

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN**

**PROGRAMA DE POSGRADO**

**Análisis de la integridad ecohidrológica en un municipio de la región Istmo-Costa de  
Chiapas: caso subcuenca del río Zanatenco, México**

**Tesis sometida a consideración de la División de Educación y el Programa de  
Posgrado como requisito para optar al grado de**

***MAGISTER SCIENTIAE***

**En Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad**

**Eliobeth Cueto Espinosa**

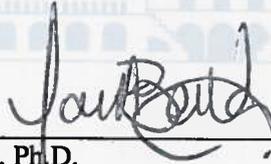
**Turrialba, Costa Rica**

**2019**

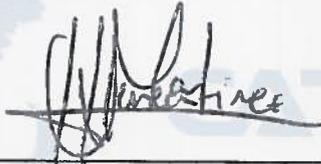
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO Y CONSERVACIÓN  
DE BOSQUES TROPICALES Y BIODIVERSIDAD**

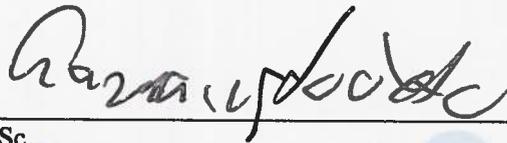
**FIRMANTES:**



Laura Benegas, Ph.D.  
Codirectora de tesis



Christian Herrera, M.Sc.  
Codirector de tesis



Ney Ríos, M.Sc.  
Miembro Comité Consejero



Isabel A. Gutiérrez-Montes, Ph.D.  
Decana Escuela de Posgrado



Eliabeth Cueto Espinosa  
Candidato

## **DEDICATORIA**

El resultado de todo esfuerzo se debe a la suma de todas las fuerzas que aportaron un poco de sí para lograr la culminación de esta meta, razón por la que deben atribuirse los honores correspondientes. Mi familia, por haber estado apoyando desde lejos, por el esfuerzo, por su comprensión, por sus llamadas de alegría, por quitarse parte de sus plumas para cocerlas sobre mis alas cuando estaban rotas y ayudarme a retomar el vuelo, simplemente, por estar siempre ahí.

“Con mochila en hombro, vi como mi hermanito cruzaba los filtros de seguridad y como abrazaba y perseguía sus sueños” (Cueto<sup>4</sup>, 2018).

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Comité Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca hacerme acreedor a una beca través del programa de becas estatales (Tabasco-CONACYT).

A Cristhian G. Herrera, por su confianza depositada en mí desde el primer momento que hablamos de esta investigación, por sus consejos, orientación, cuestionamientos durante todo el camino y por el apoyo brindado cuando se requería un amigo. A Laura Benegas, por presentarme el camino de la ecohidrología y su confianza. A Ney Ríos por dejarme incursionar en el mundo de las cuencas.

A la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), a Delmar por su total apoyo; así como cada estudiante participante en la toma de datos, gracias por las caminadas, su entusiasmo y amistad. Juan, Israel, José, Graciela, Yesenia, Fernando, Gabriela, Iván (Mi hermano del alma), Petrona y Anthony.

A cada uno de mis compañeros de “boscólogos y cuencólogos” que permitieron tener una estadía genial en CATIE, en especial a Rommel, mi amigo de andar en bicicleta y largas charlas frente a aquella represa. A Omar, ese fiel amigo de quien he aprendido tanto y que siempre estaba con esos calurosos abrazos. A Minelia, por las horas y horas de caminata y charlas a cualquier hora del día.

A mi hermano **Alberto Iraheta** (El señor de los puños), quien comparte el gusto por viajar y ese entusiasmo por conocer el mundo. Gracias por esos abrazos y por las tantas charlas que tuvimos.

De manera especial a esos dos grandes investigadores que me impulsaron a tomar vuelo, porque con sus canciones y bailes exóticos de Juan Gabriel, así como sus charlas de ánimo y apoyo cuando más lo requerí, he podido culminar estas líneas. **Víctor y Fabiola**, inmensamente agradecidos por todo.

A **Alejandro Pereira**, amigo y hermano, quien humildemente y con todo gusto, me mostró a su familia y la cabaña del abuelo, mi lugar preferido en todo este largo caminar y a donde siempre anhelaré volver.

A mis padres, Leonor y Manuela de Jesús por su confianza y por dejarme volar tan pronto. A mis hermanos José del Carmen, Julio Alberto, Isaías, Israel, Petrona, Yesenia, María Cruz Cristhian, Fátima y Alexander, porque cada uno de ellos contribuyó, de cierto modo, a poder culminar este reto en mi vida, escucharlos horas antes del examen, es algo que no tiene precio. Quizás no tenga palabras suficientes para describir lo que hemos pasado juntos, pero sin dudar, ha sido el mejor viaje de mi vida y no dudaría en volver a vivir una vida junto a ustedes. Todo mi respeto y admiración para ustedes, familia.

## CONTENIDO

LISTADO DE CUADROS .....	VIII
LISTADO DE FIGURAS .....	VIII
LISTA DE ACRÓNIMOS .....	IX
INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVOS DE ESTUDIO .....	3
OBJETIVO GENERAL .....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
Cuenca hidrográfica .....	4
Integridad ecológica .....	5
Ecohidrología.....	6
Ecosistema fluvial.....	7
Humedales Ramsar .....	8
Humedales marino-costeros .....	8
Efectividad de manejo.....	9
Contribuciones de la Naturaleza a la Gente.....	9
Ecología del paisaje .....	11
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	11
Capítulo 1: Propuesta metodológica para la evaluación de la integridad ecohidrológica en paisajes costeros.....	17
RESUMEN.....	17
SUMMARY .....	18
INTRODUCCIÓN .....	19
METODOLOGÍA.....	20
Construcción de un modelo conceptual de IEH enfocado a paisajes costeros.....	20
Construcción de la metodología de integridad ecohidrológica .....	20
Selección de Objetos de conservación (OC), atributos ecológicos claves (AEC) e indicadores (I) .....	21
1) De acuerdo a la categoría de los atributos .....	22
<i>Integridad ecológica (IE):</i> .....	22
2) De acuerdo a las amenazas críticas (presiones y fuentes).....	22
<i>Indicador de presión (grado):</i> .....	22

<i>Fuente de presión (grado):</i> .....	22
3) De acuerdo a su practicidad y factibilidad .....	23
<i>Facilidad para hacerse en campo:</i> .....	23
<i>Periodos cortos de monitoreo</i> .....	23
<i>Indicadores usados ampliamente:</i> .....	23
4) De acuerdo con el grado de protección y gestión.....	23
<i>Área Natural Protegida (ANP):</i> .....	23
<i>Efectividad de manejo (EM):</i> .....	23
<i>Contemplado dentro del sitio Ramsar:</i> .....	23
<i>Contemplado dentro de la</i> .....	24
<i>Contempladas en manejo de cuencas:</i> .....	24
Elaboración de matriz .....	24
Selección de indicadores .....	25
<i>Indicadores cuantitativos:</i> .....	25
<i>Indicadores cualitativos (Percepción rápida):</i> .....	26
<i>Indicadores mixtos:</i> .....	26
Asignación de valores para la metodología de IEH .....	27
Evaluación de integridad ecohidrológica .....	27
Efectividad de manejo .....	29
Contribuciones de la naturaleza a la gente .....	30
RESULTADOS .....	30
Marco conceptual.....	30
Propuesta de evaluación .....	33
Efectividad de manejo.....	33
Contribuciones de la naturaleza a la gente .....	34
DISCUSIÓN.....	34
CONCLUSIÓN .....	37
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	39
Capítulo 2: Evaluación de la integridad ecohidrológica en la cuenca del Río Zanatenco, Tonalá, Chiapas, México. ....	46
RESUMEN.....	46
SUMMARY .....	47
INTRODUCCIÓN .....	48

METODOLOGÍA.....	49
Ubicación.....	49
División de la subcuenca .....	50
Objetos de conservación.....	50
Selección de puntos.....	50
Indicadores .....	53
Ecosistema fluvial.....	53
Usos y cobertura del suelo.....	54
Manglar .....	56
Efectividad de manejo-Chiapas .....	57
CONTRIBUCIONES DE LA NATURALEZA A LA GENTE.....	58
RESULTADOS .....	58
Cobertura del suelo .....	58
Indicadores de presencia de patógenos en el agua ( <i>Escherichia coli</i> ).....	59
Macroinvertebrados .....	60
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).....	61
Integridad por cuencas .....	62
OBJETOS DE CONSERVACIÓN .....	63
Ecosistema fluvial .....	63
Integridad Ecohidrológica por sitios .....	63
Recurso hídrico vs bosque de ribera .....	66
Ecosistema de manglar.....	67
Efectividad de manejo.....	68
Importancia .....	69
Contribuciones de la naturaleza a la gente.....	69
DISCUSIÓN.....	70
Ecosistema fluvial.....	70
Manglares .....	75
Referente a la metodología empleada .....	76
CONCLUSIONES .....	77
RECOMENDACIONES .....	78
LITERATURA CITADA.....	79

## LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Objetivos y preguntas de investigación.....	4
Cuadro 2. Sinónimos de metodologías revisadas. Tonalá, México. 2019.....	21
Cuadro 3. Matriz de evaluación de OC para la subcuenca, Tonalá, Chiapas. ....	25
Cuadro 4. Descripción de la IEH y sus valores en escala. Tonalá, Chiapas, México. 2019.....	27
Cuadro 5. Escala de evaluación de la IEH. ....	28
Cuadro 6. Descripción de sitios de muestreo.....	52
Cuadro 7. Métricas de clase y paisaje empleadas en la metodología. Tonalá, Chiapas, México. 2019. .....	54
Cuadro 8. Ecuaciones para calcular las amenazas, importancia y manejo en EM.....	57
Cuadro 9. Índices de diversidad biológica para macroinvertebrados acuáticos.....	60
Cuadro 10. Resultados de NDVI para la subcuenca del río Zanatenco (enero, 2019). ....	61

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama representativo sobre la reestructuración de los SE hacia las CNG.....	10
Figura 2. Marco conceptual de la Integridad Ecohidrológica.....	31
Figura 3. Modelo de IEH para la costa de Chiapas, México. 2019.....	32
Figura 4. Segregación de los indicadores para los OC.....	33
Figura 5. Mapa de ubicación de la Subcuenca del río Zanatenco. ....	49
Figura 6. Distribución de puntos por división de cuencas. Tonalá, Chiapas, México. 2019.....	51
Figura 7. Puntos establecidos por parcelas. Tonalá, Chiapas, 2019.....	55
Figura 8. Conglomerado SARMOD. ....	56
Figura 9. Mapa de ubicación del conglomerado SAR-MOD. ....	57
Figura 10. Porcentaje de cobertura mediante círculos de muestreo. ....	59
Figura 11. Distribución de UFC en la cuenca alta y media del río Zanatenco. ....	60
Figura 12. Mapa de resultados de la índice NDVI.....	61
Figura 13. Resultados de IEH para la subcuenca y por división.....	63
Figura 14. Resultados de IEH por sitios para el ecosistema fluvial.....	63
Figura 15. Características ecológicas dominantes por división de cuencas. ....	64
Figura 16. Resultados de IEH evaluando estructura. ....	65
Figura 17. Resultados de IEH evaluando composición.....	65
Figura 18. Resultados de IEH evaluando función.....	66
Figura 19. Resultados de IEH para el RH y bosque de ribera por división de cuenca.....	67
Figura 20. Resultados de IEH para el manglar. ....	68
Figura 21. Orden de importancia en las amenazas señaladas por personal de CONANP. ....	68
Figura 22. Importancia del manejo dentro del sitio Ramsar Estuarino puerto Arista. ....	69
Figura 23. Orden de importancia de las CNG identificadas por las personas. ....	70

## LISTA DE ACRÓNIMOS

AEC: Atributos Ecológicos Clave  
AI: Agregation index  
AICAS: Área de Importancia para la conservación de Aves  
ANP: Áreas Naturales Protegidas  
BMWP: Biological Monitoring Working Party”  
CA: Class Area  
CNG: Contribuciones de la Naturaleza a la Gente  
CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad  
CONAGUA: Comisión Nacional del Agua  
CONANP: Comisión de Áreas Naturales Protegidas  
CONAFOR: comisión Nacional Forestal  
ED: Edge density  
EM: Efectividad de manejo  
ENN: Distancia al vecino Euclidiano más cercano  
GWW: Global wáter Watch  
IE: Integridad Ecológica  
IEH: Integridad Ecohidrológica  
IJI: Interspersion and Juxtaposition Index  
IPBES: Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services  
LPI: Largest patch index  
NDVI: Normalized Difference Vegetation Index  
NDWI: Normalized Difference Water Index  
NP: Number of patches  
OC: Objetos de Conservación  
ONU: Organización de las Naciones Unidas  
PD: Patch density  
PLAN: Porcentage of landscape  
RAPPAM: Rapid Assessment and Prioritization of Protected Area Management  
REBISE: Reserva de la Biósfera La Sepultura  
RH: Región Hidrológica  
SARMOD: Sistema Alta Resolución Monitoreo de la Diversidad  
SIG: Sistemas de Información Geográfico  
TNC: The Nature Conservancy

## **INTRODUCCIÓN**

Chiapas es un estado del suroeste de los Estados Unidos Mexicanos, entre sus formas de división se pueden mencionar la división municipal, regiones socioeconómicas e hidrográficas, entre otras. Para la investigación se contempló como zona de trabajo la región económica IX Istmo-Costa, que a la vez confluyen con una parte de la región hidrográfica (RH23) Costa de Chiapas. Dicha región conformada por varias cuencas, consideradas como unidades de manejo espacial definidas por un límite natural y una red hídrica que actúa como agente integrador, facilitando la cogestión de cuencas hidrográficas. La mayoría de los estudios de cuencas están enfocados a la disponibilidad y calidad del recurso hídrico, la erosión de suelos, bosques ribereños, manejo de los bosques, reducción de riesgos, producción de agua, etc.

Las cuencas costeras de Chiapas han sufrido disturbios naturales como los huracanes Mitch (1998) y Stan (2005) (Villafuerte y García, 2006; Oswald, 2012; Arellano y Ruiz, 2019) aunque también se han reportado perturbaciones antrópicas, como la ganadería y agricultura, misma que actualmente se fortalece con la entrega de subsidios en México, como el programa del fomento ganadero, donde la costa de Chiapas no es excepción (Arellano y Ruiz, 2018; SADER, 2019). Así mismo, la CONAFOR (2016), para el periodo 1993-2012 reporta una disminución del 7.6% de su cobertura forestal en la región Istmo-costa, región donde se ubica la subcuenca del río Zanatenco.

Aunando a lo expresado, Chiapas está catalogado con un estrés hídrico bajo, pero la costa de Chiapas (Istmo costa y Soconusco) está catalogada como una zona de alto estrés hídrico, con extremadamente alta probabilidad de inundación por los ríos, (World Resources Institute, 2019), relacionado a la respuesta rápida de las cuencas costeras. Por su parte, Arellano y Ruíz (2018; 2019) encontraron que la precipitación interanual y el escurrimiento anual del río Zanatenco es decreciente y en un 68% de los años estudiados fueron años secos, en consecuencia, se presenta una disminución de las contribuciones de la naturaleza a la gente (CNG), especialmente las CNG hidrológicas.

Por lo mencionado, en los últimos años se ha notado que en la región Istmo-Costa de Chiapas, se han fomentado proyectos productivos, además de aquellos que son enfocados a la conservación de las contribuciones de la naturaleza a la gente, en especial al recurso hídrico. Para ello, se ha tomado el enfoque de cuencas como unidad de trabajo en que se interviene, principalmente, la parte alta (conservación de cobertura vegetal) y la parte baja (conservación del ecosistema de manglar). La presente investigación busca tener criterios de evaluación más amplio, como el enfoque de ecología paisaje. Este enfoque define las relaciones entre patrones espaciales y procesos ecológicos (Turner *et al.* 2005), por lo que un paisaje puede abarcar varias cuencas.

### **Justificación**

La subcuenca del río Zanatenco tiene la particularidad de encontrarse bajo la influencia de dos áreas protegidas, la Reserva de la Biosfera La Sepultura (REBISE) y un

Humedal Protegido de Importancia Internacional (HPII), el sitio Ramsar Estuarino Puerto Arista. La REBISE mantiene vegetación de bosques mesófilo de montaña, selva mediana subperennifolia, selva caducifolia, además del bosque de pino y pino-encino en la parte alta y media de la subcuenca.

Las diferentes actividades realizadas en la parte alta y media de la subcuenca pueden tener repercusiones sobre el ecosistema de manglar el cual desempeña un papel importante en las CNG, como creación y mantenimiento del hábitat, regulación de acidificación del océano, regulación de la calidad del agua dulce y costera, regulación a eventos extremos, energía, comida y alimentación, entre otros más específicos entre los que resaltan la importancia para la conservación y la comercialización como la producción de peces y camarones, el aprovisionamiento de refugio y zonas de alimentación para alevines, la purificación del agua, entre otros. (Yáñez-Arancibia *et al.* 2014).

Por otra parte, los humedales costeros, al recibir los diferentes aportes de las escorrentías de la zona continental (Martínez y Esteve, 2007), que traen consigo residuos de los bosques, de tierras degradadas y de acciones antrópicas, juegan un importante papel como filtros en el proceso de purificación del agua y eliminación de contaminantes físicos y solubles que transporta el ecosistema fluvial. En esta investigación, son de importancia aquellos contaminantes que son transportados por el río, desde la cabecera municipal de Tonalá hacia los manglares en la parte baja de la subcuenca.

Teniendo conocimiento que los manglares ubicados en la parte baja de la subcuenca están catalogados como sitios Ramsar (CONANP, 2012), se asume la ejecución de actividades enfocadas en la conservación, sin embargo, al no ser un Área Natural protegida (ANP) carece de un plan de manejo y se rige bajo un Plan Operativo Anual (POA) que claramente puede ser sometido a una evaluación de efectividad de manejo (EM) bajo la propuesta metodológica para la evaluación de estos sitios (Ramsar 2015), o empleando alguna otra metodología de evaluación de EM. Al mismo tiempo, se han implementado herramientas para evaluar la integridad ecológica (IE) (Herrera y Corrales, 2004; Herrera, 2015; Guizada, 2018). Dentro de algunas propuestas metodológicas para evaluar integridad se ha hecho énfasis a la ecohidrología, sin embargo, sigue siendo un tema relativamente nuevo, comparado con otras áreas de investigación (biología de la conservación, hidrología, bosques, etc.).

Asimismo, los trabajos desarrollados en la subcuenca no integran vacíos a escala de paisaje, por ejemplo, los resultados de CNG pueden tener implicaciones positivas en los procesos de gestión, conservación y restauración de los recursos naturales (Ferraz *et al.* 2014). No tener metodologías integradoras, como la ecohidrología, puede proveer información de un objeto de conservación (OC), pero no la interacción de este con otros OC por lo que las actividades de restauración o manejo que se propongan pueden estar sesgadas a un OC. Por ello, es importante considerar metodologías que evalúen la integridad de los diferentes ecosistemas pero que al mismo tiempo puedan ser integrados en un solo resultado,

razón por la que se debe promover los estudios integrales en los que se contemplen las CNG, los riesgos al cambio climático, el estado actual de los ecosistemas entre otros. Además, se requiere fortalecer aquellas medidas de evaluación adaptativas sin que se limiten a evaluar cuencas, paisajes, ANPs o ecosistemas, por el contrario, que mantenga el objetivo de su diseño y que refleje datos de la IEH.

### *Importancia*

La presente investigación busca solventar los vacíos obtenidos en trabajo de integridad, proponiendo una evaluación de la integridad ecohidrológica (IEH), además de establecer relaciones entre los resultados obtenidos en los OC y no por separado. Sugiere combinar los procesos bióticos, hidrológicos y la percepción social a fin de obtener resultados más completos y con mejores interpretaciones, con la finalidad de proponer acciones de manejo y, en caso de que existan, fortalecerlos o direccionarlos al manejo adaptativo.

Esta herramienta ayudará investigadores, instituciones y academia a replicar investigaciones con metodologías diseñadas para paisajes costeros en donde, sin importar el OC, los resultados demuestren la relación entre estos y el estado general de la zona de evaluación. Además, permite obtener resultados por sitios, por divisiones de cuenca entre otros. La facilidad de esta metodología es que es adaptativa y, dado a su diseño de evaluación, se pueden agregar o quitar indicadores.

Asimismo, esta metodología contribuye con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), contribuyendo con los siguiente; Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos (ODS 6); Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles(ODS 12); Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos(ODS 13); Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible (ODS 14); Promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y frenar la pérdida de la diversidad biológica (ODS 15).

## **OBJETIVOS DE ESTUDIO**

### **OBJETIVO GENERAL**

Determinar la integridad ecohidrológica en la subcuenca del río Zanatenco perteneciente a la región Istmo-Costa de Chiapas, y su impacto sobre las contribuciones de la naturaleza a la gente.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1) Definir un modelo conceptual ecohidrológico para identificar las variables determinantes en la evaluación integral de ecosistemas marino-costeros.
- 2) Diseñar una propuesta metodológica basada en objetos de conservación, atributos ecológicos claves e indicadores ecohidrológicos que permita determinar la integridad ecohidrológica en cuencas costeras.

3) Validar la metodología de integridad ecohidrológica en la subcuenca del río Zanatenco, costa de Chiapas.

## PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Cuadro 1. Objetivos y preguntas de investigación.

Objetivos específicos	Preguntas de investigación
<b>Definir un modelo conceptual ecohidrológico para identificar las variables determinantes en la evaluación integral de ecosistemas marino-costeros.</b>	¿Qué aspectos ecológicos y sociales deben estar dentro del modelo que represente la ecohidrología? ¿Cuál es la percepción local de las poblaciones respecto a las contribuciones de la naturaleza a la gente?
<b>Diseñar una propuesta metodológica que permita determinar la integridad ecohidrológica en cuencas costeras.</b>	¿Cuál es el rango de aplicación y alcance para una metodología de IEH? ¿Qué componentes deben integrar la metodología de IEH?
<b>Validar la metodología de integridad ecohidrológica en la subcuenca del río Zanatenco, costa de Chiapas.</b>	¿Cómo se determina de forma efectiva la evaluación de IEH? ¿Cuál es el estado ecohidrológico actual subcuenca del Río Zanatenco, Chiapas, México?

## MARCO TEÓRICO

### Cuenca hidrográfica

El término de cuenca hidrográfica se refiere a un espacio geográfico delimitado naturalmente por las partes más altas de las elevaciones montañosas, las cuales tienen una red de drenaje superficial que vierte todas las aguas recabadas, en pequeños y medianos canales, a un río más grande y que su disposición final puede ser un mar, un lago o una laguna (Francisco, 2000). Dependiendo de los autores, las cuencas pueden dividirse por subcuencas y microcuencas siendo conformadas por una serie de relaciones entre componente biológico, hídrico, social y cultural (Ramakrishna, 1997). Asimismo, se han desarrollado diferentes criterios para la priorización de áreas de intervención en cuencas (Benegas y León, 2009), los cuales dependen de la zona de aplicación. Algunos de los criterios empleados en cuencas de Honduras y el Nicaragua fueron la necesidad de calidad y cantidad de agua, el grado de vulnerabilidad a desastres naturales relacionados al recurso hídrico, el costo-beneficio de acciones prioritarias, la organización del capital social en juntas de agua, el aporte del capital económico por parte de las personas en el área de intervención, las incidencias de enfermedades según el origen hídrico, los aspectos legales y geográficos, entre otros.

Por la importancia que tienen las cuencas costeras en el contexto de planeación, toma de decisiones y gestión del recurso hídrico la Secretaría de la Convención de Ramsar

(2010), desarrolló un manual con énfasis en la integración y el uso racional de los humedales dentro de las cuencas hidrográficas, abarcando aspectos de manejo integrado de los recursos hídricos y de cuenca, además de contemplar el trabajo a favor de la integración de los humedales en las cuencas bajo un entorno político, social e institucional que contemplen temas de sensibilización ambiental así como un monitoreo de la secuencia de actividades implementadas. Para fines de la presente investigación, nos enfocamos en las cuencas costeras, siendo definidas por un parteaguas en la parte media y alta y con un punto de salida a lagunas costeras, humedales o al mar abierto.

### **Integridad ecológica**

El proceso de construcción de integridad tiene sus orígenes varias décadas atrás, primeramente, Leopold (1946), citado por Simberloff (2012), hizo referencia a la integridad y salud de los ecosistemas cuando percibió la importancia de las especies exóticas sobre las nativas, sugiriendo que las comunidades deben tener algún tipo de estabilidad. Posteriormente, fue usado cuando se aplicaban conceptos holísticos para entender el funcionamiento de humedales, tal como lo expone Karr (1991), cuando impulsó el índice de integridad biótica (IBI, por sus siglas en inglés). El autor expresó términos como salud ecosistémica, integridad, niveles ecológicos, poblaciones, etc. Este concepto fue reformado por Parrish (2003), integrando componentes de ecosistemas más completos y lo definió como *“la capacidad de un sistema ecológico para apoyar y mantener una comunidad de organismos que tiene una composición de especies, diversidad y organización funcional comparable a las de los hábitats naturales dentro de una región”*. Por su parte Schweiger (2015) sugirió que sea una comunidad de organismos equilibrada, integrada y adaptada en su composición de especies, dejando fuera conceptos más amplios como como ecosistemas.

Recientemente, este concepto se ha aplicado a escala de paisaje y, como una forma de unificar las evaluaciones de IE en áreas naturales protegidas. Herrera y Corrales (2004) propusieron una metodología para dicha evaluación, basado en el concepto de integridad. Otras metodologías similares consideran componentes para su aplicación y desarrollo, tanto en campo como en gabinete y pueden contemplar variar dependiendo del autor. Por ejemplo, Parrish *et al.* (2003) contemplan seis componentes centrales; 1) la revisión de los objetivos de conservación del ASP; 2) la identificación de objetos de conservación; 3) La identificación de atributos ecológicos clave; 4) la identificación de indicadores, la identificación del rango aceptable de variación de los indicadores y, 5) la calificación de cada. A estos componentes, Herrera y corrales (2004) le agregaron el componente que se relaciona directamente con los objetivos de conservación del área protegida. Asimismo, estas metodologías contemplan los umbrales que registran cambios calificados como generadores de respuestas ambientales en el ecosistema y que además puedan tener la flexibilidad para ser replicables en el tiempo y que permita un monitoreo constante de la integridad ecológica (TNC, 2000).

Otros autores han trabajado con temas de IE y han combinado métodos paisajísticos que complementan evaluación de indicadores en campo y herramientas

satelitales aquellos que son asociados evaluando indicadores en campo (Ludwing *et al.* 2004; Comer & Faber-Langendoen, 2013; Schweiger 2015; SINAC, 2016).

De manera general, recapitulamos que la IE está estrechamente relacionada a la funcionalidad de los ecosistemas, los cuales incorporan elementos de la biodiversidad que pueden estudiarse a escala de paisaje basados en componentes relacionados a la salud, resiliencia y potencial del ecosistema. Estas evaluaciones involucran cuencas, divisiones políticas, e incluso varios ecosistemas

### **Ecohidrología**

La ecohidrología ha sido definida como una “disciplina emergente que estudia las interacciones entre los procesos ecosistémicos y la dinámica del ciclo hidrológico a diferentes escalas espacio-temporal” (De Cabo, 2010 & Tarin *et al.* 2014). Este concepto ha sido manejado y discutido desde hace tiempo en diversos estudios recopilados por Zalewski y Wagner (2000). Por su parte, Gouder (2002) y Zalewski (2006), mencionan que este término surgió de la fusión de dos ciencias, la ecología e hidrología dando pauta a una regulación dual que busca convertir lo sobrante de biomasa en bioenergía.

En la línea, Zalewski (2011), sugiere que el aumento de la degradación ambiental fomentó la necesidad de integrar ambas disciplinas con la finalidad de revertir dichos procesos que enfrentan los ecosistemas. Sin embargo, el concepto estrictamente que relaciona las dos ciencias mencionadas, ha sido modificado y se han incorporado variables como la gestión integrada del recurso hídrico, resiliencias, así como la producción de bienes y servicios ecosistémicos (UNESCO, 2017).

Retomando la idea de Gauder (2002), el autor sugiere que la ecohidrología es una forma novedosa que integra elementos de la gestión del recurso hídrico y una oportunidad para que se reduzca el énfasis a fenómenos periódicos que ocasionan desastres. Asimismo, argumenta que los objetivos de la ecohidrología definen la forma el marco de evaluación para nuevas metodologías, basadas bajo el enfoque de cuencas, por lo que postula a este límite natural como el ente de desagüe que actúa como conductor de complejas relaciones entre ecosistemas.

Por su parte, Madsen *et al.* (2006) hizo referencia al termino ecohidrología como una herramienta para el fomento de nuevas estrategias con la finalidad de preservar o mejorar los procesos naturales que ocurren dentro de la cuenca hidrográfica, además que asume el manejo sustentable de los recursos naturales, depende directamente de la restauración y del mantenimiento de procesos fluviales, así como de ciclos biogeoquímicos que involucre el flujo de energía.

Continuando con la idea, Wagner & Zalewski (2009), menciona que existe evidencia científica que este concepto ha sido aplicado a escala de paisaje y que no es posible explicar el comportamiento de los procesos biológicos y ecológicos de manera separada. Dichos autores mencionan que la ecohidrología no solo se basa en entender le relación de los

procesos biológicos e hidrológicos si no que se debe aprovechar dichos procesos como un agente integrador en la gestión integrada del recurso hídrico

En la línea, Gage *et al.* (2018) desarrollaron un protocolo para el monitoreo de la integridad ecológica para parques naturales de la Red de la Sierra Nevada en el que resaltan la importancia de contar con información básica sobre los humedales. También resaltan la necesidad de permitir la evaluación de tendencias futuras de las variables bióticas y abióticas, considerando que no todas tendrán la misma respuesta y que algunas variables se verán más afectadas por otras causado por el estrés antropogénico.

La ecohidrología busca proporcionar información de la relación del funcionamiento entre la ecología e hidrología, por lo que no se puede tomar como un manual con pasos determinados para la aplicación del concepto sobre el proceso de gestión del recurso hídrico (UNESCO 2017). Por esta razón, se requiere desarrollar o adaptar estudios a los objetivos de investigación y que sean replicables por zonas, tal como se propone en la investigación para las zonas costeras de la región Istmo-Costa de Chiapas. Aunado a lo anterior, Li *et al.* (2017) han sintetizado el creciente número de artículos científicos publicados en revistas indexadas que abordan la ecohidrología, pasando de 104 publicaciones en el año 2000 a 1,746 en el periodo 2010-2014. Los autores exponen que los estudios de ecohidrología están focalizados en la evapotranspiración, el uso eficiente del agua, la humedad del suelo y los patrones en la vegetación. Sin embargo, se sugiere que se deben realizar estudios a múltiples escalas y procesos ecohidrológicos, así como el desarrollo de métodos para ser cuantificados.

### **Ecosistema fluvial**

El ecosistema fluvial ha sido definido desde aspectos hidrológicos, siendo el recurso hídrico el eje central en la mayoría de las definiciones. Sin embargo, Jiménez *et al.* (sf) resalta que los enunciados desde puntos de vistas hidrológicos no engloban el total de los ecosistemas fluviales por lo que se requiere una visión más global. Para nuestra investigación se define al ecosistema fluvial como la interacción entre los aspectos hidrológicos, físicos, bioquímicos, biológicos, geológicos, sociales y edáficos bajo una codependencia para mantener los ciclos naturales del ecosistema en un determinado espacio geográfico.

Otro aspecto que debe considerarse es la dinámica de los ecosistemas fluviales. Allan y Castillo (2007) mencionan que estos varían en muchas características adicionales y que hay una riqueza de ecosistemas fluviales. Esto sugiere que al momento de evaluar dichos ecosistemas deben considerarse todos los aspectos de estructura, función y composición además de dinámica y ubicación de la cuenca en la que están inmersos. Por ejemplo, la estructura del ecosistema fluvial en las amazonas (cuencas muy grandes) es muy diferente a ecosistemas fluviales en cuencas pequeñas. Asimismo, estos ecosistemas cambian dependiendo de la altura y el ecosistema adyacente por lo que, los ecosistemas fluviales en bosques templados pueden presentar diferencias de aquellos que se encuentran rodeados por bosques tropicales y que, además, están ubicados en cuencas costeras.

En México existen propuesta de clasificación de humedales (Berlanga-Robles, 2007), sin embargo, para fines legislativos se sugiere emplear la clasificación empleada por CONAGUA (2013), agrupados en cuatro niveles. El Primer nivel se refiere al sistema y contempla seis posibles opciones (marino, estuarino, fluvial, lacustre, palustre y creados); El segundo nivel son los subsistemas y engloba seis principales formas terrestres (plataforma, depresión, planicie, canal, ladera y montaña). El tercer nivel se refiere a la clase, en donde se contempla el régimen de la marea o del agua. El cuarto nivel se definen las unidades primarias que refiere a las zonas de convergencias de los humedales con las zonas terrestres. Finalmente, se agregan los descriptores (tamaño, clima, vegetación, humedad, cambio de suelo, entre otros), siendo elementos que brindan información detallada del humedal.

### **Humedales Ramsar**

La Secretaría de la Convención Ramsar, en el marco de la convención de 1971 define los humedales como *“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).

Este tipo de humedales corresponde a una clasificación propuesta y aprobada como una medida de conservación de los diferentes humedales existentes en el mundo (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2006). Originalmente estos humedales fueron propuestos para la preservación del hábitat de las aves acuáticas que, con el paso del tiempo, pasaron a formar uno de entre tantos aspectos de importancia para la conservación de tales humedales. La convención clasificó los humedales en tres categorías que forman un total de 42 tipos. Las categorías de clasificación son humedales marino-costeros, humedales continentales y humedales artificiales.

La zona de incidencia de la investigación cuenta con un humedal marino-costero de importancia Ramsar, el sitio 1823, Playa Estuarino Puerto Arista. Dichos humedales abarcan los municipios de Tonalá y Arriaga, Chiapas, México. Estos son considerados como áreas de Importancia para la Conservación de Aves (AICAS) ya que en los humedales se ha reportado la presencia de aves acuáticas migratorias y residentes, por otra parte, sus playas son de importancia para el desove de tres especies de tortugas marinas (Secretaría de la Convención de Ramsar, (2008).

### **Humedales marino-costeros**

Dentro de la clasificación la Convención de 1971 se encuentran los humedales marino-costeros, estos tienen como principal característica su ubicación y el grado de inundación. Pueden estar en contacto con el agua salina proveniente del mar, dulce proveniente de la zona continental o ser una combinación entre agua dulce y salada, comúnmente llamada como agua salobre. Los subsistemas en que se clasificaron este tipo de

humedales son las aguas marinas someras permanentes, los lechos marinos submareales, los arrecifes coralinos, las playas marinas rocosas y de arena, los estuarios, bajos intermareales de lodo, los pantanos y esteros, los humedales intermareales arbolados, las lagunas costeras de agua salda y dulce, los sistemas kársticos, así como los sistemas hídricos subterráneos (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2006). Todos estos subsistemas son propensos a los impactos directos de fenómenos climáticos, por lo que se afirma que cumplen con funciones ecológicas y ambientales (Kandus *et al.* 2010), dentro de estas funciones se pueden mencionar la reducción del impacto a la costa por oleaje, reducción de la erosión costera, reducción de la fuerza del viento por huracanes y disminución en el grado de inundaciones, estabilización de sedimentos provenientes de la parte media alta de las cuencas, entre otros (UNEP, 2006).

### **Efectividad de manejo**

La efectividad de manejo en ANPs es el resultado de una serie de procesos históricos dentro de las áreas protegidas, creadas con la finalidad de salvaguardar la integridad biótica y los procesos ecológicos, aceptando que el modelo de conservación puro queda obsoleto al reconocer que las ANPs están dentro de una matriz económica, social y ecológica, siendo necesario el manejo dentro de estas (Cifuentes *et al.* 2000). Los mismos autores señalan que, en Latinoamérica, la mayoría de las ANPs no han podido hacer efectivo el manejo, sino que por el contrario pone en riesgo las metas y objetos de conservación, por ello, desarrollaron una manual para evaluar la efectividad de manejo en ANPs. Sin embargo, la situación ha podido cambiar en los últimos 20 años, razón por la que se debe seguir evaluando la efectividad de manejo en áreas protegidas y por la que se sugiere el manejo adaptativo.

Recientemente, el SINAC (2016), señala que el manejo efectivo de las ANPs requiere la adopción de enfoques de gobernanza ya que cada sitio de conservación cuenta con características locales y únicas por lo que migraron también a la gestión adaptativa en que se reflejen las modificaciones pertinentes al manejo cuando así se requiera para tener una mejor efectividad.

Para evaluar tal efectividad se han desarrollado diferentes metodologías, la mayoría se rige bajos los mismos principios de evaluación. Algunas metodologías son; Rapid Assessment and Prioritisation of Protected Area Management Tool (RAPPAM) (Elvis, 2003); Manual para la Evaluación Rápida de la Efectividad de Manejo en áreas Protegidas de Mesoamérica (Mojica, 2015), Herramienta de seguimiento de la efectividad del manejo (METT) (Stolton *et al.* 2016) y Herramientas específicas para la evaluación de la efectividad de manejo de las áreas silvestres protegidas en cada país, por ejemplo, Costa Rica (SINAC, 2016).

### **Contribuciones de la Naturaleza a la Gente**

Este concepto es resultado de la adopción del marco conceptual en 2013, discutido en la segunda sesión plenaria de la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa

sobre Diversidad Biológica y Servicios Ecosistémicos (IPBES, por sus siglas en inglés). Originalmente, este término fue descrito y aceptado ante el IPBES como los beneficios de la naturaleza hacia las personas (nature's benefits to people), se contemplaron las externalidades positivas que recibe la humanidad en general, sin hacer distinción sobre áreas rurales o urbanas. Los conceptos de servicios ecosistémicos, definidos y usados en la evaluación del ecosistema del milenio que involucra los servicios de regulación y provisión quedaron dentro de este nuevo concepto (Díaz *et al.* 2015). Los servicios culturales se agruparon como una categoría separada a la propuesta en la evaluación de los ecosistemas del milenio (MEA, por sus siglas en inglés), mientras que el servicio de soporte dejó de ser usado (Figura 1). Sin embargo, este concepto no era del todo holístico y dejaba ciertos vacíos ya que enfocaba su atención principalmente en los beneficios obtenidos de la naturaleza. En el 2015, este concepto se renombró como Contribuciones del Naturaleza a la Gente (CNG). En esta reestructuración se contempló la importancia de que tienen las personas en torno a la relación cultura-naturaleza dando un importante realce a la participación del conocimiento ancestral y latente en las culturas indígenas (Díaz *et al.* 2018).

