena

Coordinadora de Investigación y
Posgrado, F.C.M.
Presente

Estimada Dra. Giffard:

Me dirijo a usted en mi calidad de **Sinodal** encargada de revisar la tesis de Maestría presentada por el estudiante **Enrique Quiroz Villanueva** como parte de los requisitos para obtener el grado de **Maestro en Ciencias** en Oceanografía Costera.

Tras llevar a cabo una revisión minuciosa y exhaustiva del trabajo mencionado, es mi deber informarle que he emitido mi **Voto Aprobatorio** sobre la tesis titulada:

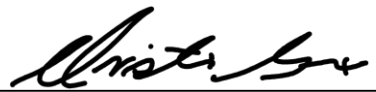
ECOSISTEMAS COSTEROS EN EL LITORAL DE COLIMA: UNA APROXIMACIÓN A LA VALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS POR AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR.

He realizado esta revisión con el compromiso de asegurar que el trabajo cumple con los estándares de calidad y excelencia académica requeridos por nuestro programa de posgrado. Después de un análisis detenido, he llegado a la conclusión de que el trabajo de tesis satisface plenamente estos criterios y representa una contribución valiosa al campo de la Oceanografía Costera.

El trabajo exhibe una sólida base teórica, una metodología rigurosa y una presentación coherente de los hallazgos. Las referencias bibliográficas están actualizadas y pertinentes, y las figuras y tablas son claras y respaldan eficazmente los argumentos del texto. La sección de conclusiones proporciona un resumen sólido de los resultados y sus implicaciones, las referencias y citas están actualizadas y son pertinentes.

Ensenada, B. C., a 7 de enero de 2025

A t e n t a m e n t e,



Dra. María Cristina Garza Lagler
Sinodal

c.c.p. Expediente del alumno

Asunto: Voto aprobatorio sobre trabajo
de tesis de grado de Maestría

Dra. Ivone Giffard Mena

Coordinadora de Investigación y
Posgrado, F.C.M.
Presente

Estimada Dra. Giffard:

Me dirijo a usted en mi calidad de **Sinodal** encargado de revisar la tesis de Maestría presentada por el estudiante **Enrique Quiroz Villanueva** como parte de los requisitos para obtener el grado de **Maestro en Ciencias** en Oceanografía Costera.

Tras llevar a cabo una revisión minuciosa y exhaustiva del trabajo mencionado, es mi deber informarle que he emitido mi **Voto Aprobatorio** sobre la tesis titulada:

ECOSISTEMAS COSTEROS EN EL LITORAL DE COLIMA: UNA APROXIMACIÓN A LA VALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS POR AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR.

He realizado esta revisión con el compromiso de asegurar que el trabajo cumple con los estándares de calidad y excelencia académica requeridos por nuestro programa de posgrado. Después de un análisis detenido, he llegado a la conclusión de que el trabajo de tesis satisface plenamente estos criterios y representa una contribución valiosa al campo de la Oceanografía Costera.

El trabajo exhibe una sólida base teórica, una metodología rigurosa y una presentación coherente de los hallazgos. Las referencias bibliográficas están actualizadas y pertinentes, y las figuras y tablas son claras y respaldan eficazmente los argumentos del texto. La sección de conclusiones proporciona un resumen sólido de los resultados y sus implicaciones, la referencias y citas están actualizadas y son pertinentes.

Ensenada, B. C., a 7 de enero de 2025

Atentamente,



Dr. Omar Darío Cervantes Rosas

Sinodal

Dedicatoria

Con todo mi amor y cariño, dedico esta tesis a mis padres, **Sandra Villanueva** y **Enrique Quiroz**, quienes con su amor incondicional, sacrificios y sabios consejos han sido mi mayor ejemplo y fortaleza. A mis hermanos, **Luis Quiroz** y **Miriam Carolina**, por su apoyo constante y por estar siempre a mi lado, alentándome a alcanzar mis metas.

A mis sobrinos, **Dylan Alexander** y **Keily Quiroz**, cuya alegría y dulzura iluminan mi vida y me inspiran a ser mejor. Y a **Dios**, Cuya guía y fortaleza espiritual me ha sostenido en este camino, permitiéndome superar los retos y alcanzar este sueño.

También dedico este logro a mis abuelitos, **Víctor Villanueva**, **Teresa Calvario** y **Felipe Quiroz** y a mi tía, quien fue también mi nana, **Julia Villanueva**, quienes ya no están en este mundo, pero cuyo amor y enseñanzas siguen siendo una luz en mi camino. De igual manera, a mi gran amigo y hermano, **Horacio Macías Ceballos**, a quien recuerdo con profundo cariño y gratitud por su compañía en esta vida.

Quiero que quienes lean esta dedicatoria sepan que este camino no ha sido fácil, especialmente cuando implica mudarse de ciudad o país, dejando atrás a familiares y seres queridos en el sueño de cumplir metas. Sin embargo, con esfuerzo y perseverancia puedo decir con certeza que si se puede.

Agradecimientos

Quiero iniciar expresando mi más profundo agradecimiento a la **Dra. Violeta Zetzangari Fernández Díaz**. Desde el momento en que le propuse realizar la maestría bajo su tutoría, me recibió con los brazos abiertos, confiando en mí y brindándome su apoyo incondicional. Dra., si está leyendo esto, quiero que sepa cuánto la aprecio y admiro. Siempre estaré profundamente agradecido por su confianza, conocimiento, hospitalidad y por su paciencia durante mi curva de aprendizaje. Muchas gracias por incluirme en eventos y conferencias. Es una excelente profesora, una destacada investigadora y, sin duda, será reconocida como una de las mejores de México y del mundo.

Extiendo también mi gratitud a mis sinodales: la **Dra. Gabriela Arreguín**, la **Dra. María Cristina** y el **Dr. Omar Darío Cervantes**. Sus valiosas aportaciones durante cada reunión fueron esenciales para enriquecer este trabajo y convertirlo en un aporte significativo. Un agradecimiento especial al **Dr. Omar**, quien ha confiado en mí desde la licenciatura, alentándome siempre a mejorar día a día. Estoy eternamente agradecido por su guía y apoyo constante.

Quiero agradecer a la **Facultad de Ciencias Marinas** y a la **Universidad Autónoma de Baja California** por ofrecerme un espacio en su hermosa facultad para crecer académicamente. Gracias por contar con profesores altamente capacitados en sus

respectivas áreas de investigación y por el valioso trabajo de su equipo administrativo, quienes realizan una labor significativa en beneficio de la comunidad estudiantil.

Finalmente, agradezco al **Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONACyT)** por su apoyo financiero como estudiante de posgrado, con el número de becario 1095525. Su respaldo fue fundamental para la realización de este proyecto.

Y no podía despedirme sin expresar mi agradecimiento a una persona especial, la **Licda. Yarely Vázquez**, quien desde mi llegada a la ciudad de Ensenada me brindó un apoyo emocional invaluable y, sobre todo, su cariño. Te quiero y siempre te llevaré conmigo.

Y, por último, agradecer a mis amigos a la **Dra. Carolina Balbuena** y al **Maestro. Cristian Sandoval**, quienes hicieron que mi estadía en Ensenada fuera más llevadera y llena de momentos inolvidables. Gracias por todo.

Contenido

Dedicatoria	I
Agradecimientos.....	II
Resumen	V
Capítulo 1. Introducción general	1
1.1 Zona costera	1
1.2 Ecosistemas costeros y servicios ecosistémicos	1
1.3 Proyecciones del aumento del nivel del mar y su impacto en	3
ecosistemas costeros.....	3
1.4 Valuación económica de los servicios ecosistémicos	4
1.5 Valuación económica de los servicios ecosistémicos en México	5
1.6 Importancia y valuación económica de los ecosistemas costeros	6
en Colima frente al aumento del nivel del mar	6
Capítulo 2. Resultados sometidos a la revista Ocean & Coastal Management	8
3. Conclusiones generales	9
4.Referencias bibliográficas	10

Resumen

El presente estudio evalúa la pérdida de servicios ecosistémicos costeros (SEC) del estado de Colima, México, ante escenarios de aumento del nivel del mar proyectados hacia el horizonte 2100. Se analizaron playas, dunas y manglares, ecosistemas fundamentales por su contribución a la protección costera y como hábitats esenciales para la biodiversidad marina. Empleando escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5 del IPCC, un Modelo Digital de Elevación (DEM) de alta resolución y el método *Bathtub*, se identificaron áreas potenciales de inundación costera. Los resultados indican que hasta 9,437 hectáreas podrían perderse bajo el escenario más severo (SSP5-8.5), afectando principalmente al municipio de Manzanillo. Para cuantificar la potencial pérdida económica de SEC, se utilizó el método de transferencia de beneficios. La pérdida del servicio de protección contra tormentas en el sistema playa-duna se estima entre \$8.5 millones y \$13.9 millones USD anuales, mientras que la pérdida del hábitat y refugio en manglares representa entre \$1.8 millones y \$2.0 millones USD anuales. Estos resultados representan la primera línea base local sobre los impactos económicos del aumento del nivel del mar en los ecosistemas costeros de Colima, proporcionando información sólida para la formulación de estrategias de manejo y adaptación.

Palabras clave: servicios ecosistémicos, aumento del nivel del mar, valuación económica, playas y dunas, manglares, Colima.

Capítulo 1. Introducción general

1.1 Zona costera

La zona costera es un espacio dinámico determinado por la interfaz continente, océano y atmósfera. Estas áreas costeras son de suma importancia para la humanidad, ya que más del 60% de la población mundial viven en ellas, lo que claramente demuestra su relevancia. Además, el 65% de las ciudades con más de 2.5 millones de personas de habitantes se ubican a lo largo de las costas, las cuales presentan una densidad de población el doble de alta que las áreas del interior. Es destacable que alrededor del 80% de la población total de más de la mitad de los países costeros reside a menos de 100 km de la línea de costa (McGranahan et al., 2007; Azuz & Riviera-Arriaga, 2009; De Andrés & Barragán, 2016; Magalhães et al., 2022).

1.2 Ecosistemas costeros y servicios ecosistémicos

Los ecosistemas costeros presentes en estas áreas son reconocidos por su alta productividad, resultado de la diversidad de hábitats que albergan. Estas áreas desempeñan un papel fundamental en la alimentación de numerosas especies de peces y otros organismos (Lara- Lara et al. 2008). Además de su importancia ecológica, estos ecosistemas ofrecen un valor significativo debido a la amplia gama de servicios que brindan a

los seres humanos, entre ellos, la protección natural contra eventos hidrometeorológicos y las inundaciones costeras. Estos servicios, conocidos como servicios ecosistémicos (SE), se refieren a las condiciones y procesos mediante los cuales los ecosistemas costeros y las especies que los conforman contribuyen al mantenimiento y bienestar de la vida humana (Avendaño et al. 2019). En otras palabras, los SE representan los beneficios que las personas y la sociedad obtienen de los ecosistemas en los que dependen. Estos servicios se pueden clasificar en cuatro categorías principales: servicios de provisión (producto obtenido de los ecosistemas), servicios de regulación (beneficios derivados de la regulación de los procesos ecosistémicos), servicios culturales (beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas) y servicios de soporte (servicios necesarios para la producción de otros servicios ecosistémicos) (Avendaño et al., 2019; Contreras del valle & Starnfeld, 2022). Los SE y sus valores asociados son de suma importancia para la vida y el bienestar humano, tanto para las comunidades que residen en zonas costeras como para las economías nacionales y el comercio global. No obstante, estos servicios son vulnerables al aumento del nivel del mar derivado del calentamiento Global (Magalães et al., 2022).

