



UNIVERSIDAD DE
MANIZALES

PROGRAMA DE DOCTORADO EN
DESARROLLO SOSTENIBLE
IV COHORTE

noviembre de 2023

Informe final de investigación:

“Valoración económica ambiental del servicio ecosistémico de control de inundaciones en los humedales de la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla (RBPC)”.



Presenta:

- Christian Alejandra Vidal Sierra, MIPA.

Directores:

- Ciro Alfonso Serna Mendoza, Ph. D. Universidad de Manizales (UM)
- Coral Jazvel Pacheco Figueroa, Ph. D. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

Agradecimientos

A Dios por ser mi fortaleza y al Espíritu Santo por regalarme un poco de sabiduría.

A mis ángeles amados (mi madre y mi abuela) para que desde donde estén me vean culminar esta etapa y estén orgullosas de mí. Las amo.

A mis hermanas y sobrino por darme tiempo y ánimo para continuar. Los amo.

Al Dr. Ciro Alfonso Serna y al Dr. Duván Emilio Ramírez Ospina en la Universidad de Manizales por haberme dado la mejor oportunidad de mi vida y haber creído en mis capacidades.

Con todo el infinito agradecimiento a mi co-director de tesis el Dr. Ciro Alfonso Serna Mendoza, por brindarme las facilidades y por sus valiosos aportes teórico-filosóficos para el desarrollo de esta investigación. Gracias por su calidez y confianza.

A mi co-directora de tesis en la UJAT Dra. Coral Pacheco, por apoyarme sin condiciones en esta gran etapa, por darme la mano para seguir siempre adelante, por permitir y darme la confianza de plasmar mis intereses en este trabajo, por su cariño que se ha convertido en una hermosa amistad.

A mis evaluadores Dr. Eduardo Moguel, Dr. Juan de Dios Valdez y Dr. Luis Vargas por sus comentarios y observaciones que fueron muy valiosos para la mejora de esta tesis.

Al Dr. Diego Hernández director del Programa Doctoral de Desarrollo Sostenible de la UM, por todas sus atenciones y facilidades brindadas durante el proceso de mi formación, evaluación y sustentación.

A mis profesores del programa doctoral por haberme transmitido tantos conocimientos que despertaron en mí el gran interés que hoy tengo por continuar en el camino de la sostenibilidad.

A mi estimada colaboradora y amiga la Dra. Gloria Yaneth Florez, con la que comparto el mismo interés por investigar los humedales y por permitirme participar con ella ampliando mi visión científica.

A mis compañeros y a mis queridas amigas Consuelito⁺ y Hannis por haberme brindado su linda amistad y mostrarme las bellezas de mi segundo hogar Colombia.

A mis queridos Dres. Juan de Dios Valdez y Eduardo Moguel, a la M.C. Ruth Luna por apoyarme en mis recorridos por el campo y por sus aportes para la mejora de este trabajo de investigación.

Al Dr. Luis José Rangel, M.C. Jaqueline Gamboa y M.C. Silvia Arias por permitirme hacer uso de su laboratorio y apoyarme con su experiencia para culminar mis análisis de suelo.

Al Dr. Arturo Garrido Mora director de la DACBiol UJAT, por su apoyo al autorizar el acceso y uso de la infraestructura de la división académica para el desarrollo de esta investigación.

A las autoridades, delegados de las comunidades y habitantes de la RBPC por su gran apoyo y permitirme conocer sus comunidades y acrecentar mi amor y mi curiosidad por este territorio.

A tantas personas que me apoyaron directa o indirectamente para obtener estos maravillosos resultados. Mi infinito agradecimiento y cariño.

Contenido

I.	INTRODUCCIÓN.....	7
II.	DISEÑO TEÓRICO.	12
2.1	TITULO DEL TRABAJO.	12
2.2	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.	12
2.2.1	<i>PREGUNTAS AUXILIARES.</i>	12
2.3	DESCRIPCION DEL AREA PROBLEMÁTICA.	12
2.3.1	<i>ÁREA DE ESTUDIO.</i>	15
2.4	ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.	18
2.5	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.	23
2.6	OBJETIVOS.	29
2.6.1	<i>OBJETIVO GENERAL.</i>	29
2.6.2	<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.</i>	29
2.7	SUPUESTOS INVESTIGATIVOS Y MATRIZ DE VARIABLES.	29
2.7.1	<i>SUPUESTOS INVESTIGATIVOS.</i>	29
2.7.2	<i>MATRIZ DE VARIABLES.</i>	30
III.	FUNDAMENTACION TEÓRICA.	32
3.1	HUMEDALES.....	32
3.1.1	<i>DEFINICIÓN.</i>	32
3.1.2	<i>CLASIFICACIÓN DE LOS HUMEDALES.</i>	34
3.1.3	<i>SERVICIOS ECOSISTÉMICOS QUE PROPORCIONAN LOS HUMEDALES.</i> 36	
3.1.4	<i>SERVICIO ECOSISTÉMICO DE CONTROL DE INUNDACIONES.</i>	37
3.1.5	<i>DESARROLLO SOSTENIBLE Y SERVICIO ECOSISTÉMICO DE CONTROL DE INUNDACIONES EN HUMEDALES.</i>	37
3.2	VALOR DE LOS HUMEDALES.	39
3.2.1	<i>DEFINICIÓN.</i>	39
3.2.2	<i>VALORACIÓN ECONÓMICA AMBIENTAL.</i>	41
IV.	DISEÑO METODOLÓGICO.	45
4.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.	45
4.2	UNIDAD DE ANÁLISIS.	46
4.3	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	46

4.4	PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	46
4.4.1	<i>OBJETIVO ESPECÍFICO 1: ANALIZAR EL CAMBIO DE COBERTURAS/USO DEL SUELO (CUS) DE HUMEDALES Y SU EFECTO EN LA TRANSICIÓN DE COBERTURAS NATURALES DE HUMEDALES POR ASENTAMIENTOS HUMANOS DE LA RBPC.</i>	47
4.4.2	<i>OBJETIVO ESPECÍFICO 2: DETERMINAR EL IMPACTO DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS EN LA PÉRDIDA DE RETENCIÓN DE AGUA EN LOS HUMEDALES DE LA RBPC.</i>	53
4.4.3	<i>OBJETIVO ESPECÍFICO 3: CALCULAR LOS COSTOS DE PREVENCIÓN DE INUNDACIONES Y LA PROPORCIÓN QUE REPRESENTA EL VALOR DE LOS COSTOS EVITADOS INDIRECTOS (Evi) DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE CONTROL DE INUNDACIONES EN LOS HUMEDALES DE LA RBPC.</i>	65
4.4.4	<i>TECNICAS E INSTRUMENTOS.</i>	71
V.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	73
5.1	<i>OBJETIVO ESPECÍFICO 1: ANALIZAR EL CAMBIO DE COBERTURAS/USO DEL SUELO (CUS) DE HUMEDALES Y SU EFECTO EN LA TRANSICIÓN DE COBERTURAS NATURALES DE HUMEDALES POR ASENTAMIENTOS HUMANOS DE LA RBPC.</i>	73
5.1.1	<i>DELIMITACIÓN Y SELECCIÓN DE MICROCUENCAS.</i>	73
5.1.2	<i>CAMBIO DE COBERTURAS/USO DEL SUELO CUS DE HUMEDALES.</i> ..	76
5.1.3	<i>EFECTO EN LA TRANSICIÓN DE COBERTURAS NATURALES DE HUMEDALES POR ASENTAMIENTOS HUMANOS DE LA RBPC.</i>	78
5.2	<i>OBJETIVO ESPECÍFICO 2: DETERMINAR EL IMPACTO DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS EN LA PÉRDIDA DE RETENCIÓN DE AGUA EN LOS HUMEDALES DE LA RBPC.</i>	80
5.2.1	<i>IMPACTO DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS.</i>	80
5.2.2	<i>PÉRDIDA DE RETENCIÓN DE AGUA EN LOS HUMEDALES DE LA RBPC.</i> 81	
5.3	<i>OBJETIVO ESPECÍFICO 3: CALCULAR LOS COSTOS DE PREVENCIÓN DE INUNDACIONES Y LA PROPORCIÓN QUE REPRESENTA EL VALOR DE LOS COSTOS EVITADOS INDIRECTOS (Evi) DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE CONTROL DE INUNDACIONES EN LOS HUMEDALES DE LA RBPC.</i>	85
5.3.1	<i>ESTIMACIÓN DEL COSTE ECONÓMICO DE LAS INUNDACIONES (TEC).</i> 85	
5.3.2	<i>COSTO EVITADO INDIRECTO (EVi).</i>	92
5.4	<i>DISCUSIÓN.</i>	98
VI.	CONCLUSIONES.....	102
VII.	RECOMENDACIONES.	105

VIII.FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.	107
8.1.1 <i>PUBLICACIONES</i>	107
8.1.2 <i>CONGRESOS</i>	108
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	110
X. ANEXOS.....	122

Índice de Figuras

Figura 1. Polígono de la RBPC. Fuente: elaboración propia.	16
Figura 2. Variables de la investigación.	30
Figura 3. Diseño metodológico de la investigación.	45
Figura 4. Procedimiento para el cumplimiento de los objetivos de la investigación.	47
Figura 5. Procedimiento para el cumplimiento del objetivo específico 1.	48
Figura 6. Matriz CROSSTAB para la comparación de dos mapas de diferente tiempo, elaborada por Pontius et al., (2004).....	52
Figura 7. Procedimiento para el cumplimiento del objetivo específico 2.	53
Figura 8. Puntos de colecta de muestras de suelo.	59
Figura 9. Procedimiento para el cumplimiento del objetivo específico 3.	65
Figura 10. Microcuencas seleccionadas dentro del polígono de la RBPC.....	73
Figura 11. Distribución de los porcentajes del TEC que representan los artículos (electrodomésticos y muebles) perdidos. Fuente: Elaboración propia.	91

Índice de Tablas

Tabla 1. Matriz de variables y dimensiones de la investigación.	30
Tabla 2. Información de los mapas de uso de suelo y vegetación escala 1:250, 000.	50
Tabla 3. Clasificación las categorías de los mapas de uso de suelo y vegetación en el área de estudio.....	50
Tabla 4. Estimación del número de muestras por tipo de suelo.	54
Tabla 5. Ubicación de los puntos de colecta de las muestras de suelo.	59
Tabla 6. Técnicas e instrumentos para el desarrollo de la investigación.	71
Tabla 7. Información de las microcuencas seleccionadas.	74

Tabla 8. Resultados del análisis CUS en humedales de la RBPC.	76
Tabla 9. Resultados de impactos humanos en la pérdida de cobertura natural de los humedales del área de estudio con base en el Análisis CUS y de cadenas de Markov.	80
Tabla 10. Valores de Almacenamiento o retención de agua por tipo de suelo (WR).....	82
Tabla 11. Resultados del cálculo del impacto de los asentamientos humanos en la pérdida de retención de agua (LWR) en los humedales de la RBPC.	83
Tabla 12. Cantidad (Q) del mismo artículo (electrodomésticos y muebles) perdido por (i) número de viviendas particulares habitadas (j) de las 32 localidades rurales de la RBPC afectadas por las inundaciones de octubre y noviembre de 2020.....	86
Tabla 13. Valor económico en precios corrientes por tipo de artículo perdido (i) y por vivienda particular habitada (j) (EVCij).	89
Tabla 14. Valor económico total a precios constantes de los artículos perdidos (i) por vivienda particular habitada (j) EVCOij.....	90
Tabla 15. Valor del agua retenida en el suelo (WRV).....	92
Tabla 16. Valor económico de los humedales: costo evitado indirecto (Evi).	94
Tabla 17. Análisis B/C resumido.....	96

Índice de Anexos

Anexo 1. Criterios y selección de microcuencas y localidades para el muestreo aleatorio de los tipos de suelo.	122
Anexo 2. Cambio de cobertura / uso del suelo (LUC) de humedales por asentamientos humanos por microcuenca.	123
Anexo 3. Cálculo de Almacenamiento o retención de agua en el suelo (WR).	124
Anexo 4. Localidades rurales de Centla, Tab. dentro del polígono de la RBPC afectadas por las inundaciones de octubre y noviembre de 2020, seleccionadas para el análisis TEC....	126
Anexo 5. Cálculos para obtención del Valor económico promedio a precios corrientes promedio (AEV) de artículos perdidos (electrodomésticos y muebles) considerados para el año de compra 2010.....	128
Anexo 6. Estimación del coste económico de las inundaciones (TEC).	132
Anexo 7. Análisis Beneficio / Costo	133

I. INTRODUCCIÓN.

El desarrollo sostenible es un concepto que trata de integrar tres dimensiones principales de estudio: a) la dimensión social, b) la dimensión económica y c) la dimensión ambiental. La sostenibilidad tiene como finalidad el uso racional de los recursos naturales de manera que podamos disfrutar de sus beneficios como sociedad, y que sean económicamente factibles, de manera que otras generaciones tengan la posibilidad de disfrutar y acceder al uso de estos recursos en el futuro. De esta manera, y bajo este concepto se trata de mantener el bienestar de las sociedades actuales y futuras.

El marco conceptual de los servicios ecosistémicos trata de enmarcar los beneficios que recibimos de los ecosistemas de manera directa o indirecta en cuatro grandes grupos: 1) aprovisionamiento, 2) regulación, 3) apoyo y 4) culturales. Los servicios de aprovisionamiento son aquellos beneficios que recibimos de manera directa de los ecosistemas como son los frutos, los alimentos y el uso del agua. Los servicios de regulación son beneficios de uso indirecto que permiten que biofísicamente los ecosistemas puedan mantener un equilibrio natural mediante el mantenimiento de sus procesos fisicoquímicos, biológicos, ecológicos y ciclos naturales, pero que de manera general no son perceptibles al ojo humano, como son la regulación del clima, los flujos hidrológicos, la purificación del agua, el tratamiento de residuos, el control de la erosión, la regulación de los desastres naturales, y la polinización. Los servicios de apoyo en conjunto con los de regulación nos benefician contribuyendo al funcionamiento de los ecosistemas como son la formación de los suelos y los ciclos de nutrientes. Finalmente los servicios culturales nos permiten beneficiarnos de los ecosistemas desde un punto de vista social y de manera directa a través del uso de estos ambientes para la contemplación y disfrute de sus paisajes, como escenario de rituales religiosos o por los usos y costumbres de las comunidades que incluyen el uso de los ecosistemas o el aprovechamiento de sus derivados. Este esquema nos permite estudiar la complejidad de la relación socioambiental y las dinámicas de uso directo o indirecto que se hace de los ecosistemas.

El enfoque de la sostenibilidad y el marco conceptual de los servicios ecosistémicos nos permite analizar y relacionar uno de los problemas más complejos que enfrenta la sociedad

que es la pérdida de los humedales. Los humedales son ecosistemas importantes para la sostenibilidad de las comunidades ya que proporcionan un 40% de los servicios ecosistémicos necesarios para vivir (Convención de Ramsar sobre los Humedales, 2018), siendo la regulación y oferta hídrica los servicios más relevantes. Sin embargo, estos ecosistemas se encuentran en una avanzada pérdida y degradación debido a causas antropogénicas (Flórez-Yepes *et al.*, 2018) particularmente por la expansión agropecuaria (van Asselen *et al.*, 2013).

La pérdida de los humedales a nivel global desde el año 1700 alcanza la alarmante cifra del 87% (Convención de Ramsar sobre los Humedales, 2018). En México, las reducciones de los humedales rondan el 62.1% (Landgrave & Moreno-Casasola, 2012). Estas pérdidas provocan condiciones de insostenibilidad para millones de personas que dependen de sus servicios ecosistémicos, especialmente para el abastecimiento que son considerados por las comunidades como los más importantes del recurso tanto como fuente de vida para su supervivencia, como para el desarrollo de diferentes actividades relacionadas con los servicios de aprovisionamiento (Florez Yepes, 2015).

Se ha evidenciado que la percepción social sobre los servicios ecosistémicos de los humedales indica que los servicios de aprovisionamiento son más relevantes para la subsistencia de las comunidades otorgándole mayor importancia, por lo que los servicios de regulación son subvalorados y en muchas ocasiones no visibilizados por las comunidades. Paradójicamente, la importancia de los servicios ecosistémicos de regulación está relacionada con los procesos ecológicos que mantienen las condiciones naturales necesarias para garantizar la existencia de los humedales y generar la productividad necesaria como soporte de vida para las personas.

Tabasco es un estado mexicano localizado en el sureste frente al Golfo de México y que, debido a su geomorfología de extensas planicies costeras y sus recursos hidrológicos, facilita la existencia de los humedales representados en un 27.73% del territorio local (Barba-Macías *et al.*, 2006) y el 53% de los humedales nacionales (Sánchez & Barba, 2005). Además, por su territorio escurren los dos ríos más caudalosos del país: El Grijalva y El Usumacinta. No obstante, los humedales tabasqueños han estado sometidos a constantes presiones

antropogénicas, siendo la actividad agropecuaria la principal causa del cambio, pero existen otros factores tensionantes que han causado este acelerado decrecimiento relacionados con la explotación petrolera, construcción de caminos y urbanización (Palomeque de la Cruz *et al.*, 2017). Existen una notable cantidad de estudios que evidencian la pérdida de cobertura natural de los humedales tabasqueños y que han generado evidencia de la importancia que tiene su conservación en el bienestar de las comunidades.

Aunado a lo anterior, Tabasco tiene una gran historia con las inundaciones siendo conocido nacional e internacionalmente por la alta frecuencia de estos desastres naturales, ya que es uno de los territorios con mayor vulnerabilidad al impacto de eventos climatológicos recurrentes como son los huracanes y los frentes fríos, los cuales provocan intensas lluvias. Los efectos de estas precipitaciones en combinación con sus características hidrológicas y geomorfológicas afectan los suelos saturándolos rápidamente provocando inundaciones que afectan a las localidades asentadas en su territorio en diferentes magnitudes dando como resultado cuantiosas pérdidas y daños materiales, ambientales, económicos y en algunos casos hasta de vidas humanas.

Debido a lo anterior, se han ejecutado planes gubernamentales para abatir los efectos de las inundaciones entre los que se encuentran la construcción de bordos y represas, dragado de ríos, colocación de barreras, programas para la gestión y atención de emergencias, y apoyos económicos a la comunidad entre otros. Todo lo anterior, desde un punto de vista más influenciado hacia lo antropocéntrico, en consecuencia es poco visible que en la elaboración de planes se incluyan aspectos relacionados a la conservación, restauración y recuperación de los humedales como ecosistemas que ayudan a la mitigación de las inundaciones en el Estado.

La valoración económica ambiental es un conjunto de métodos que permite conocer el valor de los beneficios que los ecosistemas nos proveen, mediante un proceso de identificación y estimación de los servicios ecosistémicos que conjuga las tres dimensiones de la sostenibilidad (social, económica y ambiental), y presentándolos en un valor económico que facilita un mayor entendimiento para la toma de decisiones.

En Tabasco, se han realizado algunos esfuerzos investigativos de valoración económica que incluyen el enfoque de la valoración económica total (VET) y de la valoración económica de algunos servicios ecosistémicos individuales de los humedales, ubicados en diversas partes del estado incluyendo la región de la Chontalpa y algunas de las reservas naturales, sin embargo a la fecha no se conocen investigaciones dirigidas a integrar los enfoques de la sostenibilidad para la valoración de servicios ecosistémicos de control de inundaciones en humedales.

En este sentido, se ha discutido que existen ventajas y desventajas en la aplicación de la valoración económica ambiental, sin embargo, desde el punto de vista de la conservación de los humedales se considera una herramienta que nos permite ayudar a los tomadores de decisiones a resaltar su importancia para el bienestar humano, al incluir los beneficios de la regulación y control de las inundaciones. Aquí es donde se centra el propósito de esta investigación que tiene como objetivo analizar el valor económico ambiental del servicio ecosistémico de control de inundaciones en los humedales de la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla (RBPC).

La dirección de este trabajo se realizó dentro del marco de la línea de investigación de Biosistemas Integrados del programa doctoral de Desarrollo Sostenible de la Universidad de Manizales (UM) en co-dirección con la Línea de Diagnóstico y Gestión Ambiental de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (DACBiol UJAT) con el apoyo técnico, logístico y metodológico del Cuerpo Académico de Conservación y Gestión Ambiental que permitieron ejecutar los trabajos de campo, laboratorio y gabinete. En este sentido, el marco teórico, filosófico y conceptual aportados por la línea de investigación de Biosistemas Integrados desde el enfoque de la economía ambiental nos permitieron analizar la problemática de los humedales de la RBPC desde un enfoque centrado en la sostenibilidad de una manera más integral desde el estudio de las dimensiones social, ambiental y económica.

Bajo este contexto, esta investigación integra aspectos sociales desde el análisis de las dinámicas de cambio de cobertura y uso del suelo y de sus transiciones; aborda los aspectos económicos al utilizar el enfoque de daños y pérdidas de artículos (electrodomésticos y

muebles) durante el evento de la inundación de 2020 ocurrida en Tabasco; desde el enfoque ambiental al identificar y cuantificar la cantidad de agua retenida en los suelos de humedales como un servicio ecosistémico fundamental; y desde un punto de vista integrador en la aplicación del método de valoración económica ambiental de costos evitados indirectos que engloba todos los aspectos descritos anteriormente.

Por otra parte, este documento se encuentra estructurado en nueve capítulos que nos permiten desarrollar y plasmar todos los aspectos investigativos del análisis de la valoración económica ambiental del servicio ecosistémico de control de inundaciones de los humedales de la RBPC. Este capítulo I que introduce a este proyecto.

El Capítulo II se refiere al diseño teórico el cual incluye la definición del título de este trabajo, las preguntas principal y auxiliares que se pretenden responder, los antecedentes investigativos, la justificación, los objetivos, los supuestos de la investigación y la matriz de variables. El Capítulo III está dedicado a la fundamentación teórica acerca de los conceptos y teorías que delimitan el estudio de los humedales y sus valores en este trabajo. El Capítulo IV incluye todos los elementos relacionados al diseño metodológico de esta investigación incluidos la definición del tipo de investigación, la determinación de la unidad de análisis y población y muestra, así como los procedimientos, métodos y técnicas utilizados para el desarrollo de esta tesis. El Capítulo V incluye el análisis de los resultados obtenidos y la discusión de estos frente a los hallazgos de otros autores. En el Capítulo VI se resaltan las principales conclusiones de este análisis y en el Capítulo VII encontrará las recomendaciones hechas para la continuidad de este proceso investigativo. El Capítulo VII está dedicado a resaltar las oportunidades para la generación de nuevas líneas de investigación o la proyección de las líneas existentes hacia otros enfoques no explorados.

Finalmente, en el Capítulo IX enlistamos las referencias bibliográficas citadas a lo largo del texto y en el Capítulo X se presentan algunos anexos donde se incluye información que apoya la información presentada como parte de la metodología o resultados de esta tesis.

II. DISEÑO TEÓRICO.

2.1 TITULO DEL TRABAJO.

“Valoración económica ambiental del servicio ecosistémico de control de inundaciones en los humedales de la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla (RBPC)”.

2.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.

- ¿Cuál es el valor económico ambiental del servicio ecosistémico de control de inundaciones en los humedales de la RBPC?

2.2.1 PREGUNTAS AUXILIARES.

- ¿Cómo puede explicarse el cambio de coberturas/uso del suelo (CUS) de humedales y su efecto en la transición de coberturas naturales de humedales por asentamientos humanos de la RBPC?
- ¿En qué medida los asentamientos humanos impactan en la pérdida de retención de agua en los humedales de la RBPC?
- ¿En qué medida los costos de prevención de inundaciones representan el valor por costos evitados indirectos del servicio ecosistémico de control de inundaciones de los humedales de la RBPC?

2.3 DESCRIPCION DEL AREA PROBLEMÁTICA.

Los humedales se encuentran entre los ecosistemas más escasos al representar apenas un 6% de la superficie terrestre (Naciones Unidas [UN], 2023), ocupando alrededor de 12.1 millones de km² entre humedales continentales y costeros a nivel mundial (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2018). Son ecosistemas naturales que transitan entre los ambientes terrestres y acuáticos, donde la presencia del agua es el factor más importante para su existencia. Debido a esta particularidad, se encuentran entre los sistemas naturales más productivos con un 40% de los servicios ecosistémicos necesarios para mantener la vida de las comunidades (Convención de Ramsar sobre los Humedales, 2018). Lo anterior se refleja en una variedad de beneficios a los seres humanos entre los que se encuentran los servicios

de aprovisionamiento (productos alimenticios como peces, agua y leña), servicios de regulación (ciclos hidrológicos, climáticos, desastres naturales, polinización, almacenamiento de carbono, etc.), y servicios culturales (sitios turísticos y recreacionales), por mencionar algunos. Aunque los humedales son sitios estratégicos y elementales vistos desde el enfoque de la sostenibilidad, son mayormente reconocidos como importantes para las comunidades por los servicios de aprovisionamiento, debido a su utilidad como medios de subsistencia para la alimentación (Brauman *et al.*, 2007).

No obstante, los servicios de aprovisionamiento dependen directamente del adecuado funcionamiento y regulación de condiciones biofísicas y químicas, como son la temperatura, el tipo de suelo, la salinidad, el tipo de vegetación y sobre todo del mantenimiento de los ciclos hidrológicos. Por lo tanto, la existencia misma de los humedales depende directamente del equilibrio de esas condiciones para mantener su funcionalidad. Desde esta perspectiva, y al contrario de la percepción colectiva, los servicios de regulación se consideran aún más relevantes para garantizar los medios de soporte de vida de las comunidades.

Sin embargo, la pérdida y degradación de estos ecosistemas es una problemática global que afecta su funcionalidad y dinámica socioeconómica, estimando que desde el siglo XVIII a la fecha las pérdidas de humedales a nivel mundial corresponden a un 87% (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2018, p.19). Actualmente, este ritmo de pérdida es en ocasiones motivado porque son considerados terrenos baldíos, con bajo valor, donde proliferan los mosquitos (Brander *et al.*, 2013).

Las actividades antropogénicas han sido identificadas como las principales causas de la transformación de las coberturas naturales de humedales hacia otros usos del suelo, siendo la expansión de la frontera agropecuaria la que mayores impactos ha tenido sobre estos ecosistemas. Así también, el crecimiento económico y el aumento de la densidad de población son consideradas como las fuerzas subyacentes que intensifican la pérdida y degradación en los humedales naturales (van Asselen *et al.*, 2013). En el caso de México, se estima se ha perdido un 62.1% de la cobertura de humedales, siendo identificados como factores tensionantes de su alteración la desecación por medio de canales para el desagüe o el relleno de estos terrenos con fines productivos, en particular de la ganadería; la expansión

urbana; la construcción de caminos; la modificación de la hidrología para la construcción de represas; el dragado para el control de inundaciones; la aparición y crecimiento de especies invasoras; la contaminación y la extracción de agua subterránea (Moreno-Casasola, 2008).

El fenómeno global del cambio climático también figura entre las causas más relevantes que amenazan la existencia de los humedales, en particular de los humedales costeros. El cambio climático les afecta de manera local por efecto del incremento del nivel del mar, la variación de la temperatura, el aumento de las precipitaciones, y la intensificación de los periodos de sequía, convirtiéndolos en sitios vulnerables a la erosión, a la escasez de agua, y a las inundaciones. Es por esto que los efectos del cambio climático, y el cambio de cobertura/uso del suelo tienen un impacto directo en el servicio ecosistémico de control de inundaciones de los humedales, incrementando el riesgo de las comunidades ante la potencial pérdida de: vidas humanas, cultivos y daños a la propiedad privada (viviendas, enseres), entre otros.

Tabasco, es un estado mexicano localizado en el sureste del país, en costas del Golfo de México, que debido a sus condiciones geomorfológicas (85.1% de planicies costeras) (Zavala-Cruz *et al.*, 2016) e hidrológicas (escurre el 30% de los recursos hídricos del país, y concentra los dos ríos más caudalosos: el Grijalva y el Usumacinta) reúne las condiciones necesarias para albergar el 53 % de los humedales nacionales (Sánchez y Barba, 2005), y particularmente el que es considerado como el humedal más importante de Mesoamérica: la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla (RBPC). La RBPC ha sido distinguida como humedal Ramsar por su importancia internacional, y a nivel federal ha sido declarada como Área Natural Protegida (ANP) y Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA). Es por esto, que la historia de este territorio ha estado ligada a las inundaciones, pero desde hace algunas décadas se ha incrementado la frecuencia y magnitud debido a factores antropogénicos como el cambio cobertura/uso del suelo por el desarrollo de proyectos agropecuarios, la actividad petrolera, la construcción de caminos y los asentamientos humanos, que han ido ganando superficie frente a los humedales naturales.

Las consecuencias de las inundaciones sin duda se resienten por los daños y las pérdidas ocasionados en los asentamientos humanos, que debido al incremento poblacional y a la demanda de viviendas ha ido ocupando el territorio frente a las coberturas de los humedales

(Palomeque de la Cruz *et al.*, 2017). Este tipo de desastres naturales han llegado a registrar pérdidas de hasta tres billones de USD para la inundación del año 2007, la cual se extendió en aproximadamente 62% del territorio, provocando que el 75% de la población en 679 localidades quedará damnificada (Perevochtchikova y Lezama, 2010). Estos eventos, han dejado en evidencia la poca o nula importancia que se le ha dado a los servicios ecosistémicos de control de inundaciones de los humedales naturales, debido a que no han sido considerados como elementos fundamentales en la prevención de desastres naturales basados en los costos que se pueden evitar propiciando su conservación.

Por otra parte, estos desastres naturales, han motivado diversos estudios desde las ciencias sociales, las ciencias biológicas, las ciencias de la tierra, las ciencias económicas y algunos esfuerzos interdisciplinarios observados desde diferentes escalas espacio-temporales, con objetivos particulares.

Esta problemática local, motivó esta investigación desde la perspectiva de la sostenibilidad como ciencia holística e integral, para analizar el valor económico ambiental el servicio ecosistémico del control de inundaciones en los humedales de la RBPC, desde el enfoque de la economía ambiental. Para esto, se planteó como objetivos específicos analizar el cambio de coberturas/uso del suelo (CUS) de humedales y su efecto en la transición de coberturas naturales de humedales por asentamientos humanos de la RBPC; determinar el impacto de los asentamientos humanos en el servicio ecosistémico del control de inundaciones en los humedales de la RBPC; y calcular la proporción de los costos de inversión que representan los costos evitados indirectos del servicio ecosistémico de control de inundaciones en los humedales de la RBPC.

2.3.1 ÁREA DE ESTUDIO.

El desarrollo de la presente investigación se realizó en el polígono de la RBPC, localizada al noreste del estado mexicano de Tabasco, frente a las costas del Golfo de México. La superficie de la reserva se extiende mayormente por el territorio de Tabasco y una menor parte del estado colindante de Campeche, cubriendo una superficie de 302,706.62 ha (Figura 1) lo que representa 12.27% del área total del estado de Tabasco, y dos tercios de los humedales estatales (Ramos, 2019).

La RBPC se asienta en la subregión de los pantanos y está conformada por una parte de los territorios de los municipios tabasqueños de Centla (225,108 ha), Jonuta (65,651 ha), y Macuspana (6,280 ha) (Instituto Nacional de Ecología, 2000).



Figura 1. Polígono de la RBPC. Fuente: elaboración propia.

En cuanto a sus características ambientales, los climas del área natural se presentan en tres tipos de climas: sub húmedo con lluvias en verano ($Aw''ig$); caliente sub húmedo con lluvias en verano ($Amw''ig$); y caliente sub húmedo con lluvias en verano ($Am(f)w''(i)g$) (Instituto Nacional de Ecología, 2000). Los tipos de suelos que constituyen la RBPC son gleysol, solonchack, fluvisol y regosol. Los gleysoles son los más abundantes y se diferencian porque son suelos con una alta capacidad de retención de humedad volviéndose fangosos, lo cual los hace típicos de las zonas pantanosas. La hidrología de la RBPC se ubica en la Región Hidrológica Grijalva Usumacinta y se compone de tres cuencas: al norte y centro del polígono con la cuenca Usumacinta; en el este en la Laguna de Términos y finalmente con el río Grijalva-Villahermosa al sur y oeste, lo cual permite que existan 110 cuerpos de agua dulce cubriendo una superficie de 3,665 ha distribuidos en su mayoría en el centro sur del

polígono concentrando el 84% de las lagunas, y siendo los humedales palustres los más abundantes del sitio abarcando un 44.4% de la superficie del polígono del área natural (Barba Macías *et al.*, 2016; Barba Macías *et al.*, 2014).

En términos de biodiversidad la RBPC cuenta con ecosistemas de selva baja y mediana subperennifolia, manglar, matorrales, palmares y mayormente por vegetación hidrófila, convirtiéndose en el hábitat del 25 % de la riqueza florística del estado (Guadarrama Oliviera & Jiménez-Pérez, 2019), y 546 especies de fauna siendo destacable su riqueza biológica de aves con 255 especies de aves (Barba-Macías *et al.*, 2015).

En cuanto a sus características socioeconómicas la RBPC cuenta una población de 24,536 habitantes distribuidos en 72 localidades (Comisión Nacional de Áreas Protegidas [CONANP], 2022). La mayoría de la población tiene como ocupación principal la pesca, la agricultura y la ganadería, aunque también cuentan con un grupo importante de locales dedicados a la atención del público en actividades ecoturísticas, y aunque escaso cuenta con la presencia de servicios básicos de hospedaje y alimentación.

Con base en las políticas e instrumentos ambientales de México, el 06 de agosto de 1992 fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el decreto de creación como Reserva de la Biósfera, por lo que a la fecha ya cuenta con 31 años siendo un área destinada a la conservación de carácter federal. Es reconocida como uno de los humedales más importantes de Mesoamérica, y se distingue internacionalmente desde el 22 de junio de 1995 como humedal Ramsar y nacionalmente desde 1999 como Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA).

A pesar de sus niveles de protección y conservación, los humedales de la región cuentan con diversas amenazas entre las que destacan los impactos antropogénicos que se relacionan con la presencia de carreteras pavimentadas, asentamientos humanos y canales (Ramos-Reyes *et al.*, 2021; Zamora Saud *et al.*, 2019).

2.4 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.

Los antecedentes de la valoración económica del servicio ecosistémico de control de inundaciones en humedales han contemplado estudios con enfoque de valoración económica total (VET) y de valoración individual del servicio ecosistémico. Los humedales costeros, incluyendo manglares, arrecifes de coral y llanuras de inundación, han sido el objeto de estudio más frecuente en la valoración económica, analizados desde las escalas global, regional y local. La mayoría de las veces, los métodos de valoración económica seleccionados para determinar el servicio ecosistémico de control de inundaciones utilizan la transferencia de beneficios y los costos de reemplazo, así como los daños evitados, y los costos de sustitución. (Mehvar *et al.*, 2018). No obstante, se ha enfatizado en la importancia de abordar estos estudios desde las escalas regionales y locales debido que la toma de decisiones y el ámbito de aplicación de las políticas se realiza a partir de estas escalas.

Recientemente un grupo de autores realizaron una revisión de la valoración económica de servicios ecosistémicos en humedales costeros, a partir del análisis de más de 30 casos de estudio y encontraron que los humedales palustres en Sri Lanka han evitado daños por un valor de \$5 millones USD/año (Mehvar *et al.*, 2018).

Menéndez *et al.* (2020), estimaron el valor económico de la protección contra inundaciones que proveen los manglares a nivel global, a partir de un desarrollo probabilístico combinando de modelos hidrodinámicos 2-D espacialmente explícitos y modelos económicos. Evaluaron dos escenarios (presencia y ausencia de manglares), para estimar los daños a las personas y a los bienes. Concluyeron que los manglares brindan beneficios de protección contra inundaciones que exceden los \$65 mil millones USD por año, afectando a 15 millones de personas. También identificaron que los países que reciben la mayor parte de los beneficios económicos de los manglares son Estados Unidos, China, India y México, mientras que Vietnam, India y Bangladesh reciben los mayores beneficios en cuanto a la protección de las personas. Con estos resultados demostraron el valor de los manglares como defensas naturales y su importancia en el fomento de incentivos para la conservación y restauración de manglares en el desarrollo, adaptación climática, y reducción del riesgo de desastres.