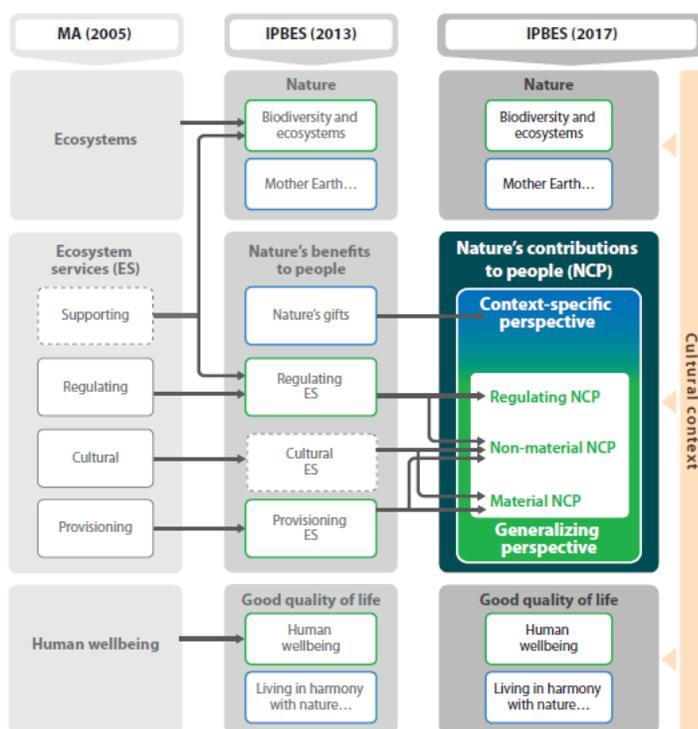


Figura 1. Diagrama representativo sobre la reestructuración de los SE hacia las CNG.

Fuente: Díaz *et al.* 2018.

Las CNG es un concepto más amplio que los llamados servicios ecosistémicos, ya que no solo incluye contribuciones benéficas, sino que también engloban las contribuciones perjudiciales (Díaz *et al.* 2018). También se debe mencionar que los beneficios o detrimentos pueden ser subjetivos porque dependerá de la cultura de cada lugar y se verá influenciado

por el nivel socioeconómico. Actualmente, las CNG están ordenadas en tres grandes grupos (materiales, no materiales y reguladores) las cuales incluyen 18 categorías. Estas categorías no son estrictamente exclusivas ya que algún servicio puede ser reportado en una fase de interacción y avance hacia otro grupo, pero debe seguirse considerando dentro de las 18 categorías de las CNG (Díaz *et al.* 2018).

### **Ecología del paisaje**

Se ha definido como una ciencia interdisciplinaria que estudia relaciones entre patrones espaciales y ecológicos, a diferentes escalas, en los paisajes naturales, seminaturales y urbanos, donde se comprenden aspectos de estructura, función y dinámica. (Turner, 2005; Wu, 2012; Turner, 2015). Por la complejidad de evaluación de estudios a escala de paisaje, este concepto expone una manera diferente de abarcar estudios ecológicos, llegando a considerarse como una disciplina emergente eclética que enfatiza principalmente en la estructura y dinámicas de los paisajes y que, a la vez, rompe los paradigmas de la ecología tradicional que se enfatiza en las relaciones y funciones de entidades (Cushman, 2010). En la línea, Gunnell (2011), menciona que la ecología del paisaje es una biometría del paisaje por lo que aplica las técnicas morfométricas sobre los índices cuantitativos, dejando atrás el enfoque tradicional de la geografía.

Algo novedoso de la ecología del paisaje radica en la identificación de los mosaicos dentro de los paisajes naturales y antrópicos, teniendo como base la matriz paisajística donde se acepta la fragmentación del paisaje (Gunnell, 2011), además, los resultados son interpretación científica del procesamiento de imágenes satelitales (Troll, 2003). Ya que el análisis de imágenes satelitales puede generar desconfianza en la veracidad de los datos, se han comenzado a usar técnicas estadísticas mediante el uso de softwares para evaluar el paisaje, permitiendo crear modelaciones sobre especies y el paisaje, además, de considerar la dependencia espacial en los modelos (Turner, 2015). Aunado a eso, este tipo de evaluaciones permite integrar métricas del paisaje y el desarrollo de índices para evaluar la integridad paisajística (Theobald, 2013).

La evaluación de la ecología del paisaje complementa las gestiones realizadas por los organismos de cuencas, dando espacio a nuevas formas de planificar en que la interacción de espacios ecológicos está ligada a los espacios sociales. Con este tipo de evaluación también se pueden establecer sistemas de muestreo en tiempo y espacio.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Allan, D; Castillo, MM. 2007. Stream Ecology. Structure and function of running Waters. 2da edición. Venezuela. Springer. 444 p.
- Arellano-Monterrosas, JL; Ruiz Meza, LE. 2018. Evaluación y tendencias de los servicios ecosistémicos hidrológicos de la cuenca del río Zanatenco, Chiapas. Investigaciones Geográficas (95):1-22.

- Arellano-Monterrosas, JL. 2019. Variabilidad climática y eventos extremos en la cuenca del río Zanatenco, Chiapas Climate variability and extreme events in the Zanatenco river basin, Chiapas. 0(3):249-274.
- Berlanga-Robles, CA; Ruiz-Luna, A; Lanza, EG. 2008. Esquema de clasificación de los humedales de México. Classification system of the wetlands of México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. 66: 25–46.
- Benegas, LN y León, J. 2009. Criterios para priorizar áreas de intervención en cuencas hidrográficas. La experiencia del Programa Focuecas II. Informe. Turrialba. (378). 52 p.
- Cifuentes, AM; Izurieta, VA; Henrique, FH. 2000. Medición de la Efectividad del Manejo de Áreas Protegidas. Turrialba, Costa Rica. 105 p.
- Comer, P. Faber-Langendoen, D; 2013. Assessing Ecological Integrity of Wetlands From National to Local Scales. NatureServe. (online). National Wetlands Newsletter 35 (3):20–22. 17 sept. 2019. Available at <https://www.natureserve.org/sites/default/files/publications/files/ns161.06-assessing-ecological-integrity.pdf>
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2016. Programa de inversión de la región Istmo-Costa en el estado de Chiapas (en línea). 83 p. Consultado 23 jul. 2018. Disponible en <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/35/6970IRE%20Programa%20de%20Inversion%20Istmo-Costa.pdf>.
- CONAGUA. 2013. Lineamientos para la clasificación de humedales. México. 31 p.
- CONANP (Comisión Nacional de áreas Naturales Protegidas). 2012. Sitio Ramsar 1823. Sistema estuarino Puerto Arista. Directrices de conservación y manejo. 49 p.
- Cushman, SA; Evans, JS; Mcgarigal, K. 2010. Landscape Ecology: Past, Present and Future. Chapter 4. (on line). Consulted 15 sept. 2019. Aviable at [https://www.researchgate.net/publication/271830117\\_Landscape\\_Ecology\\_Past\\_Present\\_and\\_Future](https://www.researchgate.net/publication/271830117_Landscape_Ecology_Past_Present_and_Future).
- De Cabo, L; Seoane, RS; Nacional, I. 2010. Análisis de dos sistemas acuáticos: un enfoque ecohidrológico (en línea). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Consultado 05 ago. 2018. disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837646003>.
- Díaz, S; Pascual, U; Stenseke, M; Martín-López, B; Watson, RT; Molnár, Z; Hill, R; Chan, KMA; Baste, IA; Brauman, KA; Polasky, S; Church, A; Lonsdale, M; Larigauderie, A; Leadley, PW; Van Oudenhoven, APE; Van Der Plaats, F; Schröter, M; Lavorel, S; Aumeeruddy-Thomas, Y; Bukvareva, E; Davies, K; Demissew, S; Erpul, G; Failler, P; Guerra, CA; Hewitt, CL; Keune, H; Lindley, S; Shirayama, Y. 2018. Assessing nature’s contributions to people\_Supl Mat. Science 359(6373):270–272.

- Ervin, J. 2003. WWF: Rapid Assessment and Prioritization of Protected Area Management (RAPPAM) Methodology WWF Gland, Switzerland. 70 p.
- Ferraz, SFB; Ferraz, KMPMB; Cassiano, CC; Brancalion, PHS; da Luz, DTA; Azevedo, TN; Tambosi, LR; Metzger, JP. 2014. How good are tropical forest patches for ecosystem services provisioning? *Landscape Ecology* 29(2):187-200.
- Francisco-Jiménez, JF. 2000. Manejo de cuencas hidrográficas. Monografía (en línea). Turrialba, Costa Rica. Consultado 22 sept. 2018. Disponible en [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8431/Manejo\\_de\\_cuencas\\_hidrograficas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8431/Manejo_de_cuencas_hidrograficas.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Gage, EA. 2018. Wetlands ecological integrity monitoring protocol for Sierra Nevada Network: Narrative version 2.1. National Park Service. Three Rivers, California Consultado 20 setp. 2018. Disponible en <https://irma.nps.gov/DataStore/DownloadFile/598785>.
- Gouder de Bearegard, AC ; Torres, G ; Malaisse, F. 2002. Ecohydrology: a new paradigm for bioengineers? (on line). *Biotechnology Agronomy Soc Environment* 6(1):17–27. Consultado 05 ago. 2018. Disponible en <http://www.bsa.ulg.ac.be/ojs/index.php/base/article/view/171/163>.
- Guizada-Durán, A. 2018. Integridad ecológica de humedales de la cuenca baja del río Tempisque, caso Humedal Protegido Internacional Palo Verde, Costa Rica. Tesis MS.c Turrialba, Costa Rica. 97 p.
- Gunnell, Y. 2009. L'écologie du paysage, ou la géographie au service de la conservation des espèces. (en línea). 3 p. Consultado 20 sept. 2019. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/293028739\\_L'ecologie\\_du\\_paysage\\_ou\\_la\\_geographie\\_au\\_service\\_de\\_la\\_conservation\\_des\\_especies](https://www.researchgate.net/publication/293028739_L'ecologie_du_paysage_ou_la_geographie_au_service_de_la_conservation_des_especies).
- Herrera-Martínez, C. 2015. Evaluación de la efectividad de humedales con diferentes categorías de manejo en la conservación de aves acuáticas en la cuenca baja del Río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica. Heredia, Costa Rica. 103 p.
- Herrera, Bernal y Corrales, Lenin. 2004. Midiendo el éxito de las acciones en las áreas protegidas de Centroamérica: Evaluación y monitoreo de la integridad ecológica (en línea). PROARCA/APM, Guatemala de la Asunción, Guatemala. 44p. consultado 22 jul. 2018.
- Jiménez, TA; Matutano, CJ; Esquivias, SJ; Madrona, MT; Tarragona, GF. SF. Guías prácticas voluntariado ambiental. Conservación de ríos. 32 p.
- Ñandús, P. 2010. Bienes y Servicios Ecosistémicos de los Humedales del Delta del Paraná (en línea). 32 p. consultado 02 jun. 2018. disponible en [http://www.produccion-animal.com.ar/regiones\\_ganaderas/27-Ecosist\\_del\\_Delta-2010.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/regiones_ganaderas/27-Ecosist_del_Delta-2010.pdf).

- Karr, JR. 1991. Biological Integrity: A Long-Neglected Aspect of Water Resource Management. Source: Ecological Applications. Ecological society of America. 1 (1):66-84
- Li, X; Yang, D; Zheng, C; Li, X; Zhao, W; Huang, M; Chen, Y; Yu, P. 2017. Ecohydrology. The Geographical Sciences During. 11 p.
- Ludwig, JA; Tongway, DJ; Bastin, GN; James, CD. 2004. Monitoring ecological indicators of rangeland functional integrity and their relation to biodiversity at local to regional scales. (on line). 29:108-120. Consultado 16 sept. 2019. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1442-9993.2004.01349.x>.
- Madsen, BL; Bogen, J; Lake, PS; Bunn, SE; Dahm, CN; Langford, TE; Zalewski, M. 2006. Ecological principles and stream restoration (en línea) Verh Internat Verein Limnol 29:2045–2050. consultado 11 ago. 2018. disponible en <https://research-repository.griffith.edu.au/bitstream/handle/10072/13160/41523.pdf?sequence=2>.
- Martínez, J; Esteve, M. 2007. Gestión integrada de cuencas costeras: dinámica de los nutrientes en la cuenca del Mar Menor (sudeste de España). Revista de Dinámica de Sistemas (3):2–23.
- Mojica., A. M. 2015. Evaluación Rápida de la Efectividad de Manejo en las cinco Áreas Protegidas del Proyecto - FASE II. Proyecto Proyecto Conservación de Recursos Marinos en Centroamérica. Fondo para el Sistema Arrecifal Mesoamericano. 243 p.
- Oswald, SU.2012. Vulnerabilidad social en eventos hidrometeorológicos extremos: una comparación entre los huracanes Stan y Wilma en México. (en línea). Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades. 12(2):125-146. Consultado 17. Sept. 2019. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=65429255006>.
- Parrish, JD; Braun, DP; Unnasch, RS. 2003. Are We Conserving What We Say We Are? Measuring Ecological Integrity within Protected Areas (en línea). BioScience 53(9):851. Consultado 05 ago. 2018. Disponible en <https://academic.oup.com/bioscience/article/53/9/851/311604>.
- Ramakrishna, B. 1997. Estrategias de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: conceptos y experiencias. Libro. ed. ICAA 1997. Consultado 22 sept. 2018. Disponible en [https://books.google.co.cr/books?id=\\_JL28RE5CIC&dq=cuenca+hidrografica&lr=&hl=es&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.co.cr/books?id=_JL28RE5CIC&dq=cuenca+hidrografica&lr=&hl=es&source=gbs_navlinks_s).
- Ramsar. 2015. Resolución XII.15 Evaluación de la efectividad del manejo y la conservación de los sitios Ramsar. 12ª Reunión de la Conferencia de las Partes en la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971) (en línea). Consultado 26 ago. 2018. Disponible en [https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/cop12\\_res15\\_management\\_effectiveness.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/cop12_res15_management_effectiveness.pdf).
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2019. Convocatoria: Programa Crédito Ganadero a la Palabra. Chiapas, México. 4 p.

- Schweiger, E. W., E. Gage, K. Driver, D. Cooper, L. O’Gan, and M. Britten. 2015. Rocky Mountain Network wetland ecological integrity monitoring protocol: Narrative, version 1.0. Natural Resource Report NPS/ROMN/NRR—2015/991. National Park Service, Fort Collins, Colorado. 170 p.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. 2006. Manual de la Convención de Ramsar, 4a. edición (en línea). Secretaría de la Convención de Ramsar 4(4):93-99. consultado 30 may. 2018. Disponible en [https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib\\_manual2006s.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib_manual2006s.pdf).
- Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010. Manejo de cuencas hidrográficas: Integración de la conservación y del uso racional de los humedales en el manejo de las cuencas hidrográficas. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 4ª edición, vol. 9. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).
- Simberloff D. (2012) Nature, natives, nativism, and management: worldviews underlying controversies in invasion biology. *Environmental Ethics*. 34 (1):5-25
- Stolton, S; Dudley, N. 2016. METT Handbook: A guide to using the Management Effectiveness Tracking Tool (METT), WWF-UK Working. 75 p.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación). 2016. Marco conceptual y guía metodológica para la Integridad ecológica en Áreas Silvestres Protegidas de Costa Rica. 40 p.
- Tarin, T; Yépez, EA; Garatuza-Payán, J; Watts, CJ; Rodríguez, JC; Vivoni, ER; Méndez-Barroso, LA. 2014. Partición de la evapotranspiración usando isótopos estables en estudios ecohidrológicos (en línea). *Tecnología y Ciencias del Agua* 5(3):97–114. consultado 05 ago. 2018. disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353532521007>.
- The Nature Conservancy (TNC). 2000. Esquema de las cinco S para la conservación de sitios: un manual de planificación para la conservación de sitios y la medición del éxito en conservación. 1:2. 59p.
- Theobald, DM. 2013. A general model to quantify ecological integrity for landscape assessments and US application. *Landscape Ecology* 28(10):1859-1874.
- Troll, C. 2003. Ecología del paisaje. (en línea). *Gaceta Ecológica*. (68):71-84. Consultado 22 sept. 2019. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/539/53906807.pdf>
- Turner, MG. 2005. Landscape Ecology: What Is the State of the Science? (online). *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 36(1):319–344. Consultado 12 ago. 2018. Available at <https://pdfs.semanticscholar.org/4189/0367e6a65e60c37b507a54d97ee924ccf44d.pdf>.
- Turner, GM; Garder, HR. 2015. Landscape ecology in theory and practice. Second edition. New York, United states of America. Springer. 349 p.

- UNEP-WCMC. 2006. In the front line: shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs (en línea). United Nations Environmental Programme- World Conservation Monitoring Centre International Coral Reef Action Network (24):40. Consultado 04 jul. 2018. Disponible en <https://ia800302.us.archive.org/22/items/infrontlineshore06well/infrontlineshore06well.pdf>
- UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). 2017. Forest Management and Water in Brazil (en línea). ed. Garcia-Chevesich, P; Neary, D; Scott, D; , Benyon, R & Reyna, T. 33-43 p. consultado 06 ago. 2018. Disponible en <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002479/247902e.pdf>.
- Villafuerte, SD; García, A. MC. 2006. Crisis rural y migraciones en Chiapas. Migración y Desarrollo (en línea). Revista de Migración y Desarrollo. 1(6):102-130. Consultado 17 sept. 2019. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66000604>.
- Wagner, I. & Zalewski, M. 2000. Effect of hydrological patterns of tributaries on biotic processes in lowland reservoir: consequences for restoration. Ecol. Engng 16, 79–90
- Wagner, I; Zalewski, M. 2009. Ecohydrology as a basis for the sustainable city strategic planning: Focus on Lodz, Poland (en línea). Reviews in Environmental Science and Biotechnology 8(3):209–217. Consultado 11 ago. 2018. Disponible en <https://search.proquest.com/docview/274518605/2CA3A6C729814AEEPQ/26?accountid=189622>.
- WRI (World Resources Institute). 2019. United States of America. (on line, web site). Consulted sept. 25th. Available at [https://www.wri.org/applications/aqueduct/water-risk-atlas/#/?advanced=false&basemap=hydro&indicator=w\\_awr\\_def\\_tot\\_cat&lat=15.68&lng=95.77&mapMode=view&month=1&opacity=0.5&ponderation=DEF&predefined=false&projection=absolute&scenario=optimistic&scope=baseline&timeScale=annual&year=baseline&zoom=7](https://www.wri.org/applications/aqueduct/water-risk-atlas/#/?advanced=false&basemap=hydro&indicator=w_awr_def_tot_cat&lat=15.68&lng=95.77&mapMode=view&month=1&opacity=0.5&ponderation=DEF&predefined=false&projection=absolute&scenario=optimistic&scope=baseline&timeScale=annual&year=baseline&zoom=7).
- Wu, J. 2012. Landscape Ecology. School of Life Sciences and Global Institute of Sustainability, Arizona State University, Tempe, AZ, USA. 5572-578.
- Yáñez-Arancibia, A; Day, J; Twilley, R; Day, R. 2014. Manglares: ecosistema centinela frente al cambio climático, Golfo de México (en línea). Madera y Bosques 20(1998):39–75. consultado 20 sept. 2018. Disponible en <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v20nspe/v20nspea3.pdf>.
- Zalewski, M. 2006. Flood pulses and river ecosystem robustness. Frontiers in Flood Research 305:143–154.
- Zalewski, M. 2011. Ecohydrology for implementation of the EU water framework directive (en línea). Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management 164(8):375–385. Consultado 06 ago. 2018. Disponible en <https://search.proquest.com/docview/905246406?pq-origsite=gscholar>.

## **Capítulo 1: Propuesta metodológica para la evaluación de la integridad ecohidrológica en paisajes costeros.**

Cueto-Espinosa, Eliobeth<sup>1</sup>, Herrera Martínez, Christian<sup>2</sup>, Benegas-Negri, Laura<sup>3</sup>; Ríos Ramírez Ney<sup>4</sup>

### **RESUMEN**

En el presente artículo se describe el proceso de elaboración del marco conceptual para el análisis de la ecohidrología en paisajes costeros y la construcción del protocolo para la evaluación de la IEH. Se establecieron los criterios para la selección de los Objetos de Conservación (OC) a evaluar, así como las herramientas empleadas para la modificación y evaluación de la efectividad de manejo en ANPs con influencia dentro de la cuenca del río Zanatenco, Chiapas, México. El proceso de construcción de la metodología de IEH constó de la revisión de 21 metodologías concernientes a la integridad ecológica, al monitoreo de ecosistemas fluviales, al cambio climático y a la efectividad de manejo. La propuesta metodológica está estructurada en dos OC, 1) ecosistema de manglar y 2) ecosistema fluvial (este involucra bosque de ribera, el recurso hídrico y métricas del paisaje). Para evaluar los dos OC se desarrollaron un total de 66 indicadores agrupados por indicadores de estructura, composición y función. Los indicadores propuestos fueron catalogados como cuantitativos, cualitativos o mixtos, estos se estandarizan en el proceso de asignación de valores durante la evaluación del OC empleando la metodología de IEH. Para cuantificar los resultados de la metodología se propuso un índice que evalúa la IEH en porcentajes. El proceso de asignación de valores se basa en escalas ordinales (excelente, bueno, regular, en riesgo y degradado), estas categorías se homologan con valores numéricos (1,2,3,4 y 5) en donde 1 representa una baja integridad y cinco una integridad alta. El resultado de la evaluación de la IEH se cotejó con los resultados de las entrevistas semiestructuradas realizadas a actores claves (técnicos, pescadores, agricultores, apicultores, etc.) en donde señalan la oferta y demanda de las CNG en las cuencas costeras.

**Palabras claves:** ecohidrología, ecosistema fluvial, integridad ecohidrológica, paisaje, cuenca, contribuciones de la naturaleza a la gente y efectividad de manejo.

## SUMMARY

This article describes the process of developing the conceptual framework for the analysis of ecohydrology in coastal landscapes and the construction of the protocol for the evaluation of the IEH. Criteria were established for the selection of Conservation Objects (CO) to be evaluated, as well as the tools used for the modification and evaluation of management effectiveness in NPAs with influence within the Zanatenco river basin, Chiapas, Mexico. The construction process of the IEH methodology consisted of the review of 21 methodologies concerning ecological integrity, river ecosystem monitoring, climate change, and management effectiveness. The methodological proposal is structured into two COs, 1) mangrove ecosystem and 2) fluvial ecosystem (this involves riparian forest, water resource, and landscape metrics). To evaluate the two CBOs, a total of 66 indicators were developed, grouped by indicators of structure, composition, and function. The proposed indicators were cataloged as quantitative, qualitative or mixed; these are standardized in the process of assigning values during the CO evaluation using the IEH methodology. To quantify the results of the methodology, an index was proposed that evaluates the HEI in percentages. The process of assigning values is based on ordinal scales (excellent, good, regular, at-risk and degraded), these categories are homologated with numerical values (1,2,3,4 and 5) where 1 represents low integrity and five a high integrity. The result of the IEH evaluation was compared with the results of semi-structured interviews conducted with key actors (technicians, fishermen, farmers, beekeepers, etc.) where they indicate the supply and demand of NCPs in coastal basins.

**Keywords:** ecohydrology, fluvial ecosystem, ecohydrological integrity, landscape, watershed, nature's contributions to people and management effectiveness.

## INTRODUCCIÓN

El concepto de integridad ha sido empleado en su mayoría para determinar el estado actual de un ecosistema, de un ANP o de cualquier otro elemento natural, por ello, se han desarrollado y aplicado metodologías para la evaluación de la integridad ecológica (Ludwig *et al.* 2004; Herrera *et al.* 2004; González, 2006; Comer and Faber-Langendoen, 2013; Equihua *et al.* 2014; Schweiger *et al.* 2015; Faber-Langendoen *et al.* 2016; Enríquez Brambila, 2018; Unnasch *et al.* 2018, Guizada, 2018).

Aunque la IE contempla aspectos de composición, estructura y función, poco se ha trabajado con investigaciones que contemplen más de un objeto de evaluación dentro del paisaje, por ejemplo, agua, bosques, clima, suelo, etc. Cada elemento es evaluado por separado por lo que se evalúa como tal la condición de un componente dentro de un todo (Parrish 2003, Herrera y Bernal 2006; SINAC 2016; Gage *et al.* 2018). Por ejemplo, las cuencas hidrográficas tienen un enfoque que se rige por el límite geográfico siendo el recurso hídrico el elemento natural de interés.

Últimamente se han desarrollado metodologías aplicadas a la medición de la integridad de cuencas, a la medición de efectividad de manejo de ANP, ecosistemas fluviales, ecosistemas marino-costeros, entre otros. (Samanta y Kumar, 2006; Flotemersch *et al.* 2015, Unnasch, 2018), que han brindado respuestas parciales al proceso de IE. Nature Server ha elaborado importantes trabajos que abarcan aspectos de IE y ha impulsado la evaluación desde este enfoque proponiendo modelos e indicadores que reflejan el estado actual de los ecosistemas (Faber-Langendoen *et al.* 2016)

Por otra parte, en la última década, han surgido estudios que han comenzado a evaluar el manejo desde un enfoque paisajístico (Hamilton *et al.* 2013; Theobald, 2013; Turner *et al.* 2015), involucrando métricas del paisaje para dar respuestas complejas e incluso, se han propuesto índices para complementar indicadores de la integridad ecológica del paisaje como el *Landscape Integrity Index* (LII) basado en métricas que cuantifican la influencia del humano sobre el paisaje (Walston & Hartmann, 2018). Por su parte Kattan (2002) enfatiza en la importancia del paisaje desde un punto de vista de los riesgos a posibles extinciones de las poblaciones de flora y fauna, resaltando la ecología del paisaje y el concepto de meta población como factores determinantes en la preservación de especies, independientemente de la matriz paisajística.

En el marco de lo descrito, se propuso una metodología para evaluar la integridad Ecolohidrológica, la cual toma como base los conceptos y aplicaciones de la IE, tales como objetos de conservación, Atributos Ecológicos Clave (AEC), e indicadores (I), sin embargo, la metodología de IEH busca escalar de una metodología muy focalizada a una metodología integral que refleje la interacción de todos los elementos que integran el sistema. La propuesta de IEH puede ser aplicada a diferentes escalas y con diferentes enfoques de manejo (cuenca, ecosistema o ANP) pero resaltando el enfoque paisajístico. En este caso el diseño está

adaptado para ser aplicado a una cuenca costera desde un enfoque del paisaje. Para la creación de la propuesta se establecieron los siguientes objetivos específicos:

- 1) Definir un modelo conceptual ecohidrológico para identificar las variables determinantes en la evaluación integral de ecosistemas marino-costeros.
- 2) Diseñar una propuesta metodológica que permita determinar la integridad ecohidrológica en cuencas costeras.

## **METODOLOGÍA**

La propuesta metodológica para la evaluación la integridad ecohidrológica fue conformada con base en procesos de revisión de literatura, consulta de expertos y el establecimiento de rangos de variación permisible, algunos de ellos usados en metodologías con enfoque a evaluación de integridad ecológica (BIOMARCC-USAID, 2013; USAID-BIOMARCC-GIZ, 2013). El proceso de construcción fue diseñado estratégicamente para presentar una propuesta robusta y estable de investigación. Las etapas de construcción del modelo conceptual y de la metodología son descritas a continuación:

### **Construcción de un modelo conceptual de IEH enfocado a paisajes costeros**

La propuesta metodológica tiene como base las variables y estructura con que se evalúa la IE propuesta por Parrish (2003). Algunas de estas fueron empleadas por Comer *et al.* (2013); Herrera (2015) y adaptados por Guizada (2018), para humedales de la cuenca baja del río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica. También ha sido usado por instituciones federales para la evaluación de áreas protegidas (BIOMARCC-USAID 2013; USAID - BIOMARCC – GIZ, 2013, SINAC, 2016)

Para el desarrollo de la metodología de IEH se diseñó un marco conceptual en el que se explica cómo interacciona el componente ecohidrológico y social, que finalmente permiten la evaluación de la IEH a nivel de cuencas, paisaje, ANP o ecosistema. Para la creación del modelo se revisaron metodologías (artículos científicos, tesis, protocolos de campo y manuales) que han sido probadas y validadas en campo (Herrera y Corrales, 2004; Unesco, 2006; Stein *et al.* 2009; CWMW, 2012; Comer *et al.* 2013; Equihua *et al.* 2014; Navarrete-Ramírez, 2014; Schweiger *et al.* 2015; Herrera, 2015; MMA, CTCN, CATIE y ICRAF, 2016; Guizada, 2018; Enríquez-Brambila, 2018). Con ayuda de esta información y entendiendo mejor la dinámica de la zona de estudio se propuso un modelo conceptual el cual resume la forma de evaluación de la IEH. Su diseño permite replicarse en diferentes niveles de evaluación.

### **Construcción de la metodología de integridad ecohidrológica**

Diseñado el marco conceptual de evaluación de IEH para la región económica Istmo-Costa de Chiapas, se establecieron lineamientos y criterios para la selección de los OC, los AEC y los indicadores que conforman la metodología, tomando como base la propuesta de Herrera y Corrales (2004) y SINAC (2016).

## Selección de Objetos de conservación (OC), atributos ecológicos claves (AEC) e indicadores (I)

Para la selección de estos tres componentes se consideró el tiempo de la investigación, por lo que, los criterios de selección expuestos en los apartados siguientes se crearon para seleccionar y permitir la obtención de información a corto plazo como una respuesta a las limitaciones para establecer monitoreo espacio-temporal a largo plazo. A continuación, se desglosa el proceso para la selección de lo OC.

- A) Se revisaron 21 metodologías desarrolladas para el análisis de la IE enfocadas a evaluar la degradación de los ecosistemas, los servicios ecosistémicos, la calidad del agua, suelo, biodiversidad, ecosistemas o nichos ecológicos. (Herrera y Corrales, 2004; Unesco, 2006; Stein *et al.* 2009; CWMW, 2012; Navarrete-Ramírez, 2014; Schweiger *et al.* 2015; Herrera, 2015; MMA, CTCN, CATIE y ICRAF, 2016; Guizada, 2018; Enríquez-Brambila, 2018; Gage *et al.* 2018). También se contemplaron metodologías que emplean diferentes variables climáticas y las tendencias futuras, así como sus posibles impactos en los ecosistemas y sociedades humanas (BIOMARCC-USAID 2013; USAID-BIOMARCC-GIZ, 2013; Comisión europea 2013; MMA, CTCN, CATIE y ICRAF, 2016). Asimismo, al contar con parte de integridad paisajística se contemplaron metodologías que contaran con índices o experiencias sobre el manejo de paisaje o integridad paisajística o que explicaran los riesgos de la fragmentación del paisaje (Kattan, 2002; Brown *et al.* 2013; Turner, 2015; Walston & Hartmann, 2018). Considerando la similitud de los indicadores en las diferentes metodologías empleadas en sus formatos de campo, se seleccionaron aquellas que mantuvieron mayor relación con la zona de estudio, diferenciando entre variables cualitativas y variables cuantitativas.
- B) Se analizaron las metodologías y sus respectivos OC o campos de estudio. El cuadro 2, representa las sinonimias de las metodologías empleadas y los términos usados en la presente investigación.

Cuadro 2. Sinónimos de metodologías revisadas. Tonalá, México. 2019

Niveles	Objetivo de estudio <sup>1</sup>	de	Objetivo de estudio <sup>2</sup>	Objetivo de estudio <sup>3</sup>
Nivel 1	Principios		Objetos de conservación/elementos focales de manejo.	Contribuciones de la naturaleza a la gente
Nivel 2	Criterios		Atributos ecológicos clave	Ofertas/demandas
Nivel 3	Indicadores		Indicadores	Indicadores

Fuente: Elaboración propia

Nivel 1: Involucra el nivel más alto en el proceso de evaluación, ¿Qué es lo que se desea evaluar?; Nivel 2: Se especifica cómo se evalúa el primer nivel, o en caso de existir más de tres componentes que evaluar, sirve para

diferenciar y, Nivel 3; Es la forma de valuación, el método a emplear y las métricas necesarias, responde a las preguntas de ¿Cómo se evalúa?, ¿Qué métodos se emplean?.

- C) Para el desarrollo de la metodología, se eligieron los términos de OC, AEC e indicadores. Estos fueron priorizados de acuerdo con las necesidades y condiciones de la zona de estudio. La selección de los OC involucró criterios técnicos, rangos de variación y criterios de selección usados en metodologías similares (*TNC 2009; Trujillo-Acosta et. al 2016;*) así como información de mapas en la zona de estudio y priorización de OC mediante filtros gruesos y finos, propuestos por Granizo *et al.* (2006), aseverando que cuando cuando se protegen los niveles de organización más alto (filtro grueso) se protege todo lo que esté implícito dentro de este (filtro fino). Por ello, se seleccionaron métricas del paisaje para la construcción de la metodología de IEH, que están muy relacionadas entre el tipo de escala y el tamaño de los parches en la matriz del paisaje.
- D) Los parámetros para la selección de los OC se establecieron dentro de cuatro categorías, en estos se describen los indicadores empleados para la asignación de valores y obtener los OC a evaluar. A continuación, se enlistan las cuatro categorías.

#### **1) De acuerdo a la categoría de los atributos**

*Integridad ecológica (IE):* Este concepto fue propuesto por Parrish (2003), por lo que, durante el proceso de selección los OC recibieron el valor más alto si reflejaban que, bajo su manejo o cuidado, se puede mejorar la integridad ecológica, caso contrario se asignó el valor de 0. Aplicar el concepto de IE ayudó a asignar valores altos a aquellos OC que hicieran el efecto sombrilla sobre los demás o sobre el ecosistema de interés. Asimismo, se toma en cuenta la estructura, la función y la composición dentro de la IE.

#### **2) De acuerdo a las amenazas críticas (presiones y fuentes)**

*Indicador de presión (grado):* Se le asignó valor de 1 a aquellos OC que, según la literatura, cuentan con variables reportadas para medir el grado de presión en este sistema y donde los indicadores empleados hayan sido validados y usados en estudios diferentes. Cuando el estudio tenía indicadores, pero no se reportaba su descripción o era poco confiable se asignó el valor de 0, en caso contrario se asignó el valor de 1.

*Fuente de presión (grado):* Se asignó el valor más alto (1) cuando la fuente de presión era fácilmente identificable, caso contrario se asignó un valor de cero. La fuente de presión también recibió un valor alto cuando fuera posible evaluar las presiones de la estructura del paisaje que tienen impacto sobre la dinámica natural (Guizada 2018).

*Cambio climático (CC):* Este criterio hace referencia a que si el OC se ve afectado por el cambio climático y si se tienen variables de medición cuantificables que permitan establecer una correlación entre estos, además de ser fácilmente verificables. Se tomaron en cuenta métricas relacionadas a la temperatura, precipitación, aumento del nivel del mar y cambio en línea de costa, propuestas por MMA (2016); Guizada (2018); Unesco, (2006); BIOMARCC-USAID, 2013; USAID-BIOMARCC-GIZ, 2013y Navarrete-Ramírez, (2014). Para la investigación el CC solamente fue contemplado en el proceso de selección de los OC,

sin embargo, se sigue manteniendo en la metodología debido a la factibilidad de agregar o incorporar indicadores entre los cuales existan variables meteorológicas. El CC se mantiene fuera de las fuentes de presión debido a que este es la suma de una serie de eventos meteorológicos, además, estos pueden presentarse de manera directa o indirecta sobre el OC, razón por la que el este indicador toma más peso como tal.

### **3) De acuerdo a su practicidad y factibilidad**

*Facilidad para hacerse en campo:* Se asignó un valor de 1 a aquellos OC que podían emplear indicadores fácilmente cuantificables en campo y también que se ajusten al tiempo de la investigación. Cuando los indicadores requieren mucho esfuerzo y contratación de personal calificado se asignó un valor de 0.5 y cuando los indicadores empleados requerían herramientas de campo o insumos que estuvieran fuera del alcance o de difícil obtención, se asignó el valor de 0.

*Periodos cortos de monitoreo:* Ya que existen variables que requieren años para saber la tendencia de los OC y repeticiones en el transcurso del año, se le asignó valor de 1 a aquellos objetos que contemplen indicadores que permitan establecer la línea base de la información dentro de un periodo corto de tiempo. Aquellos que requieren más de 1 año se le asignó 0.5 y aquellos indicadores sujetos a monitoreos de más de 3 años se le asignó 0.

*Indicadores usados ampliamente:* Se asignó un valor más alto a aquellos OC que cuenten con indicadores que hayan sido ampliamente usados para evaluar integridad, degradación o tendencias de cambio climático. De acuerdo con Schuschny y Soto (2009), este aspecto contemplo que las mediciones hayan sido ampliamente usadas y relacionadas a los objetivos de la investigación.

### **4) De acuerdo con el grado de protección y gestión**

*Área Natural Protegida (ANP):* Se le asignó el valor más alto (1), si el OC está dentro de un ANP, 0.5 si está bajo alguna categoría de manejo o aparece en algún plan de acción y 0 si no se tiene ningún grado de interés aparente o protección en la zona de estudio. Para este punto se emplearon datos cartográficos de la Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO) (CONABIO, 2019) Así como información reportada en la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (CONANP 2019).

*Efectividad de manejo (EM):* Se le dio un valor más alto a aquellos OC que están relacionados a las actividades realizadas por parte de las instituciones gubernamentales y que permitieran ser evaluadas mediante la efectividad de manejo, asimismo, que estos al ser manejados tengan un impacto directo sobre otros y sobre su entorno. A aquellos en que se puede dificultar la valoración de la EF se le asignó un valor de 0.