1.3 Proyecciones del aumento del nivel del mar y su impacto en ecosistemas costeros

En el Sexto Informe de Evaluación (AR6) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) se presentan distintos escenarios futuros ante el cambio climático, destacando el SSP5-8.5 como el más preocupante, con aumento del nivel del mar de 1 metro para finales de siglo (IPCC, 2022b). Investigaciones adicionales, como la de (Hartley Charlotte, 2020), advierten sobre la posibilidad de un aumento del nivel del mar de hasta 3 metros para el mismo horizonte (2100), debido al potencial colapso de la capa de hielo de la Antártida. Estas proyecciones representan nuevos desafíos para la preservación de los ecosistemas costeros, ya que el aumento del nivel del mar agravará las inundaciones costeras y la erosión vulnerando la disponibilidad de espacio futuro y amenazando la funcionalidad de los ecosistemas y la estabilidad de las comunidades que dependen de ellos (Nicholls & Cazenave, 2010; Asmus et al. 2019). Además, la degradación y pérdida de los ecosistemas costeros se ve impulsada por la rigidización de la costa, planificación territorial deficiente, explotación desmedida de recursos naturales, lo que disminuye su capacidad de resiliencia (Masucci & Reimer, 2019; Quiroz-Villanueva et al. 2022).

Estas proyecciones no solo subrayan los riesgos para la estabilidad de los ecosistemas costeros y las comunidades humanas, sino que también evidencian la necesidad de estrategias concretas para anticipar y mitigar

estos impactos. En este contexto, la identificación de los ecosistemas costeros que podrían verse afectados por inundaciones debido al aumento del nivel del mar en las próximas décadas es de vital importancia para obtener una sólida base de información sobre las posibles pérdidas en los valores económicos de los SE a lo largo del tiempo, así como desarrollar medidas de mitigación (de Lima et al., 2021). Una técnica utilizada para identificar las áreas propensas a inundaciones es la técnica *Bathtub* descrito por Afanador y Ruiz en 2009 (Afanador y Ruiz, 2009).

1.4 Valuación económica de los servicios ecosistémicos

La valuación económica de los SE es una herramienta fundamental para asegurar que los beneficios que la naturaleza proporciona a la sociedad sean tomados en cuenta en la formulación de políticas públicas efectivas. Estimar el valor económico de los SE reviste gran importancia, ya que brinda información esencial a los encargados de tomar decisiones. Al asignar un valor monetario a estos servicios, se le permite comprender y comparar los beneficios que ofrecen en relación con otras opciones de desarrollo o inversión. Asimismo, contribuye a generar conciencia sobre la importancia de los ecosistemas costeros.

La valuación económica implica evaluar las compensaciones asociadas. En otras palabras, el valor de estos servicios refleja el intercambio que la sociedad está dispuesta a realizar para preservar estos recursos

naturales. Por lo tanto, se utilizan diversos métodos de valuación económica que permiten asignar un valor monetario a los ecosistemas (Magalhães et al. 2022; Fernández et al. 2022). Un método utilizado para la valuación económica es la transferencia de valores, la cual se refiere a la adaptación de información derivada desde una investigación original para la aplicación de ésta en un contexto diferente de estudio (Múnera, 2006).

1.5 Valuación económica de los servicios ecosistémicos en México

México cuenta con una extensa línea costera de 11, 592.77 km, que incluye, 567, 300 ha de superficie estuarina, así como una gran diversidad de hábitats acuáticos y costeros que enriquecen su valiosa riqueza ecológica. Los arrecifes, lagunas, dunas costeras, pantanos y manglares representan los entornos más productivos en términos de biodiversidad (Castañeda et al. 2003).

La abundancia de ecosistemas ha impulsado a diferentes estudios enfocados en la identificación y valoración económica de sus SE (Camacho et al. 2013, INECC, 2020; Fernández et al. 2022). Sin embargo, se han identificado limitaciones en la consideración de escenarios de aumento del nivel del mar debido al cambio climático para valorar la posible pérdida económica de los SE. A nivel nacional, destaca el trabajo realizado por Fernández et al. (2022), quienes llevaron a cabo

una valoración de los SE en todo el litoral de México, centrándose especialmente en los estados más afectados. No obstante, es importante destacar que aún no se han realizado estudios específicos con datos más detallados y enfoque en estados como Colima, donde los posibles impactos regionales locales podrían ser significativos debido al aumento del nivel del mar.

1.6 Importancia y valuación económica de los ecosistemas costeros en Colima frente al aumento del nivel del mar

En este sentido, es relevante mencionar que Colima cuenta con la laguna de Cuyutlán, considerada el segundo cuerpo laguna más importante del Pacífico debido a la riqueza proporcionada por los manglares que habitan, así como por sus respectivas dunas costeras que ofrecen protección natural contra fenómenos hidrometeorológicos como los huracanes (Martínez et al., 2014). A pesar de la importancia de estos ecosistemas y de los posibles impactos que podrían enfrentar, aún no se han realizado estudios con datos más precisos y enfoque regional. Por lo que, en esta investigación, se presentarán los resultados de una aproximación a la valuación económica de los SE proporcionados por las dunas costeras, playas y manglares en la zona costera de Colima, México. Asimismo, los escenarios proyectados de aumento del nivel del mar para finales de siglo (2080-2100), están establecidos por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) en

su último informe de evaluación (AR 2021). El objetivo principal de esta investigación es generar información de línea base que contribuya y fortalezca la toma de decisiones y la formulación de políticas públicas orientadas a la conservación de los ecosistemas costeros del estado de Colima, así como a la protección de sus servicios y al bienestar de los habitantes de la región. Se busca proporcionar datos relevantes que ayuden a comprender y abordar los posibles impactos del aumento del nivel del mar en estos ecosistemas.

Capítulo 2. Resultados sometidos a la revista Ocean & Coastal Management

Ocean and Coastal Management

Economic appraisal of coastal ecosystem services loss by sea level rise: the first approach for Colima, México

--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	OCMA-D-24-02314
Article Type:	Research Paper
Keywords:	Coastal ecosystem services; sea level rise; beach and dune system; mangroves; economic valuation
Corresponding Author:	Violeta Z. Fernández-Díaz Autonomous University of Baja California Ensenada, MEXICO
First Author:	Quiroz-Villanueva Enrique
Order of Authors:	Quiroz-Villanueva Enrique
	Violeta Z. Fernández-Díaz
	María Cristina Garza-Lagler
	Gabriela J. Arreguín-Rodríguez
	Omar Cervantes
Abstract:	Coastal ecosystems are crucial to human welfare, but they deal with increasing threats associated to climate change and human activities menacing their preservation. Here we show the results of a first valuation of beach, dune and mangrove ecosystem services loss in Colima, Mexico. Based on the IPCC Sixth Assessment Report SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios of sea level rise by 2100, digital terrain models and the Bathtub method, we identify and quantify future coastal flood extensions. By applying the benefit transfer method, we estimate the losses of storm buffering in beaches and dunes, as well as habitat and breeding grounds in mangroves. Our results indicate a potential loss up to 9,437 ha of coastal areas under the SSP5-8.5 scenario, on which Manzanillo is the most affected municipality, followed by Tecoman and Armeria. The economic valuation of the potential loss of beach-dune system and mangrove ecosystem services is estimated between 8.5 USD millions/yr under the SSP2-4.5 scenario, and up to 15.9 USD millions/yr under the SSP5-8.5 scenario. These results pioneer on the region and constitute a first knowledge baseline, which should be enhanced in order to improve public policies prioritizing the conservation of coastal ecosystem and allowing the beginning of an ordered urban growth on the Colima coastal littoral.
Suggested Reviewers:	

Highlights

1. These results are pioneering on the region and constitute a first knowledge baseline on this topic in Colima, Mexico.
2. Up to 9,437 ha of coastal littoral may be flooded in Colima by sea level rise by 2100.
3. Estimated total loss of up to \$15.9 million/year.
4. These results should be enhanced in order to improve public policies prioritizing the conservation of coastal ecosystem in the region, but must be improved with integrative valuations.

Economic appraisal of coastal ecosystem services loss by sea level rise: the first approach for Colima, Mexico

Quiroz-Villanueva Enrique ^a, Violeta Z. Fernández-Díaz ^{a*}, María Cristina Garza-Lagler ^b, Gabriela J. Arreguín-Rodríguez ^a, Omar Cervantes ^c

^a Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Carretera Tijuana-Ensenada 3917 Fraccionamiento Playitas, 22860, Ensenada, México.

^b Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas 46, Col. La Victoria, 83304, Hermosillo, México.

^c Facultad de Ciencias Marinas, Universidad de Colima, Carretera Manzanillo-Barra de Navidad, El Naranjo, 28868, Manzanillo, México.

Corresponding author: Violeta Z. Fernández-Díaz violeta.fernandez@uabc.edu.mx

Abstract

Coastal ecosystems are crucial to human welfare, but they deal with increasing threats associated to climate change and human activities menacing their preservation. Here we show the results of a first valuation of beach, dune and mangrove ecosystem services loss in Colima, Mexico. Based on the IPCC Sixth Assessment Report SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios of sea level rise by 2100, digital terrain models and the Bathtub method, we identify and quantify future coastal flood extensions. By applying the benefit transfer method, we estimate the losses of storm buffering in beaches and dunes, as well as habitat and breeding grounds in mangroves. Our results indicate a potential loss up to 9,437 ha of coastal areas under the SSP5-8.5 scenario, on which Manzanillo is the most affected municipality, followed by Tecoman and Armeria. The economic valuation of the potential loss of beach-dune system and mangrove ecosystem services is estimated between 8.5 USD millions/yr under the SSP2-4.5 scenario, and up to 15.9 USD millions/yr under the SSP5-8.5 scenario. These results pioneer on the region and constitute a first knowledge baseline, which should be enhanced in order to improve public policies prioritizing the conservation of coastal ecosystem and allowing the beginning of an ordered urban growth on the Colima coastal littoral.

Keywords: Coastal ecosystem services, sea level rise, flooding, beach and dune system, mangroves, economic valuation.

1. Introduction

Hastened degradation of coastal ecosystems (e.g., sand beaches, dunes and mangroves) is a threat for preservation of coastal ecosystem services (CES), such as food provisioning, protection against floods, habitat and refuge for species, and recreation (Costanza et al. 1997; Marshall et al. 2014; Magalhães Filho et al. 2022b; Tang et al. 2023). The importance of coastal ecosystems and their CES for society welfare is well documented and is globally recognized (Costanza et al. 1997; Daily, 1997; Barbier et al. 2011; Aktürk & Güneroğlu, 2021), thus these ecosystems stand out as options for natural coastal protection and adaptation in light of the adverse effects of climate change, such as sea level rise (Ondiviela et al. 2014; Baustian et al. 2020; Ruckelshaus et al. 2020; Hagedoorn et al. 2021).

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) show, on its Sixth Assessment Report (AR6), distinct future climate change scenarios, highlighting the SSP5-8.5 as the most concerning scenario, with 1 m sea level rise by the end of the century (IPCC, 2022b). Additional research points out probable sea level rise up to 3 meters by the same time (2100), due to the potential collapse of Antarctic ice sheet (Hartley Charlotte, 2020). These projections represent new challenges for coastal ecosystem preservation since the sea level rise will exacerbate coastal flooding and erosion, affecting the available space and threatening the ecosystem functionality, as well as the stability of communities depending on them (Nicholls & Cazenave, 2010; Asmus et al. 2019; IPCC, 2022a). Furthermore, degradation and loss of coastal ecosystems are enhanced by coastal hardening, bad territorial-planning, and excessive exploitation of natural resources, which decrease their resilience capacity (Masucci & Reimer, 2019; Quiroz-Villanueva et al. 2022).

