



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN
Y ENSEÑANZA**

División de Educación

Escuela de Posgrado

**Valoración Económica de los Servicios Ecosistémicos de protección costera y regulación
climática brindados por los manglares de la provincia de Monte Cristi, República
Dominicana**

Jeison Eduardo Gomes Escobar

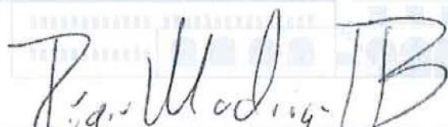
**Tesis sometida a consideración de la División de Educación y la Escuela de
Posgrado como requisito para optar al grado de MAGISTER SCIENTIAE en
Economía, Desarrollo y Cambio Climático**

Turrialba, Costa Rica, 2021

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN ECONOMÍA, DESARROLLO Y
CAMBIO CLIMÁTICO**

FIRMANTES:



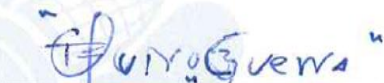
Róger Madrigal Ballester, Ph.D.
Director de tesis



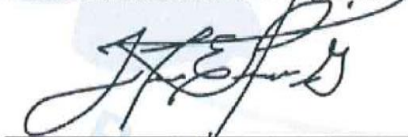
Miguel Cifuentes Jara, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Bárbara Viguera Moreno, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Roberto Quiroz Guerra, Ph.D.
Decano, Escuela de Posgrado



Jeison Eduardo Gomes Escobar
Candidato

Dedicatoria

A mis padres y a mis abuelos, por estar siempre a mi lado.

A mis hermanos, tíos, primos y demás familiares por su apoyo constante.

A Carolina Miralda, a María Auxiliadora López y a Jennifer Ramírez, por haber creído en mí, incluso cuando yo no lo hacía.

Agradecimientos

A Dios, Ser Supremo, que, a pesar de mis dudas y errores, sostiene mi vida en todo momento, recordándome siempre que sus planes son mejores que los míos.

Muy especialmente, a mi director de tesis y consejero principal, Roger Madrigal, por su siempre acertado soporte y crítica constructiva, los cuales me permitieron explotar al máximo algunas de mis habilidades.

A Bárbara Viguera, por sus consejos y apoyo para superar muchos de los obstáculos que se presentaron en el proceso de investigación y por ser mi guía en algunos temas totalmente desconocidos por mí.

Al doctor Miguel Cifuentes, por su disponibilidad para resolver mis dudas y siempre tener consejos oportunos para cada situación.

Al Servicio Académico de Intercambio Alemán, ya que sin su patrocinio habría sido imposible estudiar en CATIE.

A mis compañeros, amigos y hermanos latinoamericanos, por hacer de este proceso una experiencia tan increíble.

Finalmente, a mí mismo, por nunca rendirme.

Contenido

1.	Introducción.....	1
1.	Revisión de literatura.....	3
1.1.	Valoración económica del servicio ecosistémico de protección costera	3
1.2.	Valoración económica del servicio ecosistémico de regulación del clima	5
1.2.1.	Perspectiva social.....	6
1.2.2.	Perspectiva privada	7
2.	Metodología.....	8
2.1.	Área de Estudio	8
2.2.	Procedimientos metodológicos	10
2.2.1.	Valoración económica del SE de protección costera.....	10
2.2.2.	Valoración económica del SE de regulación del clima	14
3.	Resultados y discusión	16
3.1.	Protección costera	16
3.2.	Mitigación al cambio climático.....	21
3.2.1.	Valoración económica privada	21
3.2.2.	Valoración económica social	23
4.	Conclusiones.....	25
5.	Referencias Bibliográficas.....	26
6.	Anexos.....	37

Índice de cuadros

Cuadro 1:	Estudios de valoración económica del SE protección costera	4
Cuadro 2:	Estudios de valoración económica del SE de regulación del clima desde la perspectiva social.....	7
Cuadro 3:	Estudios de valoración económica de SE de regulación del clima desde la perspectiva privada	8
Cuadro 4:	Funciones de daño utilizadas para la ejecución del modelo COAST; los valores indican el porcentaje de daño en infraestructura o contenido asociado a cada profundidad de inundación.....	14
Cuadro 5:	Precios utilizados en el estudio, valores por tCO ₂ e (2020 US\$).....	16
Cuadro 6:	Valor actual (2021 US\$) de la reducción de emisiones derivadas de la deforestación de los manglares de Monte Cristi desde la perspectiva privada, a lo largo de 20 años (2020-2040) (tasa de descuento 10%).	22
Cuadro 7:	Valor Actual (2020 US\$) de los beneficios sociales derivados de la deforestación evitada a lo largo de 20 años (2020-2040) (tasa de descuento 3.5%).....	24

Índice de figuras

Figura 1: Ubicación del área de estudio, litoral de la provincia de Monte Cristi, República Dominicana.....	9
Figura 2: Procedimientos metodológicos para la valoración del SE de protección costera....	11
Figura 3: Daños potenciales por inundación en San Fernando de Monte Cristi (barras, eje izquierdo), con presencia y ausencia de manglares según su cobertura actual (en millones 2021 US\$) y porcentaje de reducción del daño provisto por los manglares (línea, eje derecho).....	18
Figura 4: Análisis de sensibilidad ante un aumento en la protección brindada por los manglares, durante los diferentes huracanes.....	19
Figura 5: comparativa de resultados con otros estudios de valoración de almacenamiento de carbono desde la perspectiva privada	22

Acrónimos y abreviaturas

BAU	Business as Usual
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
COAST	Herramienta para la adaptación costera al aumento del nivel del mar*
CSC	Costo Social del Carbono
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IDH	Índice de Desarrollo Humano
IDHp	Índice de Desarrollo Humano provincial
InVEST	Valoración Integrada de los Servicios y Compensaciones de los Ecosistemas*
IPBES	El Informe de la Evaluación Mundial Sobre la Diversidad Biológica y los Servicios de los Ecosistemas*
IPC	Índice de Precios al Consumidor
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*
IWG	Grupo de Trabajo Interinstitucional sobre el Coste Social de los Gases de Efecto Invernadero del Gobierno de los Estados Unidos*
MAC	Costos Marginales de Reducción
MEA	Evaluación de los Ecosistemas del Milenio*
MEPyD	Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo
MIMARENA	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de República Dominicana
NDC	Contribución Nacionalmente Determinada*
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONE	Oficina Nacional de Estadística
ONG	Organizaciones no Gubernamentales
PEID	Pequeño Estado Insular en Desarrollo
PIB	Producto Interno Bruto
REDD+	Reducción de las Emisiones por Deforestación y Degradación de los bosques
SIG	Sistemas de Información Geográfica
UNDP/PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
USACE	Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos*
USGS	Servicio Geológico de los Estados Unidos*
VAN	Valor Actual Neto
MAI	Modelos de Análisis Integrado
VP	Valor Presente

***Traducciones realizadas del inglés**

Valoración Económica de los Servicios Ecosistémicos de protección costera y regulación climática, brindados por los Manglares de la Provincia de Monte Cristi, República Dominicana

Jeison Eduardo Gomes¹ (jeison.gomes@catie.ac.cr)

Roger Madrigal-Ballesteros^{1,2}

Bárbara Viguera^{1,2}

Miguel Cifuentes-Jara¹

Resumen

Los manglares son uno de los ecosistemas más productivos y valiosos del planeta, sin embargo, a pesar de la evidencia existente sobre sus beneficios, estos se encuentran bajo constante amenaza de sustitución por otros usos del suelo. El presente estudio estimó el valor económico de los servicios ecosistémicos de protección costera y regulación climática (almacenamiento de carbono) provistos por los manglares ubicados en la provincia de Monte Cristi, República Dominicana. Una metodología de daños económicos evitados por la presencia del ecosistema fue utilizada para estimar el valor del SE de protección costera. El carbono almacenado en los manglares se valoró desde la perspectiva social y privada, a través de un enfoque que incluye un posible proyecto de reducción de emisiones por deforestación evitada con un horizonte temporal de 20 años. Nuestros resultados indican que los manglares reducen daños, que van desde US\$ 1.5 en huracanes categorías 4 y 5 hasta US\$ 6.5 millones en huracanes categoría 1, los cuales presentan tasas de retorno de 100 y 6 años respectivamente. Además, estimamos que la reducción anual de la deforestación en manglares produciría beneficios sociales globales de al menos US\$ 312,946/ha por año; y que desde una perspectiva privada se podrían obtener beneficios medios de US\$ 5,966/ha en los mercados voluntarios de carbono.

Palabras clave: ecosistemas costeros, carbono azul costero, adaptación basada en ecosistemas

Abstract

Mangroves are one of the most productive and valuable ecosystems on the planet, but despite existing evidence in this regard, they are under constant threat of substitution by other land uses. This study estimated the economic value of the ecosystem services of coastal protection and climate regulation (carbon storage) provided by mangroves located in the province of Monte Cristi, Dominican Republic. An approach of economic damages avoided by the presence of the ecosystem was used to value coastal protection. The carbon stored in the mangroves was valued from social and private perspectives, through an approach that includes a possible avoided deforestation emission reduction project with a 20-year time horizon. Our results suggest that mangroves reduce damages ranging from US\$ 1.5 under category 4 and 5 hurricanes to US\$ 6.7 million in category 1 hurricanes, which have payback rates of 100 and six years respectively. Moreover, we estimate that the annual reductions in mangrove deforestation would produce global social benefits of at least US\$ 312,946 per year; and that from a private perspective, average benefits of US\$ 5,966 could be obtained in voluntary carbon markets.

Keywords: coastal ecosystems, coastal blue carbon, ecosystem-based adaptation

¹ Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)

² Environment for Development Central America (Efd)

1. Introducción

Los Servicios Ecosistémicos (SE) se definen como “las contribuciones que las personas obtienen de los ecosistemas” (IPBES 2019). Los manglares son considerados uno de los ecosistemas más productivos y valiosos del planeta, ya que proporcionan una gran cantidad de bienes y servicios ecosistémicos (Barbier *et al.* 2011, McLeod *et al.* 2011, Himes-Cornell *et al.* 2018), entre los que se incluyen servicios de aprovisionamiento (p. ej. madera, leña y alimentos); servicios de regulación (p.ej. control de inundaciones y regulación climática); servicios culturales (p.ej. enriquecimiento espiritual, recreativo y estética) y servicios de apoyo, los cuales son necesarios para la producción de todos los demás servicios (p. ej. el ciclo de los nutrientes) (Millennium Ecosystem Assessment 2005, TEEB 2011, Brander *et al.* 2012).

A pesar de la evidencia existente sobre la importancia de los manglares y los SE que proveen, estos se encuentran bajo constante amenaza antrópica (Siikamäki *et al.* 2012, Beys-da-Silva *et al.* 2014). Los registros muestran pérdidas anuales a nivel global de 1.04% en la década de 1980, y 0.72% en la década de 1990; datos más actuales sugieren una tasa de pérdida media anual entre 1996 y 2016 del 0.21% (Worthington y Spalding 2020). Si bien las tasas de pérdidas han disminuido considerablemente, estimaciones indican que cerca de un tercio de los bosques de manglar del mundo se han perdido durante los últimos 50 años (FAO 2007, Kuenzer *et al.* 2011, Cifuentes-Jara *et al.* 2018).

Los principales factores, que impulsan la deforestación de los manglares son la acuicultura, la agricultura, la expansión urbana y la recolección de productos forestales (Richards y Friess 2016, Friess *et al.* 2019, Turschwell *et al.* 2020). Además de estos impulsores directos, existen múltiples presiones indirectas que agravan la presión ejercida sobre los ecosistemas de manglar, como el balance hidrológico, el flujo de sedimentos, el cambio climático, y el aumento del nivel del mar (Gilman *et al.* 2008, Sippo *et al.* 2018). Aunado a lo anterior, los manglares son perturbados de forma natural por plagas y enfermedades y se vuelven ecosistemas más susceptibles cuando se introducen factores de estrés humanos como contaminantes (Alongi 2012).

La pérdida de manglares representa, entre otras cosas, un impacto significativo en el incremento de la vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos de las poblaciones costeras en las naciones en desarrollo principalmente (Spalding *et al.* 2014, Barbier 2014); y la liberación a la atmósfera del carbono almacenado en los mismos (Kauffman *et al.* 2016, Adame *et al.* 2018). Lo anterior debido a la evidencia existente sobre la eficacia de los manglares para reducir los riesgos de inundación asociados a tormentas (Cochard *et al.* 2008, Montgomery *et al.* 2019, Dasgupta *et al.* 2019) y a la gran capacidad de almacenamiento y secuestro de carbono que tienen los manglares (Alongi 2012, 2015).

República Dominicana, como pequeño Estado insular, tiene un aporte mínimo al calentamiento global del planeta, sin embargo, es uno de los países más vulnerables a los efectos del cambio climático global, siendo el duodécimo país más afectado por eventos climáticos extremos (1998-2017) y el tercer pequeño estado insular en desarrollo (PEID) en ese periodo (Eckstein *et al.* 2018). Por lo anterior, la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático del país reconoce la importancia y relevancia de los manglares como mecanismo de adaptación y mitigación al cambio climático, caracterizándolos como sistemas de protección costera contra tormentas y como sumideros de carbono, no obstante, también se reconoce la amenaza constante de deforestación a la que están expuestos (MIMARENA 2018).

De acuerdo con FAO (2007), entre 1980 y 2005, se perdieron aproximadamente 17,600 hectáreas de manglar en República Dominicana, con una tasa anual de deforestación de 2.8%. Por otro lado, Meyer-Arendt *et al.* (2013) reportan una tasa de deforestación anual en el periodo comprendido entre 1984 y 2010 fue de 1.0%, quienes además plantean que algunas posibles razones de la variabilidad entre sus estimaciones y las de FAO (2007) son las fechas de inicio y finalización ligeramente diferentes en cada estudio, la resolución de los sensores usados, y algunos supuestos utilizados en ambos estudios. Según el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MIMARENA 2018), la deforestación de los manglares en República Dominicana se puede atribuir directamente a una mala gestión del territorio y a una falta de información y concienciación ciudadana para la gestión sostenible de los ecosistemas costeros y de la costa en sí.

Muchos de los SE provistos por los manglares tienen características de bienes públicos (Millennium Ecosystem Assessment 2005), es decir, que no son ni excluyentes ni rivales en el consumo, lo que significa que no se puede evitar que las personas utilicen el bien, y que el uso de este por una persona no reduce la capacidad de otra para usarlo. En estos casos, las fuerzas del mercado que normalmente distribuyen los recursos están ausentes (Pindyck y Rubinfeld 2009), por lo que para garantizar su uso eficiente y sostenibilidad a menudo precisan de intervención gubernamental (Mankiw 2012).

La valoración económica del medio ambiente brinda a las partes interesadas información relevante en términos monetarios sobre la importancia de un ecosistema, basándose en la premisa de que a menos que se le atribuya un valor económico al medio ambiente, este será explotado y sobre utilizado (Yearley 2018). Por lo tanto, es ampliamente aceptada como un instrumento útil para fundamentar decisiones relacionadas con la conservación y el desarrollo (Ghermandi *et al.* 2018).

Esta investigación pretende estimar el valor económico de los servicios ecosistémicos de protección costera y de regulación del clima (mediante el almacenamiento de carbono), provistos por los manglares ubicados en la provincia de Monte Cristi, República Dominicana. Para lograr dichos objetivos se utilizan enfoques de investigación basados en metodologías de preferencias reveladas, como función de daños para protección costera y cambios en la productividad desde perspectivas sociales y privadas para regulación climática.

En República Dominicana, hasta donde se tiene entendido, no hay ningún artículo con revisión por pares publicado sobre valoración económica de los SE provistos por manglares; y únicamente Beltré Díaz (2011) ha desarrollado un estudio de valoración económica de manglares, a través de una metodología de preferencia declarada (valoración contingente), mediante el cual se determinó el valor económico del servicio ecosistémico de provisión de peces del manglar ubicado en la zona del Bajo Yuna. Por lo tanto, la presente investigación representa uno de los primeros esfuerzos para reducir las brechas del conocimiento en este campo. De igual manera, la estimación del valor de una parte del capital natural con el que se cuenta en la provincia de Monte Cristi brindará información pertinente a los tomadores de decisiones para una gestión adecuada y sostenible del ecosistema en la zona.

1. Revisión de literatura

1.1. Valoración económica del servicio ecosistémico de protección costera

En los últimos años, los riesgos de inundación en zonas costeras han aumentado un 23% a nivel global, esto se puede atribuir al crecimiento de asentamientos humanos en estas áreas, seguido del incremento actividades económicas y a la intensificación de eventos climáticos extremos en las últimas décadas (CEPAL 2018, Silver *et al.* 2019). Para proteger las comunidades costeras y la infraestructura, los gobiernos y los dueños de propiedades típicamente usan un enfoque basado en la ingeniería civil, como rompeolas y diques (Jones *et al.* 2012). No obstante, estas estructuras pueden requerir muchos recursos económicos para su construcción y mantenimiento, especialmente bajo condiciones climatológicas cambiantes (Dugan *et al.* 2012).

Una alternativa a las estructuras grises la constituyen las soluciones basadas en la naturaleza, como el uso de infraestructura verde o la adaptación basada en ecosistemas (AbE) (IPCC 2014), entre las que se incluyen la conservación y restauración de manglares como infraestructura natural. Existe evidencia de que un bosque de manglar de 500 metros de ancho podría reducir entre el 50% y el 100% de la altura de las olas, reduciendo sustancialmente los riesgos de inundación de las comunidades costeras alrededor del mundo (McIvor *et al.* 2012). Con base en lo anterior, World Bank (2016) sugiere que las sociedades deben entender el servicio de defensa costera de los manglares y conocer el valor monetario de la reducción de daños en diferentes eventos climáticos para contabilizarlo y garantizar su inclusión en la toma de decisiones en las áreas costeras.

En economía, los conceptos de valoración hacen referencia al bienestar humano, así el valor económico de un servicio ecosistémico varía en función de los cambios marginales que se producen en las condiciones de los ecosistemas, que se traducen en cambios en el bienestar de la sociedad y sus beneficios económicos (Bockstael *et al.* 2000, Barbier 2011). Para valorar esos cambios marginales, los economistas se apoyan en diferentes metodologías, que son pertinentes y aplicables dependiendo de la naturaleza de los mismos. El Cuadro 1 resume la escala, metodología utilizada y resultados obtenidos en estudios para valorar económicamente el SE de protección costera.