En México Camacho-Valdez *et al.* (2020), realizaron un estudio regional que abarcó la llanura de inundación del Usumacinta, en el sur del país, el cual tenía como finalidad valorar económicamente los servicios ecosistémicos de este gran humedal. Como parte de la VET, estimaron el precio del control de inundaciones de este ecosistema utilizando el método de valoración de transferencia de beneficios y métodos cartográficos para mapear y cuantificar la superficie donde se ofrece este servicio. Sus hallazgos mostraron que el valor de la regulación de inundaciones fue de \$6,677 USD/ha/año.

En un estudio regional desarrollado en la costa Veracruzana en México por Vázquez-González *et al.* (2019), se estimaron los costos evitados indirectos del servicio ecosistémico de control de inundación de los humedales. Para esto determinaron el cambio de coberturas/uso del suelo (CUS) y la pérdida de capacidad de retención de agua como una función de pérdida de humedales y estimaron el costo económico de las inundaciones para los hogares (electrodomésticos perdidos). Encontraron que los valores económicos de la prevención de inundaciones fueron: para pastizales inundados a \$148,277 USD/ha/2007, pantanos de hoja ancha de agua dulce a \$190,863 USD/ha/2007, y manglares en \$193,674 USD/ha/2007. Aseguran que esta información es de utilidad para los responsables de la planificación urbana, en la elaboración de políticas públicas en contextos regionales que consideren la función de protección brindada por los humedales costeros, debido a la importancia de los humedales costeros en la protección de los asentamientos humanos y la infraestructura.

Por otra parte, en la costa noreste de Estados Unidos se realizó un estudio local y regional de valoración del servicio ecosistémico de reducción de daños por inundación. Narayan, *et al.* (2017) seleccionaron como área de estudio la bahía de Barnegat en el condado de Ocean, Nueva Jersey, y emplearon los datos sobre los daños regionales ocasionados en la propiedad por el huracán Sandy y las tormentas locales. Para este análisis, utilizaron el modelo de alta resolución de inundaciones del Instituto Hidráulico Danés (Mike-21) para cuantificar los impactos de los humedales costeros. Los resultados regionales muestran que los humedales evitaron daños directos por inundaciones por un monto de \$625 millones USD, mientras que a nivel local se estima una reducción promedio del 16% en las pérdidas anuales por inundaciones en marismas con mayores reducciones en elevaciones más bajas.

De igual manera, en Estados Unidos Watson *et al.* (2016), cuantificaron el valor económico de la mitigación de inundaciones por las llanuras de inundación y los humedales de Otter Creek a Middlebury, Vermont. Para esto, los autores emplearon hidrogramas para escenarios con y sin mitigación de inundaciones por humedales aguas arriba y abajo. Además, mapearon las extensiones de inundación para cada escenario y calcularon los daños monetarios a las estructuras inundadas. Concluyeron que el valor anual de los servicios de mitigación de inundaciones del área de estudio excede los \$126,000 USD y puede ser tan alto como \$450,000 USD. Consideran que estos valores aportan información importante para conservar los humedales y contemplarlos en las decisiones de uso de la tierra, y destacan su papel en el desarrollo de la resiliencia al cambio climático.

Por otro lado, un meta-análisis de valoración económica de los servicios de regulación de los humedales en paisajes agrícolas desarrollado por Brander *et al.* (2013), descubrió que los valores medios para el control de inundaciones eran de \$6,923 USD/ha/año, y los medianos eran de \$427 USD/ha/año. Indican que las variaciones en los montos de los servicios de regulación se deben entre otras cosas a las diferencias en el tipo de humedal, tamaño, escasez o abundancia de otros humedales en el paisaje circundante, y las características socioeconómicas de los beneficiarios de estos servicios. No obstante, estos datos se pueden utilizar para estimar mediante transferencia de beneficios el valor de los servicios de regulación.

Pinke *et al.* (2018), seleccionaron la llanura aluvial de Hungría, en el sureste de Europa, para calcular y comparar el valor monetario de los principales servicios de los ecosistemas de humedales, la rentabilidad del uso de la tierra y los costos adicionales del sistema productor de granos en tierras en riesgo de inundación de aguas subterráneas en la llanura húngara. Descubrieron que la capacidad del reservorio de los humedales restaurados con una profundidad de agua ecológicamente óptima de 0.5 m podría reemplazar \$2,150 € ha⁻¹ costo de inversión en protección contra inundaciones utilizando los costos de reemplazo. Concluyeron que los huertos y la silvicultura generan una rentabilidad mucho mayor en los antiguos humedales que el cultivo en tierras de cultivo, por lo que combinados proporcionan mayores beneficios para los usuarios y los tomadores de decisiones interesados en el control de inundaciones, la mitigación del cambio climático y la protección ambiental.

En Indonesia Harini *et al.* (2019), desarrollaron un estudio local de valoración económica y ecológica de los manglares de Kulon Progo Regency, a través del método contingente bajo el enfoque de valoración económica total (VET). Los resultados reflejaron que el VET del manglar fue de \$1,773,561,240 IDR, de los cuales el 82% estaba en forma de valor de uso indirecto. El valor económico individual de la absorción de las olas se calculó en \$708,225,834 IDR/año, considerando la inversión en la construcción de terraplenes para evitar los daños. Estos autores concluyen que estos valores expresan la importancia de los beneficios intangibles de este ecosistema.

Otro estudio de caso elaborado por Zhang *et al.* (2017) estudian los valores económicos y los proveedores dominantes de servicios de ecosistemas de humedales en Beijing, China. Los resultados indican que las 51,434 ha de humedales en Beijing proporcionan anualmente 2.075 billones de m³ de regulación de inundaciones siendo los humedales de embalses y los humedales fluviales los contribuyentes dominantes en este servicio ecosistémico. Sus valores económicos fueron calculados en \$15.89 mil millones RMB. Ellos señalan que los humedales urbanos merecen más atención debido a la densidad de personas y su alto valor económico.

Jiang *et al.* (2017) realizaron un estudio de valoración en el lago de agua dulce Baiyangdian más grande del norte de China. Estimaron los valores económicos de los servicios ecosistémicos mediante los métodos de precio de mercado, el costo de reemplazo, el costo de viaje individual y la valoración contingente (tarjeta de pago), encontrando que el precio del control de inundaciones fue de 14.97×10^8 CNY/año representando el 42.11% del valor total del ecosistema.

Liang *et al.* (2016) evaluaron el beneficio ecológico y la pérdida del embalse de Xiaolangdi, en China, derivado de su aprovechamiento para proyectos hidroeléctricos. De manera particular, el beneficio de control de inundaciones fue estimado a través de los costos de oportunidad. Identificaron que este humedal tiene una capacidad total de 12.650 millones de m³, en la cual, 4.050 millones de m³ se ocupan de la regulación de inundaciones y el área de tierra cultivada protegida por cada unidad de capacidad era de 0.001138 mu/m³, determinando que el valor de este beneficio fue de \$5,102.6617 millones de CNY.

Li & Dong (2015) estimaron el valor económico total del humedal de meseta Napahai en el área montañosa de Hengduan, China. Dentro de este estudio, se valoró el servicio ecosistémico de control de inundaciones basados en un mercado sustituto, que estima el valor de un servicio del ecosistema basado en el precio sombra. Los resultados mostraron que el valor monetario total, para todos los servicios del ecosistema en el humedal fue de \$237,96 millones de CNY para el año 2008, de los cuales la regulación de las inundaciones representó 7.2%.

Otro estudio de caso aplicado a nivel regional en el humedal en la Reserva Natural Nacional ubicada en la cuenca del río Heihe, en China, calcularon el VET utilizando algunos métodos matemáticos y económicos, como el método de valor de mercado, el método de ingeniería en la sombra, el método del impuesto al carbono, el método ecológico y el método de costo de viaje. Como parte de la VET, los servicios de ajuste de inundación fueron estimados en \$1,086 millones de CNY, equivalente a casi una tercera parte del VET del ecosistema. (\$3,289 millones de CNY/año) (Kong & Zhang, 2015).

Mehvar *et al.* (2019) ilustraron los efectos del cambio climático como impulsor de la pérdida de valor de los humedales mediante un caso de estudio en la zona costera de Bangladesh clasificada como vulnerable. Obtuvieron el valor económico de las pérdidas potenciales debido a la inundación inducida por el aumento relativo del nivel del mar (RSLR), estudiados bajo un enfoque basado en escenarios de cambio climático, combinando los impactos físicos y métodos de valoración económica. En todos los escenarios, RSLR generará una pérdida en el VET, como la provisión de materias primas y la provisión de alimentos, que van desde \$0 a \$1 millón USD y de \$16.5 a \$20 millones USD, respectivamente.

En África, la valoración económica del servicio de regulación de inundaciones por daños y pérdidas fue estimado como parte de un caso de análisis costo beneficio, utilizando la VET para manglares en el Delta del Tana en Kenya. Los autores Karanja, & Saito (2018) encontraron que el valor neto de los manglares para la reducción de inundaciones oscilaba entre \$238 USD/ha/año y \$311 USD/ha/año.

Finalmente, en Uganda Kakuru *et al.* (2013) calcularon el VET de los productos y servicios en tres zonas de humedales, empleando diversos métodos de valoración entre los que se

encuentran los precios de mercado, productividad y valoración contingente. Como parte de esta valoración los servicios ecosistémicos de control de inundaciones fueron estimados en \$1,702,934,880 USD/ha/año⁻¹.

2.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

La presente investigación estableció como objetivo general determinar el valor económico ambiental del servicio ecosistémico de control de inundaciones en los humedales de la RBPC, basando su justificación a través de tres aspectos fundamentales: a) el interés, b) la novedad y c) la utilidad que motivaron el desarrollo de este proyecto, los cuales son expuestos a continuación.

Interés. Los humedales ayudan a regular los eventos extremos relacionados con el clima y el agua como son las inundaciones, los tsunamis, los huracanes, los ciclones tropicales y las sequías, por lo que funcionan como sistemas naturales de protección ante desastres naturales. De manera particular los humedales palustres, lacustres, ribereños y las llanuras de inundación tienen la capacidad de absorber y almacenar los excesos de agua mitigando los efectos de las inundaciones en las zonas aledañas. Así también, el cambio climático ha incrementado la frecuencia y magnitud de las inundaciones a nivel mundial (Convención de Ramsar sobre los Humedales, 2016).

En este sentido, en la Región de América Latina y el Caribe el desastre natural más común son las inundaciones, dejando consecuencias sociales y económicas graves en los últimos 20 años. Se estima que se han registrado alrededor de 548 inundaciones, dejando un total de 53 millones de personas afectadas y pérdidas económicas del orden de mil millones de USD, tan solo en esta región (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2020).

En México, el estado de Tabasco cuenta con una extensa red de humedales que conforman el 27.73% de la superficie estatal, siendo los más abundantes los palustres, entre los que se encuentra la RBPC (Barba-Macías *et al.*, 2006). Además, es uno de territorios más propensos a inundaciones, debido a los efectos del cambio climático por eventos extraordinarios de precipitación (Gama *et al.*, 2019a, p.81). La inundación más grande de las últimas décadas fue registrada en octubre de 2007 ya que aproximadamente el 62% del territorio sufrió

inundaciones y un 75% de la población damnificada. Los daños y pérdidas de este desastre fueron calculados por más de tres billones de USD, siendo el sector productivo (comercio, industrial y servicios) el más afectado (31.77%), seguido de la agricultura (26.85%) y el medio ambiente (0.49%) (Perevochtchikova y Lezama, 2010).

No obstante, entre octubre y noviembre de 2020, la combinación de eventos climáticos de tres frentes fríos provocaron una gran inundación que afectó a los 17 municipios del Estado, causando impactos socioeconómicos con un costo de 13,580.5 millones de pesos corrientes (792.93 millones de USD), representando una magnitud equivalente al 2.6 % del PIB de Tabasco en 2020. De este monto el 79.5 % corresponde a daños, mientras que 20.5 % a pérdidas generadas por el desastre, con 200,400 viviendas con algún nivel de daño y cobrando la vida de diez personas (Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana, 2021).

La RBPC es un área natural que a pesar de sus niveles de protección y conservación recibe impactos debidos a las actividades humanas como son como la explotación de recursos naturales, especies invasoras, interrupción o alteración de los flujos de los ríos y ocasionales derrames petroleros, además de alteraciones como sequías o lluvias torrenciales que provocan inundaciones (Gama *et al.*, 2019b, p.86). Esta alteración a las coberturas naturales en combinación de los eventos extremos de inundación impacta negativamente a su población, a su economía y a los paisajes que la componen.

Una de las estrategias gubernamentales para proteger el territorio y evitar pérdidas y daños a la población debido a estos desastres naturales ha conllevado a formular y desarrollar sistemas estructurales de contención, e integrar estrategias de gestión del riesgo, en las cuales no se han contemplado transversalmente como acciones adicionales o primordiales la conservación de los humedales como parte de la estrategia, ni como elemento fundamental para mitigar los efectos de los desastres naturales. En este sentido, la carencia de información sobre el valor de los servicios ecosistémicos de control de inundaciones de los humedales desde el enfoque económico-ambiental limita la toma de decisiones y la incorporación de estrategias holísticas en la prevención de desastres.

Es por esto, que la presente investigación representa un aporte sobre la valoración económica ambiental del servicio ecosistémico del control de inundaciones de los humedales de la

RBPC, con la finalidad de generar información que apoye las estrategias y toma de decisiones para su conservación y como parte de la gestión del riesgo, al contemplar estos beneficios de la protección a las viviendas, a los cultivos, e incluso a las vidas humanas.

Novedad. La RBPC es el área natural más estudiada a nivel estatal, debido la importancia de su biodiversidad, a las actividades económicas que ahí se desarrollan, a las comunidades que la habitan, y a su alta fragilidad ambiental. La generación de conocimiento básico ha sido muy abundante, lo cual permite tener una línea base de información robusta, aunque específica y desarticulada debido a los enfoques y las ciencias desde la cual ha sido observada. Esta investigación representa un aporte al estudio de los humedales y el control de inundaciones en Tabasco, ya que, al ser una problemática compleja, su análisis fue abordado a partir de la ciencia de la sostenibilidad, tratando de conjugar los aspectos sociales, ambientales y económicos de un contexto local desde una perspectiva integral y holística.

Es importante mencionar que a la fecha existen dos estudios de valoración económica total y percepción social en Tabasco, uno para las zonas con influencia petrolera particularmente de la región de la Chontalpa (Vázquez Navarrete *et al.*, 2011) y otro en la región de la Llanura de inundación el Usumacinta que abarca parte de los estados de Campeche, Tabasco y Chiapas (Camacho-Valdez, *et al.*, 2020). Estos trabajos utilizaron diferentes escalas espacio-temporales, y basaron sus estimaciones en el método de transferencia de beneficios contemplando varios servicios ecosistémicos, entre estos el control de inundaciones, por lo que constituyen importantes aportes en la valoración de estos sistemas naturales. En cambio, con este estudio se concentraron nuestros esfuerzos en valorar el servicio ecosistémico de control de inundaciones debido a la importancia que representa en el tema de gestión del riesgo de desastres naturales en el Estado y el fortalecimiento de las estrategias de conservación de los humedales de un ANP tan importante como es la RBPC.

No obstante, el control de inundaciones es uno de los servicios ecosistémicos que ha sido estudiado con mayor frecuencia a través de diferentes métodos como son: la simulación de escenarios de cambio climático y de daños a través de histogramas, así como costos de reemplazo utilizando costos de construcción de reservorios como base del análisis económico (Vidal Sierra *et al.*, 2021). Sin embargo, a pesar de que los costos evitados son un método de

valoración basado en los daños ha sido escasamente implementado para eventos de desastres naturales como son las inundaciones debido a la complejidad metodológica por los altos costos y las dificultades técnicas que implica la recolección de datos de la estimación económica de los daños y la cuantificación del servicio ecosistémico de retención de agua que proveen los suelos de los humedales.

En este recorrido de búsqueda de los métodos más adecuados para cuantificar y estimar los daños debido a las inundaciones, se seleccionó la metodología de Vázquez-González *et al.* (2019) la cual aplicó el método de costos evitados para estimar el valor de mitigación de los daños que los humedales proveían en un área que fue transformada hacia usos urbanos en Veracruz debido a los efectos de la inundación provocada por un huracán. Para esto emplearon un análisis de cambio de coberturas y usos del suelo para cuantificar la pérdida de la retención de agua en humedales y una encuesta que les permitió recolectar los datos de los daños materiales a través de información sobre los objetos perdidos y sus precios.

Con base en lo anterior, la novedad metodológica al seleccionar el enfoque de costos evitados nos permitió adaptar el método empleado por Vázquez-González *et al.* (2019) en localidades rurales ($\leq 2,500$ habitantes) con viviendas particulares habitadas dentro del polígono de la RBPC que fueron afectadas por el evento de inundación de octubre y noviembre de 2020, y para lo cual en el análisis de cambio de coberturas / usos del suelo y las transformaciones por pérdidas del humedal hacia asentamientos humanos el tamaño de muestra que se utilizó se basó en el concepto hidrológico de microcuencas¹ para delimitar y seleccionar las localidades rurales vulnerables a sufrir daños por inundaciones y con porcentajes diferentes de crecimiento de asentamientos humanos dentro del polígono de estudio lo cual tuvo un impacto en la función de los servicios ecosistémicos de control de inundaciones en los humedales de la RBPC.

¹ Las cuencas hidrográficas son espacios territoriales delimitados por un parteaguas o puntos de máxima elevación, donde confluyen todos los escurrimientos que desembocan en un punto común llamado punto de salida de la cuenca. Esta definición permite analizar el ciclo hidrológico y los impactos de las actividades antropogénicas de un territorio. La cuenca esta conformada por subcuencas que a su vez se dividen en microcuencas. Se considera que una cuenca abarca un territorio mayor a 50,000 hectáreas, mientras que una subcuenca, entre 5,000 y 50,00, y una microcuenca menos de 5,000 hectáreas, sin embargo estas superficies pueden variar dependiendo los objetivos de estudio. (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [IMTA], 2019)

Por otra parte, los instrumentos y técnicas de recolección de datos económicos sobre los daños y pérdidas de muebles y electrodomésticos, fueron diferentes a los utilizados en otros estudios debido al uso de fuentes de información secundaria previamente publicada por fuentes oficiales como el Censo de damnificados por la inundación del año 2020 presentado por la Secretaría de Bienestar del gobierno federal, así como los Censos de Población y Vivienda emitidos por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] para los años 2010 y 2020, de donde se extrajo la información para estimar la cantidad y precios de muebles y electrodomésticos que sufrieron daños en las localidades la cual se recolectó y analizó a través de bases de datos.

Además el análisis de retención de suelos tuvo un importante aporte metodológico ya que se realizaron muestreos intencionales, pero se diseñó un método aleatorio de recolección de suelos a través de la técnica del cilindro metálico lo cual resultó factible en términos de costos económicos obteniendo el mismo resultado que otros autores para el cálculo de estos datos. Además, esta técnica fue adaptada en la etapa de laboratorio alargando la fase de humectación de las muestras de suelo durante un periodo de una semana lo que nos permitió simular los eventos de inundación prolongados que generalmente ocurren en el área de estudio con la intención de acercarnos lo más posible a la realidad durante el evento de inundación de octubre y noviembre de 2020.

Por lo tanto, la novedad de esta investigación es el análisis de la problemática local, desde el enfoque del desarrollo sostenible, y la implementación del método de valoración económica ambiental de costos evitados que hasta ahora ha sido escasamente implementado, debido al desafío que representa la obtención de la información para su desarrollo.

Por último, es importante destacar que los aportes metodológicos realizados permitieron generar información objetiva para el conocimiento del servicio ecosistémico de regulación de inundaciones mediante el análisis de la capacidad de retención de agua en los suelos de la RBPC consistente en datos cuantitativos de primera fuente que fueron más allá de lo estimado hasta el momento por otros autores de manera indirecta, quedando como precedente para su consideración en estudios posteriores. Esto permitió generar información valiosa a partir de los datos de fuentes oficiales que ha sido publicada y se encuentra disponible de manera

gratuita incrementando su valor al transformarlos en insumos que permita tomar decisiones articuladas sobre la gestión de riesgos y del territorio de la RBPC.

Utilidad. La información generada a partir del presente estudio representa un aporte para fortalecer las estrategias de conservación de los humedales frente a los proyectos de desarrollo en Tabasco, al demostrar que los sistemas naturales son elementos eficaces en la mitigación de las inundaciones, o que pueden traer beneficios adicionales a las estrategias ya implementadas, aportando así a la construcción de ciudades y sociedades resilientes. Este enfoque permitirá a los tomadores de decisiones observar la necesidad de incorporar la transversalidad de la sostenibilidad en la elaboración de políticas públicas locales, en los que propenda el mismo nivel de protección para los humedales tanto desde el ámbito medioambiental, como desde otros sectores públicos que apoyan el desarrollo de actividades que afectan y subvaloran los beneficios de estos ecosistemas. Así también, se visibilizaron los servicios ecosistémicos de regulación de los humedales naturales que no son tan evidentes, pero que son aún más importantes para mantener la calidad de vida tanto sus habitantes y de las mismas actividades económicas, al usarlos de manera indirecta para protegerse de las inundaciones.

Los principios aplicados en esta investigación sobre la valoración económica ambiental, en específico lo referente al método de costos evitados, representa una utilidad teórico y conceptual para las autoridades de la ANP y las instituciones públicas en la elaboración de programas de vigilancia de la transformación de los humedales por efectos antrópicos y la conservación de los suelos de los humedales cercanos a las localidades con mayor tendencia hacia el crecimiento de los asentamientos humanos, principalmente las establecidas en áreas de fácil acceso como son las localizadas al margen de los caminos. Del mismo modo se podrá utilizar en el diseño de indicadores de sostenibilidad encaminados a la medición y control de la pérdida de los servicios ecosistémicos de los humedales y su impacto en el bienestar económico y social de las localidades. Por otra parte, ayudará al diseño de planes y programas de entrenamiento en atención de desastres y priorización de evacuación de las comunidades rurales con una mayor vulnerabilidad a sufrir los efectos de los eventos de inundación en el área de estudio, y a modelar escenarios de gasto público en emergencias por inundaciones con y sin deterioro de los servicios ecosistémicos de los humedales en el área natural.

La utilidad metodológica de la información generada en esta investigación cuenta con una alta repetibilidad en eventos de inundación posteriores y podrá ayudar a modelar y predecir los costos económicos y sociales que tendrían un impacto en el gasto público, y con ello apoyar las acciones encaminadas a frenar el impacto de los asentamientos humanos en esta zona.

2.6 OBJETIVOS.

2.6.1 OBJETIVO GENERAL.

- Analizar el valor económico ambiental del servicio ecosistémico de control de inundaciones en los humedales de la RBPC.

2.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Analizar el cambio de coberturas/uso del suelo (CUS) de humedales y su efecto en la transición de coberturas naturales de humedales por asentamientos humanos de la RBPC.
- Determinar el impacto de los asentamientos humanos en la pérdida de retención de agua en los humedales de la RBPC.
- Calcular los costos de prevención de inundaciones y la proporción que representa el valor de los costos evitados indirectos del servicio ecosistémico de control de inundaciones en los humedales de la RBPC.

2.7 SUPUESTOS INVESTIGATIVOS Y MATRIZ DE VARIABLES.

2.7.1 SUPUESTOS INVESTIGATIVOS.

- A mayor cambio de coberturas/uso del suelo (CUS) de humedales, aumenta su efecto en la transición de coberturas naturales de humedales por asentamientos humanos de la RBPC.

- A mayor impacto de los asentamientos humanos, mayor pérdida de retención de agua en el suelo de humedales de los humedales de la RBPC.
- Los costos de prevención de inundaciones disminuirán a medida que aumente el valor por costos evitados indirectos del servicio ecosistémico de control de inundaciones en los humedales de la RBPC.

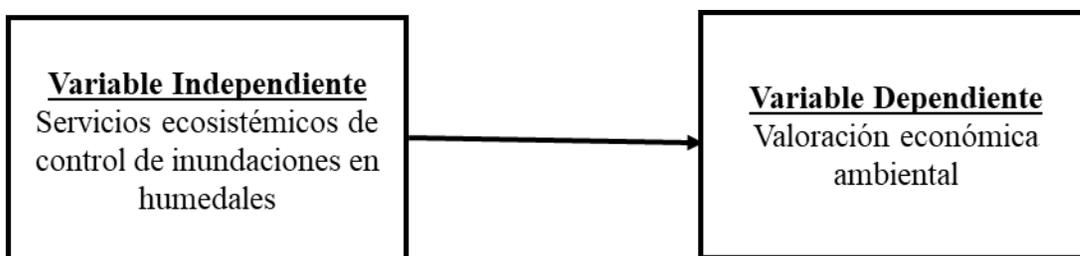


Figura 2. Variables de la investigación.

2.7.2 MATRIZ DE VARIABLES.

En la Tabla 1 se muestran las variables que fueron relacionadas en este estudio, así como sus descriptores y dimensión que abarca la delimitación del tema, indicando para cada caso los indicadores que se utilizaron para analizar sus relaciones.

Tabla 1. Matriz de variables y dimensiones de la investigación.

Variab les	Descriptores / Dimensiones	Constructos / Indicadores	Unidades/ Magnitud
Variable independiente: Servicios ecosistémicos de control de inundaciones	Cambio de coberturas/uso del suelo (CUS) de humedales	Pérdidas, persistencia y ganancia de coberturas/uso del suelo	ha ⁻¹
	Impacto por asentamientos humanos	Cambio de coberturas/uso del suelo (CUS) de humedales por asentamientos humanos	ha ⁻¹
	Costos de prevención de inundaciones	Costos de inversión en sistemas estructurales	pesos MXN
		Costos de gestión del riesgo	pesos MXN

VARIABLES	DESCRPTORES / DIMENSIONES	CONSTRUCTOS / INDICADORES	UNIDADES/ MAGNITUD
		Costos de inversión en conservación de humedales	pesos MXN
	Transición de coberturas naturales de humedales por asentamientos humanos	Superficie de humedales naturales transformada a asentamientos humanos	ha
	Pérdida de retención de agua en el suelo de humedales	Retención de agua en el suelo Pérdidas y ganancias de superficie de humedales por asentamientos humanos	m ³ /ha ⁻¹ ha ⁻¹
Variable dependiente: Valoración económica ambiental		Localidades rurales con viviendas particulares habitadas damnificadas en 2020	Número de viviendas particulares afectados
		Tipo y cantidad de artículos perdidos y dañados	Número de electrodomésticos y muebles por cada tipo
	Valor por costos evitados indirectos	Tiempo de uso de electrodomésticos perdidos y dañados	Años
		Precios promedio por tipo de electrodomésticos y muebles perdidos o dañados	pesos MXN
		Costos económicos totales de las inundaciones por tipo de humedal	pesos MXN/ha
	Valor de retención del agua en el suelo del humedal * Cantidad de agua retenida en el suelo por tipo de humedal	pesos MXN/ha/año ⁻¹ USD/ha/año ⁻¹	

III. FUNDAMENTACION TEÓRICA.

3.1 HUMEDALES.

En el mundo existen una variedad de definiciones de los humedales, propuestas por instituciones nacionales, internacionales, autores, utilizando combinaciones diferentes de sus atributos. Estos atributos han permitido definir los criterios de su clasificación e identificar los servicios ecosistémicos que proveen. Con base en lo anterior, y para contextualizar y enmarcar la temática sobre los humedales, a continuación, presentamos los fundamentos teóricos sobre estos ecosistemas.

3.1.1 DEFINICIÓN.

El concepto de humedal ha sido definido desde los enfoques legal, instrumental e institucional para determinar los atributos de este ecosistema que contribuyan a cumplir objetivos específicos y aplicaciones particulares. No obstante, todos coinciden en que la presencia de agua es la característica principal de los humedales. Con base en la definición de la Real Academia Española (RAE), la palabra “humedal” se refiere a un “Terreno de aguas superficiales o subterráneas de poca profundidad” (RAE, 2020).

Por otro lado, dentro del ámbito de los instrumentos de política ambiental mexicana, en la Ley de Aguas Nacionales, específicamente en el Título Primero, Artículo 3 Capítulo Uno, Fracción 30, se establece un concepto de humedales, considerándolos como:

Las zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénagas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas en donde el suelo es predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos por la descarga natural de acuíferos. (Ley de Aguas Nacionales, 2020, p.5)

Para la integración del Inventario Nacional de Humedales (INH) de México, el concepto de humedal es definido más ampliamente, y adoptando los conceptos proporcionados por la Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONANP) y la Ley de Aguas Nacionales:

Terreno sometido a una descarga difusa de agua subterránea sin que se manifieste forzosamente un flujo copioso de agua, aunque suele ser inundable y estar generalmente cubierto de vegetación freatofítica, tipo juncal. En sentido más amplio se utiliza hoy como un término culto para traducir la expresión inglesa *wetland*, ya que la forma “zona húmeda”, anteriormente empleada, es incorrecta y ambigua, pues se presta a confusión justificada con las áreas que meramente reciben más precipitación. Son áreas de suelos predominantemente hídricos que pueden mantener una presencia de plantas hidrófilas, conocidas como vegetación hidrofítica. Terrenos de transición entre sistemas terrestres y acuáticos son humedales tipificados por un nivel freático en o cerca de la superficie, o bien el terreno está cubierto por agua somera al menos parte del año. (INH, 2012, p.79)

En otros países como Estados Unidos, los humedales son definidos como “terrenos de transición entre sistemas acuáticos y terrestres donde usualmente el nivel freático está en o cerca de la superficie, o el terreno está cubierto por aguas someras” (Berlanga-Robles *et al.*, 2008, p.27).

En la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM, mejor conocido como MEA por sus siglas en inglés) publicada en el 2005, los humedales son descritos como:

El complejo de comunidades vivas (incluidas las comunidades humanas) y del medio ambiente no vivo (componentes de los ecosistemas) que interactúan (a través de procesos ecológicos) como una unidad funcional que proporciona, entre otras cosas, una variedad de beneficios a los seres humanos (servicios de los ecosistemas). (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2006, p.10)

Aun cuando cada uno de estos conceptos ha sido adoptado de manera particular para integrar sistemas de clasificación, a partir de principios de la década de los 70's el establecimiento de la Convención sobre los Humedales o Convención RAMSAR, marcó un hito en la historia de los humedales, siendo reconocida como la máxima autoridad en la materia a nivel mundial, la cual los describe como:

“...zonas donde el agua es el principal factor controlador del medio y la vida vegetal y animal asociada a él. Los humedales se dan donde la capa freática se halla en la superficie terrestre o cerca de ella o donde la tierra está cubierta por aguas poco profundas...las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”. (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2006, p.7)

Actualmente, este es el concepto más ampliamente aceptado y utilizado en las investigaciones sobre los humedales. Debido a lo anterior, adoptar la conceptualización de Ramsar contribuye en el ámbito científico, para que las investigaciones realizadas sobre estos ecosistemas puedan ser más fácilmente comparables entre sí. Es por esto que en esta investigación nos referimos a humedal apeándonos a la descripción propuesta por Ramsar.

3.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS HUMEDALES.

Los sistemas de clasificación de los humedales permiten organizar, caracterizar y establecer los límites y fronteras del ecosistema, con base en un conjunto de criterios compuestos por diferentes atributos o elementos que ayudan a diferenciarlos de otros ecosistemas. En este sentido, los criterios más comúnmente utilizados en la clasificación de humedales son: a) la hidrología, b) la edafología, c) los tipos de vegetación, y d) la localización.

En el mundo se sabe que existen alrededor de 18 sistemas de clasificación de los humedales, entre los que destacan el sistema de Clasificación de humedales y hábitat de aguas profundas de los Estados Unidos, elaborado por Cowardin *et. al.* en 1979; la Clasificación geomorfológica de Semeniuk y Semeniuk (1995); y el último, y más relevante de todos debido uso e importancia, es el Sistema de clasificación de tipos de humedales de la Convención de Ramsar (Berlanga-Robles *et al.*, 2008).

El sistema de clasificación de Ramsar se basa en criterios hidrológicos, ecológicos y en algunos casos del nivel de salinidad en el sistema. Acorde con su clasificación, existen tres grandes grupos de humedales: a) los marinos y costeros, b) los humedales continentales y c)

los humedales artificiales. Entre los humedales marinos y costeros se incluyen todo el litoral, manglares, marismas de agua salada, estuarios, albuferas o lagunas litorales, praderas de pastos marinos y arrecifes de coral. Los humedales continentales comprenden los acuíferos, lagos, ríos, arroyos, marismas, turberas, lagunas, llanuras de inundación y pantanos. Los humedales artificiales pueden ser estanques de cría de peces y camarones, estanques de granjas, tierras agrícolas de regadío, depresiones inundadas salinas, embalses, estanques de grava, piletas de aguas residuales y canales. Estas grandes agrupaciones de humedales comprenden a 42 tipos de humedales, pero de manera general se reconocen cinco tipos como los más importantes (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2006), estos son:

- marinos (humedales costeros, inclusive lagunas costeras, costas rocosas y arrecifes de coral);
- estuarinos (incluidos deltas, marismas de marea y manglares);
- lacustres (humedales asociados con lagos);
- ribereños (humedales adyacentes a ríos y arroyos); y
- palustres (es decir, “pantanosos” - marismas, pantanos y ciénagas).

Es importante mencionar, que los criterios de clasificación de Ramsar se han adecuado con el tiempo, por lo que se han incluido otros criterios de índole ecológico para clasificar a los humedales.

En Tabasco, existe un estudio de Clasificación de los Humedales del Estado con base en los criterios de Ramsar, en el cual, a través de la herramienta de Sistemas de Información Geográfica (SIG), y utilizando datos almacenados en capas temáticas sobre la hidrología, la edafología y el tipo de vegetación, fue posible delimitar y cuantificar la extensión de estos humedales.

Es importante señalar que para los efectos de esta investigación se utilizaron los criterios propuestos por Ramsar para la clasificación de los humedales en la RBPC.

3.1.3 SERVICIOS ECOSISTÉMICOS QUE PROPORCIONAN LOS HUMEDALES.

Los servicios ecosistémicos es un concepto inspirado desde las ideas platónicas sobre la capacidad de los ecosistemas para producir recursos suficientes para una población en crecimiento. Este concepto ha evolucionado con el tiempo, pero surgió formalmente a finales de 1980 y vincula los elementos de los sistemas naturales y los sistemas socioeconómicos, a fin de comprender cómo los procesos biofísicos del ecosistema impactan en el bienestar humano (Brauman *et al.*, 2007). La definición actualmente aceptada surgió en 2005, producto del esfuerzo de más de 1,300 investigadores que realizaron una evaluación global sobre cómo las variaciones en el estado de los ecosistemas afectan el bienestar humano. Este trabajo es conocido como Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM), y define a los servicios ecosistémicos como: “Los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas” (Ecosistemas del Milenio [EM], (2005), p.v).

Con base en esta definición se han categorizado cuatro tipos de servicios ecosistémicos que son proporcionados por los ecosistemas (incluidos los humedales), estos son: a) servicios de aprovisionamiento, b) servicios de regulación, c) servicios de apoyo y d) servicios culturales. Los servicios de aprovisionamiento se consideran esenciales para el bienestar humano ya que proporcionan alimentos, agua dulce, combustibles, fibras, bioquímicos y material genético, impactando en la economía familiar. Los servicios de regulación y apoyo son fundamentales para mantener la función ecológica de estos ecosistemas, ya que los primeros regulan el clima, los flujos hidrológicos, la erosión, los desastres naturales, la polinización, y enfermedades, mientras que los segundos ayudan a la formación de los suelos y a los ciclos de nutrientes; estos tienen como objetivo proporcionar un mundo en el que biofísicamente hablando sea posible vivir. Los servicios culturales crean un mundo en el que la gente quiera vivir, esto se refiere a los beneficios estéticos, educacionales, culturales y espirituales, y las oportunidades para el desarrollo de las actividades turísticas y recreacionales (EM, 2005).