Considering that more than 60% of world population lives on coastal areas and that their welfare is linked, directly or indirectly, to the multiple benefits of these ecosystems, it is mandatory to maintain their ecological functions (De andrés & Manuel Barragán, 2016; Magalhães Filho et al. 2022b). Therefore, it is important to support their management and conservation through several strategies. For instance, by estimating economic valuations, i.e., assigning value or price to an asset, service or resource, which in this case are the ecosystem

services (Costanza et al. 1997). This method allows to identify the CES values as a reflection on the amount that the society is willing to pay in order to preserve their benefits (de Groot et al. 2012).

There are several methodologies for CES valuation, each one being adapted to specific contexts and goals (Barbier, 2007; Oropeza-Aburto et al. 2008; Adhikari et al. 2010; Kauffman, 2011; Marlianingrum et al. 2021; Moonsammy et al. 2022; Bhavan et al. 2023). The benefit transfer method is widely used, taking into account that similar ecosystems may have equivalent economic values, which could be adjusted for distinct locations and scales (Richardson et al. 2015). This assumption significantly reduces cost and time of analysis (Liu et al. 2010; Mendoza-González et al. 2012; Camacho-Valdez et al. 2013).

Mexico is vulnerable to climate change and sea level rise by its geographic location (Silva et al. 2014); however, studies focused on the economic valuation of CES loss by flood and sea level rise are scarce on the country (Fernández-Díaz et al. 2022). Since Mexico has a large coastal extension, high diversity of coastal ecosystems and wide range of economic and cultural activities link to the coast, it is necessary that economic valuations of CES have a local and regional approach, allowing a better understanding of potential consequences and the implementation of specific actions (FitzGerald et al. 2008; Villatoro et al. 2014).

Colima is located at the Pacific littoral of Mexico, displaying ≈ 140 km of coast characterized by low topographic elevations surrounded by mountain areas, distributed between Tecoman, Armeria and Manzanillo municipalities (INEGI, 2017) (Figure 1), and by the remarkable occurrence of mangroves, beaches and dunes. The Cuyutlan Lagoon, being the second most important lagoon of the Mexican Pacific, is located in Colima. Its relevance relays on the high fisher productivity associated to the presence of mangroves (such as white mangrove *Laguncularia recemosa*, red mangrove *Rhizophora mangle*, and black mangrove *Avicennia germinans*; Torres et al. 2014), which support hundreds of families by providing employment, thus significant income in the region (Rodríguez, 2023). Diverse industrial and commercial activities take place in this lagoon, which is also considered as a RAMSAR site because it is habitat for vulnerable species of migratory and water-birds (CONAGUA, 2012; Padilla & Sotelo, 2016).

Figure 1. Digital coastal elevation model of study area and sites of interest.

Beach tourism is among the most important income sources in the region. The economic spill-over of tourism, considering only hotel occupancy in the Colima state, has generated an income of 5,000 million of Mexican pesos per year in less than a decade (Gobierno del Estado de Colima, 2024), indicating the relevance of beaches and its services for the economy in the state.

Coastal ecosystems in Colima (as worldwide ecosystems) face challenges caused by coastal squeeze, climate change and sea level rise, being at the risk the future use of CES and affecting both sustainability and welfare of the communities (CONABIO, 2016; Cervantes et al. 2022; IPCC, 2022a). Therefore, here we show the results of a first valuation of potential loss of the CES from the beach-dune system and mangroves in the coastal zone of Colima, where rates of sea level rise are similar to the global ones (Zavala-Hidalgo et al. 2011) and where valuations of regional CES loss are almost null. These results represent the first knowledge baseline for Colima, which will allow the development of future research and support the improvement of conservation and management strategies for these coastal ecosystems, adapted to local and regional priorities and necessities.

2. Methodology

The methodological process here followed for the economic valuation of CES consists of two main phases splitting in a sequence of linked steps (Figure 2).

Figure 1. Synthesized diagram of the proposed methodological process for the economic valuation of CES loss due to flooding by sea level rise.

2.1 Phase 1. Coastal ecosystems: spatial distribution and potential flood-prone areas

In order to identify flood-prone ecosystems, we employ geoprocessing tools to create a Digital Elevation Model (DEM) of the Colima coast using LIDAR data with 5m horizontal resolution taken from the Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, nd) of

Mexico. We characterized the studied area by digitalizing the presence and spatial distribution of beach-dune and mangrove ecosystems at high-resolution, considering land-use and vegetation databases from previous studies and official governmental sources (CONABIO, 2016; Espejel et al. 2017).

For delimiting flooding extent, two scenarios (A and B) with a total water-sheet of 1.80 m and 2 m respectively were established. These scenarios take into account the “middle of the road” SPP2-4.5 (0.8 m) and the “high-emission” SSP5-8.5 (1 m) sea level rise projected by 2100, obtained from the Sea Level Projections Tool (NASA & IPCC, 2021) for the Manzanillo station, and the maximum high-tide recorded (1 m) on the Manzanillo tide gauge station reported by the Secretaría de Marina of Mexico (Secretaría de Marina, nd). We identify flood-prone areas applying the Bathtub or “bucket-fill” method (Afanador & Ruíz, 2009), which assumes a consistent water level increase over a specific topography, considering as prone to flooding those areas characterized by topographic levels with equal or lower values than those of the applied flood-scenario. Even though this method does not include hydrodynamic effects such as wave propagation or the gradual sea level rise, it provides a useful approach for large littoral areas, due to its simplicity and low computational cost (Williams & Lück-Vogel, 2020; de Lima et al. 2021; Fernández-Díaz et al. 2022). The obtained results allowed us to generate maps of beach, dunes and mangroves from the Colima littoral that are prone to flooding, and to quantify their extensions.

2.2 Phase 2. Economic valuation of CES loss

We obtained an approach to the economic valuation of storm buffering for the beach-dune system, as well as habitat, refugee and nursery services for mangroves in Colima through the benefit transfer method. These CES were selected considering the environmental and social characteristics of the Colima coast and their direct link to the main economic activities benefiting local and regional population.

The base values applied on the benefit transfer method were obtained from a revision of 28 studies found on databases such as EVRI, BlueValue and Scopus. Those studies analyzed the same CES at other locations, including America (Mexico, USA, El Salvador, Costa Rica), Asia (Philippines and Thailand), Africa (Kenya) and Europe (Netherlands), but with similar conditions to our study area. Since such studies vary in time and foreign currency depending

on the country, we normalize the CES values and quantify the cost by hectare of the ecosystems identified as prone to flooding under the established scenarios. We adjust the costs to US Dollars (US\$) by the intermediary of the Consumer Price Index (CPI) and the Purchasing Power Parity (PPP) in 2022, in accordance with the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD).

The equation used for standardize the economic values is expressed as:

$$ESV = \frac{\left(\frac{value}{CPI}\right) \times 100}{PPP} \times USA\ PPP \quad (\text{equation 1})$$

Where:

ESV = ecosystem service value on US Dollars.

Value = it represents the original annual economic value on the original currency of the corresponding study.

CPI = inflation index of the source data measured by the Consumer Price Index in 2022.

PPP = Purchasing Power Parity between the original currency and the US Dollars in 2022.

USA PPP = reference to convert the standardized value to US Dollars.

The average economic values obtained for each of the CES analyzed are shown in Table 1.

Table 1. Average economic values of the CES in 2022.

COASTAL ECOSYSTEM	ECOSYSTEM SERVICES	AVERAGE VALUATION (2022) US\$ HA ⁻¹ YEAR ⁻¹
BEACH- DUNE	Storm buffering	54,489.62
MANGROVE	Habitat, refuge and nursery	1,002.01

3. Results

3.1 Spatial distribution of coastal ecosystems in Colima

A total of 2,200 ha of beach-dune system are distributed along the Colima littoral, most of which are concentrated in Manzanillo (1,539 ha equivalent to the 70% of the total extent).

More than 40% of dunes in Manzanillo are located at the north, from Peña Blanca up to El Coco. At the southern part, they are placed at El Eden beach, adjacent to the Cuyutlan Lagoon. The remaining dunes are distributed on beaches at the Manzanillo Bay. In Armeria, the dunes are mostly gathered at Paraiso beach and Cuyutlan; whereas in Tecoman, most of them are in the southern part, at Chupadero, Tecuanillo and Boca de Apiza beaches (Figure 3).

Mangrove ecosystem covers 6,025 ha of the Colima coast, most of them situated in Manzanillo (64% of the total extent in Colima). The Cuyutlan Lagoon accumulates almost 30% of the mangroves in the state, which are distributed between Manzanillo and Armeria due to the political division of the territory. Other relevant mangroves from Manzanillo are found in the Juluapan Lagoon and Valle de las Garzas. Mangroves in Tecoman, located specifically at Boca de Apaiza, Tecuanillo, El Chupadero and Boca de Pascuales, represent 30% of total mangroves in Colima (Figure 3).

The spatial distribution of both ecosystems (beach-dunes and mangroves) at each municipality and the total extent in the Colima state is shown in Table 2. It is noteworthy that the coverage of mangroves in Colima is almost three times higher than beaches and dunes.

Figure 2. Spatial distribution of beach-dune and mangroves ecosystems along the coast of Colima. Municipalities are denoted by letters: A and B correspond to Manzanillo, C to Armeria, and D to Tecoman.

Table 2. Distribution and quantification of beach-dune and mangrove ecosystems in coastal municipalities of the Colima state, Mexico.

MUNICIPALITY	BEACH-DUNE ECOSYSTEM (HA)	% OF TOTAL BEACH- DUNE	MANGROVE ECOSYSTEM (HA)	% OF TOTAL MANGROVE
MANZANILLO	1,539	70	3,863	64
ARMERIA	372	17	364	6
TECOMAN	289	13	1,798	30
TOTAL (STATE)	2,200	100	6,025	100

1
2
3
4 191 **3.2 Identification and quantification of areas prone to flooding**

5
6 192 A total of 8,459 ha of the Colima coast are prone to flooding under scenario A, and 9,437 ha
7
8 193 under scenario B. Manzanillo is the municipality with a major extent of coast prone to
9
10 194 flooding, identifying 4,412 ha as potentially affected areas under scenario A and 4,705 under
11
12 195 scenario B. The extent of the areas prone to flooding in Armeria covers 2,882 ha under
13
14 196 scenario A, and increase up to 3,055 ha under scenario B, being the second municipality with
15
16 197 major potential loss of coastal areas. In Tecoman, 1,165 ha were identified as prone to
17
18 198 flooding under scenario A, increasing rising to 1,677 ha at the scenario B. Overall, the
19
20 199 scenario B shows an increase of potential flooding areas by sea level rise of about 6.7% in
21
22 200 Manzanillo, 6% in Armeria and up to 44% in Tecoman (Figure 4; Table 3). In particular,
23
24 201 7,172 ha of the Cuyutlan Lagoon are prone to flooding under scenario A, while the affected
25
26 202 areas cover 7,712 ha under scenario B, which indicates a difference of 540 ha between both
27
28 203 scenarios (Figure 4).
29
30 204

31 205 Table 1. Potential hectares to be flooded in coastal municipalities: increase between scenario A and scenario B.

32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45

MUNICIPALITY	SCENARIO A (HA)	SCENARIO B (HA)	INCREASE (%) SCENARIO B OVER A
MANZANILLO	4,412	4,705	6.7
ARMERIA	2,882	3,055	6
TECOMAN	1,165	1,677	44
TOTAL	8,459	9,437	11.6

46
47

48 207 Figure. 3 Potential flood areas under sea-level rise scenarios A and B by 2100. Municipalities are divided by
49 208 letters A and B represent Manzanillo, letter C represents Armeria, and letter D represents Tecoman.
50
51
52
53 209

54
55 210 Our results show that major extensions of the Colima coastal area are prone to flooding by
56
57 211 sea level rise, being scenario B the riskiest one, which point out that 9,437 ha will be
58
59 212 potentially affected. Fernández et al. (2022), however, suggested that only 3,897 ha will be
60
61
62
63
64
65

potentially flood in Colima by a sea level rise of 2 m. Thus, a discrepancy between their results and ours is evident (5,540 ha), which may be attached to the DEM resolution (30 m) used in Fernandez et al. (2022), i.e., a lower resolution contributes to a lower topographic precision and to an underestimation of the prone to flooding area. This highlights the necessity to carry out this kind of analysis at local level.