En el caso de valoración de la protección costera brindada por los manglares, varios estudios han utilizado el método de costos de reemplazo (Sathirathai y Barbier 2001, Samonte-Tan *et al.* 2007, Malik *et al.* 2015), el cual consiste en valorar el efecto del ecosistema mediante su posible sustitución por una infraestructura gris (p.ej. diques o rompeolas) que provea el mismo nivel de protección brindada por los manglares. Sin embargo, algunos autores han cuestionado la fiabilidad de los resultados obtenidos a través de estos estudios, ya que dependiendo de la zona de estudio podría realizarse una subestimación o sobreestimación del valor económico del SE (Barbier 2007, 2011, Freeman *et al.* 2014). Lo anterior debido a que los costos son generalmente inherentes al lugar de la construcción, sin embargo, los beneficios dependen de diferentes factores socioeconómicos, como la densidad poblacional, el nivel de desarrollo y las características de la infraestructura protegida.

El uso del método de transferencia de beneficios es también común para la valoración de dicho SE. La aplicación de éste se basa en la premisa de la existencia de una relación general de valoración de recursos naturales que puede estimarse en una área geográfica y transferirse a otras (Piper y Martin 2001), es decir, se precisa del uso de resultados o información recopilados

en entornos distintos a los que se está realizando el estudio (Richardson *et al.* 2015). Hernández-Blanco *et al.* (2021) hacen uso de dicho método, el cual combinan con modelización a través de Sistemas de Información geográfica (SIG) para estimar el valor del SE de protección costera en Costa Rica. Un desafío típico del uso de este método es que la información original coincide de manera imperfecta o deficiente con las condiciones biofísicas y socioeconómicas en el área objetivo de las transferencias.

En los últimos años, ha cobrado importancia el uso de metodologías basadas en daños evitados, un enfoque común en el diseño de estrategias para prevención de riesgos (World Bank 2016). En estas investigaciones se utilizan modelos predictivos basados en funciones de daño previstas, los cuales generan resultados sobre los beneficios de las intervenciones de protección de los ecosistemas. Los modelos predictivos buscan simular los complejos procesos costeros a través de índices que combinan datos hidrodinámicos (p. ej., la altura media significativa de las olas) y biofísicos o geográficos (p. ej., las características geográficas, topografía); de manera que al incorporar la influencia de los ecosistemas (p.ej., manglar) se pueda determinar el valor de estos en la reducción de daños durante un evento climático (p. ej. huracanes). Los estudios de valoración económica basados en modelos predictivos proporcionan a los encargados de la formulación de políticas un instrumento importante para mejorar la adopción de decisiones en relación con los recursos naturales, informar procesos de toma de decisiones con respecto a los procesos de desarrollo y fundamentar políticas de conservación y reducción de riesgos y desastres.

Cuadro 1: Estudios de valoración económica del SE protección costera

Referencia	Región	Escala	Metodología	Estimación (millones de US\$/ año)
Samonte-Tan <i>et al.</i> (2007)	Asia	Local	Costos de remplazo	0.16
Cooper <i>et al.</i> (2009)	Centro América	Nacional	Daños evitados	139
Malik <i>et al.</i> (2015)	Asia	Local	Costos de remplazo	6,4
Arkema <i>et al.</i> (2015)	Centro América	Nacional	Daños evitados	2,500
Narayan <i>et al.</i> (2017)	Norte América	Local	Daños evitados	625
Menéndez <i>et al.</i> (2018)	Asia	Nacional	Daños evitados	1.000
Menéndez <i>et al.</i> (2020)	Global	Global	Daños evitados	65,000
Hernandez-Blanco <i>et al.</i> (2021)	Centro América	Local	Transferencia de beneficios	103

Existen varias técnicas para utilizar los modelos predictivos, por ejemplo, Menéndez *et al.* (2018, 2020) hacen uso de modelos numéricos avanzados para simular los procesos físicos, que intervienen en la hidrodinámica de las olas y las interacciones de las mismas con el ecosistema. Los resultados de las simulaciones se combinan con variables sociales y económicas para estimar la cantidad de personas que son protegidas por los ecosistemas y los daños económicos evitados debido a la existencia de los manglares. Alternativamente, mediante un componente de modelización analítica con SIG, Cooper *et al.* (2009) estimaron el valor de protección provisto por los manglares a escala nacional en Belice. Siguiendo la misma lógica, Arkema *et al.* (2015) utilizaron el modelo de protección costera de InVEST para estimar el valor del SE provisto por manglares, arrecifes coralinos y pastos marinos en Belice, como resultado estimaron el valor promedio de daños evitados anuales es de aproximadamente US\$ 2,500 millones (el modelo

utilizado en esta investigación ya no está dentro del catálogo de las últimas versiones de InVEST).

Los datos presentados en el cuadro 1 resumen las diferentes metodologías y resultados, en estudios que intentan determinar el valor del SE de protección costera; en estos se observa una predominante inclinación hacia el uso de modelos predictivos, seguido por los costos de reemplazo y finalmente el método de transferencia de beneficios. Es importante mencionar que aunque hay estudios que se desarrollaron a la misma escala y en el mismo país, como Cooper *et al.* (2009) y Arkema *et al.* (2015), estos presentan diferencias significativas en sus resultados. Esta variabilidad obedece principalmente a las diferentes consideraciones y supuestos que suelen determinar cada estudio, por ejemplo, el estudio de Arkema *et al.* (2015) plantea riesgos de inundación ante huracanes de categoría uno y dos, mientras que Cooper *et al.* (2009) hacen una modelación de riesgos para un evento con una tasa de retorno de 25 años (las características de dicho evento climático no se describe en el documento).

1.2. Valoración económica del servicio ecosistémico de regulación del clima

Los manglares, pastos marinos y marismas son colectivamente conocidos como ecosistemas de carbono azul o bosques azules, porque actúan como sumideros de carbono, de forma similar a sus contrapartes terrestres (McLeod *et al.* 2011, Pendleton *et al.* 2016 y Himes-Cornell *et al.* 2018). De acuerdo con Alongi (2012), los manglares poseen una reserva media de carbono almacenado de ~937 toneladas por hectárea (tC/ha), que es alrededor de 2.5-5 veces mayor que la reserva media de carbono de ecosistemas que se encuentra en los bosques tropicales templados, boreales y de tierras altas (200-400 tC/ha) (Elwin *et al.* 2019). Además, en promedio los manglares secuestran entre 6 y 8 toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) por hectárea al año (Murray *et al.* 2010, Zarate-Barrera y Maldonado 2015); estas tasas son aproximadamente de dos a cuatro veces mayores que las tasas mundiales documentadas en los bosques tropicales maduros (1,8 a 2,7 t CO₂e/ha/año) (Lewis *et al.* 2009).

La destrucción y degradación de ecosistemas naturales representa aproximadamente el 30% del CO₂ liberado a la atmósfera, lo que ayuda a impulsar el calentamiento global (Lovelock *et al.* 2017, citando a Houghton 2003); debido a su gran capacidad de almacenamiento, al degradarse los manglares se convierten en una fuente importante de emisión de carbono (Howard *et al.* 2014). La pérdida de los ecosistemas de carbono azul significa liberar tanto el carbono que ya está almacenado en la biomasa y en el suelo, como desaprovechar el potencial futuro para secuestrar más carbono; por lo tanto, evitar su degradación es de suma importancia en el proceso de mitigación para combatir el cambio climático (IPCC 2014, 2021).

Al almacenar y secuestrar carbono, los manglares contribuyen a la regulación climática global. Los datos anteriores evidencian el potencial de mitigación del cambio climático de los manglares. Sin embargo, como señalan Zarate-Barrera y Maldonado (2015), los estudios de valoración económica de secuestro y/o almacenamiento de carbono en manglares son relativamente pocos en comparación con otros servicios ecosistémicos. Además, Lavery *et al.* (2013) indican que la literatura en este campo es aún incipiente, y que la mayoría de los estudios se han concentrado en descripciones detalladas de su importancia más que de su valor económico.

El proceso de valoración económica del SE de regulación climática (almacenamiento y/o secuestro de carbono) brindado por los manglares implica, en primer lugar, determinar el stock

y la tasa anual de secuestro de carbono. En tal sentido, algunos autores como Kauffman *et al.* (2013), Howard *et al.* (2014) y Cifuentes-Jara *et al.* (2018) brindan guías metodológicas para realizar dichas mediciones. Posteriormente, la información sobre stock y tasa de secuestro anual se combina con información económica para determinar su valor; este proceso típicamente se realiza apoyándose en metodologías de preferencia reveladas, mediante un enfoque de cambios en la productividad; y se puede realizar desde dos perspectivas, social y privada, que se detallan a continuación.

1.2.1. Perspectiva social

La valoración económica de carbono, desde la perspectiva social, permite estimar los beneficios para la sociedad a nivel nacional o mundial derivados de la no emisión o de la captura adicional de gases de efecto invernadero (GEI) proporcionada por un ecosistema. En tal sentido, el Costo Social del Carbono (CSC) es uno de los principales enfoques para determinar el precio social del mismo. El CSC se define como el valor monetario del daño causado al emitir una tonelada adicional de carbono en un momento dado (Nordhaus 2017). El CSC busca identificar el costo económico que ocasiona dicha tonelada de CO₂ sobre las actividades económicas, el bienestar social y los ecosistemas (Stern 2007, Watkiss y Downing 2008).

El CSC considera los costos económicos de los daños generados por el cambio climático en sectores como: agricultura, silvicultura, pesca, transporte, sector hotelero, energía, salud, los ecosistemas, y actividades humanas para la recreación (Howard 2014). La evidencia reportada sobre el valor del CSC es muy variada y heterogénea debido al uso de distintos supuestos, valor de los parámetros y tasas de descuento en los Modelos de Análisis Integrados (MAI). Los MAI abordan las complejas relaciones entre las emisiones GEI, los cambios en la temperatura y los daños físicos en la producción/consumo (Alatorre *et al.* 2019).

Existen varios estudios que buscan determinar el CSC, la mayoría de estas estimaciones se realizan de forma global, lo que significa que se contabilizan los daños económicos generados en todos los países del mundo, por la emisión de una tonelada de CO₂, sin importar donde se produzca dicha emisión (Tol 2011). Nordhaus (2017) estimó el CSC para 2020 en US\$ 37.3/tC (2010 US\$), usando una tasa de descuento de 3.5%. Alternativamente las estimaciones de Tol (2019) (tasa de descuento 1%) determinaron un CSC de US\$ 24.02/tC (2018 US\$). Recientemente, el Grupo de Trabajo Interinstitucional sobre el Costo Social de los Gases de Efecto Invernadero del Gobierno de los Estados Unidos IWG (2021), tomando como base una tasa de descuento de 3%, determinó un CSC de US\$ 51/tC (2020 US\$).

El Cuadro 2 presenta los resultados de algunos estudios de valoración económica del SE de regulación climática (almacenamiento o secuestro de carbono) brindado por los manglares desde la perspectiva social. Jerath *et al.* (2016) tomaron como referencia el costo social del carbono estimado por IWG (2013), el cual ascendía a US\$ 167 t/CO₂e (2015 US\$), para determinar el valor del carbono almacenado en los Everglades en Florida, USA. De manera similar, Tanner *et al.* (2019) hacen uso del CSC para estimar el valor del stock de carbono en Las Islas Galápagos, Ecuador, utilizando en este caso el valor de referencia es de US\$ 132/tCO₂e. Alternativamente Kumagai *et al.* (2020) utilizan un CSC de US\$ 146.8/tCO₂e, el cual, según los autores es un valor conservador, para la comunidad científica, pero aceptable para las valoraciones de carbono. Por otro lado, Hernández-Blanco *et al.* (2021) utilizan el CSC para valorar el secuestro de carbono, el valor fue obtenido de una revisión de artículos científicos, que produjo como resultado un promedio de US\$ 87/tC, es importante mencionar que los valores

de secuestros corresponden a una tasa anual, por lo tanto están expresados en US\$ por hectárea al año.

Cuadro 2: Estudios de valoración económica del SE de regulación del clima desde la perspectiva social

Referencia	Servicio Ecosistémico	País	Precio de referencia	Estimación
Jerath <i>et al.</i> (2016)	Almacenamiento	USA	US\$ 167 t/CO ₂ e	US\$ 56,045 ha
Tanner <i>et al.</i> (2019)	Almacenamiento	Ecuador	US\$ 132/tCO ₂ e	US\$ 22,838 ha
Kumagai <i>et al.</i> (2020)	Almacenamiento	México	US\$ 146/tCO ₂ e	US\$ 39,500 ha
Hernández-Blanco <i>et al.</i> (2021)	Secuestro	Costa Rica	US\$ 87/tC	US\$ 1,914.85 ha/año

Los datos anteriores evidencian la variabilidad que puede existir en los valores del CSC, y cómo estas diferencias en los precios afectan de manera directa las estimaciones de valor económico del SE de regulación climática que se obtienen en los diferentes estudios. Aunado a lo anterior, los factores biofísicos influyen directamente en los resultados de las diferentes investigaciones, lógicamente la capacidad de almacenamiento y secuestro variara en función de elementos como la localización, el clima, la edad del manglar, la hidrología entre otros, por lo tanto, se deberían también tomar en consideración estos elementos al comparar los resultados.

1.2.2. Perspectiva privada

La valoración económica de los SE de regulación climática desde una perspectiva privada es de suma importancia para las partes interesadas en el comercio de carbono. Los mercados de carbono son instancias en las que los gobiernos, las empresas y los individuos acuerdan comprar y vender créditos de carbono (UNDP 2016). El objetivo principal de estos es reducir las emisiones de GEI o de carbono de forma rentable, estableciendo límites a las emisiones y permitiendo el comercio de unidades de emisión (UNDP 2016, World Bank 2019). Existen dos tipos de mercados de carbono, a saber: los mercados de cumplimiento regulado y los mercados voluntarios, los valores a los que se transa en ambos pueden figurar como una medida de precio en estudios de valoración económica privada del SE de regulación climática.

Los mercados de cumplimiento regulado tienen su origen en las obligaciones y límites de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) establecidos en el marco de los acuerdos internacionales, así como en las normativas regionales o nacionales (UNDP 2016). En estos mercados, una entidad centralizada hace cumplir la reducción de las emisiones de GEI, fijando los límites máximos de emisión de los mismos permitidos para cada uno de los participantes durante un periodo determinado (World Bank 2020). Estudios como el realizado por Jerath *et al.* (2016) utilizan precios de mercados regulados para determinar el valor del stock de carbono en Florida, USA.

Alternativamente, existen los mercados voluntarios de carbono, estas son iniciativas autorreguladas que no se rigen por ninguna normativa nacional o tratados internacionales y que son gestionados por organizaciones privadas e independientes, comúnmente organizaciones no gubernamentales (ONGs) (World Bank 2020). En este tipo de mercados no existe un sistema único y centralizado para que los vendedores se conecten con los compradores voluntarios, sino

que hay un conjunto de transacciones múltiples en todo el mundo (Forest Trends' Ecosystem Marketplace 2020). La demanda suele proceder de empresas o particulares que buscan adquirir créditos de compensación de carbono voluntarios en función de la ética corporativa, la responsabilidad social, la reputación, las relaciones públicas y de los beneficios medioambientales (Hamrick y Gallant 2017). Varios estudios toman como referencia los mercados voluntarios para valorar stocks y tasas de secuestro de carbono en manglares, por ejemplo, Estrada *et al.* (2015), Jerath *et al.* (2016), Malik *et al.* (2015) y Tanner *et al.* (2019).

El Cuadro 3 presenta los resultados de algunos estudios realizados usando precios de mercado para valorar secuestro o almacenamiento de carbono. Las diferencias en los resultados se pueden atribuir a variaciones principalmente biofísicas del ecosistema, así como a la elección del precio a utilizar, por ejemplo, Estrada *et al.* (2015) tomaron en consideración el precio promedio del valor de las transacciones de carbono forestal en los principales mercados globales, (no se especifica si regulados o voluntarios) determinando el precio del mismo en US\$ 18 t/CO₂e, dicho estudio realizó la estimación para secuestro y almacenamiento (en ambos casos con el mismo precio). Por otro lado, Jerath *et al.* (2016) realizan una comparativa usando el precio promedio de los mercados voluntarios a nivel global (US\$ 14.36 t/CO₂e) y los mercados regulados en Estados Unidos mediante la Iniciativa Regional de Gases de Efecto Invernadero (RGGI) (US\$ 18 t/CO₂e). En Indonesia, Malik *et al.* (2015) desarrollaron un estudio similar, en el cual utilizaron el precio promedio de los mercados voluntarios (US\$ 5.5 t/CO₂e), dicho estudio se realizó para secuestro únicamente.

Cuadro 3: Estudios de valoración económica de SE de regulación del clima desde la perspectiva privada

Referencia	Servicio Ecosistémico	Región	País	Metodología	Estimación
Estrada <i>et al.</i> (2015)	Secuestro	América	Brasil	Precios de mercado	US\$ 136 ha/año
	Almacenamiento			Precios de mercado	US\$ 1,036 ha
Jerath <i>et al.</i> (2016)	Almacenamiento	América	USA	Precios de mercado (voluntario)	US\$ 4,819 ha
	Almacenamiento			Precios de mercado (regulado)	US\$ 6041 ha
Malik (2015)	Secuestro	Asia	Indonesia	Precios de mercado	US\$ 550 – 1.100 ha/año
Tanner (2019)	Almacenamiento	América	Ecuador	Precios de mercado	US\$ 2,940 ha

2. Metodología

2.1. Área de Estudio

La República Dominicana comparte con Haití la isla caribeña La Española, ocupando una superficie de 48,670 km², que abarca dos tercios orientales de la misma; pertenece a las Antillas Mayores, y está situada aproximadamente en el centro del Arco Antillano (FAO 2016). Este estudio se centra en el litoral de la provincia Monte Cristi, en República Dominicana (ver figura 1), la cual según el Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (MEPyD 2017) tiene una extensión de 1,888.12 km², limitando al norte con el Océano Atlántico; al este con las provincias de Puerto Plata y Valverde; al sur con las provincias Santiago Rodríguez y Dajabón; y al oeste con Haití.

La provincia de Monte Cristi presenta un rango altitudinal de 0³ a 736 metros sobre el nivel del mar (USGS 2014). Cuenta con un clima semiárido, en 2017 la temperatura media anual fue de 27.3 °C, registrando mínimas de 22.8 °C y máximas de 31.8 °C; la humedad relativa del aire ascendió a 70.2% y la precipitación anual fue de 963.9 mm anuales⁴ (ONE 2019). La lluvia se distribuye en dos períodos bien diferenciados, uno entre los meses de mediados de marzo a junio y otro entre agosto a diciembre (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales *et al.* 2014).