Bajo este contexto, la Convención Ramsar, elaboró diez fichas técnicas soportadas en diferentes fuentes, en las que resume los principales beneficios que las personas obtienen de los humedales, puntualizando que no todos los tipos de humedales son capaces de otorgar

todos los beneficios a la vez, debido a su complejidad y dinámica (Florez Yepes, 2015). De manera general, de acuerdo con su categoría estos servicios ecosistémicos son:

- Servicios de aprovisionamiento: reposición de aguas subterráneas, productos de los humedales.
- Servicios de regulación: control de inundaciones, estabilización de costas y protección contra tormentas, mitigación y adaptación del cambio climático y depuración de aguas.
- Servicios de apoyo: reservorios de biodiversidad, retención y exportación de sedimentos y nutrientes.
- Servicios culturales: valores culturales, recreación y turismo.

3.1.4 SERVICIO ECOSISTÉMICO DE CONTROL DE INUNDACIONES.

La cantidad y calidad de los beneficios otorgados de los humedales depende directamente del stock o existencias y del flujo de energía que son capaces de transformar. Es por esto, que el control de inundaciones se considera dentro de la categoría del servicio ecosistémico de regulación por la mitigación de riesgos naturales, al regular la cantidad de flujo hidrológico superficial y subterráneo del humedal, mitigando el efecto del agua en un paisaje determinado ante un evento extremo de precipitación. Esta capacidad de regulación está determinada en función de varios aspectos ambientales como son la capacidad de infiltración del agua en el suelo, el tipo de suelo y el tipo de vegetación, debido a sus propiedades de almacenamiento de agua.

3.1.5 DESARROLLO SOSTENIBLE Y SERVICIO ECOSISTÉMICO DE CONTROL DE INUNDACIONES EN HUMEDALES.

El concepto de desarrollo sostenible articula el cuidado del medio ambiente, el bienestar social y el crecimiento económico de manera equilibrada. Desde esta perspectiva, los humedales son sistemas estratégicos para mejorar y mantener el bienestar de las personas, ya que son capaces de proporcionar múltiples servicios ecosistémicos, y, por lo tanto, esenciales en el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Esto originó que la Convención de Ramsar sobre los Humedales (2018) emitiera un informe donde relacionan los humedales

y su contribución al logro de los ODS, para ampliar las posibilidades de conservación, uso racional y la restauración de estos ecosistemas.

En este caso, bajo el enfoque de gestión del riesgo el servicio ecosistémico de control de inundaciones de los humedales requiere interacción entre asentamientos o actividades humanas (viviendas, carreteras, cultivos), y la ocurrencia de eventos extremos o del incremento del nivel del mar como efectos del cambio climático. En virtud de lo anterior, puntualizamos, que acorde con el informe de Ramsar, como el servicio ecosistémico de control de inundaciones contribuye de manera positiva al logro de los ODS 1, 8, 9, y 11.

Para el ODS 1, que implica poner fin a la pobreza en todas sus formas y en todo el mundo, los humedales ofrecen una fuente de agua limpia para el consumo humano y las actividades agropecuarias, sobre todo en épocas de sequía. En este sentido se ha demostrado que la restauración de humedales en las llanuras de inundación puede ayudar a restablecer el régimen de inundaciones, mejorando así el pastoreo, la producción agrícola y la pesca, impactando en el ingreso económico de las comunidades.

El ODS 8, tiene como finalidad promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos, y una de sus metas se encuentra relacionada con la desvinculación del crecimiento económico de la degradación ambiental. En este sentido los humedales contribuyen, entre otras cosas, como respuestas naturales ante el control de inundaciones evitando daños que de otro modo emplearían procesos y soluciones de ingeniería con altos costos de inversión y mantenimiento.

El ODS 9 se propone construir infraestructura resiliente, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación, para esto los humedales a través del servicio ecosistémico del control de inundaciones ofrecen una solución natural de bajo costo como medios de protección de infraestructura, frente a la incertidumbre y amenazas de eventos extremos relacionados con el clima, ayudando mitigar los impactos del agua y como estrategia de adaptación, aumentando la resiliencia en estos sitios. Así también, en las áreas urbanas se está considerando cada vez más el uso de sistemas de drenaje sostenibles que utilizan el paisaje como medio para controlar el flujo y volumen de agua originada por las precipitaciones.

Por otra parte, el ODS 11 busca lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, en este sentido los humedales los humedales actúan como cuencas de retención aguas arriba que evitan las inundaciones en las ciudades aguas abajo. De igual manera, muchas ciudades con una importancia económica alta se asientan frente las costas, y los humedales costeros como manglares y arrecifes de coral reducen la altura y la fuerza de las olas, disminuyendo las mareas de tempestad y absorbiendo parte del agua excedente. Estas ventajas naturales impulsan las acciones de adaptación y ayudan a lograr ciudades resilientes, abatiendo el costo económico de la atención de desastres y de la construcción de sistemas estructurales (Convención de Ramsar sobre los Humedales, 2018).

3.2 VALOR DE LOS HUMEDALES.

3.2.1 DEFINICIÓN.

Farber *et al.* (2002), señalan que la EM determinó que el valor es “la contribución de una acción u objeto a los fines, objetivos o condiciones especificados por los usuarios”. Otras contribuciones apuntan que el concepto de valor puede tener otras acepciones dependiendo de cómo se utilice, por ejemplo: el valor de cambio es el precio que se paga en un mercado por obtener un bien o servicio; el valor de utilidad es el valor de un bien o servicio dependiendo del uso que se le dé; y el valor de importancia, que se refiere a la apreciación o valor emocional que se le asignamos a un bien o servicio (De Groot *et al.*, 2007).

Así también, el concepto de valor ha tenido diversos significados dependiendo de la disciplina desde la que se aborde. Desde las ciencias económicas, se encarga de medir el cambio de valor o precio por mantener los atributos de un sistema. En la ecología, se trata de medir el valor de la importancia de mantener los atributos o funciones que afectan la salud y la capacidad de resistencia de los ecosistemas. Desde el enfoque social, se intenta medir el valor desde la asignación moral.

En su sentido más amplio “valor” se refiere a la “Cualidad de las cosas en virtud de la cual se da, por poseerlas, cierta suma de dinero o su equivalente” (RAE, 2020). Esta definición de “valor” es conocido como la aplicación utilitaria o de uso (antropocéntrica), que se basa en

el principio de satisfacción de las preferencias de los seres humanos (bienestar) (EM, 2003, p.15), y constituye el fundamento teórico general de la valoración económica.

A partir de esto, los humanos valoran los beneficios obtenidos de los humedales con base en el uso presente que le den y del uso que futuras generaciones puedan hacer de estos ecosistemas. Por lo tanto, los valores de los ecosistemas se pueden agrupar en tres: a) valores de uso y d) valores de no uso y d) valor de opción.

Los valores de uso son aquellos con los que se genera una interacción directa o indirecta con el ecosistema, por lo que se dividen en a) valores de uso directo y b) valores de uso indirecto. Los valores de uso directo pueden ser de tipo consuntivo y no consuntivo, ya que los primeros se refieren a los beneficios que se obtienen de extraer productos del ecosistema, mientras los segundos no se extrae el recurso, pero si se aprovecha. Estos valores de uso directo casi siempre son aprovechados por las personas que viven dentro del ecosistema, y generalmente se comercializan en un mercado transable. Entre los valores de uso directo podemos encontrar los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento y culturales que generan los humedales. Los valores de uso indirecto son aquellos beneficios que se reciben fuera del ecosistema pero que son generados desde adentro respaldados por este recurso. Son considerados como el medio de soporte del resto de los servicios de los humedales. Son beneficios intangibles, y que no cuentan con un mercado donde se comercialicen, por lo que su monetización resulta más complicada, también son conocidos como “bienes y servicios no comerciales” (Pasupalati *et al.*, 2017; EM, 2005). Los servicios ecosistémicos de regulación y apoyo de los ecosistemas se ubican dentro de esta categoría de usos indirectos de los humedales.

Los valores de no uso son aquellos que las personas consideran la existencia de un recurso en el presente o en el futuro, independientemente de si lo utilizarán o no, ya que la intención es saber que se mantiene disponible. Existen tres tipos de valores de no uso: a) el valor de existencia, b) el valor de legado y c) el valor altruista. El valor de existencia, a veces también denominado uso pasivo, se refiere al valor potencial que un individuo le da al recurso sin importar si real o planificadamente lo usará. En esta categoría, podemos ubicar los servicios ecosistémicos de apoyo, como son los reservorios de biodiversidad de especies en los

humedales. El valor de legado es aquel que los humanos de esta generación asignan a la existencia del recurso para los usos de generaciones futuras (elemento intergeneracional). Por otro lado, el valor altruista se refiere al valor que las personas asignan a la disponibilidad del recurso para el uso de otros individuos de la generación actual (Pasupalati *et al.*, 2017; EM, 2005).

El valor de opción es aquel que es “el valor que las personas otorgan al tener la opción de usar un bien o servicio del ecosistema en el futuro, incluso si actualmente no lo están utilizando. Estos usos futuros pueden ser en forma de usos directos o indirectos” (Pasupalati *et al.*, 2017, p.268).

3.2.2 VALORACIÓN ECONÓMICA AMBIENTAL.

Existen dos áreas de la economía que se articulan con las problemáticas medioambientales: la economía ambiental y la economía ecológica. La economía ambiental aborda estas problemáticas desde el enfoque llamado “Economía de los recursos”, bajo los preceptos teóricos de la economía neoclásica. Esta rama de la economía estudia la relación entre la asignación de recursos naturales, considerados como bienes públicos, que no cuentan con un mercado transable, a lo que se le denomina falla de mercado (Cristeche y Penna, 2008). Es por esto, que esta investigación se aborda desde el enfoque de la economía ambiental.

3.2.2.1 Definición.

Con base en la definición aportada por Azqueta (1994) “valorar económicamente el ambiente significa poder contar con un indicador de su importancia en el bienestar de la sociedad, que permita compararlo con otros componentes del mismo” (p.11).

Por otra parte, Barbier *et al.* (1997) en su guía de valoración económica de humedales elaborada para la Convención Ramsar, conceptualizaron a la valoración económica como “todo intento de asignar valores cuantitativos a los bienes y servicios proporcionados por recursos ambientales, independientemente de si existen o no precios de mercado que nos ayuden a hacerlo” (p.11).

Haro Martínez y Taddei Bringas (2010), encuentran que el nacimiento de la valoración económica ambiental es en el contexto de deterioro ambiental que exige un cambio de conductas humanas hacia los ecosistemas que contribuya a una toma de decisiones adecuada en el manejo y uso de los mismos. “Dado que en el sistema económico actual las decisiones se basan en valores monetarios, esta herramienta permite asignar valor a los servicios ambientales y, de esta manera, integrar el ambiente en la toma de decisiones” (p.210).

3.2.2.2 Enfoques y métodos de valoración económica ambiental.

La valoración económica, emplea un conjunto de métodos que permite estimar el valor monetario de los servicios ecosistémicos con base en los cambios que se producen en el bienestar social. Los enfoques a través de los cuales se determina el valor económico dependen de si se analizan los impactos o daños que generan en el bienestar, o de las variaciones en el flujo de energía de los ecosistemas que impactan en la satisfacción de las necesidades de las personas.

La valoración económica ambiental se basa en la medición de las preferencias de las personas, expresada por la disposición a pagar por mejorar la calidad o cantidad de los recursos naturales en pro de su bienestar, o por el contrario aceptar una compensación a cambio de recibir los impactos de estos. A partir de esta premisa es posible medir monetariamente los cambios en la calidad y cantidad ambiental a través de la observación directa o indirecta de las actitudes de las personas de tres maneras: a) precios de mercado; b) preferencias reveladas y c) preferencias declaradas Azqueta (1994).

Los métodos de valoración empleados son instrumentos que mediante la observación de datos antes mencionadas por lo que se dividen en:

- a) Métodos de precios de mercado: aquí se emplean los precios de los productos y servicios que cuentan con un mercado establecido para ofertarse y cuentan con una demanda definida.
- b) Métodos de preferencias reveladas o métodos indirectos: son aquellos que utilizan los datos de monetarios de un subconjunto de características que componen el precio de un producto o servicio en el que se incluye el dato de interés, intentando inferir la

valoración de las personas a través de la observación de su conducta en un mercado. Algunos ejemplos de estos son: precios hedónicos, los costos de viaje, la función de producción, y los costos evitados.

- c) Métodos de preferencia declarada: establecen un mercado hipotético para simular la oferta y utilizan como instrumento las entrevistas a partir de las cuales se obtiene la disposición a pagar por un bien o servicio, como medición de la demanda. Dentro de estos podemos mencionar a la valoración contingente y los experimentos de elección entre los más utilizados.

Con base la revisión realizada por Mehvar *et al.*, (2018) sobre el valor económico de los ecosistemas de humedales costeros, señalan que el valor de los servicios ecosistémicos puede determinarse en tres formas:

- a) Valor Económico Total (VET) que se refiere al valor de un servicio ecosistémico particular en toda el área cubierta por un ecosistema durante un período de tiempo definido; b) Valor promedio de un servicio del ecosistema por unidad, que es a menudo indicado para una unidad de área o tiempo; y c) Valor marginal que es el valor adicional ganado o perdido por un cambio incremental en una provisión de un servicio particular.

3.2.2.3 Método de valoración de costos evitados.

La base teórica de los costos evitados es que se estima el valor económico de un servicio ecosistémico con base en la protección que proveen a las vidas de las personas y a sus bienes, las infraestructuras, las zonas de producción agrícola, evitando los daños y las pérdidas derivados de desastres naturales.

Bajo el escenario de las inundaciones, y de acuerdo con Petersen (como se citó Vázquez-González *et al.*, 2019) los impactos de las inundaciones se pueden separar en: 1) daños directos, por ejemplo , daños que requieren el reemplazo o reparación de propiedad privada e infraestructura; 2) daños indirectos, es decir, el valor de la pérdida de negocios y servicios, salvaguardando la salud, demoras en el tráfico; 3) efectos secundarios, impactos adversos en las personas que dependen de la producción de bienes o servicios dañados; 4) efectos

intangibles, calidad ambiental, bienestar social (incluida la pérdida de vidas); y 5) efectos específicos representativos.

Este trabajo seleccionó el método de costos evitados indirectos para determinar el valor económico del control de inundaciones en los humedales de la RBPC, con base en la pérdida y daños a los electrodomésticos y muebles una comunidad urbana y una rural, que haya sido afectada por las inundaciones de octubre y noviembre de 2020 y que actualmente se encuentren dentro del área susceptible o vulnerable a inundaciones. Para esto seguiremos la metodología de Vázquez-González *et al.* (2019), modificada acorde con el contexto local.

IV. DISEÑO METODOLÓGICO.

4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.



Figura 3. Diseño metodológico de la investigación.

El diseño metodológico mostrado en la Figura 3 para el desarrollo de la presente investigación busca la relación entre variables que contribuyan a analizar el valor económico ambiental del servicio ecosistémico de control de inundaciones en los humedales de la RBPC.

Con base en los elementos de metodología de la investigación propuestos por Hernández *et al.* (2014), el alcance de la investigación es correlacional – causal, y se utilizaron tanto métodos cualitativos como cuantitativos, con predominancia a lo cuantitativo por lo que el enfoque de la investigación se considera mixto. Se establecieron los criterios específicos para la selección de muestras no probabilísticas de las localidades rurales del municipio de Centla afectadas por las inundaciones de octubre y noviembre de 2020 en Tabasco, y para la ejecución del muestreo de suelos dirigido para la obtención de los datos de almacenamiento o retención de agua. Por otra parte, no se realizó ninguna intervención en la muestra, y los datos fueron recolectados en un periodo de tiempo específico por lo que el tipo de diseño es no experimental - transeccional.

4.2 UNIDAD DE ANÁLISIS.

El área determinada como unidad de análisis de esta investigación son los humedales de la RBPC, en los que existan localidades de tipo rural (<2,500 habitantes) con viviendas particulares habitadas que hayan sido afectadas por el evento de inundación de octubre y noviembre de 2020.

4.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.

El tamaño de muestra para los análisis de cambio de cobertura natural/uso del suelo y de retención y almacenamiento de agua en los tipos de suelo corresponde a diez microcuencas con un área total de 64,014.16 ha seleccionadas acorde con criterios como son: presencia de localidades rurales ($\leq 2,500$ habitantes) del municipio de Centla incluidas en el censo de damnificadas por la inundación de octubre y noviembre de 2020, cercanía a cuerpos de agua y caminos de acceso, y que tengan algún porcentaje de aumento en el total de viviendas particulares habitadas.

Para el análisis económico se empleó un tamaño de muestra que corresponde a 32 localidades rurales ($\leq 2,500$ habitantes) del municipio de Centla afectadas por la inundación de 2020 dentro del polígono de la RBPC seleccionadas con base en criterios como su presencia en el censo de damnificados, e información de viviendas particulares habitadas que disponían de artículos (electrodomésticos y muebles) perdidos y dañados.

4.4 PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.

La metodología general para el cumplimiento del objetivo general de esta investigación estuvo estructurada acorde con los objetivos específicos planteados, resumidos en la Figura 4:

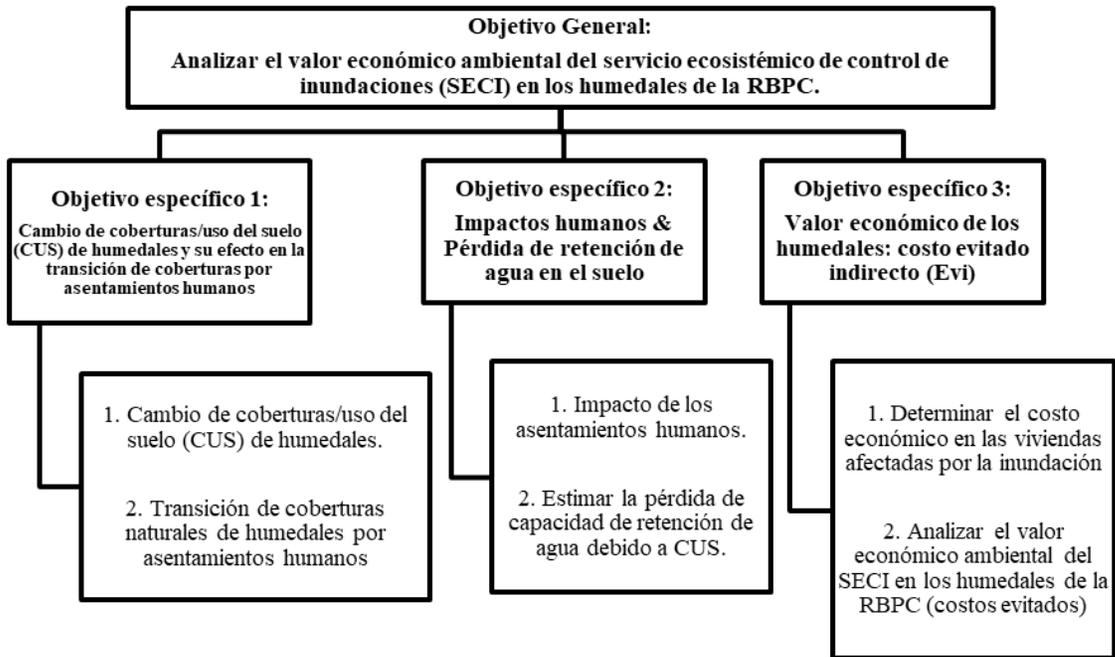


Figura 4. Procedimiento para el cumplimiento de los objetivos de la investigación.

De manera general este procedimiento atiende a cumplir el enfoque interdisciplinario del desarrollo sostenible mediante el análisis de sus tres dimensiones: social, ambiental y económica.

El objetivo específico 1 abarca el análisis de la dimensión social a partir del cambio de coberturas naturales por asentamientos humanos, mientras que los objetivos 2 y 3 pretenden abarcar las dimensiones ambiental y económica de este estudio.

4.4.1 OBJETIVO ESPECÍFICO 1: ANALIZAR EL CAMBIO DE COBERTURAS/USO DEL SUELO (CUS) DE HUMEDALES Y SU EFECTO EN LA TRANSICIÓN DE COBERTURAS NATURALES DE HUMEDALES POR ASENTAMIENTOS HUMANOS DE LA RBPC.

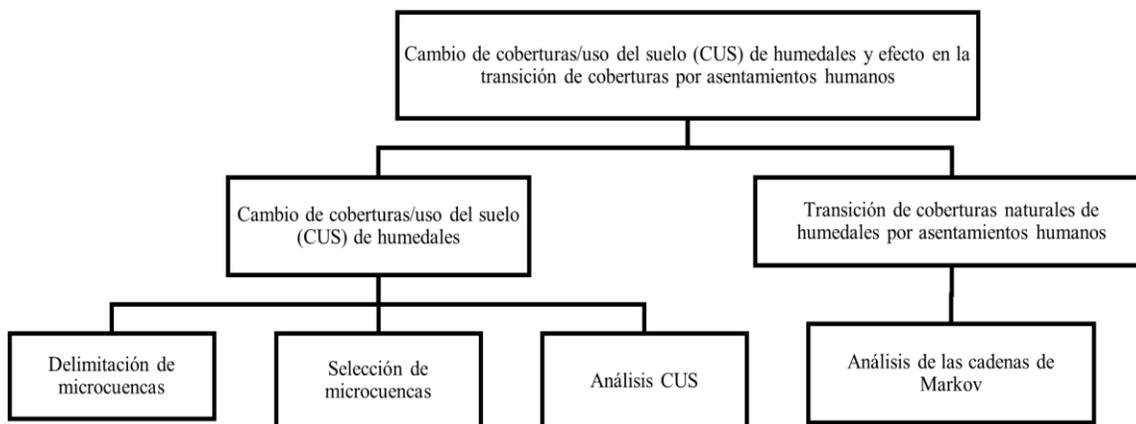


Figura 5. Procedimiento para el cumplimiento del objetivo específico 1.

4.4.1.1 *Cambio de coberturas/uso del suelo (CUS) de humedales.*

Delimitación de microcuencas.

Para este análisis se generaron microcuencas por medio de la herramienta “Hidrology” en el programa Arcgis® 10.3.1 a partir de las subcuencas y el Modelo de elevación digital a 15 m del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2013^a). Las microcuencas se generaron únicamente para las subcuencas de mayor presencia en la reserva (R. San pedro y San pablo, R. Grijalva y R. Usumacinta), las subcuencas se obtuvieron del portal de INEGI en temas de hidrografía (INEGI, s.f). Para generar los polígonos se estimó la acumulación del flujo del agua con las herramientas “Flow Direction” el cual toma una superficie como entrada y elabora un ráster de dirección de flujo (desde cada píxel hasta su vecino) con la pendiente descendente más empinada y la herramienta “Flow Accumulation” determinando el flujo acumulado (ESRI, s.f.), el ráster resultante se utilizó para crear las microcuencas con la herramienta “Basis”, cuya delimitación se basa en la identificación de las líneas de cresta (ESRI, 2016).

Selección de microcuencas

El desarrollo de la presente investigación se realizó en el polígono de la RBPC, que en total cubre una superficie de 302,706.62 ha (Figura 1). No obstante, la selección de las microcuencas de interés se basó en la aplicación de los siguientes criterios:

- Presencia de localidades damnificadas por la inundación de octubre y noviembre de 2020 del municipio de Centla asentadas dentro del polígono de la RBPC: Aquellas localidades del municipio incluidas en el “Censo de damnificados en Tabasco 2020” realizado por la Secretaría de Bienestar.
- Presencia de localidades con asentamientos humanos de tipo rural: Definidas por el INEGI como aquellas $\leq 2,500$ habitantes.
- Cuerpo de agua más cercano: Localidades asentadas a distancias menores o iguales a 1,000 m al borde el cuerpo de agua más cercano.
- Porcentaje de crecimiento Total de Viviendas Particulares (% de crecimiento TVP) (Censos INEGI del año 2020 con respecto a 2010): Se seleccionaron las localidades que obtuvieron el mayor % de crecimiento TVP, las localidades que reflejaron los menores % de crecimiento TVP, y las localidades que mostraron un % de decrecimiento de TVP o que no crecieron. Este % de crecimiento de TVP fue obtenido la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Crecimiento TVP}_{2020-2010} = \frac{\text{Diferencia absoluta TVP (Censo INEGI 2020-2010)} \times 100}{\text{TVP (Censo INEGI 2010)}} \quad \text{Ec. 1}$$

- Presencia de humedales naturales de acuerdo con los criterios propuestos por la clasificación de la Convención Ramsar.

Los datos considerados y la aplicación de estos criterios para la selección de microcuencas se pueden observar de manera detalla en el Anexo 1 de este documento.

Análisis de cambio de coberturas y usos del suelo (CUS).

Para obtener los datos de pérdidas y ganancias de las coberturas de humedales en la superficie de las microcuencas seleccionadas (área: 64,016.64 ha) se elaboró un Análisis de cambio de uso de suelo (CUS) utilizando como referencia la metodología de Vázquez-González *et al.*, (2019). En este análisis utilizamos los mapas uso de suelo y vegetación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), actualmente se encuentran disponibles siete mapas en formato vectorial que contienen información de uso de suelo y vegetación del país en escala 1:250 000 de libre acceso. Las capas que utilizamos corresponden a las series II (INEGI, 1995), IV (INEGI, 2007) y VII (INEGI, 2018) (Ver Tabla 2) las cuales se seleccionaron

considerando que era importante para el análisis establecer series de tiempo de como mínimo diez años.

En el programa Quantum GIS (QGIS®) 2.18 se extrajeron y analizaron las categorías de uso de suelo ubicadas en el área de estudio (INEGI 1995, 2007, 2018) y se agruparon y clasificaron en siete categorías (Tabla 3). Adicionalmente a cada capa se anexó la digitalización de asentamientos humanos realizado en el programa Qgis® 2.18, utilizando una escala de 1: 10,000. Para la Serie II se utilizaron imágenes aéreas de INEGI del año 1995 y se actualizó para la Serie IV y Serie VII por medio de imágenes de Google Earth® (GE) del año 2010 y 2021. Las imágenes de GE son consideradas como una solución alternativa prometedora, que proporciona imágenes abiertas (de alta resolución espacial) adecuadas para la detección de aldeas (Guo *et al.*, 2016) áreas urbanas y peri-urbanas (Camacho-Valdez *et al.*, 2019).

Tabla 2. Información de los mapas de uso de suelo y vegetación escala 1:250, 000.

Serie	Periodo de elaboración	Año de referencia de la información
1	1979 y 1991	Década de 1980
2	1993-1999	1993
3	2002-2005	2002
4	2006-2010	2007
5	2011-2013	2011
6	2014-2016	2012
7	2017 - 2021	2018

*Información obtenida de INEGI (2017) e INEGI (2018).

Tabla 3. Clasificación las categorías de los mapas de uso de suelo y vegetación en el área de estudio.

Clasificación	Categorías Serie II 1993	Categorías Serie IV 2007	Categorías Serie VII 2018
1. Agricultura-pastizal	Área agrícola (temporal)	Agricultura de temporal	Agricultura de temporal
	Pastizal cultivado	plantación agrícola	permanente
	Pastizal halófilo	permanente	Pastizal cultivado
		Pastizal cultivado permanente	
2. Cuerpo de agua	Cuerpo de agua	Cuerpo de agua	Cuerpo de agua

Clasificación	Categorías Serie II 1993	Categorías Serie IV 2007	Categorías Serie VII 2018
3. Manglar	Manglar	Manglar	Manglar Vegetación secundaria arbórea de manglar Vegetación secundaria arbustiva de manglar
4. Selvas	Selva alta perennifolia Selva baja perennifolia Selva de galería Selva mediana perennifolia Vegetación secundaria arbórea de selva alta perennifolia Palmar Sabana	Selva alta perennifolia Selva baja perennifolia Selva de galería Selva mediana perennifolia	Selva alta perennifolia Vegetación secundaria arbórea de selva alta perennifolia Selva baja espinosa subperennifolia Vegetación secundaria arbustiva de selva baja espinosa subperennifolia
5. Popal-tular	Popal Tular	Popal Tular	Popal Tular
6. Asentamientos humanos	Zona urbana	Zona urbana	Asentamientos humanos
7. Sin vegetación		Sin vegetación aparente (incluye minería)	

Fuente: Categorías de uso de suelo y vegetación se las series II, IV y VII en la RBPC. Información obtenida del INEGI.

Para obtener el mapa de cambios por categoría se utilizó TerrSet®, el cual es un sistema de software geoespacial integrado y ampliamente utilizado por la comunidad científica, con la finalidad de monitorear y modelar los procesos del sistema terrestre para el desarrollo sostenible (Nath *et al.*, 2020). En este programa se ingresaron los mapas en formato “Vectorial” y se transformaron a formato “Raster” con una resolución de 30 x 30 m. Utilizamos la herramienta “Land Change Modeler” (LCM) desarrollado por Clark University, el módulo se basa en redes neuronales (Multilayer Perceptron) para la fase de entrenamiento, en cadenas de Markov para la estimación del volumen de cambios y para la localización de los cambios y persistencias en evaluación multiobjetivo (Eastman & Toledano, 2018; Molo y ODC, 2022). El análisis se realizó comparando las series II (tiempo

ó t₁) y serie IV (tiempo 2 ó t₂) y posteriormente para la serie IV (tiempo 2 ó t₂) y serie VII (tiempo 3 ó t₃), los resultados de pérdida, ganancia, cambios y persistencia se calcularon en hectáreas (ha). Para obtener el porcentaje de cambios se utilizó la herramienta “CROSSTAB” o Tabla cruzada, en la matriz de transición en las filas se muestra la categoría del t₁ y en las columnas las categorías del t₂ (Figura 6), las entradas en la diagonal indican persistencia por lo que P_{jj} denota la proporción del paisaje que muestra persistencia de la categoría j, en la notación P_{ij} se denota aquella proporción del paisaje que experimenta una transición (de la categoría i a la categoría j, donde el número de categorías es J). En la fila adicional (en la parte inferior) se indica la proporción del paisaje que experimenta una ganancia bruta de la categoría j (entre tiempo 1 y 2) (Pontius *et al.*, 2004).

		Tiempo 2				Total tiempo 1	Pérdidas
		Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4		
Tiempo 1							
Categoría 1	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₊	P ₁₊ - P ₁₁	
Categoría 2	P ₂₁	P ₂₂	P ₂₃	P ₂₄	P ₂₊	P ₂₊ - P ₂₂	
Categoría 3	P ₃₁	P ₃₂	P ₃₃	P ₃₄	P ₃₊	P ₃₊ - P ₃₃	
Categoría 4	P ₄₁	P ₄₂	P ₄₃	P ₄₄	P ₄₊	P ₄₊ - P ₄₄	
Total tiempo 2	P ₊₁	P ₊₂	P ₊₃	P ₊₄	1		
Ganancias	P ₊₁ - P ₁₁	P ₊₂ - P ₂₂	P ₊₃ - P ₃₃	P ₊₄ - P ₄₄			

Figura 6. Matriz CROSSTAB para la comparación de dos mapas de diferente tiempo, elaborada por Pontius *et al.*, (2004).

4.4.1.2 *Transición de coberturas naturales de humedales por asentamientos humanos*

Análisis de las cadenas de Markov.

Con la información de los mapas de coberturas y usos del suelo de los t₂ y t₃, y a partir de la matriz de tabulación cruzada, se realizó el proceso markoviano el cual consistió en predecir la probabilidad de cambio de una cobertura hacia las otras categorías, utilizando los datos de entre el t₂ y el t₃. A través de la matriz de transición se expresa la probabilidad que un pixel cambie a cualquier otra clase o categoría o permanezca en la misma en el próximo periodo de tiempo.

4.4.2 OBJETIVO ESPECÍFICO 2: DETERMINAR EL IMPACTO DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS EN LA PÉRDIDA DE RETENCIÓN DE AGUA EN LOS HUMEDALES DE LA RBPC.

Con base en la revisión bibliográfica se estudiaron las posibilidades de aplicación del método de costos evitados para valorar el servicio ecosistémico de control de inundaciones, finalmente seleccionamos la aplicación del método de costos evitados indirectos siguiendo la metodología propuesta por Vázquez-González *et al.* (2019), realizando una compactación y adecuación en el número de pasos. Para la determinación del impacto de los asentamientos humanos en la pérdida de retención de agua en el suelo de los humedales de la RBPC, se realizaron las actividades que se detallan en la Figura 7:

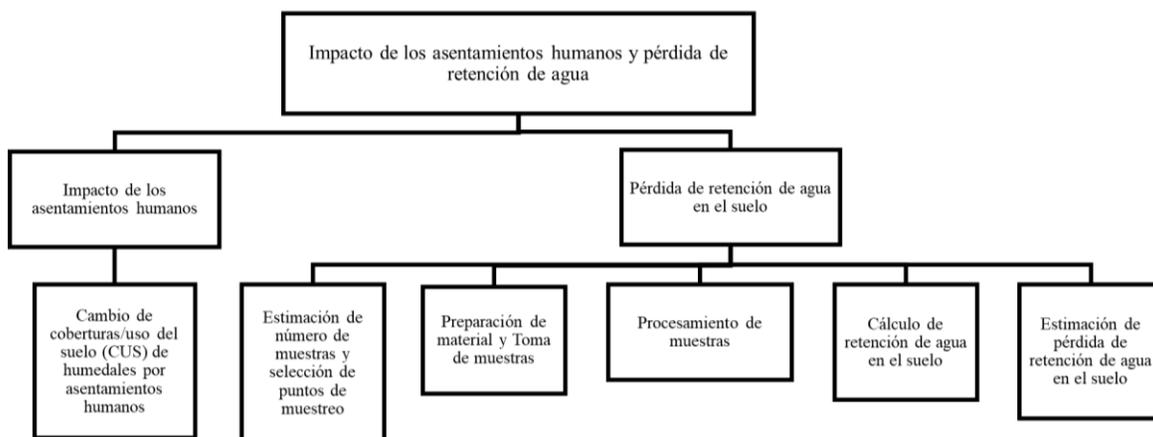


Figura 7. Procedimiento para el cumplimiento del objetivo específico 2.

4.4.2.1 Impacto de los asentamientos humanos.

Cambio de coberturas/uso del suelo (CUS) de humedales por asentamientos humanos.

A partir los resultados del análisis markoviano, se seleccionaron los resultados de las transiciones de las categorías de *manglar* y *popal-tular* hacia *asentamientos humanos*. Estas superficies de cambio entre las coberturas naturales de humedal y los asentamientos humanos fueron consideradas como el impacto de los asentamientos humanos en la pérdida de la cobertura natural de los humedales de la RBPC.

4.4.2.2 Pérdida de retención de agua en los humedales de la RBPC.

Estimación de número de muestras y selección de puntos de muestreo.

Después de generar los polígonos correspondientes a las microcuencas se agregó la capa temática con la información referente a los tipos de suelo, encontrando que el más abundante es el *gleysol eútrico*, seguido del *gleysol vértico* y el *solonchak vértico*, y se estimaron las hectáreas ocupadas por cada tipo de suelo para cada microcuenca en el programa Arcgis 10.3.1.

A partir del análisis de microcuencas y tipo de suelos, se seleccionaron los parches de suelo que ocupan superficies ≥ 100 ha dentro de cada microcuenca. Dependiendo del tamaño del parche se determinó tomar de una a dos muestras, obteniendo cantidad de muestras que se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Estimación del número de muestras por tipo de suelo.

Microcuenca	Tipo de suelo	Superficie de parche (ha)	Número de muestras
Aa1	Gleysol eútrico	4,352.33	2
Aa2	Gleysol eútrico	8,406.11	2
Aa3	Gleysol eútrico	9,917.58	1
	Gleysol vértico	68.35	1
Ad1	Gleysol eútrico	3,362.60	1
	Solonchak gléyico	4,288.64	1
Ad3	Gleysol eútrico	17,011.89	2
Da1	Solonchak gléyico	896.98	1
Da11	Gleysol eútrico	903.19	1
Da12	Gleysol eútrico	4,511.31	1
	Gleysol vértico	934.49	1
Da13	Gleysol eútrico	2,098.17	1
	Gleysol vértico	480.02	1
Da8	Gleysol eútrico	1,340.61	1
Total de número de muestras=			17

Fuente: Elaboración propia.