3.3 Identification and quantification of coastal ecosystems prone to flooding

Beach-dune ecosystem

It has been estimated a total of 156 ha of beach-dune ecosystem prone to flooding under scenario A and 182 ha under scenario B, corresponding to the 7% and 8% of the total extent of such ecosystem in the Colima state, respectively.

Figure 5. Projected flooding for beach-dune ecosystem in Colima, under scenarios A and B by 2100.

Tecoman is the municipality with larger area of beach-dune system prone to flooding by sea level rise, considering that a total of 95 ha will be potentially affected under scenario A, which corresponds to the 33% of the total extent of beach dune in such municipality. Under scenario B, 106 ha are prone to flooding, representing 37% of the beach-dune system in Tecoman. The flood is more notable in Boca de Pascuales, El Real, Tecuanillo, El Chupadero and Boca de Apiza. The second municipality most affected by flooding of beach-dune ecosystem is Armeria, where 17 ha have been estimated to be flooded under scenario A (5% of the total extent of beach-dunes in Armeria), and 25 ha under scenario B (7% of the total). Manzanillo shows the lower extent of beach-dune prone to flooding, considering the total extent of such ecosystem in the municipality. For instance, a total of 44 ha of beach-dune are prone to flooding in Manzanillo under scenario A, representing only 3% of the total extent of the ecosystem in such municipality (1,539 ha); whereas 52 ha are estimated to be affected under scenario B (4% of the total extent). The northern part of this municipality, including beaches such as El Coco, Oro, Peña Blanca and Manzanillo bays, stand out as the most affected. In the southern location, the damage spreads towards the sand bar of the Cuyutlan Lagoon.

Table 2. Beach-dune ecosystem flooding areas by municipality under sea-level rise scenarios A and B by 2100.

MUNICIPALITY	TOTAL BEACH-DUNE (HA)	SCENARIO A FLOODED BEACH-DUNE (HA)	SCENARIO B FLOODED BEACH-DUNE (HA)
MANZANILLO	1,539	44 (3%)	52 (4%)
ARMERIA	372	17 (5%)	24 (7%)
TECOMAN	289	95 (33%)	106 (37%)
TOTAL	2,200	156 (7%)	182 (8%)

The fact that Tecoman and Armeria will be potentially more affected by flooding of beach and dunes than Manzanillo is correlated to the coastal geomorphology of Colima. Both Tecoman and Armeria are characterized by sandy beaches, whereas Manzanillo shows bays surrounded by cliffs.

Mangrove ecosystem

In Colima, a total of 1,840 ha of mangrove are prone to flooding as consequence of sea level rise under scenario A, corresponding to the 31% of the total mangrove in the state (Figure 6). The potential affected area increases up to 2,034 ha under scenario B (34% of total mangroves).

Figure 6. Projected flooding for mangrove ecosystem in Colima, under scenarios A and B by 2100.

Manzanillo shows the largest extent of mangroves in Colima, of which 1,134 ha are prone to flooding under scenario A (29% of total mangroves in Manzanillo), and 1,186 ha under scenario B (31% of the total). The most potentially affected mangroves are the ones located at the Cuyutlan Lagoon, at the southern part of Manzanillo. In Tecoman, the second municipality with larger number of mangroves, the sea level rise will potentially cause flooding of 499 ha under scenario A (28% of total mangroves in Tecoman), and 629 ha under

scenario B (35% of the total). The most affected regions are some estuaries such as Boca de Pascuales, Tecuanillo and El Chupadero. The major percentage of mangroves prone to flooding are recorded in Armeria, in spite of its lower extent of mangroves with respect to the other municipalities. A total of 207 ha of mangroves in Armeria will be potentially flooded under scenario A, and 219 ha under scenario B, corresponding to the 57% and 60% of total mangroves in such municipality (Table 5).

Table 3. Mangrove flooding areas by municipality under sea-level rise scenarios A and B by 2100.

MUNICIPALITY	TOTAL MANGROVE (HA)	SCENARIO A FLOODED MANGROVE (HA)	SCENARIO B FLOODED MANGROVE (HA)
MANZANILLO	3,863	1,134 (29%)	1,186 (31%)
ARMERIA	364	207 (57%)	219 (60%)
TECOMAN	1,798	499 (28%)	629 (35%)
TOTAL	6,025	1,840 (31%)	2,034 (34%)

Overall, our results indicate that mangrove ecosystem is the most prone to flooding. This is explained by the major extension of mangroves in Colima regarding beach-dune system (Table 2), but also by their distribution, i.e., since mangroves are located in lowlands, they are more susceptible to be flooded by sea level rise.

3.4 Economic valuation of the CES loss

Considering that the identified prone to flooding areas are susceptible to degradation or loss, we value the economic loss of their CES (Table 6). The potential loss of storm buffering by sea level rise in Colima beaches and dunes, implies a total cost of 8,500,381 USD/yr under scenario A, increasing up to 13,892,549 USD/yr under scenario B. Tecoman shows the higher costs associated to the loss of this CES, recording 61% of the total cost in the state under scenario A, and 70% under scenario B, followed by Manzanillo and Armeria. The cost of the

loss of storm buffering in Manzanillo corresponds to 28% and 20% of the total cost in Colima, under scenarios A and B, respectively; whereas the loss of such CES in Armeria corresponds to 11% and 9% of the total cost in Colima under the same scenarios (Table 6).

Moreover, the potential loss of CES from mangroves (e.g., habitat, refugee and nursery services) represents a total cost of 1,843,698 USD/yr under scenario A and 2,038,088 USD/yr under scenario B. In this case, Manzanillo shows the higher economic loss, corresponding to 62% of the total cost in Colima under scenario A and 58% under scenario B. The cost of CES loss from mangroves in Tecoman represents 27% and 31% of the total cost in the state under scenarios A and B, respectively. In Armeria, the economic loss for both scenarios is similar (11% of the total cost in Colima), being the least affected municipality by the loss of habitat, refugee and nursery services (Table 6).

Table 4. Estimated monetary cost from the CES loss by municipality and across scenarios.

MUNICIPALITY	ECOSYSTEM	CES	FLOODING SCENARIO	TOTAL VALUE FOR LOSS OF CES (US\$ year)
MANZANILLO	BEACH-DUNE	STORM BUFFERING	A	\$2,397,543
			B	\$2,833,460
A			\$926,323	
B			\$1,307,751	
A			\$5,176,514	
B			\$9,751,337	
TOTAL			A	\$8,500,381
			B	\$13,892,549
MANZANILLO	MANGROVE	HABITAT, REFUGE AND NURSERY	A	\$1,136,279
			B	\$1,188,384
A			\$207,416	
B			\$219,440	

TECOMÁN	A	\$500,003 ³⁰⁷
	B	\$630,264 ³⁰⁸
TOTAL	A	\$1,843,698 ³⁰⁹
	B	\$2,038,088 ³¹⁰

In spite that our results indicate that the extent of mangroves prone to flooding is greater than beach-dune ecosystem, the economic cost of the loss of CES from beach and dunes is remarkably higher, highlighting the economic relevance of the beach-dune ecosystem in Colima. Beaches and dunes in Colima (and in other Mexican coasts) are essential for local and national economies, since they promote tourism and recreation. Particularly, Colima has experienced a notable economic increase as consequence of beach tourism (Fiscalía General del Estado de Colima, 2022), being Manzanillo the main tourist destination of the state (Reporte Lobby, 2023). Beaches like Pascuales and El Real, in Tecoman, are popular destinations for foreign tourists, specifically for surfing and gastronomic experiences at the palapas. The gastronomic services represent the second most important income source in Tecoman (Rosales-Chávez, 2014).

The loss of storm buffering in Colima, reveals a 63% increase under scenario B regarding scenario A (5,392,168 USD/yr). Difference of annual cost between both scenarios for the loss of habitat, refugee and nursery services is 194,389.94 USD, equivalent to an increase of 9.5% from scenario A to scenario B. A total cost of 10,344,079.12 USD/yr is estimated for the loss of both CES in Colima under scenario A, whereas such value increases up to 15,930,636.90 USD/yr under scenario B. These values suggest that the sea level rise represent a threat capable of significantly perturbed public finances of Colima in the future. The potential loss of such CES may represent up to 2% of Colima annual budget, considering fiscal data of 2022, when the annual budget was 18,565,434,132 MXN (Gobierno del Estado de Colima, 2022a).

Although our results are an approach to the cost of the potential loss of these coastal ecosystems, they highlight the economic relevance of preserving these ecosystems. Such

results also point out the necessity of establishing strategies for conservation of ecosystems and their CES. In summary, our results emphasize the importance of recognizing these coastal ecosystems as a first step in the decision-making process for the coastal management of Colima. This information is key for climate change predictions, since economic valuation of ecosystem services are indispensable for guaranteeing that the benefits that nature provides to the society are taking into account during development of public policies (INECC, 2021).

4. Conclusions

Up to 9,437 ha of coastal littoral may be loss in Colima by sea level rise under scenario B (sea level rise projection of 2 m) or 8,459 ha under scenario A (sea level rise projection of 1.8 m). Manzanillo shows major loss of coastal zone regarding Armeria and Tecoman. We estimate that beach-dune ecosystems will be most affected by flooding in Tecoman, with a potential loss of 95 ha under scenario A and 106 ha under scenario B. The major extent of mangrove ecosystem loss occurred in Manzanillo, since a total of 1,134 ha of mangroves will be potentially lost under scenario A and 1,186 ha under scenario B. However, if we consider the percentage of loss at each municipality, Armeria would have the greater loss of mangrove extension (57% under scenario A and 60% under scenario B).

We estimate the total cost by loss of storm buffering in Colima in 8,500,380 USD/yr under scenario A, and 13,892,548 USD/yr under scenario B, being Tecoman the most affected municipality. Furthermore, we calculate a total cost of 1,843,698 USD/yr for the loss of habitat, refugee and nursery services under scenario A, and of 2,038,088 USD/yr under scenario B. In this case, Manzanillo is the most affected municipality.