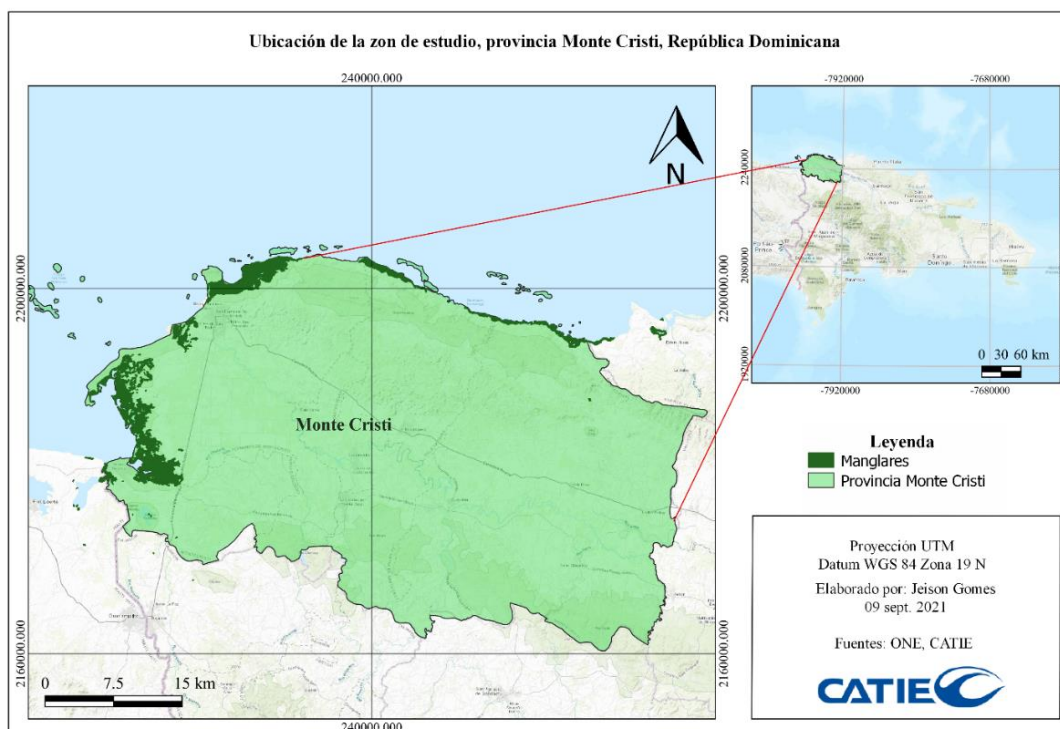


Figura 1: Ubicación del área de estudio, litoral de la provincia de Monte Cristi, República Dominicana. **Fuente:** Elaboración propia con datos de la Oficina Nacional de Estadística (2015) y CATIE (2020)

De acuerdo con el IX Censo Nacional de Población y Vivienda llevado a cabo por la Oficina Nacional de Estadística (ONE 2013), a diciembre 2010 en Monte Cristi había 109,607 habitantes, 53% hombres y 47% mujeres. La provincia es la vigésima primera entidad de su tipo más poblada a nivel nacional (de las 32 existente), y ocupa la posición 27 en cuanto a densidad poblacional (58 Hab/km²), muy distante en este aspecto de las cinco entidades más densamente pobladas del país (Distrito Nacional, Santo Domingo, San Cristóbal, La Romana y Santiago). El Índice de Desarrollo Humano Provincial⁵ (IDHp), calculado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD 2013), ubica a la provincia de Monte Cristi en el vigésimo lugar IDHp del país, con un valor de 0.387, dentro de la clasificación de Desarrollo Humano Medio Bajo, situándose por debajo del IDH promedio nacional (0.513).

La estructura económica de la provincia de Monte Cristi se puede agrupar en cuatro clústeres estratégicos (MEPyD 2017): a) sector agrícola; b) sector logístico; c) producción de sal y d)

³ Algunas áreas se encuentran has 50 metros debajo del nivel del mar

⁵ Los valores del IDHp oscilan entre 0 y 1, de manera que cuanto más una provincia observe valores cercanos a la unidad, mejor habrá sido su desempeño en el IDHp.

sector turismo. Estos clústeres tienen mayores oportunidades de desarrollo y consolidación, presentando un nivel considerable de aprovechamiento actual y cuentan con potencialidades de crecimiento sostenible en el largo plazo.

2.2. Procedimientos metodológicos

2.2.1. Valoración económica del SE de protección costera

La metodología empleada para la valoración de este servicio ecosistémico se diseñó con base en los métodos de preferencias reveladas. El enfoque principal del estudio se basa en el método de función de daños, el cual, debido a la limitada información biofísica y económica, se combinó información obtenida en otros estudios para realizar las estimaciones pertinentes.

El proceso metodológico usado para la consecución de este objetivo se resume en la figura 2. El paso uno consistió en realizar modelaciones para conocer las áreas con potencial riesgo de inundación costera en toda la provincia de Monte Cristi. Con la información anterior se delimitaron espacialmente las áreas de interés del estudio, para posteriormente, digitalizar geográficamente las propiedades expuestas a inundación, y estimar su valor económico. Posteriormente, se utilizó la digitalización previa para modelar posibles inundaciones causadas por características de oleaje asociadas a las diferentes categorías de huracanes; en esta fase se estableció una línea base, que indica las pérdidas económicas totales en los eventos climáticos modelados, la cual se realiza con base en funciones de daño-profundidad (FDP). Finalmente, el efecto del manglar en la reducción de daños se incorporó a través de uso de FDP alternativas que reflejan una disminución en los porcentajes de daño a las diferentes alturas de inundación en presencia de manglar, en los diferentes huracanes modelados. La comparación entre la línea base y el escenario que presenta el rol protector del manglar permite determinar el cambio marginal en los daños económicos, el cual representaría el valor del servicio ecosistémico. Una descripción más detallada de cada una de las fases se presenta a continuación.

a) Modelación inicial de áreas de inundación

La modelación del riesgo de inundación costera para la población de la provincia de Monte Cristi se realizó mediante el uso del software COAST (COastal Adaptation to Sea level rise Tool). La herramienta de evaluación de daños COAST se puede utilizar para gestionar activos con respecto a diferentes escenarios climáticos; estos incluyen inundaciones en zonas costeras causadas por mareas de tempestad asociadas a diferentes eventos climáticos (como huracanes), lo que permite una virtual proyección de desastres locales (Blue Marble Geographics 2013). Tonmoy *et al.* (2015) y Marengo *et al.* (2016) utilizaron COAST para modelar diferentes eventos de inundación en ciudades de Australia y Brasil, respectivamente; en ambos casos, con el fin de conocer mejor los riesgos de inundación costera, así como los potenciales daños económicos derivados de la misma.

La ejecución del modelo COAST se desarrolló en dos etapas. Durante la primera fase se corrió el modelo para toda la provincia de Monte Cristi, esto sirvió para identificar aquellas zonas costeras con potencial riesgo de inundación en la provincia. Debido a la naturaleza del estudio se decidió trabajar las áreas urbanas potencialmente afectadas por las inundaciones, en este caso el municipio de San Fernando de Monte Cristi. Con los resultados obtenidos en esta etapa se procedió a la elaboración de otros insumos necesarios en la segunda fase de ejecución del modelo, los cuales se explican a continuación.

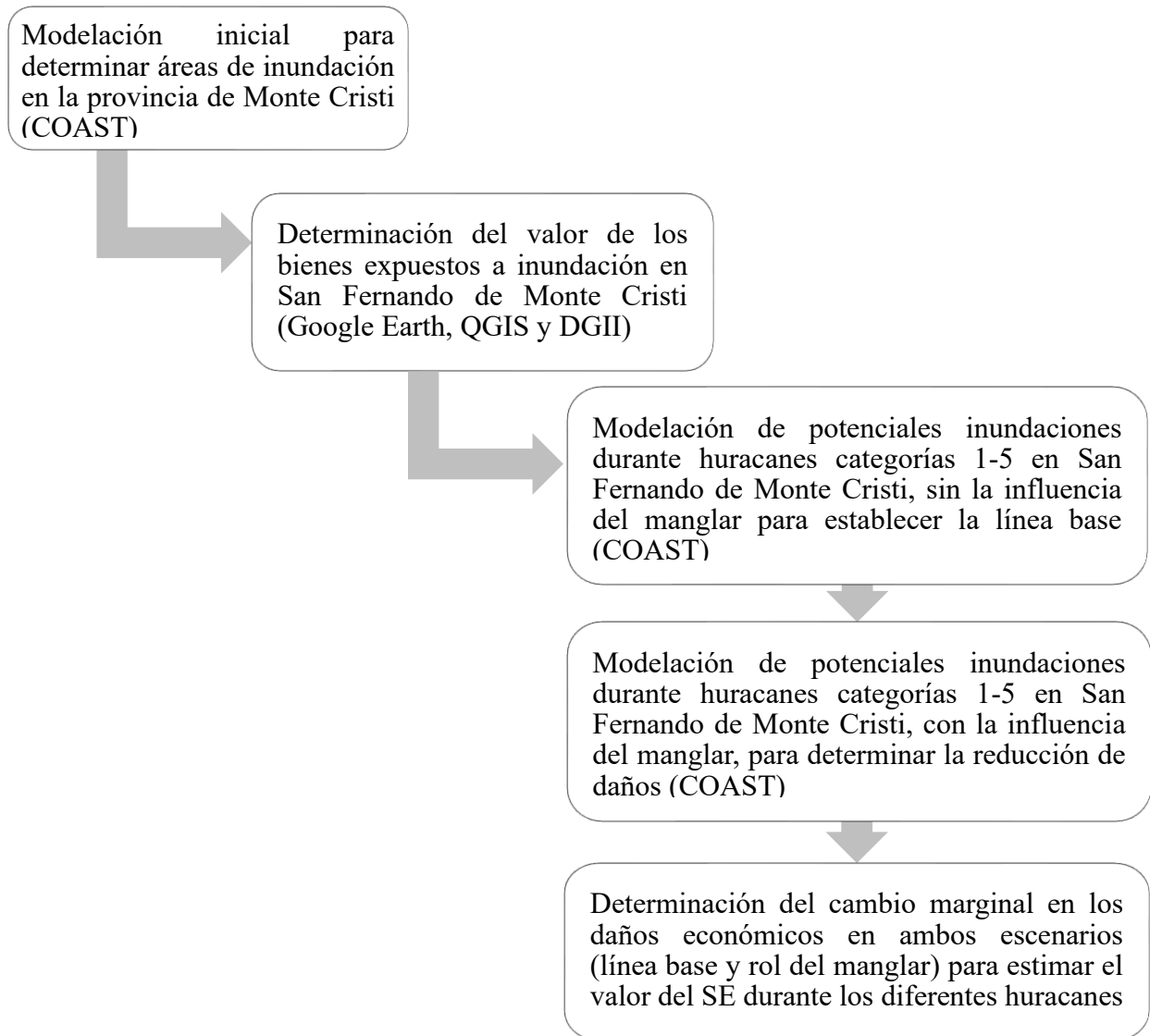


Figura 2: Procedimientos metodológicos para la valoración del SE de protección costera

b) Estimación del valor de bienes inmuebles expuestos a inundaciones

Con los resultados obtenidos en la etapa anterior se procedió a la digitalización de las infraestructuras urbanas detectadas en imágenes del año 2021 obtenidas de Google Earth, en la interfaz del software QGIS, versión 3.14.15. La digitalización se realizó en una capa vectorial en forma de polígonos, los cuales representan espacios geográficos expuestos a inundación. Dicha capa vectorial, contiene varios atributos para cada polígono, por ejemplo, el número de viviendas por polígono (realizado mediante un conteo de puntos utilizando imágenes satelitales de Google Earth), el tamaño promedio de las viviendas en cada polígono, el valor promedio por metro cuadrado de construcción dependiendo del sector en la que está localizadas, entre otros.

El fin de esta fase fue establecer el valor promedio de los activos ubicados en las áreas que sufrirán daños por inundación acuerdo al modelo. Para tal efecto, se combinó información espacial con datos económicos obtenidos de la Dirección General de Impuestos Internos de la República Dominicana (DGII), mediante el uso de la herramienta de cálculo de valor de

inmueble (IPI). El valor IPI refleja los valores mínimos de referencia de un inmueble (en este caso viviendas), dependiendo de los metros cuadrados de construcción y del sector en el que se encuentre localizado el bien. Este valor se actualiza cada año, por lo tanto, la cifra estimada esta expresada en 2021 US\$ (DGII 2021).

Con los parámetros y datos anteriores, se procedió a la estimación del valor de las viviendas. En primera instancia se multiplicó el valor promedio por metro cuadrado por el tamaño promedio de las viviendas de cada polígono, lo que dio como resultado el valor estimado por vivienda. Posteriormente, se procedió a multiplicar ese resultado por el número de viviendas en cada uno de los polígonos; lo que produjo el valor de construcción en cada uno de los polígonos. Es necesario mencionar que este valor no refleja precisamente el precio real de mercado, ya que el valor IPI proviene de declaración de impuestos de los contribuyentes y estas típicamente son menores que los valores de compraventa en el mercado inmobiliario, por lo tanto, podrían estar subestimados.

Los datos anteriores hacen referencia únicamente a los costos relacionados con la construcción de las edificaciones en sí (DGII 2021), sin embargo, los eventos de inundación también generan daños a los contenidos residenciales. Hasta donde tenemos entendido no hay información sobre el valor de contenidos residenciales promedio en Monte Cristi o República Dominicana. Para resolver esta situación, algunos modelos nacionales de inundación como HAZUS, en Estados Unidos, sugieren que el valor del contenido residencial se puede estimar como una aproximación del valor de la estructura de una edificación (Scawthorn *et al.* 2006, FEMA 2013),

Con base en lo anterior, en este estudio se plantea el supuesto que el valor del contenido residencial representa el 50% del valor de la construcción que se deriva del valor de inventario que manejan las compañías de seguros a nivel global y que es sugerido por Penning-Rowsell *et al.* (2010), De Moel *et al.* (2014) y Huizinga *et al.* (2017). Este dato se introdujo como un atributo en la capa vectorial de activos, para tal efecto se dividió el valor de construcción entre dos.

c) Valoración de daños económicos

La segunda fase de la ejecución del modelo COAST precisó una serie de datos y parámetros de entrada a la herramienta, que contribuyen a la determinación de daños físicos y económicos en las zonas de estudio. Una descripción de cada uno se presenta a continuación:

- Capa vectorial de activos: conjunto de activos con potencial de sufrir daños por inundación (insumo producido en la fase anterior).
- Modelo Digital de Elevación (MDE): un conjunto de datos de elevación del terreno que define el área a ser modelada, esto es típicamente un ráster generado a partir de datos LiDAR⁶, como representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar en San Fernando de Monte Cristi, el cual fue obtenido a través del MIMARENA, con una resolución de 12.5 metros. Los MDE son una de las principales entradas en modelaciones hidrodinámicas (Musa *et al.* 2015) y sirven como un elemento

⁶ Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging es un método de teledetección utilizado para examinar la superficie de la Tierra.

determinante de la propensión de inundaciones en una zona determinada, la cual típicamente aumenta a medida la elevación es más baja (Pérez *et al.* 2018).

- Curva de excedencia: La construcción de este insumo se realizó mediante datos del visor histórico de huracanes de la Oficina Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA 2021). Los datos de la altura de las olas según el tipo de huracán se adaptaron de Haq *et al.* (2012), quienes presentan datos de altura de las olas dependiendo de la categorización de los mismos con base en la escala de Saffir-Simpson, de forma estandarizada a nivel global; para evitar sobre estimaciones, se tomó en cuenta el valor más bajo en el rango de altura de las olas.
- Nivel de agua base: dato que representa el valor utilizado para ajustar el nivel del mar (elevación cero) al nivel del agua utilizado como punto de partida para los cálculos de la elevación del nivel del mar. Debido a la no existencia de este datum para la zona de Monte Cristi, los cálculos de este estudio se realizaron tomando como referencia los datos presentados por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) que indican valores promedio para la región del Caribe (Strauss y Kulp 2018).
- Funciones de daño-profundidad (FDP): La FDP es una metodología común e internacionalmente aceptada para estimar el valor relativo o absoluto de los daños a través de una relación causal entre la magnitud de una amenaza (la profundidad del agua) y los daños aproximados como resultado de diferentes niveles de inundación (Jonkman *et al.* 2008, Kreibich y Thieken 2008).

Para establecer una FDP se reconocen tres enfoques básicos, estudios posteriores a inundaciones, estimaciones sintéticas de daño y la adaptación de funciones de daño desarrolladas en otras áreas de estudio (USACE 1992). Debido a limitantes de tiempo y de recursos, así como a las restricciones establecidas debido al COVID-19, se decidió hacer una adaptación de FDP previamente desarrolladas en otros estudios. Para tal efecto, se realizó una búsqueda general de este enfoque a nivel global, y a partir de la cual se seleccionaron las FDP globales desarrolladas por Huizinga *et al.* (2017). Algunos modelos de simulación de inundaciones como el de mitigación del riesgo de inundaciones urbanas, del catálogo de InVEST, recomiendan usar dichos datos cuando se carece de información específica del área donde se desarrolle un estudio relacionado con inundaciones (The Natural Capital Project 2021).

En el marco de las FDP, es importante señalar que los factores de daños de las estructuras y los contenidos residenciales se comportan de manera diferente, en tal sentido, en las estructuras residenciales hay un porcentaje de aproximadamente el 40% que no sufre daños por inundación y, por lo tanto, no debe incluirse en la evaluación de daños máximos debido a eventos de inundación (Huizinga *et al.* 2017). En el caso del contenido residencial dicho supuesto no es aplicable, en consecuencia, el total del contenido residencial está expuesto a los daños máximos (ver Cuadro 4).

- Datos sobre medidas adaptativas: información sobre la reducción de daños asociada a una medida adaptativa existente o planificada, en este caso los manglares, la cual se introduce como una función de daño adicional. El efecto del ecosistema en la reducción de inundaciones y erosión se verificó mediante un análisis espacial de los resultados presentados por Ortega *et al.* (2021), los cuales muestran que el manglar tiene un rol en la

reducción del riesgo de inundaciones y erosión, en particular, en la línea costera de San Fernando de Monte Cristi.

Debido a la limitada información biofísica existente sobre la reducción de inundaciones presentada por manglares en República Dominicana, se decidió construir la FDP de los manglares realizando una adaptación de los resultados de Yanagisawa *et al.* (2010). El estudio presenta el desempeño de los manglares en términos de reducción de oleaje causado por un determinado evento climático. Debido a que el manglar presenta una influencia lateral y no frontal frente a la reducción de la altura de las olas en San Fernando de Monte Cristi, se decidió utilizar los menores niveles de disminución de oleaje asociados a manglares presentados por Yanagisawa *et al.* (2010). Lo anterior con el fin de tratar de evitar una sobreestimación del valor del servicio ecosistémico, dichos porcentajes corresponden a un manglar de 10 años y 100 metros de ancho. Los parámetros de las funciones de daño se pueden observar en el Cuadro 4. Además, realizamos un análisis de sensibilidad modificando las funciones de daño de los manglares para determinar potenciales daños evitados asumiendo que el ecosistema brinda un mayor nivel de protección, dichas estimaciones se realizan tomando como referencia un incremento en el ancho del escenario base de a 300 y 500 metros.