Para llevar a cabo la selección de los puntos de muestreo, se tomaron como base las microcuencas seleccionadas y los tipos de suelos en parches ≥ 100 ha, se visualizaron en el programa Arcgis® 10.3.1, agregando los puntos de las localidades y las vías carreteras. Los puntos seleccionados corresponden a los más accesibles desde las carreteras y localidades existentes.

Con la información anterior, se investigó en las oficinas de los H. Ayuntamientos de Centla y Macuspana, el nombre y datos de contacto de los delegados de las comunidades seleccionadas, o más cercanas a los puntos de muestreo. Se contactó a los delegados vía telefónica para explicar el objetivo del muestreo y solicitar los permisos correspondientes en la comunidad.

Posteriormente se realizaron varios recorridos para entregar los oficios y platicar con los delegados, obtener los permisos de los propietarios de las parcelas, así como verificar y modificar los puntos de muestreo que se habían posicionado con anterioridad, y ubicar exactamente los puntos de muestreo finales. Así también se dio aviso sobre el muestreo a realizar a las autoridades del área natural protegida mediante un oficio que fue entregado al director de la RBPC.

Preparación de material y Toma de muestras.

La preparación del material consistió en el lavado con agua y jabón neutro de los cilindros metálicos de 5 cm X 5 cm, se secaron con papel y se tararon hasta obtener su peso constante con al menos tres lecturas tal como se muestra en la Fotografía 1.

Además, se prepararon todos los materiales para realizar el muestreo en campo los cuales incluyeron lo siguiente: brújula, cuadrante de rafia, pala recta, pala de jardinero de 100 mm, espátula de 4", martillo, mazo, 2 piezas de tabla de 15 cm x 15 cm, GPS GARMIN® Etrex10, mapa, cilindro de aluminio 5 cm de diámetro x 5 cm de alto con dos tapas tarados, bolsas ziploc®, etiquetas, bolsas de plástico de 1 kg, cinta cristal o transparente, cinta masking tape®, 2 marcadores permanentes (sharpie®), bitácora de laboratorio y campo.



Fotografía 1. Preparación de material (peso constante de los cilindros metálicos).

Para llevar a cabo la toma de las muestras se realizó un muestreo aleatorio. Con la ayuda de un GPS y los mapas, se ubicaron los puntos de muestreo acorde con las coordenadas proporcionadas. En el punto de muestreo, se trazó un cuadrante de 3 m x 3 m, y se dividió en 9 cuadros de 1 m², trazando una rejilla con dos cuerdas horizontales de derecha a izquierda, y otras dos cuerdas de arriba abajo, ubicadas a 1 m de distancia, una de la otra. Luego, con una brújula se ubicó el Norte, y en ese punto se colocó el “vértice 1”. Se seleccionó de manera aleatoria el cuadrante donde se realizó la toma de la muestra y se ubicó el centro del cuadrante seleccionado. Ya ubicado el centro del cuadrante seleccionado, se procedió a retirar la capa vegetal (5 cm) con ayuda de una pala recta, formando un primer escalón desde la superficie y hasta 5 cm de profundidad. Posteriormente, se excavó un segundo escalón, desde la parte más profunda de la zona de retiro de la capa vegetal y hasta una profundidad donde se encontró el tipo de suelo a muestrear o hasta donde la capa freática estuviera presente, tomando la lectura de la profundidad de la excavación con un flexómetro (ver Fotografía 2).



a) Trazado de cuadrante



b) Selección de cuadrante donde se hizo la toma de muestra.



c) Retiro de la capa vegetal y excavación de escalones.



d) Toma de lectura de profundidad con flexómetro.

Fotografía 2. Ejecución de muestreo aleatorio de suelos.

En el segundo escalón (ya verificada la profundidad), se colocó el cilindro de aluminio de 5 cm de diámetro x 5 cm de alto (sin las tapas), y en la parte superior del cilindro, se colocó una tabla de 15 cm x 15 cm, la cual se golpeó con un mazo para lograr enterrar el cilindro metálico en el suelo. Una vez que el cilindro metálico se introdujo al suelo y solo se observaban sus bordes superiores en la superficie del suelo, con una espátula se realizó el corte en la parte inferior del cilindro, para extraer el cilindro con la muestra. Ya que el cilindro había sido liberado del suelo, se colocaron sus tapas, y se fijaron con ayuda de cinta masking tape® acorde con lo presentado en la Fotografía 3. La muestra colectada se colocó en una bolsa ziploc® e inmediatamente se preservó a 4 °C dentro de una nevera con hielo hasta su llegada al laboratorio. Toda la información fue registrada en el formato “Bitácora de campo”.



a) Golpeado de cilindros con tabla.



b) Se observa borde superior de cilindros en la superficie de suelo.



c) Extracción y corte de muestra de suelo.



d) Sellado y etiquetado de muestra de suelo.

Fotografía 3. Toma de muestras de suelo.

La colecta de las muestras de suelo se realizó durante las fechas 21 y 28 de mayo y 07 y 26 de junio del año 2022 del durante el periodo de secas para evitar la influencia de las lluvias. En la Figura 8 se observan los puntos de colecta de las 17 muestras de suelo² con sus respectivas réplicas, para llevar a cabo los análisis de retención de agua en el suelo de los humedales dentro del polígono de la RBPC.

² *NOTA:* Es importante mencionar que la toma de muestra del punto 12 se excluyó ya que no se contaba con las condiciones de seguridad y permisos para su recolección. Sin embargo, para evitar errores en la numeración se eliminó del conteo, quedando un total de 17 muestras colectadas.

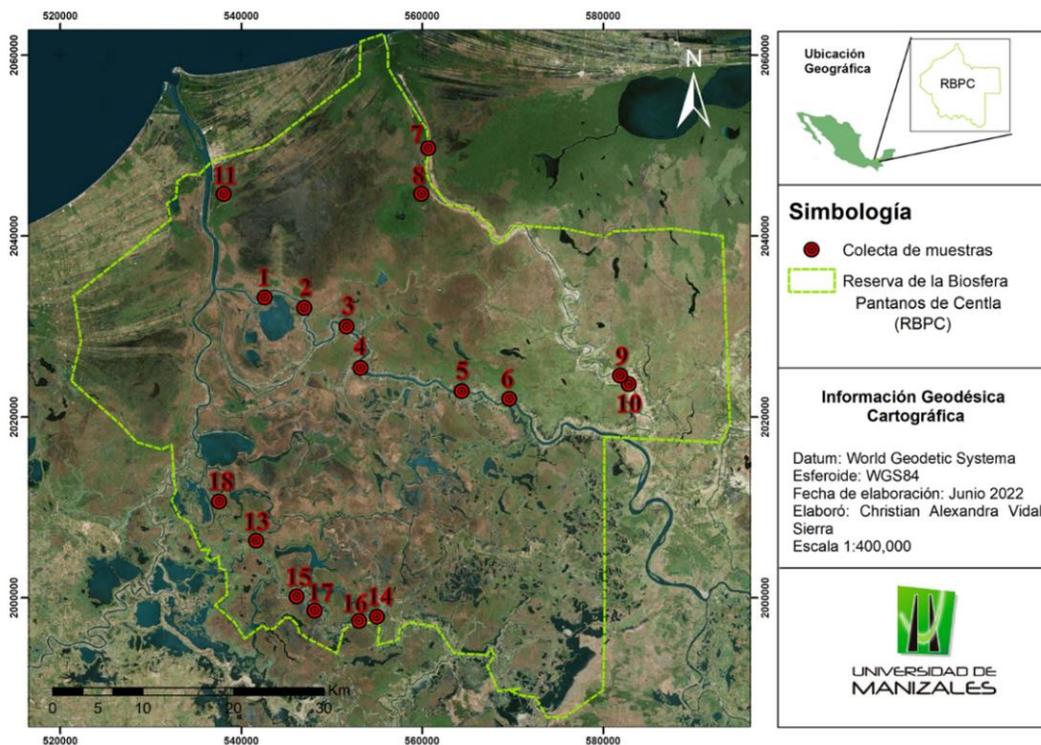


Figura 8. Puntos de colecta de muestras de suelo.

Tabla 5. Ubicación de los puntos de colecta de las muestras de suelo.

Microcuenca Código	Punto de muestreo	Localidad donde se tomó la muestra
Aa1	Punto 1	Las Palmas, Tres Brazos
	Punto 2	Ribera Alta 3ra. Sección
Aa2	Punto 3	Ribera Alta 2da. Sección (Salsipuedes)
	Punto 4	Boca de Pantoja
Aa3	Punto 5	Chichicastle 2da Sección
	Punto 6	Chichicastle 3ra Sección
Ad1	Punto 7	Cercano a El Porvenir (Ribera de San Francisco)
	Punto 8	Cercano a El Encanto (Ribera Media)
Ad3	Punto 9	José Ma. Pino Suárez
	Punto 10	
Da1	Punto 11	Arroyo Polo 3ra. Sección
Da8	Punto 18	Miguel Hidalgo
Da11	Punto 13	José María Morelos y Pavón (Tintalillo)
Da12	Punto 14	Camino Bitzal 6ta Sección

Microcuenca	Punto de muestreo	Localidad donde se tomó la muestra
	Punto 15	Mixteca 3era Secc.
Da13	Punto 16	Camino Bitzal 7ma Sección
	Punto 17	Mixteca 1ra. Sección

Nota: Se excluyó la toma de muestra del punto 12 ya que no se contaba con las condiciones de seguridad y permisos para su recolección. Sin embargo, para evitar errores en la numeración se eliminó del conteo, quedando un total de 17 muestras colectadas.

Procesamiento de las muestras.

Las muestras fueron procesadas y analizadas durante el periodo del 21 de mayo al 08 de julio de 2022, en el Laboratorio de Procesamiento de muestras perteneciente a la infraestructura designada al Laboratorio de Malacología de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (DACBiol-UJAT).

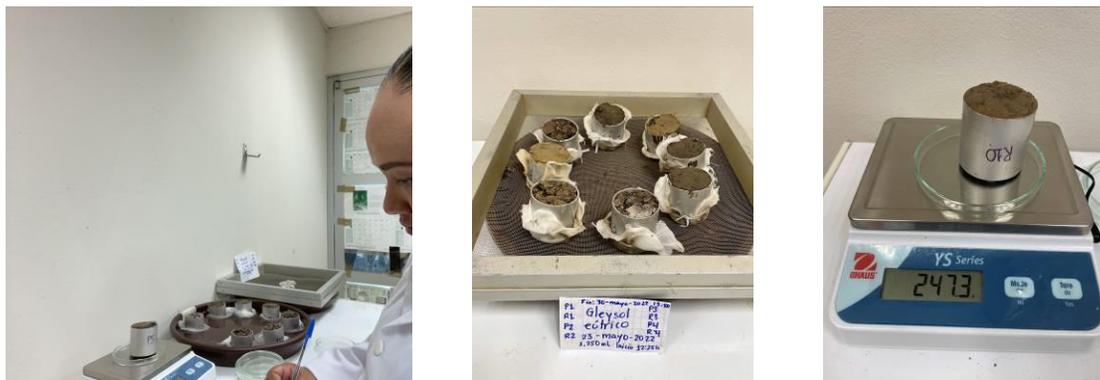
Para esto, se emplearon métodos gravimétricos y volumétricos, con el objetivo de recabar los datos sobre el peso húmedo y seco, a partir de los cuales se estimó la humedad volumétrica, densidad aparente, humedad gravimétrica y profundidad de toma de la muestra, a partir de las cuales se calculó la retención o almacenamiento de agua en el suelo. Cabe mencionar que para el procesamiento en el laboratorio y el tratamiento de las muestras de suelo nos apegamos al procedimiento descrito por Calderón Chérrez (2018).

Las muestras fueron llevadas al laboratorio, se sacaron de la preservación en hielo y se dejaron hasta alcanzar una temperatura ambiente. Después, se sometieron a un proceso de humectación por un lapso de una semana. Para esto, se colocó un fragmento de tela porosa en uno de los extremos de los cilindros muestreadores, y se introdujeron los cilindros muestreadores en un recipiente de mayor volumen en el cual se agregó agua destilada hasta la mitad de la altura del cilindro retirando la tapa metálica del otro extremo del cilindro. Las muestras permanecieron en proceso de humectación en el recipiente con agua destilada durante un periodo de siete días.



Fotografía 4. Proceso de humectación de las muestras de suelo.

Pasado el proceso de humectación, las muestras fueron retiradas del recipiente e inmediatamente se pesaron para obtener la lectura del peso húmedo en sobresaturación utilizando una balanza digital marca OHAUS® Modelo YS2101. Después, se colocaron sobre un cedazo durante una hora hasta observar que no cayera ninguna gota de agua, y se procedió a pesar cada una de las muestras para obtener así los valores de peso húmedo saturado (Mh).



a) Pesado de muestra sobresaturada. b) Drenado de la muestra de suelo en cedazo. c) Pesado de muestra saturada.

Fotografía 5. Pesado de muestra de suelo húmeda.

Posteriormente las muestras fueron llevadas a la estufa secadora marca Riossa® a una temperatura de 105 °C por 24 h hasta que se constató que el agua se evaporó por completo. Después de ese periodo de secado, fueron sacadas de la estufa y dejadas a temperatura ambiente durante 30 minutos y posteriormente se pesaron en la balanza para obtener el dato de peso seco (Ms). Este proceso se repitió hasta obtener el peso constante de las muestras secas (Ms) con al menos tres lecturas.

Los datos obtenidos durante el procesamiento de muestras fueron recabados y organizados mediante una base de datos nombrada como “Registro de laboratorio”.



a) Secado de muestras de suelo en la estufa.



b) Muestras de suelo secas.



c) Pesado de muestras de suelo secas.



d) Ejemplo de pesado de muestra de suelo seca.

Fotografía 6. Proceso de secado y peso constante de muestras de suelo secas.

Cálculo de retención de agua.

Los datos del peso del tarado de los cilindros (en g), el peso húmedo (Mh) (en g), y el peso seco (Ms) (en g) de las muestras de suelo se capturaron en una Base de Datos mostrados en

el Anexo 3, mediante la cual se obtuvieron los cálculos de las variables de humedad gravimétrica, densidad aparente, humedad volumétrica y profundidad de toma de la muestra, a partir de las cuales se calculó el Almacenamiento o retención de agua en el suelo utilizando las fórmulas empleadas por Calderón Chérrez (2018) y Villaroel Herrera *et al.* (2017), mismas que se presentan a continuación:

Humedad gravimétrica

$$Wg = Mh/Ms \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

Wg = humedad gravimétrica (g/g)

Mh = peso húmedo (g)

Ms = peso seco (g)

Densidad aparente

$$\rho = Ms/V \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

ρ = densidad aparente (g/m³)

Ms = peso seco (g)

V = volumen de la muestra (volumen del cilindro) (m³)

Humedad volumétrica

$$\Theta = Wg * \rho \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

Θ = Humedad volumétrica (m³/m³)

Wg = humedad gravimétrica (g/g)

ρ = densidad aparente (g/m^3)

Almacenamiento o retención de agua en el suelo

$$A = \theta \times p \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

A = almacenamiento o retención de agua en el suelo (en $\text{m}^3/\text{ha}^{-1}$), llamado más adelante como WR_i .

Θ =humedad volumétrica (m^3/m^3)

p = profundidad de la que se recolectó la muestra (m)

Finalmente, se estimó el promedio del Almacenamiento de agua o retención de agua para cada tipo de suelo muestreado.

Estimación de pérdida de retención de agua en el suelo (LWR).

Para estimar la Cantidad total de pérdida de retención de agua (LWR) de los suelos de los humedales de la RBPC se relacionaron los valores de cambio coberturas y usos de suelo de los humedales de la RBPC obtenidos en el numeral 4.4.2.1, y los datos de Almacenamiento o retención de agua en el suelo de los humedales, integrándose a la siguiente fórmula:

$$LWR = \sum(LUC_i * WR_i) \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

LWR= Pérdida de retención de agua del suelo (m^3)

LUC_i = Cambio de uso de suelo y pérdida de cobertura vegetal por tipo de humedal (ha)

WR_i =Almacenamiento o Retención de agua de tipo de suelo ocupado por el humedal por ha (m^3/ha^{-1}).

4.4.3 OBJETIVO ESPECÍFICO 3: CALCULAR LOS COSTOS DE PREVENCIÓN DE INUNDACIONES Y LA PROPORCIÓN QUE REPRESENTA EL VALOR DE LOS COSTOS EVITADOS INDIRECTOS (E_{vi}) DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE CONTROL DE INUNDACIONES EN LOS HUMEDALES DE LA RBPC.

Las actividades metodológicas para el cumplimiento de este objetivo se dividieron en tres fases tal como lo detallada la Figura 9. La primera fase se estableció con el fin de llevar a cabo la estimación del coste económico de las inundaciones (TEC); la segunda fase implicó el cálculo del Costo evitado indirecto (E_{vi}) del servicio ecosistémico del control de inundaciones en los humedales de la RBPC, y finalmente en la tercera fase se realizó la revisión y análisis de los costos de prevención de inundaciones por parte de las autoridades gubernamentales. Cabe mencionar que las fórmulas empleadas para calcular el TEC y el E_{vi} fueron adaptadas de la investigación de Vázquez-González *et al.* (2019).

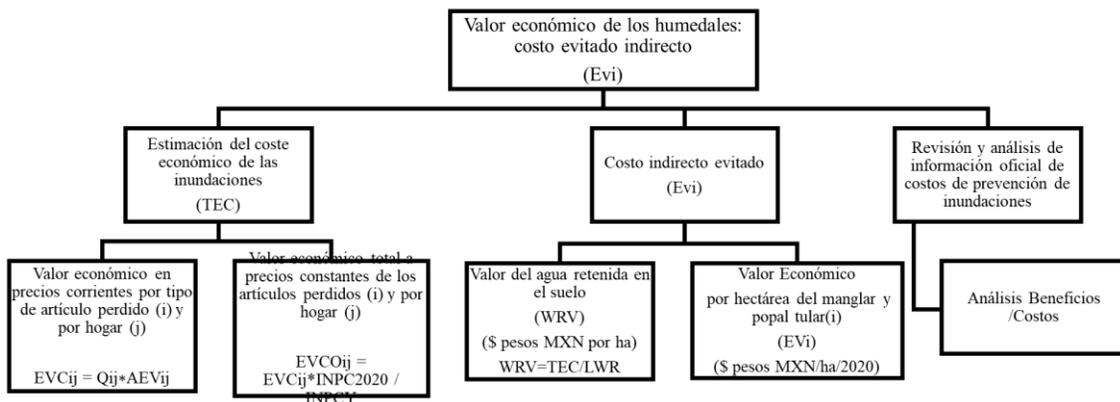


Figura 9. Procedimiento para el cumplimiento del objetivo específico 3.

A continuación, se describen de manera detallada las actividades que se realizaron en cada una de las tres fases.

4.4.3.1 Estimación del coste económico de las inundaciones (TEC).

Para llevar a cabo la estimación del coste económico de las inundaciones (TEC) del año 2020 en las localidades rurales de la RBPC, se realizó una revisión del “Censo de Damnificados en Tabasco de 2020” publicado en la página oficial de la Secretaría de Bienestar del Gobierno de México (Secretaría de Bienestar, 2020). Con esta información se identificaron un total de 365 localidades de los municipios de Centla, Jonuta y Macuspana del estado de Tabasco ya que estos cuentan con alguna extensión de territorio dentro del polígono de la RBPC. Posteriormente seleccionaron únicamente las localidades del municipio de Centla (n=63) por ser el municipio que cuenta con la mayor extensión de territorio dentro de la RBPC.

Esta información de las localidades seleccionadas fue consultada para verificar su geolocalización a través de la plataforma del Mapa Digital de México V6 en línea (INEGI, s.f.) para determinar si estas localidades se encontraban dentro del polígono de la RBPC, y se seleccionaron únicamente a las localidades rurales ($\leq 2,500$ habitantes) afectadas por las inundaciones de octubre de 2020 dentro del polígono de la RBPC, excluyendo a las localidades urbanas ($\geq 2,500$ habitantes) en este estudio. Finalmente, se analizó la información de 32 localidades rurales afectadas mostradas en el Anexo 4.

Cantidad (Q) del mismo objeto perdido por (i) número de viviendas particulares habitadas (j)

Para llevar a cabo la estimación del TEC, primero se realizó una revisión y análisis de la información de las 32 localidades rurales afectadas en los Censos de Población y Vivienda del INEGI de los años 2010 y 2020 (INEGI, 2013b; INEGI, 2021), utilizándolos como insumos para la elaboración de una Base de Datos en Excel® mostrada en el Anexo 4 donde se recopilaron, ordenaron e integraron los datos del total de viviendas particulares habitadas (n=3,095), total de viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica (n=3,038), viviendas particulares habitadas sin ningún bien (n=187), así como los datos del total de viviendas particulares habitadas que disponían de 15 artículos (electrodomésticos y muebles) como son: estufa, refrigerador, ventilador, lavadora, horno de microondas, televisión, reproductor de música, teléfono de casa, muebles de sala, muebles de comedor, camas, computadora (pc o laptop), licuadora, batidora, coche o moto.

Se tomaron como referencia estos dos años de los resultados del Censo de Población y Vivienda (2010 y 2020), ya que ambos cuentan con los datos censados por localidad, e infiriendo que la compra de los artículos perdidos pudo llevarse a cabo en el año 2010 y que la vida útil de los mismos es de al menos unos diez años; y el año 2020 como referente de la información que se recopiló y publicó en el mes de marzo de 2020, por lo cual se aproxima a la realidad de la cantidad de artículos que cada vivienda particular habitada disponía antes del evento de inundación de octubre y noviembre del mismo año.

Valor económico en precios corrientes por tipo de artículo perdido (i) y por vivienda particular habitada (j) (EVC_{ij}).

Para obtener el valor económico en precios corrientes de los artículos perdidos (electrodomésticos y muebles), se consultó en línea los precios promedio del Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) del mes de enero de 2011 de los numerales 4.1. Muebles y aparatos domésticos y 6.2. Transporte por cuenta propia (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2011), ya que era el dato más cercano a la fecha estimada de compra del año 2010 de los artículos (electrodomésticos y muebles) perdidos. En esta fuente se recopiló información de al menos un modelo de tipo de artículo y su precio promedio a partir del cual se calculó el *Valor económico promedio en precios corrientes (AEV) por tipo de artículo perdido (i)* para considerarlos como el precio de compra en el año 2010 acorde con lo mostrado en el Anexo 5.

Con estos datos se calculó el valor económico en precios corrientes³ por tipo de artículo perdido y por vivienda particular habitada, con base en la siguiente fórmula:

$$EVC_{ij} = Q_{ij} * AEV_{ij} \quad \text{Ec. 7}$$

³ *Precios corrientes*: Intercambios monetarios que suceden en la economía, como: compras, ventas, arrendamientos (rentas) a los precios del día, por lo que reflejan la variedad de precios entre un momento y otro, es decir, la inflación. Por ejemplo, las compras de jitomate, incluyendo las variaciones de precios que ocurren durante el año: más baratos en tiempos de cosecha y más caros en invierno. (INEGI, s.f.)

Donde:

EVC_{ij} = Valor económico en precios corrientes, y tipo de artículo perdido (i) y por vivienda particular habitada (j).

Q_{ij} = Cantidad (Q) del mismo artículo perdido (i) y el número de vivienda particular habitada (j)

AEV_{ij} = Valor económico promedio en precios corrientes (AEV) de los artículos perdidos (i) y por vivienda particular habitada (j).

Valor económico total a precios constantes de los artículos perdidos (i) y por vivienda particular habitada (j) ($EVCO_{ij}$).

Para desinflar el valor monetario de los artículos perdidos, se obtuvo el valor económico (EV) por tipo de artículo perdido y por vivienda particular habitada a precios constantes⁴, mediante la siguiente ecuación:

$$EVCO_{ij} = \frac{EVC_{ij} * INPC_{2020}}{INPC_Y} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

$EVCO_{ij}$ = Valor económico total a precios constantes de los artículos perdidos (i) y por vivienda particular habitada (j).

EVC_{ij} = Valor económico en precios corrientes, y tipo de artículo perdido (i) y por vivienda particular habitada (j).

$INPC_{2020}$ = Valores monetarios actualizados a 2020. Índice Nacional de Precios al Consumidor, preparado y publicado por el INEGI

$INPC$ = Índice Nacional de Precios al Consumidor, preparado y publicado por el INEGI

⁴ *Precios constantes*: Resultado de una operación que consiste en quitar el efecto de la inflación sobre los precios, por lo que también se les conoce como precios reales. Los precios constantes se construyen a partir de un año base, en el que la economía del país se encontraba estable (1980, 1993 ó 2000, por ejemplo), el cual es igual a cero o cien (100.0), y sirven para conocer la situación real de la economía mexicana en un momento dado. (INEGI, s.f.).

Y= Estimación del año de la compra del artículo (2010), restando el tiempo de uso en años (T) para cada artículo perdido (i) al año 2020, año de la inundación.

Para estimar el Costo Económico Total (TEC), se empleó la fórmula que se presenta a continuación, donde se agregaron todos los EVCO para cada tipo de artículo perdido (i) y para las viviendas particulares habitadas (j), y por localidad seleccionada ©.

$$TEC = \sum EVCO_{ijc} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

TEC= Costo Económico Total de las Inundaciones, en pesos MXN.

EVCO $_{ijc}$ = Valor económico total a precios constantes de los artículos perdidos (i) y por vivienda particular habitada (j) y por localidad seleccionada (c).

4.4.3.2 Costo evitado indirecto (E_{vi}).

Valor del agua retenida en el suelo (WRV)

En este paso, se estimó el valor económico de los humedales con base en el método de costo evitado indirecto. En la **Ec. 10** el valor del agua retenida en el suelo (WRV) por hectárea de humedal (i) se determinó dividiendo el costo económico total de las inundaciones (TEC) por la cantidad de pérdida de agua retenida por el cambio de cobertura/uso del suelo (LWR).

$$WRV = TEC / LWR \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

WRV= Valor del agua retenida en el suelo, en \$ pesos MXN por m³.

TEC= Costo económico total de las inundaciones, en \$ pesos MXN.

LWR: Cantidad de pérdida de agua retenida por el cambio de cobertura/uso del suelo, en m³.

Valor Económico de los humedales (manglar y popal-tular) por hectárea (i) ó costo evitado indirecto (EVi).

Finalmente, con la **Ec. 11** se calculó el valor económico (EV) por hectárea de humedal (i) se estimaron a precios constantes, multiplicando la cantidad de agua retenida en el suelo (WR) por el tipo de humedal (i), por el valor del agua retenida en el suelo (WRV) por tipo de humedal (i), para determinar el valor económico ambiental de los humedales de la RBPC.

$$EV_i = WR_i * WRV_i \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

EV_i = Valor económico por hectárea de humedal, en \$ pesos MXN/ha/2020.

WR_i = Cantidad de agua retenida en el suelo por tipo de humedal, en (m^3/ha^{-1})

WRV_i = Valor del agua retenida en el suelo por tipo de humedal, en \$ pesos MXN por m^3 .

Revisión y análisis beneficios / costos y elasticidad de los precios de la demanda.

Se realizó un Análisis de Beneficios / Cotos (B/C) para calcular la proporción que representa el valor de los costos evitados indirectos con respecto a los costos de prevención en inundaciones. Para esto primero se realizó una búsqueda de información referente al evento de inundación de octubre y noviembre de 2020, sobre los costos de inversión en sistemas estructurales, gestión del riesgo y de inversión en conservación de humedales. Esta información se obtuvo de diferentes fuentes de información secundaria como informes y comunicaciones gubernamentales revisada a través de las páginas oficiales de las siguientes instituciones: Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [CONANP], Gobierno de México, Instituto de Protección Civil del Estado de Tabasco [IPCET], y la Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana.

Con esta información, se construyó una rejilla de cálculos de B/C la cual se presenta en el Anexo 7, donde se aplicaron los siguientes criterios:

- Se debe tener en cuenta la comparación de la relación B/C hallada en comparación con 1, así tenemos lo siguiente:

- a. B/C mayor que 1; $B/C > 1$: Indica que los beneficios de los costos evitados indirectos de los humedales superaron los costos de prevención de inundaciones, por lo tanto deben considerarse que el proyecto es factible ambientalmente.
- b. B/C igual a 1; $B/C=1$: Aquí no hay ganancias, pues los beneficios de los costos evitados indirectos de los humedales son iguales a los costos de prevención de inundaciones.
- c. B/C menor que 1; $B/C < 1$: Muestra que los costos de prevención de inundaciones son mayores que los beneficios de los costos evitados indirectos de los humedales, por lo tanto no se debe considerar que este proyecto sea factible ambientalmente.

4.4.4 *TECNICAS E INSTRUMENTOS.*

En la Tabla 6, se relacionan las técnicas e instrumentos que se emplearán para el desarrollo de la presente investigación.

Tabla 6. Técnicas e instrumentos para el desarrollo de la investigación.

Objetivo	Técnica	Instrumento
Objetivo específico 1	Procesamiento de cartas de uso del suelo y vegetación del INEGI en software especializado QGIS	Mapas uso de suelo y vegetación series II (INEGI, 1993), IV (INEGI, 2007) y VII (INEGI, 2018) en formato “Vectorial”, escala 1:250 000. Imágenes de Google Earth (GE) del año 2010 y 2021
	Análisis de cambio coberturas y usos de suelo a través del módulo LCM del software especializado IDRISI Terrset®	Mapa de cambios por categoría de cobertura y usos del suelo t_1 , t_2 y t_3 .
	Análisis de cadenas de Markov software especializado IDRISI Terrset®	Método de tabulación cruzada o CROSSTAB
Objetivo específico 2	Análisis de cadenas de Markov software	Método de tabulación cruzada o CROSSTAB

Objetivo	Técnica	Instrumento
	Análisis para cálculo de almacenamiento o retención de agua en el suelo	Muestreo aleatorio de suelos en microcuencas por tipo con parches mayores a 100 ha
	Recolección de datos de la toma de muestra de suelos y observación de campo	Registro de laboratorio (temperatura del horno de secado, peso constante de botes de aluminio, peso húmedo y seco de muestras). Bitácora de campo (nombre del punto, microcuenca, ubicación, tipo de suelo, código del bote de aluminio, fecha de toma de la muestra, cuadrante seleccionado para toma de muestra, hora de toma de la muestra, profundidad de toma de la muestra (cm), tipo de uso del suelo o vegetación observada) Hoja de cálculo de Excel®
Objetivo específico 3	Cálculo de Costo Económico Total (TEC) de las inundaciones mediante búsqueda, recopilación y revisión bibliográfica del Censo de Población y Vivienda INEGI 2010 y 202	Base de datos a partir del Censo de Población y Vivienda INEGI 2010 y 2020 (localidades, población, viviendas particulares habitadas, viviendas particulares habitadas energía eléctrica, y viviendas particulares habitadas que cuentan con electrodomésticos).
	Cálculo Costos Evitados Indirectos (Evi)	Rejilla de cálculo.
	Análisis de Beneficios / Cotos (B/C)	Rejilla de cálculo B/C. Excel® construida con información de fuentes secundarias de informes y comunicaciones gubernamentales como: Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [CONANP], Gobierno de México, Instituto de Protección Civil del Estado de Tabasco [IPCET], y la Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en la investigación los cuales se presentan en el orden en que se establecieron los objetivos específicos planteados. Además, se comprueban los supuestos investigativos confrontándolos contra los resultados obtenidos.

5.1 OBJETIVO ESPECÍFICO 1: ANALIZAR EL CAMBIO DE COBERTURAS/USO DEL SUELO (CUS) DE HUMEDALES Y SU EFECTO EN LA TRANSICIÓN DE COBERTURAS NATURALES DE HUMEDALES POR ASENTAMIENTOS HUMANOS DE LA RBPC.

5.1.1 DELIMITACIÓN Y SELECCIÓN DE MICROCUENCAS.

Con base en los criterios mencionados en la sección 4.4.1.1 se delimitaron y seleccionaron diez microcuencas dentro del polígono de estudio las cuales se muestran en la Figura 10.

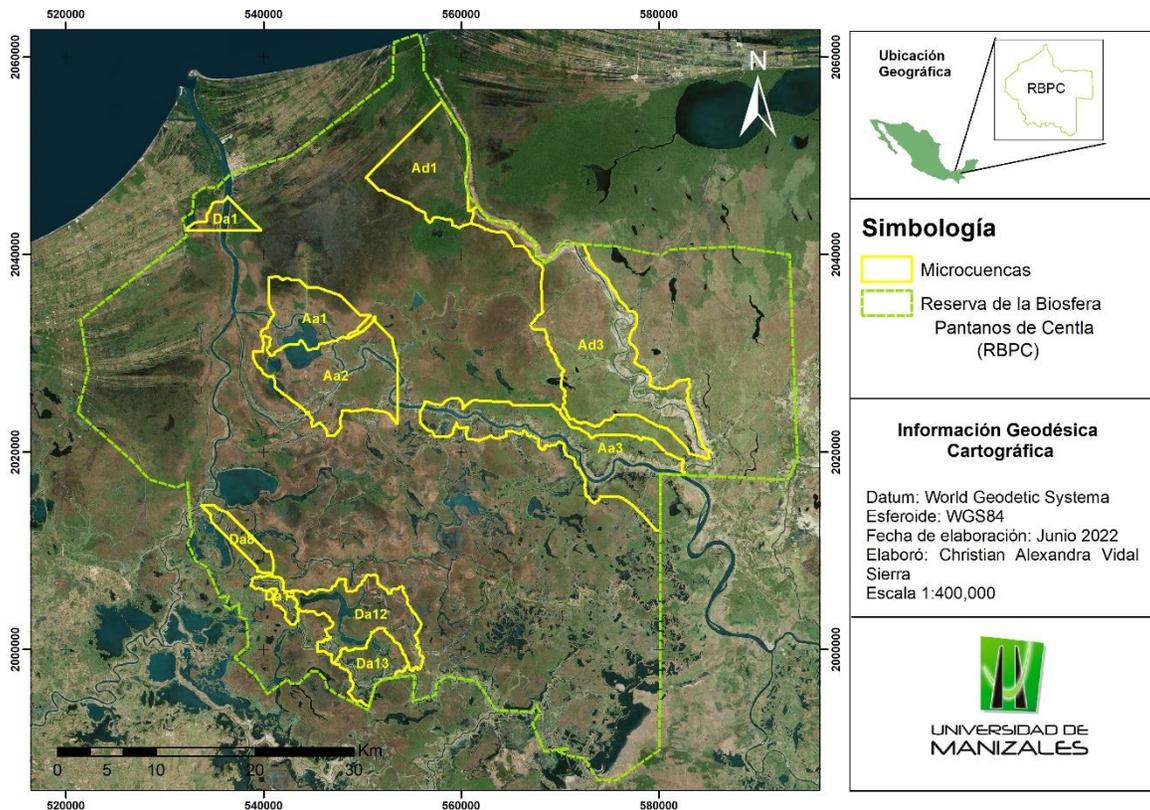


Figura 10. Microcuencas seleccionadas dentro del polígono de la RBPC.

Como resultado de la aplicación de los criterios mencionados, se seleccionaron un total de diez microcuencas con una superficie total de 64,014.15 ha los cuales corresponden a un 21.15% del área total de la RBPC. En la Tabla 7, podemos observar que dentro de los polígonos de estas diez microcuencas se encontraron 13 localidades rurales que fueron afectadas por las inundaciones de octubre y noviembre de 2020.

Tabla 7. Información de las microcuencas seleccionadas.