Quantifying the dynamic effects of sea level rise is a huge challenge due to the complex interplay between physical and geological processes, which perform under distinct scales and time. It is worth mentioning that the economic valuation of the potential loss of beach-dune and mangrove ecosystem services here shown represent the first knowledge baseline about the potential economic impact of sea level rise in Colima. Nonetheless, such valuation should be taken with caution and should not be consider as the only theoretical basis for the process of decision-making. Our analysis does not include the dynamic component of sea level rise nor the response capacity of coastal ecosystems by their adaptation ability, which are key elements for design strategies for managing and adapting to sea level rise. Therefore,

1
2
3
4 366 although our results provide the first approach for Colima, they must be improved with
5
6 367 integrative valuations.
7
8
9 368

10 11 369 **Acknowledgments** 12

13 370 The author would like to acknowledge the financial support number 1095525 of
14
15 371 CONAHCYT Mexico during this Master Science program.
16
17
18 372

19 20 373 **References** 21

22
23 374 Adhikari, B., Baig, S. P., & Iftikhar, U. A. (2010). The use and management of mangrove
24
25 375 ecosystems in Pakistan. *The Journal of Environment & Development*, 19(4), 446-467.
26
27 376 <https://www.jstor.org/stable/26199369>
28

29 377 Afanador, F., & Ruíz, A. (2009). “Inundación por ascenso del nivel medio del mar mediante
30
31 378 fotografía aérea y datos lidar,” in Métodos en teledetección aplicada a la prevención de
32
33 379 riesgos naturales en el litoral. *Eds. I. D. C. A. J. Alcántara Carrió, F. I. Isla Mendy, M.*
34
35 380 *Alvarado Ortega, A. H. F. Klein, A. Cabrera Hernández and R. Sandoval (Servicio de*
36
37 381 *Publicaciones Del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología Para El*
38
39 382 *Desarrollo: España), 79 –99.*

40
41 383 Aktürk, E., & Güneröglu, N. (2021). Degradation of coastal ecosystem services in southern
42
43 384 Black Sea: A case study of Trabzon city. *Ocean & Coastal Management*, 213, 105837.
44
45 385 <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105837>
46

47 386 Asmus, M. L., Nicolodi, J., Anello, L. S., & Gianuca, K. (2019). The risk to lose ecosystem
48
49 387 services due to climate change: A South American case. *Ecological Engineering*, 130,
50
51 388 233–241. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.12.030>
52

53 389 Barbier, E. B. (2007). Valuing ecosystem services as productive inputs. *Economic Policy*
54
55 390 22(49), 178-229. <https://www.jstor.org/stable/4502194>
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

- Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., & Silliman, B. R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81(2), 169 – 193. <https://doi.org/10.1890/10-1510.1>
- Baustian, M. M., Jung, H., Bienn, H. C., Barra, M., Hemmerling, S. A., Wang, Y., White, E., & Meselhe, E. (2020). Engaging coastal community members about natural and nature-based solutions to assess their ecosystem function. *Ecological Engineering*, 143, 100015. <https://doi.org/10.1016/j.ecoena.2019.100015>
- Bhavan, S. G., Bhat, S., Mujawar, S., Velayudhan, P. K., Mayekar, T., Patil, A., & Kumar, P. (2023). Seen from the Stakeholder's revelation—valuation of ecosystem services in a small tropical Indian estuary. *Regional Studies in Marine Science*, 62, 102905. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.102905>
- Camacho-Valdez, V., Ruiz-Luna, A., Ghermandi, A., & Nunes, P. A. (2013). Valuation of ecosystem services provided by coastal wetlands in northwest Mexico. *Ocean & Coastal Management*, 78, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.02.017>
- Cervantes, O., Sosa-Argáez, I., & Olivos-Ortiz, A. (2022). Dunas costeras, patrimonio biocultural. Revista Nexos. Available at: <https://medioambiente.nexos.com.mx/dunas-costeras-patrimonio-biocultural/>
- CONABIO. (2016). La Biodiversidad en Colima: Estudio de Estado. *Comisión Nacional Para El Conocimiento y Uso de La Biodiversidad*. México. Available at: https://www.biodiversidad.gob.mx/region/eeb/estudios/ee_colima
- CONAGUA. (2012). *Informe de validación en Campo vasos III y IV de la Laguna de Cuyutlán, Colima*. Estudio interdisciplinario de los humedales de la República Mexicana: desarrollo metodológico para el Inventario Nacional de Humedales y su validación a nivel piloto.
- Costanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & Van Den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253 – 260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>

- Daily, G. (1997). Introduction: What are ecosystem services? *Ed., Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*, Island Press, Washington DC, 1–10.
- De andrés, M., & Manuel Barragán, J. (2016). Desarrollo Urbano en el Litoral a escala mundial. *Revista de Estudios Andaluces*, 33 (1), 64-83.
- de Groot, R., Brander, L., van der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., Christie, M., Crossman, N., Ghermandi, A., Hein, L., Hussain, S., Kumar, P., McVittie, A., Portela, R., Rodríguez, L. C., ten Brink, P., & van Beukering, P. (2012). Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 1(1), 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.005>
- de Lima, L. T., Fernández-Fernández, S., Weiss, C. V. C., Bitencourt, V., & Bernardes, C. (2021). Free and open-source software for geographic information system on coastal management: A study case of sea-level rise in southern Brazil. *Regional Stud. Mar. Sci.* 48, 102025. <http://doi.org/10.1016/j.Rsma.2021.102025>
- Espejel, I., Jiménez-Orocio, O., Castillo-Campos, G., Garcillán, P. P., Álvarez, L., Castillo-Argüero, S., & Vanderplank, S. (2017). Flora en playas y dunas costeras de México. *Acta Botánica Mexicana*, (121), 39-81.
- Fernández-Díaz, V. Z., Canul Turriza, R. A., Kuc Castilla, A., & Hinojosa-Huerta, O. (2022). Loss of coastal ecosystem services in Mexico: An approach to economic valuation in the face of sea level rise. *Frontiers in Marine Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.898904>
- Fiscalía General del Estado de Colima. (2022). *Decreto de Egresos 2022*. Available at: http://www.fgecolima.mx/fracciones/2022/DECRETO_2022.pdf
- FitzGerald, D. M., Fenster, M. S., Argow, B. A., & Buynevich, I. V. (2008). Coastal impacts due to sea-level rise. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 36, 601 – 647. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.35.031306.140139>
- Gobierno del Estado de Colima. (2022a). Edición ordinaria 22. *Periódico Oficial Del Gobierno Constitucional Del Estado de Colima*.

- Gobierno del Estado de Colima. (2024). Subsector Colima presenta números positivos que dejó 2023 al turismo estatal y plan de trabajo para 2024. https://www.Col.Gob.Mx/Portal/Detalle_noticia/NTgwNzM
- Hagedoorn, L. C., Appeaning Addo, K., Koetse, M. J., Kinney, K., & van Beukering, P. J. H. (2021). Angry waves that eat the coast: An economic analysis of nature-based and engineering solutions to coastal erosion. *Ocean & Coastal Management*, 214, 105945. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105945>
- Hartley Charlotte. (2020). *Antarctic ice sheet collapse could add 3 meters to sea- level rise*. Available at: <https://www.science.org/content/article/antarctic-ice-sheet-collapse-could-add-3-metres-sea-level-rise>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) México (2021). *Recursos marinos y ecosistemas costeros*. Available at: http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/100/cap3_2.html
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) México. (2017). Anuario estadístico y geográfico de Colima 2017. 393 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) México. (nd). Modelos Digitales de Elevación de Alta Resolución LIDAR, con resolución de 5 m. Superficie. Available at: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825796341>
- IPCC. (2022a). *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- IPCC. (2022b). *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. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Kauffman, G. J. (2011). Economic Value of the Delaware Estuary Watershed, Comprehensive Report. Institute for Public Administration – University of Delaware.

- 1
- 2
- 3
- 4 473 Liu, S., Costanza, R., Troy, A., D'Aagostino, J., & Mates, W. (2010). Valuing New Jersey's
- 5
- 6 474 ecosystem services and natural capital: a spatially explicit benefit transfer approach.
- 7
- 8 475 *Environmental Management*, 45, 1271-1285. [https://doi.org/10.1007/s00267-010-](https://doi.org/10.1007/s00267-010-9483-5)
- 9 476 [9483-5](https://doi.org/10.1007/s00267-010-9483-5)
- 10
- 11
- 12 477 Magalhães Filho, L. N. L., Roebeling, P. C., Costa, L. F. C., & de Lima, L. T. (2022b).
- 13
- 14 478 Ecosystem services values at risk in the Atlantic coastal zone due to sea-level rise and
- 15
- 16 479 socioeconomic development. *Ecosystem Services*, 58, 101492.
- 17 480 <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101492>
- 18
- 19
- 20 481 Marlianingrum, P. R., Kusumastanto, T., Adrianto, L., & Fahrudin, A. (2021). Valuing habitat
- 21
- 22 482 quality for managing mangrove ecosystem services in coastal Tangerang District,
- 23
- 24 483 Indonesia. *Marine Policy*, 133, 104747. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104747>
- 25
- 26 484 Marshall, F. E., Banks, K., & Cook, G. S. (2014). Ecosystem indicators for Southeast Florida
- 27
- 28 485 beaches. *Ecological Indicators*, 44, 81 – 91.
- 29 486 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.12.021>
- 30
- 31
- 32 487 Masucci, G. D., & Reimer, J. D. (2019). Expanding walls and shrinking beaches: Loss of
- 33
- 34 488 natural coastline in Okinawa Island, Japan. *PeerJ*, 2019(9).
- 35 489 <https://doi.org/10.7717/peerj.7520>
- 36
- 37
- 38
- 39 490 Mendoza-González, G., Martínez, M. L., Lithgow, D., Pérez-Maqueo, O., & Simonin, P.
- 40 491 (2012). Land use change and its effects on the value of ecosystem services along the
- 41
- 42 492 coast of the Gulf of Mexico. *Ecological Economics*, 82, 23 – 32.
- 43 493 <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.07.018>
- 44
- 45
- 46
- 47 494 Moonsammy, S., Critchlow, K., & Warner, D. (2022). The economic value of a coastal
- 48 495 protected area: an assessment of the Shell Beach Area in Guyana. *Journal of Coastal*
- 49 496 *Conservation*, 26(6), 58. <https://doi.org/10.1007/s11852-022-00901-3>
- 50
- 51
- 52
- 53 497 NASA & IPCC. (2021). *IPCC AR6 Sea Level Projection Tool*. *NASA Sea Level Change*.
- 54 498 Available at: <https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool>
- 55
- 56
- 57 499 Nicholls, R. J., & Cazenave, A. (2010). Sea-level rise and its impact on coastal zones.
- 58 500 *Science*, 328(5985), 1517 – 1520. <https://doi.org/10.1126/science.1185782>
- 59
- 60
- 61
- 62
- 63
- 64
- 65