Cuadro 4: Funciones de daño utilizadas para la ejecución del modelo COAST; los valores indican el porcentaje de daño en infraestructura o contenido asociado a cada profundidad de inundación

Profundidad	Estructura residencial sin manglares	Estructura residencial con manglares	Contenido residencial sin manglares	Contenido residencial con manglares
0	0%	0%	0%	0%
0.5	7%	3%	11%	4%
1	13%	8%	21%	13%
1.5	18%	11%	30%	18%
2	23%	14%	39%	23%
3	34%	30%	57%	37%
4	48%	42%	80%	70%
5	48%	46%	80%	76%
6	57%	55%	95%	91%

Fuente: Elaborada con base en los estudios de Huizinga *et al.* (2017) y Yanagisawa *et al.* (2010)

2.2.2. Valoración económica del SE de regulación del clima

Para determinar el valor económico del almacenamiento de carbono, que da lugar al SE de regulación del clima, se utilizó un enfoque basado en métodos de preferencias reveladas, específicamente un enfoque de función de producción. Un elemento clave para la valoración económica del SE de regulación climática son las evaluaciones para determinar el stock y la tasa de secuestro anual, las cuales típicamente se realizan a través de estudios en campo. En esta investigación no se realizaron dichas mediciones debido a restricciones técnicas, temporales y presupuestarias, sino que se utilizan los resultados del estudio reciente de Kauffman *et al.* (2014), quienes cuantificaron el carbono almacenado en los manglares de Monte Cristi.

El proceso metodológico realizado para la consecución de este objetivo se realizó en tres fases, a) determinación de posibles créditos de carbono generados por servicios de almacenamiento, b) determinación de los precios sociales y privados y c) determinación del valor económico

generado por los posibles créditos; una descripción más detallada de estos se presenta a continuación.

a) Determinación de los posibles créditos de carbono

En esta fase se propone un escenario hipotético en el que se plantea un posible proyecto de reducción de emisiones por deforestación y degradación evitada en los manglares de Monte Cristi. Esto es similar a lo propuesto por las iniciativas las iniciativas de “Reducción de las Emisiones por Deforestación y Degradación de los bosques” (REDD+); el cual es un mecanismo financiero internacional que permite a los países tropicales ser recompensados por sus esfuerzos para reducir las emisiones de carbono derivadas de la deforestación y la degradación de los bosques (Ajonina *et al.* 2014). Como resultado, se obtienen los créditos de carbono que podrían generarse y comercializarse en los mercados de carbono si se evita un porcentaje determinado de deforestación.

Para determinar la deforestación evitada, se tomó como referencia la tasa de deforestación de manglares en República Dominicana estimada por Meyer-Arendt *et al.* (2013), que equivale al 1.0% y que puede considerarse un indicador de lo que podría pasar si no se implementan medidas para evitar la deforestación actual. Posteriormente, esta información se combinó con los datos obtenidos por Kauffman *et al.* (2014) quienes estimaron que en promedio los manglares en Monte Cristi poseen una reserva media de 853/tC/ha, que incluyen el carbono en suelo y en biomasa. Una de las alternativas más comunes para sustituir los manglares son las camaronerías, los mismos autores plantean que los estanques de producción de camarón únicamente almacenan en promedio 95/tC/ha, lo que representa ~11% del almacenamiento de los manglares. Por lo anterior se puede concluir que la deforestación y conversión de estos, pueden causar emisiones medias de 758 tC/ha, es decir, ~2,781 tCO₂e/ha (factor de equivalencia: 1tC=3.67tCO₂e). Finalmente, se multiplica la posible deforestación evitada expresada en hectáreas, por el promedio de carbono potencialmente liberado de la misma, para determinar los créditos de carbono con posibilidad de comercializarse.

b) Selección de los precios del carbono

Debido a la poca flexibilidad y restricciones geográficas que presentan los mercados obligatorios de carbono (World Bank 2020), para la valoración económica privada se tomó como referencia los precios en los mercados voluntarios. Para tal efecto, se usaron los precios promedio para el período 2015-2019 reportados en por (Forest Trends’ Ecosystem Marketplace 2016, 2019, 2017, 2018, 2020) en el sector forestal y uso del suelo. Además, teniendo en consideración las fluctuaciones en los mercados, se determinó un rango inferior y superior en el precio, a través de la desviación estándar en los precios durante el período 2015-2019. Finalmente, se actualizaron todos los datos al valor de dólares estadounidenses en 2020. Este proceso se realizó usando la tasa promedio de inflación global por deflactor del PIB para dicho período (World Bank 2021). Tomando en cuenta lo anterior, el precio promedio utilizado en este estudio es de US\$ 4.51 /tCO₂e, la desviación estándar es US\$ 1.031/tCO₂e, por lo tanto, el límite inferior del precio se estableció US\$ 3.48 t/CO₂e en y límite superior en US\$ 5.54 t/CO₂e, expresados en 2020 US\$ (ver Cuadro 5).

La valoración social se realizó utilizando el Costo Social del Carbono. Para tal estimación se usaron los estudios realizados por Nordhaus (2017) y el Grupo de trabajo interinstitucional sobre el coste social del carbono (IWG 2021), dos de los estudios más recientes sobre el CSC.

Nordhaus (2017) postula que el CSC para 2020 es de US\$ 37.30/tC (2010 dólares US\$) teniendo en cuenta una tasa de descuento de 3.5%, al igual que en la estimación privada, este valor se actualizó a 2020 US\$ mediante la tasa de inflación por deflactor del PIB (World Bank 2021) para el periodo 2010-2019. En ambos casos (actualización privada y social) se decidió usar el deflactor del PIB porque este, a diferencia del IPC, refleja los precios de todos los bienes y servicios producidos, no solo de aquellos comprados por el consumidor (Krugman y Wells 2007, Mankiw 2012). El IWG (2021) sugiere que el CSC es de US\$ 51/tC, teniendo en consideración una tasa de descuento de 3%; en este caso no fue necesario actualizar los valores porque están expresado en 2020 US\$.

Finalmente, los datos anteriores se convirtieron a valores expresados en CO₂e (factor de equivalencia: 1tC=3.67tCO₂e), produciendo los siguiente resultados US\$ 181.76/tCO₂e (Nordhaus) y US\$ 153/tCO₂e (IWG). El Cuadro 5 resume los datos utilizados en la valoración desde el enfoque privado y social.

Cuadro 5: Precios utilizados en el estudio, valores por tCO₂e (2020 US\$)

Enfoque privado			Enfoque social	
Límite inferior (-1.031)	Promedio	Límite superior (+1.031)	Nordhaus (2017)	IWG (2021)
\$ 3.48	\$ 4.51	\$ 5.54	\$ 181.76	\$ 153.00

Fuente: Estimaciones basada en Forest Trends' Ecosystem Marketplace (2016-2020), Nordhaus (2017) y IWG (2021)

c) Estimación del valor económico

Para realizar la valoración económica se tomó como referencia un horizonte temporal de 20 años, que según Calmel *et al.* (2019) es un período común en la mayoría de los proyectos de carbono. También, se asume una tasa de deforestación evitada constante para todo este período (1% anual); además, se debe considerar que la estimación se realizó a precios constantes en 2020 US\$, tomando en consideración los diferentes rangos previamente establecidos.

Para determinar los posibles ingresos derivados de los créditos de carbono, así como para la estimación del valor social, multiplicamos la cantidad de las emisiones evitadas por los precios de mercado y CSC considerados. En el caso de la valoración económica social se descontaron los valores presentes (VP) utilizando una tasa de descuento de 3.5% como sugieren Luisetti *et al.* (2013) y Beaumont *et al.* (2014). Por otro lado, en la perspectiva privada se descontaron los VP con una tasa del 10%, según lo sugerido por Zeng *et al.* (2021). Por último, es necesario aclarar que los resultados no implican que la implementación de acciones para evitar deforestación sea financieramente viable, para tal efecto es necesario estimar el Valor Actual Neto (VAN), el cual incluye todos los costos asociados a la ejecución de las posibles acciones propuestas para la reducción de la deforestación, que este estudio no toma en consideración.

3. Resultados y discusión

3.1. Protección costera

La simulación inicial de inundaciones señala los lugares con potencial riesgo de inundaciones en el municipio de San Fernando de Monte Cristi (ver anexo 1), estos abarcan desde la línea costera hasta la calle Pimentel. Las áreas de inundación son menores, pero similares a las presentadas por The Nature Conservancy (2021), para la misma localidad. Además, concuerdan con el informe de vulnerabilidad ante el cambio climático en República Dominicana, preparado por USAID (2013), en el cual se identificó la zona costera de Monte Cristi como un área propensa a inundaciones, a causa de eventos climáticos extremos (como huracanes), los cuales,

combinados con el aumento del nivel del mar, provocarán cada vez mayores marejadas ciclónicas.

Los datos obtenidos con el modelo COAST revelan los potenciales daños económicos y físicos en los bienes inmuebles expuestos a eventos de inundación. La comparación de resultados entre el escenario de referencia (sin el rol del manglar) y el escenario con el rol del manglar demuestran que la presencia del ecosistema reduce daños en todos los eventos climáticos modelados. Esos daños se pueden expresar en términos monetarios lo que permite poder estimar valor asociado al servicio ecosistémico de protección costera provisto por los manglares en Monte Cristi.

El valor estimado de bienes expuestos a los diferentes eventos de inundación modelados en San Fernando de Monte Cristi, actualmente, asciende a US\$ 65,292,345.88; de los cuales US\$ 43,528,230.57 (67%) corresponden a estructuras residenciales, mientras que el restante 33% (US\$ 21,764,115.31) corresponde al valor del contenido residencial (todos los valores en 2021 US\$). Dichas cifras se obtuvieron de la suma total del valor estimado por cada polígono digitalizado (que este dentro de la zona de inundación descrita previamente) en la capa vectorial de activos. Estos datos brindan a los tomadores de decisiones información importante sobre el capital físico de la ciudad que podría sufrir daños durante un evento de inundación. Como resultado de este tipo exposición en las zonas costeras a eventos de inundación, según World Bank (2016) a nivel global, las compañías de seguros han pagado más de US\$ 300 mil millones por daños generados por inundaciones causados por tormentas en los últimos 10 años, que generalmente son destinados a la reconstrucción de infraestructuras costeras que continúan siendo vulnerables a las tormentas y mareas de tempestad.

Los resultados indican que los manglares producen un nivel de protección mayor en huracanes de menor categoría, y que dicho nivel de protección disminuye en la medida que el huracán incrementa su potencial destructivo, el cual, en este caso se expresa a través de la altura de las olas. La Figura 3 presenta los daños potenciales a estructuras y contenidos residenciales, con y sin la influencia del manglar en la reducción de daños, así como los porcentajes de reducción de daños económicos durante cada uno de los huracanes.

Los beneficios totales proporcionados por el manglar durante un huracán categoría 1 se estiman en US\$ 6,552,702; en términos porcentuales, los daños económicos se reducen en 40%, en comparación con el escenario sin manglares. La altura de la inundación es el factor determinante de los daños económicos potenciales, durante un evento de esta magnitud se estima que está ascendería a 1.89 metros de altura. Es preciso resaltar que el modelo no considera un cambio en la altura de la inundación entre los escenarios con y sin manglar, es decir en ambos casos se obtiene la misma altura, el cambio se produce en el porcentaje de daño a la altura modelada.

Durante un huracán de categoría 2, los daños incrementan, esto debido a que los niveles de inundación se vuelven más severos, en promedio 2.70 metros (0.81 metros más que en el escenario anterior), lo que obedece y es acorde con el incremento de la altura potencial de las olas en este tipo de eventos. En concordancia con lo anterior se estimó que durante un huracán categoría 2 el valor del SE bajo este escenario sería de US\$ 5,470,922; produciéndose una reducción de daños económicos de 22% con relación al escenario alternativo (sin manglares). Lo anterior indica que se produce una reducción en el valor económico del SE de US\$ 1,081,780 si se compara con el valor bajo huracán categoría 1.

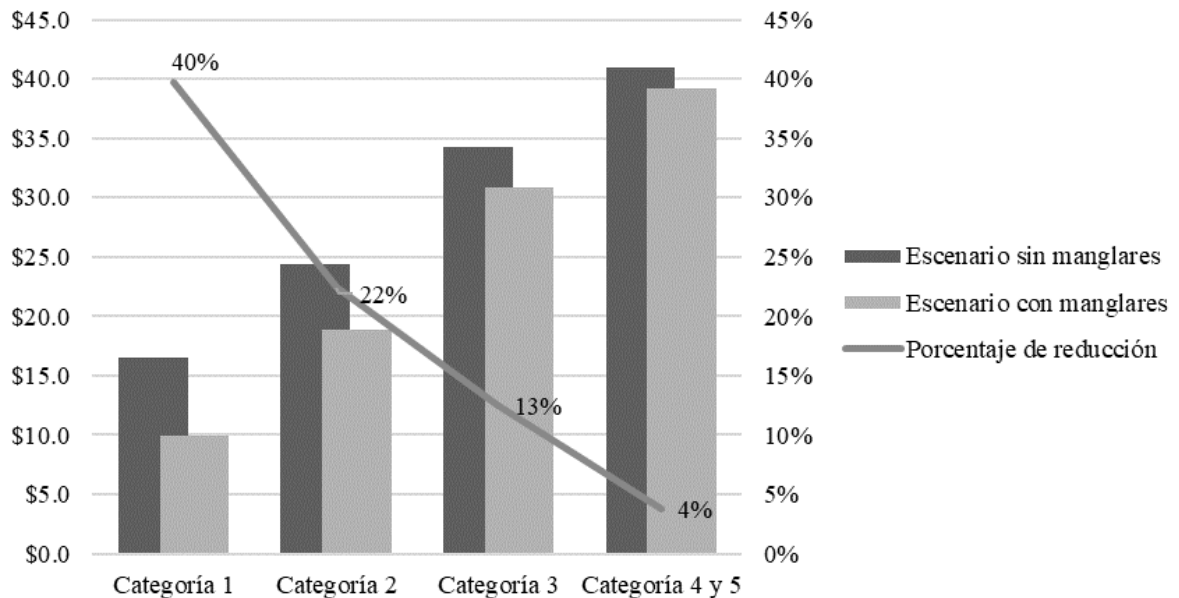


Figura 3: Daños potenciales por inundación en San Fernando de Monte Cristi (barras, eje izquierdo), con presencia y ausencia de manglares según su cobertura actual (en millones 2021 US\$) y porcentaje de reducción del daño provisto por los manglares (línea, eje derecho).

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En el marco de la modelación con características vinculadas a huracanes de categoría 3, la severidad continúa ascendiendo en comparación con las circunstancias anteriores, la altura de la inundación incrementa a 3.77 metros, es decir, 1.07 metros más que en el escenario anterior; lo que lógicamente agrava los daños económicos potenciales. Durante este evento climático, se proyecta que los manglares reducirán las pérdidas en US\$ 4,298,221; dicha cifra representa la estimación de valor del SE bajo un evento de huracán de esta categoría; en comparación con la estimación en el escenario de categoría 2 el valor del SE, se reduce en US\$ 1,172,701.

La relación entre los daños económicos y las categorías de los huracanes 1-3 se comportó de manera incremental, no obstante, bajo los escenarios de huracanes categoría 4 y 5 los resultados proyectados en pérdidas económicas son exactamente iguales (ver anexos 2-9), si bien el nivel de la altura media de la inundación modelada varía en ambos contextos (5.14 y 6.06 metros respectivamente), ambas proyecciones alcanzan el porcentaje de daño máximo en la FDP, por lo tanto, las pérdidas económicas estimadas son iguales. La modelación, en ambos casos, estima que los daños económicos potenciales se reducen en 4%, en términos monetarios US\$ 1,563,046 por el efecto de los manglares.

Los resultados presentados corresponden a las estimaciones realizadas con los menores niveles de protección brindados por los manglares según los resultados de Yanagisawa *et al.* (2010) y que pueden ser atribuibles a un manglar de 10 años y con una cobertura de 100 metros de ancho (para un mayor detalle ver sección de metodología). Además de las estimaciones realizadas con los parámetros anteriores, se realizó un análisis de sensibilidad para determinar el valor del servicio ecosistémico si el nivel de reducción de oleaje provisto por el ecosistema incrementa. Para la realización del análisis se consideró un manglar de 10 años, pero con un incremento en el ancho de la cobertura de 300 y 500 metros respectivamente, cuyos niveles de reducción

también fueron adaptados de Yanagisawa *et al.* (2010). La figura 4 presenta el comportamiento de la reducción de los daños en términos porcentuales con todas las coberturas modeladas.

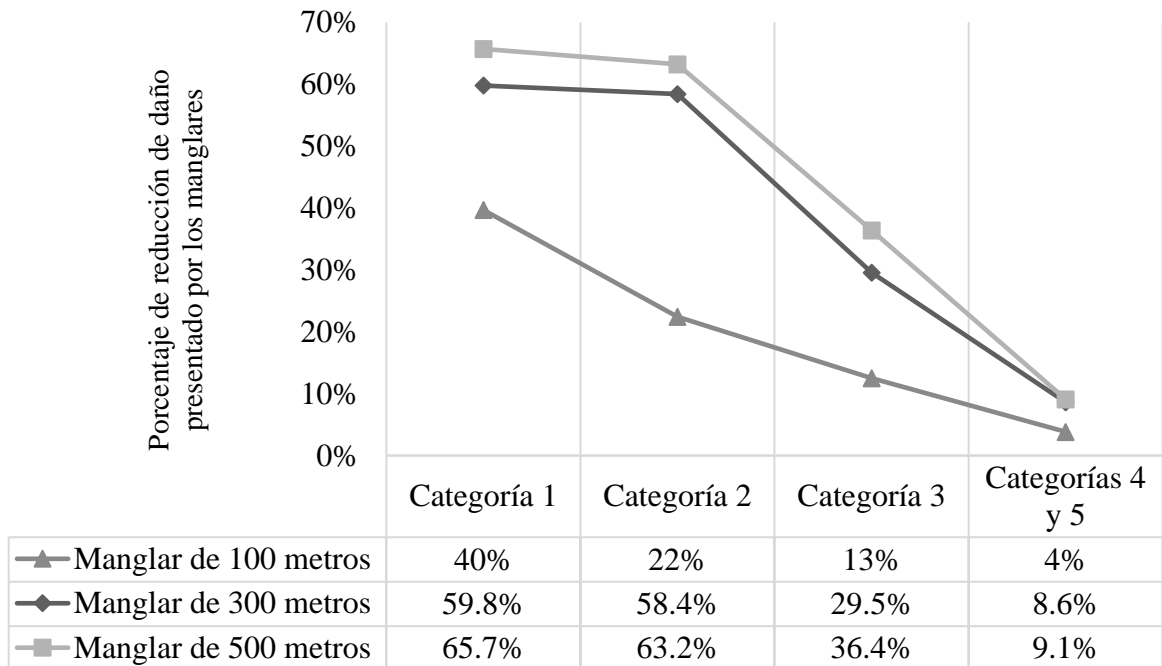


Figura 4: Análisis de sensibilidad ante un aumento en la protección brindada por los manglares, durante los diferentes huracanes.