Cons.	Microcuenca	Superficie (ha)	Localidad CENSO & INEGI dentro de la RBPC	Diferencia absoluta Total de Viviendas Particulares (2020 - 2010)	% de crecimiento TVP (2020 con respecto a 2010)
1	Aa1	5,139.29	1. Tres Brazos	26	18.31
			2. Ribera Alta 3ra. Sección	53	29.61
2	Aa2	9,727.62	3. Ribera Alta 2da. Sección (Salsipuedes)	52	35.86
			4. Boca de Pantoja	4	3.64
3	Aa3	11,409.44	5. Chichicastle 3ra. Sección	22	115.79
			6. Chichicastle 2da. Sección	8	8.79
4	Ad1	7,631.19	7. Tembladeras	-7	-14.29
5	Ad3	17,121.98	8. El Porvenir (De Quintín Arauz)	0	0.00
6	Da1	1,281.71	9. Arroyo Polo 3ra. Sección	55	67.90
7	Da8	1,556.90	10. Miguel Hidalgo	-9	-16.98
8	Da11	901.8	11. José María Morelos y Pavón (Tintalillo)	2	5.56
9	Da12	6,368.47	12. Mixteca 3ra. Sección	-8	-11.59
10	Da13	2,875.75	13. Mixteca 1ra. Sección	-3	-13.64
Total superficie microcuencas=		64,014.15			

% de crecimiento TVP = Porcentaje de crecimiento Total de Viviendas Particulares del año 2020 con respecto al año 2010.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Censos del INEGI 2010 y 2020.

Con base en la aplicación del criterio del Porcentaje de crecimiento Total de Viviendas Particulares (% de crecimiento TVP), para lo cual se empleó la fórmula detallada en la **Ec. 1**, los resultados de la Tabla 7, muestran que los números azules corresponden a las localidades que obtuvieron el mayor % de crecimiento TVP; los datos en color verde indican las localidades que tuvieron los menores % de crecimiento TVP, y los números rojos representan a las localidades que revelaron un % de decrecimiento de TVP o que no crecieron.

Por lo consiguiente, los primeros hallazgos nos muestran que los mayores incrementos de asentamientos humanos por aumento de las viviendas particulares habitadas estuvieron en las microcuencas Aa3 en la localidad de Chichicastle 3ra. Sección con un resultado de 115.79 %, la microcuena Da1 en la localidad de Arroyo Polo 3ra. Sección 67.90 %, en la microcuena Aa2 la localidad de Ribera Alta 2da. Sección (Salsipuedes) con 35.86 %, y por último en la microcuena de Aa1 en las localidades de Tres Brazos y Ribera Alta 3ra. Sección con 18.31% y 29.61% respectivamente. Cabe mencionar, que estas localidades coinciden en que espacialmente se encuentran asentadas a las orillas de la carretera estatal Frontera – Jonuta ubicada al Suroeste de la reserva natural.

Por otra parte, las localidades que menores porcentajes de crecimiento de viviendas particulares presentaron estuvieron localizadas en la microcuena Aa2 en la localidad Boca de Pantoja con 3.64%, la microcuena Da11 en la localidad de José María Morelos y Pavón (Tintalillo) 5.56 %, y la localidad de Chichicastle 2da. Sección en la microcuena Aa3 con 8.79%. En este caso, espacialmente el acceso hasta las localidades de Chichicastle 2da y Boca de Pantoja se realiza desde la carretera Frontera – Jonuta, sin embargo, en el caso de Boca de Pantoja se localiza al margen del río Usumacinta por lo que su llegada a esta comunidad se realiza pasando en lancha a través del río, lo que limita su accesibilidad. En el caso de la comunidad de José María Morelos y Pavón (Tintalillo) se encuentra asentada a la margen del río Bitzal accediendo por lancha desde la comunidad Boca de Chilapa al Sur de la RBPC, por lo cual, tampoco es un sitio de fácil acceso ya que la vía fluvial es la única forma de acceder a estas comunidades.

Por último, las comunidades que decrecieron o que no mostraron crecimiento en el porcentaje de crecimiento de viviendas particulares encontramos que en la microcuena Da8 la localidad de Miguel Hidalgo presentó el mayor decrecimiento con -16.98%, seguida de la microcuena Ad1 la comunidad de Tembladeras con -14.29% de reducción en el número de sus viviendas; en la microcuena Da13 la localidad de Mixteca 1ra. Sección con un -13.64% de decrecimiento; la microcuena Da12 la localidad de Mixteca 3ra. Sección registró un -11.59% de reducción, y finalmente la microcuena Ad3 la comunidad El Porvenir (De Quintín Arauz) la cual no presentó crecimiento con 0.00%. Espacialmente las localidades asentadas en las microcuencas Da8, Da13 y Da12 se localizan a la margen del río Bitzal, y

son comunidades en el que el único acceso es a través de lanchas o cayucos. Por otra parte, las Tembladeras se localiza al Noreste del polígono de la RBPC y se encuentra en un sitio remoto al cual se accede a través de un canal que no toda la época del año es transitable debido al crecimiento de la vegetación, y en el caso de El Porvenir (De Quintín Arauz) también es una comunidad asentada a la margen del río. En general, lo que caracteriza a estas comunidades es que son comunidades remotas que se asientan a la margen del río o de cuerpos de agua, por lo que pueden considerarse como comunidades anfibas.

5.1.2 CAMBIO DE COBERTURAS/USO DEL SUELO CUS DE HUMEDALES.

Los resultados del análisis de cambio de coberturas/uso del suelo (CUS) de los humedales corresponden la sumatoria de los cambios detectados en siete de las diez microcuencas, las cuales son: Aa1, Aa2, Aa3, Ad3, Da8, Da12, y Da13, los cuales se desglosan en el Anexo 2. En la Tabla 8 se presentan los cambios de humedales de *manglar* y *popal-tular* entre el primer periodo referente al t₁ (1993) y t₂ (2007), y el segundo periodo correspondiente al t₂ (2007) y t₃ (2018). Estos muestran los resultados de las pérdidas y ganancias de los humedales de *manglar* asentados en los tipos de suelo *gleysol eútrico* y *solonchack gléyico*, así como los datos del *popal-tular* establecidos en los tipos de suelo *gleysol eútrico*, *gleysol vértico* y *solonchack gléyico* durante los periodos de tiempo antes mencionados.

Tabla 8. Resultados del análisis CUS en humedales de la RBPC.

Vegetación	Tipo de Suelo	t ₁ -t ₂ (1993-2007)		t ₂ -t ₃ (2007-2018)		Transición (i) (cambio de uso del suelo, pérdida o ganancia) (t ₂ - t ₃) (LUC) por asentamientos humanos 2010) (ha)
		Pérdida (ha)	Ganancia (ha)	Pérdida (ha)	Ganancia (ha)	
Manglar	Gleysol eútrico	-473.00	776.00	-949.00	37.00	0.9518
	Solonchack gléyico	-2.00	810.00	-3,192.00	0.00	0.00
Popal-Tular	Gleysol eútrico	-5,896.00	1,934.00	-887.00	6,213.00	48.47
	Gleysol vértico	-283.00	8.00	-8.00	332.00	0.00
	Solonchack gléyico	-803.00	17.00	0.00	3,192.00	0.00

Los resultados de las coberturas/uso del suelo de los humedales de *manglar* establecido en el tipo de suelo *gleysol eútrico*, muestran que tuvo una pérdida entre el t_1 y t_2 de -473.00 ha, mientras que en el t_2 y t_3 esta correspondió a -949.00 ha, esto representa una diferencia de la pérdida de cobertura natural del manglar del 50.16% entre ambos periodos de análisis, reflejándose una mayor pérdida para el segundo periodo de análisis. Por otro lado, los datos de la ganancia de cobertura fueron de 776.00 ha entre el t_1 y t_2 y de 37.00 ha para el periodo entre t_2 y t_3 , por lo que representa una la diferencia notable de la ganancia de cobertura de este tipo de humedal en un 95.23% entre el primer y segundo periodo de análisis, disminuyendo significativamente la ganancia para el segundo periodo.

En lo que respecta a la pérdida de las coberturas/uso del suelo de los humedales de *manglar* asentado en el tipo de suelo *solonchack gléyico* para el primer periodo de tiempo entre el t_1 y t_2 fue de -2.00 ha, mientras que en el t_2 y t_3 fue de -3.192.00 ha lo cual representa una diferencia de la pérdida del humedal representando el 99.94% entre el segundo y el primer periodo de estudio, siendo notablemente mayor la pérdida en el segundo periodo. En lo que respecta a la ganancia coberturas/uso del suelo de este humedal se tuvo que para el periodo comprendido entre t_1 y t_2 fue de 810.00 ha; no obstante, para el periodo del t_2 y t_3 no se reflejaron ganancias en esta categoría.

En general, el fenómeno de los *cambios de coberturas/uso del suelo* observados en las microcuencas seleccionadas para el caso del *manglar* en ambos tipos de suelo (*gleysol eútrico* y *solonchack gléyico*) presentaron un aumento en la pérdida de su cobertura natural en el tiempo; no así en el caso de las ganancias que disminuyeron significativamente (*gleysol eútrico*) o no presentaron cambios (*solonchack gléyico*) en el periodo de estudio más reciente.

Por otra parte, los resultados de las coberturas/uso del suelo de los humedales de *popal-tular* correspondientes al tipo de suelo *gleysol eútrico* muestran que la pérdida del humedal entre el t_1 y t_2 fue mayor con -5,896.00 ha, mientras que en el t_2 y t_3 fue de -887.00 ha lo cual representa una diferencia de 84.96 % entre el primer y segundo periodo de análisis lo que indica una pérdida de mayor magnitud en el primer periodo de estudio. Los hallazgos sobre las ganancias de este tipo de humedal mostraron que entre el t_1 y t_2 hubo 1,934.00 ha de ganancia, las cual aumentaron notoriamente para el periodo entre el t_2 y t_3 con 6,213.00 ha,

representando una diferencia porcentual de la ganancia de 68.87% entre el segundo y el primer periodo de estudio.

Respectivamente los resultados obtenidos para el *popal-tular* correspondientes al tipo de suelo *gleysol vértico* muestra que las pérdidas de cobertura/uso del suelo de este humedal entre el t_1 y t_2 fueron de -283.00 ha y de -8.00 ha para t_2 y t_3 por lo que se halló una disminución de la diferencia entre ambos periodos del 97.17% siendo mayor en el primer periodo de estudio. Las ganancias reflejadas en esta categoría de análisis para el t_1 y t_2 fueron de 8.00 ha, aumentado para el t_2 y t_3 la cual fue 332.00 ha, obteniendo una diferencia porcentual del 97.59 % entre el segundo y el primer periodo de análisis.

Los hallazgos para la cobertura/uso del suelo del *popal-tular* asentado en suelos de *solonchack gléyico* revelan que las pérdidas entre el t_1 y t_2 fueron de -803.00 ha y a diferencia de las otras dos categorías para este tipo de humedal en el t_2 y t_3 no se presentaron pérdidas. Sin embargo, en el caso de las ganancias los resultados mostraron que las ganancias para el primer periodo del t_1 y t_2 fueron de 17.00 ha, elevándose para el t_2 y t_3 siendo de 3,192.00 ha lo cual representó una diferencia notoriamente mayor en el segundo periodo con una diferencia del 99.47%.

En síntesis, podemos observar que el fenómeno de los cambios de cobertura/uso del suelo en las microcuencas seleccionadas, en el caso del *popal-tular* asentado en los tres tipos de humedal (*gleysol eútrico*, *gleysol vértico* y *solonchack gléyico*), las pérdidas del humedal disminuyeron (*gleysol eútrico* y *gleysol vértico*) o no ocurrieron (*solonchack gléyico*) con el paso del tiempo, pero sus ganancias aumentaron de manera significativa independientemente del tipo del suelo en el que se asentaron.

5.1.3 EFECTO EN LA TRANSICIÓN DE COBERTURAS NATURALES DE HUMEDALES POR ASENTAMIENTOS HUMANOS DE LA RBPC.

Asimismo, en la Tabla 8 podemos observar que los resultados obtenidos mediante el análisis de las cadenas de Markov en las microcuencas seleccionadas, para las transiciones ocurridas de coberturas naturales de humedales (*manglar* y *popal-tular*) hacia usos del suelo de asentamientos humanos, revelaron que el *manglar* asentado en suelos de *gleysol eútrico* se

transformó en usos del suelo de *asentamientos humanos* en una superficie de 0.9518 ha durante el periodo de estudio, en contraste con los asentados en tipo de suelo de *solonchack gléyico* el cual no presentó cambios hacia asentamientos humanos, por lo que las pérdidas ocurridas pudieron cambiar hacia alguna de las otras categorías. Así también el caso de las transiciones ocurridas de la cobertura de *popal-tular* hacia usos del suelo de asentamientos humanos se encontró que esta transformación antropogénica únicamente ocurrió para estos humedales asentados en suelos de *gleysol eútrico* con una superficie de 48.47 ha, por lo que las pérdidas de este tipo de humedal asentados en suelos de *gleysol vértico* y *solonchack gléyico* pudieron haber cambiado hacia otro tipo de categorías.

Los hallazgos con respecto a las transiciones ocurridas entre los humedales de *manglar* y *popal-tular* que se transformaron hacia asentamientos humanos únicamente se presentaron cuando estos correspondieron al suelo de tipo *gleysol eútrico*. Con esto, se puede inferir que el impacto de los asentamientos humanos en los humedales de la RBPC en las microcuencas seleccionadas está relacionado con el *manglar* y *popal-tular* establecidos en suelos de tipo *gleysol eútrico*.

Bajo este contexto, podemos rechazar el supuesto investigativo planteado que **“A mayor cambio de coberturas/uso del suelo (CUS) de humedales, aumenta su efecto en la transición de coberturas naturales de humedales por asentamientos humanos de la RBPC”**. En principio y como se mencionó anteriormente se observó que las transiciones de los humedales (*manglar* y *popal-tular*) hacia asentamientos humanos sólo se presentaron cuando estos se encontraban en suelos de tipo *gleysol eútrico*. Así también, las pérdidas del *manglar* aumentaron mientras que para el *popal-tular* disminuyeron en suelos de *gleysol eútrico* durante el periodo de estudio. Cabe señalar, que la magnitud de estas pérdidas de las coberturas naturales de humedales dentro de las microcuencas seleccionadas en el polígono de la RBPC hacia asentamientos humanos representó porcentajes poco significativos del 0.10 % del *manglar* y 5.46 % del *popal-tular*, por lo que se infiere que el mayor porcentaje de las pérdidas se transformaron en otro tipo de coberturas/ usos del suelo.

5.2 OBJETIVO ESPECÍFICO 2: DETERMINAR EL IMPACTO DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS EN LA PÉRDIDA DE RETENCIÓN DE AGUA EN LOS HUMEDALES DE LA RBPC.

5.2.1 IMPACTO DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS.

En esta sección se consideraron únicamente los tipos de humedales (*manglar* y *popal-tular*) asentados en suelos de *gleysol eútrico* debido a la visibilidad de los *impactos de los asentamientos humanos*, en la transformación de sus coberturas naturales hacia este uso del suelo antropogénico, lo cual indica que cierto porcentaje de sus pérdidas entre el t₂ y t₃ se debió a que cambiaron por dichos asentamientos.

En este sentido, los resultados obtenidos a partir del Análisis de las cadenas de Markov muestran que la transición de los humedales naturales de la RBPC (*manglar* y *popal-tular*) cuando estos coinciden con el tipo de suelo *gleysol eútrico* y el impacto de los *asentamientos humanos* por las transiciones ocurridas de sus pérdidas hacia este uso antropogénico.

Tabla 9. Resultados de impactos humanos en la pérdida de cobertura natural de los humedales del área de estudio con base en el Análisis CUS y de cadenas de Markov.

Vegetación	Tipo de Suelo	t ₂ -t ₃ (2007- 2018) Pérdida (ha)	(i) (cambio de uso de la tierra, pérdida o ganancia) (t ₂ - t ₃) (LUC) por asentamientos humanos 2010) (ha)	Superficie total de las microcuenc as (ha)	% de cambio con respecto a la superficie total de las microcuenc as	% de cambio de las pérdidas de humedal hacia asentamientos humanos
Manglar	Gleysol eútrico	-949.00	0.9518	64,014.16	0.00149	0.10
Popal-Tular	Gleysol eútrico	-887.00	48.47	64,014.16	0.07573	5.47

Como se mencionó en la sección anterior, las transiciones de *manglar* hacia *asentamientos humanos* corresponden a 0.9518 ha lo cual representa un 0.00149% del total de la superficie

de las diez microcuencas, y 0.10% de las pérdidas del *manglar* en entre t_2 y t_3 lo cual se consideran impactos de baja magnitud considerando dichos porcentajes (Tabla 9).

Por otra parte, el *popal-tular* se transformó hacia *asentamientos humanos* en 48.47 ha en el segundo periodo de estudio, lo cual representa un porcentaje del total de la superficie de las microcuencas de 0.07573%, así como el 5.47% del total de las pérdidas del humedal entre el t_2 y t_3 , de tal manera que, a pesar de presentar mayores transformaciones hacia los asentamientos humanos, a nivel de paisaje se considera que este impacto es de poca magnitud.

Aunado a lo anterior y derivado de la importancia de las evidencias aportadas por diversos autores en cuanto a la dinámica de los cambios de las coberturas naturales de humedales (*manglar* y *popal-tular*) hacia los usos agrícolas, se observó que los cambios ocurridos en de la categoría de humedales hacia usos agrícolas durante el periodo t_2 y t_3 fue de 41.04 ha en el caso del *manglar* y 350.1 ha para el *popal-tular*, y los cambios de la categoría *Agricultura-Pastizal* hacia *asentamientos humanos* fue de 409.5 ha. Es importante recalcar, que es importante evidenciar estos cambios del humedal hacia usos agrícolas ya que a largo plazo estos tienden a convertirse en asentamientos humanos disminuyendo la capacidad de retención del agua del humedal natural debido que se consideran cambios permanentes en usos antropogénicos que muy difícilmente vuelven a recuperar su capacidad natural.

5.2.2 PÉRDIDA DE RETENCIÓN DE AGUA EN LOS HUMEDALES DE LA RBPC.

Los humedales naturales (*manglar* y *popal-tular*) dentro del área de estudio se distribuyeron en tres diferentes tipos de suelo: *gleysol eútrico*, *gleysol vértico* y *solonchack gléyico*, siendo los más abundantes dentro de las microcuencas el tipo de suelo *gleysol eútrico*. A partir de los resultados obtenidos de los análisis gravimétricos y volumétricos hechos en los diferentes tipos de suelo se realizaron los cálculos de *almacenamiento o retención de agua en el suelo (WR)* a un total de 17 muestras de suelo con sus respectivas réplicas (n=34) (Tabla 4), las cuales corresponden a 13 muestras del tipo de suelo *gleysol eútrico* (n=26), dos muestras de *gleysol vértico* (n=4), y dos de *solonchack gléyico* (n=4).

En el Anexo 3 se muestran los datos obtenidos del peso del tarado de los cilindros (en g), el peso húmedo (Mh) (en g), y el peso seco (Ms) (en g) de las muestras, y se estimaron los valores de las variables de humedad gravimétrica, densidad aparente, humedad volumétrica y profundidad de toma de la muestra, a partir de las cuales se calculó el *Almacenamiento o retención de agua en el suelo (WR)*, utilizando la **Ec. 5**.

Tabla 10. Valores de Almacenamiento o retención de agua por tipo de suelo (WR)

Tipo de Suelo	Valor de Retención de agua en el suelo (WR) (m ³ /ha ⁻¹)	
Gleysol eútrico	mínimo	55,513.24
	máximo	194,607.03
	promedio (n=26)	112,519.30
Gleysol vértico	mínimo	50,496.68
	máximo	139,361.96
	promedio (n=4)	93,978.20
Solonchack gléyico	mínimo	14,591.33
	máximo	79,908.51
	promedio (n=4)	45,021.80

En la Tabla 10 se observan los resultados seleccionados de los valores de *WR* máximos, mínimos y promedios obtenidos para cada tipo de suelo. A partir de este análisis podemos observar que el tipo de suelo *gleysol eútrico* obtuvo los valores más elevados de almacenamiento o retención de agua con un valor mínimo de retención de agua de 55,513.24 m³/ha⁻¹, mientras que su capacidad máxima de retención es de 194,607.03 m³/ha⁻¹ y un promedio estimado de 112,519.30 m³/ha⁻¹. Los suelos de *gleysol vértico* fueron los segundos con una capacidad de retención de agua mínima de 50,496.68 m³/ha⁻¹, un valor máximo de 139,361.96 m³/ha⁻¹ y un promedio de 93,978.20 m³/ha⁻¹, mientras que el *solonchack gléyico* fue el tipo de suelo con menor capacidad de retención o almacenamiento de agua con un mínimo de 14,591.33 m³/ha⁻¹, un máximo de 79,908.51 m³/ha⁻¹ y un promedio de 45,021.80 m³/ha⁻¹.

A partir de los datos de los impactos por *asentamientos humanos* (LUC) y el *valor de retención de agua para cada tipo de suelo (WR)*, se realizaron los cálculos de *Cantidad total*

de pérdida de retención de agua (*LWR*) con base en la fórmula de la **Ec. 6** mencionada en el apartado de procedimiento.

Tabla 11. Resultados del cálculo del impacto de los asentamientos humanos en la pérdida de retención de agua (*LWR*) en los humedales de la RBPC.

Vegetación	Tipo de Suelo	(i) LUC (t2 - t3) por asentamientos humanos 2010) (ha)	(WR) (m ³ /ha ⁻¹)	Cantidad total de LWR (LWR= Σ(LUCi * WRi) (m ³))	
Manglar	Gleysol eútrico	0.9518	mínimo	55,513.24	52,837.51
			máximo	194,607.03	185,226.97
			promedio	112,519.30	107,095.87
Popal-Tular	Gleysol eútrico	48.47	mínimo	55,513.24	2,690,998.96
			máximo	194,607.03	9,433,556.09
			promedio	112,519.30	5,454,361.82

LWR= Loss of soil water retention = Cantidad total de Pérdida de retención de agua del suelo.

LUC= Land use change and loss of vegetation cover = Cambio de uso de suelo y pérdida de cobertura natural.

WR= Soil water retention per ha = Retención de agua del suelo por ha.

Los resultados mostrados en la Tabla 11 de la *Cantidad total de pérdida de retención de agua (LWR)* indican que los humedales de *popal-tular* asentados en suelos de *gleysol eútrico* presentaron la mayor *cantidad de pérdida de retención de agua* debido a que el 5.47% de sus pérdidas de cobertura natural se transformaron en *asentamientos humanos* (48.47 ha), mientras que el *manglar* presentó menores pérdidas debido a que su transformación en este tipo de *asentamientos humanos* (0.9518 ha) correspondió al 0.10% de sus pérdidas de cobertura natural.

La *Cantidad total de pérdida de retención de agua (LWR)* de humedales de *popal-tular* en suelos de *gleysol eútrico* por *asentamientos humanos* osciló en un rango máximo de 194,607.03 m³ y un mínimo de 55,513.24 m³, estimando un promedio de pérdida de 112,519.30 m³. Por su parte, los humedales de *manglar* relacionados con suelos de *gleysol eútrico* evidenciaron un rango de pérdida de retención de agua de máximo 9,433,556.09 m³ y un mínimo de 2,690,998.96 m³, con un promedio de 5,454,361.82 m³.

A partir de estos datos podemos concluir que la *cantidad de pérdida de retención de agua* en humedales de *popal-tular* con estratos de suelo de tipo *gleysol eútrico* presentaron una mayor magnitud de *pérdida de retención de agua*, debido a la transformación de sus pérdidas de cobertura natural en uso de suelo de *asentamientos humanos*. Esto contrasta con la *cantidad de pérdida de retención de agua* ocurrida en los humedales de *manglar* distribuidos en suelos de *gleysol eútrico* ya que estos presentaron una menor *cantidad de pérdida de retención de agua* debido a que sus pérdidas de coberturas naturales que se transformaron uso de suelo de *asentamientos humanos* fueron poco significativas.

Por consiguiente, estos resultados adquieren una relevancia importante, ya que como se mencionó anteriormente el *gleysol eútrico* fue el tipo de suelo que mayor cantidad de agua es capaz de retener, por lo que las pérdidas de coberturas naturales de humedales que cuentan con este tipo de estrato y que se transforman en *asentamientos humanos* implican una mayor *pérdida de retención o almacenamiento de agua* y por lo tanto el deterioro del servicio ecosistémico de regulación de inundaciones en el área de estudio.

En conclusión, podemos aceptar el supuesto investigativo planteado de “***A mayor impacto de los asentamientos humanos, mayor pérdida de retención de agua en el suelo de los humedales de la RBPC***”. Cabe mencionar, que los hallazgos encontrados permiten inferir que en el caso de los humedales de *popal-tular* con estratos de suelo de *gleysol eútrico* localizados dentro de las microcuencas seleccionadas, si se encontró una relación entre un mayor *impacto de los asentamientos humanos* establecidos en lo que anteriormente fueron coberturas naturales de dicho humedal, y esto dio como consecuencia una mayor *pérdida de retención de agua* en estos suelos de humedales dentro del polígono de la RBPC.

5.3 OBJETIVO ESPECÍFICO 3: CALCULAR LOS COSTOS DE PREVENCIÓN DE INUNDACIONES Y LA PROPORCIÓN QUE REPRESENTA EL VALOR DE LOS COSTOS EVITADOS INDIRECTOS (*Evi*) DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE CONTROL DE INUNDACIONES EN LOS HUMEDALES DE LA RBPC.

5.3.1 ESTIMACIÓN DEL COSTE ECONÓMICO DE LAS INUNDACIONES (*TEC*).

Para estimar el costo total económico total de las inundaciones (*TEC*), primero se calculó el *valor económico en precios corrientes y constantes por tipo de artículo perdido (i) y por vivienda particular habitada (j)*. Para esto primero se estimaron las cantidades (*Q*) del mismo artículo perdido por (*i*) número de viviendas particulares. (*j*) y posteriormente se calcularon los Valores económicos promedio a precios corrientes (*AEV*) de los objetos perdidos (*i*) por vivienda particular habitada (*j*) tal como se indica en procedimiento del numeral el 4.4.3.1 de este documento. Los resultados desglosados del *TEC* se muestran en el Anexo 6.

Cantidad (Q) del mismo objeto perdido por (i) número de viviendas particulares habitadas (j)

Primeramente, y con base en análisis de los datos recopilados a través de la Base de Datos del Censo de Población y Vivienda del INEGI del año 2020 de las 32 localidades rurales afectadas seleccionadas dentro del polígono de la RBPC (Ver Anexo 4), y como puede observarse en la Tabla 12 se obtuvo que la población total afectada fue de 11,427 habitantes lo cual corresponde al 46.57% de la población total de la RBPC estimados hasta el año 2010 (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [CONANP], 2022).

Por otra parte, el total de *viviendas particulares* entendidas como aquellos espacios delimitados por techos y paredes destinado para el alojamiento de personas que forman hogares censales y que posiblemente registraron pérdidas durante el evento de inundación de octubre y noviembre de 2020 asentadas en las 32 localidades seleccionadas en este estudio es de 3,441.

Sin embargo, se destaca que para los fines de esta investigación se tomaron como referencia para la cuantificación de los *artículos (electrodomésticos y muebles) perdidos*, un total de 3,095 *viviendas particulares habitadas* ya que estas contaban con alguna persona residente habitual al momento de realizar la entrevista del censo (INEGI, 2023). Partiendo de este dato, y debido que para realizar la cuantificación de algunos artículos perdidos no encontramos resultados directos en el Censo de Población y Vivienda 2020, nos permitimos hacer algunas inferencias y cálculos indirectos a partir de los datos de las viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica (n=3038) y de las viviendas particulares habitadas sin ningún bien (n=187) los cuales se presentan en la Tabla 15.

Tabla 12. Cantidad (Q) del mismo artículo (electrodomésticos y muebles) perdido por (i) número de viviendas particulares habitadas (j) de las 32 localidades rurales de la RBPC afectadas por las inundaciones de octubre y noviembre de 2020.

Datos	Total de población y viviendas damnificadas (CENSO INEGI 2020)	Obtención de información
Población total	11,427	*
Total de viviendas particulares	3,441	*
Total de viviendas particulares habitadas	3,095	*
Viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica.	3,038	*
Viviendas particulares habitadas sin ningún bien	187	*
a) Viviendas particulares habitadas que disponen de estufa	2,908	**
b) Viviendas particulares habitadas que disponen de refrigerador	2,235	****
c) Viviendas particulares habitadas que disponen de ventilador	3,038	***
d) Viviendas particulares habitadas que disponen de lavadora	1,991	****
e) Viviendas particulares habitadas que disponen de horno de microondas	183	****
f) Viviendas particulares habitadas que disponen de televisor	2,443	****
g) Viviendas particulares habitadas que disponen de reproductor de música (radio)	1,074	****
h) Viviendas particulares habitadas que disponen de teléfono de casa (línea telefónica fija)	304	****
i) Viviendas particulares habitadas que disponen de muebles de sala	2,908	**
j) Viviendas particulares habitadas que disponen de muebles de comedor	2,908	**
k) Viviendas particulares habitadas que disponen de camas	2,908	**
l) Viviendas particulares habitadas que disponen de computadora (PC o laptop) (computadora laptop o tablet)	98	****
m) Viviendas particulares habitadas que disponen de licuadora	3,038	***
n) Viviendas particulares habitadas que disponen de batidora	3,038	***
o) Viviendas particulares habitadas que disponen de coche o moto	466	*****
Total= 29,540		

Datos	Total de población y viviendas damnificadas (CENSO INEGI 2020)	Obtención de información
-------	--	--------------------------------

* Censo de Población y Vivienda INEGI (2020).

** Este dato se obtuvo de la diferencia del Total de viviendas particulares habitadas menos Viviendas particulares habitadas sin ningún bien.

*** Este dato se obtuvo infiriendo que para el funcionamiento de este electrodoméstico la vivienda particular habitada debe disponer de energía eléctrica, por lo cual se llevó a cabo la sumatoria del mismo dato para las 32 localidades.

**** Sumatoria de los datos del Censo de Población y Vivienda del total de viviendas que disponían del mismo artículo perdido en el año 2020 en las 32 localidades rurales de la RBPC.

***** Sumatoria del total de Viviendas particulares habitadas que disponen de automóvil o camioneta (n=152) y total de Viviendas particulares habitadas que disponen de motocicleta o motoneta (n=314).

Fuente: Elaboración propia a partir de la información obtenida de Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI.

Dicho lo anterior, en la Tabla 15 podemos observar que la *cantidad de artículos (electrodomésticos y muebles) perdidos* en las 32 localidades fue de 29,540. De estos los resultados obtenidos de manera directa a partir de la sumatoria de las viviendas particulares habitadas que disponían de estos artículos en cada localidad rural fueron 2,235 refrigeradores 1,991 lavadoras, 183 hornos de microondas, 2,443 televisores, 1,074 reproductores de música (radio), 304 teléfonos de casa (línea telefónica fija) y 98 computadoras (PC o laptop).

Por otra parte, la cantidad de artículos perdidos en el caso de la estufa, muebles de sala, muebles de comedor y camas, fue estimada de manera indirecta a través de la diferencia del total de viviendas particulares habitadas menos las viviendas particulares habitadas sin ningún bien. A partir de esta inferencia, se encontró que en las 32 localidades rurales seleccionadas se habían perdido un total de 2,908 estufas, muebles de sala, muebles de comedor y camas respectivamente (Ver Tabla 12).

En el caso de los 3,038 ventiladores, 3,038 licuadoras y 3,038 batidoras dañados mostrados en la Tabla 12, se infirió que para poder utilizar dichos electrodomésticos las viviendas particulares habitadas debían disponer de energía eléctrica, por lo que estos resultados se calcularon indirectamente a través de la sumatoria de los datos del censo de población y vivienda 2020 de las 32 localidades afectadas para aquellas viviendas que disponían de este servicio.

Finalmente, en el caso de las viviendas particulares habitadas que disponían de un total de 466 coches o motos, el resultado se obtuvo indirectamente a través de la sumatoria de los

datos de las de viviendas particulares habitadas que disponían de automóvil o camioneta (n=152) y total de Viviendas particulares habitadas que disponen de motocicleta o motoneta (n=314).

Valor económico en precios corrientes por tipo de artículo perdido (i) y por vivienda particular habitada (j) (EVCij).

Para estimar el *valor económico en precios corrientes por tipo de artículo perdido (i)* se obtuvo un promedio de los costos de estos artículos a través de la consulta de los precios promedio incluidos en el INPC tal como se describe en el procedimiento del numeral 3.4.3.1 de este documento. Para estos fines y a través de los resultados obtenidos de los *valores económicos promedio (AEV)* mostrados en el Anexo 5 se calcularon los precios corrientes aproximados que tenían los artículos perdidos al momento de la compra en el año 2010 en moneda mexicana (pesos MXN).

Posteriormente se calculó el *valor económico en precios corrientes por tipo de artículo perdido (i) por vivienda particular habitada (j) (EVCij)*, utilizando la **Ec. 7**, donde se relacionaron los valores obtenidos de la estimación de la cantidad del mismo artículo perdidos (Q) por el número de viviendas particulares habitadas y los datos de los *valores económicos promedio a precios corrientes (AEV)* por vivienda particular habitada.

De manera general en la Tabla 13 podemos observar que el valor económico de las inundaciones de las 32 localidades rurales seleccionadas en este estudio, en precios corrientes (EVC) y considerando únicamente los 15 artículos (electrodomésticos y muebles) mencionados anteriormente y por vivienda particular habitada (j), y con los precios promedio calculados para cada uno de estos durante el año de la compra (2010) ascendieron a un total de \$199,292,006.72 pesos mexicanos.

Tabla 13. Valor económico en precios corrientes por tipo de artículo perdido (i) y por vivienda particular habitada (j) (EVCij).

Tipo de artículo (electrodomésticos y muebles) perdido	Cantidad (Q) del mismo artículo perdido por (i) número de viviendas particulares habitadas (j) pzas Tabla 12	Valor económico promedio a precios corrientes (AEV) de los objetos perdidos (i)* por vivienda particular habitada (j) en pesos MXN Anexo 5	Ec. 7
			$EVC_{ij} = Q_{ij} * AEV_{ij}$ en pesos MXN
a) Estufa	2,908	\$ 3,417.17	\$ 9,937,130.36
b) Refrigerador	2,235	\$ 5,714.50	\$ 12,771,907.50
c) Ventilador	3,038	\$ 490.53	\$ 1,490,222.55
d) Lavadora	1,991	\$ 5,515.75	\$ 10,981,858.25
e) Horno de microondas	183	\$ 1,209.50	\$ 221,338.50
f) Televisión	2,443	\$ 6,397.25	\$ 15,628,481.75
g) Reproductor de música	1,074	\$ 2,614.19	\$ 2,807,638.72
h) Teléfono de casa	304	\$ 445.00	\$ 135,280.00
i) Muebles de sala	2,908	\$ 9,830.15	\$ 28,586,061.66
j) Muebles de comedor	2,908	\$ 8,790.60	\$ 25,563,055.11
k) Camas	2,908	\$ 5,167.75	\$ 15,027,817.00
l) Computadora (PC o laptop)	98	\$ 13,791.01	\$ 1,351,518.98
m) Licuadora	3,038	\$ 521.08	\$ 1,583,025.85
n) Batidora	3,038	\$ 161.00	\$ 489,118.00
o) Coche o moto	466	\$ 156,046.25	\$ 72,717,552.50
Total $\sum EVC_{ij} =$			\$ 199,292,006.72

*Consulta en línea de los precios promedio del INPC, enero 2011.

Fuente: Elaboración propia a partir de información del Censo de Población y Vivienda 2020 y el INPC del mes de enero 2011 numerales 4.1. Muebles y aparatos domésticos y 6.2. Transporte por cuenta propia.

Posteriormente, y con base en la **Ec. 8** se procedió a estimar el valor económico total a precios constantes de los artículos perdidos (i) y por vivienda particular habitada (j) (EVCOij), con la finalidad de eliminar el efecto de la inflación de los precios y convertirlos a valor real al momento del evento de inundación de octubre y noviembre de 2020.

Finalmente, con los valores económicos de los precios constantes de los artículos perdidos (i) por vivienda particular habitada (j), se pudo estimar el *Costo Económico Total de las Inundaciones (TEC)* utilizando la **Ec. 9**, el cual fue estimado en \$262,485,991.45 pesos MXN. Tal como se presenta en la Tabla 14 este se considera como el valor real de TEC al momento de la inundación de octubre y noviembre de 2020 basados en estos 15 artículos

(electrodomésticos y muebles) perdidos en las 32 localidades rurales dentro del polígono de la RBPC que fueron seleccionadas en esta investigación.

Tabla 14. Valor económico total a precios constantes de los artículos perdidos (i) por vivienda particular habitada (j) $EVCO_{ij}$.