*Contemplado dentro del sitio Ramsar:* Se asigna un valor de 1, cuando el OC está directamente ligado al plan de manejo o documento de creación del sitio Ramsar, en caso de no aparecer como prioridad ni ser mencionado en los objetivos, recibirá un valor de 0. La información analizada se obtuvo de la página oficial de los sitios Ramsar de México (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2019).

*Contemplado dentro de la Reserva de la Biósfera la Sepultura REBISE:* Se asigna un valor de 1, cuando el objeto de conservación está directamente ligado al plan de manejo o documento de creación de la REBISE, en caso de no aparecer como prioridad ni ser mencionado en los objetivos, recibió un valor de 0. La información se obtuvo de los objetivos del programa de manejo de la reserva de la biosfera La Sepultura (SEMARNAP 1999).

*Contempladas en manejo de cuencas:* Se dio un valor de 1 si el OC está dentro del plan de gestión de la subcuenca del río Zanatenco, 0.5 si se hace mención del OC, aunque esto no signifique que sea prioridad y 0 si no es contemplado dentro del plan de gestión para la cuenca (CONAGUA, 2009).

Los indicadores dentro de las cuatro categorías recibieron valores para priorizar los OC.

0 = Se asignó este valor cuando el OC presentaba poca relación con los objetivos de manejo, cuando no era un OC que permitirá la evaluación a largo plazo y cuando su manejo no garantizaba la integridad del ecosistema.

0.5= Este valor se asignó cuando el OC pudiera influir en la protección o mejoramiento de la integridad a largo plazo, cuando el tiempo de investigación lo permitiera, así como la facilidad y viabilidad de ser estudiado.

1= Se asignó la máxima calificación cuando el OC representa la integridad del ecosistema y cualquier modificación que se le realice conlleve consecuencias positivas o negativas en el paisaje. Asimismo, este OC debe ser representativo de cambios a espacio-temporal.

### **Elaboración de matriz**

Para la elaboración de la matriz y con el objetivo de seleccionar los OC explicados anteriormente, se adaptó el protocolo empleado para la evaluación de la matriz de Leopold (1971), utilizada ampliamente para identificar y evaluar impactos ambientales en proyectos de desarrollo de infraestructura, así como para la evaluación de efectos antropogénicos en cuencas hidrográficas (Menchaca y Alvarado, 2011) además de tener aplicabilidad para evaluar actividades desarrolladas para la restauración (*ClaytoNatashan y Nobile, 2010*).

En la matriz se colocaron cuatro columnas (categorías de asignación) que contienen los conceptos definidos para la toma de decisión y asignación de valores. Por su parte, en las filas se tiene la lista de OC seleccionadas para estar dentro de la matriz y recibir la puntuación asignada. La columna final cuenta con el total de puntaje recibido para cada objeto de conservación. En rojo se presentan aquellos OC cuyo valor asignado fue cero, en amarillo se representan aquellos que tienen 0.5 y en verde aquellos que recibieron el valor más alto (cuadro 3).

De los OC evaluados, se obtuvieron cuatro con calificaciones superiores a 10 puntos (ecosistema de manglar, servicios ecosistémicos, ecosistema léntico y ecosistema fluvial), seguidos de otros OC con calificación menor a 9.5 (bosque mesófilo de montaña, estuarino, biodiversidad, humedales palustres, zona de transición, matriz paisajística, bosque seco, playas de grano medio-fino). Se consideraron los primeros cuatro para la creación de

la metodología, pero de estos solamente se seleccionaron dos, siendo aquellos que se apegaban más hacia al objetivo de la investigación. Los OC seleccionados para la elaboración del formato de campo están fueron el ecosistema de manglar y el ecosistema fluvial, dentro de este último se consideraron métricas de paisaje en una zona de influencia de 2 km.

Cuadro 3, Matriz de evaluación de OC para la subcuenca, Tonalá, Chiapas.

CATEGORÍA	DE ACUERDO A LA CATEGORÍA DE LOS ATRIBUTOS				DE ACUERDO A LAS AMENAZAS CRÍTICAS (PRESIONES Y FUENTES)			DE ACUERDO A SU PRACTICIDAD Y FACTIBILIDAD			DE ACUERDO CON EL GRADO DE PROTECCIÓN Y GESTIÓN			Total
	Objeto de conservación (OC)	Integridad ecológica (IE)	Indicador de presión (grado)	Fuente de presión (grado)	Cambio climático	Facilidad para hacerse en campo	Periodos cortos de monitoreo	Indicadores usados ampliamente	Área Protegida (AP)	Efectividad de manejo (EM)	Contemplado dentro del sitio Ramsar	Contemplado dentro de la REBISE	Contempladas en manejo de cuencas	
Ecosistema de manglar	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	10	
Ecosistema fluvial	1	1	1	1	1	1	1	0.5	0	0.5	1	1	10	
Zona de transición	0.5	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1	0.5	8.5	
Matriz paisajística	1	1	0.5	1	1	0.5	1	0	1	0.5	0.5	0.5	8.5	
Servicios ecosistémicos	0.5	1	1	1	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	10	
Especies de aves migratorias	1	0.5	0	0.5	0.5	0	1	1	0.5	1	1	0	7	
Biodiversidad (riqueza de)	0.5	1	1	0.5	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	9	
Bosque mesófilo de Montaña	1	1	1	1	0.5	0	1	1	1	0	1	1	9.5	
Bosque seco	0.5	1	1	0.5	0.5	0	1	0.5	1	0.5	0.5	1	8	
Ecosistema léntico (Laguna costera)	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0.5	0.5	10	
Playas de grano medio-fino	1	0.5	1	0.5	0.5	0.5	1	1	0.5	1	0	0	7.5	
Estuarino	1	1	1	1	1	0.5	1	1	0.5	1	0	0.5	9.5	
Humedales	0.5	1	1	1	0.5	1	1	1	0.5	1	0	0.5	9	

1= valor máximo; 0.5= Valor medio y 0= valor mínimo. Fuente: Elaboración propia

### Selección de indicadores

Previamente se había realizado una matriz para sistematizar la información de las diferentes metodologías que cuentan con evaluación de la IE y que hacen uso de varios indicadores ambientales aplicables, por lo que la selección de indicadores se hizo tomando como base los dos OC seleccionados. Se tomaron en consideración indicadores cuantitativos, cualitativos (de percepción rápida) y mixtos. Los segundos se refieren a aquellos indicadores que son evaluados en campo sin necesariamente tomar datos cuantitativos, son evaluados por técnicos y personas sin formación académica, que por medio de un diagnóstico visual y a través de la experiencia, puede asignar una evaluación. Para ello, la metodología cuenta con rangos basados en porcentajes, componentes visuales, y apreciación. Este tipo de indicadores se ha usado en metodologías de evaluación rápida (Munné, 2003; González, 2006; Georgia Environmental Protection Division, 2014; Enríquez-Brambila, 2018). Los indicadores cuantitativos, de percepción rápida y mixtos se describen de la siguiente manera:

*Indicadores cuantitativos:* Un indicador de este tipo tiene la particularidad de usar medidas expresadas en cantidades, porcentajes, volúmenes y números (*Adaptado de Lammerts van Bueren y Blom, 1996*). En este caso también se contemplaron los rangos de variación que pueden estar considerados dentro de un espacio-tiempo. Este tipo de indicadores necesariamente debe emplear técnicas de muestreo en campo, análisis de información mediante la aplicación de sistemas de información geográfico (SIG) o cualquier

otra metodología que permita ser replicada y realizar comparaciones. Además, estas metodologías deben haber sido aplicadas en estudios previos a la investigación.

*Indicadores cualitativos (Percepción rápida):* Estos indicadores expresan situación, objetos o procesos (Adaptado de Lammerts van Bueren y Blom, 1996) que pueden ser catalogadas como variables categóricas. Por ejemplo, excelente, bueno, regular, malo y degradado.

*Indicadores mixtos:* Los indicadores mixtos, son definidos para este trabajo como aquellos indicadores que pueden ser evaluados desde un punto de vista cuantitativo empleando métricas del paisaje (SIG), o datos en campo (mediciones de estructura y composición), aunque no se descarta la posibilidad de interactuar con variables cualitativas, que traducido a este documento serían los procesos o la misma percepción de la persona.

Los indicadores seleccionados, su vez, se subdividen en indicadores de estructura, composición y función, basado en Parrish (2003), quien sugiere que un sistema ecológico es integro cuando están presentes las características estructurales mencionadas, y que además se encuentre dentro de sus rangos de variación natural permitiendo una recuperación del sistema después de ser sometidos a perturbaciones antrópicas y naturales. Esta tendencia se completa con otras metodologías que evalúan integridad (Ludwig *et al.* 2004; González, 2006; Herrera *et al.* 2004; Comer and Faber-Langendoen, 2013; Equihua *et al.* 2014; Schweiger *et al.* 2015; Faber-Langendoen *et al.* 2016; Enríquez Brambila, 2018; Unnasch *et al.* 2018, Guizada, 2018).

*Indicadores de estructura:* Se refiere al arreglo jerárquico, así como al ordenamiento y distribución espacial de los elementos u OC. (Herrera, 2004; SINAC, 2016). Se contemplan aspectos del bosque, del río y a nivel de métricas de paisajes. Ejemplo de ello son tamaños de parches, área ocupada, conformación del cauce, etc.

*Indicadores de composición:* Cuantifican las relaciones existentes en una comunidad. Se puede citar la presencia/ausencia de especies, especies vegetales dentro de cuerpos de agua, formación de bancos de sedimentos, entre otros.

*Indicadores de función:* Son aquellos que evalúan conexiones y el funcionamiento del sistema, garantizando la continuidad de procesos ecológicos (SINAC, 2016). Se involucran regímenes y procesos ambientales. Ejemplo de estos son la conectividad, procesos reproductivos, regímenes climáticos, etc.

Tomando como base lo anterior, los indicadores se alinean con los diferentes criterios que sugieren las metodologías para la creación de indicadores tales como; validez científica, representatividad, sensibilidad a cambios, fiabilidad, comparabilidad, cobertura espacial u/o temporal, eficiencia, monotonía, homogeneidad, transitividad, específico, descriptivo y repetible (Castro, 2002; Morán *et al.* 2006; Schuschny y Soto, 2009, SINAC

2018). Asimismo, los indicadores seleccionados se vuelven verificadores individuales, pero en conjunto constituyen los resultados de IEH.

### Asignación de valores para la metodología de IEH

Para la asignación de valores y lograr la homogenización de estos se tomó en cuenta que los indicadores descritos pueden ser cuantitativos, cualitativos y mixtos. Dado a la complejidad para establecer valores en el proceso de evaluación cuando se tienen categorías diferentes, se procedió a trabajar con datos categóricos (1, 2, 3, 4 y 5) que corresponden a los siguientes términos (1=Excelente, 2=Bueno, 3=Regular, 4=En riesgo y 5=Degradado).

### Evaluación de integridad ecohidrológica

Para conocer el grado de IEH de la zona de aplicación de la metodología, se plantea la creación de un índice de IEH, basado en la propuesta de Herrera (2015), quien plantea un índice de efectividad de conservación. El índice de la IEH está conformado de los dos criterios evaluados (ecosistema de manglar y ecosistema fluvial). Cada uno de estos contiene indicadores con el mismo peso de evaluación a excepción de la efectividad de manejo, en donde el rango de valores va de 0 a 3. (cuadro 4).

Cuadro 4. Descripción de la IEH y sus valores en escala. Tonalá, Chiapas, México. 2019

#### Integridad ecohidrológica

Criterios	Indicadores	Escala de valores
Ecosistema manglar	de Se cuenta con 11 indicadores de estructura y 4 indicadores de composición.	Valores de 1 a 5, siendo uno el valor que representa un ecosistema degradado mientras que el cinco toma valores IEH excelente.
Ecosistema fluvial	El ecosistema fluvial fue dividido para el bosque ribereño y para el recurso hídrico, en ambos casos los indicadores se dividieron por estructura, composición, función y regímenes climáticos. En total se tienen 18 indicadores de estructura, 14 de composición y 18 de función.	Valor de 1 representa IEH degradada mientras que la IEH excelente está representada por 5.
Efectividad manejo	de La efectividad de manejo es resultado de la fusión de R-METT y RAPPAM. Consta de cuatro formularios, resaltando la importancia del trabajo multidisciplinario.	Se asignó el valor de cuatro cuando el paisaje, la cuenca o la zona de estudio esté siendo trabajada por diferentes dependencias gubernamentales y ONG's, pero como un todo, es decir, inter y trans institucional.

Fuente: Elaboración propia

El índice de IEH contempla los OC seleccionados, para ello se propone la ecuación de IEH, adaptada de Herrera (2015). El valor de cada criterio (E) incorporado a la IEH se obtiene mediante la relación que existe en cada OC evaluado, estos valores están determinados por los resultados de cada indicador evaluado (n) y la calificación máxima que se obtiene de cada OC (N). Siguiendo la metodología del autor, se asignó un peso de 1 (p) a cada OC tomando como supuesto que todos estos tienen el mismo grado de importancia en la IEH. La suma de estos resultados arroja el resultado final de la IEH.

Las ecuaciones se describen a continuación:

$$IEH = \left( \sum_{i=1}^n O_i \right) / n$$

$$O_i = \frac{\sum V_o}{\sum V_e} (K)$$

En donde:

**IEH:** Resultado de la IEH expresado en porcentaje, 0 representa la menor integridad y 100 una buena integridad.

**O<sub>i</sub>:** Objetos de conservación como criterios de evaluación en la IEH (Integridad del ecosistema de manglar e integridad del ecosistema fluvial).

**V<sub>o</sub>:** Sumatoria valor obtenido de todos los indicadores muestreados

**V<sub>e</sub>:** Sumatoria del valor máximo que puede obtener el OC

**K:** Constante, para obtenerlo en porcentajes, el valor es 100.

**n:** Total de Objetos de conservación.

Los resultados que se obtengan serán plasmados en una matriz modificada de SINAC (2013a) y empleado por Herrera (2015), color verde representa una buena integridad y el rojo es su extremo (integridad mala, deplorable). Esta escala se presenta en el cuadro 5.

Cuadro 5. Escala de evaluación de la IEH.

<b>IEH</b>	<b>RANGO (%)</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COLOR</b>
<b>Excelente</b>	>90	La IEH se encuentra excelente. la estructura, función y composición del OC garantiza la conservación del ecosistema, paisaje, o cuenca. Asimismo, las CNG son identificadas por los actores claves del área de estudio y obtienen beneficios de estos.	Azul

<b>Buena</b>	66-89	La IEH se encuentra es buena. Los valores de estructura, composición y función para el OC son altos. Se mantienen las CNG, se identifican y las personas obtienen beneficios de estas. Sin embargo, se han detectado indicios de posibles amenazas presentes o futuras para la integridad de la cuenca, paisaje, ecosistema.	Verde
<b>Regular</b>	46-65	La IEH es regular. La estructura, función y composición del OC está amenazada por actividades antrópicas y naturales. Aunque persisten las CNG y se obtienen beneficios de estas, algunas de ellas comienzan a dejar de ser notorias. Se requiere poner atención a estos OC ya que sin una intervención inmediata los OC pueden degradarse.	Amarillo
<b>En riesgo</b>	21-45	La IEH se encuentra en riesgo, los OC tienen a presentar perturbaciones en su estructura, función y composición. Si el OC no es intervenido de manera inmediata y se continúan realizando las practicas que han generado el riesgo, es posible que el OC evaluado se degrade en pocos años, aumentando la probabilidad de disminuir las CNG.	Anaranjado
<b>Degradada</b>	<20	La IEH se encuentra excelente, la cuenca presenta valores de integridad alta en su estructura, composición, todos ligados al ecosistema fluvial y al paisaje adyacente.	Rojo

Fuente: Elaboración propia.

### **Efectividad de manejo**

Para evaluar la efectividad (EM) de manejo se restructuró y rediseñó una propuesta de evaluación de EM tomando como base dos metodologías de evaluación.

- a) Herramienta de seguimiento de la efectividad del manejo de los sitios Ramsar (R-METT) (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2015). De esta propuesta se emplearon los formularios 1, 3 y 4, algunas preguntas fueron modificadas y otras fueron anexadas.
- b) Rapid Assessment and prioritization of protected area management (RAPPAM), propuesta por Ervin (2003)

Se tomaron en cuenta los 19 criterios propuestos en la metodología, algunos de ellos fueron modificados y adaptados a la zona de estudio. Como aporte a la metodología, se agregó un nuevo componente que evalúa la interacción y el trabajo en conjunto de las instituciones gubernamentales, estatales, municipales y ONG. La actual metodología cuenta con cuatro formularios de evaluación 1) Información general del ANP; 2) Amenazas posibles para la IEH en ecosistemas costeros (parte alta, media y baja de una cuenca); 3) Importancia del manejo dentro de las zonas protegidas y 4) Multidisciplinariedad en el trabajo de integridad ecohidrológica (Anexo 1).

## **Contribuciones de la naturaleza a la gente**

Retomando las recomendaciones realizadas por Díaz-Bravo *et al.* (2013) y con la finalidad de obtener la percepción sobre las CNG, se elaboró una entrevista semiestructurada (Anexo 2), conformada por ocho preguntas direccionadas a la obtención de información respecto a la percepción social acerca de las CNG dentro de la cuenca. La pregunta tres tiene como subcomponentes las 18 CNG propuestas por la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES, por sus siglas en inglés) (Díaz, 2018). Cada una de las 18 CNG se diseñó con imágenes que representaran cada una de las CNG a fin de facilitar el entendimiento de los entrevistados y obtener información confiable de cómo se perciben aquellos beneficios (oferta) dentro de la cuenca, así como el uso (demanda) de los recursos naturales que se traduce como el riesgo de degradar un elemento del paisaje. La información obtenida complementa el diagnóstico del estado actual de la IEH en la cuenca del Zanatenco.

## **RESULTADOS**

### **Marco conceptual**

Se presenta el marco conceptual (Figura 2) creado para el análisis de la IEH, resultado de revisión de literatura y del entendimiento de cómo funciona un paisaje, un ecosistema, una cuenca y un ANP en la zona costera. Cada elemento que está implícito en este marco conceptual es la base para el desarrollo de la metodología de evaluación de IEH. De manera explícita, el modelo representa la interacción del ambiente terrestre, con el dulceacuícola y el marino-costero, integrada por componentes que pueden ser evaluados desde su estructura, función, composición y un contexto social. Estos cuatro grandes componentes y el contexto mencionado repercuten sobre la IEH en donde, la parte social influye sobre los otros contextos, promoviendo una oferta de los recursos naturales y generando una demanda de estos. La oferta que maneja el contexto social puede estar sometida o no a un marco legal, en caso de estarlo existe la posibilidad de que se encuentre bajo alguna categoría de manejo o dentro de algún esquema de protección (cuencas hidrográficas, paisaje, ordenamiento territorial, ANP, etc.) por lo que es factible evaluar la EM del método o estrategia de conservación o de lineamientos de acción empleados. Por otra parte, en la demanda se tiene el aprovechamiento de recursos naturales, esta puede estar sujeta o no a alguna legislación, en caso de no estarlo, la extracción puede no estar regulada, lo que se convierte en un estresor en el proceso de evaluación y, por ende, puede repercutir negativamente sobre la IEH.

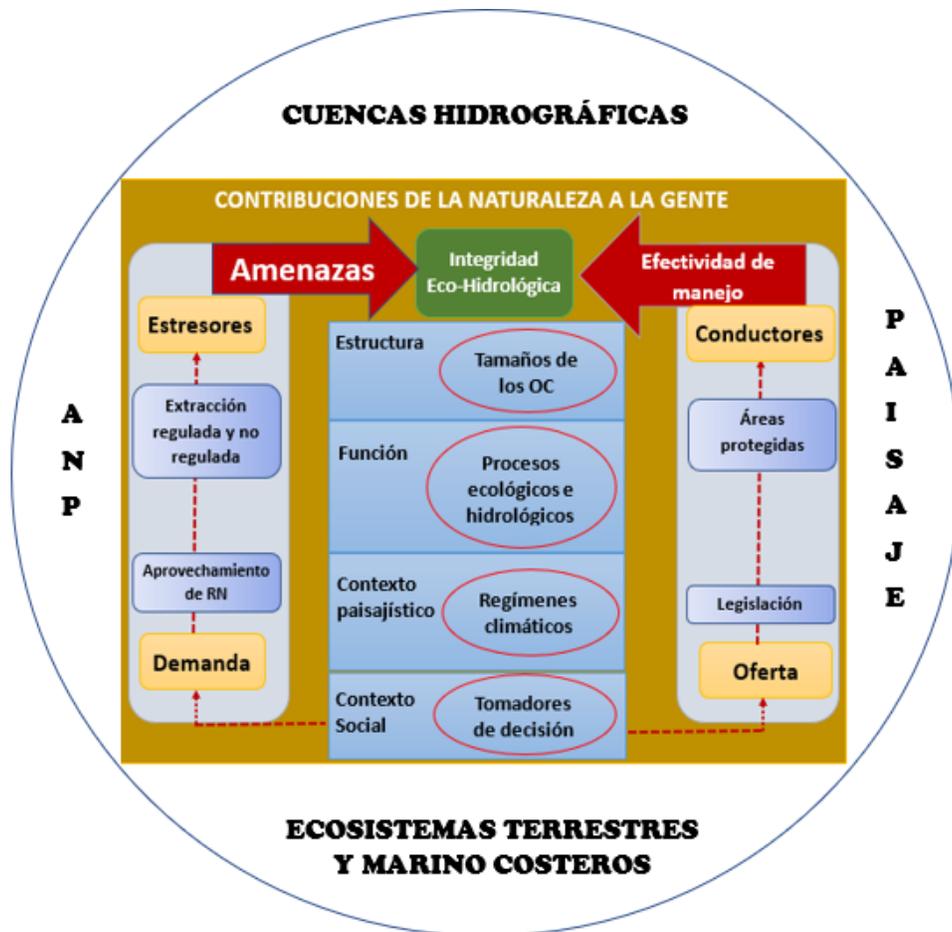
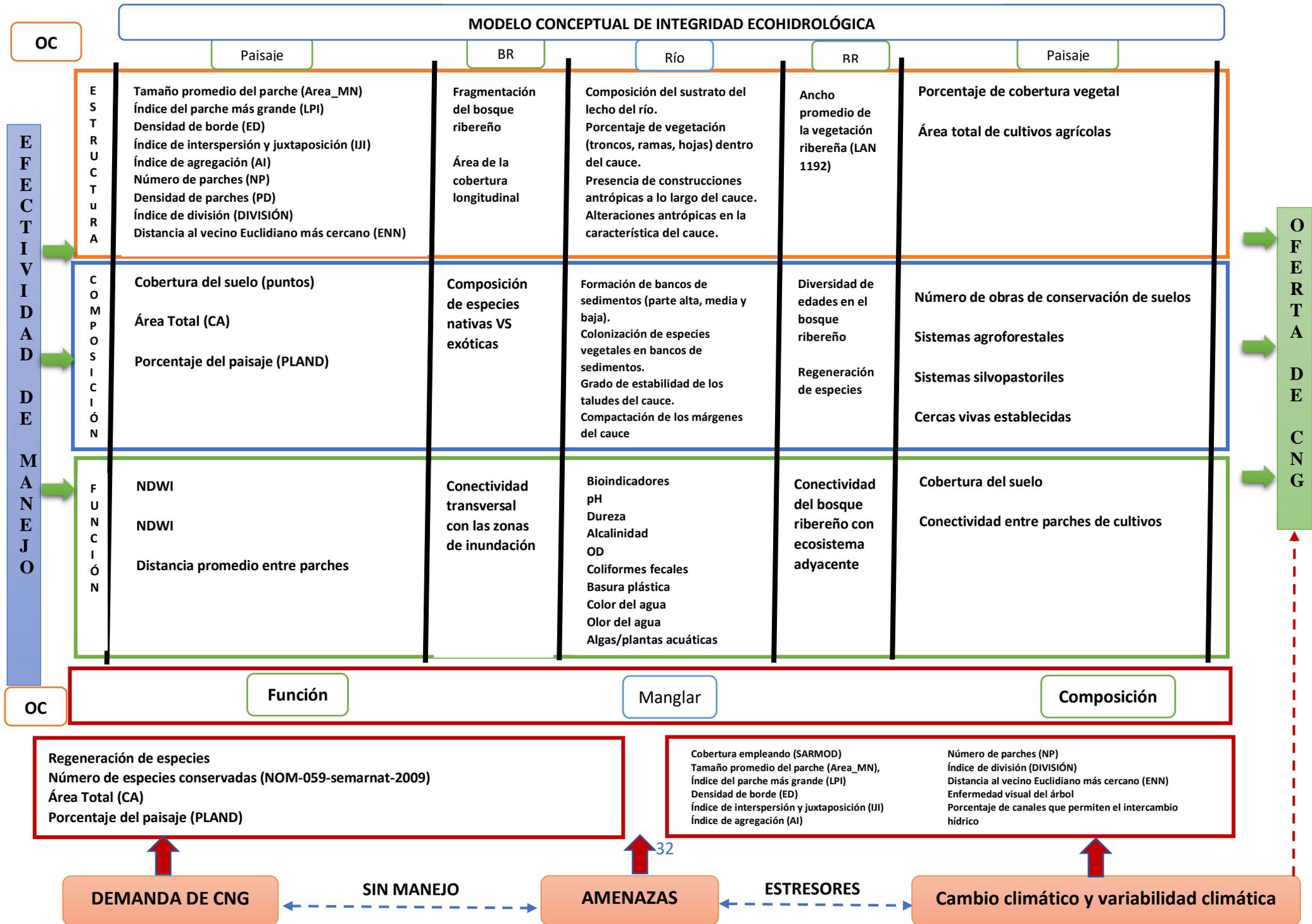


Figura 2. Marco conceptual de la Integridad Ecohidrológica.

Fuente: Elaboración propia

Tomando como base el marco conceptual, se diseñó el modelo de evaluación de IEH, en el que se representa el ecosistema fluvial, estructurado por un río, dos zonas con vegetación ribereña y dos zonas de influencias (paisaje), asimismo, en la parte baja de este se observa el ecosistema de manglar. Ambos OC con sus indicadores y estructurados para ser evaluados por medio de sus características ecológicas dominantes (estructura, composición y función). Asimismo, se denota la importancia de la efectividad de manejo y de las amenazas posibles para los OC (figura 3).

Figura 3, Modelo de IEH para la costa de Chiapas, México. 2019.



## Propuesta de evaluación

Como resultado final se tiene una propuesta de IEH basada en dos OC; el ecosistema fluvial y el ecosistema de manglar. Para la evaluación de la IEH se contemplaron 51 indicadores del ecosistema fluvial, compuesto por 18 indicadores de estructura, 15 indicadores de composición y 18 indicadores de función. Para el ecosistema de manglar se tiene un total de 15 indicadores dividido en 11 indicadores de estructura y cuatro indicadores de composición. La suma de ambos OC contempla un total de 66 indicadores a evaluar en la cuenca (Figura 4). Para la replicabilidad de datos se enlistan los indicadores y métricas empleados en la evaluación de la IEH (anexo 3 y 4), la justificación de estos (anexo 5 y 6) y los rangos de variación y criterios aplicados en campo (anexo 7 y 8).

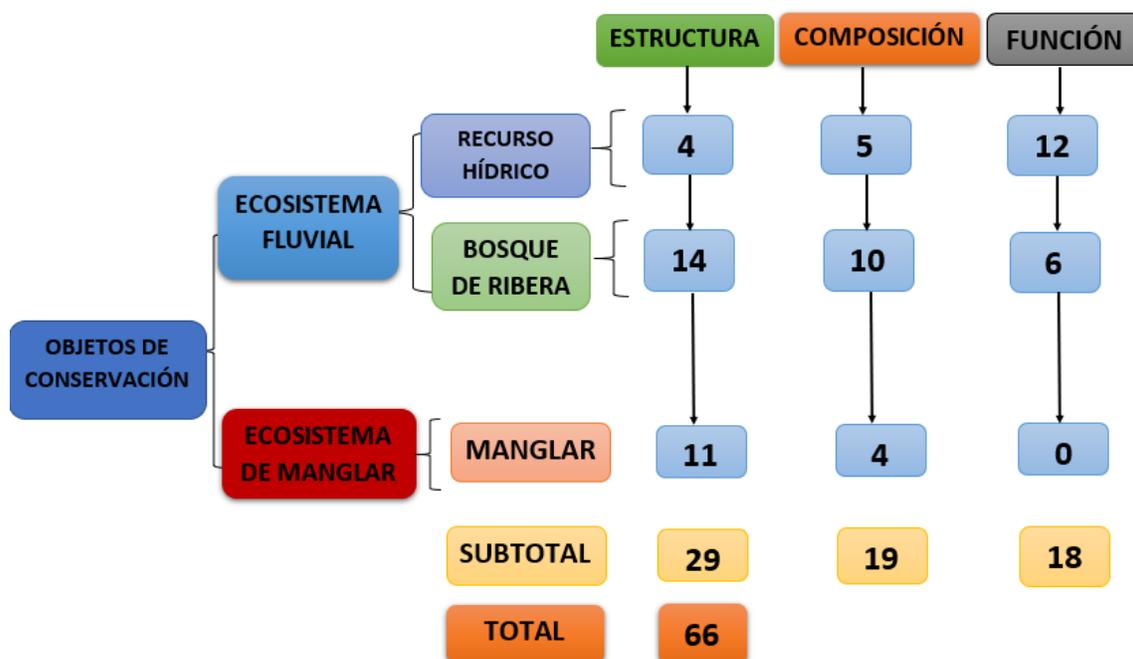


Figura 4. Segregación de los indicadores para los OC.

Los objetos de conservación, la descripción e indicadores empleados en la metodología se señalan en el cuadro 6.

## Efectividad de manejo

Se tiene una propuesta modificada para evaluar la EM aplicada a ANP, cuencas, paisajes, o cualquier otro elemento natural que esté bajo manejo o tenga influencia de alguna institución gubernamental, ONG, universidades, o personas de la sociedad civil. La metodología está conformada por cuatro formularios

- 1) Formulario 1: *Información general del sitio a evaluar y de los evaluadores*: Se refleja la información importante para la ejecución de la entrevista y datos del contacto.

- 2) Formulario 2: *Amenazas posibles para la IEH en ecosistemas costeros (Parte alta, media y baja de una cuenca)*: Está integrado por 13 posibles amenazas las cuales desagregan indicadores, haciendo un total de 70 indicadores.
- 3) Formulario 3: *Importancia del manejo dentro de las zonas protegidas*: Integrado por 15 componentes de importancia con un total de 128 indicadores que reflejan la importancia del ANP.
- 4) Formulario 4: *Trabajo multidisciplinario en el trabajo de integridad ecohidrológica*: Se contempla la evaluación del trabajo coordinado a nivel de cuenca, ANP o paisaje. La finalidad es determinar si el grado de colaboración puede estar ayudando o no a la integridad de la zona de estudio. Consta de un único componente y 16 indicadores.

### **Contribuciones de la naturaleza a la gente**

Se diseñó una entrevista semiestructurada con ocho preguntas abiertas, la pregunta tres contiene las 18 CNG con apoyo visual para la facilitación de la obtención de la información por parte de actores claves.

### **DISCUSIÓN**

El modelo conceptual diseñado para la evaluación de la IEH tiene como base los vacíos detectados en lineamientos sobre procesos que integran diversas mediciones en tiempo y espacio tal como sugieren Dudley y Parrish (2005) & Arias *et al.* (2008), al mencionar que la identificación de vacíos ayuda a conocer si existe un efectivo proceso de conservación en los diferentes niveles de biodiversidad. Dichos vacíos son la clave para la generación de una metodología completa, que busca compensar la falta de integración de variables en metodologías propuestas en los diferentes niveles de evaluación. La propuesta de un manejo paisajístico integra diferentes variables e incluso se pueden hacer análisis estadísticos espaciales (Turner *et al.* 2015) que reflejen la salud ecosistémica y, un poco de salud cultural tal como lo propone Vélez y Gómez (2010). La propuesta de IEH se complementa bajo un análisis espacial y el trabajo en campo, aplicado en diferentes escalas y resaltando al paisaje como eje fundamental en el proceso de integridad ecosistémica Walston & Hartmann (2018). Tomando como base los argumentos descritos anteriormente, se propuso la metodología de IEH que tiene como aporte los siguientes puntos:

*Integridad de conceptos*: Esta metodología evalúa el estado actual en ambientes costeros basado en un enfoque integral. Brinda explicaciones del estado actual de diversos componentes que integran la metodología, tales como; el ecosistema fluvial, el impacto de las actividades antrópicas dentro de una zona de influencia, así como las consecuencias positivas o negativas de la cantidad de agua que reciben los manglares. Por ejemplo, la metodología de IE usada ampliamente (Parrish 2003, Granizo *et al.* 2006, Herrera 2015, Ramírez 2016) solo permite brindar explicación del estado actual de un ecosistema basado en un OC, pero no la relación entre el medio biótico y abiótico e incluso entre otras especies o las actividades antrópicas, etc. Sin embargo, existen otros autores que sugieren la utilización de medidas de IE con la finalidad de identificar efectos antrópicos sobre el medio

natural y la correcta identificación de áreas prioritarias para la conservación (Theobald, 2013). También existen propuestas complejas que relacionan el medio ecológico, socioeconómico y la gestión (Canet *et al.* 2011).

El trabajo multidisciplinario propuesto busca complementar vacíos en los procesos de investigación. Por ejemplo, Equihua *et al.* (2014) señala que en México se requiere establecer bases del estado actual de los ecosistemas, pero no desde un punto de vista individual, sino que holístico, con lo que se pueden establecer acciones entre la política y la ciencia. Por su parte, Ramírez (2016) resalta la importancia de anexar la experiencia y la opinión de las personas dentro de las ANP, así como una mayor interacción de trabajo en campo para obtener información actualizada. Lo anterior, permitió que la propuesta metodológica de IEH contemple la participación de personas dentro de las ANP. Aunado lo anterior, se han creado coaliciones para la evaluación de las ANP (TNC, 2005), este aporte es la base para la complementar la EM en sistemas costeros, pero abarcándolos desde un punto de vista de manejo multidisciplinario. La coalición, como le llama el autor, puede lograr identificar los buenos resultados, pero para ello hay que definir el manejo, los objetivos y las amenazas, que para la presente investigación se ha considerado como gestión de riesgos. Aunque la propuesta de IEH contempla algunos aspectos del manejo holístico (evaluación de bosques, agua, paisaje y complementado con efectividad de manejo y contribuciones de la naturaleza a la gente), centra su atención en el estado actual de la zona de estudio, la relación entre los recursos naturales y los sociales, así como el manejo que se recibe.

Respecto a la integridad fluvial, existen muchas metodologías diseñadas para medir el ecosistema de ribera o algún atributo de este, (Rosas-Acevedo *et al.* 2001; González, 2006; Beauger, 2008; GWW, 2014; Naranjo-López, 2013; Gutiérrez-Fonseca, 2014). Recientemente, Brambila (2018), enfatizando en las variadas metodologías existentes para evaluar calidad del ecosistema ribereño o fluvial, y tomando como base 11 metodologías existentes, propuso una metodología basada en P, C&I, evaluando corriente, ribera y cauce. En esta investigación se contemplan dos de los atributos propuestos dando prioridad a aquellos que tienen más pesos en zonas costeras del Pacífico, fortaleciendo el proceso de toma de datos para la zona costera, de una manera sistematizada.

*Efectividad de manejo:* Las ANPs han sido evaluadas mediante protocolos desarrollados para conocer el estado actual de estas, mediante la efectividad de manejo (Ervin 2003, Ramírez 2015, MAYORQUÍN *et al.* 2010, Secretaría de la Convención de Ramsar, 2015, TNC (2007). Dicha evaluación es un tipo de encuesta que asigna un valor a diversos componentes contemplados dentro de las actividades de gestión en donde finalmente, se asigna un valor total y se obtiene el manejo de las ANP. La propuesta contempla la lógica que siguieron Canet *et al.* 2011, al haber propuesto una metodología de EM para corredores biológicos basada en P, C&I tomando en cuenta características de dimensión socioeconómica, gestión y ecológica.

Una desventaja que tiene este tipo de evaluación es que mayoritariamente contempla el manejo dentro del ANP, ignorando externalidades que llegan a afectar la zona de protección y no contabilizando acciones y relaciones interinstitucionales que pueden brindar un mejor manejo. Por ejemplo, se ignora la relación de un sitio Ramsar con el manejo de una cuenca. Por ello, al abrirse esa ventana de oportunidad, se agregan componentes de cambio climático y relación interinstitucional para determinar la forma en que las instituciones están colaborando entre sí, desde puntos de vista económicos, sociales y políticos.

*Contribuciones de la naturaleza a la gente:* Evaluar la percepción social desde el punto de vista de CNG permitió obtener más información complementaria y socialmente explicativa, que muchas veces no se cuantifica con valoraciones económicas como se ha realizado en otros estudios (Arguedas, 2015; Rosito, 2015; Hernández *et al.* 2018; Hernández-Blanco, 2018). La presente evaluación contempla aspectos socioculturales que permitieron a los actores claves identificar y cuantificar aquellas CNG de las que reciben más beneficios y las que podrían estar bajo mayor presión.

Contemplar este tipo de encuestas puede complementar y brindar más datos a la metodología de IEH, la cual tiene similitudes con la propuesta por Medellín *et al.* (2018), en que se evalúa las sinergias y mitigación al CC, basado en el mapeo de SE propuesto por Burkhard (2012), quien evalúa la sinergia entre la oferta, (estructura y procesos ecosistémicos como parte de la IE) y la demanda (sector social y económico), las cuales, dependiendo de la fuente pueden considerarse como estresores o conductores de los SE. Sin embargo, aunque el componente social está implícito, no se vislumbra el arraigo cultural y como este influye sobre los OC y las CNG, razón por la que el IPBES impulsó este nuevo concepto, el cual redirecciona el enfoque de los SE y abre ventanas de oportunidad para que, empleando metodologías cualitativas (entrevistas semiestructuradas, talleres focales, cuestionarios, entre otros) genere la percepción de las personas sobre las CNG a diferentes escalas de manejo, desde local, a nivel de cuenca o paisajístico.