La figura anterior muestra que al incrementar el ancho de manglar a 300 y 500 metros se produce una reducción en el porcentaje los daños económicos asociados a todas las categorías de huracanes, es decir, en ambos casos aumentaría el valor del servicio ecosistémico en comparación con el escenario de una cobertura de 100 metros.

Los resultados indican que, al incrementar el ancho del manglar a 300 metros, los valores de daño evitados van desde US\$ 3.5 millones (en huracanes categorías 4 y 5) a US\$ 9.8 millones en huracanes de categoría 1. En términos porcentuales con estas condiciones del ecosistema, bajo huracanes categorías 4 y 5 el daño se reduce en 8.6% y podría alcanzar una reducción de daños máxima de 59.8% en huracanes categoría 1. Por otro lado, con una cobertura de 500 metros de ancho se proyecta un valor del ecosistema que alcanza valores máximos de US\$ 10.8 millones si ocurren huracanes categoría 1, y mínimos de US\$ 3.7 millones en eventos climáticos más extremos, como huracanes categoría 4 y 5. Lo anterior no implica que exista siempre una relación positiva entre el ancho del manglar y el nivel de protección, puesto que probablemente en algún punto ampliar la anchura del manglar no garantice una mayor reducción de daños, es decir, que la relación podría no ser siempre lineal. Además, la protección también varía en función de la estructura del manglar y su estado.

Es importante destacar que las tasas de retorno de cada uno de los huracanes es diferente, entre mayor es la categoría del evento climático menor es la tasa de retorno y la probabilidad de ocurrencia, dichos períodos de recurrencia se determinaron mediante el rastreo de los huracanes presentados en República Dominicana en el siglo XX presentados por NOAA (2021). En tal sentido, los huracanes categoría 1 presentan una tasa de retorno de 6 años, categoría dos 14 años, categoría tres 16 años, categoría cuatro 25 años y finalmente categoría cinco 100 años, sin

embargo, es necesario aclarar que el conteo de huracanes se realizó a nivel nacional, lo que implica que a nivel local los períodos de retorno pudieron ser mayores. Sin embargo, como ha sugerido IPCC (2014, 2021), se espera un incremento de eventos climáticos extremos (como huracanes en el futuro).

Nuestros resultados se alinean con lo establecido en la Contribución Nacional Determinada del país, ya que estos se pueden utilizar como insumos para gestionar fondos para la recuperación de manglares y otros ecosistemas marino-costeros que contribuyan a incrementar la resiliencia ante los efectos adversos del cambio climático (Gobierno de la República Dominicana 2020). La gestión de fondos se puede realizar para el mantenimiento y restauración de manglares a través de la evidencia presentada anteriormente sobre la capacidad del ecosistema para reducir los riesgos climáticos y fortalecer la resiliencia ecológica, social y económica en los paisajes marino-costeros y la matriz terrestre adyacente en la provincia de Monte Cristi.

Como previamente se ha señalado, el presente estudio representa el primer acercamiento para estimar el valor del SE de protección costera provisto por los manglares en República Dominicana, por lo que no existe un antecedente a nivel nacional o local para comparar nuestros resultados. No obstante, The Nature Conservancy (2021) realizó un estudio parecido a este, mediante el cual se estimó el valor del SE de protección costera provisto por arrecifes coralinos a escala nacional en República Dominicana.

Al realizar una comparación directa entre ambos estudios observamos que las estimaciones de The Nature Conservancy (2021) son superiores a las nuestras. Según sus resultados, bajo un evento con una tasa de retorno de 100 años, estos evitan daños por un valor estimado de US\$ 4,430 millones; mientras que, durante un evento con una tasa de retorno de 25 años, el valor aproximado es de US\$ 2,902 millones (ambos valores superiores a todos los presentados en la Figura 3). Estas desigualdades son explicadas en primer lugar por la diferencia de ecosistemas de los que se está tratando y las variaciones de extensión entre ambas zonas de estudio, en nuestro caso es una provincia mientras The Nature Conservancy todo el país. En segundo lugar, en términos metodológicos se usa el mismo enfoque de daños evitados, sin embargo, la técnica para determinar los valores no es la misma y no hay una explicación detallada al respecto en el portal de The Nature Conservancy.

Además de lo anterior, el estudio The Nature Conservancy (2021) estimó el valor de la infraestructura protegida en San Fernando de Monte Cristi, el cual está en un intervalo de US\$ 1-75 millones para eventos de inundación de 1 en 25 años y 1 en 100 años. Estos valores están dentro del rango de nuestros resultados principales y presentados en la Figura 3. No obstante, es necesario aclarar que el visor no muestra los datos para toda la línea costera del municipio.

Un estudio similar al nuestro fue desarrollado por Menéndez *et al.* (2020), en el cual se estimaron los beneficios económicos globales provistos por los manglares en términos del SE de protección costera. Sus resultados muestran los manglares anualmente tienen un beneficio neto de US\$ 65 mil millones, mientras que en un evento de inundación de 1 en 100 años los daños evitados se estiman en US\$ 270 mil millones. Contrario a nuestros resultados, Menéndez *et al.* (2020) plantean que la reducción del riesgo proporcionado por los manglares es relativamente consistente a través de los diferentes periodos de retorno, con una pequeña diferencia porcentual positiva, que permite obtener mayores beneficios durante eventos más extremos.

Al comparar los porcentajes de reducción presentadas por Menéndez *et al.* (2020) durante los períodos de retorno planteados en su estudio, el ahorro en daños evitados a propiedades pasa de 7.8% (1 en 10 años) a 9.9% (1 en 100 años), en nuestro caso el porcentaje de ahorro en daños pasa de 40% (1 en 6 años) a 4% (1 en 100 años). Estas variaciones son justificadas principalmente por diferencias metodológicas, su estudio fue desarrollado utilizando análisis numérico avanzado, este enfoque es mayormente aplicable a zonas de estudio extensas y requieren de técnicas avanzadas de modelación de los complejos procesos costeros (World Bank 2016).

Un estudio de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL 2018), estimó el valor del SE de protección costera provisto por los manglares en Cuba; sus resultados muestran que a nivel nacional los beneficios de protección anuales esperados provistos por los manglares ascienden a US\$ 154 millones de dólares, además los rangos de beneficios varían de US\$ 226 millones, para una evento de inundación con período de retorno de 10 años, hasta US\$ 2,559 millones, en un período de retorno de 100 años. Estos valores son superiores a todas nuestras estimaciones. Las variaciones, en términos monetarios, con nuestros resultados son explicadas principalmente por diferencias de escala y metodológicas; a diferencia de nuestras estimaciones, estas se realizaron para todo el país, el cual contiene aproximadamente el 3% del total de los manglares del mundo (Spalding *et al.* 2010). Además, dicho estudio siguió una metodología similar a la empleada por Menéndez *et al.* (2020), descrita previamente y por lo tanto, sus resultados son más consistentes entre sí mismos que con los nuestros.

3.2. Mitigación al cambio climático

3.2.1. Valoración económica privada

El mapa preliminar de uso y cobertura del suelo (CATIE 2020), revela que en la provincia de Monte Cristi la cobertura de manglares asciende a 5,662 hectáreas; suponiendo que existe una tasa de deforestación anual de 1% (Meyer-Arendt *et al.* 2013) y que se podría impedir la totalidad de esta, se evitarían pérdidas de ~56 hectáreas anuales, estas representarían ~155,736 tCO₂e/año considerando que la conversión puede causar emisiones medias de ~2,781 t/CO₂e/ha. Este CO₂e podría considerarse con potencial de comercializarse en los mercados por deforestación evitada.

El Cuadro 6 resume los principales resultados derivados de la estimación privada del carbono almacenado en los manglares de Monte Cristi, si se implementasen acciones para la reducción de emisiones derivadas de la deforestación de los ecosistemas de manglar. Los valores totales de ingresos en un periodo de 20 años varían en un rango de US\$ 5.1 millones a US\$ 11.8 millones el ingreso total a precios promedios se estimó en US\$6.6. Los ingresos por hectárea anuales a precios mínimos (US\$ 3.48) se estiman en US\$ 4,603.56/ha, mientras que al usar el precio máximo (US\$4.51) dicho valor ascendería a US\$ 10,569.66/ha.

Cuadro 6: Valor actual (2021 US\$) de la reducción de emisiones derivadas de la deforestación de los manglares de Monte Cristi desde la perspectiva privada, a lo largo de 20 años (2020-2040) (tasa de descuento 10%).

Precio	Valor total por deforestación evitada (2020-2040)	Valor promedio anual de la deforestación evitada	Valor promedio anual por hectárea de deforestación evitada
Precio límite inferior (US\$ 3.48)	\$ 5,155,983.17	\$ 257,799.16	\$ 4,603.56
Precio promedio (US\$ 4.51)	\$ 6,682,035.66	\$ 334,101.78	\$ 5,966.10
Precio límite superior (US\$ 5.54)	\$ 11,838,018.83	\$ 591,900.94	\$ 10,569.66

Los resultados promedio anuales por hectárea obtenidos en el presente estudio (US\$ 5,966) son similares a los obtenidos por Jerath *et al.* (2016) US\$ 5,423 (ambos en 2020 US\$), con una leve superioridad de nuestras estimaciones de US\$ 543/ha. A pesar de estas similitudes existen diferencias en el proceso de estimación del valor del SE. En primer lugar, el precio tomado como referencia usado por Jerath *et al.* (2016) es superior al utilizado en este estudio, en este escenario esperaríamos que sus resultados fueran superiores, no obstante, las mediciones de stocks de carbono muestran que los manglares de Monte Cristi almacenan carbono en un rango de 706 a 1131 t/ha, mientras que en los Everglades dicho rango es desde 70-537 t/ha, lo que indica que la capacidad de almacenamiento del manglar de Monte Cristi es superior al de los Everglades. Finalmente, a diferencia de este estudio, Jerath *et al.* (2016) no plantean un proyecto de reducción de emisiones, sino que valoran la cantidad total estimada de carbono almacenado en el ecosistema. La Figura 5 presenta una comparativa entre los resultados obtenidos en esta investigación y otros estudios realizados para valorar el stock de carbono.

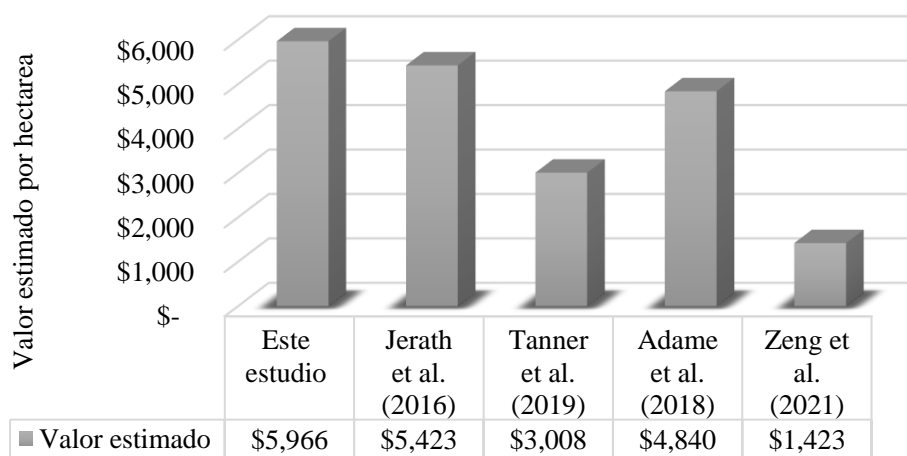


Figura 5: comparativa de resultados con otros estudios de valoración de almacenamiento de carbono desde la perspectiva privada

Las estimaciones realizadas por Tanner *et al.* (2019), son diferentes a los presentados en la tabla anterior. De acuerdo con sus hallazgos, el valor de stocks de carbono en los manglares de Galápagos desde la perspectiva privada es de US\$ 3,008 (actualizados a 2020 US\$), lo que es casi la mitad de las estimaciones promedio obtenidas en este estudio. Es necesario destacar

varios factores que subyacen para dichas diferencias; en primer lugar, el estudio de Tanner *et al.* (2019) midió exclusivamente el carbono almacenado por debajo del suelo en los manglares de Galápagos, dejando de lado las reservas de carbono almacenadas en la biomasa por encima del suelo. Por lo tanto, sus valores representan una subestimación de las reservas completas de carbono almacenadas en los manglares de Galápagos. Además, los autores indican que sus estimaciones están por debajo del promedio estimado en otras regiones del mundo (solo en sedimentos). En segundo lugar, a diferencia de este estudio, Tanner *et al.* (2019) tomaron como referencia el precio promedio en general de los mercados voluntarios de carbono en 2017, es decir, no solo el del sector uso del suelo, como en nuestro caso. Finalmente, su precio de referencia actualizado (US\$ 4.11) es inferior al utilizado en esta investigación (US\$ 4.51).

En un estudio similar al presente desarrollado por Adame *et al.* (2018) en México, se estimó el valor del SE de almacenamiento de carbono en US\$ 4,480/ha, estos resultados son inferiores a nuestras estimaciones. Si bien la lógica de los estudios es en ambos casos estimar el valor del SE a partir de emisiones evitadas, existen algunas diferencias en el proceso de valoración. En primer lugar, la reserva media de carbono de los manglares (biomasa y suelo) tomados en consideración por Adame *et al.* (2018) es de 331tC/ha, dicho valor es inferior al encontrado por Kauffman *et al.* (2014) en Monte Cristi. En segundo lugar, su horizonte temporal es de 100 años, el cual es cuatro veces superior al nuestro. Finalmente, Adame *et al.* (2018) tomaron como referencia un precio de US\$ 15 t/CO_{2e}, establecido en el mercado obligatorio de California.

A nivel global, Zeng *et al.* (2021) estiman que la inversión en proyectos de conservación del 20% de los manglares del mundo, reducirían hasta 29.8 MtCO_{2e} y que producirían un rendimiento de inversión de ~US\$ 3,700 millones anuales, estimando un valor por hectárea de US\$ 1,423, el cual es inferior a nuestra estimación. Existen algunas razones para justificar estas diferencias. Por ejemplo, dicha investigación hace una estimación de los costos asociados a la implementación de un proyecto de reducción de emisiones, proponiendo que el costo de establecimiento es de US\$ 232/ha y que los costos anuales de mantenimiento serían de US\$ 25/ha y año, por lo tanto, sus estimaciones tienen incluidos dichos costos, mientras las nuestras no. Además, al ser un estudio global, existirán diferencias de la capacidad de almacenamiento entre cada una de las zonas. En términos metodológicos una de las diferencias se encuentra en el establecimiento y seguimiento del precio, durante los primeros cinco años se asume un precio fijo del carbono de US\$ 5 t/CO_{2e}, el cual es ligeramente superior al usado en este estudio. Posteriormente, luego de los primeros cinco años, asumen un incremento anual del 5% aplicable al resto del tiempo del proyecto (25 años).

3.2.2. Valoración económica social

Al igual que en el caso anterior, en la valoración económica desde la perspectiva social se asume una tasa de deforestación evitada de 1%, por lo tanto, los datos referentes a hectáreas y emisiones reducidas son exactamente iguales. El cuadro 7 muestra los potenciales beneficios económicos globales, resultantes de la implementación de un proyecto para evitar deforestación de 56 hectáreas anuales en Monte Cristi, durante los próximos 20 años. Los resultados está desagregados por la estimación del CSC de según Nordhaus (2017) y IWG (2021); presentando los beneficios sociales totales a lo largo de los 20 años, beneficios anuales y beneficios anuales por hectárea; utilizando una tasa de descuento de 3.5%.

Cuadro 7: Valor Actual (2020 US\$) de los beneficios sociales derivados de la deforestación evitada a lo largo de 20 años (2020-2040) (tasa de descuento 3.5%)

Costo Social del Carbono	Beneficios sociales totales (2020-2040)	Beneficios sociales anuales	Beneficios sociales anuales por hectárea
Nordhaus (US\$ 181.76)	\$ 416,385,121.39	\$ 20,819,256.07	\$ 371,772.43
IWG (US\$ 153)	\$ 350,500,239.73	\$ 17,525,011.99	\$ 312,946.64

En total, en un periodo de 20 años, se esperarían beneficios sociales de US\$ 350.5 (IWG) millones y US\$ 416.4 millones (Nordhaus), dependiendo del CSC usado, lo que anualmente se traduciría en US\$ 17.5 o US\$ 20.8 millones y US\$ 312.9 o US\$ 371.7 mil por hectárea, respectivamente. Los resultados obtenidos en la valoración económica social son evidentemente superiores a los obtenidos en la valoración económica privada. Esto se justifica porque las estimaciones realizadas con el CSC determinan los beneficios económicos globales por el carbono almacenado en los manglares de Monte Cristi, esos beneficios son de diversa índole, y se ven reflejados en las diferentes actividades económicas. Es lógico que esos beneficios sean superiores a los que genera la transacción de una tonelada de CO₂ en los mercados regulados o voluntarios de carbono. Es necesario mencionar que estas estimaciones representan los beneficios sociales obtenidos a nivel global debido a la deforestación evitada, esto debido a que el estudio se condujo utilizando CSC globales, por lo tanto, podrían no representar precisamente los beneficios para la sociedad dominicana.

Los resultados de la valoración económica desde la perspectiva social estimados en esta investigación son, en ambos casos (Nordhaus e IWG), superiores a los obtenidos por Jerath *et al.* (2016). El precio de referencia del CSC utilizado en el caso de ese estudio fue de US\$ 167 t/CO₂e y se obtuvo del IWG (2013); dicha cifra es superior a la utilizada en esta investigación obtenida del IWG (2021), por lo tanto, se puede decir que el precio no es el factor determinando de la diferencia de los resultados. Al igual que en el caso de la perspectiva privada, estas diferencias son principalmente explicadas por la mayor cantidad de toneladas de carbono almacenadas en Monte Cristi en comparación con los Everglades.

Un estudio similar a éste desarrollado en México por Kumagai *et al.* (2020) presenta resultados máximos de US\$ 39,500/ha, dichas cifras son inferiores a las obtenidas en nuestras estimaciones. Se identificaron algunas variaciones metodológicas y biofísicas que justifican las diferencias en los resultados. En primer lugar, la tasa promedio de almacenamiento presentada en México presenta valores medios de 259 t/C/ha (en biomasa, suelo y biomasa muerta en suelo), es decir, que las utilizadas en este estudio son poco más de tres veces mayores; según sus indicaciones sus valores podrían estar subestimados ya que no incluyen el carbono en suelo a más de 1 metro de profundidad. Aunado a lo anterior el CSC usado es inferior en ambos casos a los utilizados en el presente, siendo este de US\$ 40/t, sin embargo, no se especifica la fuente de donde se obtuvo. Además, las tasas de deforestación en México son inferiores a las de República Dominicana (0.43% < 1%); su estudio considera un horizonte temporal de 25 años, el cual es superior al nuestro, sin embargo, en ambos casos, se asume una tasa de deforestación constante para todo el período.