Tipo de artículo (electrodomésticos y muebles) perdido	EVC_{ij} en pesos MXN	INPC año 2020	Y*	$EVCO_{ij} = EVC_{ij} * INPC_{2020}$	
				$INPC_Y$	$INPC_Y / INPC_Y$ en pesos MXN
a) Estufa	\$ 9,937,130.36	105.893	2010	80.40	\$ 13,088,119.08
b) Refrigerador	\$ 12,771,907.50	105.893	2010	80.40	\$ 16,821,782.56
c) Ventilador	\$ 1,490,222.55	105.893	2010	80.40	\$ 1,962,760.82
d) Lavadora	\$ 10,981,858.25	105.893	2010	80.40	\$ 14,464,122.26
e) Horno de microondas	\$ 221,338.50	105.893	2010	80.40	\$ 291,523.26
f) Televisión	\$ 15,628,481.75	105.893	2010	80.40	\$ 20,584,154.85
g) Reproductor de música	\$ 2,807,638.72	105.893	2010	80.40	\$ 3,697,919.67
h) Teléfono de casa	\$ 135,280.00	105.893	2010	80.40	\$ 178,176.26
i) Muebles de sala	\$ 28,586,061.66	105.893	2010	80.40	\$ 37,650,485.13
j) Muebles de comedor	\$ 25,563,055.11	105.893	2010	80.40	\$ 33,668,906.12
k) Camas	\$ 15,027,817.00	105.893	2010	80.40	\$ 19,793,023.86
l) Computadora (PC o laptop)	\$ 1,351,518.98	105.893	2010	80.40	\$ 1,780,075.40
m) Licuadora	\$ 1,583,025.85	105.893	2010	80.40	\$ 2,084,991.35
n) Batidora	\$ 489,118.00	105.893	2010	80.40	\$ 644,213.61
o) Coche o moto	\$ 72,717,552.50	105.893	2010	80.40	\$ 95,775,737.21
Total $\sum EVCO_{ij}$					\$ 262,485,991.45
TEC=					\$ 262,485,991.45

TEC= Costo Económico Total de las Inundaciones, en pesos MXN.

INPC: Índice Nacional de Precios al Consumidor.

*Y= Estimación del año de la compra del artículo (2010), restando el tiempo de uso en años (T=10) para cada artículo perdido (i) al año 2020, año de la inundación.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos del INPC publicados por el INEGI para los años 2010 y 2020.

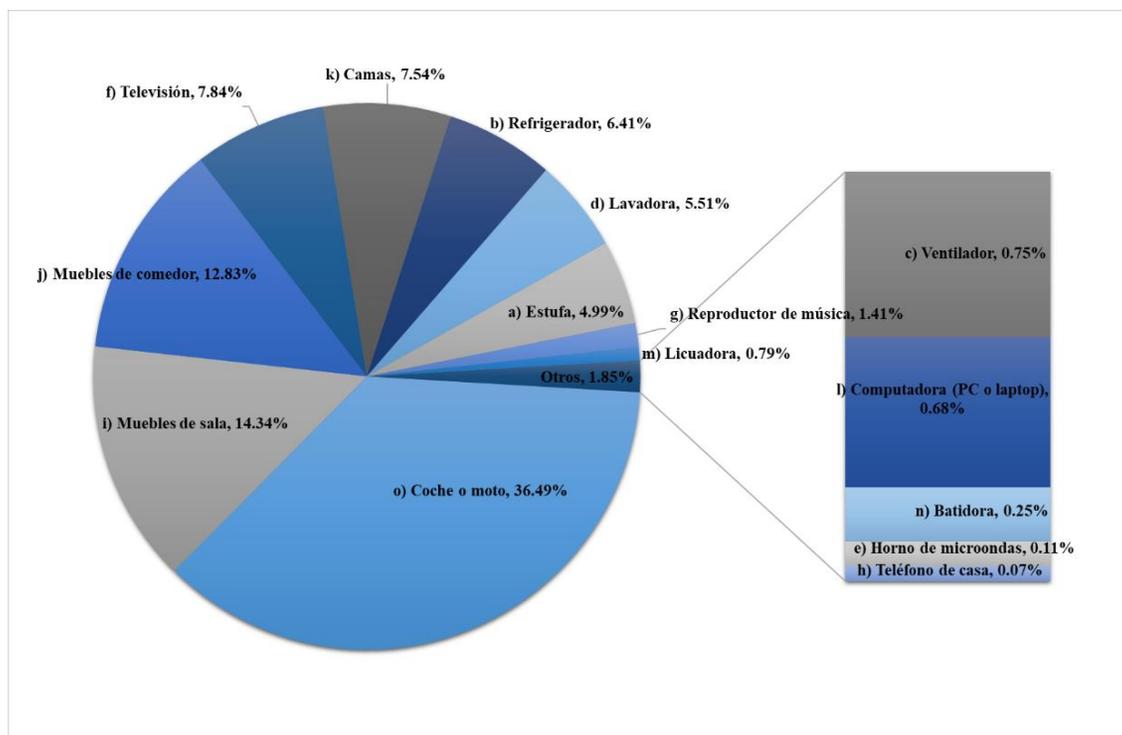


Figura 11. Distribución de los porcentajes del TEC que representan los artículos (electrodomésticos y muebles) perdidos. Fuente: Elaboración propia.

Al observar los hallazgos presentados en la Tabla 14 y acorde con lo que se resalta en la Figura 11 el 95.95% del TEC está representado por ocho artículos los cuales son: el o) coche o moto (36.49%), i) muebles de sala (14.34%), j) muebles de comedor (12.83%), f) televisión (7.84%), k) camas (7.54%), b) refrigerador (6.41%), d) lavadora (5.51%), y a) estufa (4.99%). Estos resultados coinciden en el hecho que son los artículos con los mayores valores económicos promedio a precios corrientes, y los que en conjunto suman la mayor cantidad de artículos perdidos.

Por otro lado, los siete artículos restantes conformaron el 4.05% restante, los cuales son: g) reproductor de música (1.41%), m) licuadora (0.79%), c) ventilador (0.75%), l) computadora (PC o laptop) (0.68%), n) batidora (0.25%), e) horno de microondas (0.11%) y h) teléfono de casa (0.07%). En este caso, se resalta que seis de los siete artículos con excepción de la computadora (PC o laptop), coincidieron en que tenían el menor valor económico promedio a precios corrientes, y en conjunto sumaron un número menor de artículos perdidos.

5.3.2 COSTO EVITADO INDIRECTO (EV_i).

Valor del agua retenida en el suelo (WRV)

Para llevar a cabo el cálculo del *Valor del agua retenida en el suelo (WRV) de los humedales (manglar y popal-tular)* se utilizó la **Ec. 10**. En esta fórmula se combinaron el resultado del *Costo económico total de las inundaciones (TEC)* entre *Cantidad de pérdida de agua retenida por el cambio de cobertura/uso del suelo (LWR)*.

En la Tabla 15 se muestran los hallazgos sobre *el valor del agua retenida en el suelo de los humedales (manglar y popal-tular)*, por lo que de manera general podemos concluir que este caso el manglar en tipo de suelo gleysol eútrico tuvo un valor del agua retenida mayor al del popal-tular asentado en suelos de gleysol eútrico.

Tabla 15. Valor del agua retenida en el suelo (WRV).

Costo económico total de las inundaciones (TEC) (\$ pesos MXN)	Cantidad de pérdida de agua retenida por el cambio de cobertura/uso del suelo (LWR) (m ³)	Valor del agua retenida en el suelo (WRV) (\$ pesos MXN por m ³) WRV=TEC/LWR
\$ 262,485,991.45	Manglar en Gleysol eútrico	mínimo 52,837.51 \$ 4,967.80
		máximo 185,226.97 \$ 1,417.10
		promedio 107,095.87 \$ 2,450.94
\$ 262,485,991.45	Popal-Tular en Gleysol eútrico	mínimo 2,690,998.96 \$ 97.54
		máximo 9,433,556.09 \$ 27.82
		promedio 5,454,361.82 \$ 48.12

Fuente: Elaboración propia.

El WRV de los humedales de *manglar en gleysol eútrico* fue calculado en un rango máximo de \$4,967.80 y \$1,417.10 pesos MXN por m³ mínimo, registrando un promedio de \$ 2,450.94 pesos MXN por m³. por otra parte el valor del agua retenida para el caso de los humedales de *popal-tular* en suelos de *gleysol eútrico* se estimó en un rango de \$ 97.54 y \$ 27.82 pesos MXN por m³, con un valor medio de \$ 48.12 pesos MXN por m³.

Así también, encontramos que existe una relación inversamente proporcional en el Valor del agua retenida en el suelo (WRV) obtenido, ya que cuando la Cantidad de pérdida de agua retenida por el cambio de cobertura/uso del suelo (LWR) es mínima el Valor del agua retenida en el suelo es mayor, mientras que cuando el LWR es mayor el WRV disminuye.

Debido a lo anterior, podemos inferir que los humedales (*manglar y popal-tular*) en suelos de *gleysol eútrico* de la RBPC que conservan su cobertura natural tendrán un mayor valor de retención de agua que cuando su uso se transforma en *asentamientos humanos*, ya que mantienen la posibilidad de otorgar los beneficios del servicio ecosistémico de control de inundaciones mediante el almacenamiento de agua durante los periodos de inundación disminuyendo ó evitando las pérdidas o los daños de artículos (electrodomésticos y muebles) en las viviendas asentadas en las localidades dentro del polígono del área natural.

Valor Económico de los humedales (manglar y popal-tular) por hectárea (i) ó costo evitado indirectos (EVi).

Seguido de lo anterior, se estimaron los valores económicos de los humedales (*manglar y popal-tular*) por hectárea (i) (EVi) utilizando la **Ec. 11**, relacionando los datos calculados de Retención de agua en el suelo (WRi) y el valor del agua retenida en el suelo ($WRVi$), para cada tipo de humedal estudiado, tal como se muestra en la Tabla 16.

De este modo fue posible determinar que los *Costos Evitados Indirectos (Evi)* en el periodo de la inundación de octubre y noviembre de 2020, en el caso del *manglar en suelos de gleysol eútrico* rondaron en un valor económico máximo de \$275,778,517.63 pesos MXN/ha/2020 y un mínimo de \$275,778,473.28 pesos MXN/ha/2020, con una media de \$275,778,515.25 pesos MXN/ha/2020. Del mismo modo, la estimación de los EVi del *popal-tular en suelos de gleysol eútrico* se mantuvieron en un rango máximo de \$5,414,884.77 pesos MXN/ha/2020 y un mínimo de \$5,414,884.23 pesos MXN/ha/2020, y con un cálculo promedio de \$5,414,884.64 pesos MXN/ha/2020.

Cabe resaltar, que las diferencias entre los costos de los rangos máximos y mínimos de los EVi de los humedales de la RBPC presentaron variaciones poco significativas en el orden de \$44.35 pesos MXN para la categoría del manglar y de \$0.54 pesos para el popal-tular, lo cual

se considera un margen mínimo debido a la magnitud de los cambios de cobertura y de los costos económicos totales.

Con la finalidad de homologar los resultados del valor económico o costos evitados indirectos estimados para los humedales de la RBPC a una moneda que nos permita contrastar estos resultados con los de otros autores, se realizó su conversión a dólares americanos (USD). Para esto se obtuvo que el 30 de octubre de 2020 el tipo de cambio de \$1 USD el cual era equivalente a \$21.2508 pesos MXN, lo cual se consideró como el valor del dólar americano durante la ocurrencia de la inundación en octubre y noviembre de 2020 (Banco de México [BANXICO], 2022).

Acorde con lo anterior, los *Costos Evitados Indirectos* (EV_i) del humedal del *manglar en gleysol eútrico* en la RBPC fueron de entre \$12,977,324.04 USD/ha/2020 y \$12,977,321.95 USD/ha/2020 con un promedio de \$12,977,323.92 USD/ha/2020. Mientras que en el caso del *popal-tular* asentado en suelos de *gleysol eútrico* se estimaron en un margen máximo de \$254,808.51 USD/ha/2020 y un mínimo de \$254,808.49 USD/ha/2020 con un valor promedio de \$254,808.51 USD/ha/2020.

Tabla 16. Valor económico de los humedales: costo evitado indirecto (EV_i).

Humedal		Valor del agua retenida en el suelo por tipo de humedal (WRV) (\$ pesos MXN por m ³)	Retención de agua en el suelo (WR) (m ³ /ha ⁻¹)	Valor Económico por hectárea de los humedales (<i>manglar y popal-tular</i>) de la RBPC (i) (EV_i)	Tipo de cambio 30-oct-2020 Serie histórica BANXICO	Valor Económico por hectárea de los humedales (<i>manglar y popal-tular</i>) de la RBPC (i) (EV_i)
				($EV_i = (WR_i * WRV_i)$)		(USD/ha/2020)
				(\$ pesos MXN/ha/2020)	(1 USD = \$21.2508 MXN)	(USD/ha/2020)
Manglar en Gleysol eútrico	mínimo	\$ 4,967.80	55,513.24	\$275,778,473.28		\$12,977,321.95
	máximo	\$ 1,417.10	194,607.03	\$275,778,517.63	\$ 21.2508	\$12,977,324.04
	promedio	\$ 2,450.94	112,519.30	\$275,778,515.25		\$12,977,323.92
Popal-Tular en Gleysol eútrico	mínimo	\$ 97.54	55,513.24	\$5,414,884.23		\$254,808.49
	máximo	\$ 27.82	194,607.03	\$5,414,884.77	\$ 21.2508	\$254,808.51
	promedio	\$ 48.12	112,519.30	\$5,414,884.64		\$254,808.51

Fuente: Elaboración propia.

Revisión y análisis beneficios / costos de información oficial de costos de prevención de inundaciones.

En la Tabla 17 y el Anexo 7 se muestran los resultados del Análisis Beneficios /Costos de manera desglosada y resumida considerando los costos unitarios de cada rubro en pesos MXN y en USD. Cabe señalar, que para llevar a cabo este análisis se planteó un horizonte de espacial y temporal que abarco el evento de inundación de octubre y noviembre de 2020 en Tabasco. Además, los cálculos de los *beneficios totales* de la mitigación del desastre natural por uso de servicio ecosistémico de control de inundaciones de los humedales de la RBPC se obtuvieron partir de los datos de las pérdidas del *manglar* (7.02 ha) y del *popal-tular* (9.45 ha) que se transformaron a *asentamientos humanos* en el área natural entre t_2 y t_3 e infiriendo que estos cambios ocurrieron en suelos de tipo *gleysol eútrico*.

Seguido de lo anterior, se revisaron fuentes de información secundaria (informes, reportes y comunicaciones) a través de los portales oficiales de diferentes instituciones gubernamentales. Se recopiló y se clasificó información referente a los *Costos de prevención de inundaciones* los cuales englobaron tres apartados principales: I. Costos de inversión en sistemas estructurales, II. Costos de gestión del riesgo y III. Costos de inversión en conservación de humedales. Finalmente se sumaron y se obtuvo que los Costos de prevención de inundaciones a través de las diferentes acciones que aplicó el gobierno fue de un monto de \$1,147,512,595.04 pesos MXN (\$53,998,559.82 USD), mismos que se consideraron como los costos totales en este análisis.

La finalidad de este análisis fue obtener la proporción de los que representaron los *Costos Evitados Indirectos (Evi)* de los humedales de la RBPC (*manglar y popal-tular*) entendidos como los *beneficios totales* con respecto a los *Costos de prevención de inundaciones* vistos como los *costos totales*. Por lo que los beneficios totales hallados en este estudio fueron de \$1,987,135,835.94 pesos MXN (\$93,508,754.30 USD).

Tabla 17. Análisis B/C resumido.

Costos de prevención de inundaciones		
Descripción	Costo unitario pesos MXN	Fuente
I. Costos de inversión en sistemas estructurales		
Fortalecimiento de la infraestructura de protección hídrica para la población en Tabasco de las inundaciones de 2020	\$111,390,000.00	CONAGUA (2020)
Dragado del río González, a la altura de las localidades El Rin, la Esperanza, San José (La Ilusión) en el municipio de Centla en el año 2020.	\$802,776,830.00	Gobierno de México (2021)
Infraestructura Hidráulica	\$1,244,078.90	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021)
Total Costos de inversión en sistemas estructurales = \$ 915,410,908.90		
II. Costos de gestión del riesgo		
Atención de la emergencia	\$225,900,000.00	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021)
Solicitud de autorización de recursos para emprender acciones de prevención y auxilio a la población afectada por el frente frío número 9 en el estado de Tabasco	\$4,672,136.14	IPCET (2020)
Total Costos de gestión del riesgo= \$ 230,572,136.14		
III. Costos de inversión en conservación de humedales		
Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (PROCODES) 2020 (RBPC).	\$ 1,529,550.00	CONANP (2020)
Total Costos de inversión en conservación de humedales= \$ 1,529,550.00		
Costos totales= \$ 1,147,512,595.04 pesos MXN		

Beneficios de los costos evitados indirectos de los humedales		
Descripción	Costo unitario pesos MXN	Fuente
I. Costo de mitigación de desastre natural por uso de servicio ecosistémico de control de inundaciones de los humedales de la RBPC. Costos Evitados Indirectos (Evi)		
Manglar en suelos de gleysol eútrico*	\$1,935,965,193.76	Elaboración propia
Popal-tular en suelos de gleysol eútrico*	\$51,170,642.18	Elaboración propia
Beneficios totales= \$ 1,987,135,835.94 pesos MXN		

A continuación se muestran los datos para la aplicación de la fórmula = B/C, donde:

$$B = \text{Beneficios totales} = \frac{\$ 1,987,135,835.94 \text{ pesos MXN}}{\$ 1,147,512,595.04 \text{ pesos MXN}} = C = \text{Costos totales} =$$

B/C= 1.7	Indica que los beneficios de los costos evitados indirectos de los humedales superaron los costos de prevención de inundaciones, por lo tanto deben considerarse que el proyecto es factible ambientalmente.
-----------------	--

Fuente: Elaboración propia.

*Este resultado corresponde a las pérdidas de humedales de manglar y popal-tular que se transformaron a asentamientos humanos en todo el polígono de la RBPC entre t2 y t3, al inferir que estas pérdidas ocurrieron en suelos de tipo gleysol eútrico.

Este resultado muestra que para el supuesto "Los beneficios de los costos evitados indirectos del servicio ecosistémico de control de inundaciones en los humedales de la RBPC fueron mayores que los costos de prevención de inundaciones", evaluado a través de la relación B/C los beneficios exceden los costos calculados por lo que se acepta esta afirmación por lo cual se considera factible ambientalmente evitar la transformación de los humedales hacia asentamientos y otros usos antropogénicos.

En términos de montos económicos los *costos evitados indirectos* de los humedales de *manglar y popal-tular* en suelos de *gleysol eútrico* que dejaron de prestar el servicio ecosistémico de control de inundaciones debido a su transformación en *asentamientos humanos* representan una proporción de 1.7 veces más que el costo de prevención de inundaciones calculado en este estudio, lo cual se considera significativo debido que en términos de mitigación de inundaciones estas afectaciones económicas y sociales no solo hubieran disminuido, si no que hubieran evitado el 100 % de los gastos gubernamentales que conllevaron la atención de esta emergencia.

Cabe mencionar, que los beneficios derivados de los servicios ecosistémicos de control de inundaciones se están calculando espacialmente únicamente para el polígono de la reserva natural, mientras que los costos aquí presentados son para todo el territorio del Estado de Tabasco, por lo que este resultado adquiere mayor relevancia debido a que si escalamos estos resultados a las tendencias de cambio de uso de suelo a todo el estado se podrá observar que, en términos económicos, los beneficios de los usos indirectos de la mitigación de las inundaciones que se están dejando de recibir de los humedales serán de mayor magnitud que los obtenidos mediante este análisis.

Si hablamos en términos de pérdida del humedal y su transformación a usos antropogénicos como los asentamientos humanos y de mantenerse o incrementar esta tendencia, es muy probable que afectará la oferta del servicio ecosistémico de control de inundaciones, y en consecuencia se perderá la posibilidad de que en eventos de desastres naturales por inundaciones estos suelos conserven su capacidad de retención o almacén de agua evitando daños y pérdidas materiales o humanas a sus habitantes.

Estos hallazgos se consideran relevantes ya que visibilizan que los servicios ecosistémicos de regulación de inundaciones de los humedales naturales tienen la capacidad no solo de apoyar la función de los sistemas estructurales de contención de inundaciones, sino que sus beneficios tienen un impacto que va más allá de sus límites administrativos como de la RBPC y de las comunidades que las habitan, por lo que es prioritario vigilar y revertir las tendencias de las pérdidas de los humedales y sus transformaciones a asentamientos humanos.

A la luz de los resultados obtenidos para este objetivo podemos considerar que se acepta el supuesto que se planteó que ***“Los costos de prevención de inundaciones disminuirán a medida que aumente el valor por costos evitados indirectos del servicio ecosistémico de control de inundaciones en los humedales de la RBPC”***. Esta afirmación se reitera toda vez que para el evento de inundación de octubre y noviembre de 2020 *los costos totales de prevención* que fueron destinados por el gobierno para la atención de las emergencias se pudieron *disminuir o eliminar*, ya que aumentó en 1.7 veces el valor de *los costos evitados indirectos (Evi)* considerados en esta investigación como *los beneficios totales* que se dejaron de recibir de los humedales de la RBPC, y que de no haber perdido sus coberturas naturales transformándose a asentamientos humanos, serían sostenibles al conservar su capacidad de mitigación al retener una mayor cantidad de agua durante el desastre natural evitando así las pérdidas y daños materiales que se generaron en las localidades rurales de esta ANP.

5.4 DISCUSIÓN.

El análisis de los principales hallazgos obtenidos de los *Costos Evitados Indirectos (Evi)* en el periodo de la inundación de octubre y noviembre de 2020, en el caso del *manglar en suelos de gleysol eútrico* en los humedales de la RBPC nos mostraron que estos ascendieron a un máximo de \$12,977,324.04 USD/ha/2020 y un mínimo de \$12,977,321.95 USD/ha/2020 con un promedio de \$12,977,323.92 USD/ha/2020.

Este resultado frente a los obtenidos por Menéndez *et al.* (2020) para el valor económico que nos brindan los beneficios de la protección contra inundaciones que proveen los manglares a nivel global exceden los \$65 mil millones USD por año, contrastan con los obtenidos ya que la principal diferencia entre ambos estudios se debe a la escala de estudio, ya que en este caso

fue local, mientras que estos autores delimitaron una escala de estudio global. Así también, los métodos para cuantificar el servicio ecosistémico de protección fueron distintos ya que en el caso de este autor utilizó la combinación de modelos probabilísticos, hidrodinámicos 2-D espacialmente explícitos y económicos, mientras que en nuestro análisis se empleó la cuantificación de los daños y pérdidas de artículos para cuantificar los costos bajo la delimitación temporal de un evento de inundación, y la cuantificación con datos primarios sobre el almacenamiento o retención de agua que proveen los humedales.

Por otra parte, comparando los costos evitados calculados en esta investigación, encontramos que Camacho-Valdez *et al.* (2020) empleó una escala regional que abarcó la llanura de inundación del Usumacinta encontrando que el valor de la regulación de inundaciones de este territorio fue de \$6,677 USD/ha/año, mientras que para este caso fue mayor a los \$12 millones de USD/ha/2020. Estos resultados se explican principalmente a que estos autores utilizaron el método de transferencia de beneficios el cual obtiene las cifras sobre los costos de la protección de inundaciones derivada de una revisión y recopilación de información o datos económicos de otras investigaciones para un ecosistema en otras partes del mundo y lo aplica para obtener una aproximación, mientras que aquí se presentaron datos más aproximados a la realidad derivada del desastre natural que ocurrió en la RBPC que pertenece a una porción de la extensión de esta llanura de inundación.

No obstante, los resultados sobre los beneficios totales obtenidos de la mitigación de las inundaciones de los humedales de la RBPC resultaron similares a los obtenidos por Narayan *et al.* (2017), debido que estos autores estudiaron los efectos de un evento específico que provocó la inundación de la costa noreste de Estados Unidos analizado desde enfoque de daños ocasionados en la propiedad, lo cual se asemeja en el sentido que en este caso también se estimaron los daños ocurridos a los bienes de las viviendas particulares habitadas derivados de un evento de inundación. Los resultados a escala regional publicados por este autor mostraron que los humedales evitaron daños directos por inundaciones por un monto de \$625 millones USD, mientras que a nivel local se estima una reducción en las pérdidas anuales promedio del 16% equivalente a 100 millones de USD, lo cual se asemeja a los beneficios de la mitigación de inundaciones de los humedales manglar y popal-tular calculados en 93.5 millones de USD a partir de las pérdidas y daños de electrodomésticos y

muebles en las inundaciones de octubre y noviembre de 2020 a nivel local en los humedales de la RBPC.

Esta investigación refuerza los principales hallazgos de Vázquez-González *et al.* (2019), ya que en el caso del *popal-tular* asentado en suelos de *gleysol eútrico* los costos evitados se estimaron en un margen máximo de \$254,808.51 USD/ha/2020 y un mínimo de \$254,808.49 USD/ha/2020 con un valor promedio de \$254,808.51 USD/ha/2020, lo cual es similar a lo obtenido para el evento de Veracruz donde calculó que los beneficios de la mitigación de los pantanos de hoja ancha de agua dulce fue \$190,863 USD/ha/2007.

No obstante, la principal diferencia entre ambos estudios es que Vázquez-González, *et al.* (2019) estudiaron el efecto de un evento de huracán en una zona urbana, mientras que en este caso se emplearon localidades rurales menores a 2,500 habitantes. Las diferencias metodológicas se debieron principalmente al caso del cálculo del costo económico total (TEC), estos autores recopilaron datos primarios a través de entrevistas, mientras que en el caso de este estudio, se recopilaron datos de fuentes secundarias a través de las cuales se establecieron ciertas inferencias para los cálculos económicos. Es posible, que esto genere amplias diferencias en el caso de los hallazgos del valor económico de los manglares en las dos investigaciones.

Los hallazgos obtenidos para la pérdida de retención de agua contrastan con otros estudios similares en humedales ya que el tipo de suelos y vegetación, la transformación y el uso de humedales naturales presentes en el área de estudio se desarrollan en suelos pantanosos que la mayor parte del año se encuentran con algún grado de saturación de agua, por lo tanto, ante un evento de inundación la capacidad de retención de agua podría verse afectada por algunas otras propiedades del suelo como son la textura por su alta proporción de arcilla que forma suelos altamente impermeables, y el alto contenido de materia orgánica en este tipo de suelos lo que los convierte en sitios naturalmente inundables. Así también en el área de estudio podría influir la tendencia de la transformación de las coberturas naturales de los humedales hacia pastizales, ya que factores como son la porosidad, el grado de compactación y el potencial hídrico del suelo por el uso de fertilizantes, pesticidas o el uso para el pastoreo de ganado podría influir en algunos factores como son el aumento en los tiempos de

infiltración y transporte de agua haciendo que en época de lluvias el agua permanezca mayor tiempo estancada en la superficie.

Aunado a lo anterior, cabe mencionar que las transiciones en humedales transformados a pastizales presentan una alta predisposición a convertirse en asentamientos humanos en periodos de mediano a largo plazo donde ya es casi imposible recuperar las funciones naturales de regulación de los humedales.

El impacto social que tienen estos datos en la zona de estudio es que al conocer los beneficios y costos que conlleva el deterioro de las funciones de regulación de inundaciones que tienen los humedales de la RBPC la población podría prevenir o reducir las pérdidas o los daños materiales a su patrimonio que le generen un gasto económico posterior al desastre para tratar de recuperar sus bienes de primera necesidad y reparar sus viviendas, evitando así las posibilidades de aumentar las condiciones de pobreza en estas comunidades. Con esto, se refuerza la concientización en la adopción de medidas de adaptación en la construcción de viviendas de tipo palafito, apoyando con esto a conservar la función de mitigación de inundaciones que tienen los humedales del área natural.

VI. CONCLUSIONES.

Las principales conclusiones de este estudio revelaron que el fenómeno de los cambios de cobertura/uso del suelo en las microcuencas seleccionadas, en el caso del popal-tular asentado en los tres tipos de humedal (*gleysol eútrico*, *gleysol vértico* y *solonchack gléyico*), las pérdidas del humedal disminuyeron (*gleysol eútrico* y *gleysol vértico*) o no ocurrieron (*solonchack gléyico*) con el paso del tiempo, pero sus ganancias aumentaron de manera significativa independientemente del tipo del suelo en el que se asentaron.

Por otra parte, las transiciones de los humedales (*manglar* y *popal-tular*) hacia *asentamientos humanos* sólo se presentaron cuando estos se encontraban en suelos de tipo *gleysol eútrico*. Así también, las pérdidas del *manglar* aumentaron mientras que para el *popal-tular* disminuyeron en suelos de *gleysol eútrico* durante el periodo de estudio. Cabe señalar, que la magnitud de estas pérdidas de las coberturas naturales de humedales dentro de las microcuencas seleccionadas en el polígono de la RBPC hacia *asentamientos humanos* representó porcentajes poco significativos del manglar y del popal-tular, por lo que se infiere que el mayor porcentaje de las pérdidas se transformaron en otro tipo de coberturas/ usos del suelo.

En cuanto a las transformaciones ocurridas en el humedal de *popal-tular* hacia *asentamientos humanos* estas representaron las mayores transformaciones hacia los asentamientos humanos, pero con base en la superficie total de las microcuencas el porcentaje fue menor, lo cual a nivel de paisaje se considera como un impacto poco significativo o de baja magnitud.

En otro aspecto, la *cantidad de pérdida de retención de agua* en humedales de *popal-tular* con estratos de suelo de tipo *gleysol eútrico* presentaron una mayor magnitud de *pérdida de retención de agua*, debido a la transformación de sus pérdidas de cobertura natural en uso de suelo de *asentamientos humanos*. Esto contrasta con la *cantidad de pérdida de retención de agua* ocurrida en los humedales de *manglar* distribuidos en suelos de *gleysol eútrico* ya que estos presentaron una menor *cantidad de pérdida de retención de agua* debido a que sus pérdidas de coberturas naturales que se transformaron uso de suelo de *asentamientos humanos* fueron poco significativas. Esto puede deberse a las características naturales donde se asienta el popal-tular son sitios donde el agua en algunas épocas del año es poco profunda o no existe

presencia, permitiendo que los suelos se encuentren secos y sea más fácil acceder a estos, por lo tanto son más vulnerables a ser deforestados y a cambiar sus coberturas por otros usos como son la agricultura. En el caso del manglar se encuentra asentados en suelos mayormente saturados de agua en la superficie durante todo el año, permaneciendo fangosos, y por las características de esta vegetación no es tan fácil acceder a ellos.

El *Costo Económico Total de las Inundaciones (TEC)* fue estimado en \$262,485,991.45 pesos MXN, este se considera como el valor real de TEC al momento de la inundación de octubre y noviembre de 2020 basados en 15 artículos (electrodomésticos y muebles) perdidos en las 32 localidades rurales dentro del polígono de la RBPC que fueron seleccionadas en esta investigación, los cuales fueron: 1) la estufa, 2) el refrigerador, 3) el ventilador, 4) la lavadora, 5) el horno de microondas, 6) la televisión, 7) el reproductor de música, 8) el teléfono de casa, 9) los muebles de sala, 10) los muebles de comedor, 11) las camas, 12) la computadora (pc o laptop), 13) la licuadora, 14) la batidora y 15) el coche o moto.

El 95.95% del *TEC* estuvo representado por ocho artículos los cuales son: 1) el coche o moto, 2) los muebles de sala, 3) los muebles de comedor, 4) la televisión, 5) las camas, 6) el refrigerador, 7) la lavadora, y 8) la estufa. Estos fueron los artículos con los mayores valores económicos promedio a precios corrientes, y los que en conjunto sumaron la mayor cantidad de artículos perdidos.

El WRV de los humedales de *manglar en gleysol eútrico* fue calculado en un promedio de \$ 2,450.94 pesos MXN por m³. Por otra parte el valor del agua retenida para el caso de los humedales de *popal-tular* en suelos de *gleysol eútrico* se estimó en un valor medio de \$ 48.12 pesos MXN por m³.

Los *Costos Evitados Indirectos (Evi)* en el periodo de la inundación de octubre y noviembre de 2020, en el caso del *manglar en suelos de gleysol eútrico* rondaron en un valor económico máximo con una media de \$275,778,515.25 pesos MXN/ha/2020. Del mismo modo, la estimación de los Evi del *popal-tular en suelos de gleysol eútrico* se calcularon en un promedio de \$5,414,884.64 pesos MXN/ha/2020.

Los principales hallazgos encontrados sobre los *Costos Evitados Indirectos (Evi)* del humedal del *manglar* en *gleysol eútrico* en la RBPC mostraron que estos se encontraron en un rango de máximo \$12,977,324.04 USD/ha/2020 y un mínimo de \$12,977,321.95 USD/ha/2020 con un promedio de \$12,977,323.92 USD/ha/2020. Mientras que en el caso del *popal-tular* asentado en suelos de *gleysol eútrico* se estimaron en un margen máximo de \$254,808.51 USD/ha/2020 y un mínimo de \$254,808.49 USD/ha/2020 con un valor promedio de \$254,808.51 USD/ha/2020.

Se concluye que para el evento de inundación de octubre y noviembre de 2020 *los costos totales de prevención* que fueron destinados por el gobierno para la atención de las emergencia se pudieron *disminuir o eliminar*, ya que aumentó en 1.7 veces el valor de *los costos evitados indirectos (Evi)* considerados en esta investigación como *los beneficios totales* que se dejaron de recibir de los humedales de la RBPC, y que de no haber perdido sus coberturas naturales transformándose a asentamientos humanos, serían sostenibles al conservar su capacidad de mitigación al retener una mayor cantidad de agua durante el desastre natural evitando así las pérdidas y daños materiales que se generaron en las localidades rurales de esta ANP.

Finalmente, cabe recalcar la importancia que tiene frenar el deterioro de la RBPC debido a la pérdida y transformación de estos sistemas naturales en asentamientos humanos, ya que a medida que se conserven sus coberturas naturales se maximizarán los beneficios que brindan los servicios ecosistémicos de control de inundaciones al reducir el impacto no solo económico, si no social y ecológico de los desastres naturales por inundaciones garantizado a futuras generaciones el derecho a hacer uso y disfrute de estos recursos naturales.

VII. RECOMENDACIONES.

Esta investigación ha generado información valiosa para la protección y conservación de los humedales de la RBPC, sin embargo sería de gran interés analizar la percepción social sobre el conocimiento de los humedales y el uso de los servicios ecosistémicos de regulación de inundaciones en la RBPC, para determinar si el grado de conocimiento de los beneficios obtenidos tiene relación alguna con la pérdida o degradación de los humedales debido a las transformaciones en zonas de asentamientos humanos.

Por otra parte, se considera que se debe ampliar el de muestreo de suelos para la obtención de un mayor volumen de datos de almacenamiento o retención de agua que permitan resultados más consistentes en para el caso de los suelos de solonchack gléyico y gleysol vértico, sin embargo, habría que considerar los costos y la logística que implica un mayor esfuerzo de muestreo.

Así también se recomienda, analizar la relación de la pérdida de humedales de la RBPC con las condiciones espaciales y las características socioeconómicas que imperan en las localidades rurales, y su contraste con lo que ocurre en las localidades urbanas asentadas en esta área natural.

A los tomadores de decisiones se les recomienda adaptar esta información a escala regional con la finalidad incorporar el enfoque de daños evitados que proveen los humedales en las acciones de prevención y mitigación de desastres por inundación, con el objetivo de que la conservación y restauración de estos ecosistemas sea tan prioritaria como el mantenimiento y construcción de los sistemas estructurales de contención. También se recomienda que consideren esta información como un insumo dentro de las acciones de seguimiento a los planes y programas de atención de inundaciones y las estrategias de conservación de suelos de los servicios ecosistémicos de los humedales a nivel estatal para disminuir el gasto público antes y durante la atención de este tipo de desastres.