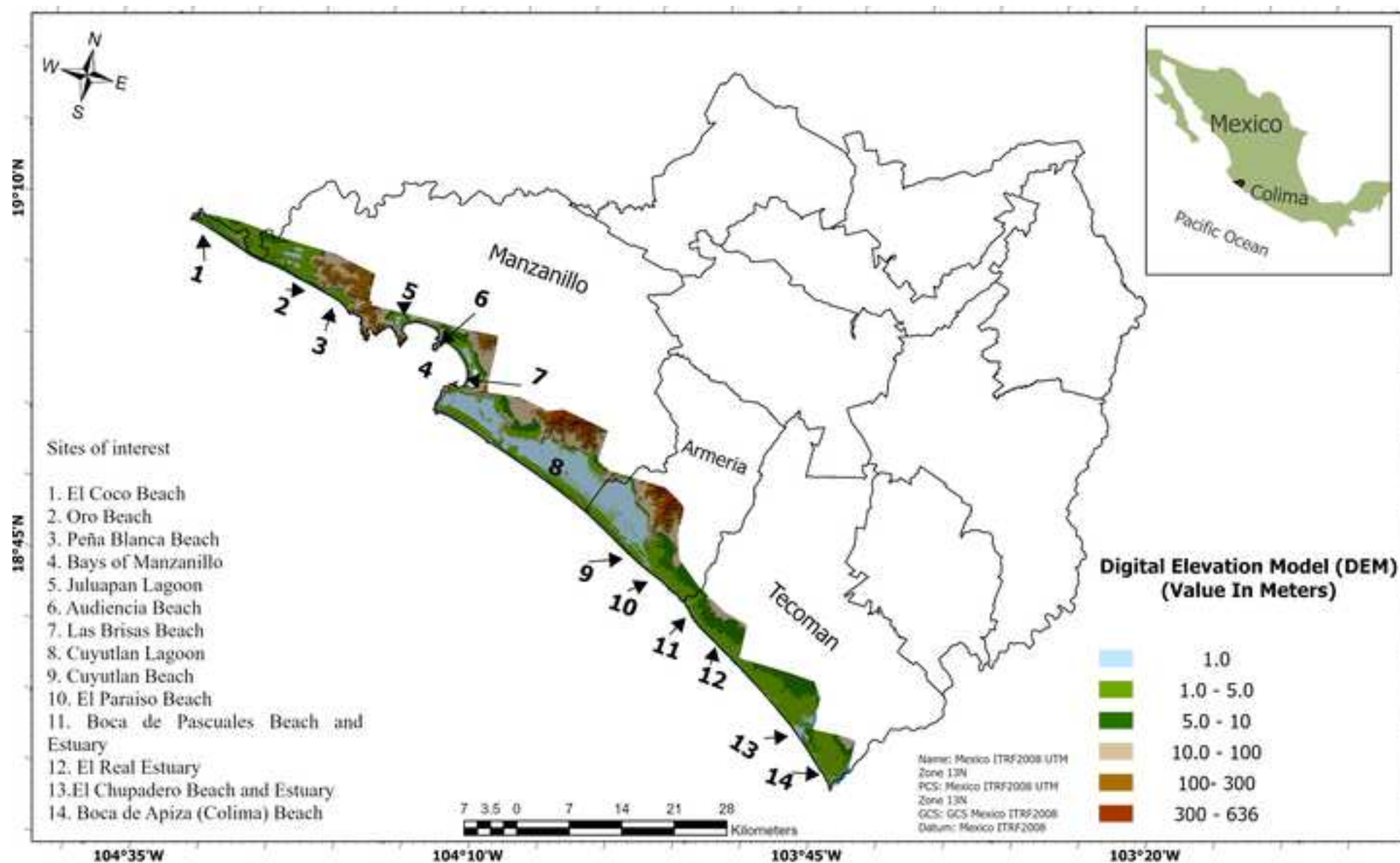
- 1
2
3
4 501 Ondiviela, B., Losada, I. J., Lara, J. L., Maza, M., Galván, C., Bouma, T. J., & van Belzen,
5
6 502 J. (2014). The role of seagrasses in coastal protection in a changing climate. *Coastal*
7
8 503 *Engineering*, 87, 158 – 168. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2013.11.005>
9
- 10 504 Oropeza-Aburto, O., Ezcurra, E., Danemann, G., Valdez, V., Murray, J., & Sala, E. (2008).
11
12 505 Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. *Proceedings of the*
13
14 506 *National Academy of Sciences*, 105(30), 10456-10459.
15
16 507 <https://doi.org/10.1073/pnas.0804601105>
17
- 18 508 Padilla, S. L., & Sotelo. (2016). La ciudad y puerto de Manzanillo: relevancia regional y
19
20 509 crecimiento local., 21° *Encuentro Nacional Sobre Desarrollo Regional En México*.
21
22 510 Mérida, Yucatán, AMECIDER – ITM.
23
- 24 511 Quiroz-Villanueva, E., Cervantes, O., Olivos-Ortiz, A., & Martínez-Díaz, T. (2022).
25
26 512 Evaluación de la Vulnerabilidad de las Dunas Costeras en el Litoral de Colima, México.
27
28 513 *Revista Costas*, 4(2). <https://doi.org/10.25267/Costas.2023.v4.i2.0304>
29
- 30 514 Reporte Lobby. (2023). Colima registra casi 5 mil millones de pesos por turismo entre 2022 y
31
32 515 2023. [https://reportelobby.info/destinos/2023/12/06/colima-registra-casi-5-mil-](https://reportelobby.info/destinos/2023/12/06/colima-registra-casi-5-mil-millones-de-pesos-por-turismo-entre-2022-y-2023/)
33
34 516 [millones-de-pesos-por-turismo-entre-2022-y-2023/](https://reportelobby.info/destinos/2023/12/06/colima-registra-casi-5-mil-millones-de-pesos-por-turismo-entre-2022-y-2023/) (accessed 22 November 2024).
35
36
- 37 517 Richardson, L., Loomis, J., Kroeger, T., & Casey, F. (2015). The role of benefit transfers in
38
39 518 ecosystem service valuation. *Ecological Economics*, 115, 51–58.
40
41 519 <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.02.018>
42
- 43 520 Rodríguez, M. (2023). Buscan rescatar la productividad de la Laguna de Cuyutlán. *Estación*
44
45 521 *Pacífico*. [https://estacionpacifico.com/2023/01/30/buscan-rescatar-la-productividad-](https://estacionpacifico.com/2023/01/30/buscan-rescatar-la-productividad-de-la-laguna-de-cuyutlan/)
46
47 522 [de-la-laguna-de-cuyutlan/](https://estacionpacifico.com/2023/01/30/buscan-rescatar-la-productividad-de-la-laguna-de-cuyutlan/) (accessed 22 November 2024).
48
- 49 523 Rosales-Chávez, L. (2014). Periodo vacacional deja hasta el momento buena derrama
50
51 524 económica en Tecmán. *Colima noticias*. [https://www.colimanoticias.com/periodo-](https://www.colimanoticias.com/periodo-vacacional-deja-hasta-el-momento-buena-derrama-economica-en-tecoman/)
52
53 525 [vacacional-deja-hasta-el-momento-buena-derrama-economica-en-tecoman/](https://www.colimanoticias.com/periodo-vacacional-deja-hasta-el-momento-buena-derrama-economica-en-tecoman/) (accessed
54
55 526 22 November 2024).
56
- 57 527 Ruckelshaus, M., Reguero, B. G., Arkema, K., Compeán, R. G., Weekes, K., Bailey, A., &
58
59 528 Silver, J. (2020). Harnessing new data technologies for nature-based solutions in
60
61
62
63
64
65

- assessing and managing risk in coastal zones. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 51, 101795. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101795>
- Secretaría de Marina. (nd). "Estación Mareográfica de Manzanillo, Col." Dirección General Adjunta de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología (DIGAOHM). Available at: https://oceanografia.semar.gob.mx/Templates/grafnum_manzanillo.html
- Silva, R., Martínez, M. L., Hesp, P. A., Catalan, P., Osorio, A. F., Martell, R., et al. (2014). Present and future challenges of coastal erosion in Latin America. *J. Coast. Res.*, 71, 1–16. <http://doi.org/10.2112/SI71-001.1>
- Tang, D., Xin, C., Chen, N., Liu, X., & Zhang, L. (2023). Mangrove forest fragmentation and its ecological service value in Tongming Sea of Zhanjiang, Guangdong, China during 2000-2018; [2000—2018 年湛江通明海红树林破碎化及生态服务价值]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 34(2), 415 – 422. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.202302.022>
- Torres, J., & Quintanilla-Montoya, A. L. (2014). Alteraciones antrópicas: historia de la Laguna de Cuyutlán, Colima. *Investigación ambiental Ciencia y política pública*, 6, 29-42.
- Villatoro, M., Silva, R., Méndez, F. J., Zanuttigh, B., Pan, S., Trifonova, E., Losada, I. J., Izaguirre, C., Simmonds, D., Reeve, D. E., Mendoza, E., Martinelli, L., Formentin, S. M., Galiatsatou, P., & Eftimova, P. (2014). An approach to assess flooding and erosion risk for open beaches in a changing climate. *Coastal Engineering*, 87, 50 – 76. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2013.11.009>
- Williams, L. L., & Lück-Vogel, M. (2020). Comparative assessment of the GIS based bathtub model and an enhanced bathtub model for coastal inundation. *J. Coast. Conserv.* 24 (2), 23. <http://doi.org/10.1007/S11852-020-00735-x>
- Zavala-Hidalgo, J., R., de Buen Kalman, R., Romero-Centeno, & F. Hernández Maguey. (2011). Tendencias del nivel del mar en las costas mexicanas. In: *Vulnerabilidad de Las Zonas Costeras Mexicanas Ante El Cambio Climático (Segunda Edición)*. Universidad

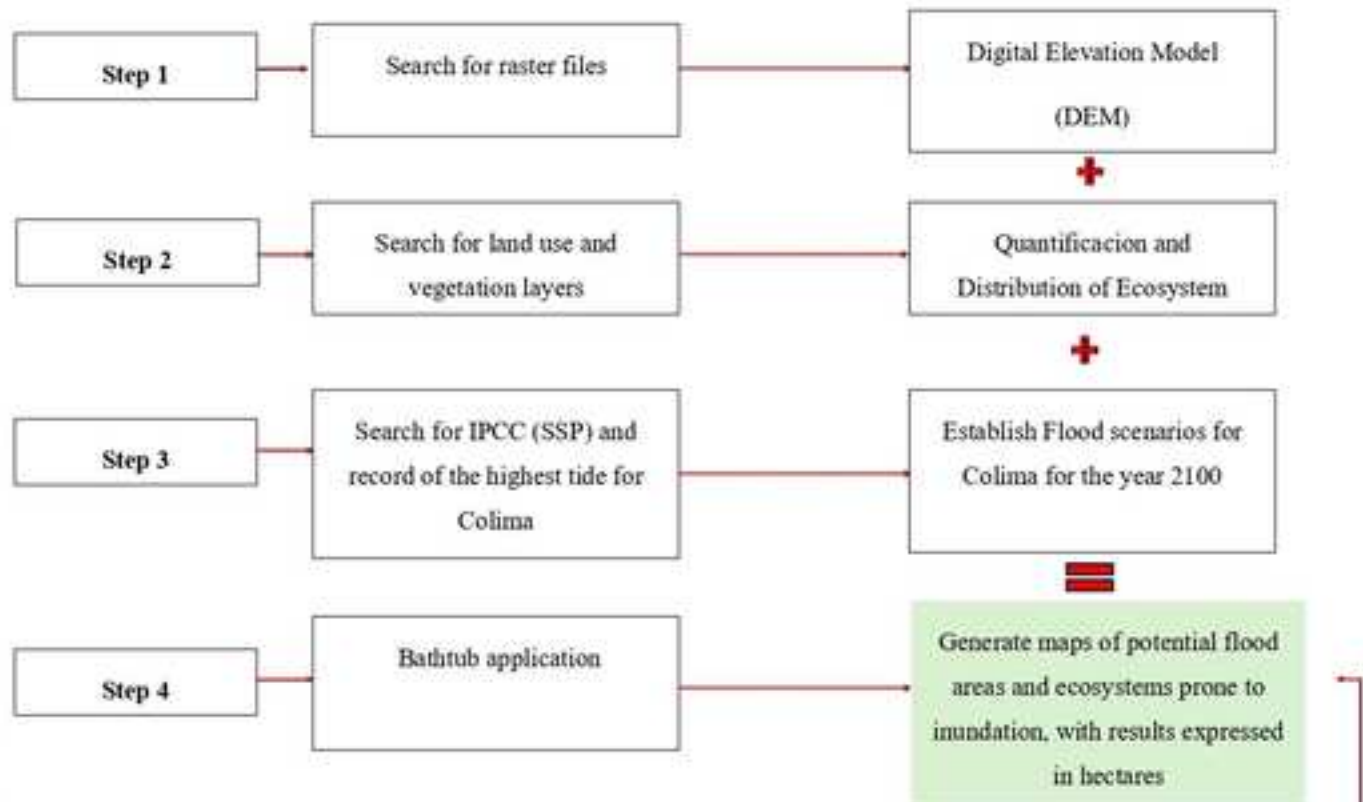
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

556 *Autónoma Metropolitana Iztapalapa, UNAM-ICMYL, Universidad Autónoma de*
557 *Campeche.*

Figure 1.