Al igual que en el caso de la valoración económica privada, nuestros resultados son superiores a los obtenidos por Tanner *et al.* (2019). Como previamente se discutió, existen significativas

variaciones biofísicas que justifican las diferencias, además de estas, a diferencia de este estudio, ellos no realizan una valoración por deforestación evitada, por lo tanto, no consideran un horizonte temporal de un posible proyecto de reducción de emisiones. En términos del CSC su precio de referencia es de US\$ 132, lo que significa que inferior a los de Nordhaus (2017) e IWG (2021) utilizados en este estudio, y que contribuye a que nuestras estimaciones sean superiores.

La valoración económica del medio ambiente como herramienta de planificación permite a los tomadores de decisiones y a la ciudadanía, en general, conocer el verdadero costo social de la degradación y destrucción generalizada de los recursos naturales. Según la NDC-RD 2020, el país aumentó su ambición climática al comprometerse con un incremento en la reducción de un 27% de las emisiones en comparación con el escenario BAU (*Business as usual*) para el 2030 (la meta anterior era 25%) (Gobierno de la República Dominicana 2020). Nuestras estimaciones contribuyen a incrementar la evidencia de la importancia de los manglares para la mitigación del cambio climático en República Dominicana (en este caso desde una perspectiva económica), promoviendo su inclusión en la formulación de políticas y la implementación de medidas y acciones para implementar la NDC y el cumplimiento de la agenda nacional de Desarrollo Sostenible a 2030 plasmada en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

4. Conclusiones

La utilidad práctica de nuestros resultados es aplicable en los procesos de adaptación y mitigación al cambio climático de República Dominicana. En primer lugar, los planes de adaptación a los efectos negativos del cambio climático (p. ej. el aumento del nivel del mar; el incremento en el potencial destructivo de eventos climáticos extremos y sus menores periodos de retorno) en República Dominicana contemplan la AbE para reducir riesgos y vulnerabilidad ante inundaciones en las zonas costeras como Monte Cristi. En segundo lugar, las aspiraciones de reducción de emisiones del país establecidas en la NDC precisan de un manejo adecuado de los bosques que al deforestarse producen emisiones de GEI, por lo tanto, su sustitución por otros usos del suelo dificulta que el país alcance sus compromisos de mitigación del cambio climático.

En el caso de los individuos que suponen que no obtienen beneficios directos del manglar y que por lo tanto, su sustitución por otros usos (como el establecimiento de salineras y camarónicas) representa una oportunidad para obtener beneficios económicos, es importante el diseño de una estrategia que permita el desarrollo de actividades económicas que no impliquen precisamente la deforestación del ecosistema, es decir, se debe realizar una transición hacia un enfoque que permita producir conservando y conservar produciendo. En tal sentido, una posible alternativa para esto podría ser el aprovechamiento de la producción de peces y moluscos que se dan en los manglares, de manera que estos permitan obtener ingresos sin necesidad de sustituir el manglar.

La valoración de daños económicos evitados por el SE de protección costera se desarrolló únicamente tomando en cuenta el sector residencial, sin embargo, existen otros sectores que serían potencialmente afectados por inundaciones, dentro de los que destacan el sector infraestructura vial, el sector agrícola, las salineras y el sector comercial; por lo que se puede concluir que los daños evitados podrían ser mayores a los presentados a nuestras estimaciones. Además, si se utilizase información de mercado sobre el precio promedio de las viviendas en San Fernando de Monte Cristi, las estimaciones podrían ser más precisas.

En el proceso de valoración del SE de protección costera existen algunas limitaciones. En primer lugar, no logramos incorporar geográficamente el efecto del ecosistema en la reducción de las inundaciones, debido a la naturaleza del modelo. En segundo lugar, únicamente, se toma en consideración la altura media esperada de las olas, sin embargo, existen otros factores como el viento que también causan daños significativos en estos eventos. Finalmente, nuestras modelaciones no incorporan factores como la fuerza o velocidad del agua, lo anterior puede afectar directamente los resultados obtenidos.

Bajo todos los supuestos planteados, los resultados demuestran que el manglar reduce daños económicos a la población de San Fernando de Monte Cristi. Nuestras estimaciones principales toman en cuenta los datos de reducción de daño mínimos provistos por los manglares, esto, como previamente se informó por que el manglar cumple un rol lateral y no frontal, sin embargo, los niveles de protección y por lo tanto, los daños económicos evitados podrían ser superiores, para tal efecto se pueden observar los datos surgidos del análisis de sensibilidad.

Al comparar nuestros resultados de la valoración económica del servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono con los obtenidos en otros estudios encontramos que prácticamente en todos los casos nuestras estimaciones son superiores. Esto es más explicable por atributos biofísicos del manglar que por cuestiones económicas o financieras y tienen su raíz en la alta reserva media que poseen los manglares en Monte Cristi.

Es necesario recordar que los resultados presentados en la sección de valoración de carbono desde la perspectiva privada no implican una viabilidad financiera para la implementación de un proyecto de reducción de emisiones, ya que para tal efecto se precisaría de la información de costos involucrados en la conceptualización y ejecución del proyecto, los cuales varían según la escala temporal y espacial del mismo y que por limitaciones de tiempo están fuera del alcance de esta investigación; sin embargo, nuestras estimaciones sientan las bases para una posible combinación con resultados derivados de otro estudio para determinar la viabilidad financiera del proyecto.

Los resultados de la valoración económica social son una estimación de la contribución de los manglares a la sociedad a nivel global, esto porque los datos usados del CSC son estimaciones globales, por lo tanto, para determinar la contribución únicamente a la sociedad dominicana debería conocerse el CSC a nivel nacional. Sin embargo, el CSC global es un indicador de precio ampliamente aceptado en la comunidad científica y es el que predomina en estudios de este tipo.

5. Referencias Bibliográficas

Adame, MF; Najera, E; Lovelock, CE; Brown, CJ. 2018. Avoided emissions and conservation of scrub mangroves: potential for a Blue Carbon project in the Gulf of California , Mexico. *Biology Letters* 14. DOI: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2018.0400>.

Ajonina, GN; Kairo, J; Grimsditch, G; Sembres, T; Chuyong, G; Diyouke, E. 2014. Assessment of Mangrove Carbon Stocks in Cameroon, Gabon, the Republic of Congo (RoC) and the Democratic Republic of Congo (DRC) Including their Potential for Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD+). s.l., Springer, Cham. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06388-1>.

- Alatorre, JE; Caballero, K; Ferrer, J; Galindo, LM. (2019). El costo social del carbono: una visión agregada desde América Latina. Santiago, Chile, s.e.
- Alongi, DM. 2012. Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon Management* 3(3):313-322. DOI: <https://doi.org/10.4155/cmt.12.20>.
- Alongi, DM. 2015. Carbon Cycling and Storage in Mangrove Forests (en línea). *Annual Review of Marine Science* 6:195-219. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135020>.
- Arkema, KK; Verutes, GM; Wood, SA; Clarke-Samuels, C; Rosado, S; Canto, M; Rosenthal, A; Ruckelshaus, M; Guannel, G; Toft, J; Faries, J; Silver, JM; Griffin, R; Guerry, AD. 2015. Embedding ecosystem services in coastal planning leads to better outcomes for people and nature. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112(24):7390-7395. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1406483112>.
- Barbier, EB. 2007. Valuing ecosystems services as inputs (en línea). *Economic Policy* (January):9457-9464. Disponible en <http://www.pnas.org/content/105/28/9457.short>.
- _____. 2011. Pricing nature. *Annual Review of Resource Economics* 3:337-353. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-083110-120115>.
- _____. 2014. A global strategy for protecting vulnerable coastal populations: Short-term emergency response and long-run investments are needed. *Science* 345(6202):1250-1251. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1254629>.
- Barbier, EB; Hacker, SD; Kennedy Chris; Koch W, E; Stier, AC; Silliman Brian R. 2011. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs* 81(2)(2):169–193.
- Beaumont, NJ; Jones, L; Garbutt, A; Hansom, JD; Toberman, M. 2014. The value of carbon sequestration and storage in coastal habitats (en línea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 137:32-40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.11.022>.
- Beltré Díaz, MJ. 2011. Valoración Económica de los Manglares del Bajo Yuna, Sánchez, República Dominicana. s.l., Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU). 131 p.
- Beys-da-Silva, WO; Santi, L; Guimarães, JA. 2014. Mangroves: A threatened ecosystem underutilized as a resource for scientific research. *Journal of Sustainable Development* 7(5):40-51. DOI: <https://doi.org/10.5539/jsd.v7n5p40>.
- Blue Marble Geographics. 2013. Coastal Adaptation to Sea Level Rise Tool (COAST) (en línea). Hallowell, Maine, Global Mapper. p. 1-18. Disponible en <https://www.bluemarblegeo.com/products/COAST.php>.
- Bockstael, NE; Freeman, AM; Kopp, RJ; Portney, PR; Smith, VK. 2000. On measuring economic values for nature. *Environmental Science and Technology* 34(8):1384-1389. DOI: <https://doi.org/10.1021/es990673l>.
- Brander, LM; J. Wagtendonk, A; S. Hussain, S; McVittie, A; Verburg, PH; de Groot, RS; van der Ploeg, S. 2012. Ecosystem service values for mangroves in Southeast Asia: A meta-analysis and value transfer application (en línea). *Ecosystem Services* 1(1):62-69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.06.003>.

- Calmel, M; Martinet, A; Grondard, N; Dufour, T; Rageade, M; Ferté-Devin, A. (2019). REDD+ a escala de proyectos Guía de evaluación y desarrollo. s.l., s.e.
- CATIE. 2020. Mapa de Uso y Cobertura del Suelo. Turrialba, Costa Rica, s.e.
- CEPAL. (2018). Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe (en línea). s.l., s.e. Disponible en www.cepal.org/apps.
- Cifuentes-Jara, M; Brenes, C; Leandro, P; Molina, O; Romero, T; Torres Gomes, D; Velázquez Mazariegos, S. 2018. Manual centroamericano para la medición de carbono azul en manglares. Turrialba, C.R, CATIE.
- Cochard, R; Ranamukhaarachchi, SL; Shivakoti, GP; Shipin, O V.; Edwards, PJ; Seeland, KT. 2008. The 2004 tsunami in Aceh and Southern Thailand: A review on coastal ecosystems, wave hazards and vulnerability. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 10(1):3-40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2007.11.001>.
- Cooper, E; Burke, L; Bood, N. (2009). The Economic Contribution of Belize's Coral Reefs and Mangroves. s.l., s.e.
- Dasgupta, S; Islam, MS; Huq, M; Khan, ZH; Hasib, MR. 2019. Quantifying the protective capacity of mangroves from storm surges in coastal Bangladesh. *PLoS ONE* 14(3):1-14. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214079>.
- DGII. 2021. Impuestos Internos (en línea, sitio web). Consultado 8 jun. 2021. Disponible en [https://dgii.gov.do/herramientas/consultas/Paginas/Valor-de-inmueble-\(IPI\).aspx](https://dgii.gov.do/herramientas/consultas/Paginas/Valor-de-inmueble-(IPI).aspx).
- Dugan, JE; Airoidi, L; Chapman, MG; Walker, SJ; Schlacher, T. 2012. Estuarine and Coastal Structures: Environmental Effects, A Focus on Shore and Nearshore Structures (en línea). s.l., Elsevier Inc., vol.8. 17-41 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374711-2.00802-0>.
- Eckstein, D; Hutfil, M-L; Wingses, M. (2018). GLOBAL CLIMATE RISK INDEX 2019 (en línea). s.l., s.e. Disponible en [https://germanwatch.org/sites/germanwatch.org/files/Global Climate Risk Index 2019_2.pdf](https://germanwatch.org/sites/germanwatch.org/files/Global%20Climate%20Risk%20Index%202019_2.pdf)<https://germanwatch.org/en/7677>.
- Elwin, A; Bukoski, JJ; Jintana, V; Robinson, EJZ; Clark, JM. 2019. Preservation and recovery of mangrove ecosystem carbon stocks in abandoned shrimp ponds (en línea). *Scientific Reports* :1-10. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54893-6>.
- Estrada, GCD; Soares, MLG; Fernadez, V; De Almeida, PMM. 2015. The economic evaluation of carbon storage and sequestration as ecosystem services of mangroves: A case study from southeastern Brazil. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management* 11(1):29-35. DOI: <https://doi.org/10.1080/21513732.2014.963676>.
- FAO. 2007. The world's mangroves 1980-2005. Roma, Italia., Forestry Paper. p. 89.
- _____. (2007). The world's mangroves 1980-2005. 153. Rome, Italy, s.e.
- _____. 2016. Perfil de País – República Dominicana. :16.
- FEMA. (2013). Multi-hazard Loss Estimation Methodology (en línea). 42. s.l., s.e. Disponible en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21605785>.

- Forest Trends' Ecosystem Marketplace. (2016). Raising Ambition (State of the Voluntary Carbon Markets 2016) (en línea). s.l., s.e. Disponible en www.forest-trends.org.
- _____. (2017). Unlocking Potential: State of the Voluntary Carbon Markets 2017 (en línea). s.l., s.e. Disponible en <https://www.forest-trends.org/publications/unlocking-potential/>.
- _____. 2018. Voluntary Carbon Markets Insights: 2018 Outlook and First-Quarter Trends (en línea). :31. Disponible en https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2018/09/VCM-Q1-Report_Full-Version-2.pdf.
- _____. (2019). Financing Emissions Reductions for the Future State of the Voluntary Carbon Markets 2019. Washington D.C. U.S., s.e.
- _____. (2020). The Only Constant is Change. State of the Voluntary Carbon Markets 2020, Second Installment Featuring Core Carbon & Additional Attributes Offset Prices, Volumes and Insights. Washington D.C. U.S., s.e.
- Freeman, M; Herriges, JA; Kling, CL. 2014. The measurement of environmental and resource values : theory and methods. Third edit. New York, RFF Press. 479 p.
- Friess, DA; Rogers, K; Lovelock, CE; Krauss, KW; Hamilton, SE; Lee, SY; Lucas, R; Primavera, J; Rajkaran, A; Shi, S. 2019. The State of the World ' s Mangrove Forests : Past , Present , and Future. *Annual Review of Environment and Resources* 44:89-115.
- Ghermandi, A; Agard, J; Nunes, PALD. 2018. Applying Geographic Information Systems to ecosystem services valuation and mapping in Trinidad and Tobago (en línea). *Letters in Spatial and Resource Sciences* 11(3):289-306. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12076-018-0210-9>.
- Gilman, EL; Ellison, J; Duke, NC; Field, C. 2008. Threats to mangroves from climate change and adaptation options : A review. *Aquatic Botany* 89:237-250. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.009>.
- Gobierno de la República Dominicana. 2020. República Dominicana: Contribución Nacionalmente Determinada 2020. .
- Hamrick, K; Gallant, M. (2017). Unlocking Potential State of the Voluntary Carbon Markets 2017 Overview. Washington D.C. U.S., s.e. DOI: <https://doi.org/10.7748/ns.16.21.17.s30>.
- Haq, MZ; Robbani, M; Ali, M; Mainul Hasan, M; Mahmudul Hasan, M; Uddin, MJ; Begum, M; da Silva, JAT; Pan, XY; Karim, MR. 2012. Damage and management of cyclone Sidr-affected homestead tree plantations: A case study from Patuakhali, Bangladesh. *Natural Hazards* 64(2):1305-1322. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0299-x>.
- Hernández-Blanco, M; Costanza, R; Cifuentes-Jara, M. 2021. Economic valuation of the ecosystem services provided by the mangroves of the Gulf of Nicoya using a hybrid methodology. *Ecosystem Services* 49(January). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101258>.
- Himes-Cornell, A; Pendleton, L; Atiyah, P. 2018. Valuing ecosystem services from blue forests: A systematic review of the valuation of salt marshes, sea grass beds and mangrove forests (en línea). *Ecosystem Services* 30:36-48. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.01.006>.

- Houghton, RA. 2003. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850–2000. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology* 55(2):378-390. DOI: <https://doi.org/10.3402/tellusb.v55i2.16764>.
- Howard, J; Hoyt, S; Isensee, K; Telszewski, M; Pidgeon, E; (eds.). 2014. *Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses*. Arlington, Virginia, USA., Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. p. 184.
- Howard, P. 2014. Omitted Damages: What is missing from the Social Cost of Carbon (en línea). :78. Disponible en http://costofcarbon.org/files/Omitted_Damages_Whats_Missing_From_the_Social_Cost_of_Carbon.pdf.
- Huizinga, J; de Moel, H; Szewczyk, W. 2017. Global flood depth-damage functions. Methodology and the database with guidelines (en línea). s.l., s.e. 1-108 p. DOI: <https://doi.org/10.2760/16510>.
- IPBES. 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (en línea). Bonn, Germany, IPBES secretariat. 56 p. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579>.
- IPCC. (2014). Chapter 5: Coastal Systems and Low-Lying Areas. s.l., s.e.
- _____. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler,. New York, USA, s.e.
- _____. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Geneva, Switzerland, s.e. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245.003>.
- _____. (2021). Summary for Policymakers. In: *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.l., s.e.
- IWG. (2013). Technical support document: Social cost of carbon for regulatory impact analysis under executive order 12866. s.l., s.e.
- _____. (2021). Technical Support Document: Social Cost of Carbon, Methane, and Nitrous Oxide; Interim Estimates under Executive Order 13990. s.l., s.e.
- Jerath, M; Bhat, M; Rivera-Monroy, VH; Castañeda-Moya, E; Simard, M; Twilley, RR. 2016. The role of economic, policy, and ecological factors in estimating the value of carbon stocks in Everglades mangrove forests, South Florida, USA (en línea). *Environmental Science and Policy* 66:160-169. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.09.005>.
- Jones, HP; Hole, DG; Zavaleta, ES. 2012. Harnessing nature to help people adapt to climate change (en línea). *Nature Climate Change* 2(7):504-509. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate1463>.