Para la cuenca de estudio, las principales CNG identificadas están relacionadas con los objetivos del desarrollo sostenible (ODS), por lo que contemplarlo dentro de esta metodología ha ayudado comprender el estado actual y la forma en que se están trabajando los recursos naturales relacionados con los ODS 6, 13, 14 y 15, propuesto por las Naciones Unidas, (2018).

*Desarrollo de índice de integridad ecohidrológica:* Metodologías diseñadas para evaluar la integridad contemplan indicadores y variables cualitativas o cuantitativas (Jørgensen *et al.* 2005, Rosito 2015 & SINAC 2016). La propuesta metodológica de IEH busca una evaluación mixta, pero desde un punto de vista estadístico basado en el desarrollo de un índice que exprese por medio de porcentajes, el estado actual de toda una cuenca contemplando mínimo tres OC.

*Fortalezas y limitaciones del modelo conceptual:* El modelo de IEH está de acorde con el orden y la secuencia que deben estar inmersas dentro de un proceso de construcción teórica de la realidad. Por ejemplo, Mondino (2014), sugiere que un modelo conceptual debe considerar, entre otros, la abstracción, localización, aplicabilidad, la claridad conceptual, coherencia interna y externa, temporalidad y flexibilidad/estabilidad.

El modelo conceptual propuesto sugiere una integridad de componentes (ecológico, social y de manejo), en donde la interacción de estos establece una realidad mental y conceptual de las cuencas, ecosistemas y paisajes costeros, así como las ANP que trabajen en costas.

Una de las fortalezas de este modelo es que sus resultados se fundamentan y reconocen la interacción de las personas con los recursos naturales, siendo la percepción social, aunado a las evaluaciones de efectividad de manejo y a la colaboración interinstitucional, los elementos que propician mejores resultados cuando se evalúa la IEH. Asimismo, este modelo se basa en la identificación, por parte de los actores sociales y haciendo uso de herramientas de evaluación participativa (entrevista semiestructurada), de la oferta y demandan de las CNG en el espacio geográfico en que habitan. Sí existe una alta demanda de una CNG es posible que sea vuelva un estresor para el medio y sin un manejo, en una amenaza. Por el contrario, si se exige una baja demanda y con un manejo de los recursos naturales se cataloga como conductor, pero sin presión alguna.

Es importante también resaltar, que este modelo está enfocado más hacia las zonas costeras y, aunque de manera general pueda representar cualquier ecosistema, se requiere la adaptación de este para su uso y conceptualización de la realidad, además de la revisión e incorporación de nuevos indicadores para nuevas zonas de estudio.

## **CONCLUSIÓN**

El modelo conceptual de IEH debe representar todos los elementos del paisaje. Cada uno de los OC seleccionados debe integrar los resultados por estructura, composición y función con la finalidad de conocer cuáles son los indicadores que reciben menor valor de IEH y que repercuten negativamente en las características ecológicas dominantes.

Se debe contemplar el aspecto social dentro del área estudiada, así como las acciones de efectividad de manejo que ejercen las instituciones sobre zonas con algún estatus de protección o manejo, lo cual ayuda a dar mejores explicaciones del grado de integridad de los OC y el grado de resiliencia hacia las actividades antrópicas.

Los actores claves de la parte alta, media y baja identifican como principales CNG aquellas relacionadas con la alimentación, la calidad y cantidad de recurso hídrico, polinización de semillas, experiencias físicas y la regulación del clima. De manera general, se sugiere que los actores de la parte alta desconocen la funcionalidad de los ecosistemas fluviales sobre el ecosistema de manglar ya que consideran poco importante la regulación de

la acidificación de los océanos, contrario a los que opinan los actores en la parte baja, quienes en su mayoría reconocieron la importancia de la acidificación sobre los océanos. Asimismo, actores de la cuenca baja reconocieron poco importantes los materiales de compañerismo y trabajo (enfocados a fauna silvestre).

La IEH analizada desde un punto de vista geográfico, como lo es una cuenca, arroja datos precisos del estado actual de esta siempre y cuando los OC cubran el mayor porcentaje de superficie, aun cuando se encuentre o no bajo manejo. Sin embargo, cuando la distribución natural de los OC sobrepasa los límites geográficos o políticos, el valor de IEH no representa todo el OC sino la parte que fue evaluada dentro de los límites geográficos, políticos o culturales establecidos.

Para la evaluación de los OC en los que su distribución normal sobrepase límites políticos o geográficos naturalmente definidos se sugiere la evaluación de todo el OC, creando sinergias entre instituciones o municipalidades que ayuden a recabar los datos de integridad.

Evaluar la IEH tomando como base el paisaje o un ecosistema permite la identificación de fuentes puntuales de presión hacia el OC aun cuando la zona evaluada no esté cercana a ellas, por ello, la zona de influencia necesariamente debe evaluarse en cualquier OC, caso contrario, se reflejan datos puntuales de del OC más no del borde paisajístico y sus efectos sobre el OC.

El análisis de IEH a escala de paisaje brinda mejores resultados que cuando se el OC es evaluado desde las fronteras políticas o geográficas, ya que se pierde información sobre conectividad funcional.

Cuando un OC sea el manglar, este debe evaluarse por separado y definir fronteras ecológicas, ya que este ecosistema se ve influenciado por los diferentes ecosistemas fluviales que vierten sus aguas en ellos, así como al grado de inundación por las mareas.

En las cuencas costeras, el ecosistema fluvial es un OC que obligatoriamente debería ser evaluado ya que su distribución se limita a la una distribución geográfica. Asimismo, la suma de las características ecológicas del ecosistema fluvial brinda mejor resultado que cuando se evalúa el bosque de ribera o el río por separado, además, realizar una discriminación entre el ecosistema adyacente y el bosque ribereño genera mejores datos para la interpretación de los resultados.

Integrar la percepción de las personas sobre las CNG, la pérdida o ganancia de los recursos naturales y el manejo que las instituciones realizan sobre sobre áreas protegidas garantiza la inclusión del sector social sobre resultados de integridad y genera resultados complejos que son estudiados desde un punto de vista cuantitativo, pero que tiene la posibilidad de ser explicado por fenómenos sociales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arguedas, MM. 2015. Valoración económica de servicios ecosistémicos brindados por el manglar del Golfo de Nicoya, Costa Rica. Thesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica. 109 p.
- BIOMARCC-USAID 2013. Vulnerabilidad y escenarios bioclimáticos de los sistemas marino-costeros a nivel del caribe centroamericano. San José, Costa Rica. 80 p.
- Beauger, A. 2008. Bio-évaluation de la qualité de l'eau : établissement d'un protocole d'échantillonnage simplifié, basé sur la collecte des macroinvertébrés benthiques sur les seuils des rivières à charge de fond graveleuse. Biodiversité et Ecologie. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II ; Université d'Auvergne - Clermont-Ferrand I, 2008. Français. Consultado 04 May. 2019. Disponible en <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00730658/document>.
- Berlanga-Robles, CA; Ruiz-Luna, A; Lanza, EG. 2008. Esquema de clasificación de los humedales de México. Classification system of the wetlands of Mexico. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. 66: 25–46.
- Brown, E.; N. Dudley, A. Lindhe, D.R. Muhtaman, C. Stewart, y T. Synnott (eds.). 2013. Guía genérica para la identificación de Altos Valores de Conservación. Red de Recursos de AVC (HCVRN).
- Canet-Desanti, L; Finegan, B; Herrera, B. 2011. Metodología para la evaluación de la efectividad del manejo de corredores biológicos. Informe técnico. 386(6):46 p.
- Comer, P. Faber-Langendoen, D; 2013. Assessing Ecological Integrity of Wetlands from National to Local Scales. NatureServe. (online). National Wetlands Newsletter 35 (3):20–22. 17 sept. 2019. Available at <https://www.natureserve.org/sites/default/files/publications/files/ns161.06-assessing-ecological-integrity.pdf>
- Castro, BM. 2002. Indicadores del Desarrollo Sostenible urbano. Una aplicación para Andalucía. Thesis. Ph. D. Málaga, España. Universidad de Málaga. 547 p.
- Comisión Europea (2013). Cambio climático y degradación de los suelos en América Latina: escenarios, políticas y respuestas. Programa EUROCLIMA, Dirección General de Desarrollo y Cooperación – EuropeAid, Comisión Europea. Bruselas, Bélgica. 188 p.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2019. (En línea, sitio web). Consultado 20 de agos. 2019. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- CONAGUA. 2013. Lineamientos para la clasificación de humedales. México. 31 p.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua).2009. Plan de gestión de la cuenca del río Zanatenco, Chiapas-México. (en línea) 63p. Consultado 15 ago. 2019. Disponible en [https://issuu.com/inesachiapas/docs/plan\\_de\\_gestion\\_de\\_la\\_cuenca\\_del\\_r\\_fe24de11163e07](https://issuu.com/inesachiapas/docs/plan_de_gestion_de_la_cuenca_del_r_fe24de11163e07).

- CONANP (Comisión Nacional DE Áreas Naturales). 2019. (En línea, sitio web). Consultado 20 de agos. 2019. <https://www.gob.mx/conanp>.
- CWMW (California Wetlands Monitoring Workgroup). 2012. California Rapid Assessment Method for Wetlands and Riparian Areas (CRAM). *Wetland and Stream Rapid Assessments (March)*:353–361. 95 p.
- Díaz-Bravo, L; Torruco-García, U; Martínez-Hernández, M; Varela-Ruiz, M. 2013. La entrevista, recurso flexible y dinámico. (en línea). *Investigación en Educación Médica* 2(7):162-167. Consultado 25 agos. 2019. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/3497/349733228009.pdf>
- Díaz, S; Pascual, U; Stenseke, M; Martín-López, B; Watson, RT; Molnár, Z; Hill, R; Chan, KMA; Baste, IA; Brauman, KA; Polasky, S; Church, A; Lonsdale, M; Larigauderie, A; Leadley, PW; Van Oudenhoven, APE; Van Der Plaats, F; Schröter, M; Lavorel, S; Aumeeruddy-Thomas, Y; Bukvareva, E; Davies, K; Demissew, S; Erpul, G; Failler, P; Guerra, CA; Hewitt, CL; Keune, H; Lindley, S; Shirayama, Y. 2018. Assessing nature's contributions to people: Recognizing culture, and diverse sources of knowledge, can improve assessments. *Science* 359(6373):270–272.
- Dudley, N; Parrish, J. 2005. Cubriendo los Vacíos, La creación de sistemas de áreas protegidas ecológicamente representativos. The Nature Conservancy (TNC). Mérida, Yucatán, México. 126 p.
- Enriquez Brambila. 2018. Evaluación integral del estado ecológico de los ecosistemas fluviales en la zona intertropical americana. Thesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica. 151 p.
- Equihua Zamora, M; García-Alaniz, N; Pérez-Maqueo, O; Benítez Badillo, G; Kolb, M; Schmidt, M; Equihua Benítez, J; Maeda, P; Álvarez Palacios, JL. 2014. Integridad ecológica como indicador de la calidad ambiental - Ecological integrity as indicator of environmental quality. *Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental*. :687-710.
- Ervin, J. 2003. WWF: Rapid Assessment and Prioritization of Protected Area Management (RAPPAM) Methodology WWF Gland, Switzerland. 70 p.
- Faber-Langendoen, BD; Nichols, W; Rocchio, J; Walz, K; Lemly, J. 2016. Rating the Condition of Reference Wetlands Across States: NatureServe's Ecological Integrity Assessment Method. *National Wetlands Schweiger* 38(3):5 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2017-2018. Agroforestería para la restauración del paisaje. Explorando el potencial de la agroforestería para mejorar la sostenibilidad y la resiliencia de los paisajes degradados. 28 p
- Flotemersch JE; Leibowitz, SG.; Hill, R.A.; Stoddard, J.L.; ThomS, MC; Tharme R.E. (2015). A watershed integrity definition and assessment approach to support strategic management of watersheds. *Online. River Res. Applic.*32: 1654–1671. Consultado 12 may. 2019. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/rra.2978>
- Gage, EA. 2018. Wetlands ecological integrity monitoring protocol for Sierra Nevada Network: Narrative version 2.1. National Park Service. Three Rivers, California Consultado 20 setp. 2018. Disponible en <https://irma.nps.gov/DataStore/DownloadFile/598785>.

- Georgia Environmental Protection Division. 2014. Visual Stream Survey. (en línea). 319:1-89. Consultado 05 sept.2019. Disponible en <https://adoptastream.georgia.gov/documents/visual-stream-survey-complete-manual>.
- Granizo, T; Molina, ME; Secaira, E; Herrera, B; Benitez, S; Maldonado, O; Libby, M; Arroyo, P; Isola, S; Castro, M. 2006. Manual de Planificación para la Conservación de Áreas, PCA. TNC-USAID. Quito, Ecuador. 13-31 pp. [https://www.conservationgateway.org/Documents/Manual\\_PCA\\_Spanish\\_1.pdf](https://www.conservationgateway.org/Documents/Manual_PCA_Spanish_1.pdf)
- González del Tánago, M; García de Jalón, D; Lara, F; Garilleti, R. 2006. Índice RQI para la valoración de las riberas fluviales en el contexto de la directiva marco del agua. (en línea). Ingeniería Civil. 143:97-108. Consultado 28 may. 2018. Disponible en <http://www.chduero.es/acciona5/metodologia/rqi.pdf>.
- Gutiérrez-Fonseca, PE; Lorion, CM. 2014. Application of the BMWP-Costa Rica biotic index in aquatic biomonitoring: Sensitivity to collection method and sampling intensity. Revista de Biología Tropical 62(April):275-289. 27 may.2018. Available at <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44932430018>.
- GWW (Global Water Watch). 2014. Monitoreo comunitario del agua. Monitoreo biológico (Macroinvertebrados acuáticos). Cuidado co-participativo de Cuencas con base en la comunidad y respaldo científico mediante el monitoreo comunitario del agua. 49 p.
- Guizada-Durán, A. 2018. Integridad ecológica de humedales de la cuenca baja del río Tempisque, caso Humedal Protegido Internacional Palo Verde, Costa Rica. Tesis MS.c Turrialba, Costa Rica. 97 p.
- Hamilton, R.; Cushman, S.; McCallum, K.; McCusker, N.; Mellin, T.; Nigrelli, M.; Williamson, M. 2013. Multiscale landscape pattern monitoring using remote sensing: The four-forest restoration initiative. RSAC-10022-RPT1. Salt Lake City, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Remote Sensing Applications Center. 24 p
- Hernández-Blanco, M; Costanza, R; Cifuentes-Jara, M. 2018. Valoración Económica para los Servicios Ecosistémicos Provistos por los Manglares del Golfo de Nicoya. San José, Costa Rica: Conservación Internacional. 72 p.
- Herrera-Martínez, C. 2015. Evaluación de la efectividad de humedales con diferentes categorías de manejo en la conservación de aves acuáticas en la cuenca baja del Río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica. Heredia, Costa Rica. 103 p.
- Herrera, Bernal y Corrales, Lenin. 2004. Midiendo el éxito de las acciones en las áreas protegidas de Centroamérica: Evaluación y monitoreo de la integridad ecológica (en línea). PROARCA/APM, Guatemala de la Asunción, Guatemala. 44p. consultado 22 jul. 2018. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/308202055\\_Manual\\_para\\_la\\_evaluacion\\_y\\_monitoreo\\_de\\_la\\_integridad\\_ecologica\\_en\\_areas\\_protegidas](https://www.researchgate.net/publication/308202055_Manual_para_la_evaluacion_y_monitoreo_de_la_integridad_ecologica_en_areas_protegidas).
- Jørgensen, SE; Costanza, R; Xu, F-L. 2005. Indicators for Assessment of Ecosystem. 43 p.
- Kattan, GH. 2002. Fragmentación: patrones y mecanismos de extinción de especies. Ecología y Conservación de Bosques neotropicales. Cartago, Costa Rica. 561-590 p.

- Lammerts Van Bueren, E; Blom, E. 1996. Hierarchical Framework for the Formulation of Sustainable Forest Management Standards the WWF and IKEA Co-operation on Forest Projects A Partnership to promote responsible forestry a series of instruments to support and empower multistakeholder working gr. (online). 97 p. Available at <https://documentacao.socioambiental.org/documentos/M9D00022.pdf>.
- Ludwig, JA; Tongway, DJ; Bastin, GN; James, CD. 2004. Monitoring ecological indicators of rangeland functional integrity and their relation to biodiversity at local to regional scales. (online). 29:108-120. Consultado 16 sept. 2019. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1442-9993.2004.01349.x>.
- Leopold, L. 1971. A procedure for evaluating environmental impact (Geological Survey Circular 645). Online. 45(3):1-16. consultado 04 may. 2019. disponible en <https://pubs.usgs.gov/circ/1971/0645/report.pdf>.
- Mayorquín, A; Valenzuela, S; Rangel, JO. 2010. Assessing management effectiveness in Natural Reserves of Civil Society: a methodological proposal. (en línea). *Caldasia* 32(2):381-397. Consultado 28 abril. 2019. Disponible en [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0366-52322010000200010&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-52322010000200010&lng=en&nrm=iso&tlng=es).
- Menchaca, DMS; Alvarado, MEL. 2011. Efectos antropogénicos provocados por los usuarios del agua en la microcuenca del Río Pixquiac. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 2(1):85-96. Consultado 20 sept. 2019.
- Medellín, C; Corrales, L; Cifuentes Jara, M; Imbach, P; Brenes, C. 2018. Herramienta para la priorización e implementación de medidas que generan sinergias entre adaptación y mitigación del cambio climático. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 82 p. (Serie técnica. Informe técnico).
- MMA (Ministerio del Medio Ambiente); CTCN (Climate Technology Centre and Network); CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza); ICRAF (Centro de Agroforestería Mundial). 2016. Diseño de una red de monitoreo de biodiversidad y cambio climático. Marco Conceptual, Indicadores, Protocolo de Datos, Estándares de Calidad y requerimientos de Software y Hardware 173 p.
- Morán, MM; Campos, AJJ; Louman, B. 2006. Uso de principios, criterios e indicadores para monitorear y Evaluar las acciones y efectos de políticas en el manejo de los recursos naturales. Informe técnico. Turrialba, Costa Rica. 73 p.
- Munné, NP., Solá C., Bonada, N. Rieradevall, M. 2003. A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index. (13):147-163.
- Naciones Unidas (2018), La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G.2681-P/Rev.3), (en línea). Santiago. 93 p. Consultado 20 sept. 2019. Disponible [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf).
- Naranjo-López, Juan Carlos, López-del Castillo, Pedro, BIOLOGICAL MONITORING WORKING PARTY, Un índice biótico con potencialidades para evaluar la calidad de las

aguas en ríos cubanos. 2013. (en línea). Consultado 28 abril. 2019. Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181328708003>> ISSN 1027-2887.

- Navarrete-Ramírez S.M, Rodríguez-Rincón A.M. 2014. Condición Tendencia de los Bosques de Manglar. Protocolo indicador. Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP). Invemar, GEF y PNUD. Serie de Publicaciones Generales del Invemar. N° 67. 40 p.
- Parrish, JD; Braun, DP; Unnasch, RS. 2003. Are We Conserving What We Say We Are? Measuring Ecological Integrity within Protected Areas (en línea). *BioScience* 53(9):851. Consultado 05 ago. 2018. Disponible en <https://academic.oup.com/bioscience/article/53/9/851/311604>.
- Pabon-Zamora, L; Bezaury, JF; Leon, L; Gill, S; Stolton, A; Groves, S; Mitchell y N. Dudley. 2008. “Valorando la Naturaleza: Beneficios de las áreas protegidas”. Serie Guía Rápida, ed, J. Ervin. Arlington, VA: The Nature Conservancy. 34 p.
- Ramírez-Mora. 2018. Evaluación de la efectividad de manejo en las Áreas Silvestres Protegidas del Área de Conservación Tempisque, Costa Rica. Thesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica. 86 p.
- Rosas-Acevedo, J; Ávila-Pérez, H. 2001. Índice BMWP, FBI y EPT para determinar la calidad del agua en la laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, México. (en línea). *Reibci.Org* 1:80-86. Disponible en <http://www.reibci.org/publicados/2014/julio/2200103.pdf>.
- Rosito-Monzon, J.C. 2015. Ecohidrología y servicios de regulación hídrica en cuatro subcuencas de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas (RBSM) y sus aplicaciones para la gestión del recurso hídrico. Thesis. Ph.D. 337 p.
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2019. Convocatoria: Programa Crédito Ganadero a la Palabra. Chiapas, México. 4 p.
- Samanta, S; Kumar, DM. 2006. Application of an index of biotic integrity (IBI) to fish assemblage of the tropical Hooghly estuary. *Indian Journal of fisheries*. 53(1):47-57. Secretaría de la Convención de Ramsar, 2015. Resolución XII.15 Evaluación de la efectividad del manejo y la conservación de los sitios Ramsar. 12ª Reunión de la Conferencia de las Partes en la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971) (en línea). Consultado 26 ago. 2018. Disponible en [https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/cop12\\_res15\\_management\\_effectiveness.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/cop12_res15_management_effectiveness.pdf).
- Secretaría de la Convención de Ramsar, 2019. Servicio de Información sobre Sitios Ramsar. (en línea, sitio web). Consultado 20 ene. 2019. Disponible en [https://rsis.ramsar.org/es/ris-search/?language=es&f\[0\]=regionCountry\\_es\\_ss%3AM%C3%A9xico](https://rsis.ramsar.org/es/ris-search/?language=es&f[0]=regionCountry_es_ss%3AM%C3%A9xico).
- SEMARNAP. (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca) 1999. Programa de manejo de la Reserva de la Biosfera La Sepultura. (en línea). 249 p. Consultado 18 agos. 2019. Disponible en <http://www.paot.org.mx/centro/ine-semarnat/anp/AN10.pdf>.
- Schuschny, A; Soto, H. 2009. Guía metodológica: diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible. (en línea). Colección documentos de proyectos :109 P. Consultado 18 abril 2019. Disponible en [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3661/1/S2009230\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3661/1/S2009230_es.pdf).

- Schweiger, E. W., E. Gage, K. Driver, D. Cooper, L. O'Gan, and M. Britten. 2015. Rocky Mountain Network wetland ecological integrity monitoring protocol: Narrative, version 1.0. Natural Resource Report NPS/ROMN/NRR—2015/991. National Park Service, Fort Collins, Colorado. 170 p.
- Simberloff, D. 2012. Nature, natives, nativism, and management: worldviews underlying controversies in invasion biology. *Environmental Ethics*. 34 (1): 5-25.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación). 2016. Marco conceptual y guía metodológica para la Integridad ecológica en Áreas Silvestres Protegidas de Costa Rica. 40 p.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, CR). 2018. Guía Rápida para la Implementación de la Zonificación en Áreas Silvestres Protegidas de Costa Rica. Ed. Artavia G, San José, Costa Rica. 28 p.
- Stein, ED; Fetscher, AE; Clark, RP; Wiskind, A; Grenier, JL; Sutula, M; Collins, JN; Grosso, C. 2009. Validation of a wetland Rapid Assessment Method: Use of EPA's level 1-2-3 framework for method testing and refinement. *Wetlands* 29(2):648–665.
- Theobald, DM. 2013. A general model to quantify ecological integrity for landscape assessments and US application. *Landscape Ecology* 28(10):1859-1874.
- TNC (The Nature Conservancy). 2009. Evaluación de ecorregiones de agua dulce en Mesoamérica, sitios prioritarios para la conservación en las ecorregiones de Chiapas a Darién. Programa de Ciencias Regional, Región de Mesoamérica y El Caribe. San José, Costa Rica. 520 p.
- TNC (The Nature Conservancy). 2007. Mejores Prácticas y Metodologías para la Conservación en Tierras Privadas en América Latina /fotograf. de Sergio Pucci Golcher. – 1 ed.— San José, C.R. p. 116.
- Turner, GM; Garder, HR. 2015. *Landscape ecology in theory and practice*. Second edition. New York, United states of America. Springer. 349 p.
- Trujillo-Acosta, A; Peraza-Estrella, MJ; Marina-Hipólito, JG; Feol-Boraschi, S. 2016. Evaluación del Corredor Interurbano Río Torres, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana*. 14(34):53-62.
- Unnasch, R. Braun, D.; Comer, P.; Eckert, G. 2018. The Ecological Integrity Assessment Framework. A Framework for Assessing the Ecological Integrity of Biological and Ecological Resources of the National Park System (Version 1.1). 56 p.
- UNESCO. 2006. Manual para la medición del progreso y de los efectos directos del manejo integrado de costas y océanos. (en línea). Manual para la medición del progreso y de los efectos directos del manejo integrado de costas y océanos :224 P. Consultado 29 abril.2019. Disponible en <http://ioc.unesco.org>.
- USAID - BIOMARCC - GIZ 2013, Estudio Integrado de Vulnerabilidad y Escenarios Bioclimáticos de los Recursos y Ecosistemas Marino-Costeros de la Costa Caribe de Nicaragua y Panamá. USAID. Programa Regional de USAID para el Manejo de Recursos Acuáticos y Alternativas Económicas y el Proyecto Biodiversidad Marino-Costera en Costa Rica - Desarrollo de Capacidades y Adaptación al Cambio Climático (BIOMARCC), 94 p.

Vélez Restrepo, LA; Gómez Sal, A. 2008. A Conceptual and Analytical Framework for Estimation the Ecological Integrity of Landscape Scale. *Arbor* 84(729):31–44.

Walston, LJ; Hartmann, HM. 2018. Development of a landscape integrity model framework to support regional conservation planning. Online. *PLoS ONE* 13(4). Consultado 10 may.2019. Disponible en <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0195115>.

## Capítulo 2: Evaluación de la integridad ecohidrológica en la cuenca del Río Zanatenco, Tonalá, Chiapas, México.

Cueto-Espinosa, Eliabeth<sup>1</sup>, Herrera Martínez, Christian<sup>2</sup>, Benegas-Negri, Laura<sup>3</sup>; Ríos Ramírez Ney<sup>4</sup>

### RESUMEN

Se aplicó la evaluación de IEH en la subcuenca del río Zanatenco, ubicada en la costa de Chiapas, México. Se evaluaron dos OC; A) Ecosistema fluvial y b) manglar. Se evaluaron 66 indicadores divididos en 26 indicadores de estructura, 19 indicadores de composición y 18 indicadores defunción. Estos, a su vez, están divididos en indicadores cuantitativos e indicadores de percepción rápida. Se establecieron 10 puntos de muestreo en la cuenca, dos en la parte alta, dos en la parte media y seis en la parte baja, uno de ellos, solo evaluó manglar.. Se tomaron datos de vegetación, calidad de agua, y se cuantificaron métricas del paisaje. Los resultados obtenidos para cada indicador fueron categorizados en cinco rangos (1 representa el valor mínimo y 5 el máximo). La suma de estos valores fue convertida a porcentajes para representar el total obtenido y ser analizados. Para el ecosistema fluvial se encontró que, en la cuenca alta, se tiene una IEH buena (S1=85%; S2=85%). Para la cuenca media, los valores obtenidos siguen la misma tendencia (S3=74%; S4=73%). Los sitios muestreados en la cuenca baja están representados con una IEH mala (S5=40%; S6=43%; S7=40%) a intermedia (S8=49% y S9=54%). En términos de características ecológicas dominantes, la estructura mostró los valores más altos de integridad, seguidos de la función y finalmente composición. Los mayores porcentajes de integridad se obtuvieron en la cuenca alta, posteriormente en la cuenca media y finalmente en la cuenca baja, en donde la composición estuvo mejor representada. Dentro del ecosistema fluvial, se identificó que el recurso hídrico presenta una mejor IEH que el bosque de ribera en la parte alta y media, mientras que en la parte baja los papeles se invierten. El ecosistema de manglar representa una IEH buena (65.3%) con valores en su estructura del 67.3% (IEH buena) y del 60% (IEH intermedia) en su composición. La información de efectividad de manejo complementa y explica mejor los resultados de IEH, puesto que la problemática de la parte baja de la cuenca (sitio Ramsar) está relacionadas con las amenazas identificadas siendo principalmente el desarrollo residencial y comercial, el cambio climático y la variabilidad climática, la contaminación, los cambios hidrológicos y las modificaciones al sistema natural. Finalmente, la IEH de la cuenca alta es buena (85%), la cuenca media está clasificada dentro de los mismos rangos (73.3%) y la cuenca baja es considerada como una IEH intermedia (46.5%).

**Palabras clave:** Integridad Ecohidrológica (IEH), Ecosistema fluvial, manglares, paisaje, Objetos de conservación.

## SUMMARY

The IEH assessment was applied in the sub-basin of the Zanatenco River, located on the coast of Chiapas, Mexico. Two COs were evaluated; A) River Ecosystem and b) Mangrove. Sixty-six indicators were evaluated, divided into 26 structure indicators, 19 composition indicators, and 18 death indicators. These, in turn, are divided into quantitative indicators and quick perception indicators. Ten sampling points were established in the basin, two in the upper part, two in the middle part and six in the lower part. Vegetation and water quality data were taken, and landscape metrics were quantified. The results obtained for each indicator were categorized into five ranges (1 represents the minimum value and 5 the maximum). The sum of these values was converted into percentages to represent the total obtained and be analyzed. For the fluvial ecosystem it was found that, in the upper basin, there is a good HEI (S1=85%; S2=85%). For the middle basin, the values obtained to follow the same trend (S3=74%; S4=73%). The sites sampled in the lower basin are represented with a bad IEH (S5=40%; S6=43%; S7=40%) to intermediate (S8=49% and S9=54%). In terms of dominant ecological characteristics, the structure showed the highest values of integrity, followed by function and finally composition. The highest percentages of integrity were obtained in the upper basin, then in the middle basin and finally in the lower basin, where the composition was best represented. Within the fluvial ecosystem, it was identified that the water resource presents a better IEH than the riverside forest in the upper and middle parts, while in the lower part the roles are reversed. The mangrove ecosystem represents a good HEI (65.3%) with values in its structure of 67.3% (good HEI) and 60% (intermediate HEI) in its composition. The information on management effectiveness complements and better explains the results of IEH, since the problem of the lower part of the basin (Ramsar site) is related to the identified threats being mainly residential and commercial development, climate change and climate variability, pollution, hydrological changes and modifications to the natural system. Finally, the IEH of the upper basin is good (85%), the middle basin is classified within the same ranges (73.3%) and the lower basin is considered as an intermediate IEH (46.5%).

**Keywords:** Ecohydrological Integrity (IEH), Fluvial Ecosystem, Mangroves, Landscape, Conservation Objects.

## INTRODUCCIÓN

La ecohidrología es una disciplina que se ha desarrollado con la finalidad de solventar vacíos en los procesos de gestión del agua, además que integra el componente hídrico y ecológico, así como las interacciones entre estos. Incorpora procesos naturales y regímenes climáticos en tiempo y espacio. En un principio se tomaron las cuencas hidrográficas para el proceso del marco conceptual hasta migrar a los ecosistemas (Zalewsky, 2002). Los enfoques de la ecohidrología han ido evolucionando, desde las primeras evaluaciones de evaporación, relación agua-bosque, cantidad de agua, ciclo hidrológico, biodiversidad, uso eficiente del agua hasta los estudios más recientes precipitación, cambio climático, discriminación de isótopos de carbono, NDVI, ciclo del carbono, entre otros (Li *et al.* 2016), donde algunos estudios siguen manteniendo la cuenca como base de estudios.

Por otra parte, los paisajes costeros de Chiapas han sufrido perturbaciones naturales, como los huracanes (Villafuerte y García, 2006; Oswald, 2012; Arellano y Ruiz, 2019) y antrópicos, principalmente la ganadería (Arellano y Ruiz, 2018; SADER, 2019). Aunado a expresado, la región Istmo-Costa está sufriendo cambios en los patrones climáticos (Imbach, 2013; Arellano y Ruíz 2018, 2019), mismos que se reflejan en los resultados obtenidos por el World Resources Institute (2019), afirmando que la costa de Chiapas (Istmo-Costa y Soconusco) está catalogada como una zona de alto estrés hídrico, con extremadamente alta probabilidad de inundación por los ríos.

Considerando los resultados publicados para la zona y tomando como premisa que las investigaciones no están determinadas por un límite geográfico sino por los objetivos de estudio, se requieren metodologías que rompan paradigmas y límites de trabajo, por lo que el enfoque debe ser adaptativo. Por esta razón, se impulsan las metodologías de evaluación integrales que permita obtener los resultados de sus indicadores por separados pero que al mismo tiempo refleje, de manera conjunta, las relaciones intrínsecas de los OC evaluados y se traduzca como el estado actual de la integridad ecohidrológica. Esto se ha venido fortaleciendo mediante la evaluación de integridad en ANP usada por varios autores (Parrish, 2003; Herrera 2004; Herrera, 2015; SINAC, 2016; Guizada, 2018).

Continuando con lo expresado, la evaluación de la IEH es una novedosa forma para obtener información de diferentes OC, por lo que, si se desea estudiar un elemento como tal, es posible hacerlo, sin embargo, este debe ser parte de la evaluación integral. Por ello, la ecohidrología no debe limitarse a los resultados obtenidos en sus indicadores, sino que debe ampliar su visión al sector social.

El sector social, al estar involucrado y repercutir de manera directa o indirecta en los diferentes campos de evaluación de la IEH, debe ser parte de la ecohidrología. La información obtenida a personas que interactúan con los OC o que efectúan acciones que se pueda estudiar bajo metodologías de efectividad de manejo, también deben ser parte de estos resultados. Por ejemplo, las metodologías de EM y encuestas para obtener información de las contribuciones de la naturaleza a la gente (Díaz, 2018) pueden ser factores claves en el entendimiento del estado actual de la ecohidrología.

## METODOLOGÍA

### Ubicación

La aplicación y validación de la metodología se realizó en la subcuenca del río Zanatenco (Figura 5), ubicada en la Región Hidrográfica 23 (RH23)-Costa de Chiapas, específicamente dentro de la cuenca costera Mar Muerto. (CONAGUA, 2009; INEGI, 2019). A su vez, se encuentra dentro de la región económica IX Istmo-Costa, entre las coordenadas  $16^{\circ}04'10''$  y  $16^{\circ}11'00''$  latitud norte y  $93^{\circ}36'30''$  y  $93^{\circ}43'50''$ . La cuenca tiene una superficie de  $407.15 \text{ km}^2$ . El 94% de la superficie se encuentra en el municipio de Tonalá, y el resto se distribuye en los municipios de Villaflores y Villacorzo (Conagua, 2009).

La cuenca se caracteriza por tener una superficie en su mayoría de planicie y con una zona de altas pendientes que oscila entre una altitud de los 0 a los 2498 m. El cauce del río tiene un índice de sinuosidad de 1.52, lo que lo cataloga como meandriformes (Contreras, 2009). Asimismo, se encuentra influenciada por dos zonas que están bajo algún esquema de protección; A) La REBISE (parte alta y media de la cuenca) y el sitio Ramsar 1823, Estuarino Puerto Arista (Parte baja de la cuenca).

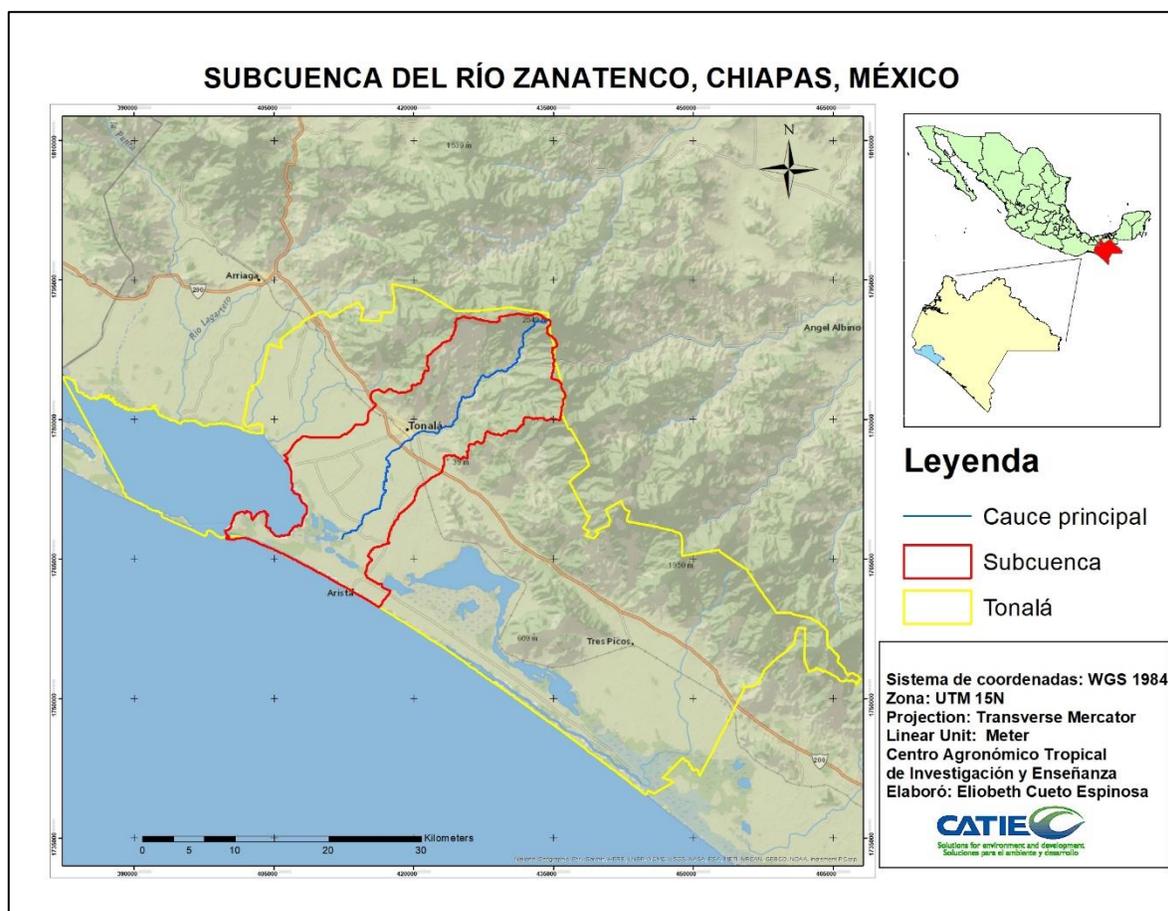


Figura 5. Mapa de ubicación de la Subcuenca del río Zanatenco.