Phase 1. Coastal ecosystems prone to flooding



Phase 2. Economic valuation of CES loss

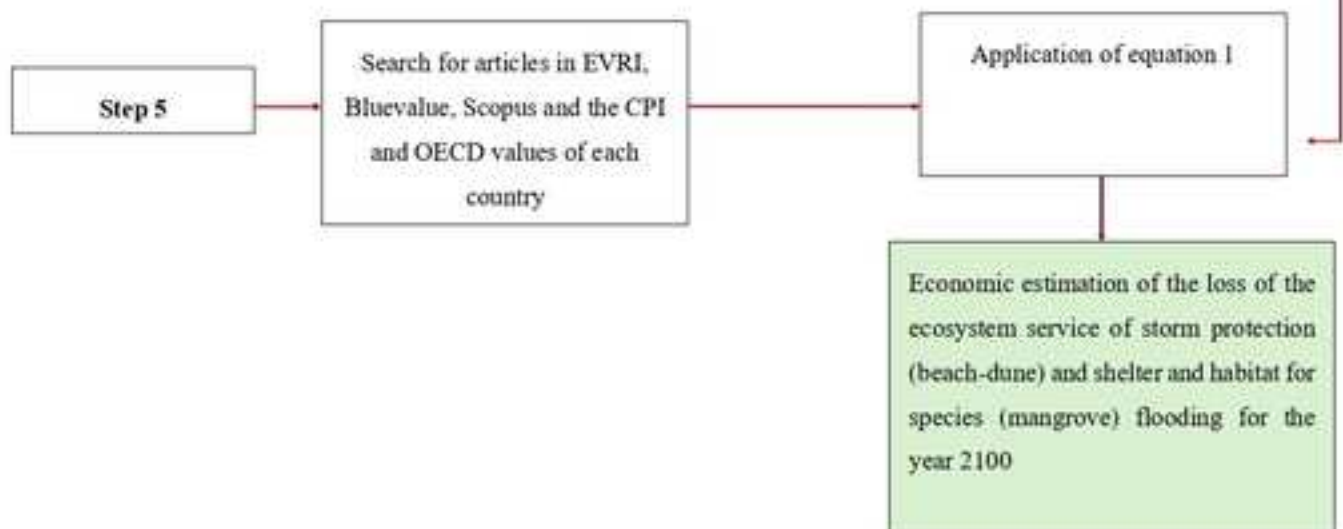


Figure 3.

[Click here to access/download;Figure;Figure_3_300.jpg.jpg](#)

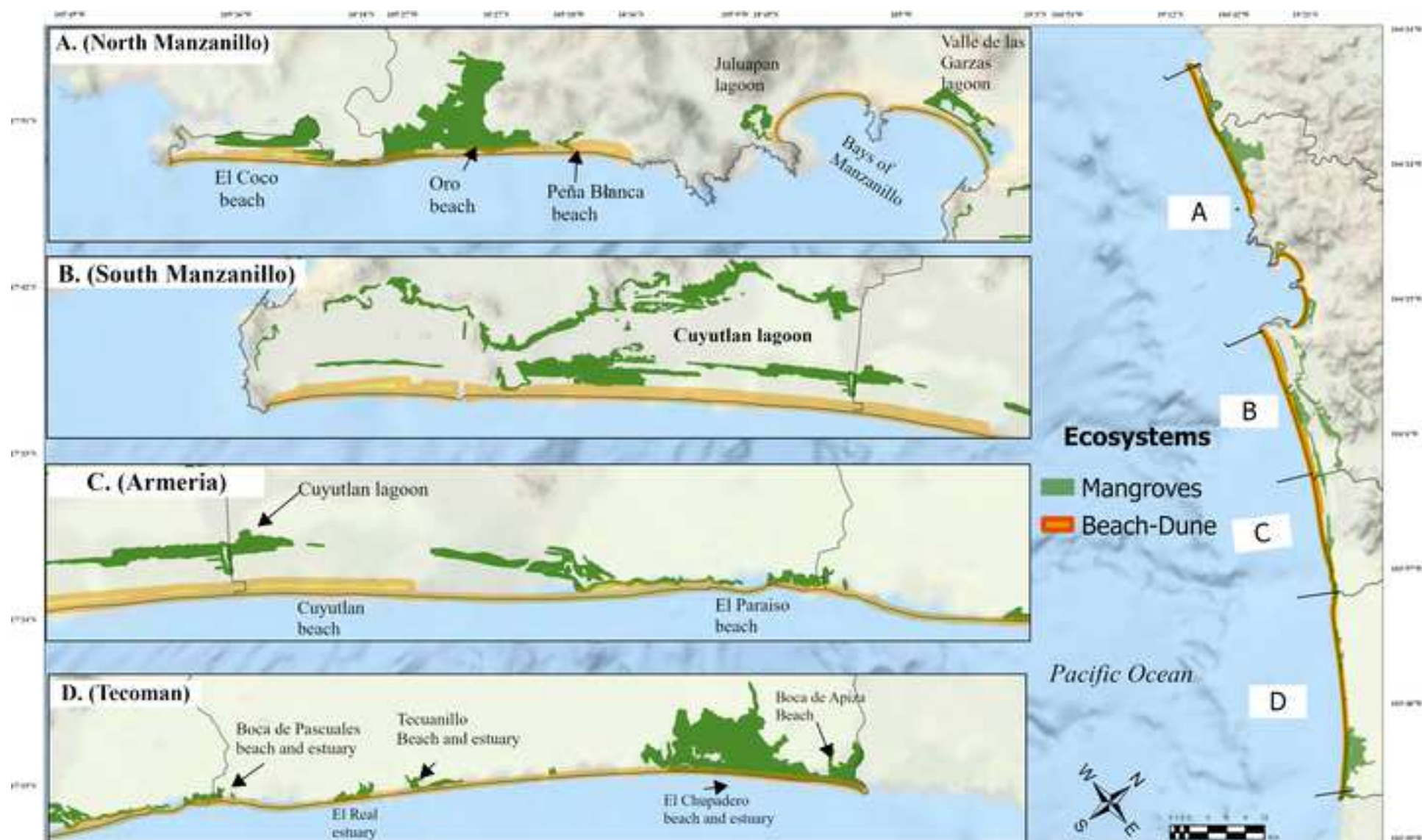


Figure 4.

[Click here to access/download;Figure;Figure_4_300.jpg.jpg](#)

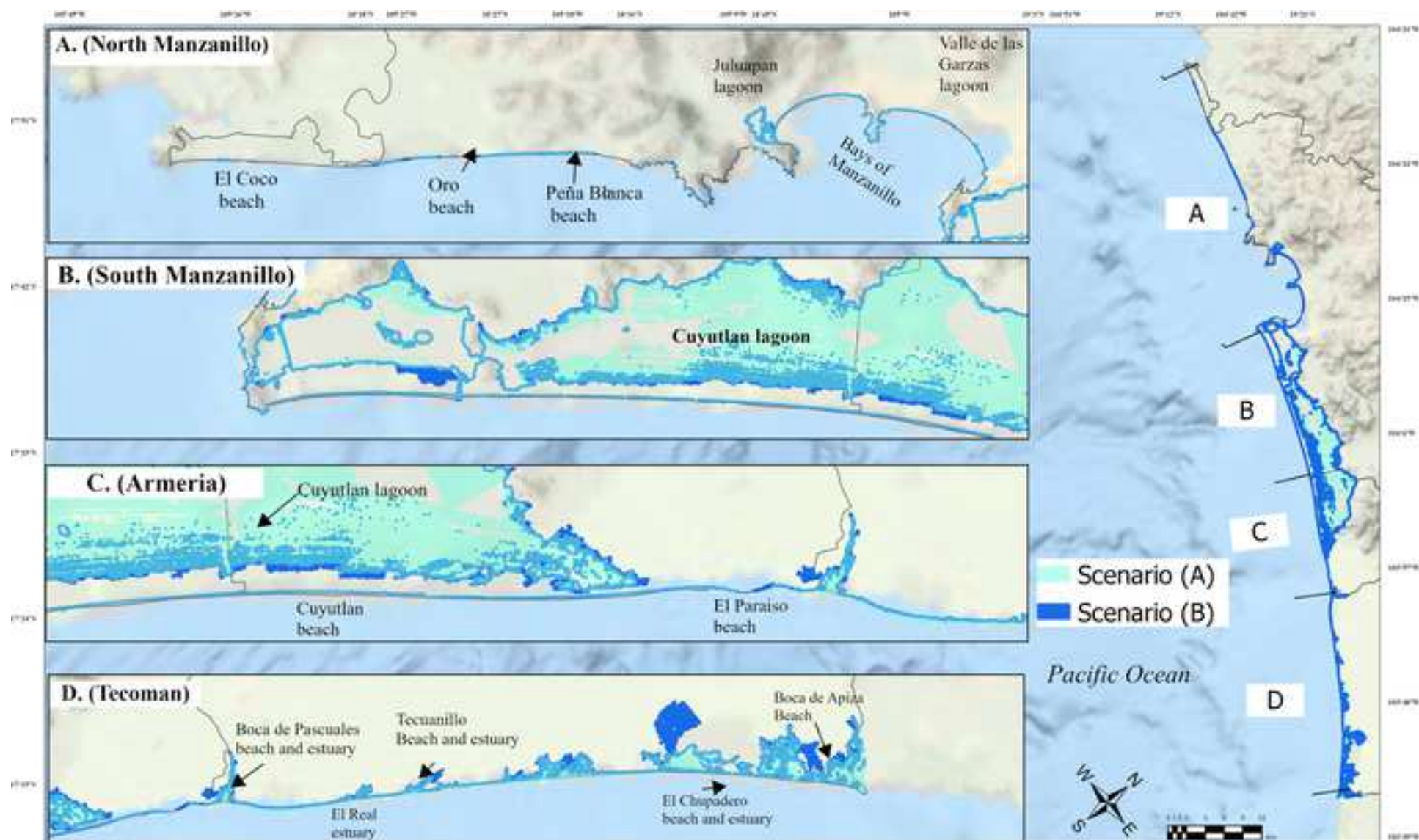


Figure 5.

[Click here to access/download;Figure;Figure_5_300.jpg.jpg](#)