- Jonkman, SN; Bočkarjova, M; Kok, M; Bernardini, P. 2008. Integrated hydrodynamic and economic modelling of flood damage in the Netherlands. *Ecological Economics* 66(1):77-90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.12.022>.
- Kauffman, BJ; Donato, D; Adame, MF. (2013). Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares (en línea). Bogor, Indonesia, s.e. Disponible en <http://www.cifor.org/library/4386/protocolo-para-la-medicion-monitoreo-y-reporte-de-la-estructura-biomasa-y-reservas-de-carbono-de-los-manglares>.
- Kauffman, JB; Heider, C; Norfolk, J; Payton, F. 2014. Carbon stocks of intact mangroves and carbon emissions arising from their conversion in the Dominican Republic. *Ecological Applications* 24(3):518-527. DOI: <https://doi.org/10.1890/13-0640.1>.
- Kauffman, JB; Hernández Trejo, H; del Carmen Jesus Garcia, M; Heider, C; Contreras, WM. 2016. Carbon stocks of mangroves and losses arising from their conversion to cattle pastures in the Pantanos de Centla, Mexico. *Wetlands Ecology and Management* 24(2):203-216. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11273-015-9453-z>.
- Kreibich, H; Thieken, AH. 2008. Assessment of damage caused by high groundwater inundation. *Water Resources Research* 44(9):1-14. DOI: <https://doi.org/10.1029/2007WR006621>.
- Krugman, P; Wells, R. 2007. Evaluar la macroeconomía. In *Reverté (ed.)*. New York, USA, Editorial Reverté. p. 159-185.
- Kuenzer, C; Bluemel, A; Gebhardt, S; Quoc, TV; Dech, S. 2011. Remote Sensing of Mangrove Ecosystems: A Review. *Remote Sensing* 3:878-928. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs3050878>.
- Kumagai, JA; Costa, MT; Ezcurra, E; Aburto-Oropeza, O. 2020. Prioritizing mangrove conservation across Mexico to facilitate 2020 NDC ambition (en línea). *Ambio* 49(12):1992-2002. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01334-8>.
- Lavery, PS; Mateo, M-Á; Serrano, O; Rozaimi, M. 2013. Variability in the Carbon Storage of Seagrass Habitats and Its Implications for Global Estimates of Blue Carbon Ecosystem Service. *PLoS ONE* 8(9). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073748>.
- Lewis, SL; Lopez-Gonzalez, G; Sonké, B; Affum-Baffoe, K; Baker, TR; Ojo, LO; Phillips, OL; Reitsma, JM; White, L; Comiskey, JA; Djuikouo K, MN; Ewango, CEN; Feldpausch, TR; Hamilton, AC; Gloor, M; Hart, T; Hladik, A; Lloyd, J; Lovett, JC; Makana, JR; Malhi, Y; Mbago, FM; Ndangalasi, HJ; Peacock, J; Peh, KSH; Sheil, D; Sunderland, T; Swaine, MD; Taplin, J; Taylor, D; Thomas, SC; Votere, R; Wöll, H. 2009. Increasing carbon storage in intact African tropical forests. *Nature* 457(7232):1003-1006. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature07771>.
- Lovelock, CE; Atwood, T; Baldock, J; Duarte, CM; Hickey, S; Lavery, PS; Masque, P; Macreadie, PI; Ricart, AM; Serrano, O; Steven, A. 2017. Assessing the risk of carbon dioxide emissions from blue carbon ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment* 15(5):257-265. DOI: <https://doi.org/10.1002/fee.1491>.
- Luisetti, T; Jackson, EL; Turner, RK. 2013. Valuing the European «coastal blue carbon» storage benefit (en línea). *Marine Pollution Bulletin* 71(1-2):101-106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.05.011>.

<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.03.029>.

- Malik, A; Fensholt, R; Mertz, O. 2015. Economic valuation of Mangroves for comparison with commercial aquaculture in south Sulawesi, Indonesia. *Forests* 6(9):3028-3044. DOI: <https://doi.org/10.3390/f6093028>.
- Mankiw, GN. 2012. *Principios de Economía*. Sexta Edic. México, Cengage Learning. 891 p.
- Marengo, JA; Marengo, JA; Nunes, LH; Nunes, LH; Souza, CRG; Souza, CRG; Harari, J; Harari, J; Hozokawa, EK; Hozokawa, EK; Muller, KF; Muller, KF; Merrill, S; Merrill, S; Pelling, M; Pelling, M. 2016. Coastal Vulnerability Assessment: an Integrated Framework To Analyze Local Decision Making and Adaptation To Sea-Level Rise in Santos, Sao Paulo-Brazil. Sao Paulo, Brazil, s.e. p. 1-1 DOI: https://doi.org/10.31519/conferencearticle_5b1b93759318e1.99488443.
- McIvor, AL; Möller, I; Spencer, T; Spalding, M. (2012). Reduction of Wind and Swell Waves by Mangroves. *The Nature Conservancy and Wetlands International*. 27, s.e.
- McLeod, E; Chmura, GL; Bouillon, S; Salm, R; Björk, M; Duarte, CM; Lovelock, CE; Schlesinger, WH; Silliman, BR. 2011. A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9(10):552-560. DOI: <https://doi.org/10.1890/110004>.
- Menéndez, P; Losada, IJ; Beck, MW; Torres-Ortega, S; Espejo, A; Narayan, S; Díaz-Simal, P; Lange, GM. 2018. Valuing the protection services of mangroves at national scale: The Philippines (en línea). *Ecosystem Services* 34(March):24-36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.09.005>.
- Menéndez, P; Losada, IJ; Torres-Ortega, S; Narayan, S; Beck, MW. 2020. The Global Flood Protection Benefits of Mangroves. *Scientific Reports* 10(1):1-11. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61136-6>.
- MEPyD. (2017). *Plan para el desarrollo económico local de la Montecristi*. Santo Domingo, s.e.
- Meyer-Arendt, KJ; Byrd, S; Hamilton, S. 2013. Mangrove deforestation in the Dominican Republic, 1969 to 2012. *ISME/GLOMIS Electronic Journal* 11(1):1-4.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: a framework for assessment* (en línea). 1134. s.l., s.e. DOI: <https://doi.org/10.1196/annals.1439.003>.
- MIMARENA. (2018). *Tercera Comunicación Nacional de la República Dominicana ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático* (en línea). 14. Santo Domingo, s.e. Disponible en <https://cambioclimatico.gob.do/index.php/documentos-descargas/tercera-comunicacion-nacional>.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales; PNUD; GEF. 2014. *Plan De Manejo Parque Nacional Manglares Estero Balsa: 2014-2019* (en línea). Santo Domingo, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. p. 44. Disponible en <http://caribbeanprotectedareas.com/sites/default/files/2020-03/Plan de Manejo PN Manglares Estero Balsa.pdf>.
- De Moel, H; van Vliet, M; Aerts, JCH. 2014. Evaluating the effect of flood damage-reducing measures: A case study of the unembanked area of Rotterdam, the Netherlands. *Regional Environmental Change* 14(3):895-908. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0420->

z.

- Montgomery, JM; Bryan, KR; Mullarney, JC; Horstman, EM. 2019. Attenuation of Storm Surges by Coastal Mangroves. *Geophysical Research Letters* 46(5):2680-2689. DOI: <https://doi.org/10.1029/2018GL081636>.
- Murray, BC; Jenkins, WA; Sifleet, S; Pendleton, L; Baldera, A. 2010. Payments for Blue Carbon - Potential for Protecting Threatened Coastal Habitats (en línea). *Nipb10-05 49(December):1-8*. Disponible en <http://nicholasinstitute.duke.edu/sites/default/files/publications/blue-carbon-paper.pdf>.
- Musa, ZN; Popescu, I; Mynett, A. 2015. A review of applications of satellite SAR, optical, altimetry and DEM data for surface water modelling, mapping and parameter estimation. *Hydrology and Earth System Sciences* 19(9):3755-3769. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-19-3755-2015>.
- Narayan, S; Beck, MW; Wilson, P; Thomas, CJ; Guerrero, A; Shepard, CC; Reguero, BG; Franco, G; Ingram, JC; Trespalacios, D. 2017. The Value of Coastal Wetlands for Flood Damage Reduction in the Northeastern USA (en línea). *Scientific Reports* 7(1):1-12. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09269-z>.
- NOAA. 2021. Office for Coastal Management (en línea, sitio web). Consultado 10 jun. 2021. Disponible en <https://coast.noaa.gov/digitalcoast/tools/hurricanes.html>.
- Nordhaus, WD. 2017. Revisiting the social cost of carbon. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 114(7):1518-1523. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1609244114>.
- Oficina Nacional de Estadística (ONE). (2013). IX CENSO NACIONAL DE POBLACIÓN Y VIVIENDA 2010 (en línea). Santo Domingo, s.e. Disponible en <https://www.one.gob.do/>.
- _____. 2015. Shapefiles Censo 2010 (en línea, sitio web). Consultado 10 oct. 2020. Disponible en <https://www.one.gob.do/informaciones-cartograficas/shapefiles>.
- _____. (2019). Dominicana en Cifras 2018 (en línea). Santo Domingo, s.e. Disponible en <https://www.one.gob.do/>.
- Ortega, A; Madrigal, R; Cifuentes-Jara, M; Viguera, B. 2021. Influencia del manglar en la reducción de vulnerabilidad costera ante inundaciones y erosión en la provincia de Monte Cristi, República Dominicana. s.l., CATIE. .
- Pendleton, LH; Thébaud, O; Mongruel, RC; Levrel, H. 2016. Has the value of global marine and coastal ecosystem services changed? (en línea). *Marine Policy* 64:156-158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.11.018>.
- Penning-Rowsell, E; Johnson, C; Tunstall, S; Tapsell, S; Morris, J; Chatterton, J; Green, C; With. 2010. *Natural Hazards, UnNatural Disasters*. London, UK, Middlesex University Press. DOI: <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-8050-5>.
- Pérez, JI; Escobar, JR; Fragozo, JM. 2018. Modelación Hidráulica 2D de Inundaciones en Regiones con Escasez de Datos. El Caso del Delta del Río Ranchería, Riohacha-Colombia. *Información tecnológica* 29(4):143-156. DOI: <https://doi.org/10.4067/s0718-07642018000400143>.

- Pindyck, RS; Rubinfeld, DL. 2009. Microeconomía. Séptima Ed. Madrid, Pearson Educación S.A.
- Piper, S; Martin, WE. 2001. Evaluating the accuracy of the benefit transfer method: A rural water supply application in the USA. *Journal of Environmental Management* 63(3):223-235. DOI: <https://doi.org/10.1006/jema.2001.0464>.
- PNUD. 2013. Mapa de Desarrollo Humano de la República Dominicana. s.l., s.e. 1-94 p.
- Richards, DR; Friess, DA. 2016. Rates and drivers of mangrove deforestation in Southeast Asia, 2000-2012. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 113(2):344-349. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1510272113>.
- Richardson, L; Loomis, J; Kroeger, T; Casey, F. 2015. The role of benefit transfer in ecosystem service valuation (en línea). *Ecological Economics* 115:51-58. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.02.018>.
- Samonte-Tan, GPB; White, AT; Tercero, MA; Diviva, J; Tabara, E; Caballes, C. 2007. Economic valuation of coastal and marine resources: Bohol Marine Triangle, Philippines. *Coastal Management* 35(2-3):319-338. DOI: <https://doi.org/10.1080/08920750601169634>.
- Sathirathai, S; Barbier, EB. 2001. Valuing mangrove conservation in Southern Thailand. *Contemporary Economic Policy* 19(2):109-122. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1465-7287.2001.tb00054.x>.
- Scawthorn, C; Blais, N; Seligson, H; Tate, E; Mifflin, E; Thomas, W; Murphy, J; Jones, C. 2006. HAZUS-MH Flood Loss Estimation Methodology. I: Overview and Flood Hazard Characterization. *Natural Hazards Review* 7(2):60-71. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1527-6988\(2006\)7:2\(60\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1527-6988(2006)7:2(60)).
- Siikamäki, J; Sanchirico, JN; Jardine, SL. 2012. Global economic potential for reducing carbon dioxide emissions from mangrove loss. 109(36). DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1200519109>.
- Silver, JM; Arkema, KK; Griffin, RM; Lashley, B; Lemay, M; Maldonado, S; Moultrie, SH; Ruckelshaus, M; Schill, S; Thomas, A; Wyatt, K; Verutes, G. 2019. Advancing coastal risk reduction science and implementation by accounting for climate, ecosystems, and people. *Frontiers in Marine Science* 6(SEP):1-19. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00556>.
- Sippo, JZ; Lovelock, CE; Santos, IR; Sanders, CJ; Maher, DT. 2018. Mangrove mortality in a changing climate: An overview (en línea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (1-8). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.10.011>.
- Spalding, M; Kainuma, M; Collins, L. 2010. *World Atlas of Mangroves*. 1st Editio. London, Routledge. 336 p. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781849776608>.
- Spalding, MD; Ruffo, S; Lacambra, C; Meliane, I; Hale, LZ; Shepard, CC; Beck, MW. 2014. The role of ecosystems in coastal protection: Adapting to climate change and coastal hazards (en línea). *Ocean and Coastal Management* 90:50-57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.09.007>.
- Stern, N. 2007. *The Economics of Climate Change: The Stern Review* (en línea). Cambridge,

- Cambridge University Press. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511817434>.
- Strauss, B; Kulp, S. (2018). Sea-Level Rise Threats in the Caribbean: Data, tools, and analysis for a more resilient future (en línea). Princeton, New Jersey, s.e. Disponible en <http://sealevel.climatecentral.org/uploads/ssrf/Sea-level-rise-threats-in-the-Caribbean.pdf>.
- Tanner, MK; Moity, N; Costa, MT; Marin Jarrin, JR; Aburto-Oropeza, O; Salinas-de-León, P. 2019. Mangroves in the Galapagos: Ecosystem services and their valuation (en línea). *Ecological Economics* 160(June 2018):12-24. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.01.024>.
- TEEB. (2011). THE ECONOMICS OF ECOSYSTEMS AND BIODIVERSITY. s.l., s.e.
- The Natural Capital Project. 2021. Urban Flood Risk Mitigation model (en línea, sitio web). Disponible en http://releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/urban_flood_mitigation.html.
- The Nature Conservancy. 2021. Análisis de protección contra inundaciones (en línea, sitio web). Consultado 10 ago. 2021. Disponible en <https://maps.coastalresilience.org/dr/>.
- Tol, RSJ. 2011. The Social Cost of Carbon (en línea). *The Annual Review of Resource Economics* 3:419-443. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-083110-120028>.
- Tol, RSJ. 2019. A social cost of carbon for (almost) every country (en línea). *Energy Economics* 83:555-566. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.07.006>.
- Tonmoy, FN; Brown, M; Polydoropoulos, P; El-Zein, A. 2015. A comparative analysis of engineering options for adaptation to sea-level rise: A case study for a vulnerable beach in Shoalhaven NSW. *Proceedings - 21st International Congress on Modelling and Simulation, MODSIM 2015 (December):1503-1509*. DOI: <https://doi.org/10.36334/modsim.2015.g2.tonmoy>.
- Turschwell, MP; Tulloch, VJD; Sievers, M; Pearson, RM; Andradi-brown, DA; Ahmadi, GN; Connolly, RM; Bryan-brown, D; Lopez-marcano, S; Fernanda, M; Brown, CJ. 2020. Multi-scale estimation of the effects of pressures and drivers on mangrove forest loss globally (en línea). *Biological Conservation* 247(April):11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108637>.
- UNDP. (2016). Carbon Markets (en línea). s.l., s.e. Disponible en <http://www.undp.org/content/sdfinance/en/home/solutions/template-fiche12.html1/6Home>.
- USACE. (1992). Catalog of Residential Depth-Damage Functions by the Army Corps of Engineers in Flood Damage Estimation. s.l., s.e.
- USAID. (2013). Dominican Republic Climate Change Vulnerability Assessment (en línea). s.l., s.e. Disponible en <https://www.climatelinks.org/resources/dominican-republic-climate-change-vulnerability-assessment-executive-summary>.
- USGS. 2014. Earth Explorer (en línea, sitio web). Consultado 20 dic. 2020. Disponible en <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
- Watkiss, P; Downing, TE. 2008. The social cost of carbon: Valuation estimates and their use in

- UK policy. *The Integrated Assessment Journal* 8:85-105.
- World Bank. 2016. *Managing Coasts with Natural Solutions* (en línea). (January):167. Disponible en <https://www.wavespartnership.org/en/knowledge-center/managing-coasts-natural-solutions>.
- _____. (2019). *State and Trends of Carbon Pricing 2019*. Washington, DC, s.e. DOI: <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1435-8>.
- _____. (2020). *State and Trends of Carbon Pricing 2020 State and Trends of Carbon Pricing*. Washington D.C. U.S., s.e.
- _____. 2021. *Inflation, GDP deflator (annual %)* (en línea, sitio web). Disponible en <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.DEFL.KD.ZG>.
- Worthington, T; Spalding, M. (2020). *Mangrove Restoration Potential A global map highlighting a critical opportunity* (en línea). s.l., s.e. Disponible en <http://oceanwealth.org/mangrove-restoration/>.
- Yanagisawa, H; Koshimura, S; Miyag, T; Imamura, F. 2010. *Tsunami damage reduction performance of a mangrove forest in Banda Aceh, Indonesia inferred from field data and a numerical model*. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 115(6):1-11. DOI: <https://doi.org/10.1029/2009JC005587>.
- Yearley, S. 2018. *Economic Valuation of the Environment*. *Environment and Society* :143-165. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-76415-3_7.
- Zarate-Barrera, TG; Maldonado, JH. 2015. *Valuing blue carbon: Carbon sequestration benefits provided by the marine protected areas in Colombia*. *PLoS ONE* 10(5):1-22. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126627>.
- Zeng, Y; Friess, DA; Sarira, TV; Siman, K; Zeng, Y; Friess, DA; Sarira, TV; Siman, K; Koh, LP. 2021. *Global potential and limits of mangrove blue carbon for climate change mitigation* (en línea). *Current Biology* 31(8):1737-1743.e3. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.01.070>.