Fuente: Elaboración propia

### **División de la subcuenca**

Para evaluar la IEH la cuenca del río Zanatenco se dividió en tres categorías

1. Cuenca alta: Oscila entre un rango altitudinal de 501-2498 msnm. Cubre el 22.78% del total de la cuenca con una superficie de 9275.3 ha. Esta parte se encuentra dentro de la REBISE.
2. Cuenca media: Se encuentra entre los 121-500 msnm. Esta abarca el 20.36% de la cuenca con una superficie de 8289.9 ha. Pertenece a la zona de amortiguamiento de la REBISE.
3. Cuenca baja: Es la mayor parte de toda la subcuenca del río Zanatenco, con un área de 23,149.5 (56.86% de la cuenca) y se encuentra en la llanura costera del pacifico entre elevaciones que van desde los 0 hasta los 120 msnm.

### **Objetos de conservación**

La metodología de Integridad Ecohidrológica, contempla la selección de dos OC.

- A) Ecosistema fluvial: Se evaluaron indicadores relacionados al recurso hídrico, al bosque de ribera y el paisaje, con una zona de influencia de 2 km, respecto al cauce principal del río Zanatenco.
- B) Ecosistema de manglar: Se analizó el ecosistema de manglar, limitándolo únicamente a la zona que queda dentro de la cuenca y que a la vez pertenece al sitio Ramsar 1823, Estuarino Puerto Arista.

### **Selección de puntos**

*Ecosistema fluvial:* Para el primer OC se establecieron sitios de muestreo distribuidos sistemáticamente, dos ubicados en la parte alta, dos en la parte media y cinco en la parte baja. La cantidad y distribución de puntos se determinó con base en la superficie total de cada segmento. Advirtiéndose que la cuenca baja es casi tres veces mayor que la parte media y alta, se consideró establecer tres puntos más de muestreo. Asimismo, se consideró que las cuencas costeras de la región pacífica de Chiapas son de respuesta rápida, con una gran llanura costera y una elevación abrupta en la parte alta. Los sitios se muestran en la Figura 6 y se describen en el cuadro 7.

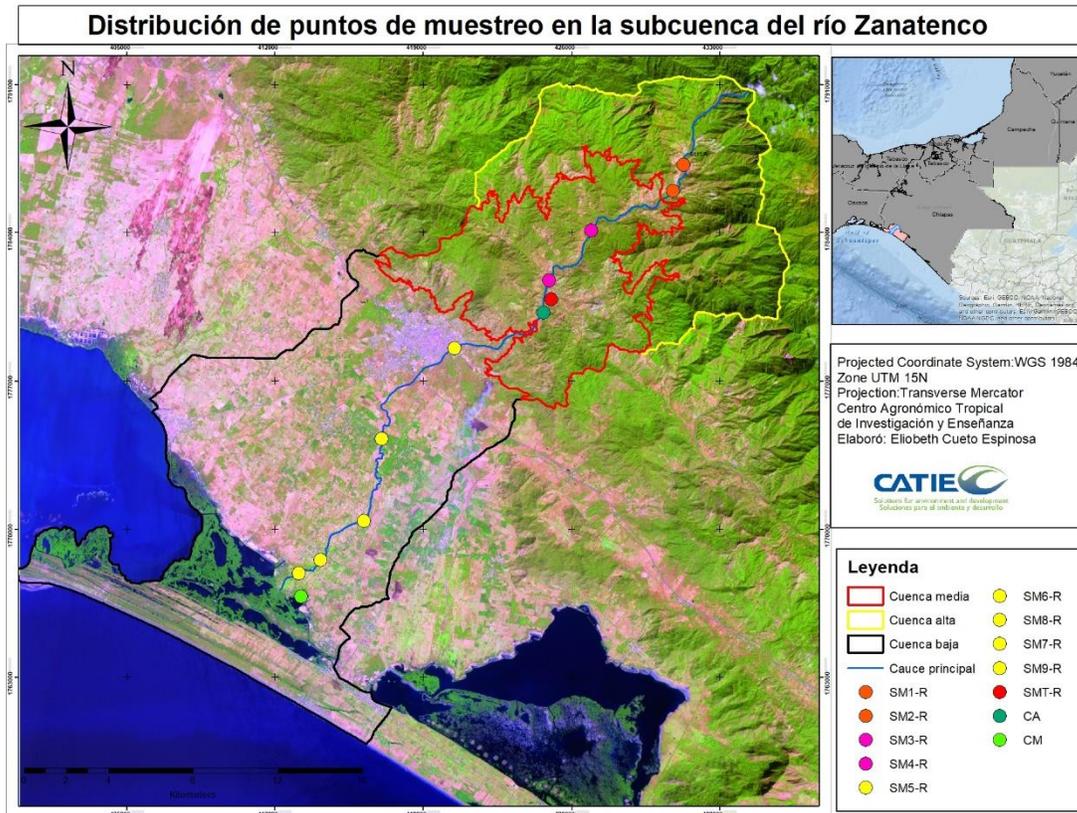


Figura 6. Distribución de puntos por división de cuencas. Tonalá, Chiapas, México. 2019.

Para el ecosistema fluvial, la evaluación se realizó en los nueve puntos de muestreo seleccionados aplicando un ajuste en la distancia para su evaluación. Los puntos ubicados en la parte alta se evaluaron 10 metros de ancho, en cada margen, por 150m de largo, haciendo un total de (3000 m<sup>2</sup>). En la parte media se midieron 20m de ancho, en cada margen, por 150 m lineales (4000 m<sup>2</sup>) y para la parte baja se midieron 30m de ancho por 150 m de largo, dando un total de (6000m<sup>2</sup>). La razón de que no se tuviera el mismo esfuerzo de muestreo recae en los anchos de las cuencas, las partes altas suelen ser abruptas y con formación geológica en “V”, por lo que la vegetación ribereña no sobrepasa los 20 m de ancho. por su parte, la cuenca media presenta una topografía menos abrupta que permite un mayor ancho de la vegetación y, la cuenca baja, está dentro de la llanura costera por lo que la ribera, en estado natural, puede extenderse por cientos de metros. Los diferentes anchos han sido usados por otros autores (Kutschker *et al.* 2009; Vargas, 2013; Oliveira, 2019, Yirigui *et al.* 2019). Además, se tomó el área como otro factor de consideración, ya que la cuenca baja es casi dos veces mayor a la cuenca media y alta.

Cuadro 6. Descripción de sitios de muestreo.

Sitios	Ubicación	Descripción
S1	Ejido La Providencia.	Este sitio está dentro del polígono de la REBISE. Cuenta con importantes remanentes de vegetación.
S2	Ejido La Providencia.	Ubicado dentro de la REBISE, con una importante cobertura vegetal y presencia de ganado cerca de las riberas.
S3	Ejido las Delicias	Sitio dentro de la REBISE, utilizado para recreación. Aun cuenta con bosque ribereño.
S4	Ejido La Meca	Ubicado en la cuenca media, se caracteriza por tener un gran puente en el cauce principal, así como una carretera de terracería, además de que es un sitio frecuentado por turistas.
S5	Cabecera municipal de Tonalá, Chiapas.	El sitio está ubicado a orillas de la cabecera municipal, está encausado y cuenta con poca cubierta vegetal, además, tiene una fuerte presión de turistas y personas locales que arrojan basura sobre el río. Este sitio se puede considerar como la transición del sustrato rocoso en el lecho del río hacia un sustrato arenoso.
S6	Ranchería Noyola	Este sitio está conformado principalmente por sustrato arenoso, y la matriz paisajística que lo rodea consistes en plantaciones comerciales de mango y potreros para ganadería. Además, cuenta con un camino que une dos poblados cercanos. Carece de vegetación ribereña.
S7	Ranchería La Calzada	Sustrato principalmente arenoso, nula vegetación de ribera, canal encauzado, y una zona adyacente predominante en pastos ganaderos.
S8	Ranchería La laguna/El Naranja	Sitio que ha recibido una gran cantidad de azolves en la zona, presenta poca vegetación ribereña y el cauce ha sufrido modificaciones para evitar inundaciones a comunidades cercanas.
S9	Ranchería El Naranja	Ubicado dentro del sitio Ramsar, presenta una cobertura vegetal en un margen del río y una franja ribereña. La matriz paisajística de la zona adyacente está compuesta por remanentes de vegetación y árboles dispersos, así como potreros.
ST	Ejido Miguel Hidalgo #1	Ubicado a inicios del ejido Miguel Hidalgo #, dentro de los límites de la REBISE. Este sitio fue colocado estratégicamente solo para evaluar la presencia de <i>E. coli</i> en el agua, situado en la

		entrada de una obra de purificación de agua que abastece al municipio.
SR	Ejido Miguel Hidalgo #1	Este sitio está ubicado dentro de los límites de la REBISE, y la ubicación estratégica fue en la toma de agua, después de pasar por el proceso de purificación de agua, con la finalidad de comparar resultados en las obras de purificación.
CM	Ranchería El Naranjo	Este sitio está ubicado dentro de los límites del sitio Ramsar, se seleccionó sistemáticamente debido a que es la zona en la que desemboca el río Zanatenco y la finalidad principal es evaluar los cambios en el tiempo a causa de la ganadería y azolves.

---

## Indicadores

Se emplearon 51 indicadores sugeridos para el ecosistema fluvial y los 15 indicadores para el ecosistema de manglar. Estos a su vez, divididos en indicadores de estructura, composición y función. La evaluación abarcó parámetros cuantitativos y de percepción rápida.

### Ecosistema fluvial

El ecosistema fluvial está compuesto por dos subcomponentes, el bosque de ribera (que a su vez incluye métricas de paisaje) y el recurso hídrico.

*Bosque de ribera:* Está compuesto por 13 indicadores de percepción rápida y 17 indicadores cuantitativas. Dentro de los indicadores de percepción rápida se tiene la aplicación de diferentes índices de medición. Para esto se emplearon tres metodologías principales, dos espaciales (métricas del paisaje y cobertura de suelo) y una en campo.

*Evaluación de indicadores en campo:* En el bosque de ribera, se midieron los árboles con un DAP >10cm, se tomaron datos de altura, copa y se identificó la especie. Para cada división de cuenca se tomó el mismo largo (150 m) pero con diferentes anchos, como se mencionó anteriormente. Los indicadores evaluados, tanto cualitativos como de percepción rápida, fueron evaluados de acuerdo con el protocolo de campo, recibiendo un valor de 1 a 5 de acuerdo al estado actual del indicador.

*Métrica de paisaje:* Se contemplaron métricas del paisaje para evaluar la integridad del bosque de ribera y de una zona de influencia, ya que la estructura, función y composición del paisaje pueden afectar al ecosistema fluvial, además, el paisaje puede representar integridad paisajística. Estudios recientes buscan evaluar integridad del paisaje y algunos otros emplean métricas paisajísticas para la evaluación. (Vélez y Gómez, 2008; Aguilera, 2010; Theobald, 2013).

Se descargaron imágenes satelitales Sentinel del servidor gratuito perteneciente a la Agencia Espacial Europea, con una resolución de 20 m

(<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>). Las imágenes satelitales corresponden al mes de enero del 2019 y fueron procesadas con el software libre Sentinel Application Platform (SNAP), en donde se obtuvo la capa de uso de suelos. Posteriormente, utilizando el software ArcGis y tomando como base el cauce principal de la cuenca, se creó un buffer de 2 km de ancho, esto como una zona de influencia inmediata hacia el cauce principal para la parte alta y como una zona de inundación de riberas en la parte baja. Los usos de suelo fueron cortados con el buffer para obtener la zona de influencia hacia el cauce principal, enseguida se convirtieron en formato TIF y se corrieron las métricas del paisaje en el software libre Fragstat (McGarigal *et al.* 2012). Se evaluaron cinco métricas de clase y siete métricas de paisaje (Cuadro 8). Dentro de los indicadores de función se evaluaron dos índices, A) Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) y B) Normalized Difference Water Index (NDWI). El primero evalúa la vigorosidad de las plantas, el valor de 0 es ausencia de vegetación y el valor de 1 es vegetación vigorosa. Por su parte, el NDWI refleja la humedad presente en el suelo y en las plantas.

Cuadro 7. Métricas de clase y paisaje empleadas en la metodología. Tonalá, Chiapas, México. 2019.

Métricas de clase y de paisaje evaluadas.

Métricas de clase	Métricas de paisaje
1. Área total (CA)	1. Índice de interspersión y yuxtaposición (IJI)
2. Índice del parche más grande (LPI)	2. Índice de agregación (AI)
3. Tamaño promedio del parche (Area_MN)	3. Número de parches (NP)
4. Distancia al vecino Euclidiano más cercano (ENN)	4. Densidad de parches (PD)
5. Densidad de borde (ED)	5. Índice de división (DIVISIÓN)
	6. Distancia al vecino Euclidiano más cercano (ENN)
	7. Porcentaje del paisaje (PLAND)

Fuente: Elaboración propia

### Usos y cobertura del suelo

Tomando como referencia un punto de muestro del río, dentro del tramo evaluado, se realizó un buffer circular con un radio de 500m, dando un área de 785,000 m<sup>2</sup>. Estas parcelas circulares han sido aplicadas en otras metodologías y su área depende del objetivo de estudio (Comer, 2013; Hamilton, 2013).

Dentro de esta parcela circular se establecieron 80 puntos distribuidos sistemáticamente, con una equidistancia de 100m entre cada uno de ellos (Figura 7). Posteriormente se realizó el conteo de estos puntos para determinar la cobertura total por porcentajes. Cuando se tenía la cobertura, se procedió a agruparlos en cinco usos principales

dentro de la cuenca; Ganadero (potreros), bosque secundario, infraestructura, río y cultivos perennes. Estos cinco usos se ubicaron por porcentajes, dividiendo en cinco rangos como lo muestra a la metodología de IEH.

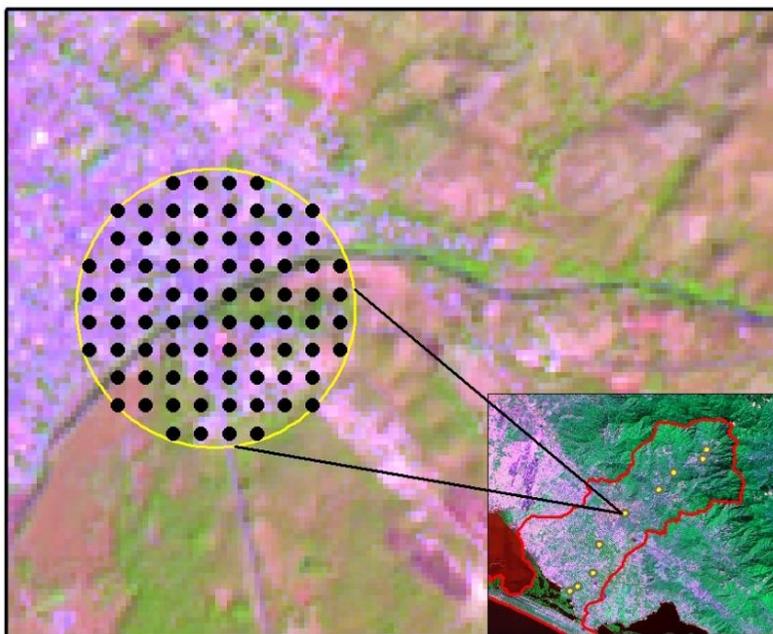


Figura 7. Puntos establecidos por parcelas. Tonalá, Chiapas, 2019.

Fuente: Elaboración propia

*Recurso hídrico:* Para evaluar el recurso hídrico se evaluaron seis variables cuantitativas y 15 variables de percepción rápida. Las primeras fueron evaluadas mediante la metodología de monitoreo comunitario del agua, usada por Global Water Watch-México (GWW, 2014). Los parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, dureza, alcalinidad, turbidez, oxígeno disuelto) fueron evaluados mediante la utilización de un kit de campo. Los datos registrados se anotaron en formatos de campo propios de GWW. Para evaluar la presencia de patógenos en el agua, específicamente *E. coli*, se aplicó el método de GWW, sin embargo, de los 9 puntos de muestreo solamente se monitorearon cinco en el cauce principal debido al nulo caudal superficial en la parte baja de la cuenca, pero se anexaron dos sitios de referencia uno en la entrada de un sistema de purificación de agua y otra después de haber pasado por este.

Para la recolección de datos de macroinvertebrados, se combinaron dos metodologías (GWW y Biological Monitoring Working Party, adaptado para México (BMWP-MX), tornando a un método extractivo. Las muestras fueron tomadas contemplando pozas, hojas, piedras y corrientes. Se empleó una malla rectangular estándar de 1m de ancho, con la que se procedió a recolectar una muestra de 100 insectos, los cuales fueron clasificados, mediante el uso de la guía de identificación BMWP-MX empleando estereoscopios.

Para los indicadores de percepción rápida se recorrieron los 150 m de largo en ambos márgenes del río. realizando las mediciones correspondientes. La asignación de valor se basó en el formato de campo.

### **Manglar**

Para evaluar la zona de manglar se emplearon indicadores de campo e indicadores espaciales. Para los indicadores espaciales se emplearon las imágenes satelitales Sentinel, a estas se le realizó el recorte de la cuenca y posteriormente, un recorte al sitio Ramsar, quedando únicamente lo perteneciente a la zona Ramsar dentro de la cuenca. Se clasificaron los diferentes usos de suelos y se creó el formato TIF, para obtener los resultados de las métricas seleccionadas usando FRAGSTAT. El ecosistema de manglar fue evaluado empleando las métricas de clase usadas para el ecosistema fluvial (CA, LPI, Area\_MN, ENN, y ED), así como las métricas del paisaje (IJI, AI, NP, PD, DIVISIÓN, ENN y PLAND).

Para la obtención de la información de campo, se procedió a levantar información de un conglomerado, empleando la metodología SAR-MOD (Sistema Alta resolución-Monitoreo de la Biodiversidad), diseñada y usada en México por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (García *et al.* 2016).

El conglomerado es una unidad de muestreo diseñado para obtener datos de estructura, función y composición. Cada conglomerado tiene una superficie de 1 ha (56.42 m de radio), dentro de este existen cuatro sitios de muestreo de 400 m<sup>2</sup>, (11.28 m de radio). Los sitios están agrupados asemejando una “Y” invertida (Figura 8), siendo el sitio 1, el centro del conglomerado, mientras que el sitio 2 se encuentra a 0° de azimut, el sitio 3 120° y el sitio 4 a 240°, estos últimos tres sitios tienen una distancia hacia el primer sitio de 45.14 m (García, *et al.* 2016). Para el levantamiento de la información no se consideró el uso de la cámara trampa y la grabadora ultrasónica, según lo definido por el manual de SARMOD de la CONABIO.

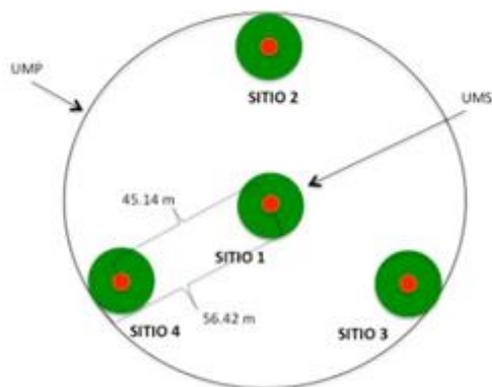


Figura 8, Conglomerado SARMOD.  
Fuente: CONABIO

Esta institución cuenta con una malla espacial de puntos para los muestreos en campo, sin embargo, para la zona de investigación, los puntos ubicados en los cuerpos de

agua no se consideraron para el muestreo, por lo que se eligió estratégicamente un conglomerado de muestreo ubicado en la desembocadura del cauce del río hacia el ecosistema de manglar (Figura 9).

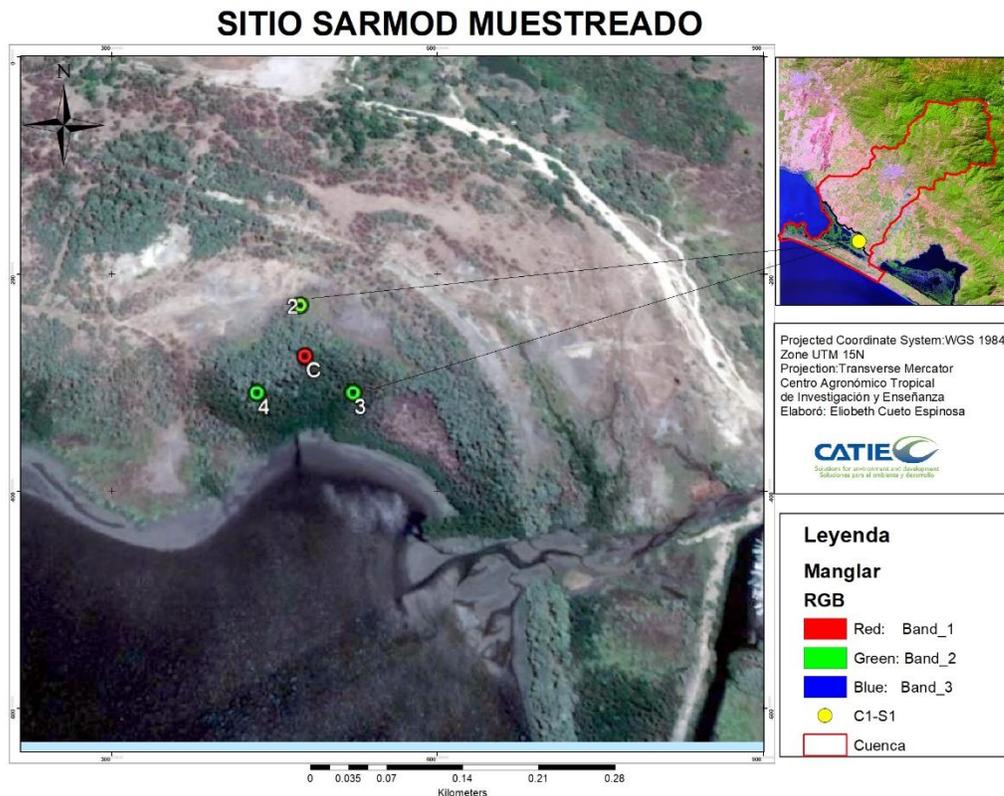


Figura 9. Mapa de ubicación del conglomerado SAR-MOD.  
 Fuente: Elaboración propia

### Efectividad de manejo-Chiapas

Para determinar la efectividad de manejo en los sitios Ramsar, se utilizó la encuesta propuesta adaptada de las metodologías RAPPAM (Ervin, 2003) y R-METT (2015). LA propuesta está adaptada para México y en especial para la costa de Chiapas. Fue aplicada a personal del sitio Ramsar Estuarino Puerto Arista. Esta evaluación está compuesta por cuatro componentes, 1) información general, 2) Amenazas, 3) Importancia y 4) manejo (trabajo multidisciplinario).

La forma de calcular los resultados de esta encuesta se describe en el cuadro 9.

Cuadro 8. Ecuaciones para calcular las amenazas, importancia y manejo en EM.

Componente	Amenaza	Importancia	Manejo
Ecuación	$A = \frac{(V_o * 100)}{V_e}$	$I = \frac{(V_o * 100)}{V_e}$	$M = \frac{(V_o * 100)}{V_e}$

Definición	A= Amenaza V <sub>o</sub> =Valor obtenido V <sub>e</sub> =Valor esperado	I= Importancia V <sub>o</sub> =Valor obtenido V <sub>e</sub> =Valor esperado	M= Manejo V <sub>o</sub> =Valor obtenido V <sub>e</sub> =Valor esperado
------------	--	--	---

Aunque el sitio Ramsar tiene una superficie mayor que la abarcada en la cuenca baja, las respuestas y comentarios brindadas por el personal, se utilizaron para explicar parte de la IEH, así como para determinar el estado actual de los humedales de manglar en la zona bajo condiciones de protección.

### **CONTRIBUCIONES DE LA NATURALEZA A LA GENTE**

Se aplicaron 29 encuestas a actores claves, siguiendo el método de bola de nieve. Estas se aplicaron en toda la subcuenca y quedó distribuido de la siguiente manera: cuatro encuestas en la parte alta, 11 en la parte media y 14 en la parte baja, estas encuestas se limitaron a actores claves ubicados en una zona de influencia de 2 km respecto al cauce principal del río para que identificaran, en la zona, las CNG.

### **RESULTADOS**

De los 66 indicadores evaluados, a manera de ejemplo, se describen los resultados de cuatro de ellos, como base para obtener los datos de IEH. La cobertura del suelo por puntos, los macroinvertebrados acuáticos, indicadores de patógenos en el agua (*Escherichia coli*) y el índice de vegetación normalizada. Estos indicadores fueron elegidos para ser representados por la importancia que juegan en la evaluación de la IEH. Por ejemplo, la cobertura del suelo puede evaluarse en tiempo y espacio, puede sugerir tendencias y la información mostrada enfatiza en las principales coberturas de suelo. Los macroinvertebrados acuáticos son los indicadores de los cambios en la calidad del agua en el tiempo, cualquier evento que perturbe el ecosistema acuático tiene repercusiones sobre la presencia de las familias en el agua. Los indicadores de patógenos en el agua, específicamente *E. coli*, sugieren la presencia de materia fecal en el cauce del río, y dependiendo de la concentración y el grado del contacto humano pueden generarse problemas de salud. El NDVI refleja los resultados de la vigorosidad de las plantas, pudiendo evaluar el estrés de agua en estas, así como la salud y cobertura de la vegetación.

#### **Cobertura del suelo**

La cobertura del suelo en la subcuenca del río Zanatenco sigue una dinámica similar a otras cuencas costeras aledañas, se presenta un alto porcentaje de bosque secundario en los sitios ubicados en la parte alta, media y un bajo porcentaje de potreros (Figura 10). Para el S5, se disminuyen los potreros y el bosque secundario, pero aumenta el área urbana. La tendencia de los puntos mientras se muestrea hacia las zonas de la cuenca baja sugiere un relevo de bosque a cultivos de mangos y potreros.

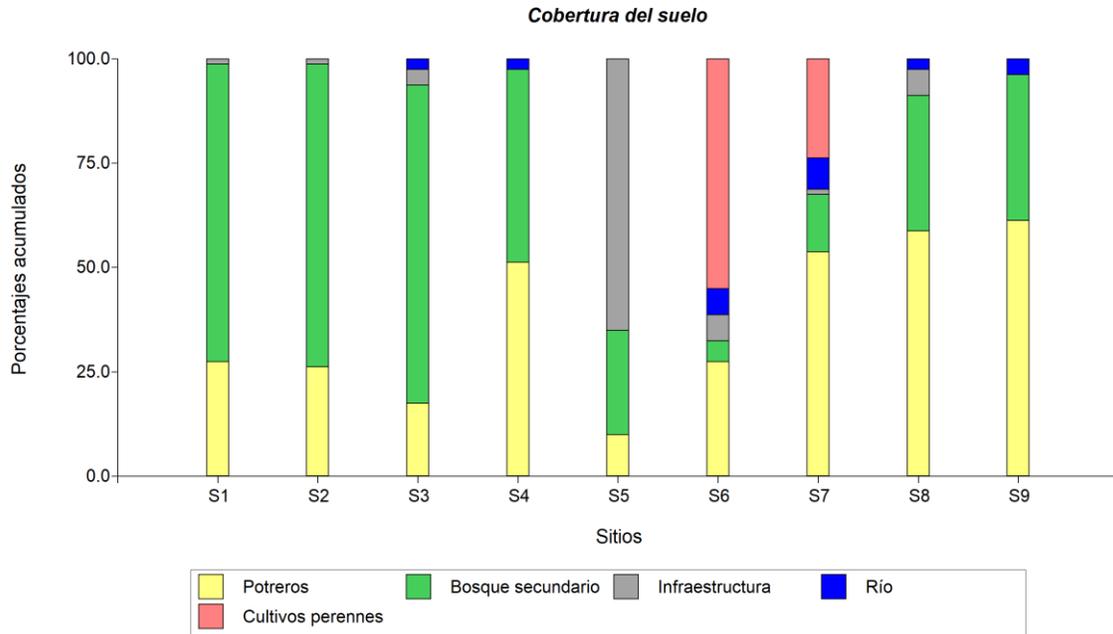


Figura 10. Porcentaje de cobertura mediante círculos de muestreo.

### Indicadores de presencia de patógenos en el agua (*Escherichia coli*)

Los resultados arrojados los puntos de muestreo y referencia en época seca, advierte la presencia de *E. coli* en el agua. En la Figura 11, se observa que los dos primeros sitios (S1 y S2) pertenecientes a la cuenca alta e inmersos dentro de la REBISE, presentan una menor concentración de *E. coli*, con 123 y 20 UFC/100 ml, respectivamente. S3 y S4, ubicados en la cuenca media, se encuentran dentro de la zona de amortiguamiento de la REBISE, y arrojaron 67 y 233 UFC/100 ml, respectivamente. El S5, ubicado en un pozo artesanal a un costado del río, presentó 367 UFC/100 ml. Por su parte, los dos sitios de referencia mostraron datos interesantes. El T1 (ubicado al inicio de la toma de agua) presentó un total de 407 UFC/100 ml y el P1 (ubicado después del sistema de tratamiento) mostró una disminución de concentración de *E. coli*, con un total de 247 UFC.

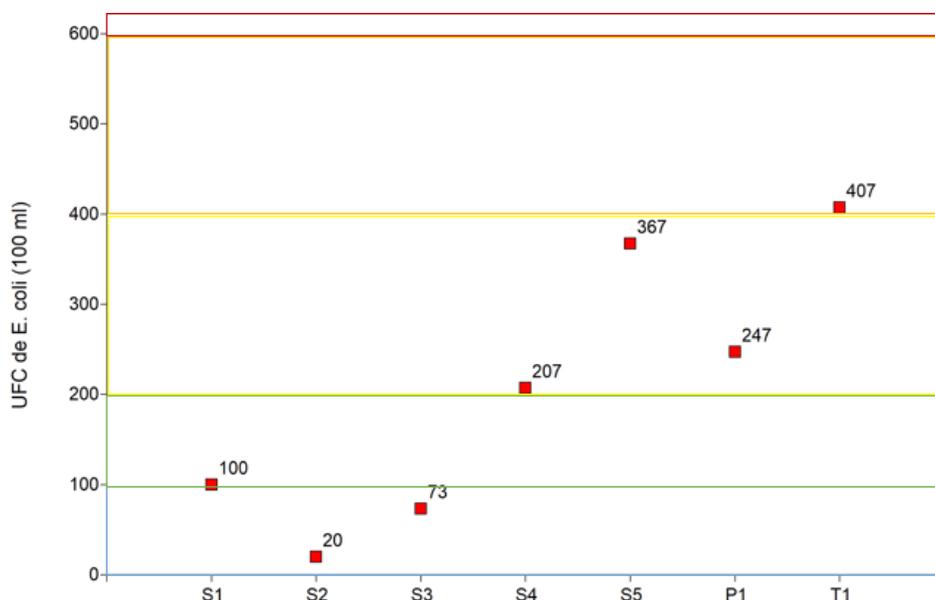


Figura 11. Distribución de UFC en la cuenca alta y media del río Zanatenco. Azul=Excelente calidad; Verde: Buena calidad; Amarillo: Calidad regular; Anaranjado: En riesgo; rojo: Degradado

### Macroinvertebrados

Los análisis de biodiversidad diversidad de Shannon exponen una diversidad de 2.01 para el S mayor valor de índice de diversidad para el S1 (2.01) (Cuadro 10). Las familias, siendo las familias *Belostomatidae*, *Hydrophilidae* y *Calamoceratidae* las que más se reportaron. El S2 arrojó una diversidad de 2.06, donde tres familias de macroinvertebrados fueron las que más se reportaron (*Hydropsychidae*, *Perlidae* y *Ptilodactylidae*). Por su parte, el S3 tiene una diversidad de 1.58, en donde se identificaron tres familias principales *Thiaridae*, *Leptophlebiidae*, *Baetidae* y *Calamoceratidae*. Finalmente, el S4, es el sitio con menor diversidad representada (0.21) con la familia *Hydrophilidae* con mayor número de individuos identificados.

Cuadro 9. índices de diversidad biológica para macroinvertebrados acuáticos. Ciclos Bootstrap=250; Confianza (95%)

Grupo	Índice	n	Estimación	BMWP-MX
Total	ShaW	4	2.01	
S1	ShaW	1	2.06	52
S2	ShaW	1	1.58	52
S3	ShaW	1	1.64	46
S4	ShaW	1	0.21	30

Fuente: Elaboración propia

## Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Los resultados obtenidos para el NDVI, para el mes de enero, en la cuenca alta, media y baja se exponen en el cuadro 11.

Cuadro 10. Resultados de NDVI para la subcuenca del río Zanatenco (enero, 2019).  
Datos de NDVI para las divisiones de la cuenca del río Zanatenco.

Cuenca	Valor mínimo	Valor máximo
Alta	0.05	0.84
Media	0.04	0.81
Baja	-0.29	0.79

Fuente: Elaboración propia

Los valores obtenidos del NDVI sugieren una disminución de los valores obtenidos conforme se pasa de la parte alta a la parte baja. la cuenca alta tiene un valor máximo de 0.84 y un mínimo de 0.05. La cuenca media tiene su valor más alto en 0.81 y el menor en 0.04 y, por último, la cuenca baja tiene un valor máximo de 0.79 y el mínimo por debajo del cero (-0.29). Los resultados obtenidos se pueden observar en la figura 12, donde el valor más alto del NDVI está representado de color azul, representando una mayor vigorosidad de las plantas mientras que el más bajo se representa en color rojo con menos vigorosidad y relacionándose a un estrés hídrico.

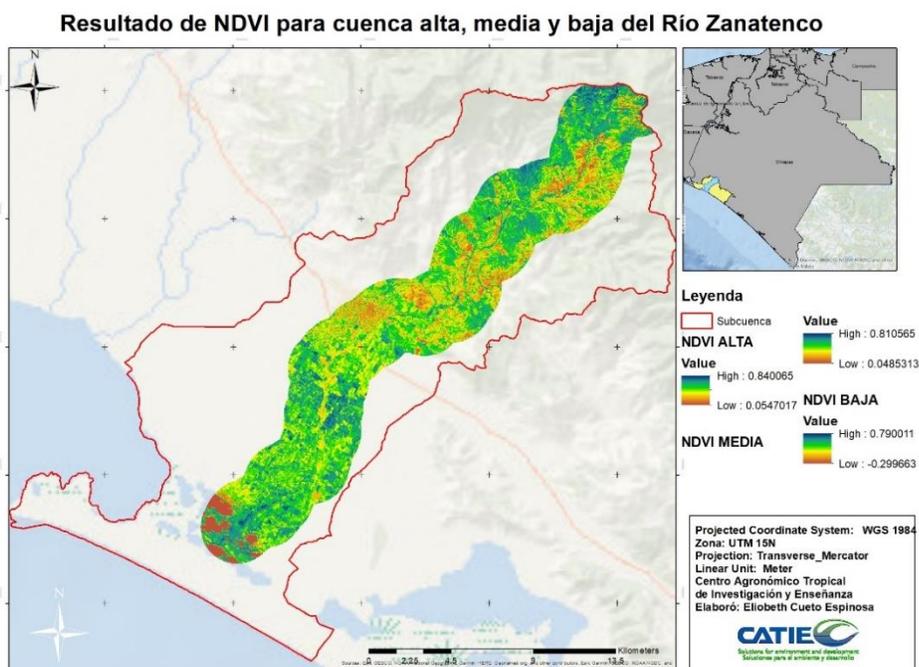


Figura 12. Mapa de resultados de la índice NDVI.

Tomando como base los tres análisis para la cuenca, se procedió a organizar la información de cada indicador y presentar los resultados en el siguiente orden:

- A) Integridad para la subcuenca
- B) Integridad por división de cuenca
- C) Resultados por objeto de conservación.

### **Integridad por cuencas**

Los resultados obtenidos para la subcuenca del río Zanatenco muestran que la IEH se cataloga como regular (60.5%). La cuenca alta, integrada por el S1 y S2, presenta una integridad buena (Figura 13), obteniendo un porcentaje total de 85.1%, esto se le atribuye a que se encuentra dentro del polígono de la REBISE. En el sitio se conserva estructura, composición del ecosistema fluvial conservada, aunque presenta perturbaciones en la composición paisajística y en la disminución de la cobertura vegetal en la zona de influencia.

La cuenca media, integrada por el S3 y S4, presenta la misma condición que la cuenca alta, IEH buena (73.3%) y se encuentra dentro del polígono de la REBISE. A diferencia de la cuenca alta, este sitio presenta una mayor perturbación y una mayor presión por el cambio de uso de suelo, la construcción de caminos, la ganadería y actividades antrópicas, como el turismo. Estas últimas dos son las acciones que más impactan negativamente en el sitio, pues se encontraron restos de basuras dentro del cauce y en los márgenes, daños a la vegetación ribereña y a la regeneración, fogatas, y perturbaciones al medio acuático (eliminación de nichos para macroinvertebrados acuáticos). Por su parte, la ganadería ha ganado terreno en los márgenes de la ribera, reduciendo la estructura y composición del ecosistema.

La cuenca baja, integrada por los sitios 5,6,7,8, 9 y los manglares, se encuentra con una IEH regular (46.5%), resultado de la fuerte degradación de los recursos naturales en la parte baja, en donde se nota una fuerte afectación en la vegetación ribereña y el bosque adyacente. Predomina la ganadería, los cultivos de mango. Evaluando la cobertura vegetal para la parte baja, solamente se mantiene el 22% de cobertura boscosa (bosques secundarios, bosques ribereños, remantes de vegetación), resaltando que este porcentaje en su mayoría está en los últimos dos sitios de la cuenca y uno de ellos está sujeto a protección bajo esquema de humedal de importancia. En la mayoría de los puntos se notó una pérdida de estructura, composición y función en el ecosistema fluvial.