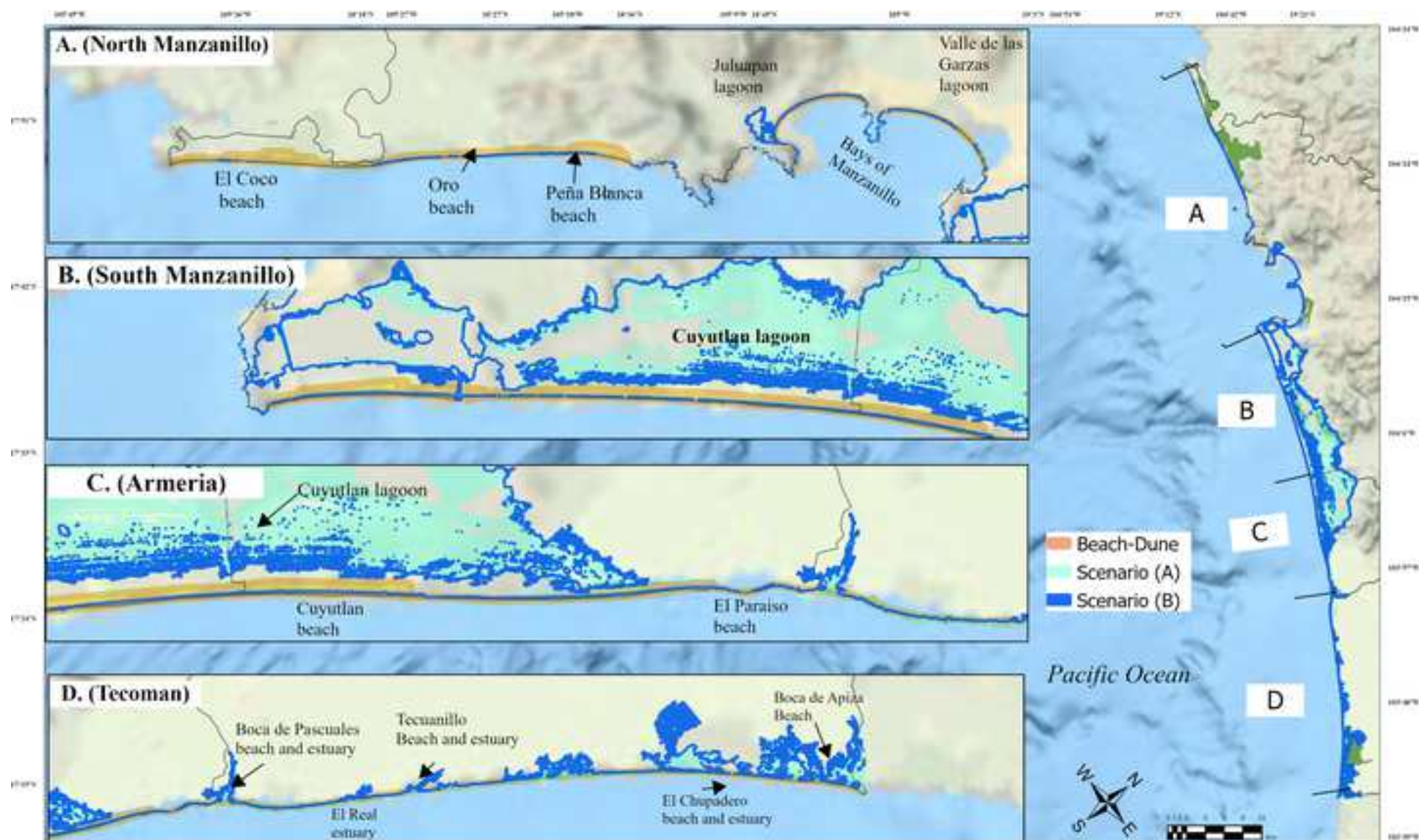
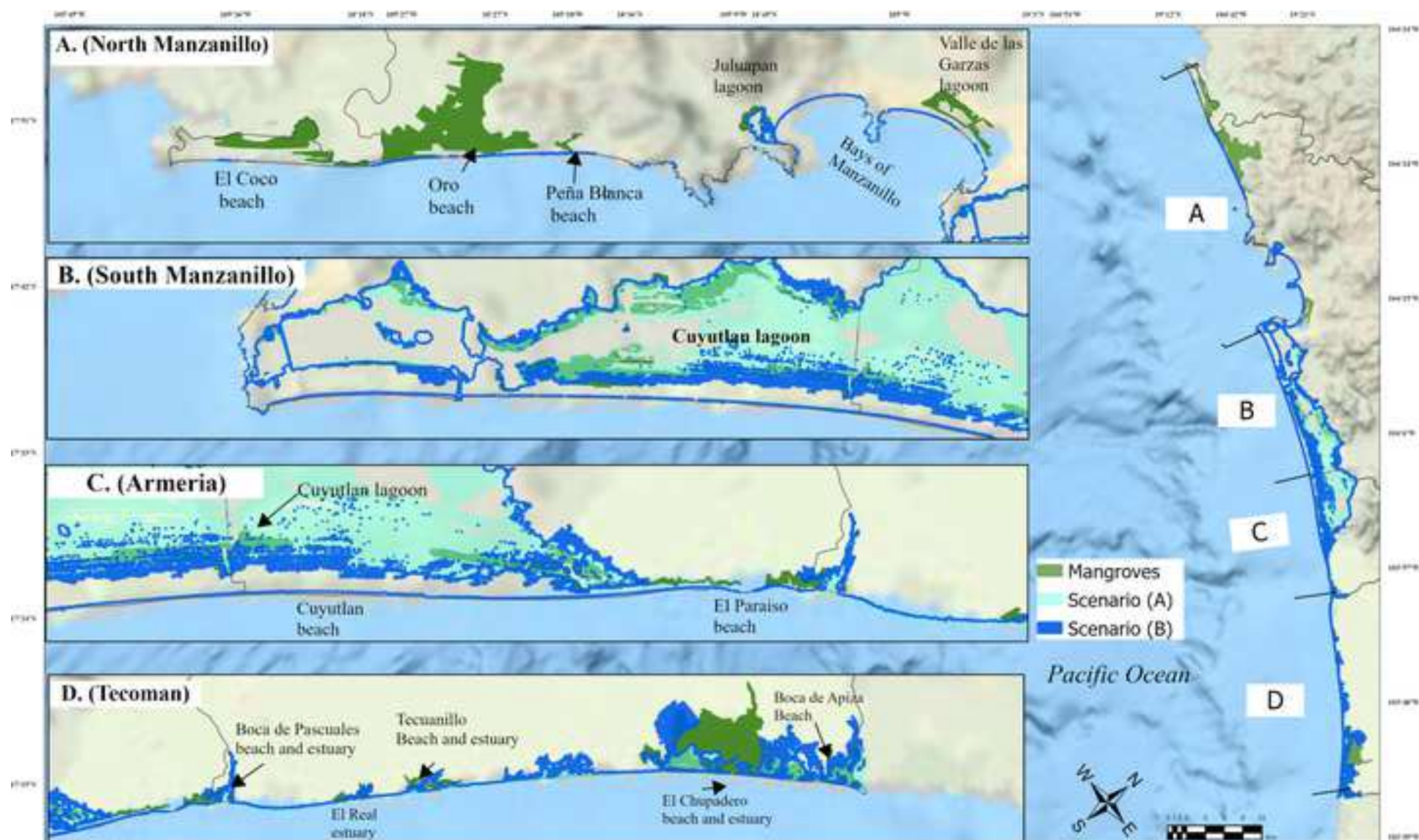


Figure 6.

[Click here to access/download;Figure;Figure_6_300.jpg.jpg](#)



Declaration of interests

☒The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

☐The authors declare the following financial interests/personal relationships which may be considered as potential competing interests:

3. Conclusiones generales

En Colima, se podrían perder hasta 9,437 ha de litoral costero por el aumento del nivel del mar bajo el escenario B (2 m) y 8,459 ha bajo el escenario A (1.8 m). Manzanillo sufriría la mayor pérdida total de zonas costeras, mientras que Tecomán destacaría por la mayor afectación de su ecosistema de playa-duna, con pérdidas potenciales de hasta 106 ha (escenario B). En los manglares, Manzanillo lidera en pérdida absoluta (1,186 ha, escenario B), pero Armería enfrenta la mayor pérdida porcentual (60%, escenario B). El costo estimado por pérdida del servicio ecosistémico de protección contra tormentas asciende a \$8.5 M USD/año en el escenario A y \$13.9 M USD/año en el B, siendo Tecomán el más afectado. Para el servicio de hábitat y refugio, las pérdidas alcanzan \$1.8 M USD/año (escenario A) y \$2.0 M USD/año (B), afectando principalmente a Manzanillo. Estas estimaciones económicas representan una línea base local sobre el impacto potencial del aumento del nivel del mar, pero deben interpretarse con cautela, ya que no incluyen la dinámica de adaptación de los ecosistemas. Los resultados brindan una primera aproximación para Colima y deben ser complementados con análisis integradores para diseñar estrategias efectivas de adaptación.

4.Referencias bibliográficas

1. Afanador, F., & Ruíz, A. (2009). "Inundación por ascenso del nivel medio del mar mediante fotografía aérea y datos lidar," in *Mé todos en teledetección aplicada a la prevención de riesgos naturales en el litoral*. Eds. I. D. C. A. J. Alcántara Carrió, F. I. Isla Mendy, M. Alvarado Ortega, A. H. F. Klein, A. Cabrera Hernández and R. Sandoval (Servicio de Publicaciones Del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología Para El Desarrollo: España), 79´ –99.
2. Asmus, M. L., Nicolodi, J., Anello, L. S., & Gianuca, K. (2019). The risk to lose ecosystem services due to climate change: A South American case. *Ecological Engineering*, 130, 233–241. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.12.030>
3. Avendaño, J., Rodríguez Rodríguez, A., & Gómez López, D. I. (2019). Servicios Ecosistémicos Marinos y Costeros de Colombia: Énfasis de Manglares y Pastos Marinos. INVEMAR.
4. Castañeda López, O., & Contreras Espinoza, F. (2003). El Centro de Documentación "Ecosistemas litorales mexicanos" como una herramienta de diagnóstico.
5. Contreras del Valle, M. F. C., & Starnfeld, F. S. (2022). Guía para la valoración económica de servicios ecosistémicos marinos y costeros. Bio-Bridge.
6. de Lima, L. T., Fernández-Fernández, S., Weiss, C. V. C., Bitencourt, V., & Bernardes, C. (2021). Free and open-source software for geographic information system on coastal management: A study case of sea-level rise in southern Brazil. *Regional Stud. Mar. Sci.* 48, 102025. Doi: 10.1016/j.Rsma.2021.102025.
7. Fernández-Díaz, V. Z., Canul Turriza, R. A., Kuc Castilla, A., & Hinojosa-Huerta, O. (2022). Loss of coastal ecosystem services in Mexico: An approach to economic valuation in the face of sea level rise. *Frontiers in Marine Science*, 9.

<https://doi.org/10.3389/fmars.2022.898904>

8. Gordon McGranahan, Beborah Balk, & Bbridget Anderson. (2007). The rising: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. Sage. DOI: 10.1177/0956247807076960.
9. Hartley Charlotte. (2020). *Antarctic ice sheet collapse could add 3 meters to sea-level rise*. Available at: <https://www.science.org/content/article/antarctic-ice-sheet-collapse-could-add-3-metres-sea-level-rise>
10. Isaac Azuz Adeath, & Evelia Riviera-Arriaga. (2009). Descripción de la dinámica poblacional en la zona costera durante el periodo 2000-2005. Centro de Enseñanza Técnica y Superior- Universidad Autónoma de Campeche.
11. Lara-Lara, R., Arreola-Lizarraga, J. A., Calderon-Aguilera, L. E., & Camacho-Ibar, V. F. (2008). Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales. <https://www.researchgate.net/publication/312370705>
12. Magalhães Filho, L. N. L., Roebeling, P. C., Costa, L. F. C., & de Lima, L. T. (2022). Ecosystem services values at risk in the Atlantic coastal zone due to sea-level rise and socioeconomic development. *Ecosystem Services*, 58,101492.
13. María de Andrés, & Juan Manual Barragán. (2016). Desarrollo Urbano en el Litoral a escala mundial. Método de estudio para su cuantificación. *Revista de Estudios Andaluces (REA)*.
14. Martínez, M. L., Mendoza- Gonzales, G., Silva- Casarín, R., & MendozaBaldwin, E. (2014). Land use changes and sea level rise may induce a “coastal squeeze” on the coasts of Veracruz, Mexico. *Global Environmental Change*
15. Masucci, G. D., & Reimer, J. D. (2019). Expanding walls and shrinking beaches: Loss of natural coastline in Okinawa Island, Japan. *PeerJ*, 2019(9). <https://doi.org/10.7717/peerj.7520>
16. Múnera, J. D. O. (2006). El método de transferencia de beneficios para la valoración económica de servicios ambientales: estado del arte y aplicaciones. *Semestre económico*, 9(18), 107-124.

17. Nicholls, R. J., & Cazenave, A. (2010). Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science*, 328(5985), 1517 – 1520. <https://doi.org/10.1126/science.1185782>.
18. Quiroz-Villanueva, E., Cervantes, O., Olivos-Ortiz, A., & Martínez-Díaz, T. (2022). Evaluación de la Vulnerabilidad de las Dunas Costeras en el Litoral de Colima, México. *Revista Costas*, 4(2). <https://doi.org/10.25267/Costas.2023.v4.i2.0304>