6. Anexos

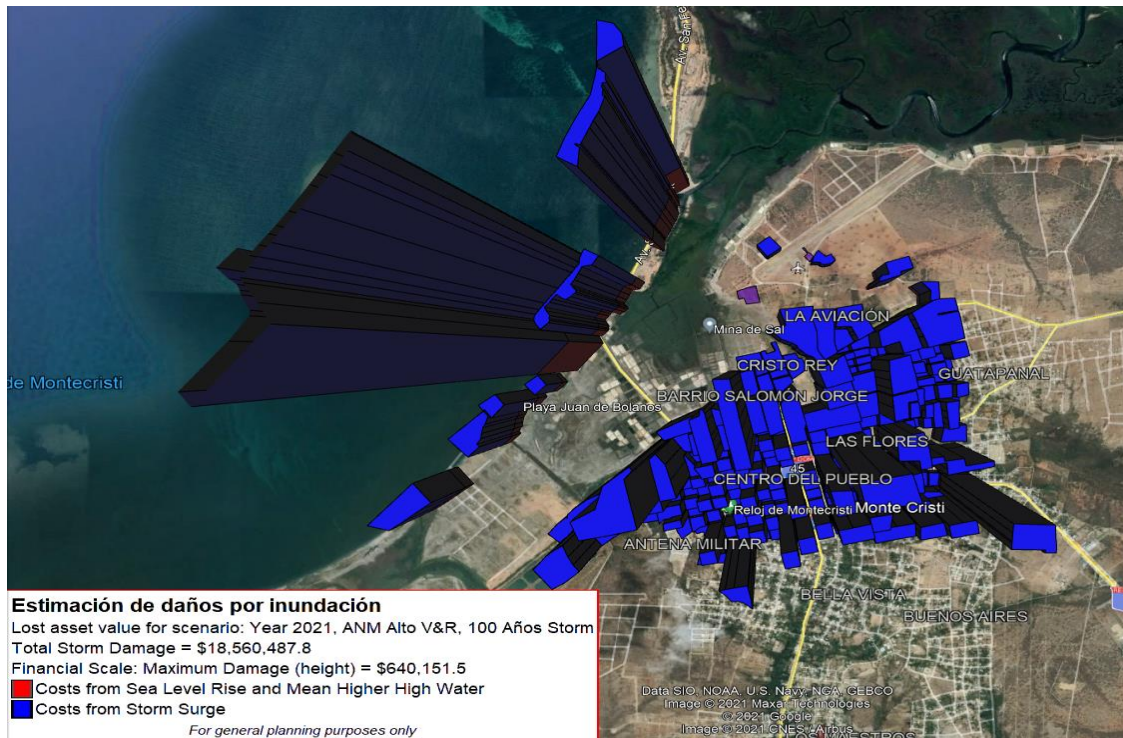


Anexo 1: Mapa preliminar de inundación, San Fernando de Monte Cristi.

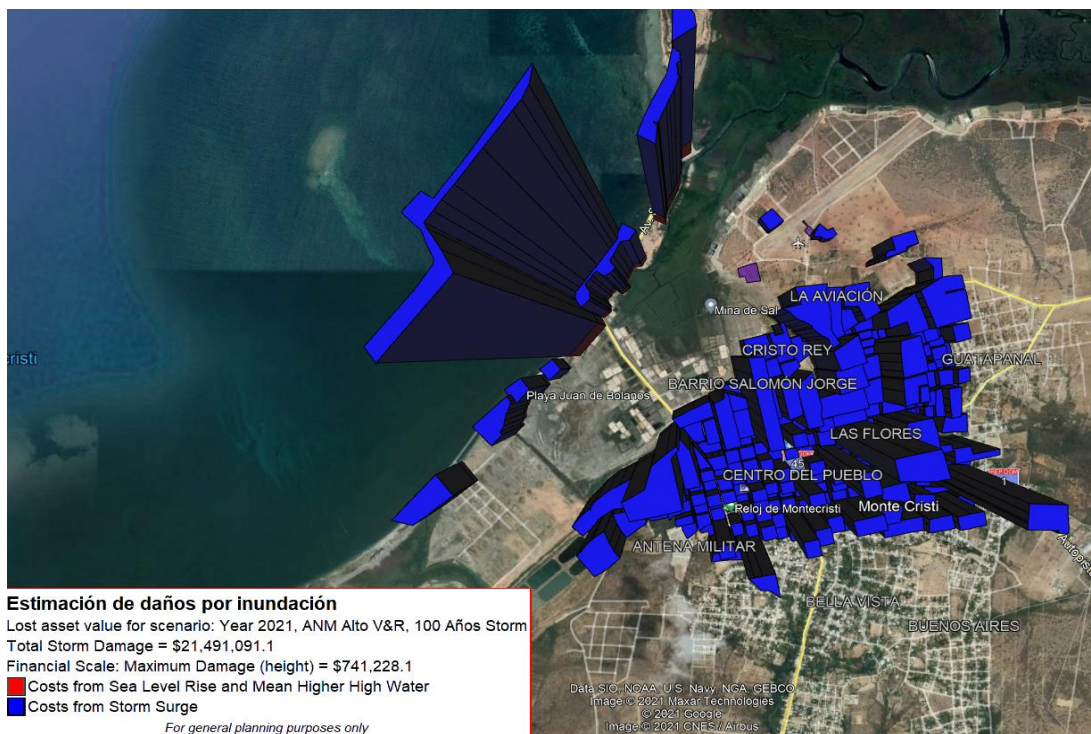


Estimación de daños por inundación
Lost asset value for scenario: Year 2021, ANM Alto V&R, 100 Años Storm
Total Storm Damage = \$22,272,585.3
Financial Scale: Maximum Damage (height) = \$768,181.8
■ Costs from Sea Level Rise and Mean Higher High Water
■ Costs from Storm Surge
For general planning purposes only

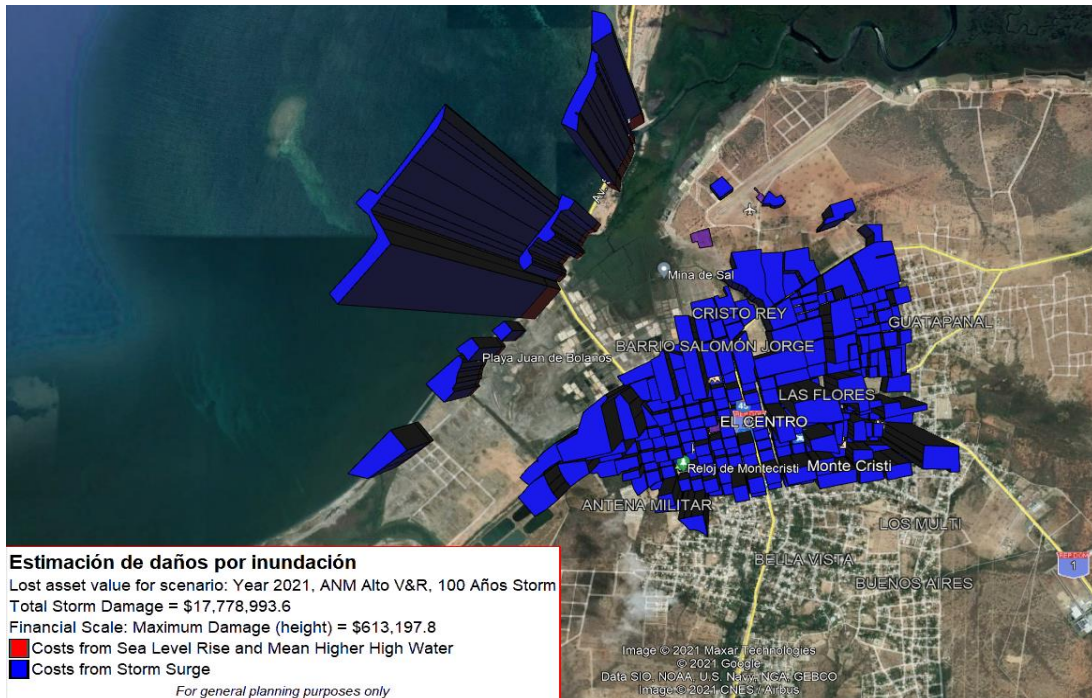
Anexo 2: Daños potenciales por inundación en estructuras residenciales, provocados por huracanes categoría 5, sin el rol del manglar.



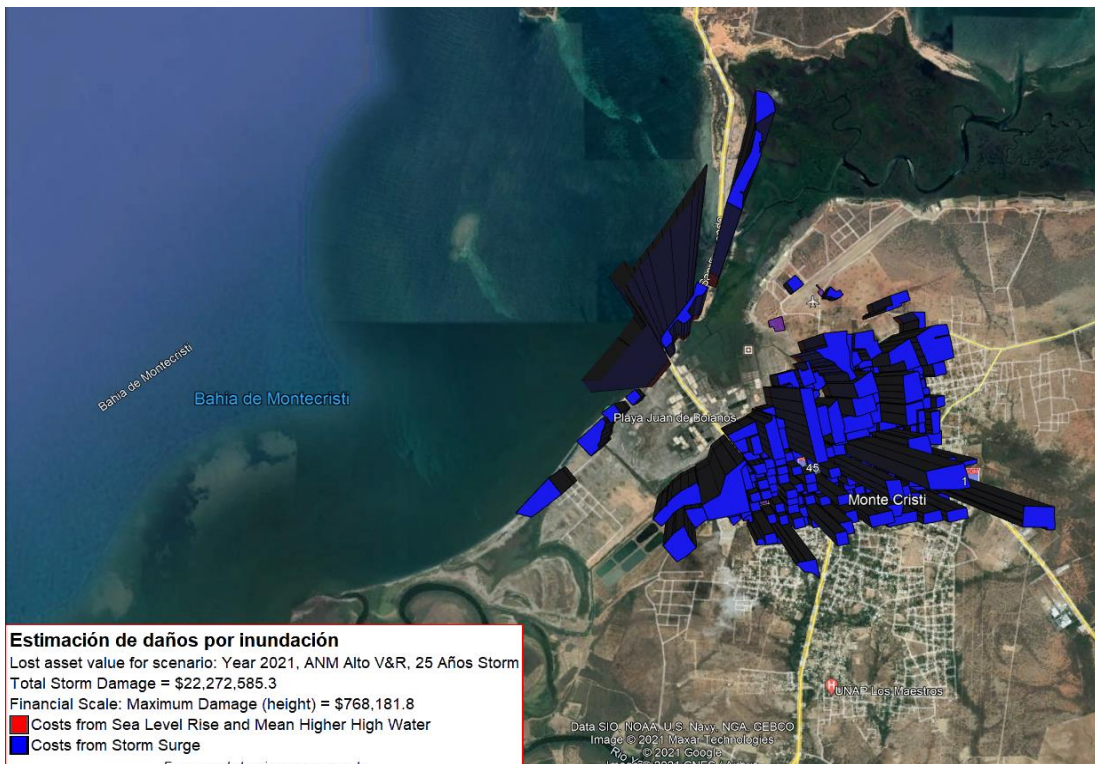
Anexo 3: Daños potenciales por inundación en contenidos residenciales, provocados por huracanes categoría 5, sin el rol del manglar.



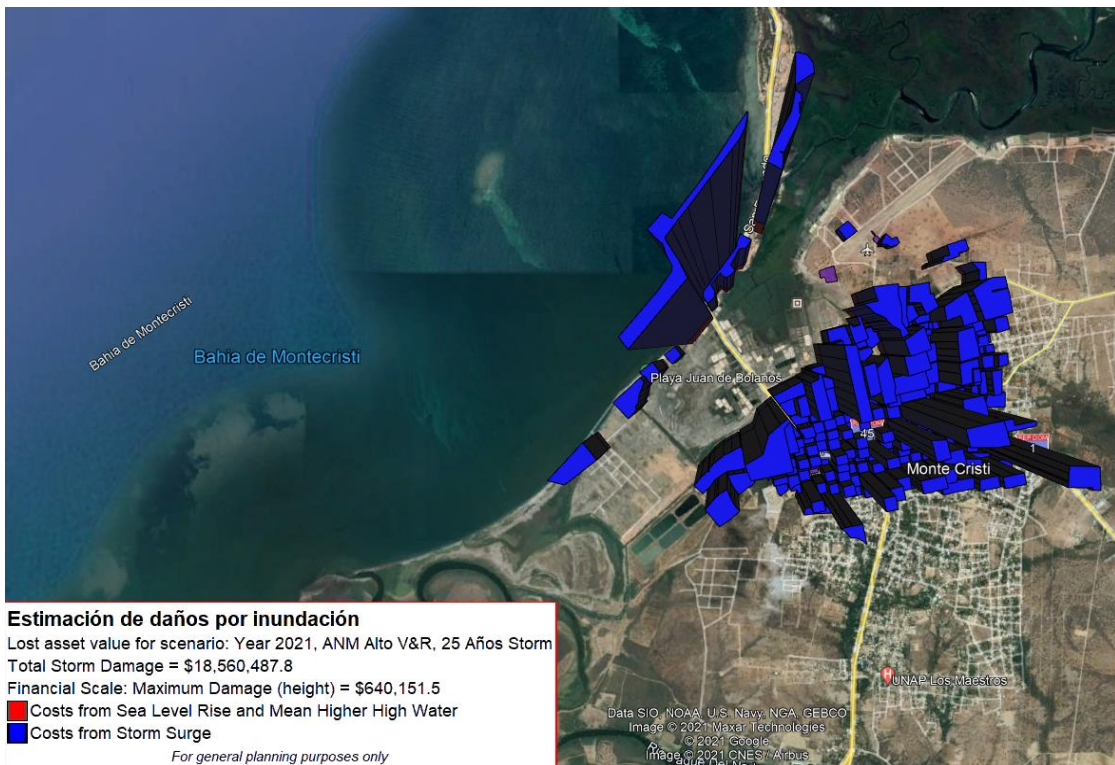
Anexo 4: Daños potenciales por inundación en estructuras residenciales, provocados por huracanes categoría 5, con el rol del manglar.



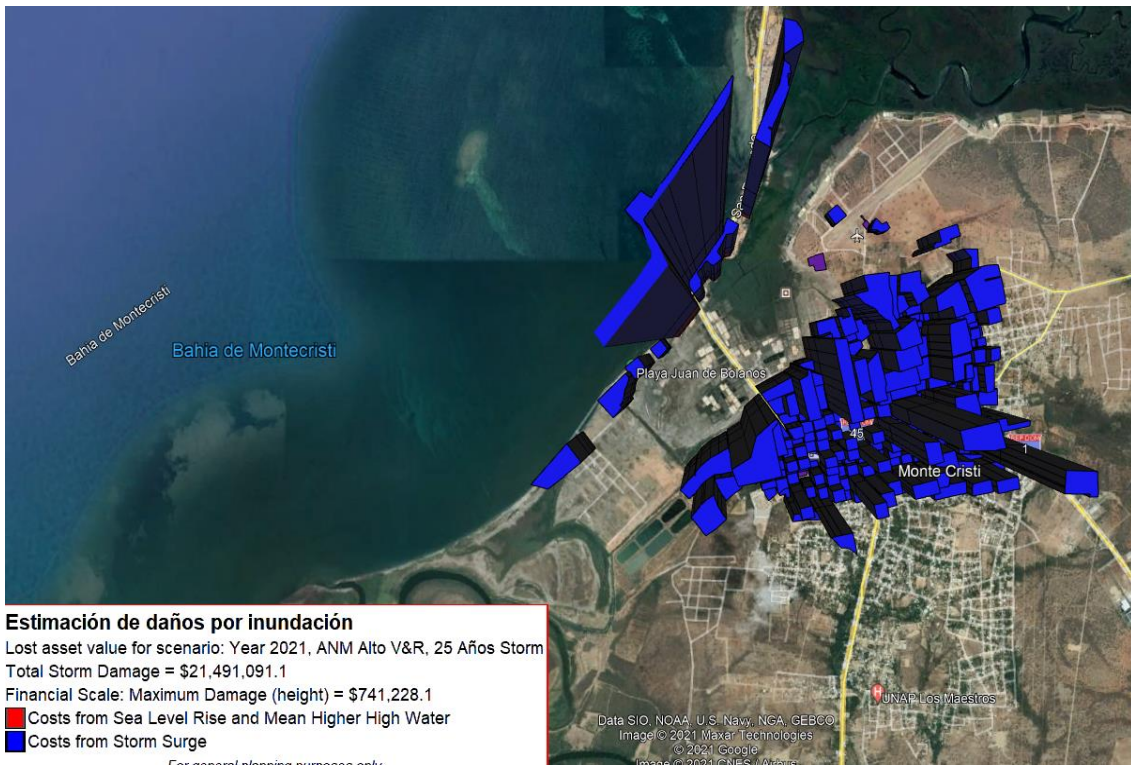
Anexo 5: Daños potenciales por inundación en contenidos residenciales, provocados por huracanes categoría 5, con el rol del manglar.



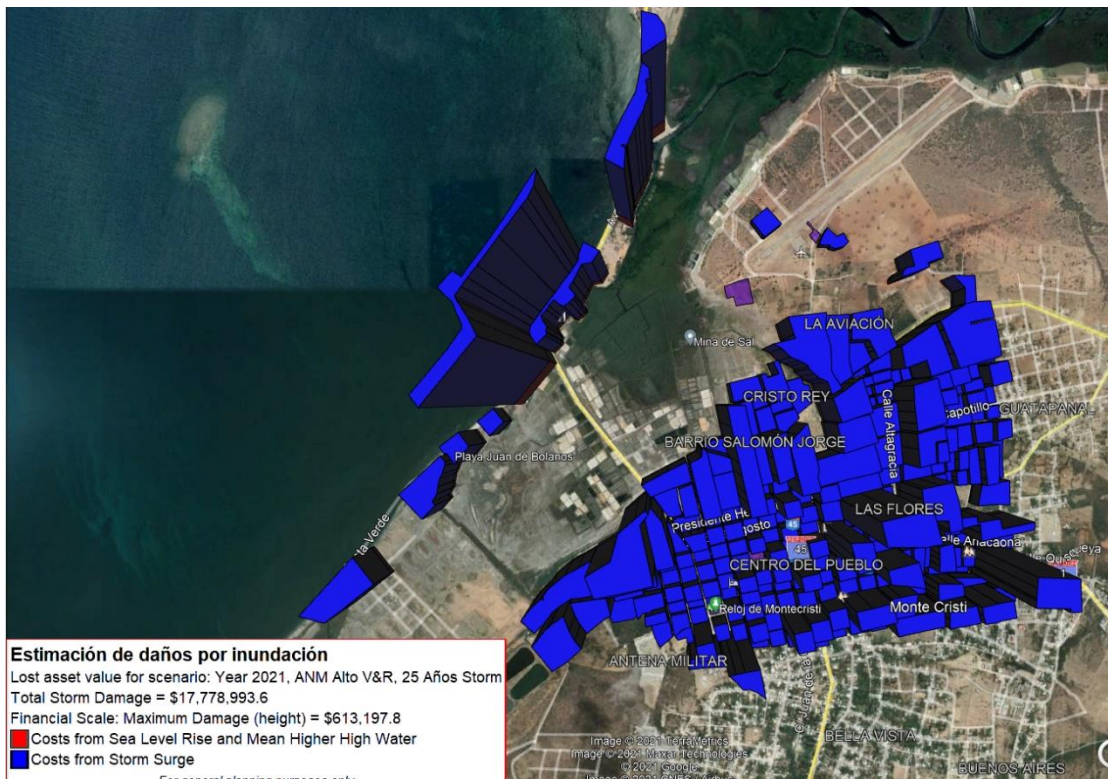
Anexo 6: Daños potenciales por inundación en estructuras residenciales, provocados por huracanes categoría 4, sin el rol del manglar.



Anexo 7: Daños potenciales por inundación en contenidos residenciales, provocados por huracanes categoría 4, sin el rol del manglar.



Anexo 8: Daños potenciales por inundación en estructuras residenciales, provocados por huracanes categoría 4, con el rol del manglar.



Anexo 9: Daños potenciales por inundación en contenidos residenciales, provocados por huracanes categoría 4, con el rol del manglar.