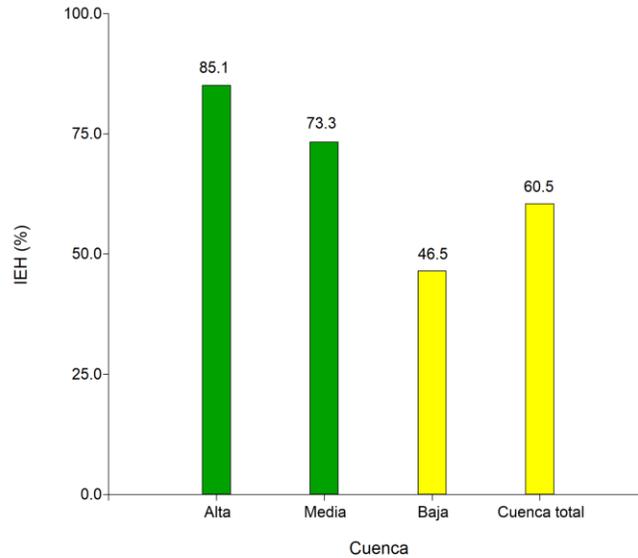


Figura 13. Resultados de IEH para la subcuenca y por división.

## OBJETOS DE CONSERVACIÓN

### Ecosistema fluvial

Se presenta la IEH por sitios, así como por sus características ecológicas dominantes (estructura, composición y función). Aunado a esto se realizó un análisis entre bosque de ribera y el recurso hídrico.

### Integridad Ecohidrológica por sitios

Analizando la información por sitios, el S1 tiene un 85.4% en la IEH y el S2 tiene el 84.8%, por su parte el S3 y S4 obtuvieron un valor del 74.0% y 72.6%, respectivamente (Figura 14). Los dos primeros sitios corresponden a la cuenca alta, mientras que los dos sitios que le preceden corresponden a la parte media.

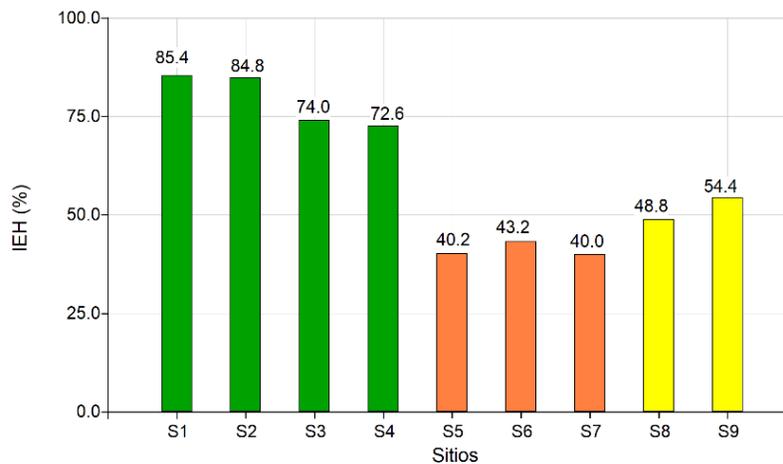


Figura 14, Resultados de IEH por sitios para el ecosistema fluvial.

Los colores responden a la escala de IEH (Cuadro 5) Los verdes presentan una IEH buena, los anaranjados se encuentran en riesgo y los amarillos tiene una IEH regular.

Por su parte, los sitios 5,6 y7 están ubicados en la cuenca baja y reflejan una IEH en riesgo. El S5, ubicado a un costado de la cabecera municipal, obtuvo el 40.2% de IEH. El S6 mostró un incremento en el porcentaje al obtener el 43.2%, mientras que el S7 presentó un declive y una tendencia similar al S5, con un 40%. Los últimos dos sitios (S8 y S9), mostraron una mejora en la IEH, con el 48.8 y el 54.4% respectivamente.

***Integridad por características ecológicas dominantes***

Analizando los resultados para el ecosistema fluvial, por división de cuencas, se nota que la parte alta presenta una mejor IEH en estructura, composición y función, seguido de la parte media y finalmente la parte baja (Figura 15). A excepción de la composición, quien mostró un aumento de sus valores en la parte baja, se tiene la misma tendencia en las tres divisiones de la cuenca.

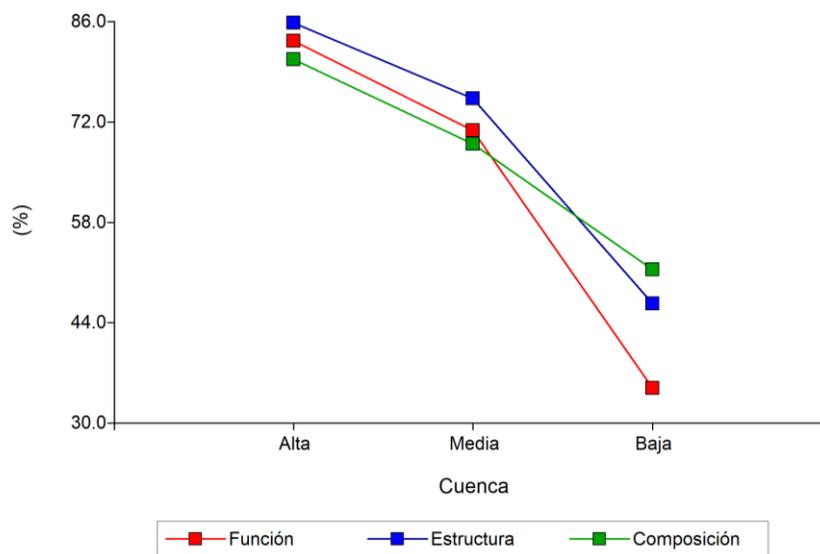


Figura 15. Características ecológicas dominantes por división de cuencas.

***Estructura***

De acuerdo con los resultados obtenidos para el ecosistema fluvial, los datos de estructura exponen una tendencia decreciente conforme se desciende de la cuenca alta, media y baja (Figura 16). La cobertura boscosa y la formación que tiene el cuerpo de agua. En la parte alta y media aún persisten importantes remanentes de vegetación a un costado del ecosistema fluvial.

La cuenca alta presenta una mejor estructura (85.8%), seguida de la cuenca media (75.3%) y finalmente la cuenca baja (46.7%). De acuerdo con los rangos de la IEH la cuenca alta y media se encuentran en términos de IEH buena, mientras que la estructura de la parte baja se presenta una IEH intermedia, donde se registran importantes perturbaciones dentro de la zona de evaluación.

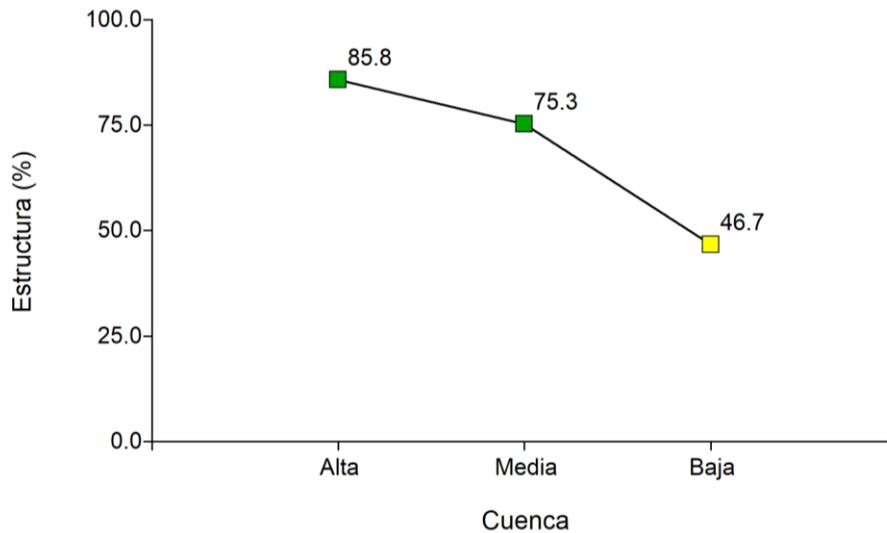


Figura 16. Resultados de IEH evaluando estructura.

### ***Composición***

Los datos de composición para la cuenca presentan la misma tendencia que los datos de estructura (Figura 17), un decremento de la parte alta de la cuenca a la baja. La parte alta es quien presenta una mejor composición (80.7%), seguida de la parte media (68.9%) y finalmente, la parte baja (51.4%). Las dos primeras subdivisiones de la cuenca reflejan datos buenos en su composición mientras que la baja tiene datos con calidad intermedia. Se sugiere que el mantenimiento de remantes de vegetación en la parte media y alta, son influencia de la REBISE, ayuda a mantener una composición en el ecosistema fluvial y en el paisaje.

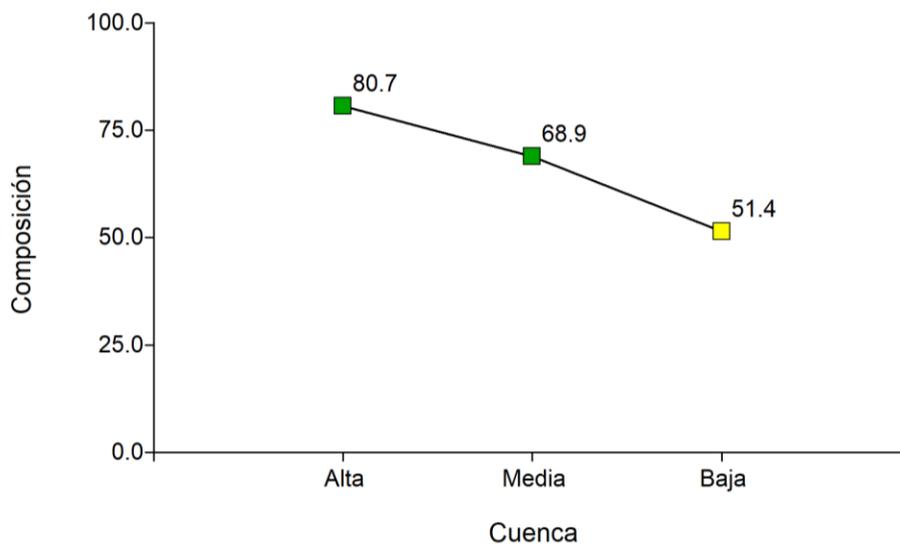


Figura 17. Resultados de IEH evaluando composición.

### **Función**

La función en la cuenca del río Zanatenco (Figura 18), presenta valores similares a la estructura y composición, tiene valores altos para la parte alta (83.3%) y media (70.8%), enmarcándolas en el rango de la IEH buena. Sin embargo, los resultados arrojados para la cuenca baja (34.9%) señalan una IEH en riesgo en términos funcionales, tales la conectividad del bosque ribereño con el ecosistema adyacente, la cobertura del suelo, la calidad del agua mediante parámetros fisicoquímicos y biológicos, la conectividad transversal con la zona de inundación y la cantidad de agua en el cauce. Esto se debe a que se ha perdido en su mayoría en el bosque ribereño, el cauce se ha visto modificado y la matriz paisajística favorece a pastizales y cultivos de mango.

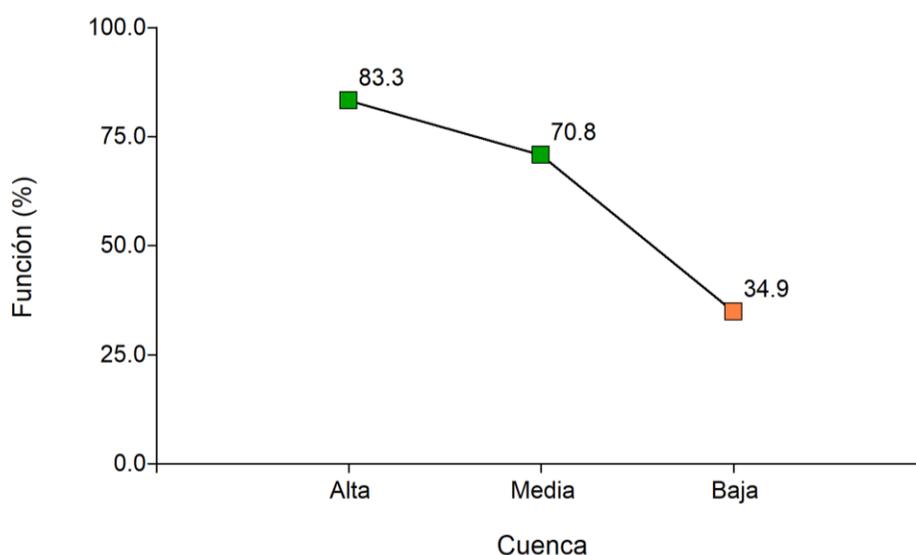


Figura 18. Resultados de IEH evaluando función.

### **Recurso hídrico vs bosque de ribera**

Debido a que el ecosistema fluvial está compuesto por bosque de ribera, recurso hídrico y paisaje adyacente, se analizó la información por separado para comprender mejor la dinámica y estado actual de cada uno de ellos.

Comparando el recurso hídrico (RH) con el bosque de ribera, se logra notar que para la cuenca alta ambos presentan una buena IEH con el 88% y el 83.2% respectivamente (Figura 19). Para el RH el resultado obtenido sugiere que su condición, con medidas de conservación, puede pasar a una excelente IEH. Para la cuenca media, se tiene que la IEH para el RH es mayor que para el bosque de ribera. El RH (80%) sugiere una conservación en la estructura, función y composición de especies, lo que contrasta con el bosque de ribera, mostrando valores cercanos a una IEH intermedia, atribuyendo tal valor a la fragmentación

del bosque de ribera, a una matriz paisajística más diversa y con mayores parches. Finalmente, la cuenca baja muestra un recambio en los valores, con un 37% para el RH y con un 50.9% para el bosque de ribera. En este caso, el RH está clasificado con una IEH en riesgo. Este resultado se explica desde dos puntos; a) El cauce ha sido modificado varias veces y presenta condiciones más artificiales que naturales y b) el muestreo se realizó en época seca, por lo que los valores de estructura pueden mejorar en época de lluvias, al ver la dinámica del río.

Por su parte, el bosque de ribera presenta una condición intermedia, (50.9%). El S5, S6 Y S7 carecen de cobertura arbórea en los márgenes del río y el paisaje está seriamente fragmentado, con pastizales y cultivos de mango como dominantes. Asimismo, mucha de la pérdida de la cobertura del bosque de ribera se le atribuye a la canalización del río. El valor arrojado se encuentra en clase intermedia por causa de los sitios 8 y 9, ambos presentan cobertura vegetal ribereña y remanentes de bosque adyacente, así como regeneración, además de encontrarse dentro del sitio Ramsar (S9).

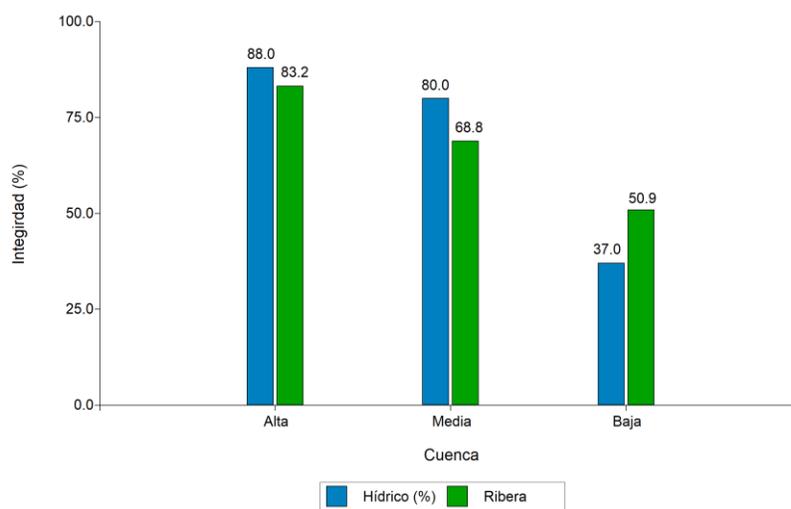


Figura 19. Resultados de IEH para el RH y bosque de ribera por división de cuenca.

### Ecosistema de manglar

Para el ecosistema de manglar solamente se analizaron indicadores de estructura y composición, obteniendo un 67.3% y 60% en el orden mencionado (Figura 20). Bajo la escala de IEH la estructura se puede clasificar como buena, la composición como intermedia y la IEH para todo el ecosistema como buena. El punto de muestreo estuvo ubicado en un área del delta del río, para ver el impacto del río y los sedimentos hacia el ecosistema de manglar.

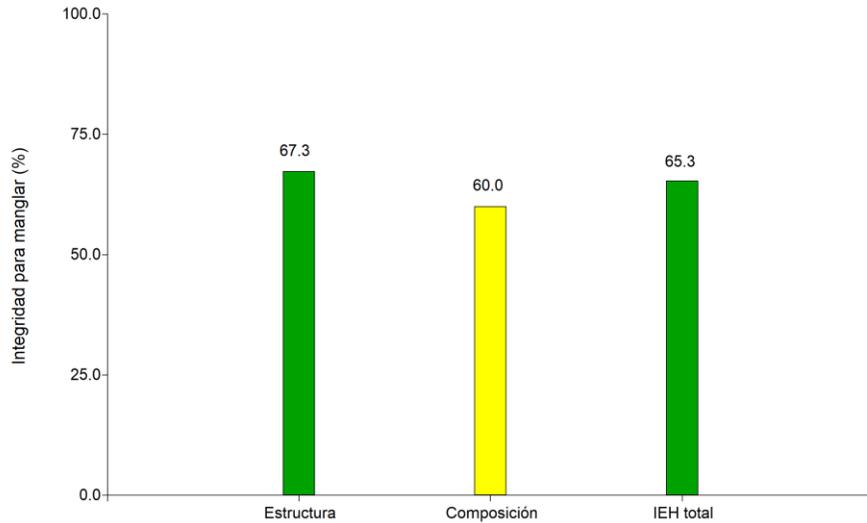


Figura 20. Resultados de IEH para el manglar.

### Efectividad de manejo

De la encuesta aplicada para el sitio Ramsar, se extrajeron datos de amenaza, las áreas de importancia para el sitio Ramsar y el manejo integrado.

#### Amenazas

Las cinco principales amenazas detectadas por personal técnico del sitio Ramsar son a) desarrollo residencial y comercial dentro de un sitio Ramsar o ANP o cuenca (66.7%), b) el cambio climático y meteorología extrema y las amenazas sociales y culturales específicas obtuvieron los mismos valores con un 50%, C) contaminación que afecta al sitio Ramsar (42.9%), D) cambios hidrológicos (37.5%) y las modificaciones del sistema natural con fenómenos geológicos obtuvieron los mismos valores (33.3%) (Figura 21).

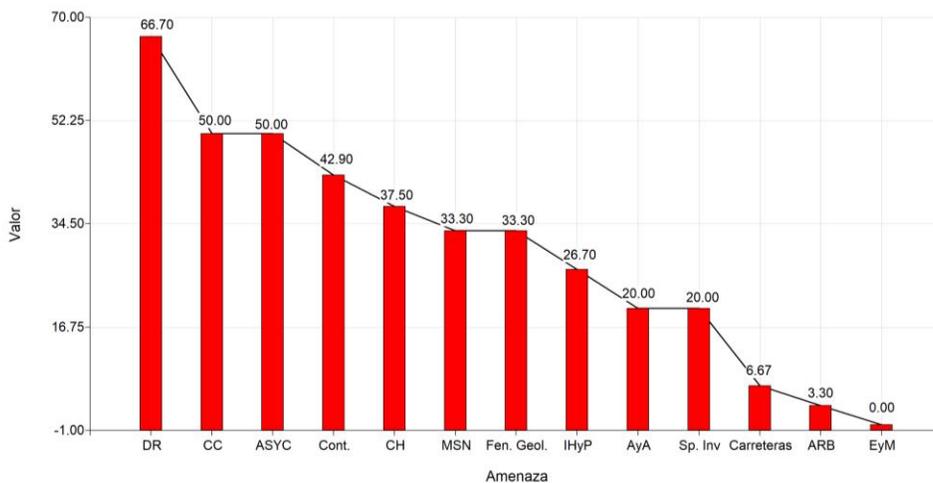


Figura 21, Orden de importancia en las amenazas señaladas por personal de CONANP.

DR (Desarrollo residencial y comercial dentro de un sitio Ramsar o ANP o cuenca); CC (Cambio climático y meteorología extrema); ASYC (Amenazas sociales y culturales específicas); cont. (Contaminación que afecta al sitio Ramsar/ANP,

cuenca o se genera en el mismo); CH (Cambios hidrológicos); MSN (Modificaciones del sistema natural); Fen. Geol (Fenómenos geológicos ) IHyP (Intrusiones humanas y perturbaciones de origen humano dentro de un sitio Ramsar, ANP o cuenca); AyA (Agricultura y acuicultura dentro de un sitio Ramsar, ANP o cuenca); Sp.Inv (Especies y genes invasores y otras especies y genes problemáticos); Carreteras (Corredores de transporte y servicios dentro de un sitio Ramsar, ANP o cuenca); ARB (Aprovechamiento de recursos biológicos y daños causados que alteran la IEH) y EyM (Producción de energía y minería dentro de un sitio Ramsar, ANP o cuenca).

## Importancia

De 15 enfoques de importancia para el sitio Ramsar, las cinco actividades mejores calificadas fueron 1) toma de decisiones para el manejo, 2) infraestructura-equipos e insumos, 3) objetivos de planificación, 4) importancia biológica y 5) la seguridad legal (Figura 22).

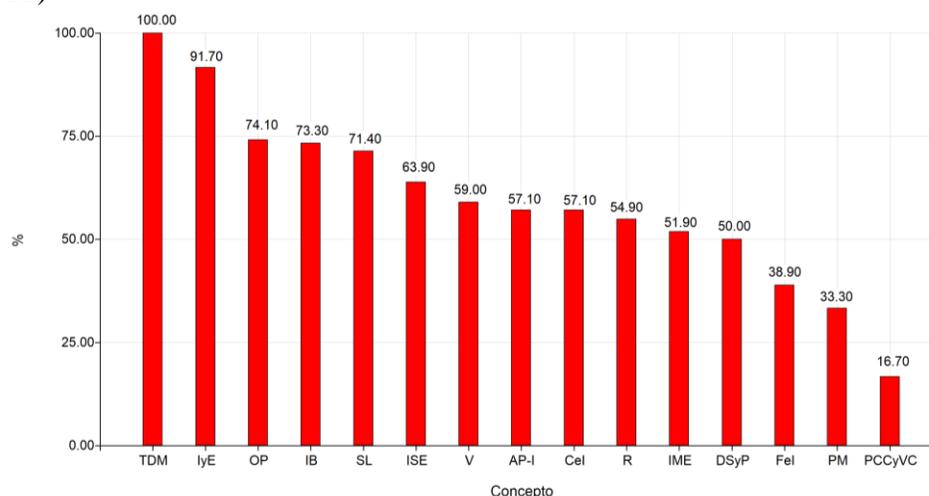


Figura 22, Importancia del manejo dentro del sitio Ramsar Estuarino puerto Arista.

TDM (Toma de decisiones para el manejo); IyE (Infraestructura y equipos-insumos); OP (Objetivos de planificación); IB (importancia biológica); SL (Seguridad legal); ISE (Importancia socioeconómica); V (Vulnerabilidad); AP-I (Asignación de personal-insumos); Cel (Comunicación e información); R (Resultados); IME (Investigación, monitoreo y evaluación); DSyP (Diseño del sitio y planificación); FeI (Infraestructura y equipos-insumos); PM (Planificación del manejo); PCCyVC (Procesos de cambio climático y variabilidad climática).

## Contribuciones de la naturaleza a la gente

Del total de las encuestas realizadas, la importancia de las CNG identificadas se presentan en el siguiente orden; polinización y dispersión de semillas y otros propágulos (100%); regulación de la cantidad y localización de agua dulce (100%); comida y alimentación(100%); aprendizaje e inspiración (100%); experiencias físicas y psicológicas (100%); regulación de la calidad del aire (96.4 %); creación y mantenimiento del hábitat (92.9%); regulación del clima (92.9%); regulación de organismos perjudiciales y procesos biológicos (89.3); recursos médicos, bioquímicos y genéticos(89.3); regulación de la calidad de agua dulce y costera (85.7%); regulación de riesgos y eventos extremos (85.7%); formación, protección y descontaminación de suelos y sedimentos (88.6%);identidades de apoyo (75%); energía (67.9%); mantenimiento de opciones (67.9%); regulación de la acidificación del océano (57.1%); materiales, compañerismo y trabajo(53.6%).

Para identificar la percepción por división de cuencas, la cuenca alta identificó en promedio 16 CNG (88.9%), la cuenca media mencionó de importancia 13.5 (74.7%) de y la cuenca baja identificó 15.5 (86.1%) (Figura 23).

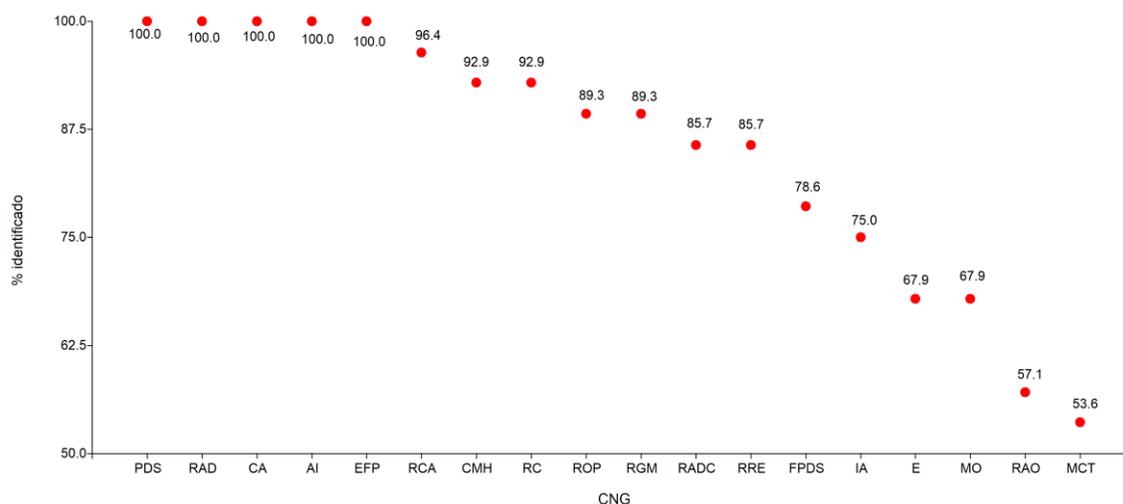


Figura 23, Orden de importancia de las CNG identificadas por las personas.

PDS (Polinización y dispersión de semillas y otros propágulos); RAD (Regulación de la cantidad y localización de agua dulce); CA (Comida y alimentación); AI (Aprendizaje e inspiración); EFF (Experiencias físicas y psicológicas); RCA (Regulación de la calidad del aire); CMH (Creación y mantenimiento del hábitat); RC (Regulación del clima); ROP (Regulación de organismos perjudiciales y procesos biológicos); RGM (Recursos médicos, bioquímicos y genéticos); RADC (Regulación de la calidad de agua dulce y costera); RRE (Regulación de riesgos y eventos extremos); FPDS (Formación, protección y descontaminación de suelos y sedimentos); IA (Identidades de apoyo); E (Energía); MO (Mantenimiento de opciones); RAO (Regulación de la acidificación del océano) y MCT (Materiales, compañerismo y trabajo).

## DISCUSIÓN

### Ecosistema fluvial

La subcuenca del río Zanatenco, al tener casi dos tercias partes del total de la superficie en la parte baja y debido a que se encuentra ubicada en la llanura costera de Chiapas, tiende a ser más susceptible a la deforestación, al incremento de la ganadería y los cultivos de mango. La transición de bosque a áreas agropecuarias es común en las cuencas, así lo demuestra también, Nené-Preciado *et al.* (2017) al afirmar que la cobertura de bosque tropical en una cuenca costera de Jalisco se vio afectada principalmente por actividades agropecuarias, estos resultados concuerdan con los obtenidos en la cobertura vegetal mediante el uso de puntos. Asimismo, la cuenca baja del Zanatenco, al contar con una de las playas más importantes de Chiapas, manifiesta una presión constante por el turismo, desarrollo residencial, la contaminación y los cambios hidrológicos, tal como se reporta en los resultados de EM.

Los indicadores relacionados al recurso hídrico y el bosque de ribera fueron determinantes para que la IEH reflejara menor valor en la parte baja de la cuenca y por ende en el ecosistema fluvial, lo que sugiere la estrecha relación entre el bosque ribereño y el recurso hídrico. Estos resultados corresponden a lo obtenido por Kutschker *et al.* (2009), quienes encontraron valores bajos de cobertura arbórea y la estructura de esta en las ciudades

y en zonas aledañas a los potreros. Esta condición ocasiona que exista poco aporte vegetal a los lechos de los ríos, reduciendo así los microhábitats y la composición de los sustratos. Por otra parte, Gutiérrez y Becerra (2018), sugiere que cuando en el sitio se tiene una mayor humedad en el suelo se reduce la competencia y explica la mayor cantidad de árboles adultos, sin embargo, no contempla factores antrópicos como el turismo o la ganadería.

El bosque ribereño, como parte del ecosistema fluvial, arrojó mayores resultados de estructura, función y composición en la parte alta y media de la cuenca, específicamente en los primeros cuatro sitios (S1, S2, S3 y S4). La razón de estos resultados se debe a que se encuentran dentro del polígono de la REBISE, misma que limita ciertas actividades de deterioro e impulsa actividades de manejo integrado y conservación. En un estudio con bosques ribereños, Gutiérrez y Becerra (2018) reportaron un mayor número de árboles ribereños adultos y una alta diversidad, resultados que coinciden con los obtenidos en esta investigación.

Por su parte, el S5 se encuentra a un costado de la cabecera municipal de Tonalá, donde la mayor parte del río está encauzado y los árboles no necesariamente reflejan relictos de bosque ribereño ya que se pudieron identificar especies exóticas como el mango (*Mangifera indica*) y la leucaena (*Leucaena Leucephala*). Asimismo, la presencia de basura en el lecho del río, los nulos parches de vegetación de conectividad, la calidad del agua, entre otros, fueron los principales indicadores de baja IEH.

En la línea, S6 está inmerso dentro de una matriz paisajística en donde predominan dos elementos del paisaje típico de la subcuenca del río Zanatenco y de la llanura costera del Pacífico, ganadería y cultivos de mango. Ambas actividades han causado la pérdida de los bosques ribereños para esta zona, a tal grado que se solamente se registraron 9 individuos, todos estos en etapa temprana de crecimiento. La falta de un bosque de ribera secundario o remanentes de vegetación se refleja como valores bajos de composición y función. La estructura en este sitio se ve fortalecida en la zona de influencia con las huertas de mango, que brindan protección al suelo pero que su diversidad es baja, ya que estos cultivos son homogéneos. Aunado a lo expresado, el río ha sufrido modificaciones severas en el cauce principal, ya que fue encauzado para evitar inundaciones. Pobladores de la zona aseguran que la construcción de estas obras de protección fue la causa de la pérdida del bosque ribereño. Asimismo, la disminución anual del escurrimiento de agua del río Zanatenco (Arellano y Ruíz, 2018), y la desviación del agua para abastecimiento público ha ocasionado una modificación en el sustrato del río aguas abajo.

El S7 es el que presenta una mayor degradación y una baja IEH. Este resultado se debe a que la vegetación de ribera es casi nula, y la matriz paisajística presenta en su mayoría, potreros y cultivos de mango. Aunado a lo expresado, El cauce ha sido modificado y se han colocado barreras de contención a ambos márgenes para evitar inundaciones en las poblaciones humanas cercanas. Asimismo, el sitio 8 y 9, presentan una IEH intermedia, mostrando un realce en la curva presentada en los puntos. El sitio 8 (48.8%) mantiene bosque

riberaño en uno de sus márgenes y en el otro solo cuenta con árboles remanentes, por lo que la estructura, composición y función de estos está presente pero fragmentada. Asimismo, el cauce principal presenta modificaciones en ambos márgenes, bordos de tierra acomodados los cuales se han ido perdiendo entre árboles pero que, sigue evitando la inundación natural en la llanura costera. Finalmente, el sitio 9 (54.4%), presenta una recuperación en los valores de IEH, remanentes de bosque riberaño en ambos márgenes y con zonas de exclusión de ganado. Este sitio, también tiene la particularidad de encontrarse dentro de la zona de influencia del sitio Ramsar, Estuarino Puerto Arista. El contar con cierto grado de protección ha ayudado a mantener la cobertura vegetal y la IEH.

La estructura, función y composición de los sitios 5,6 y 7 está claramente afectada por alta fragmentación, y en algunos casos, casi nula presencia del bosque riberaño. Esto se traduce como la falta de árboles en los márgenes del río no cuenten con raíces que detengan el suelo y disminuyan la velocidad de la corriente, favoreciendo la erosión y la presencia de más sedimentos en el río. Por su parte, Contreras (2009), también menciona que la pérdida de la vegetación riberaña, para los ríos de la costa de Chiapas, ocasiona una gran evaporación y calentamiento del agua, además de los problemas erosivos ocasionados por la ganadería. Esto conlleva a que indicadores como; el ancho promedio del bosque riberaño, la cobertura del suelo, el área total (CA), la regeneración de especies, la conectividad el bosque riberaño con el ecosistema adyacente, las alteraciones del cauce, la composición del sustrato del lecho del río, la estabilidad de los taludes, entre otros, sea los que menor valor reflejan, dando así una IEH baja.

La pérdida de vegetación riberaña, la fragmentación de estos bosques y la ganadería se ve reflejado en la calidad del agua. Abarcando parámetros bacteriológicos, los resultados obtenidos sugieren que la cantidad de UFC registradas en el muestreo diagnóstico está relacionada a la presencia de ganadería en las zonas de influencia del ecosistema riberaño. Para el S1, a pesar de que se tiene una buena estructura y composición del bosque riberaño los resultados superaron las 100 UFC. Este valor sugiere la presencia de ganado vacuno cerca del cauce, siendo consistente con los registros realizados la toma de datos, en donde se apreció bebederos y pasos de ganado en el cauce principal. Por su parte, los sitios S2 y S3 presentaron una disminución de la concentración de UFC en el agua, pero se obtuvo un realce en el S4. Este sitio tiene la particularidad de tener aguas arribas ranchos ganaderos cerca del cauce principal y cercanos a los tributarios de este, razón por la que se sugiere la presencia de *E. coli* en el agua. Este sitio presentó valores catalogados como “aumento de riesgos para contacto humano”, según GWW, (2014) y fuera de los límites permisibles según la NOM-127-SSA1-1994 para el consumo humano.

Los límites permisibles establecidos en la NOM-127 contrasta con los resultados obtenidos en dos muestras de referencia tomada en uno de los tributarios del río Zanatenco. La muestra T1, que corresponde a la entrada de una infraestructura establecida en el río para la canalización y purificación del agua, en donde, se obtuvieron un total de 407 UFC. La

cantidad de bacterias que se obtuvo después de este proceso (P1) redujo en un 50% la cantidad de UFC, sin embargo, sigue siendo un resultado alto, aunque, al ser un estudio exploratorio y no contar con datos históricos no se puede atribuir que es una siempre se tiene la misma cantidad de bacterias puesto que estas están en función de varios factores, como el día de la muestra, en que se tenía presencia de ganado equino en la zona de muestreo.

El S5 también presentó datos con UFC altos, y su importancia es similar al T1 y P1, debido a que la muestra fue tomada en un pozo artesanal, mismo que es empleado para el abastecimiento y consumo en época de secas, cuando la cabecera municipal ha presentado problemas en el abastecimiento de agua. Se sugiere que la presión de la ciudad a este punto ha ocasionado una contaminación, ya que se registró basura plástica en el agua, vertederos de basura, zonas de indigentes en que posiblemente realicen sus necesidades fisiológicas (defecar) así como ganadería aguas arriba.

En general, las UFC de *E. coli* presentaron una mayor concentración en las zonas que tienen actividad ganadera (potreros, abrevaderos y cruce de caminos) cerca al cauce principal. Por la falta de más muestreos en la cuenca, no se puede aseverar que la cuenca alta es menos contaminada que la cuenca baja, ya que esto dependerá de varios factores como la actividad ganadera, drenajes al cauce principal y caudal del río.

Abarcando la calidad del agua mediante el uso de macroinvertebrados, únicamente para los primeros cuatro sitios, la mayor riqueza se presentó en el S1, lugar en que las familias *Belostomatidae*, *Hydrophilidae* y *Calamoceratidae* fueron las mejor representadas. Este sitio es quien también tiene una mejor estructura en sus bosques, mismo que provee de material para la formación de hábitat de los macroinvertebrados. Sin embargo, las dos primeras familias reportadas están relacionadas con aguas de mediana calidad y la tercera a excelente calidad, por lo que se sugiere la presencia de contaminantes en el agua que están propiciando condiciones a macroinvertebrados de agua de menor calidad. Por ello, se puede aseverar que la estructura del cauce del río, aunado a la presencia de los materiales aportados por el bosque ribereño, puede garantizar una alta diversidad de especies más no asegura que sean macroinvertebrados reportados en aguas de buena calidad.

La diversidad para el S2 y S3 fueron muy similares, ambos sitios comparten características estructurales similares, los bosques de ribera proveen material para los microhábitats, además, en el S3 se notó la presencia de más pozas que en los dos primeros sitios, y un afloramiento de plantas hidrófitas, misma que servía de soporte y protección a los macroinvertebrados. Este resultado coincide con lo expresado por Lorion and Kennedy (2009) quienes obtuvieron una mayor riqueza de especies cuando muestrearon en rápidos que en posas. Para el S2 las principales familias representadas fueron *Hydropsychidae*, *Perlidae* y *Ptilodactylidae*. En este sitio la mayoría de las familias reportadas se encuentran dentro de una calidad buena a excelente, sin embargo, la presencia de familias tolerantes a agua de mala calidad (*Hydrophilidae*) sugiere que el río está presentando condiciones deplorables aún en dentro de la REBISE. En lo que respecta al S3, las familias mejor

representadas fueron *Thiaridae*, *Leptophlebiidae*, *Baetidae* y *Calamoceratidae*, estas reportadas como tolerantes a aguas de mediana a excelente calidad.