A las autoridades de la RBPC se pone a consideración esta información para la actualización del programa de manejo del área natural con la finalidad de revertir las tendencias del

crecimiento de los asentamientos humanos que impactan la conservación de los humedales y que afectan los servicios ecosistémicos de regulación en esta área natural.

En el caso de las comunidades de la RBPC se recomienda que tomen en cuenta esta información para conservar los servicios ecosistémicos de los humedales en especial de los de regulación, que son los que contribuyen a que otros servicios como son los de aprovisionamiento en la RBPC continúen produciendo agua, peces, frutos y combustible, y mantengan el equilibrio de la flora y fauna del área de estudio y de cual depende su bienestar y las actividades económicas como la pesca o el ecoturismo. Por consiguiente, se recomienda adoptar las medidas de adaptación como son la construcción de casas tipo palafito para reducir la probabilidad de sufrir afectaciones por eventos de inundación y evitar afectaciones a la función de retención de agua en el suelo de los humedales previendo posibles daños que afecten su patrimonio y generen gastos que afecten a su economía o que aumenten la brecha de pobreza en estas localidades.

Finalmente, se recomienda que en futuras investigaciones se considere el estudio econométrico de la oferta del servicio ecosistémico de control de inundaciones de los humedales de la reserva y la demanda que generan las comunidades asentadas en la RBPC.

VIII. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.

Las actividades realizadas durante esta investigación permitieron descubrir y explorar marcos conceptuales, teorías y aplicación de métodos que permitieron identificar nuevos desafíos y oportunidades desde el enfoque del Desarrollo Sostenible, que contribuyan a la consolidación y expansión de líneas de investigación actuales y la creación de futuras líneas investigativas.

Algunas de estas líneas de investigación propuestas están encaminadas a las temáticas mencionadas a continuación:

- Valoración de servicios ecosistémicos desde los enfoques ecocéntricos y de valoración económica total (VET).
- Percepción social de servicios ecosistémicos de los humedales.
- Planteamiento para el reforzamiento del marco jurídico de protección y conservación de los humedales.
- Modelos econométricos de servicios ecosistémicos de regulación de inundaciones de los humedales.
- Programas de restauración y recuperación de los suelos de los humedales en las cuencas altas.
- Gestión de planes y programas de control de inundaciones con enfoques sostenibles.
- Actualización del programa de manejo en la RBPC.

Por otra parte, es importante mencionar que a lo largo del desarrollo de esta investigación Además se publicaron y presentaron diversos productos de investigación, los cuales se enlistan a continuación:

8.1.1 PUBLICACIONES

- **Título de la publicación:** “*A look at the importance of the economic valuation of the regulation services of natural wetlands*”. (Capítulo de libro en *Conflicts over use of urban and regional spaces in the time of climate changes. Good management and planning practices – EBOOK*). **Editorial:** Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego. **Institución:** Uniwersytet Warszawski. **Fecha:** 2021-11-10.

Participación como: Primer autor. **DOI:**
<https://doi.org/10.31338/uw.9788323548546>

- **Título de la publicación:** “*Economic valuation of flood control ecosystem service in natural wetlands. State of the art*”. (Capítulo de libro en Sustainable Development Crossing Borders, Breaking Stereotypes). **Editorial:** Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego. **Institución:** Uniwersytet Warszawski. **Fecha:** 2021-11-10.

Participación como: Primer autor. **DOI:**
https://wuw.pl/data/include/cms//Sustainable_development_crossing_Czerny_M_Serna_Mendoza_C_A_red_2021.pdf

- **Título del libro de investigación:** “*Valoración económica de los servicios ecosistémicos de los humedales altoandinos: tres métodos de aplicación*”. **Editorial:** Centro Editorial de la Universidad Católica de Manizales. **Institución:** Universidad Católica de Manizales. **Fecha:** 2020-11-02. **Participación como:** Coautora. Enlace: <https://www.ucm.edu.co/valoracion-economica-de-los-servicios-ecosistemicos-de-humedales-altoandinos-tres-metodos-de-aplicacion/>

- **Título de la publicación:** “*Estado del arte del marco jurídico de protección de los humedales frente el cambio climático*”. (Artículo científico). **Editorial (revista indexada):** Revista Jurídicas. **Institución:** Universidad de Caldas. **Fecha:** 2020-07-01. **Participación como:** Primer autor. **DOI:**
<https://doi.org/10.17151/jurid.2020.17.2.17>

- **Título de la publicación:** Revisión de las temáticas emergentes de la sostenibilidad de los humedales: cambio climático y energía. (Artículo de divulgación). **Editorial (revista arbitrada):** KUXULKAB’ Revista de Divulgación de la División Académica de Ciencias Biológicas. **Institución:** Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. **Fecha de publicación:** mayo-agosto de 2020. **Participación como:** Primer autor y autor de correspondencia. **DOI:**
<https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a26n55.3190>

8.1.2 CONGRESOS

- **Nombre del congreso:** II Congreso Internacional Objetivos del Desarrollo Sostenible. **Título de la ponencia oral:** “*Impacto de los asentamientos humanos en*

el cambio de cobertura de los humedales de un área natural protegida en el sureste de México". **Fecha:** 21 de octubre de 2022. **Lugar e Institución que lo imparte:** Tecnológico de Antioquía, Universidad de Santo Tomás, Universidad del Bosque, Universidad de San Buenaventura Cartagena, Colegio Mayor de Antioquía & Universidad de Sonora. **Participación como:** Ponente.

- **Nombre del congreso:** Conferencia Regional de la Ecosystem Services Partnership Latinoamérica y el Caribe 2020. **Título de la ponencia oral:** *“Una mirada a la importancia de la valoración económica de los servicios de regulación de los humedales naturales”*. **Fecha:** 23 al 27 de noviembre de 2020. **Lugar e Institución que lo imparte:** Ciudad de México. Ecosystem Services. Partnership y El Colegio de México A.C. **Participación como:** Primer Autor.
- **Nombre del congreso:** 4º Congreso de Ingeniería, Ciencia y Gestión Ambiental (AMICA), 5ª Conferencia Internacional de Greening of Industry Network (GIN). **Fecha:** 28 al 30 de octubre de 2019. **Título de la ponencia oral:** *“Insumos para la toma de decisiones en sostenibilidad de los humedales naturales, en Tabasco, México”*. **Lugar e Institución que lo imparte:** Ciudad de México. Asociación Mexicana de Ingeniería, Ciencia y Gestión Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México. **Participación como:** Primer Autor.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Azqueta, O. D. (1994). *Valoración económica de la calidad ambiental*. Madrid, España: McGraw Hill.
- Banco de México [BANXICO]. (25 de febrero de 2022). *Serie histórica diaria del tipo de cambio peso-dólar. Tipos de cambio y resultados históricos de las subastas*. <https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?sector=6&accion=consultarCuadro&idCuadro=CF102&locale=es>
- Barba-Macías, E., Valadez-Cruz, F., Pinkus-Rendón, M. A., Pinkus-Rendón, M. J. y Juárez Flores, J. (2015). Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla: aspectos socioambientales prioritarios. En: *Las Áreas Naturales Protegidas y la Investigación Científica en México*, (pp. 395-410). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C. La Paz B. C. S., Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán y Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Valadez/publication/286927549_Reserva_de_la_Biosfera_Pantanos_de_Centla_Aspectos_Socio-Ambientales_Prioritarios/links/569523be08ae3ad8e33d4f28/Reserva-de-la-Biosfera-Pantanos-de-Centla-Aspectos-Socio-Ambientales-Prioritarios.pdf
- Barba Macías, E., Francisco Valadez Cruz, F., Pinkus Rendón, M. A., Pinkus Rendón, M. J. (2014). Revisión de la problemática socioambiental de la Reservade la Biósfera Pantanos de Centla, Tabasco. *Investigación y Ciencia*, 60, 50-57. <https://revistas.uaa.mx/index.php/investycien/article/view/3690/3065>
- Barba-Macías, E., Rangel-Mendoza, J., y Ramos-Reyes, R. (2006). Clasificación de los humedales de Tabasco mediante sistemas de información geográfica. *Universidad y Ciencia*, 22(2), 101-110.
- Barbier, E. B., Acreman, M., y Knowler, D. (1997). Valoración económica de los humedales. Guía para decisores y planificadores. Recuperado de https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib_valuation_s.pdf

- Berlanga-Robles, C. A., Ruiz-Luna, A., y De la Lanza, E. G. (2008). Esquema de clasificación de los humedales de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 66, 25-46.
- Brander, L., Brouwera, R., & Wagtendonk, A. (2013). Economic valuation of regulating services provided by wetlands in agricultural landscapes: A meta-analysis. *Ecological Engineering*, 5, 89-96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.104>
- Brauman, K. A., Daily, G. C., Duarte, T. K., & Mooney, H. A. (2007). The Nature and Value of Ecosystem Services: An Overview Highlighting Hydrologic Services. *The Annual Review of Environment and Resources*, 32, 67–98. [10.1146/annurev.energy.32.031306.102758](http://dx.doi.org/10.1146/annurev.energy.32.031306.102758)
- Calderón Chérrez, M. J. (2018) *Oferta hídrica, almacenamiento de agua y carbono en dos escenarios altoandinos del páramo de Mojanda-Ecuador* [Tesis de Maestría en Ecohidrología, Universidad Nacional de la Plata] http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/69324/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Camacho-Valdez, V., Saenz-Arroyo, A., Ghermandi, A., Navarrete-Gutiérrez, D. A., & Rodiles-Hernández, R. (2020). Spatial analysis, local people's perception and economic valuation of wetland ecosystem services in the Usumacinta floodplain, Southern Mexico. *PeerJ*, 8, e8395, (1-26). <http://doi.org/10.7717/peerj.8395>
- Camacho-Valdez, V., Tello-Alcaide, E. M., Wootton, A., & Valencia-Barrera, E. (2019). Land Use Change and Urban Ecosystem Services: A Case Study of Urban Wetlands in a Rapidly Sprawling City in the Highlands of Chiapas, Mexico. *J. Mgmt. & Sustainability*, 9, 67. <https://doi.org/10.5539/jms.v9n1p67>
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2009). *Las características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el 2008*. Recuperado de http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/375/1/images/no_10.pdf
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (31 de diciembre de 2020). Comunicado de Prensa 1056-20. En 2020, Conagua concluyó obras para proteger a la población y aprovechar mejor el agua en Tabasco. CONAGUA.

- https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/603398/Comunicado_de_Prensa_1056-20.pdf
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [CONANP]. (20 de enero de 2022). *Ficha SIMEC Pantanos de Centla*. CONANP. <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=145®=11>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [CONANP]. (06 de enero de 2020). *Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (PROCODES) 2020. Relación de solicitudes autorizadas PROCODES 2020*. CONANP. <https://www.conanp.gob.mx/procodes2020/SolicitudesAutorizadas2020.xlsx>
- Convención de Ramsar sobre los Humedales. (2018). Ampliar la conservación, el uso racional y la restauración de los humedales para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Los humedales y los ODS. Recuperado de https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/wetlands_sdgs_s.pdf
- Convención de Ramsar sobre los Humedales. (2016). *Humedales: una protección natural frente a los desastres* (Ficha informativa 9.2). Recuperado de https://www.ramsar.org/sites/default/files/fs_9_drr_esp_30j.pdf
- Cristeche, E., y Penna, J. A. (2008). *Métodos de valoración económica de los servicios ambientales*. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-metodos_doc_03.pdf
- De Groot, R. S., Stuij, M. A. M., Finlayson, C. M., & Davidson, N. (2007). *Valoración de humedales: Lineamientos para valorar los beneficios derivados de los servicios de los ecosistemas de humedales* (Informe Técnico de Ramsar núm. 3/núm. 27 de la serie de publicaciones técnicas del CDB). Recuperado de <https://www.ramsar.org/es/documento/informe-tecnico-de-ramsar-3-valoracion-de-humedales-lineamientos-para-valorar-los>
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. 04 de marzo de 2011. *Precios promedio del INPC*. Secretaría de Gobernación. https://dof.gob.mx/index_113.php?year=2011&month=03&day=04#gsc.tab=0
- Eastman, J. R., & Toledano, J. (2018). A short presentation of the Land Change Modeler (LCM). In *Geomatic approaches for modeling land change scenarios* (pp. 499-505). Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-60801-3_36

- ESRI. 2016. *An overview of the Hydrology toolset*.
<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-hydrology-tools.htm>
- ESRI. (sf). *Raster functions*. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/raster-functions/raster-functions.htm>
- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio [EM]. (2005). *Los ecosistemas y el bienestar humano: humedales y agua. Informe de síntesis*. Recuperado de https://www.millenniumassessment.org/documents/MA_WetlandsandWater_Spanish.pdf
- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio [EM]. (2003). *Ecosistemas y Bienestar Humano: Marco para la Evaluación. Resumen*. Recuperado de <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.3.aspx.pdf>
- Farber, S.C., Costanza, R., Wilson, M.A. (2002). Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecological Economics*, 41(3), 375–392. doi:10.1016/s0921-8009(02)00088-5
- Florez Yepes, Gloria Yaneth. (2015). Servicios ecosistémicos y variables sociambientales determinantes en ecosistemas de humedales altoandinos. Sector el ocho y páramo de letras Manizales Colombia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1, 173-179. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263139243024>
- Flórez-Yepes, G.Y., Betancur-Pérez, J.F., Monterroso-Tobar, M.F., & Londoño-Bonilla, J.M. (2018). *Temporary wetland evolution in the upper Chinchiná river basin and its relationship with ecosystem dynamics*. DYNA, 85(207), pp. 351-359.
- Gama, L., Villanueva-García, C., Díaz-López, H.M., Collado, R., y E.J. Moguel Ordóñez. (2019a). Vulnerabilidad al cambio climático. En: *La biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado. Vol. III*, (pp. 81-84). México, D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. Recuperado de https://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/pdf/Tabasco/TAB_EE_2019_vol%203_CLOSE.pdf
- Gama, L., Díaz-López, H. M., Collado, R., Villanueva-García, C., Pacheco-Figueroa, C. J., Valdez-Leal, J., Moguel Ordóñez, E. J. y Zenteno-Ruiz, C. E. (2019b). Vulnerabilidad al cambio climático en los humedales de Pantanos de Centla. En: *La*

- biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado. Vol. III*, (pp. 86-88). México, D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. Recuperado de https://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/pdf/Tabasco/TAB_EE_2019_vol%203_CLOSE.pdf
- Gobierno del estado de Tabasco. (2019). Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Estado de Tabasco (POERET). Recuperado de <https://tabasco.gob.mx/programa-de-ordenamiento-ecologico-regional-del-estado-de-tabasco>
- Gobierno de México. (enero 2021). Proyecto de Presupuesto de Egresos de la Federación Ejercicio Fiscal 2021. Administrativo. Ramo 13. Marina. Programas y proyectos de inversión. Secretaría de Hacienda y Crédito Público [SHCP]. https://www.pef.hacienda.gob.mx/work/models/PEF2021/docs/13/r13_pir.pdf
- Guadarrama Oliviera M.A. & Jiménez-Pérez N.C. (2019). “Resumen ejecutivo. Diversidad de ecosistemas”, La Biodiversidad en Tabasco. Estudio de estado, Vol. II. México: CONABIO, pp. 17-20. <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/15224.pdf>
- Guo, Z., Shao, X., Xu, Y., Miyazaki, H., Ohira, W., & Shibasaki, R. (2016). Identification of village building via Google Earth images and supervised machine learning methods. *Remote Sensing*, 8(4), 271. <https://doi.org/10.3390/rs8040271>
- Harini, R., Ariani, R. D., Fistiningrum, W., & Ariestantya, D. (2019). Economic Valuation of Mangrove Management in Kulon Progo Regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 256(1), 012036. doi:10.1088/1755-1315/256/1/012036
- Haro Martínez, A. A., y Taddei Bringas, C. (2010). Valoración ambiental: aportaciones, alcances y limitaciones. *Problemas del desarrollo*, 41(160), 209-221.
- Hernández, S. R., Fernández, C. C., y Baptista, L. M. D. P. (2014). *Metodología de la investigación. Sexta edición*. México D.F: McGraw Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Instituto Nacional de Ecología. (2000). *Programa de Manejo de la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla*. Instituto Nacional de Ecología, https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/145_libro_pm.pdf

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (1995). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie II. Continuo Nacional*. <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/>
- INEGI. 2007. Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie IV. Continuo Nacional. <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/>
- INEGI. 2013^a. *Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM)*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>
- INEGI. 26 de junio de 2013b. *Censo de Población y Vivienda 2010*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>
- INEGI. 2018. *Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII. Continuo Nacional*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/>
- INEGI. 16 de marzo de 2021. *Censo de Población y Vivienda 2020*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- INEGI. (02 de septiembre de 2023). *Censo de Población y Vivienda 2020. Glosario*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/app/glosario/default.html?p=cpv2020#letraGloV>
- INEGI. (s.f.). *Glosario de términos. Cuéntame de México*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://cuentame.inegi.org.mx/glosario/p.aspx?tema=G>
- INEGI. (s.f.). *Mapa Digital de México en línea*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <http://gaia.inegi.org.mx>
- INEGI. (s.f.). *Hidrografía*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía <https://www.inegi.org.mx/temas/hidrografia/>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [IMTA]. (01 de agosto de 2019). *Blog ¿Qué es una cuenca?*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/imta/articulos/que-es-una-cuenca-211369>
- Inventario Nacional de Humedales México [INH]. (2012). *Glosario General de Términos del Desarrollo de la Base Metodológica para el Inventario Nacional de Humedales de México*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/165389/Glosario_de_T_rminos.pdf

- Jiang, B., Chen, Y., Xiao, Y., Zhang, J. J., & Ouyang, Z. Y. (2017). Evaluation of the economic value of final ecosystem services from the Baiyangdian wetland. *Acta Ecol. Sin*, 37, 2497-2505.
- Kakuru, W., Turyahabwe, N., & Mugisha, J. (2013). Total economic value of wetlands products and services in Uganda. *The Scientific World Journal*, 2013. 1-13. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/192656>
- Karanja, J. M., & Saito, O. (2018). Cost–benefit analysis of mangrove ecosystems in flood risk reduction: a case study of the Tana Delta, Kenya. *Sustainability Science*, 13(2), 503-516. DOI 10.1007/s11625-017-0427-3
- Kong, D. S., & Zhang, H. (2015). Economic value of wetland ecosystem services in the Heihe National Nature Reserve of Zhangye. *Acta Ecol. Sin*, 35, 972-983.
- Landgrave, R. & Moreno-Casasola, P. (2012). *Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México*. *Investigación Ambiental*, 4(1), 19-35.
- Ley de Aguas Nacionales. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, 06 de enero de 2020.
- Li, Y., Deng, H., & Dong, R. (2015). Prioritizing protection measures through ecosystem services valuation for the Napahai wetland, Shangri-La County, Yunnan Province, China. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 22(2), 142-150. DOI: 10.1080/13504509.2014.926298
- Liang, C., Xin, S., Dongsheng, W., Xiuying, Y., & Guodong, J. (2016). The ecological benefit–loss evaluation in a riverine wetland for hydropower projects—a case study of Xiaolangdi reservoir in the Yellow River, China. *Ecological Engineering*, 96, 34-44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.12.037>
- Mehvar, S., Filatova, T., Sarker, M. H., Dastgheib, A., & Ranasinghe, R. (2019). Climate change-driven losses in ecosystem services of coastal wetlands: A case study in the West coast of Bangladesh. *Ocean & coastal management*, 169, 273-283. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.12.009>
- Mehvar, S., Filatova, T., Dastgheib, A., De Ruyter van Steveninck, E., & Ranasinghe, R. (2018). Quantifying economic value of coastal ecosystem services: a review. *Journal of marine science and engineering*, 6(1), 5. doi:10.3390

- Menéndez, P., Losada, I. J., Torres-Ortega, S., Narayan, S., & Beck, M. W. (2020). The global flood protection benefits of mangroves. *Scientific Reports*, *10*(1), 1-11.
- Ming, J., Xian-Guo, L., Lin-Shu, X., Li-juan, C., & Shouzheng, T. (2007). Flood mitigation benefit of wetland soil—A case study in Momoge National Nature Reserve in China. *Ecological Economics*, *61*(2-3), 217-223.
- Molo, C., & ODC, D. C. (2022). Análisis de la dinámica de las coberturas de la tierra en el este chaqueño entre 2015 y 2019. *Geográfica digital*, *18*(36), 135-148.
- Moreno-Casasola, P. (2008). Los humedales en México: tendencias y oportunidades. *Cuadernos de Biodiversidad*, *28*, 10-18.
- Naciones Unidas [UN]. (02 de febrero de 2023). *Día Mundial de los Humedales 2 de febrero*. <https://www.un.org/es/observances/world-wetlands-day>
- Narayan, S., Beck, M. W., Wilson, P., Thomas, C. J., Guerrero, A., Shepard, C. C., ... & Trespalacios, D. (2017). The value of coastal wetlands for flood damage reduction in the northeastern USA. *Scientific reports*, *7*(1), 1-12. DOI:10.1038/s41598-017-09269-z
- Nath, B., Wang, Z., Ge, Y., Islam, K., P Singh, R., & Niu, Z. (2020). Land use and land cover change modeling and future potential landscape risk assessment using Markov-CA model and analytical hierarchy process. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *9*(2), 134.
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (03 de enero de 2020). América Latina y el Caribe: la segunda región más propensa a los desastres. *Noticias ONU*. Recuperado de <https://news.un.org/es/story/2020/01/1467501>
- Palomeque de la Cruz, M. A., Galindo Alcántara, A., Sánchez, A. J. & Escalona Maurice, M. J. (2017). Pérdida de humedales y vegetación por urbanización en la cuenca del río Grijalva, México. *Investigaciones Geográficas*, (68), 151-172. <https://doi.org/10.14198/INGEO2017.68.09>
- Pasupalati, N., Nath, M., Sharan, A., Narayanan, P., Bhatta, R., Ramachandran, R., & Ramachandran, P. (2017). Economic Valuation of Wetland Ecosystem Goods and Services. In: Prusty, B. A. K., Chandra, R., Azeez P. A. (Eds.), *Wetland Science*. New Delhi, India: Springer.

- Perevochtchikova, M., y Lezama, D. L. T. J. L. (2010). Causas de un desastre: Inundaciones del 2007 en Tabasco, México. *Journal of Latin American Geography*, 9(2), 73-98.
- Pinke, Z., Kiss, M., & Lövei, G. L. (2018). Developing an integrated land use planning system on reclaimed wetlands of the Hungarian Plain using economic valuation of ecosystem services. *Ecosystem Services*, 30, 299-308. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.007>
- Pontius, R. G., Shusas, E. & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101, 251-268. doi:10.1016/j.agee.2003.09.008
- Instituto de Protección Civil del Estado de Tabasco [IPCET]. (30 de octubre de 2020). *Recursos del Fondo de Contingencia de Tabasco (FOCOTAB). Acta de la Tercera Sesión Extraordinaria de 2020 del H. Comité Técnico del Fideicomiso 2066 – Fondo de Contingencia de Tabasco. Acta FOCOTAB 03.SE.2020*. IPCET. <https://tabasco.gob.mx/sites/default/files/users/ipcettabasco/6.-%20ACTA%20FOCOTAB%2003%20SE%202020.pdf>
- Ramos V., L.J. (2019). En *La Biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado. Vol. II*. CONABIO. México, pp 73-79. <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/15224.pdf>
- Ramos-Reyes, R., Palomeque-De la Cruz, M.A., Zavala-Cruz, J. (2021). Impacto de las actividades agropecuarias y petroleras sobre las coberturas naturales del campo petrolero Samaria, Tabasco. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.*, 12(8), pp. 1429-1443. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i8.2767>
- Real Academia Española [RAE]. (2020). *Diccionario de la lengua española*. Madrid: RAE.
- Sánchez, M. A. J., y Barba, E. (2005). Biodiversidad de Tabasco. Pp. 1-16. En: Bueno, J., Álvarez, F., y Santiago, S. (Ed). *Biodiversidad del estado de Tabasco* (pp. 386). México: Instituto de Biología, UNAM-CONABIO.

Secretaría de Bienestar. 22 de noviembre de 2020. *Localidades del censo de damnificados en Tabasco*. <https://www.gob.mx/bienestar/prensa/censo-de-damnificados-en-tabasco>

Secretaría de la Convención de Ramsar. (2018). *Perspectiva mundial sobre los humedales: - Estado de los humedales del mundo y sus servicios a las personas*. Recuperado de https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/gwo_s.pdf.

Secretaría de la Convención de Ramsar. (2006). *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971)* (4ª. edición). Recuperado de https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib_manual2006s.pdf

Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. (junio de 2021). *Impacto Socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México 2020*. Coordinación de Políticas Públicas para la Prevención de Desastres, Subdirección de Estudios Económicos y Sociales, y Centro Nacional de Prevención de Desastres, https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/482-IMPACTO_SOCIOECONOMICO_2020.PDF

Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM]. (2014). *Estudio para el proyecto hidrológico para proteger a la población de inundaciones y aprovechar mejor el agua (PROHTAB) (Informe Final)*. Recuperado de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/105749/Capitulo10.1prohtab.pdf>

van Asselen, S., Verburg, P.H., Vermaat, J.E., & Janse, J.H. (2013). Drivers of Wetland Conversion: a Global Meta-Analysis. *PloS one*, 8(11), e81292.

Vázquez-González, C., Moreno-Casasola, P., Peláez, L. A. P., Monroy, R., & Espejel, I. (2019). The value of coastal wetland flood prevention lost to urbanization on the coastal plain of the Gulf of Mexico: An analysis of flood damage by hurricane impacts. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 37, 101180.

- Vázquez Navarrete, C. J., Mata Zayas, E. E., Palma López, D. J., Márquez Couturier, G., y López Castañeda, A. (2011). *Valoración Económica de los Bienes y Servicios Ambientales en Zonas con Influencia Petrolera en Tabasco*. Villahermosa, Tabasco, México: Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental.
- Vidal Sierra, C. A., Serna Mendoza, C. A. y Pacheco Figueroa, C. J. (2021). A look at the importance of the economic valuation of the regulation services of natural wetlands. En Czerny, M. y Serna Mendoza, C.A. (Eds.), *Conflicts over use of urban and regional spaces in the time of climate changes. Good management and planning practices – EBOOK*. (First ed., pp. 196-205). Editorial: Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego. Institución: Uniwersytet Warszawski. DOI: <https://doi.org/10.31338/uw.9788323548546>
- Villaroel Herrera, M., Chamorro Armas, S. E., González Escudero, M. A., & Palacios Cabrera, T. A. (2017). Almacenamiento de agua y fijación de carbono en reserva ecológica El Ángel y su impacto en el uso del suelo. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 3(1), 42–48. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.54>
- Watson, K. B., Ricketts, T., Galford, G., Polasky, S., & O’Niel-Dunne, J. (2016). Quantifying flood mitigation services: The economic value of Otter Creek wetlands and floodplains to Middlebury, VT. *Ecological Economics*, 130, 16-24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.05.015>
- Zamora Saud, N., Pérez Sánchez, E., Carballo Cruz, V.R., & Galindo Alcántara, A., (2019). Dinámica de las terrazas fluviales en la subcuenca Grijalva-Villahermosa, México. Nota corta. *Bol. Soc. Geol. Mex.*, 71(3), pp. 805-817. <https://doi.org/10.18268/bsgm2019v71n3a10>
- Zavala-Cruz, J., Jiménez Ramírez, R., Palma-López, D.J., Bautista Zúñiga, F., y Gavi Reyes, F. (2016). Paisajes geomorfológicos: Base para el levantamiento de suelos en Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3(8), 161-171.

Zhang, B., Shi, Y. T., Liu, J. H., & Xu, J. (2017). Economic values and dominant providers of key ecosystem services of wetlands in Beijing, China. *Ecological Indicators*, 77, 48-58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.005>

X. ANEXOS.

Anexo 1. Criterios y selección de microcuencas y localidades para el muestreo aleatorio de los tipos de suelo.

Cons.	Microcuenca	Superficie (ha)	Localidad	Cuerpo de agua	Distancia (m)	Altura (m)	Altitud (m)	Población (2010)	TVP (2010)	Población (2020)	TVP (2020)	Dif _{PobT} (2020 - 2010)	Dif _{TVP} (2020 - 2010)	% de crecimiento TVP	
1	Aa1	5,139.29	Tres Brazos	Río Usumacinta	40.31	-5	-005	554	142	542	168	-12	26	18.31	
			Ribera Alta 3ra. Sección	Río Usumacinta	71.81	-3	-003	762	179	793	232	31	53	29.61	
2	Aa2	9,727.62	Ribera Alta 2da. Sección (Salsipuedes)	Río Usumacinta	64.38	-3	-003	568	145	612	197	44	52	35.86	
			Boca de Pantoja	Río Usumacinta	26.17	no dato	0000	473	110	487	114	14	4	3.64	
3	Aa3	11,409.44	Chichicastle 3ra. Sección	Río Usumacinta	47.78	2	0002	80	19	142	41	62	22	115.79	
			Chichicastle 2da. Sección	Río Usumacinta	120.65	7	0007	337	91	291	99	-46	8	8.79	
4	Ad1	7,631.19	Tembladeras	Canal en operación	49.32	no dato	0000	122	49	104	42	-18	-7	-14.29	
5	Ad3	17,121.98	El Porvenir (De Quintín Arauz)	Corriente de agua perenne	49.56	10	0007	34	6	16	6	-18	0	0.00	
6	Da1	1,281.71	Arroyo Polo 3ra. Sección	Río Grijalva	30.18	-2	-002	315	81	442	136	127	55	67.90	
7	Da8	1,556.90	Miguel Hidalgo	Río Bitzal	20.31	-5	-005	190	53	154	44	-36	-9	-16.98	
8	Da11	901.8	José María Morelos y Pavón (Tintalillo)	Río Bitzal	29.57	-3	-003	148	36	125	38	-23	2	5.56	
9	Da12	6,368.47	Mixteca 3ra. Sección	Río Bitzal	20.22	-2	-003	268	69	239	61	-29	-8	-11.59	
10	Da13	2,875.75	Mixteca 1ra. Sección	Río Bitzal	31.35	-4	-004	84	22	54	19	-30	-3	-13.64	
Total superficie microcuencas=		64,014.15													

Localidad= Localidad identificada en el CENSO de Bienestar del año 2020 y ubicada en el mapa de INEGI dentro del polígono de la RBPC.

Cuerpo de agua= Cuerpo de agua más cercano a la localidad.

Distancia= Distancia de la localidad al borde el cuerpo de agua más cercano (en m). Sólo se incluyeron las localidades asentadas a distancias menores o iguales a 1,000 m

Altura= Altura de la localidad en (m).

Población = Población total reportada en los Censos de Población y Vivienda de INEGI correspondientes a los años 2010 y 2020.

TVP= Total de viviendas particulares reportadas en los Censos de Población y Vivienda de INEGI correspondientes a los años 2010 y 2020.

Dif_{PobT}= Diferencia absoluta Población Total (2020 - 2010).

Dif_{TVP}= Diferencia absoluta TVP (2020 - 2010).

% de crecimiento TVP = Porcentaje de crecimiento Total de Viviendas Particulares (2020 con respecto a 2010). Los números azules muestran las localidades que obtuvieron el mayor % de crecimiento TVP, los datos en color verde muestran las localidades que reflejaron los menores % de crecimiento TVP, y los números rojos muestran las localidades que mostraron un % de decrecimiento de TVP o que no crecieron.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Censos del INEGI 2010 y 2020.

Anexo 2. Cambio de cobertura / uso del suelo (LUC) de humedales por asentamientos humanos por microcuenca.

Cons.	Microcuenca	Vegetación	Tipo de Suelo	Etiqueta de parche	T1-T2		T2-T3		(i) (LUC) (ha)
					Pérdida (ha)	Ganancia (ha)	Pérdida (ha)	Ganancia (ha)	
1	Aa1	Manglar	Gleysol eútrico	Aa1MGE	-58.00	50.00	-1.00	0.00	0.9518
		Popal-Tular	Gleysol eútrico	Aa1PTGE	-119.00	295.00	-15.00	0.00	12.3427
2	Aa2	Manglar	Gleysol eútrico	Aa2MGE	-142.00	0.00	0.00	0.00	ND
		Popal-Tular	Gleysol eútrico	Aa2PTGE	-173.00	438.00	-122.00	252.00	1.5282
3	Aa3	Popal-Tular	Gleysol eútrico	Aa3PTGE	-215.00	185.00	-445.00	210.00	30.8089
4	Ad1	Manglar	Gleysol eútrico	Ad1MGE	-70.00	555.00	-827.00	37.00	ND
		Popal-Tular	Gleysol eútrico	Ad1PTGE	-463.00	56.00	0.00	827.00	ND
		Manglar	Solonchack gléyico	Ad1MSG	-2.00	810.00	-3,192.00	0.00	ND
		Popal-Tular	Solonchack gléyico	Ad1PTSG	-802.00	2.00	0.00	3,192.00	ND
5	Ad3	Manglar	Gleysol eútrico	Ad3MGE	-188.00	0.00	-119.00	0.00	ND
		Popal-Tular	Gleysol eútrico	Ad3PTGE	-1,019.00	634.00	-211.00	1,426.00	1.3634
6	Da1	Manglar	Gleysol eútrico	Da1MGE	-15.00	171.00	-2.00	0.00	ND
		Popal-Tular	Gleysol eútrico	Da1PTGE	0.00	0.00	0.00	0.00	ND
		Popal-Tular	Solonchack gléyico	Da1PTSG	-1.00	15.00	0.00	0.00	ND
7	Da8	Popal-Tular	Gleysol eútrico	Da8PTGE	-2.00	143.00	-92.00	0.00	0.2091
8	Da11	Popal-Tular	Gleysol eútrico	Da11PTGE	-2.00	139.00	0.00	0.00	ND
9	Da12	Popal-Tular	Gleysol eútrico	Da12PTGE	-3,898.00	2.00	-2.00	3,498.00	2.2226
		Popal-Tular	Gleysol vértico	Da12PTGV	-283.00	8.00	-8.00	332.00	ND
10	Da13	Popal-Tular	Gleysol eútrico	Da13PTGE	-5.00	42.00	0.00	0.00	ND
		Popal-Tular	Gleysol vértico	Da13PTGV	0.00	0.00	0.00	0.00	ND

ND= No detectado.

Fuente: Elaboración propia.

LUC= Cambio de uso del suelo (pérdida o ganancia) durante el periodo t2 - t3, por causa de los asentamientos humanos.

Anexo 3. Cálculo de Almacenamiento o retención de agua en el suelo (WR).