El sitio que menor diversidad presentó fue el S4, donde la familia *Thiaridae* se representó con la mayor cantidad de individuos, seguido de los *Chironomidae*. Hahn-von Hessberg *et al.* 2009, señalan que estas familias están relacionadas a condiciones con tendencias anaeróbicas, ligadas a altos niveles de organismos y con poca saturación de oxígeno en el agua. El mismo autor sugiere que existe una relación entre las variables fisicoquímicas y la diversidad de familias. Esta idea se concuerda con lo observado en campo, personas lavando ropa o utensilios en el río.

Asimismo, este sitio disminuyó en un 50% la cantidad de familias que se habían reportado en los tres primeros sitios, por lo que la pérdida de familias se presenta siguiendo el gradiente altitudinal, de más alto a más bajo y estableciendo una relación con la presencia/ausencia de bosque ribereño. Los principales factores pueden ser pérdida de bosque ribereño y alteración en la estructura del sustrato del río por actividades de recreación (turismo). Dicha aseveración se ha reportado en otros estudios donde afirman que la transformación bosques a pasturas en áreas riparias puede ocasionar una disminución en la comunidad bentónica, además, también se atribuye a que los conjuntos de macroinvertebrados pueden responder a diferentes gradientes de estrés (Lorion and Kennedy, 2009). Concordando con lo descrito, Rock y Rivera (2014), la contaminación del agua puede darse por lavado de suelos en zonas que aplican fertilizantes y sujetas a la ganadería.

Ahondando más en el tema y fortaleciendo la interacción de IEH descrita entre los bosques de ribera y la calidad y cantidad de agua en los ríos, se sugiere que existe una relación estrecha entre ambos componentes, puesto que se notó que la parte alta y media de la subcuenca se tiene una mejor estructura de los bosques ribereños y los resultados de IEH fueron más altos que en la cuenca baja donde se registró la mayor pérdida de bosques ribereños y alteración al cauce principal. Por su parte, Garrido, 2010 sugiere que varias de las cuencas de la costa de Chiapas tienen un grado de alteración ecohidrológica de muy bajo a alto, Sin embargo, el estudio realizado se basó en un modelo espacial multicriterio, compuesto por 75 variables siendo la escala el factor determinante para la obtención de los resultados obtenidos, por lo que se requiere la evaluación de filtros gruesos y finos, como la metodología de IEH:

Los resultados de la investigación también sugieren que la ausencia o fragmentación del bosque ribereño disminuye la capacidad de filtración de la contaminación difusa proveniente de las áreas de influencia en el cauce. Tomando como ejemplo el S5 (a un costado de la ciudad), todos tipos de contaminantes que se transporten en época de lluvias o de manera intensional (vertederos), terminarán afectando la IEH. Esto concuerda con lo señalado por Ceccón (2003), quien afirma que la contaminación difusa proviene de las áreas urbanas ya que el pavimento evita la infiltración de agentes contaminantes y, por ende, mucho de esto es vertido en los cauces de los ríos.

Haciendo énfasis en la zona de trabajo, Ceccon (2003) resalta la importancia de abarcar este tipo de temas desde un punto de vista más holístico, como lo es la ecología del paisaje. En la misma línea, Brown (2013), señala que ignorar un contexto amplio, sea el paisaje, puede aumentar riesgo en el hábitat y realzar amenazas para el OC. Por su parte, Equihua *et al.* (2014) cuestiona si es posible medir la integridad en zonas urbanas y si vale la pena realizar un esfuerzo de medición, ya que es una ciudad los procesos ambientales se ven suprimidos y con ellos, los servicios ecosistémicos que deberían proveerse.

### **Manglares**

El ecosistema de manglar, al ser evaluado en la parte baja de la cuenca refleja parte de la IEH de la subcuenca, ya que sobre este ecosistema repercuten los efectos positivos y negativos generados en la cuenca alta y media. Las perturbaciones en los ecosistemas de la cuenca alta y media, puede ocasionar que se modifiquen componentes de estructura, función y composición en la zona de manglares.

Licero-Villanueva *et al.* (2018) congruentemente evaluaron la IE bajo un contexto paisajístico, la condición y el tamaño, reflejando la necesidad de una evaluación más amplia. Además, el proceso de evaluación debe empezar desde una línea base, pero contemplando aspectos históricos, mismos que puede ayudar a entender los regímenes actuales. Por ejemplo, los manglares del sitio Ramsar han sufrido efectos por actividades antrópicas en sus canales y los niveles de inundación que afecta la distribución espacio-temporal de dicho ecosistema. Esto se respalda con los reportes de proyectos dirigidos a la creación de un encierro camaronero y el dragado de canales dentro la zona de manglares (Domínguez, sf). Este punto adquiere mayor relevancia cuando se toma la IEH de una zona degradada, en este caso los manglares, para implementar actividades de restauración que perduren con una buena integridad a lo largo del tiempo y que al mismo tiempo mejore la calidad de vida de los actores involucrados (Preston, 2016).

De acuerdo con los resultados obtenidos, se tiene que estado actual de los manglares responde en mucho al desarrollo turístico, al cambio de uso de suelo y problemas de deposición de sedimentos en los esteros y la zona de manglares. En estudios similares, (EEM,2005; Guizada,2018) señalan que se pierde un 35% del ecosistema de manglar por cambio de uso de suelo. Además, se resalta la importancia de evaluar los manglares por estacionalidad ya que un ecosistema de manglar puede aumentar o disminuir grado de concentración de salinidad de acuerdo con el flujo de agua dentro del sistema, tanto de inundaciones por mareas como por aporte de los ríos y esto se relaciona directamente con el crecimiento de los manglares (Zahirul y Hasal, 2017; Guizada, 2018). Aunado a lo anterior, Domínguez (sf) sugiere incorporar elementos de conservación de paisaje y elementos de manejo dentro de las ANP para la planificación puesto que los manglares dependen de la fluencia del agua. El agua que llega a los humedales es tan importante para su funcionamiento que ahora, con el alza de demanda del recurso hídrico en las cuencas, se reconoce a los

humedales dentro de las cuencas como agentes importantes en la regulación de funciones ecológicas e hidrológicas (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010).

Respecto a los indicadores evaluados, la mayoría de estos corresponden a variables cuantitativas y debido a la dinámica natural de los manglares, se emplearon pocos indicadores de percepción rápida con la finalidad de disminuir sesgos en los resultados, sin embargo, en futuras investigaciones o establecimientos de proyectos de monitoreo a largo plazo se sugiere que sean diseñados e incorporados más indicadores cualitativos. Esto concuerda con lo expresado por Folega *et al.* (2017), al sugerir que cuando se estudie el OC, se deben incorporar indicadores cualitativos que puedan ser reparametrizados, como lo hizo al implementar al implementar el índice de utilización de recursos, en donde la información se abastece de entrevistas semiestructuradas. Por otro lado, si se desea continuar con un muestreo periódico se recomienda el establecimiento de parcelas de muestreo, apegadas a la metodología de SARMOD, aunque no necesariamente a su ubicación y emplear indicadores como la condición de tendencia de bosques de manglar ( $ICT_{BM}$ ) (Navarrete-Ramírez *et. al.* 2014).

Con relación a la escala, el filtro aplicado a los ecosistemas de manglares influye en los resultados obtenidos, ya que al correr FRAGSTAT para obtener las métricas de paisaje y de acuerdo con las celdas creadas y el número de vecinos seleccionados, los índices pueden incrementar o disminuir sus valores. Por ejemplo, el índice de agregación, el porcentaje de paisaje, y la distancia al vecino euclidiano más cercano fueron quienes obtuvieron los valores más altos, por el contrario, el índice de división, el número de parches y el área total fueron quienes arrojaron los valores más bajos. Asimismo, al agregar variables hidrometeorológicas a las imágenes satelitales mejora el proceso de delimitación de los cuerpos de agua y estos tienden a ser más exactos y aún más cuando son la parte final de los ecosistemas fluviales (Brena *et. al* 2016).

Focalizando la atención en la efectividad de manejo, los resultados obtenidos indica que la estructura, función y composición del ecosistema de manglar se ha visto afectada por canales azolvados que generan nuevas tierras, mismas que son cercadas y utilizadas por personas de las comunidades para el establecimiento de pastizales y posteriormente, la ganadería.

### **Referente a la metodología empleada**

Existen muchas propuestas metodológicas para evaluar integridad y procesos ecohidrológicos (Navarrete-Ramírez *et. al.* 2014; SINAC, 2016; Wilcox *et al.* 2017; Guizada 2018), sin embargo, todas deberían estar abiertas a ser modificadas y adaptadas a la zona de estudio, por ejemplo, el SINAC (2016) evalúa integridad ecológica de una cuenca empleando indicadores de TNC (2009) por lo que los valores de población, bosques, las vías de intersecciones y otros fueron modificados para su investigación.

En lo que respecta al tamaño del área evaluada, la propuesta de IEH, enfatiza en que los límites su evaluación corresponden a un límite natural definido, como lo es una cuenca, por lo que, los resultados obtenidos concuerdan para el ecosistema fluvial pero no representa la distribución total de los manglares, sino que solo la porción ubicada dentro de la subcuenca.

TNC (2008) y TNC (2009), evaluando ecorregiones de agua dulce señala que varias cuencas cercanas pueden tener comportamientos similares por lo que estas pueden estar dentro de ecorregiones acuícolas, y no necesariamente limitarse a los límites de una cuenca. Además, el mismo autor sugiere que unidades a escalas mayores son ideales para proteger áreas representativas y mantener los procesos naturales de los ecosistemas, aunque dentro de las ecorregiones se contempla la evaluación de las unidades ecológicas de drenaje.

La metodología de IEH busca ir más allá de evaluar un OC, su principal función es determinar el estado actual de varios OC puesto que suele existir una correlación entre estos, entonces, al determinar el grado de integridad de cada OC se estima la IEH para el total de la cuenca. Esta propuesta integra más elementos que la propuesta por Enríquez-Brambila (2018), tomando como base el funcionamiento de todo el sistema, en donde se incluyen los diferentes usos de suelos y se aceptan los asentamientos humanos como parte del sistema. Por su parte el SINAC (2016) señala que la integridad ecológica en cuencas estudiadas en la región Caribe de Costa Rica, está relacionada a la alta densidad poblacional y a la escasa vegetación.

## **CONCLUSIONES**

La evaluación de IEH debe estar integrada por los OC de interés seleccionados para el área. Cada OC debe evaluarse empleando indicadores de percepción rápida y cualitativos, estos deben reflejar la integridad por características ecológicas dominantes (estructura, composición y función), que mediante una adición de estas se obtendrá la IEH total de la zona evaluada. Los valores deben reflejarse en porcentajes para que, en caso de adicionar o eliminar indicadores, solo se realicen ajustes y se pueda obtener un valor general.

La escala de cinco valores propuestas para la IEH sugiere mayor aceptación de pequeñas, medianas y grandes perturbaciones hacia los OC, no limitándolos tres escenarios, sin embargo, al ser una metodología adaptativa, esta puede incrementar o disminuir la escala de valores siempre y cuando sea justificado y los valores se representen en porcentajes.

La metodología de IEH, sobresale sobre otros protocolos de evaluación debido su practicidad de unir OC de percepción rápida y cuantitativos, así como la combinación de varios OC para obtener un solo resultado de integridad total. Esta metodología permite que los resultados individuales de los OC sean complementados a través de los resultados obtenidos con las zonas de influencia y la percepción social, así como las actividades de manejo que se realizan en las zonas protegidas.

Contemplar métricas de paisaje en una evaluación de IEH ayuda a obtener un panorama más amplio sobre el estado actual del paisaje, además, que se establece la base para un monitoreo espacio temporal, por ello, la escala de aplicación y el filtro a emplear debe ser definido con base en los objetivos de la investigación, de la distribución de los OC, y de otras variables que se consideren oportunas.

Agregar metodologías de evaluación sobre percepción comunitaria como lo son las contribuciones de la naturaleza a la gente y evaluación rápida de efectividad de manejo ayudar a tener mejores apreciaciones y explicaciones sobre los resultados obtenidos en la metodología de IEH.

Los datos de IEH para la subcuenca del río Zanatenco sugieren una degradación del ecosistema fluvial y de sus CNG conforme se desciende altitudinalmente y se mantiene fuera de un área protegida. Los valores más altos de IEH están ubicados en los dos primeros sitios mientras que en aquellos en que su matriz paisajística predominante es la ciudad, ganadería o cultivos de mango suelen tener valores bajos de IEH.

La desviación del recurso hídrico en la parte media de la cuenca y la falta de implementación del concepto de caudal ambiental seguirá arrojando valores bajos de integridad en la cuenca media y baja.

Los estudios fisicoquímicos, bacteriológicos y de macroinvertebrados en los ecosistemas fluviales reflejan, en buena medida, el estado actual de los bosques de ribera, pero se requiere contemplar el grado de alteración paisajístico en las zonas de influencia y sus respectivos tributarios para tener un estudio más integral. El monitoreo periódico de estas variables también genera información en tiempo para conocer el comportamiento del río en diferentes temporadas y en varios periodos de años.

## **RECOMENDACIONES**

Realizar la validación de la metodología en otras cuencas costeras del Pacífico aumentando el esfuerzo de muestreo en la parte alta, media y baja y contemplando las dos épocas del año, con la finalidad de comparar resultados entre cuencas y por épocas, contemplando la misma escala de muestreo.

Fortalecer el componente de manejo interdisciplinario, en la metodología de efectividad de manejo, para obtener mejores resultados en el proceso de evaluación además de integrar la mayor cantidad de instituciones presentes en la zona.

Establecer un sistema de monitoreo a largo plazo dentro del río, evaluando parámetros fisicoquímicos, bacteriológico, caudal, macroinvertebrados, así como variables netamente hídricas, como escurrimiento, infiltración y cálculos de balance hídrico.

Impulsar un sistema de monitoreo de la cobertura del suelo mediante parcelas circulares y empleando imágenes satelitales o el uso de drones con la finalidad de contar con información que permita mostrar tendencias sobre el cambio de uso de suelo y vegetación.

Realizar un estudio bajo el concepto de caudal ambiental y la que se expongan los resultados de una estrategia que permita el escurrimiento superficial del agua en el río Zanatenco hasta llegar a su desembocadura natural, en el ecosistema de manglar.

Monitorear el ecosistema de manglar empleando la metodología SARMOD, y reubicar algunos de estos puntos a nivel local para tener información sobre el estado actual de estos sitios. Asimismo, implementar el monitoreo costero mediante imágenes satelitales para observar el recambio en el espejo de agua y el grado de afectación del azolve hacia este ecosistema.

Involucrar a la Secretaría de Turismo, así como a las comunidades locales cercanas al ecosistema fluvial al manejo integrado de cuencas para la regulación del afluente turístico en dicho OC. La secretaría debería estar a cargo de capacidad de carga turística en a la zona y la evaluación de perturbaciones causadas por actividades recreativas.

La metodología es replicable en todo momento, sin embargo, se debe tomar en cuenta la escala de aplicación, las características y distribución del OC, así como los límites de este. En caso de aplicarse a una cuenca costera y exista un OC que sobresalga del área de estudio se debe acortar al área de interés, pero se deben buscar explicaciones más globales al área estudiada.

Identificar los principales focos de contaminación puntual de *E. coli* en el cauce principal y proponer zonas de exclusión de ganados y zonas de reforestación en las riberas del río que sirvan como amortiguadores y filtros naturales ante perturbaciones externas al OC.

Promover acciones de manejo y restauración en la cuenca alta y media bajo un enfoque de integral, implementando técnicas productivas como sistemas silvopastoriles, agroforestales, agroecológicos y agrosilvopastoriles.

## **LITERATURA CITADA**

- Aguilera, F. 2010. Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada. *Anales de geografía* 30(2):9–29.
- Arellano-Monterrosas, JL. 2019. Variabilidad climática y eventos extremos en la cuenca del río Zanatenco, Chiapas Climate variability and extreme events in the Zanatenco river basin, Chiapas. 0(3):249-274.
- Arellano-Monterrosas, JL; Ruiz Meza, LE. 2018. Evaluación y tendencias de los servicios ecosistémicos hidrológicos de la cuenca del río Zanatenco, Chiapas. *Investigaciones Geográficas* (95):1-22.

- Brena, J; Castillo, C; Wagner, A. 2016. Metodología para la delimitación y caracterización de humedales en escalas 1: 50 000 y 1: 20 000. *Revista Tecnologías y ciencias del agua*. 7(2):85–98.
- Brown, E., N. Dudley, A. Lindhe, D.R. Muhtaman, C. Stewart, y T. Synnott (eds.). 2013. *Guía genérica para la identificación de Altos Valores de Conservación*. Red de Recursos de AVC (HCVRN).
- Ceccon, E. (2003). Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias. Universidad Nacional Autónoma de México. *Ciencias* (43-56).
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua).2009. Plan de gestión de la cuenca del río Zanatenco, Chiapas-México. (en línea) 63p. Consultado 15 ago. 2019. Disponible en [https://issuu.com/inesachiapas/docs/plan\\_de\\_gestion\\_de\\_la\\_cuenca\\_del\\_r\\_\\_fe24de11163e07](https://issuu.com/inesachiapas/docs/plan_de_gestion_de_la_cuenca_del_r__fe24de11163e07).
- Comer, P. Faber-Langendoen, D; 2013. Assessing Ecological Integrity of Wetlands from National to Local Scales. *NatureServe*. (online). *National Wetlands Newsletter* 35 (3):20–22. 17 sept. 2019. Available at <https://www.natureserve.org/sites/default/files/publications/files/ns161.06-assessing-ecological-integrity.pdf>
- Contreras González, V. 2009. Caracterización fluvial y análisis multivariado, aplicado a la migración de meandros. Thesis. M. Sc. Jiutepec, Morelos, México. Universidad Nacional Autónoma de México. 206 p
- Díaz, S; Pascual, U; Stenseke, M; Martín-López, B; Watson, RT; Molnár, Z; Hill, R; Chan, KMA; Baste, IA; Brauman, KA; Polasky, S; Church, A; Lonsdale, M; Larigauderie, A; Leadley, PW; Van Oudenhoven, APE; Van Der Plaet, F; Schröter, M; Lavorel, S; Aumeeruddy-Thomas, Y; Bukvareva, E; Davies, K; Demissew, S; Erpul, G; Failler, P; Guerra, CA; Hewitt, CL; Keune, H; Lindley, S; Shirayama, Y. 2018. Assessing nature’s contributions to people\_Supl Mat. *Science* 359(6373):270–272.
- Domínguez, YM; Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Particular “Construcción de Encierro Camaronero en el Cordón Estuárico” Municipio de Tonalá, Chiapas. 74 p.
- EEM. 2005. *Los Ecosistemas y El Bienestar Humano: Humedales y Agua*, Informe de Síntesis. Washington, DC., World Resources Institute. 80 p. Consultado 12 de sept.2019. Disponible en [http://www.millenniumassessment.org/documents/MA\\_WetlandsandWater\\_Spanish.pdf](http://www.millenniumassessment.org/documents/MA_WetlandsandWater_Spanish.pdf)
- Equihua Zamora, M; García-Alaniz, N; Pérez-Maqueo, O; Benítez Badillo, G; Kolb, M; Schmidt, M; Equihua Benítez, J; Maeda, P; Álvarez Palacios, JL. 2014. Integridad ecológica como indicador de la calidad ambiental - Ecological integrity as indicator of environmental quality. *Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental*. :687-710.

- Enriquez Brambila. 2018. Evaluación integral del estado ecológico de los ecosistemas fluviales en la zona intertropical americana. Thesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica. 151 p.
- Ervin, J. 2003. WWF: Rapid Assessment and Prioritization of Protected Area Management (RAPPAM). 70 p.
- Folega, F; Rakotondrasoa, MA; Wala, K; Woegan, YA; Kanda, M; Pereki, H; Polo-Akpisso, A; Batawila, K; Akpagana, K. 2017. Écologie et dynamique spatio-temporelle des mangroves au Togo. (en línea). 17(3). Consultado 20 sept. 2019. Disponible en <https://journals.openedition.org/vertigo/18791#quotation>.
- García-Alaniz, N.; M. Schmidt. 2016. Sistema Nacional de Monitoreo de la Biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 224 P.
- Garrido, PA; Cuevas, ML; Cotler, H; González, D; Tharme, R;2010. Evaluación del grado de alteración ecohidrológica de los ríos y corrientes superficiales de México. 21 p.
- GWW (Global Water Watch). 2014. Monitoreo comunitario del agua. Monitoreo biológico (Macroinvertebrados acuáticos). Cuidado co-participativo de Cuencas con base en la comunidad y respaldo científico mediante el monitoreo comunitario del agua. 49 p.
- Gutiérrez, I; Becerra, P. 2018. Composición, diversidad y estructura de la vegetación de bosques ribereños en el centro sur de Chile Composition, diversity and vegetation structure of riparian forests in south-central Chile Figura y Biobío. en el centro-. 39(2):239–253.
- Guizada-Durán, A. 2018. Integridad ecológica de humedales de la cuenca baja del río Tempisque, caso Humedal Protegido Internacional Palo Verde, Costa Rica. Tesis M. Sc Turrialba, Costa Rica. 97 p.
- Hahn-vonHessberg, CM; Toro, DR; Grajales-Quintero, A; Duque-Quintero, GM; Serna-Urbe, L. 2009. Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola, universidad de caldas, municipio de palestina, Colombia. 13(2):89–105.
- Hamilton, R.; Cushman, S.; McCallum, K.; McCusker, N.; Mellin, T.; Nigrelli, M.; Williamson, M. 2013. Multiscale landscape pattern monitoring using remote sensing: The four-forest restoration initiative. RSAC-10022-RPT1. Salt Lake City, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Remote Sensing Applications Center. 24 p.
- Herrera-Martínez, C. 2015. Evaluación de la efectividad de humedales con diferentes categorías de manejo en la conservación de aves acuáticas en la cuenca baja del Río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica. Heredia, Costa Rica. 103 p.
- Herrera, Bernal y Corrales, Lenin. 2004. Midiendo el éxito de las acciones en las áreas protegidas de Centroamérica: Evaluación y monitoreo de la integridad ecológica (en línea). PROARCA/APM, Guatemala de la Asunción, Guatemala. 44 p. consultado 17 jul. 2019. Disponible en

[https://www.researchgate.net/publication/308202055\\_Manual\\_para\\_la\\_evaluacion\\_y\\_monitoreo\\_de\\_la\\_integridad\\_ecologica\\_en\\_areas\\_protegidas](https://www.researchgate.net/publication/308202055_Manual_para_la_evaluacion_y_monitoreo_de_la_integridad_ecologica_en_areas_protegidas).

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2019. Hidrografía. (en línea, sitio web). Consultado 02 feb. 2019. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/temas/hidrografia/>.
- Imbach, A; Pérez, J; Ulloa, D; Díaz, Á. 2013. Análisis de la variabilidad climática en la costa de Chiapas, México. 90 p.
- Kutschker, A; Brand, C; M Miserendino, ML. 2009. Evaluación de la calidad de los bosques de ribera en ríos del NO del Chubut sometidos a distintos usos de la tierra. *Revista Ecología Austral*. (19):19-34.
- Li, X; Yang, D; Zheng, C; Li, X; Zhao, W; Huang, M; Chen, Y; Yu, P. 2017. *Ecohydrology. The Geographical Sciences During*. 11 p.
- Licero-Villanueva, L; Rodriguez-Rodriguez, JA; Vargas-Castillo, JC; Rodríguez, Tinoco, A; Romero, D; Pizarro, J. 2018. Lineamiento para la restauración del ecosistema de manglar de la desembocadura del río Toribio. Informe técnico final. Convenio 002-17 INVEMAR-PNSA. Santa Marta D.T.C.H., Colombia. 19P.
- Lorion, CM; Kennedy, BP. 2007. Relationships between deforestation, riparian forest buffers and benthic macroinvertebrates in neotropical headwater streams. *Freshwater Biology* 54(1):165-180.
- McGarigal, K., SA Cushman, and E Ene. 2012. FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at the following web site: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- Navarrete-Ramírez S.M, Rodríguez-Rincón A.M. 2014. Condición y tendencia de los Bosques de Manglar. Protocolo indicador. Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP). Invemar, GEF y PNUD. Serie de Publicaciones Generales del Invemar. N° 67. 40 p.
- Nené-preciado, AJ; Sansón, GG; Eduardo, M; Asís, F De; Bátiz, S. 2017. Cambio de cobertura y uso de suelo en cuencas tropicales costeras del Pacífico central mexicano Land cover and land use change in coastal basins from the Central Pacific coast of Mexico. (94):1-18
- Oliverira, GT. 2019. Influência da paisagem em ecossistema de riacho da Amazônia Oriental. Thesis. Ph. D Belém. Brasil. Universidade Federal do Pará. 84 p.
- Oswald, SU. 2012. Vulnerabilidad social en eventos hidrometeorológicos extremos: una comparación entre los huracanes Stan y Wilma en México. (en línea). *Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades*. 12(2):125-146. Consultado 17. Sept. 2019. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=65429255006>.
- Parrish, JD; Braun, DP; Unnasch, RS. 2003. Are We Conserving What We Say We Are? Measuring Ecological Integrity within Protected Areas (on line). *BioScience*

- 53(9):851. Consultado 17 sept. 2019. Available at <https://academic.oup.com/bioscience/article/53/9/851/311604>.
- Preston, E. 2016. Mangrove Management Strategies for Social and Ecological Integrity. 34 p.
- Rock, C; Rivera, B. 2014. La Calidad del Agua, E. coli y su Salud. The University of Arizona. College of Agriculture and Life Sciences. 5 p.
- Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010. Manejo de cuencas hidrográficas: Integración de la conservación y del uso racional de los humedales en el manejo de las cuencas hidrográficas. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 4ª edición, vol. 9. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación). 2016. Marco conceptual y guía metodológica para la Integridad ecológica en Áreas Silvestres Protegidas de Costa Rica. 40 p.
- Theobald, DM. 2013. A general model to quantify ecological integrity for landscape assessments and US application. *Landscape Ecology* 28(10):1859–1874.
- TNC (The Nature Conservancy). 2009. Evaluación de ecorregiones marinas en Mesoamérica. Sitios prioritarios para la conservación en las ecorregiones Bahía de Panamá, Isla del Coco Y Nicoya del Pacífico Tropical oriental, y en el Caribe de Costa Rica y Panamá. Programa de Ciencias Regional, Región de Mesoamérica y El Caribe. San José, Costa Rica. 165 p.
- TNC (The Nature Conservancy). 2009. Evaluación de ecorregiones de agua dulce en Mesoamérica, sitios prioritarios para la conservación en las ecorregiones de Chiapas a Darién. Programa de Ciencias Regional, Región de Mesoamérica y El Caribe. San José, Costa Rica. 520 p.
- Vargas, LB. 2013. Manual de mejores prácticas de manejo forestal para la conservación de la biodiversidad en ecosistemas templados de la región norte de México. 90 p.
- Vélez, RL; Gómez Sal, A. 2008. Un marco conceptual y analítico para estimar la integridad ecológica a escala de paisaje. *ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura* 184(729):31–44.
- Villafuerte, SD; García, A. MC. 2006. Crisis rural y migraciones en Chiapas. Migración y Desarrollo (en línea). *Revista de Migración y Desarrollo*. 1(6):102-130. Consultado 17 sept. 2019. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66000604>.
- Wilcox, BP; Maitre, D Le; Jobbagy, E; Wang, L. 2017. Ecohydrology: Processes and Implications for Rangelands Chapter 3. 88-129.
- WRI (World Resources Institute). 2019. United States of America. (on line, web site). Consulted sept. 25th. Available at [https://www.wri.org/applications/aqueduct/water-risk-atlas/#/?advanced=false&basemap=hydro&indicator=w\\_awr\\_def\\_tot\\_cat&lat=15.68&lng=95.77&mapMode=view&month=1&opacity=0.5&ponderation=DEF&prede](https://www.wri.org/applications/aqueduct/water-risk-atlas/#/?advanced=false&basemap=hydro&indicator=w_awr_def_tot_cat&lat=15.68&lng=95.77&mapMode=view&month=1&opacity=0.5&ponderation=DEF&prede)

fined=false&projection=absolute&scenario=optimistic&scope=baseline&timeScale=annual&year=baseline&zoom=7.

- Yirigui, Y; Lee, S; Nejadhashemi, AP; Herman, MR; Lee, J. 2019. Relationships between Riparian Forest Fragmentation and Biological Indicators of Streams. *Sustainability* 11(2870) :1–24.
- Zahirul Haque, M; Hasan Reza, MI. 2017. Salinity intrusion affecting the ecological integrity of sundarbans mangrove forests, bangladesh. *international journal of conservation science*. 8(1):131-134.
- Zalewski, M. 2002. Ecohydrology — the use of ecological and hydrologîcal processes for sustainable management of water resources. *Hydrologîcal Sciences-Journal. Des Sciences Hydrologiques*. 47(5):823-832.
- Vélez, RL; Gómez Sal, A. 2008. Un marco conceptual y analítico para estimar la integridad ecológica a escala de paisaje. *ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura* 184(729):31–44.
- Villafuerte, SD; García, A. MC. 2006. Crisis rural y migraciones en Chiapas. *Migración y Desarrollo (en línea)*. *Revista de Migración y Desarrollo*. 1(6):102-130. Consultado 17 sept. 2019. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66000604>.
- Wilcox, BP; Maitre, D Le; Jobbagy, E; Wang, L. 2017. *Ecohydrology: Processes and Implications for Rangelands* Chapter 3. 88-129.
- Zahirul Haque, M; Hasan Reza, MI. 2017. Salinity intrusion affecting the ecological integrity of sundarbans mangrove forests, bangladesh. *international journal of conservation science*. 8(1):131-134.
- Zalewski, M. 2003. Ecohydrology — the use of ecological and hydrologîcal processes for sustainable management of water resources. *Hydrologîcal Sciences-Journal. Des Sciences Hydrologiques*. 47(5):823-832.

## ANEXOS

### Anexo 1. Cuestionario para la evaluación de la efectividad de manejo.

Evaluación de la efectividad de manejo en cuencas costeras, a nivel de paisaje, o ecosistemas costeros.

- A) La evaluación de efectividad de manejo fue diseñada tomando como base tres metodologías diferentes; 1) Herramienta de seguimiento de la efectividad del manejo de los sitios Ramsar (R-METT) (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2015). De esta propuesta se emplearon los formularios 1, 3 y 4, algunas preguntas fueron modificadas y otras fueron anexadas. 2) Rapid Assessment and prioritization of protected area management (RAPPAM) propuesta por la WWF (2003) y adaptada para evaluar áreas protegidas en Brasil. Se tomaron en cuenta los 19 criterios propuestos en la metodología y algunos de ellos fueron modificados y adaptados a la zona. También se agregó el componente de cambio climático.
- B) Se creó un nuevo componente que evalúa la interacción de las instituciones gubernamentales, estatales, municipales y ONG's. La finalidad es evaluar el grado de interacción entre las instituciones que están a cargo de la integridad ecológica.

La metodología debe ser aplicada a tomadores de decisión del sitio Ramsar Estuarino Puerto Arista, a personal técnico de la reserva de la biósfera La Sepultura, a los consejos de cuenca del municipio, a integrantes de la comisión nacional del agua, a profesores de universidades, etc.

Instrucciones:

Esta evaluación fue adaptada y rediseñada para que sea aplicable a manejadores de ANP, consejos de cuencas, sector académico y ONG's que realicen actividades de manejo de recursos naturales dentro de la zona de estudio.

La evaluación está compuesta por cuatro formularios, el formulario uno, dos y cuatro debe ser contestado por todos aquellos a los que se le aplique la evaluación y, para el caso de manejadores de áreas naturales protegidas ubicado en cualquier categoría de clasificación por la IUCN o las categorías existentes en México deben, además, evaluar el formulario tres, concerniente al manejo de las ANP. Existen variables categóricas y descriptivas. El valor de cero indica deficiente y el valor de 3 excelente.

Nota: Sí la encuesta se completa de manera digital puede optarse por colocar "x" o colorear la respuesta elegida. Sí es de su agrado colocar notas explicativas, justificativas o informativas, se garantiza un mejor entendimiento de la efectividad de manejo del ANP o cuenca.

## Formulario 1

Nombre, afiliación y datos de contacto de la persona responsable de rellenar la evaluación de IEH				
Fecha de realización de la evaluación				
Nombre del ANP		País:		
Fecha de inclusión del sitio en categoría internacional		Área total del Sitio (ha):		
Ubicación del ANP (provincia y si es posible referencia del centro del sitio en un mapa)				
Enumere otras designaciones internacionales, p.ej., Sitio del Patrimonio Mundial (y rellene la sección 2 si procede):				
Datos sobre la tenencia de la tierra (marque todas las que correspondan):	Estatal	Privada	Comunitaria	Otra
Autoridad de manejo:				
Cantidad de personal:	Permanente		Temporal	
Presupuesto anual (dólares EE.UU.) del sitio Ramsar– excluyendo los costos de los salarios del personal:	Fondos periódicos (operativos):		Fondos de proyectos u otros fondos adicionales:	
Enumere los objetivos de manejo del ANP	Objetivo de manejo 1:			
	Objetivo de manejo 2:			
Nº de personas que participaron en la evaluación				
Incluyendo: (marque las casillas)	Director del AP <input type="checkbox"/>	Personal del AP <input type="checkbox"/>	Otro personal del organismo responsable del AP <input type="checkbox"/>	ONG <input type="checkbox"/>
	Comunidad local <input type="checkbox"/>	Donantes <input type="checkbox"/>	Expertos externos <input type="checkbox"/>	Otros <input type="checkbox"/>
	Responsable del ANP <input type="checkbox"/>		Representante del Gobierno <input type="checkbox"/>	
Indique si la evaluación se realizó en colaboración con un proyecto concreto en nombre de una organización o un donante				

## Formulario 2: Amenazas posibles para la IEH en ecosistemas costeros (Parte alta, media y baja de una cuenca)

Por favor, marque todas las amenazas relevantes (tanto actuales como posibles) indicando si su importancia es alta, media o baja. Marcar solo aquellas actividades que si representan algún tipo de amenaza para la integridad del sitio. Las amenazas clasificadas en la categoría de importancia alta son aquellas que degradan gravemente los valores, las de importancia media son las que tienen algún impacto negativo y las de importancia baja son amenazas que están presentes, pero no tienen un impacto grave sobre los valores; NP corresponde a los casos en los que la amenaza no está presente o no procede en el área de evaluación.

### 1. Desarrollo residencial y comercial dentro de un sitio Ramsar o ANP o cuenca

Amenazas derivadas de asentamientos humanos u otros usos no agrícolas de la tierra con un impacto considerable

Amenaza	Alta	Media	Baja	NP	Notas
1.1 Viviendas y asentamientos					
1.2 Zonas comerciales e industriales					
1.3 Infraestructuras turísticas y recreativas					

### 2. Agricultura y acuicultura dentro de un sitio Ramsar, ANP o cuenca

Amenazas derivadas de la agricultura y el pastoreo a consecuencia de la expansión e intensificación de la agricultura, incluyendo la silvicultura, la maricultura y la acuicultura

Amenaza	Alta	Media	Baja	NP	Notas
2.1 Cultivos anuales y perennes no maderables					
2.1a Cultivo de drogas					
2.2 Plantaciones para madera y pulpa					
2.3 Ganadería y pastoreo					
2.4 Acuicultura marina y de agua dulce					

### 3. Producción de energía y minería dentro de un sitio Ramsar, ANP o cuenca

Amenazas derivadas de la producción de recursos no biológicos

Amenaza	Alta	Media	Baja	NP	Notas
3.1 Prospección de petróleo y gas					
3.2 Minería y explotación de canteras					
3.3 Generación de energía, incluyendo presas hidroeléctricas, parques eólicos y paneles solares					

### 4. Corredores de transporte y servicios dentro de un sitio Ramsar, ANP o cuenca.

Amenazas derivadas de corredores de transporte largos y estrechos y de los vehículos que los utilizan, incluyendo la mortalidad de animales silvestres asociada a los mismos

Amenaza	Alta	Media	Baja	NP	Notas
4.1 Carreteras y ferrocarriles (incluir los animales muertos por atropello)					
4.2 Líneas y cables de servicios públicos (p.ej., cables eléctricos o de teléfono)					
4.3 Rutas de navegación marítima y canales					
4.4 Rutas de navegación aérea					
4.5 Puertos en los que se cargan y descargan productos a gran escala					

**5. Aprovechamiento de recursos biológicos y daños causados que alteran la IEH**

Amenazas derivadas del uso consuntivo de recursos biológicos “silvestres” incluyendo los efectos deliberados y no deliberados del aprovechamiento, además de la persecución o el control de especies concretas (incluida la caza y matanza de animales).

Amenaza	Alta	Media	Baja	NP	Notas
5.1 Caza, matanza y extracción insostenible e ilegal de animales terrestres (autóctonos), (incluida la matanza de animales a consecuencia de conflictos con el hombre)					
5.2 Recolección de plantas terrestres (autóctonas) o productos procedentes de las mismas (no maderables)					
5.3 Tala y extracción de madera					
5.4 Pesca, matanza y extracción de especies acuáticas (autóctonas)					
5.5 Caza, matanza y extracción insostenible e ilegal de avifauna (autóctonos y migratorios), (incluido el saqueo de huevos en temporada de anidación)					
5.6 Caza y extracción de huevos de tortugas marinas.					