Código	Tipo de suelo	Mh ₁ (g)	Mh ₂ (g)	Wg= Humedad gravimétrica (g / g)				ρ = Densidad aparente (g / m ³)			Θ= Humedad Volumétrica (m ³ / m ³)			A = Almacenamiento de agua en el suelo (m ³ / ha)	
				Wg = Mh/Ms				ρ= M/V			Θ = Wg*ρ			A= Θ X p	
				Mh (g)	Ms (g)	Wg (g/g)	M (g)	V (m ³)	ρ (g/m ³)	Wg (g/g)	P (g/m ³)	Θ (m ³ /m ³)	Θ (m ³ /m ³)	p (m)	A (m ³ /ha)
R8	Solonchack gléyico	114.6	113.9	114.6	42.6	2.7	42.6	0.0004	108,480.0	2.7	108,480.0	291,826.5	291,826.5	0.05	14,591.3
P8	Solonchack gléyico	117.8	116.7	117.8	42.8	2.8	42.8	0.0004	108,989.3	2.8	108,989.3	299,975.2	299,975.2	0.05	14,998.8
P11	Solonchack gléyico	92.4	89.2	92.4	19.0	4.9	19.0	0.0004	48,383.1	4.9	48,383.1	235,294.7	235,294.7	0.30	70,588.4
R11	Solonchack gléyico	104.6	103.4	104.6	25.0	4.2	25.0	0.0004	63,662.0	4.2	63,662.0	266,361.7	266,361.7	0.30	79,908.5
P14	Gleysol vértico	132.2	130.9	132.2	95.2	1.4	95.2	0.0004	242,424.8	1.4	242,424.8	336,644.5	336,644.5	0.15	50,496.7
R14	Gleysol vértico	140.2	140.3	140.2	102.2	1.4	102.2	0.0004	260,250.2	1.4	260,250.2	357,016.4	357,016.4	0.15	53,552.5
R16	Gleysol vértico	143.4	142.9	143.4	98.8	1.5	143.4	0.0004	365,165.1	1.5	365,165.1	530,006.8	530,006.8	0.25	132,501.7
P16	Gleysol vértico	138.4	134.3	138.4	87.5	1.6	138.4	0.0004	352,432.7	1.6	352,432.7	557,447.8	557,447.8	0.25	139,362.0
P1	Gleysol eútrico	109.0	105.2	109.0	23.4	4.7	23.4	0.0004	59,587.6	4.7	59,587.6	277,566.2	277,566.2	0.20	55,513.2
R4	Gleysol eútrico	137.0	134.1	137.0	85.7	1.6	85.7	0.0004	218,233.3	1.6	218,233.3	348,867.6	348,867.6	0.17	59,307.5
R1	Gleysol eútrico	121.9	120.0	121.9	50.8	2.4	50.8	0.0004	129,361.1	2.4	129,361.1	310,415.8	310,415.8	0.20	62,083.2
P4	Gleysol eútrico	164.5	164.2	164.5	116.0	1.4	116.0	0.0004	295,391.6	1.4	295,391.6	418,895.8	418,895.8	0.17	71,212.3
R17	Gleysol eútrico	141.6	140.5	141.6	90.9	1.6	90.9	0.0004	231,474.9	1.6	231,474.9	360,581.4	360,581.4	0.20	72,116.3
R15	Gleysol eútrico	144.7	143.7	144.7	91.1	1.6	91.1	0.0004	231,984.2	1.6	231,984.2	368,475.5	368,475.5	0.20	73,695.1
P17	Gleysol eútrico	146.1	146.5	146.1	100.2	1.5	100.2	0.0004	255,157.2	1.5	255,157.2	372,040.6	372,040.6	0.20	74,408.1
P15	Gleysol eútrico	150.1	147.8	150.1	94.7	1.6	94.7	0.0004	241,151.6	1.6	241,151.6	382,226.5	382,226.5	0.20	76,445.3
R13	Gleysol eútrico	143.0	140.2	143.0	86.8	1.6	86.8	0.0004	221,034.4	1.6	221,034.4	364,146.5	364,146.5	0.25	91,036.6
P18	Gleysol eútrico	144.1	143.4	144.1	90.7	1.6	90.7	0.0004	230,965.7	1.6	230,965.7	366,947.6	366,947.6	0.25	91,736.9
P13	Gleysol eútrico	146.1	145.4	146.1	93.4	1.6	93.4	0.0004	237,841.1	1.6	237,841.1	372,040.6	372,040.6	0.25	93,010.1
R18	Gleysol eútrico	149.6	148.2	149.6	96.0	1.6	96.0	0.0004	244,462.0	1.6	244,462.0	380,953.3	380,953.3	0.25	95,238.3
P3	Gleysol eútrico	144.8	142.9	144.8	94.7	1.5	94.7	0.0004	241,151.6	1.5	241,151.6	368,730.2	368,730.2	0.30	110,619.1

Código	Tipo de suelo	Mh ₁ (g)	Mh ₂ (g)	Wg= Humedad gravimétrica (g / g)				ρ = Densidad aparente (g / m ³)			Θ= Humedad Volumétrica (m ³ / m ³)			A = Almacenamiento de agua en el suelo (m ³ / ha)	
				Wg = Mh/Ms				ρ= M/V			Θ = Wg*ρ			A= Θ X p	
				Mh (g)	Ms (g)	Wg (g/g)	M (g)	V (m ³)	ρ (g/m ³)	Wg (g/g)	P (g/m ³)	Θ (m ³ /m ³)	Θ (m ³ /m ³)	p (m)	A (m ³ /ha)
R3	Gleysol eútrico	149.4	148.4	149.4	95.0	1.6	95.0	0.0004	241,915.5	1.6	241,915.5	380,444.0	380,444.0	0.30	114,133.2
P2	Gleysol eútrico	137.0	134.8	137.0	70.6	1.9	70.6	0.0004	179,781.4	1.9	179,781.4	348,867.6	348,867.6	0.33	115,126.3
R2	Gleysol eútrico	138.5	134.8	138.5	72.0	1.9	72.0	0.0004	183,346.5	1.9	183,346.5	352,687.4	352,687.4	0.33	116,386.8
R9	Gleysol eútrico	154.2	152.5	154.2	105.8	1.5	105.8	0.0004	269,417.5	1.5	269,417.5	392,667.1	392,667.1	0.30	117,800.1
P7	Gleysol eútrico	139.0	138.4	139.0	80.1	1.7	80.1	0.0004	203,973.0	1.7	203,973.0	353,960.6	353,960.6	0.35	123,886.2
P9	Gleysol eútrico	165.0	164.1	165.0	117.0	1.4	117.0	0.0004	297,938.1	1.4	297,938.1	420,169.1	420,169.1	0.30	126,050.7
R7	Gleysol eútrico	141.7	141.3	141.7	83.9	1.7	83.9	0.0004	213,649.6	1.7	213,649.6	360,836.1	360,836.1	0.35	126,292.6
P10	Gleysol eútrico	162.7	162.1	162.7	117.6	1.4	117.6	0.0004	299,465.9	1.4	299,465.9	414,312.1	414,312.1	0.39	161,581.7
R10	Gleysol eútrico	166.6	165.5	166.6	124.0	1.3	124.0	0.0004	315,763.4	1.3	315,763.4	424,243.4	424,243.4	0.39	165,454.9
R5	Gleysol eútrico	160.7	160.6	160.7	116.0	1.4	116.0	0.0004	295,391.6	1.4	295,391.6	409,219.2	409,219.2	0.42	171,872.1
P5	Gleysol eútrico	169.1	168.0	169.1	118.2	1.4	118.2	0.0004	300,993.8	1.4	300,993.8	430,609.6	430,609.6	0.42	180,856.0
R6	Gleysol eútrico	154.6	151.9	154.6	102.0	1.5	102.0	0.0004	259,740.9	1.5	259,740.9	393,685.7	393,685.7	0.47	185,032.3
P6	Gleysol eútrico	162.6	161.7	162.6	111.3	1.5	111.3	0.0004	283,423.1	1.5	283,423.1	414,057.5	414,057.5	0.47	194,607.0

Nota: Los datos de peso de las muestras se midieron con una balanza digital marca OHAUS Modelo YS2101, capacidad =2100 -g, capacidad de lectura 0.1 g.

Nota 2: Para llevar a cabo el secado de las muestras se utilizó una estufa secadora marca Riossa con un rango de temperatura de 50 °C a 300 °C.

Fuente: Elaboración propia.

P_{1...18}= Punto de muestreo.

R_{1...18}= Réplica de punto de muestreo.

Mh₁=Peso de muestra sobresaturada (en g).

Mh₂= Peso de muestra saturada (en g).

Mh =Peso húmedo (en g).

Ms= Peso seco (en g).

Wg= Humedad gravimétrica (en g/g).

M= Peso seco (en g).

V= Volumen de la muestra (volumen del cilindro) (en m³)

ρ= Densidad aparente (en g/m³)

Θ= Humedad volumétrica (en m³/m³)

A = Almacenamiento de agua en el suelo (en m³/ha)

p = Profundidad de la que se recolectó las muestras (en m).

Anexo 4. Localidades rurales de Centla, Tab. dentro del polígono de la RBPC afectadas por las inundaciones de octubre y noviembre de 2020, seleccionadas para el análisis TEC.

No.	Localidad	Cuerpo de agua	Distancia (m)	Altura (m)	Altitud (m)	Población	TVP
1	Arroyo Polo 1ra. Sección	Río Polo	10.76	-4	-007	52	14
2	Arroyo Polo 2da. Sección	Río Grijalva	42.10	no dato	0000	408	129
3	Arroyo Polo 3ra. Sección	Río Grijalva	30.18	-2	-002	442	136
4	Boca de Chilapa	Río Grijalva	85.39	-2	-001	968	317
5	Boca de Pantoja	Río Usumacinta	26.17	no dato	0000	487	114
6	Boca Grande 1ra. Sección	Río Hormiguero	21.68	-3	-002	85	29
7	Cañaveral Corcovado	Laguna Corcovado	407.21	1	0001	116	31
8	Chichicastle 1ra. Sección	Río Usumacinta	81.21	-2	-002	1552	402
9	Chichicastle 2da. Sección	Río Usumacinta	120.65	7	0007	291	99
10	Chichicastle 3ra. Sección	Río Usumacinta	47.78	2	0002	142	41
11	El Faisán	No identificado	78.97	no dato	0000	285	82
12	El Porvenir (De Quintín Arauz)	Corriente de agua perenne	49.56	10	0007	16	6
13	Hablan los Hechos (Santa Rosa)	Río Usumacinta	68.99	4	0004	113	34
14	Las Tijeras	Río Usumacinta	89.88	no dato	0000	235	60
15	Los Ídolos (Margen Derecha)	Río Grijalva	37.02	-6	-006	57	23
16	Los Ídolos Margen Izquierda	Río Grijalva	149.29	-1	-001	255	89
17	Mixteca 1ra. Sección	Río Bitzal	31.35	-4	-004	54	19
18	Mixteca 2da. Sección	Río Bitzal	37.62	-4	-004	225	61
19	Mixteca 3ra. Sección	Río Bitzal	20.22	-2	-003	239	61
20	Miguel Hidalgo	Río Bitzal	20.31	-5	-005	154	44
21	Nueva Esperanza de Quintín Aráuz	Río Usumacinta	28.98	no dato	0000	502	167
22	Quintín Aráuz	Río Usumacinta	116.34	1	0000	1283	381

No.	Localidad	Cuerpo de agua	Distancia (m)	Altura (m)	Altitud (m)	Población	TVP
23	Ribera Alta 1ra. Sección	Río Usumacinta	209.06	-2	-002	4	0
24	Ribera Alta 2da. Sección	Río Usumacinta	127.80	-3	-003	421	145
25	Ribera Alta 2da. Sección (Salsipuedes)	Río Usumacinta	64.38	-3	-003	612	197
26	Ribera Alta 3ra. Sección	Río Usumacinta	71.81	-3	-003	793	232
27	San José de Simón Sarlat (El Coco)	Cuerpo de agua intermitente	494.47	1	0001	154	52
28	San Juanito de Tres Brazos	Río Grijalva	66.88	1	0001	97	30
29	Tabasquillo 1ra. Sección	Cuerpo de agua intermitente	926.26	1	0001	614	198
30	Tembladeras	Canal en operación	49.32	no dato	0000	104	42
31	José María Morelos y Pavón (Tintalillo)	Río Bitzal	29.57	-3	-003	125	38
32	Tres Brazos	Río Usumacinta	40.31	-5	-005	542	168
TOTAL=						11,427	3,441

Localidad= Localidad identificada en el CENSO de Bienestar del año 2020 y ubicada en el mapa de INEGI dentro del polígono de la RBPC.

Cuerpo de agua= Cuerpo de agua más cercano a la localidad.

Distancia= Distancia de la localidad al borde el cuerpo de agua más cercano (en m). Sólo se incluyeron las localidades asentadas a distancias menores o iguales a 1,000 m

Altura= Altura de la localidad (en m).

Altitud= Altitud de la localidad (en m).

Población = Población total reportada en el Censo de Población y Vivienda de INEGI correspondiente al año 2020.

TVP= Total de viviendas particulares reportada en el Censos de Población y Vivienda de INEGI correspondiente al año 2020.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Censo del INEGI del año 2020.

Anexo 5. Cálculos para obtención del Valor económico promedio a precios corrientes promedio (AEV) de artículos perdidos (electrodomésticos y muebles) considerados para el año de compra 2010.

Tipo de artículo, modelo y características	Precio promedio (pesos MXN)
a) Estufa	
MABE, 6 QUEM, ENC ELECT, C/HORNO 30", MOD 7651LL	\$ 3,842.00
IEM, 4 QUEM, ENC ELECT, C/HORNO 20", MOD E151101	\$ 2,699.00
ACROS, 5 QUEM, ENC ELECT, C/HORNO, MOD AF-4300T	\$ 4,307.68
MABE, 4 QUEM, C/HORNO, ACERO PORCELANIZADO, MOD EM6105LL	\$ 2,820.00
Precio promedio=	\$ 3,417.17
b) Refrigerador	
DAEWOO, 11 PIES CUBICOS, BLANCO, MOD DF1130DB	\$ 4,602.00
SAMSUNG, 11 PIES CUBICOS, 2 PTAS, SILVER, MOD RT38YHPP	\$ 4,499.00
MABE, 12 PIES CUBICOS, 2 PTAS, C/GRAFITO, MOD MA021UHMS	\$ 6,849.00
MABE, 12 PIES CUBICOS, 2 PTAS, BLANCO, MOD RMV21WIMBO	\$ 6,908.00
Precio promedio=	\$ 5,714.50
c) Ventilador	
BEST HOME, DE PEDESTAL, 3 VEL, MOD US16061	\$ 299.00
BIRTMAN, DE PEDESTAL, 3 VEL, ULTRAVENT, MOD UB20V6-P	\$ 863.10
LASKO, DE PEDESTAL, CYCLONE, MOD 1885 M	\$ 499.01
FAN STAR, DE PEDESTAL, 3 VEL, 16 PULG, MOD 3169	\$ 301.00
Precio promedio=	\$ 490.53
d) Lavadora	
SAMSUNG, 13 KG, TINA DE ACERO INOXIDABLE, MOD WAISL5	\$ 5,699.00
EASY, 11 KG, 2 TINAS, MOD. LED-1131B	\$ 2,899.00
WHIRLPOOL, 12 KG, MOD 7MWT96500SQ	\$ 5,966.00
WHIRLPOOL, 14 KG, MULTI-CYCLES, MOD 7MWT98840WW	\$ 7,499.00
Precio promedio=	\$ 5,515.75
e) Horno de microondas	
LG, HORNO DE MICROONDAS, ACERO INOXIDABLE, MOD MS1147K	\$ 1,699.00
LG, HORNO DE MICROONDAS, 1.1 PIES, PLATEADO MOD MS11465QP	\$ 1,399.00
GE, HORNO DE MICROONDAS, 0.7 PIES, MOD JES07WK	\$ 741.00
WHIRLPOOL, HORNO DE MICROONDAS, 0.7 PIES, MOD WM 1007S	\$ 999.00
Precio promedio=	\$ 1,209.50

Tipo de artículo, modelo y características	Precio promedio (pesos MXN)
f) Televisión	
SHARP, 32'', PANTALLA LCD,1366X768, MOD. LC32SB24U	\$ 8,838.50
SAMSUNG, 32'', PANTALLA LCD, MOD LN32C530FIFX2X	\$ 8,099.00
SONY, 32, PANTALLA LCD, BRAVIA, FULL HD 1080 P, MOD KDL32EX	\$ 7,399.00
LG, 21'', MOD FU1RLS, CLAVE 33120	\$ 2,599.00
PANASONIC, 21'', PANTALLA LCD, MOD TC21RX30X	\$ 2,449.00
SAMSUNG, 32'', PÁNTALLA LCD, SERIES 5, MOD LN32C540	\$ 8,999.00
Precio promedio=	\$ 6,397.25
g) Reproductor de música	
PANASONIC, MINICOMPONENTE, MP3, 5CD, M.SC-AK780 CVE.P-595	\$ 4,399.00
SONY, MINICOMPONENTE, 3 CD, MP3, USB, 5,100 W, MOD MHCEX9	\$ 3,999.00
PANASONIC, MINICOMPONENTE, 5 CD, 5500WTS, MOD SC-AK580LM	\$ 3,728.00
PANASONIC, MINICOMPONENTE, 5 CD, 8,300 W, USB, MOF SA-AK780	\$ 4,599.00
DAEWOO, RADIOGRABADORA, CD, USB, MOD SP702AW	\$ 820.50
SONY, RADIOGRABADORA, MP3, CD-R, 130 W, MOD ZS H20CP	\$ 1,919.01
NAKAZAKI, RADIOGRABADORA, MP3, CASETERA, 10 WTS, MOD 8976	\$ 849.00
RCA, RADIOGRABADORA, CD/MP3, MOD RCD 350	\$ 600.00
Precio promedio=	\$ 2,614.19
h) Teléfono de casa	
INTELBRAS, INALAMBRICO, MOD 93431	\$ 299.00
FACITEL, INALAMBRICO, CLASS X, BLANCO	\$ 479.00
PANASONIC, INALAMBRICO, MOD KXTG1311	\$ 493.00
VTECH, INALAMBRICO, DIGITAL, MOD CORSA 150	\$ 509.00
Precio promedio=	\$ 445.00
i) Muebles de sala	
MONACO, 3 PZAS (3-2-1), MOD CAROLINA	\$ 10,991.00
TERRA, 3 PZAS (3-2-1), COLOR CHOCOLATE	\$ 15,998.58
MARBY, 3 PZAS (3-2-1), VERDE	\$ 5,899.00
GUADALAJARA, 3 PZAS (3-2-1), MOD PAQUETE	\$ 6,432.00
Precio promedio=	\$ 9,830.15
j) Muebles de comedor	
SIMCO, 5 PZAS (M-4S), MOD BOSTON	\$ 3,774.00
CALI, 7 PZAS (M-6S), DE PINO Y CRISTAL, MOD VENECIA	\$ 3,376.16
VICKY, 7 PZAS (M-6S), MOD SORRENTO, A 6 CHO	\$ 8,590.00

Tipo de artículo, modelo y características	Precio promedio (pesos MXN)
CASAL, 5 PZAS (M-4S), MOD SIROCCO KA	\$ 15,392.00
REY, 7 PZAS (M-6S), MOD MILAN	\$ 9,467.42
VENECIA, 7 PZAS (M-6S), CHOCOLATE, MOD MIRO	\$ 12,144.00
Precio promedio=	\$ 8,790.60
k) Camas	
EXPOMUEBLE, 5 PZAS, MOD. AURRORA-RM	\$ 4,090.00
FORGON, 4 PZAS, K.S., EN TRIPLAY, MOD MODULAR NOGAL	\$ 5,183.00
SAN ROGELIO, 5 PZAS, MATRIMONIAL, MOD ALISON	\$ 3,999.00
MCG, 5 PZAS, BARCELONA, KS, TINTO, COD 477168 STK-1	\$ 7,399.00
Precio promedio=	\$ 5,167.75
l) Computadora (PC o laptop)	
PRECIO PONDERADO DE UNA MUESTRA REPRESENTATIVA DE COMPUTADOR	\$ 13,791.01
Precio promedio=	\$ 13,791.01
m) Licuadora	
HAMILTON BEACH, 10 VEL, VASO DE PLASTICO, MOD 50152W-MX	\$ 449.00
BLACK&DECKER, 3 VEL, BASE Y VASO DE PLASTICO, MOD 1B53	\$ 439.00
OSTERIZER, 10 VEL, BASE Y VASO DE PLASTICO, MOD 4108	\$ 467.00
OSTER, 1 VEL, VASO DE VIDRIO, BASE METAL, MOD 450-1	\$ 729.30
Precio promedio=	\$ 521.08
n) Batidora o batidora	
PROCTOR SILEX, BATIDORA, 5 VEL, MOD 62515	\$ 161.00
Precio promedio=	\$ 161.00
o) Coche o moto	
SUBCOMPACTO	\$ 176,500.00
COMPACTO A	\$ 244,900.00
SUBCOMPACTO	\$ 183,300.00
COMPACTO A	\$ 208,200.00
COMPACTO A	\$ 255,000.00
SUBCOMPACTO	\$ 126,162.00
COMPACTO B	\$ 154,900.00
SUBCOMPACTO	\$ 181,550.00
USOS MULTIPLES C	\$ 298,200.00

Tipo de artículo, modelo y características	Precio promedio (pesos MXN)
SUBCOMPACTO	\$ 124,100.00
DE LUJO B	\$ 285,000.00
COMPACTO A	\$ 250,990.00
RICH LOOK, BICICLETA, R-26, 18 VEL, MOD ALUFORCE	\$ 1,450.00
MAGISTRONI, BICICLETA, R-26, 18 VEL, MOD MG280	\$ 1,800.00
BENOTTO, BICICLETA, R-20, NAVY, 18 VEL, ACERO DOWN HILL	\$ 1,899.00
TURBO, BICICLETA, R-26, 21 VEL, FRENO DE DISCO, MOD CLAWS	\$ 2,789.00
Precio promedio=	\$ 156,046.25

Fuente: Elaboración propia a partir de la información obtenido de la consulta en línea de los precios promedio del INPC numerales 4.1 y 6.2 de enero de 2011.

Anexo 6. Estimación del coste económico de las inundaciones (TEC).

Tipo de objeto perdido	Valor económico en precios corrientes por tipo de artículo perdido (i) y por vivienda particular habitada(j) EVC _{ij}			Valor económico total a precios constantes de los artículos perdidos (i) y por vivienda particular habitada(j) EVC _{Oij}					Costo económico total de las inundaciones (TEC)
	EVC _{ij} = Q _{ij} *AEV _{ij}			EVC _{Oij} = EVC _{ij} *INPC ₂₀₂₀ / INPC _Y					TEC
	Q _{ij}	AEV	EVC _{ij} = Q _{ij} *AEV _{ij}	EVC _{ij}	INPC ₂₀₂₀	Y	INPC _Y	EVC _{Oij} = EVC _{ij} *INPC ₂₀₂₀ / INPC _Y	
a) Estufa	2,908	\$ 3,417.17	\$ 9,937,130.36	\$ 9,937,130.36	105.893	2010	80.40	\$ 13,088,119.08	\$ 13,088,119.08
b) Refrigerador	2,235	\$ 5,714.50	\$ 12,771,907.50	\$ 12,771,907.50	105.893	2010	80.40	\$ 16,821,782.56	\$ 16,821,782.56
c) Ventilador	3,038	\$ 490.53	\$ 1,490,222.55	\$ 1,490,222.55	105.893	2010	80.40	\$ 1,962,760.82	\$ 1,962,760.82
d) Lavadora	1,991	\$ 5,515.75	\$ 10,981,858.25	\$ 10,981,858.25	105.893	2010	80.40	\$ 14,464,122.26	\$ 14,464,122.26
e) Horno de microondas	183	\$ 1,209.50	\$ 221,338.50	\$ 221,338.50	105.893	2010	80.40	\$ 291,523.26	\$ 291,523.26
f) Televisión	2,443	\$ 6,397.25	\$ 15,628,481.75	\$ 15,628,481.75	105.893	2010	80.40	\$ 20,584,154.85	\$ 20,584,154.85
g) Reproductor de música	1,074	\$ 2,614.19	\$ 2,807,638.72	\$ 2,807,638.72	105.893	2010	80.40	\$ 3,697,919.67	\$ 3,697,919.67
h) Teléfono de casa	304	\$ 445.00	\$ 135,280.00	\$ 135,280.00	105.893	2010	80.40	\$ 178,176.26	\$ 178,176.26
i) Muebles de sala	2,908	\$ 9,830.15	\$ 28,586,061.66	\$ 28,586,061.66	105.893	2010	80.40	\$ 37,650,485.13	\$ 37,650,485.13
j) Muebles de comedor	2,908	\$ 8,790.60	\$ 25,563,055.11	\$ 25,563,055.11	105.893	2010	80.40	\$ 33,668,906.12	\$ 33,668,906.12
k) Camas	2,908	\$ 5,167.75	\$ 15,027,817.00	\$ 15,027,817.00	105.893	2010	80.40	\$ 19,793,023.86	\$ 19,793,023.86
l) Computadora (PC o laptop)	98	\$ 13,791.01	\$ 1,351,518.98	\$ 1,351,518.98	105.893	2010	80.40	\$ 1,780,075.40	\$ 1,780,075.40
m) Licuadora	3,038	\$ 521.08	\$ 1,583,025.85	\$ 1,583,025.85	105.893	2010	80.40	\$ 2,084,991.35	\$ 2,084,991.35
n) Batidora	3,038	\$ 161.00	\$ 489,118.00	\$ 489,118.00	105.893	2010	80.40	\$ 644,213.61	\$ 644,213.61
o) Coche o moto	466	\$ 156,046.25	\$ 72,717,552.50	\$ 72,717,552.50	105.893	2010	80.40	\$ 95,775,737.21	\$ 95,775,737.21
TOTAL=			\$ 199,292,006.72					TEC= \$ 262,485,991.45	\$ 262,485,991.45

Fuente: Elaboración propia.

Q= Cantidad del mismo artículo (electrodomésticos y muebles) perdido (i) número de viviendas particulares habitadas (j).

AEV= Valor económico promedio a precios corrientes de los artículos (electrodomésticos y muebles) perdido (i) por vivienda particular habitada (j)*.

INPC₂₀₂₀= Índice Nacional de Precios al Consumidor en el año 2020.

Y = Estimación del año de la compra del artículo, restando el tiempo de uso en años (T) para cada artículo perdido (i) al año 2020, año de la inundación.

Anexo 7. Análisis Beneficio / Costo

ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

Objetivo: Calcular los costos de prevención de inundaciones y la proporción que representa el valor de los costos evitados indirectos del servicio ecosistémico de control de inundaciones en los humedales de la RBPC.

Horizonte de evaluación: Evento de inundación de octubre y noviembre de 2020.

Criterios de evaluación: Se debe tener en cuenta la comparación de la relación B/C hallada en comparación con 1, así tenemos lo siguiente:

B /C mayor que 1; B/C > 1: Indica que los beneficios de los costos evitados indirectos de los humedales superaron los costos de prevención de inundaciones, por lo tanto deben considerarse que el proyecto es factible ambientalmente.

B/C igual a 1; B/C=1: Aquí no hay ganancias, pues beneficios de los costos evitados indirectos de los humedales son iguales a los costos de prevención de inundaciones.

B/C menor que 1; B/C < 1: Muestra que los costos de prevención de inundaciones son mayores que los beneficios de los costos evitados indirectos de los humedales, por lo tanto no se debe considerar que este proyecto sea factible ambientalmente.

Análisis: Calcular si para el evento de octubre y noviembre de 2020 los beneficios de los costos evitados indirectos del servicio ecosistémico de control de inundaciones en los humedales de la RBPC fueron mayores que los costos de prevención de inundaciones.

Costos de prevención de inundaciones						
Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Importe pesos MXN	USD (1 USD = 21.2508 pesos MXN)	Fuente
I. Costos de inversión en sistemas estructurales						
Fortalecimiento de la infraestructura de protección hídrica para la población en Tabasco de las inundaciones de 2020						
Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) realizó 25 acciones del Proyecto Hidrológico de Tabasco (Prohtab) (construcción de protecciones marginales, dragado, limpieza y desalzolve, mantenimiento a compuertas, 16 estudios y proyectos, 2 supervisiones técnicas y 2 servicios de liberación de predios de tenencia de la tierra y permiso, bombeo y suministro de agua potable)	1	paquete	\$ 111,390,000.00	\$ 111,390,000.00	\$ 5,241,685.02	CONAGUA (2020)
Dragado del río González, a la altura de las localidades El Rin, la Esperanza, San José (La Ilusión) en el municipio de Centla en el año 2020.						
Adquisición de dragas y equipo complementario a cargo del presupuesto de la Secretaría Marina.	1	programa de inversión	\$ 802,776,830.00	\$ 802,776,830.00	\$ 37,776,311.01	Gobierno de México (2021)
Infraestructura Hidráulica						

Daños y pérdidas	1	inventario	\$ 1,244,078.90	\$ 1,244,078.90	\$ 58,542.69	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021)
Total Costos de gestión del riesgo=				\$ 915,410,908.90	\$ 43,076,538.71	
II. Costos de gestión del riesgo						
Atención de la emergencia	1	evento	\$ 225,900,000.00	\$ 225,900,000.00	\$ 10,630,188.04	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021)
Solicitud de autorización de recursos para emprender acciones de prevención y auxilio a la población afectada por el frente frío número 9 en el estado de Tabasco	1	presupuesto	\$ 4,672,136.14	\$ 4,672,136.14	\$ 219,856.95	IPCET (2020)
Total Costos de gestión del riesgo=				\$ 230,572,136.14	\$ 10,850,044.99	
III. Costos de inversión en conservación de humedales						
Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (PROCODES) 2020 (RBPC).						
Solicitud autorizada	2	estudio técnico	\$ 50,000.00	\$ 100,000.00	\$ 4,705.71	CONANP (2020)
Solicitud autorizada	1	proyecto	\$ 100,000.00	\$ 100,000.00	\$ 4,705.71	CONANP (2020)
Solicitud autorizada	1	proyecto	\$ 30,000.00	\$ 30,000.00	\$ 1,411.71	CONANP (2020)
Solicitud autorizada	1	proyecto	\$ 96,000.00	\$ 96,000.00	\$ 4,517.48	CONANP (2020)
Solicitud autorizada	1	proyecto	\$ 96,000.00	\$ 96,000.00	\$ 4,517.48	CONANP (2020)
Solicitud autorizada	1	proyecto	\$ 30,000.00	\$ 30,000.00	\$ 1,411.71	CONANP (2020)
Solicitud autorizada	1	proyecto	\$ 96,000.00	\$ 96,000.00	\$ 4,517.48	CONANP (2020)
Solicitud autorizada	1	proyecto	\$ 294,800.00	\$ 294,800.00	\$ 13,872.42	CONANP (2020)
Solicitud autorizada	1	proyecto	\$ 30,000.00	\$ 30,000.00	\$ 1,411.71	CONANP (2020)
Solicitud autorizada	1	proyecto	\$ 42,750.00	\$ 42,750.00	\$ 2,011.69	CONANP (2020)
Solicitud autorizada	1	proyecto	\$ 96,000.00	\$ 96,000.00	\$ 4,517.48	CONANP (2020)
Solicitud autorizada	1	proyecto	\$ 30,000.00	\$ 30,000.00	\$ 1,411.71	CONANP (2020)
Solicitud autorizada	1	proyecto	\$ 96,000.00	\$ 96,000.00	\$ 4,517.48	CONANP (2020)

Solicitud autorizada	1	proyecto	\$ 96,000.00	\$ 96,000.00	\$ 4,517.48	CONANP (2020)
Solicitud autorizada	1	proyecto	\$ 96,000.00	\$ 96,000.00	\$ 4,517.48	CONANP (2020)
Solicitud autorizada	5	curso de capacitación	\$ 40,000.00	\$ 200,000.00	\$ 9,411.41	CONANP (2020)
Total Costos de inversión en conservación de humedales=				\$ 1,529,550.00	\$ 71,976.11	CONANP (2020)
Costos totales=				\$ 1,147,512,595.04	\$ 53,998,559.82	

Beneficios de los costos evitados indirectos de los humedales						
Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Importe pesos MXN	USD (1 USD = 21.2508 pesos MXN)	Fuente
I. Costo de mitigación de desastre natural por uso de servicio ecosistémico de control de inundaciones de los humedales de la RBPC. Costos Evitados Indirectos (Evi)						
Manglar en suelos de gleysol eútrico*	7.02	hao	\$275,778,517.63	\$1,935,965,193.76	\$91,100,814.73	Elaboración propia
Popal-tular en suelos de gleysol eútrico*	9.45	ha	\$5,414,882.77	\$51,170,642.18	\$2,407,939.57	Elaboración propia
Beneficios totales=				\$ 1,987,135,835.94	\$ 93,508,754.30	

*Este resultado corresponde a las pérdidas de humedales de *manglar* y *popal-tular* que se transformaron a asentamientos humanos en todo el polígono de la RBPC entre t₂ y t₃, al inferir que estas pérdidas ocurrieron en suelos de tipo *gleysol eútrico*.

Resultados:

Fórmula = B/C

Donde:

B= Beneficios totales

C= Costos totales

B= \$1,987,135,835.94

C= \$1,147,512,595.04

B/C= 1.7

Indica que los beneficios de los costos evitados indirectos de los humedales superaron los costos de prevención de inundaciones, por lo tanto deben considerarse que el proyecto es factible ambientalmente.

Conclusión: Este resultado muestra que para el supuesto "Los beneficios de los costos evitados indirectos del servicio ecosistémico de control de inundaciones en los humedales de la RBPC fueron mayores que los costos de prevención de inundaciones", evaluado a través de la relación B/C los beneficios exceden los costos calculados por lo que se acepta esta afirmación por lo cual se considera factible ambientalmente evitar la transformación de los humedales hacia asentamientos y otros usos antropogénicos.

En términos de montos económicos los costos evitados indirectos de los humedales de manglar y popal-tular en suelos de gleysol eútrico que dejaron de prestar el servicio ecosistémico de control de inundaciones debido a su transformación en asentamientos humanos representan una proporción de 1.7 veces más que el costo de prevención de inundaciones calculado en este estudio, lo cual se considera significativo debido que en términos de mitigación de inundaciones estas afectaciones económicas y sociales no solo hubieran disminuido, si no que hubieran evitado el 100 % de los gastos gubernamentales que conllevó la atención de esta emergencia.

Cabe mencionar, que los beneficios derivados de los servicios ecosistémicos de control de inundaciones se están calculando espacialmente únicamente para el polígono de la reserva natural, mientras que los costos aquí presentados son para todo el territorio del Estado de Tabasco, por lo que este resultado adquiere mayor relevancia debido a que si escalamos estos resultados a las tendencias de cambio de uso de suelo a todo el estado se podrá observar que, en términos económicos, los beneficios de los usos indirectos de la mitigación de las inundaciones que se están dejando de recibir de los humedales serán de mayor magnitud que los obtenidos mediante este análisis.

Si hablamos en términos de pérdida del humedal y su transformación a usos antropogénicos como los asentamientos humanos y de mantenerse o incrementar esta tendencia, es muy probable que afectará la oferta del servicio ecosistémico de control de inundaciones, y en consecuencia se perderá la posibilidad de que en eventos de desastres naturales por inundaciones estos suelos conserven su capacidad de retención o almacén de agua evitando daños y pérdidas materiales o humanas a sus habitantes.

Estos hallazgos se consideran relevantes ya que visibilizan que los servicios ecosistémicos de regulación de inundaciones de los humedales naturales tienen la capacidad no solo de apoyar la función de los sistemas estructurales de contención de inundaciones, si no que sus beneficios tienen un impacto que va más allá de sus límites administrativos como de la RBPC y de las comunidades que las habitan, por lo que es prioritario vigilar y revertir las tendencias de las pérdidas de los humedales y sus transformaciones a asentamientos humanos.

Referencias bibliográficas:

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (31 de diciembre de 2020). *Comunicado de Prensa 1056-20. En 2020, Conagua concluyó obras para proteger a la población y aprovechar mejor el agua en Tabasco.* CONAGUA. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/603398/Comunicado_de_Prensa_1056-20.pdf

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [CONANP]. (06 de enero de 2020). *Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (PROCODES) 2020.* Relación de solicitudes autorizadas PROCODES 2020. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. <https://www.conanp.gob.mx/procodes2020/SolicitudesAutorizadas2020.xlsx>

Gobierno de México. (enero 2021). Proyecto de Presupuesto de Egresos de la Federación Ejercicio Fiscal 2021. Administrativo. Ramo 13. Marina. Programas y proyectos de inversión. Secretaría de Hacienda y Crédito Público [SHCP]. https://www.pef.hacienda.gob.mx/work/models/PEF2021/docs/13/r13_pir.pdf

Instituto de Protección Civil del Estado de Tabasco [IPCET]. (30 de octubre de 2020). *Recursos del Fondo de Contingencia de Tabasco (FOCOTAB). Acta de la Tercera Sesión Extraordinaria de 2020 del H. Comité Técnico del Fideicomiso 2066 – Fondo de Contingencia de Tabasco. Acta FOCOTAB 03.SE.2020.* IPCET. <https://tabasco.gob.mx/sites/default/files/users/ipcettabasco/6.-%20ACTA%20FOCOTAB%2003%20SE%202020.pdf>

Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. (junio de 2021). *Impacto Socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México 2020.* Coordinación de Políticas Públicas para la Prevención de Desastres, Subdirección de Estudios Económicos y Sociales, y Centro Nacional de Prevención de Desastres, https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/482-IMPACTO_SOCIOECONOMICO_2020.PDF

Fuente: Elaboración propia.