**6. Intrusiones humanas y perturbaciones de origen humano dentro de un sitio Ramsar, ANP o cuenca.**

Amenazas derivadas de actividades humanas asociadas a usos no consuntivos de los recursos biológicos que alteran, destruyen o perturban a hábitats y especies

Amenaza	Alta	Media	Baja	NP	Notas
6.1 Actividades recreativas y turísticas					
6.2 Conflictos armados o civiles y maniobras militares					
6.3 Investigación, educación y otras actividades relacionadas con el trabajo en el sitio.					
6.4 Actividades de los manejadores de los sitios (p.ej., construcción, uso de vehículos, puntos de agua artificiales y embalses)					
6.5 Vandalismo deliberado, actividades destructivas o amenazas para el personal y los visitantes del área protegida					

**7. Modificaciones del sistema natural**

Amenazas derivadas de otras acciones que convierten o degradan el hábitat o cambian el modo de funcionamiento del ecosistema

Amenaza	Alta	Media	Baja	NP	Notas
7.0 Desbroce del hábitat					
7.1 Incendios (incluidos los provocados) y extinción de los mismos.					
7.2 Presas, modificaciones hidrológicas y manejo/uso del agua.					
7.3 Construcción de carreteras en zonas conservadas sin paso de fauna.					
7.3a Aumento de la fragmentación dentro del sitio Ramsar.					
7.3b Aislamiento de otros hábitats naturales (p.ej., deforestación, presas sin pasos adecuados para la fauna acuática)					
7.3c Otros “efectos de borde” sobre los valores del humedal					
7.3d Pérdida de especies clave (p.ej., grandes depredadores, polinizadores, etc.)					

### 7a. Cambios hidrológicos

Amenaza	Alta	Media	Baja	NP	Notas
7a.1 Presas dentro del sitio o aguas arriba que alteran el régimen hidrológico					
7a.2 Extracción/desviación de agua en el sitio o en la cuenca					
7a.3 Acumulación excesiva de agua en el sitio (p.ej., para embalsar las aguas en caso de crecidas)					
7a.4 Pérdida de conectividad hidrológica (p.ej., mediante diques de contención)					
7a.5 Pérdida de conectividad hidrológica por azolve de esteros en la cuenca baja.					
7a.6 Pérdida de conectividad hidrológica por deslizamientos.					
7a.7 Condiciones de sequía					
7a.8 Desertificación					

### 8. Especies y genes invasores y otras especies y genes problemáticos

Amenazas derivadas de plantas, animales, patógenos/microbios o materiales genéticos terrestres y acuáticos exóticos y autóctonos que tienen o se prevé que tengan efectos perjudiciales sobre la biodiversidad a consecuencia de su introducción, expansión y/o aumento

Amenaza	Alta	Media	Baja	NP	Notas
8.1 Plantas invasoras no autóctonas/exóticas (malezas)					
8.1a Animales invasores no autóctonos/exóticos					
8.1b Especies invasoras autóctonas (plantas o animales)					
8.1c Patógenos (exóticos o autóctonos pero que causan nuevos problemas o los empeoran)					
8.2 Material genético introducido (p.ej., organismos genéticamente modificados)					

### 9. Contaminación que afecta al sitio Ramsar/ANP, cuenca o se genera en el mismo

Amenazas derivadas de la introducción de energía o materiales exóticos y/o sobrantes desde fuentes puntuales y difusas

Amenaza	Alta	Media	Baja	NP	Notas
9.1 Aguas residuales domésticas y urbanas procedentes del exterior del ANP					
9.1a Aguas residuales de las instalaciones del ANP o desarrollo turístico dentro de este. (p.ej., aseos, hoteles etc.)					
9.2 Efluentes y otros desechos industriales, mineros y militares (p.ej., temperaturas anormales, desoxigenación, mayor salinidad, otros tipos de contaminación)					
9.3 Efluentes agrícolas y forestales (p.ej., exceso de fertilizantes o pesticidas)					
9.4 Basura y desechos sólidos					
9.5 Contaminantes transportados por el aire					
9.6 Exceso de energía (p.ej., calor o luz excesivos etc.)					

### 10. Fenómenos geológicos

Aunque en muchos ecosistemas los fenómenos geológicos pueden formar parte del régimen de perturbaciones naturales, pueden constituir una amenaza si una especie o hábitat sufre daños y pierde su resiliencia y por consiguiente es vulnerable a las perturbaciones. La capacidad de manejo para responder a algunos de estos cambios puede ser limitada.

Amenaza	Alta	Media	Baja	NP	Notas
10.1 Erupciones volcánicas					

10.2 Terremotos/maremotos					
10.3 Avalanchas/corrimientos de tierras					
10.4 Erosión y sedimentación/deposición (p.ej., cambios en la orilla o el lecho de los ríos)					
10.5 Erosión y sedimentación/deposición (Azolvamiento en las zonas de esteros)					

### 11. Cambio climático y meteorología extrema

Amenazas derivadas de cambios climáticos a largo plazo que pueden estar relacionados con el calentamiento global y otros fenómenos climáticos o meteorológicos extremos fuera del rango de variación natural

Amenaza	Alta	Media	Baja	NP	Notas
11.1 Modificación y alteración del hábitat					
11.2 Sequías					
11.3 Temperaturas extremas					
11.4 Tormentas e inundaciones					
11.5 Desplazamiento de periodo de lluvia					
11.6 Aumento en el nivel del mar					

### 12. Amenazas sociales y culturales específicas

Amenaza	Alta	Media	Baja	NP	Notas
12.1 Pérdida de lazos culturales, conocimiento tradicional y/o prácticas de manejo					
12.2 Deterioro natural de valores culturales importantes del sitio					
12.3 Destrucción de edificios, jardines, lugares, etc. del patrimonio cultural.					
12.4 Deterioro de museos que resaltan identidad cultural.					

## Formulario 3. Importancia del manejo dentro de las zonas protegidas. (Contestar solo manejadores de ANP)

### 1.- Importancia biológica-contexto

Importancia biológica	3	2	1	0	Notas
a) El ANP contiene un número relativamente alto de especies raras, amenazadas o en peligro de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010					
b) El ANP tiene niveles relativamente altos de biodiversidad.					
c) El ANP tiene un grado relativamente alto de endemismo.					
d) El ANP desempeña una función crítica en términos de paisaje.					
e) El ANP contiene el rango completo de diversidad en términos de plantas y animales.					
f) El ANP contribuye de manera significativa a la representatividad del sistema de AP.					
g) El ANP alberga poblaciones viables mínimas de especies clave.					
h) La diversidad estructural del ANP es consistente con las normas históricas.					
i) El ANP incluye ecosistemas cuyo rango histórico ha sido drásticamente reducido.					
j) El ANP mantiene el rango completo de los procesos naturales y regímenes de disturbios.					

### 2.-importancia socioeconómica-contexto

Importancia socioeconómica	3	2	1	0	Notas
a) El ANP es una fuente importante de empleo para las comunidades locales, (Habitantes de zona de amortiguamiento y núcleo)					
b) Las comunidades locales dependen de los recursos del ANP para su subsistencia.					
c) El ANP provee oportunidades de desarrollo para la comunidad a través del uso sostenible de recursos.					
d) El ANP tiene importancia religiosa o espiritual.					

e) El ANP tiene características inusuales de importancia estética y paisaje				
f) El AP alberga especies de plantas de alta importancia social, cultural o económica. (si es marina en vez de plantas ecosistemas como pastos marinos, arrecifes, manglares, playas, etc).				
g) El ANP contiene especies de animales de alta importancia social, cultural o económica.				
h) El ANP tiene alto valor recreacional.				
i) El ANP contribuye con importantes contribuciones de la naturaleza a la gente y beneficia a las comunidades, generando una oferta y demanda.				
j) El ANP tiene un alto valor educacional y / o científico.				
k) El ANP tiene relación con grupos de voluntariado, pasantías o prácticas.				
l) El ANP cuenta con monumentos arquitectónicos de culturas antiguas.				

### 3.-Vulnerabilidad

<b>Vulnerabilidad</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>Notas</b>
a) Es difícil realizar un monitoreo de las actividades ilegales dentro del ANP.					
b) La aplicación de leyes es baja en la región.					
c) No existe una autoridad dedicada al cuidado de los recursos naturales					
d) La corrupción y los sobornos son comunes en toda la región.					
e) El área está atravesando disturbios civiles y / o inestabilidad política.					
f) Las prácticas culturales, creencias y usos tradicionales entran en conflicto con los objetivos del ANP.					
g) El valor de mercado de los recursos del ANP es alto.					
h) El área es de fácil acceso para actividades ilegales.					
i) Existe una fuerte demanda de los recursos vulnerables del ANP.					
j) El director del ANP es presionado a explotar impropriadamente los recursos del área.					
k) El reclutamiento y retención de empleados es difícil.					
l) Los grupos voluntarios pierden interés rápidamente					
m) Grupos voluntarios están en riesgo cuando hacen recorridos dentro del ANP					

### 4.-Objetivos-planificación

<b>Objetivos de planificación</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>Notas</b>
a) Existe un plan de manejo, plan de gestión, o algún instrumento legal de ANP					
b) Existen objetivos para el ANP y las actividades de manejo están acorde a los objetivos					
c) Los objetivos del ANP contemplan la protección y conservación de la biodiversidad. (esto incluye ecosistemas)					
d) Los objetivos específicos relacionados a la biodiversidad son claramente expresados en el plan de manejo.					
e) Las políticas y planes de manejo son consistentes con los objetivos del ANP.					
f) Los empleados y administradores del AP comprenden los objetivos y políticas de la misma.					
g) Las comunidades locales apoyan los objetivos generales del ANP.					
h) Las comunidades y actores claves son participes de revisión de objetivos de manejo					
i) Existe un plan de trabajo anual para el ANP y sus centros poblacionales					

### 5.- Seguridad legal-Planeación

<b>Seguridad legal</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>Notas</b>
a) El ANP está protegido jurídicamente					
b) La protección del ANP está legalmente respaldada a largo plazo.					
b) No existen conflictos en el uso de suelo.					
c) La demarcación de los límites se adecua a los objetivos del ANP.					
d) El personal y recursos financieros se adecuan a las actividades críticas en cuanto a la aplicación de leyes.					
e) Los conflictos con la comunidad local son resueltos de manera justa y efectiva.					
f) El ANP puede estar en riesgo por colonizadores ilegales					

## 6.- diseño del sitio y planificación

<b>Diseño del sitio y planificación</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>Notas</b>
a) La ubicación del ANP es consistente con sus objetivos.					
b) El diseño y configuración del ANP optimiza la conservación de la biodiversidad. (Incluye ecosistemas).					
c) El sistema de zonificación del ANP se adecua a sus objetivos.					
d) El uso de la tierra en los alrededores permite el manejo efectivo del ANP.					
e) El ANP está vinculada a otra área de conservación o protección. (AP adyacentes y conectividad entre áreas p.e. Corredores ¿Cómo?)					
f) Se conocen los límites del ANP o del sitio Ramsar entre las comunidades cercanas.					

## 7.-Asignación de personal-Insumos

<b>Asignación de personal-insumos</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>Notas</b>
a) La cantidad de personal es suficiente para manejar el área efectivamente. (¿cuántos, para qué, hay análisis de necesidad de personal en plan de manejo?)					
b) El personal posee capacidades que le permiten llevar a cabo actividades de manejo crítico.					
c) Las oportunidades de capacitación y desarrollo se adecuan a las necesidades del personal.					
d) El desempeño del personal y sus avances sobre las metas son evaluados periódicamente. (si sí, ¿cuál instrumento?)					
e) Las condiciones de empleo son lo suficientemente buenas como para retener personal de alta calidad.					
f) el personal tiene la facultad de aplicar las normas del ANP					
g) Las comunidades participan activamente en actividades del ANP					

## 8.-Comunicación e información – insumos

<b>Comunicación e información</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>Notas</b>
a) Existen los medios adecuados para la comunicación entre el personal de campo y oficina.					
b) Los datos ecológicos y socioeconómicos existentes se adecuan a la planificación del manejo.					
c) Existen los medios adecuados para la recolección de datos nuevos.					
d) Existen los sistemas adecuados para el procesamiento y análisis de datos.					
e) Existe una comunicación efectiva con las comunidades locales.					
f) El ANP tiene y ejecuta un plan de educación ambiental para las comunidades relacionadas con el área.					
g) Las actividades realizadas en el ANP son dadas a conocer en portales oficiales					

## 9.- Infraestructura y equipos-insumos

<b>Infraestructura y equipos-insumos</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>Notas</b>
a) La infraestructura de transporte es adecuada para el desempeño de las actividades críticas de manejo.					
b) El equipo de campo es adecuado para desempeñar las actividades críticas de manejo.					
c) La infraestructura es adecuada para que el personal desempeñe las actividades críticas de manejo.					
d) La infraestructura para visitantes se adecua al volumen de visitas.					

## 10.- Finanzas-Insumos

<b>Finanzas e insumos</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>Notas</b>
a) El financiamiento de los últimos 5 años ha sido adecuado para ejecutar las actividades críticas de manejo.					
b) El financiamiento para los próximos 5 años es adecuado para ejecutar las actividades críticas de manejo.					

c) Las prácticas de manejo financiero permiten un eficiente y efectivo manejo del AP.				
d) La distribución de gastos se adecua a las prioridades y objetivos del AP.				
e) La perspectiva financiera a largo plazo para el AP es estable.				
f) En caso de existir cuotas de entrada, son destinadas al manejo del ANP				

#### 11.-Planificación del manejo – procesos

<b>Planificación del manejo</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>Notas</b>
a) Existe un plan de manejo escrito amplio y relativamente reciente.					
b) Existe un amplio inventario de los recursos naturales y culturales.					
c) Existe un análisis y estrategia para encarar las amenazas y presiones que enfrenta el AP.					
d) Un plan de trabajo detallado identifica las metas específicas para cumplir los objetivos de manejo.					
e) Los resultados de la investigación y el monitoreo son incorporados rutinariamente a la planificación.					
f) El AP cuenta con planes de control y protección, investigación y manejo de desechos, los ejecuta y da seguimiento					
g) El ANP participa activamente en los muestreos de Alta Resolución-Monitoreo de la Diversidad (SARMOD)					
h) Se contempla el manejo adaptativo dentro del ANP					

#### 12.-Toma de decisiones para el manejo

<b>Toma de decisiones para el manejo</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>Notas</b>
a) Existe una clara organización interna.					
b) La toma de decisiones de manejo es transparente.					
c) El personal del AP colabora regularmente con los socios, comunidades locales y otras organizaciones.					
d) Las comunidades locales participan de las decisiones que les afectan.					
e) Existe comunicación efectiva entre todos los rangos del personal y administración del AP.					

#### 13- Investigación, monitoreo y evaluación – procesos

<b>Investigación, monitoreo y evaluación</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>Notas</b>
a) Los impactos de prácticas legales e ilegales son monitoreados con precisión y debidamente registrados.					
b) La investigación sobre temas ecológicos clave se adecua a las necesidades del AP.					
c) La investigación sobre temas sociales clave se adecua a las necesidades del AP.					
d) El personal del ANP tiene acceso regular a investigaciones y recomendaciones recientes.					
e) Las necesidades críticas de investigación y monitoreo son identificadas y priorizadas.					
f) Se hace monitoreo de la efectividad de manejo en el ANP. (¿cómo se usan los resultados para mejorar el manejo, mecanismos formales?)					
g) Los resultados de las investigaciones o monitoreos se usan para mejorar la gestión (¿cómo, qué mecanismos formales se utilizan?)					
h) El ANP está abierto a colaboración de investigaciones con universidades y centros de investigación					
i)Se contempla el manejo adaptativo dentro de las diferentes ANP					

#### 14.-Procesos de cambio climático y variabilidad climática

<b>Procesos de cambio climático y variabilidad climática</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>Notas</b>
a) El plan de manejo incorpora explícitamente los posibles impactos del cambio climático.					

b) Existe una revisión y una estrategia para abordar las amenazas relacionadas con el cambio climático.				
c) Las decisiones sobre las compensaciones de la biodiversidad y la gestión del clima son transparentes.				
d) Los impactos del cambio climático se registran claramente y se comparan con información básica.				
e) La investigación sobre temas clave relacionados con el clima es consistente con los impactos del cambio climático				
f) Se toma en cuenta la percepción social sobre el cambio climático				
g) Se tienen medidas de adaptación al cambio climático				
h) Se tienen parcelas permanentes de muestreo				

### 15.-Resultados

Resultados	3	2	1	0	Notas
a) El ANP trabaja en la detección y prevención de amenazas, así como la aplicación de leyes.					
b) El ANP ejecuta labores de restauración del sitio y esfuerzos de mitigación.					
c) El ANP tiene acciones sobre el manejo de fauna silvestre o su hábitat.					
d) El ANP trabaja en con extensión comunitaria y esfuerzos de educación.					
e) El ANP controla el ingreso de visitantes y turistas de acuerdo a la capacidad de carga.					
f) El ANP desarrolla y da mantenimiento a infraestructura.					
g) El ANP planifica el manejo e inventarios dentro del área.					
h) El ANP está sujeto a monitoreo, supervisión y evaluación de personal.					
i) El ANP provee cursos de capacitación y desarrollo de personal técnico y local.					
j) Las investigaciones son realizadas de acuerdo a los objetivos del ANP y el interés de los investigadores.					
k) Los resultados de manejo son monitoreados					
l)El ANP brinda capacitación de sensibilización ambiental					
m) EL ANP ha desarrollado un plan de estrategias de adaptación al cambio climático					
n) Se tienen objetos de conservación identificados y bajo manejo.					
o) Se tiene un plan de adaptación al cambio climático					
p) Se tiene un plan de gestión de riesgos ante eventos climáticos					
q) Se incorporan nuevas acciones de manejo de acuerdo con los resultados de cambio climático					

### Formulario 4 (Debe contestarse por manejadores de ANP, universidades, o representantes del gobierno federal u ONG que trabajen en el área con recursos naturales).

Trabajo multidisciplinario en el trabajo de integridad eco hidrológica

“Se contempla la evaluación del trabajo coordinado a nivel de cuenca, ANP o paisaje. La finalidad es determinar si el grado de colaboración puede estar ayudando o no a la integridad de la zona de estudio”. En caso de no aplique una respuesta, colocar N/A en la sección de notas.

Trabajo multidisciplinario en la cuenca	3	2	1	0	Notas
a) Existe un trabajo integral a lo largo y ancho de la cuenca costera por parte de las instituciones					
b) Existe una relación de co-manejo entre el sitio Ramsar y la Reserva de la Biosfera La sepultura (REBISE) para reducir problemas de erosión.					
c) Se han desarrollado talleres de planeación entre la CONAGUA, universidades, sitios Ramsar y la REBISE					
d) El municipio ha apoyado directamente actividades de trabajo multidisciplinario					
e) Se han desarrollado actividades de difusión entre varias organizaciones que trabajan en la zona.					
f) El sitio Ramsar Puerto Arista ha apoyado actividades de restauración en la cuenca media y alta.					
g) La REBISE ha apoyado actividades de restauración en la cuenca baja.					

h) Existen proyectos de restauración paisajística liderados por un equipo multidisciplinario				
i) Existen actividades de turismo en conjunto entre las dos unidades protegidas.				
j) Se han realizado limpiezas a lo largo del ecosistema fluvial donde confluya el municipio, la Conagua, la REBISE, ONG, universidades, comunidades locales y el sitio Ramsar				
k) Existe una relación entre la SEMARNAT, PROFEPA y el sitio Ramsar para atender problemas de colonización de tierras en zonas de humedales azolvadas				
m) El consejo de cuencas organiza al menos una reunión mensual entre universidades, ONG's, organizaciones feriales (ANP, SECTUR), sociedad civil, para discutir temas sociales, económicos y ecológicos de la cuenca.				
n) Se tiene conocimiento por parte de la entidad que representa sobre el estado actual de la situación económica, ecológica y social de la cuenca.				
ñ) Existe un programa operativo anual (POA) por de manera conjunta para salvaguardar los recursos naturales de la cuenca				
o) De manera conjunta, existen demostraciones de campo hacia las comunidades para un uso responsable de los recursos naturales y procurar una sensibilización ambiental de manera integral.				
p) La organización o entidad que usted representa, constantemente tiene intercambio de información con las demás entidades que trabajan en la cuenca.				

## Anexo 2.-PROTOCOLO DE ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA

Entidad: Actores claves

Análisis de la integridad Eco-hidrológica en un municipio de la región Istmo-Costa de Chiapas:  
Caso subcuenca Río Zanatenco, México

Persona entrevistada:	
Por qué es clave:	
Nombre de los entrevistadores/as:	
Fecha	Comunidad
Presentación	
Coordenadas: X	Y
<p>Buenos días</p> <p>Mi nombre es _____ y mi compañero es _____. Somos estudiantes de CATIE y estamos aquí con el objetivo de entrevistarle, para conocer su opinión y recibir sus comentarios sobre el clima y su impacto sobre la gente. Esta entrevista puede durar entre 30 y 40 minutos.</p> <p>Su participación en esta conversación es totalmente voluntaria, si no desea participar o si existe alguna pregunta que no desea contestar puede decírmelo sin ningún problema. Si en algún momento se incomoda y no quiere continuar, por favor me lo hace saber. Su respuesta es anónima, esta será estudiada en conjunto y no se analizará en particular.</p> <p>En caso de que mi pregunta no sea clara o desee una explicación adicional no dude en preguntarme. Autoriza usted que mi compañero tome notas y fotografías de nuestra entrevista para no perder la información y poder analizarla. Queremos estar seguros de que ha quedado claro que está participando en esta entrevista de manera voluntaria.</p>	
1.- ¿Ha escuchado hablar de las Contribuciones de la Naturaleza a la Gente (SE) o SE?	
2.- ¿Considera usted que la naturaleza le otorga beneficios económicos, ambientales y sociales a la comunidad? ¿Cuáles?	
*3.- De las siguientes imágenes, ¿cuál considera usted que le ha beneficiado más?	
A) Creación y mantenimiento del hábitat	
B) Polinización y dispersión de semillas y otros propágulos	
C) Regulación de la calidad del aire	
D) Regulación del clima	
E) Regulación de la acidificación del océano	
F) Regulación de la cantidad y localización de agua dulce	
G) Regulación de la calidad de agua dulce y costera	
H) Formación, protección y descontaminación de suelos y sedimentos	
I) Regulación de riesgos y eventos extremos	
J) Regulación de organismos perjudiciales y procesos biológicos.	
K) Energía	
L) Comida y alimentación	
M) Materiales, compañerismo y trabajo	
N) Recursos médicos, bioquímicos y genéticos	
O) Aprendizaje e inspiración	
P) Experiencias físicas y psicológicas	
Q) Identidades de apoyo	
R) Mantenimiento de opciones	
4.- De las imágenes anteriores, ¿Cuál considera usted que es la CNG que más presión tiene por parte de las localidades?	
5.- ¿Además de las mencionadas, considera usted algún otro beneficio de la naturaleza a la gente?	

6.- ¿Conoce usted sobre alguna iniciativa para conservar las CNG? ¿Cuáles?
7.- ¿Conoce usted sobre los pagos por servicios ecosistémicos? En caso de que si, reciben algún apoyo
8.- ¿Estaría dispuesto a contribuir económicamente para que esto se conserve?
9.- ¿Estaría dispuesto a colaborar de manera gratuita en acciones de reforestación en la parte alta, media y baja de la cuenca para el cuidado de los cuerpos de agua?
10.- ¿Considera usted que hay un cambio en la temperatura, precipitación y otras variables climáticas?
11.- ¿Cree usted que la cultura de la persona influye en el cuidado de los recursos naturales?
12.- ¿Aprovecha algún recurso natural para su beneficio económico? ¿Cuáles?

\*Se mostrarán imágenes impresas para que sea más rápida la identificación de las CNG

Agradecemos mucho su colaboración y su atención, ha sido parte de un proceso de formación de conocimiento de gran utilidad para nosotros como estudiantes y como investigadores.

Observaciones:

### ANEXO 3. INDICADORES DE IEH (ECOSISTEMA FLUVIAL)

Objeto de conservación: Ecosistema fluvial				
Indicadores de estructura				
AEC	Indicador	Métrica	Evaluación	Información de la metodología completa
BR	Área de la cobertura longitudinal	%	Metros	González, (2006); Georgia Environmental Protection Division, (2014);
BR	Fragmentación del bosque ribereño	%	% de parches	
BR	Tamaño promedio del parche (Area_MN)	(Ha)	AREA_MN > 0, sin límite	Wu, 2013; McGarigal, (2015).
BR	Índice del parche más grande (LPI)	%	$0 < LPI \leq 100$	Wu, 2013; McGarigal, (2015).
BR	Densidad de borde (ED)	m/ha	$ED \geq 0$ , sin límite	Wu, 2013; McGarigal, (2015).
		%	0-100	
BR	Índice de interspersión y juxtaposición (IJI)	%	$0 < IJI \leq 100$	Wu, 2013; McGarigal, (2015).
BR	Índice de agregación (AI)	%	$0 \leq AI \leq 100$	Wu, 2013; McGarigal, (2015).
BR	Número de parches (NP)	NP	$NP \geq 1$ , sin límite	Wu, 2013; McGarigal, (2015).
BR	Densidad de parches (PD)	Nº/ 100 ha	$PD > 0$	Wu, 2013; McGarigal, (2015).
		%	0-100	
BR	Índice de división (DIVISIÓN)	%	$0 \leq DIVISION < 1$	Wu, 2013; McGarigal, (2015).
BR	Distancia al vecino Euclidiano más cercano (ENN)	M	$ENN > 0$ , sin límite	Wu, 2013; McGarigal, (2015).
BR	Ancho promedio de la vegetación ribereña (Siguiendo la LAN 1192)	(%)	Estimación visual	Georgia Environmental Protection Division, (2014);
BR	Porcentaje de cobertura vegetal	(%)	Estimación visual	González, (2006); Georgia Environmental Protection Division, (2014);
BR	Área total de cultivos agrícolas	(%)	Estimación visual	González, (2006); Georgia Environmental Protection Division, (2014);
RH	Alteraciones antrópicas en la característica del cauce.	(%)	Estimación visual	González, (2006); Georgia Environmental Protection Division, (2014);
RH	Presencia de construcciones antrópicas a lo largo del cauce.	(%)	Estimación visual	González, (2006); Georgia Environmental Protection Division, (2014);

Objeto de conservación: Ecosistema fluvial				
Indicadores de estructura				
AEC	Indicador	Métrica	Evaluación	Información de la metodología completa
RH	Composición del sustrato del lecho del río.	(%)	Estimación visual	Georgia Environmental Protection Division, (2014);
RH	Porcentaje de vegetación (troncos, ramas, hojas) dentro del cauce, adyacentes de la vegetación ribereña	(%)	Estimación visual	González, (2006); Georgia Environmental Protection Division, (2014);
Indicadores de composición				
BR	Cobertura del suelo (puntos)	%	Cobertura= (Número de puntos por uso/Número total de puntos) *100	Hamilton (2013)
BR	Área Total (CA)	ha	CA > 0, sin límite	Wu, 2013; McGarigal, (2015).
BR	Porcentaje del paisaje (PLAND)	(%)	$0 < PLAND \leq 100$	Wu, 2013; McGarigal, (2015).
BR	Composición de especies nativas VS exóticas	(%)	Composición = (N° de sp exóticas/N° total de especies) *100	Enriquez Brambila, (2018)
BR	Diversidad de edades en el bosque ribereño	(%)	Estimación visual	Enriquez Brambila, (2018)
BR	Regeneración de especies	(%)	Estimación visual	González, (2006)
BR	Número de obras de conservación de suelos	(%)	Estimación visual	-----
BR	Sistemas agroforestales	(%)	Estimación visual	-----
BR	Sistemas silvopastoriles	(%)	Estimación visual	-----
BR	Cercas vivas establecidas	(%)	Estimación visual	-----
RH	Formación de bancos de sedimentos (parte alta y media).	(%)	Estimación visual	Georgia Environmental Protection Division, (2014);
RH	Formación de bancos de sedimentos (baja)	(%)	Estimación visual	Georgia Environmental Protection Division, (2014);
RH	Colonización de especies vegetales en bancos de sedimentos	(%)	Estimación visual	Enriquez Brambila, (2018)
RH	Grado de estabilidad de los taludes del cauce.	(%)	Estimación visual	González, (2006); Georgia Environmental Protection Division, (2014);
RH	Compactación de los márgenes del cauce	(%)	Estimación visual	González, (2006); Georgia Environmental Protection Division, (2014);
Indicadores de función				

Objeto de conservación: Ecosistema fluvial				
Indicadores de estructura				
AEC	Indicador	Métrica	Evaluación	Información de la metodología completa
BR	Distancia Promedio entre fragmentos	Metros	SIG	---
BR	Estrés hídrico (NDWI)		$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$	McFeeters, (2013); MA, CTCN, CATIE, ICRAF, (2016)
BR	Índice Normalizado de Vegetación diferenciada (NDVI)		$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	MA, CTCN, CATIE, ICRAF. (2016).
BR	Cobertura del suelo	(%)	Estimación visual	---
BR	Conectividad del bosque ribereño con ecosistema adyacente.	(%)	Estimación visual	González, (2006)
BR	Conectividad entre parches de cultivos.	(%)	Estimación visual	González, (2006)
RH	Estado actual mediante uso de bioindicadores	Rangos	Suma obtenida de las familias de macroinvertebrados indentificados.	BMWP-Decreto N° 33903-MINAE-S (2007); GWW (2014)
RH	Dureza	mg/l	D=Número de agregadas usadas*5	GWW, (2014)
RH	Alcalinidad	mg/l	A=Número de agregadas usadas*5	GWW, (2014)
RH	Oxígeno disuelto	PPM	OD= (ml1+ml2) /2	GWW, (2014)
RH	pH	Unidades de pH	Comparación con Cuadro de colores	GWW, (2014)
RH	UFC de coliformes fecales	UFC/100 ml	E. coli= (número de E. coli en caja Petri/ volumen de la muestra) *100	GWW, (2014)
RH	Conectividad transversal con las zonas de inundación.	(%)	Estimación visual	Georgia Environmental Protection Division, (2014);
RH	Red de drenaje sin interrupción alguna.	(%)	Estimación visual	Georgia Environmental Protection Division, (2014);
RH	Basura plástica en el agua.	(%)	Estimación visual	Enriquez Brambila, (2018)
RH	Color del agua	(%)	Estimación visual	Enriquez Brambila, (2018)
RH	Olor del agua	(%)	Estimación visual	Enriquez Brambila, (2018)
RH	Presencia de especies de algas en el cuerpo de agua.	(%)	Estimación visual	Enriquez Brambila, (2018)

#### ANEXO 4. INDICADORES DE IEH (MANGLAR)

Objeto de conservación: Ecosistema de manglar				
Indicadores de estructura				
AEC	Indicador	Métrica	Evaluación	Información de la metodología completa
Manglar	Cobertura empleando dos árboles en conglomerado SARMOD	Ha	$C = (\text{Superficie de copa/superficie total}) * 100$	García-Alaniz, N.; M. Schmidt. 2016
Manglar	Tamaño promedio del parche (Area_MN)	(Ha)	$AREA\_MN > 0$ , sin límite	McGarigal, (2015).
Manglar	Índice del parche más grande (LPI)	%	$0 < LPI \leq 100$	McGarigal, (2015).
Manglar	Densidad de borde (ED)	m/ha	$ED \geq 0$ , sin límite	McGarigal, (2015).
		%	0-100	
	Índice de interspersión y juxtaposición (IJI)	%	$0 < IJI \leq 100$	$0 < IJI \leq 100$
Manglar	Índice de agregación (AI)	%	$0 \leq AI \leq 100$	McGarigal, (2015).
Manglar	Número de parches (NP)	NP	$NP \geq 1$ , sin límite	McGarigal, (2015).
Manglar	Índice de división (DIVISIÓN)	%	$0 \leq DIVISION < 1$	McGarigal, (2015).
Manglar	Distancia al vecino Euclidiano más cercano (ENN)	M	$ENN > 0$ , sin límite	McGarigal, (2015).
Manglar	Enfermedad visual del árbol	%	Percepción rápida	---
Indicadores de composición				
Manglar	Regeneración de especies	%	$R = N^\circ \text{ plantas/m}^2$	----
Diversidad de especies	Número de especies conservadas bajo algún esquema de protección de la NOM-059-semarnat-2009	Número	Revisión literatura	----
Manglar	Área Total (CA)	ha	$CA > 0$ , sin límite	McGarigal, (2015).
Manglar	Porcentaje del paisaje (PLAND)	(%)	$0 < PLAND \leq 100$	McGarigal, (2015).

## ANEXO 5. JUSTIFICACIÓN DE INDICADORES PARA EL ECOSISTEMA FLUVIAL

### OBJETO DE CONSERVACIÓN: ECOSISTEMA FLUVIAL

#### Indicadores de estructura

**Descripción: El ecosistema fluvial comprende métricas de paisaje, evaluación del bosque de ribera y de una zona de influencia a este, así como la evaluación al recurso hídrico. Para los indicadores de estructura se tienen 11 indicadores cuantitativos y 7 indicadores de percepción rápida.**

AEC	Indicador	Justificación	Tipo
BR	Área de la cobertura longitudinal	Este indicador es recomendable tomarse en campo, midiendo la proyección vertical de la copa hacia el suelo, y cuantificarla respecto al total de área evaluado, y si se desea, se puede cuantificar con imágenes satelitales, sin embargo, en las cuencas de la región Istmo-Costa de Chiapas la vegetación es caducifolia o subcaducifolia, por lo que puede existir un sesgo cuando se evalúa en época de secas pro lo que preferiblemente esto se debe medir cuando los árboles tengan su follaje.	C
BR	Fragmentación del bosque ribereño	Diferentes estudios resaltan la importancia de los bosques ribereños como agendas de conectividad entre la fauna silvestre (Sekercioglu, 2004; Rodríguez-Mendoza y Pineda, 2010). Este indicador requiere ser evaluado por su importancia en la formación de corredores biológicos y la conectividad que permite a especies faunísticas. En las cuencas costeras de la región Istmo-Costa se tienen bosques ribereños medianamente conservados en la parte alta y media, sin embargo, las partes bajas carecen de esta vegetación por lo que se requiere evaluar ya que los resultados afectan directamente la estructura y función de estos bosques.	C
BR	Tamaño promedio del parche (Area_MN)	Este índice evalúa el tamaño promedio del parche de la clase focal (McGarigal, 2015). Se requiere evaluar este parche cuando la matriz paisajística en la llanura costera se ve presionada por ganadería y por cultivos de mango, mientras que los remanentes de bosques se ven disminuidos. Con el plan de manejo de cuencas este índice recobra importancia para ver la efectividad de las acciones realizadas.	C
BR	Índice del parche más grande (LPI)	Se refiere al porcentaje del paisaje ocupado por los tipos de parches, cuando el valor es 0 el tipo de parche dentro del paisaje es pequeño y recibe el valor de 100 cuando es un solo parche en el paisaje (McGarigal, 2015).  Con este índice se puede conocer cuál es el parche más grande en el paisaje, así como el más pequeño, por lo que se puede cuantificar en el tiempo. Aplicarlo a las cuencas costeras ayudará a identificar dentro de los planes de manejo los parches más grandes y cuantificar si se mantienen, se incrementan o se pierden en el futuro.	C

BR	Densidad de borde (ED)	Este índice evalúa la cantidad de metros lineales por cada tipo de parche existente por ha. El valor es de 0 cuando en el paisaje solo existe un parche (McGarigal, 2015). Para las cuencas costeras es importante calcular este indicador debido a la matriz paisajística en la que está inmersa, sentando las bases para muestreos en periodos de tiempo que demuestren si los parches se han conglomerado o si hay más bordes por nueva fragmentación.	C
BR	Índice de interspersión y juxtaposición (IJI)	Se refiere a la intercalación de los parches en el paisaje, por lo que buenos resultados deben contener parches bien intercalados, en una mezcla de sal y pimienta (Matteuci, 2004; McGarigal, 2015).  Evaluar este índice en las cuencas costeras ayuda a determinar la adyacencia con otros tipos de parches dentro de la matriz paisajística.	C
BR	Índice de agregación (AI)	Este índice evalúa el grado de agregación de las clases focales, por lo que cuando se tiene un valor bajo (0) las clases están desagregadas, pero cuando se obtiene el máximo valor (100), se considera un solo parche McGarigal, (2015).  Emplear este índice ayuda evaluar en el tiempo los parches focales y la forma en que se han ido agregando o desagregando, generando información para el manejo de las cuencas.	C
BR	Número de parches (NP)	Este índice evalúa la cantidad de número de parches presentes McGarigal, (2015). Evaluar la cantidad de parches en la cuenca costera permite conocer el grado de fragmentación que se tiene, la composición y estructura de la matriz paisajística. Con el tiempo esta información ayuda a conocer si se han estado incrementando los parches o han disminuido.	C
BR	Densidad de parches (PD)	La importancia de este parche radica en su medida, ya que expresa el número de parches por unidad de área, así que, si se desean comparar con otras cuencas, se facilita mucho el análisis de datos (McGarigal, 2015).	C
BR	Índice de división (DIVISIÓN)	Este índice se basa en la distribución acumulativa del área del parche y se interpreta como la probabilidad de que dos píxeles elegidos al azar en el paisaje no estén situados en el mismo parche del tipo de parche correspondiente (McGarigal, 2015). En caso de que el valor sea 0 se tomará como un solo parche y se aproximará a 1 cuando el parche focal es pequeño.  Esta información ayuda a determinar de manera indirecta el tamaño de los parches dentro de la cuenca y cuáles son aquellos parches más grandes dentro de la matriz paisajística.	C
BR	Distancia al vecino Euclidiano más cercano (ENN)	Este indicador expresa el grado de aislamiento de un parche y se basa en la distancia más corta de borde a borde, por lo que, cuando el valor se acerca a 0 se refleja una distancia cercana al vecino más cercano McGarigal,	C

(2015). Para las cuencas costeras este índice cuantifica un lado optimista y emplea el método de 8 vecinos.

Contar con esta información en las cuencas genera una base de datos de posibles parches que se pueden conectar con procesos de restauración o la diversificación de actividades como la silvicultura, agroforestería o cercas vivas.

BR	Ancho promedio de la vegetación ribereña (Siguiendo la LAN 1992)	La Ley de Aguas Nacionales (1992, reformado en 2016) menciona que la zona federal o ribera es una zona de 10 m de ancho continua al cauce principal, siendo la base el nivel máximo de aguas ordinarias. Este ancho no necesariamente refleja el ancho adecuado, pero es un medio legal para proteger los márgenes del cauce. Dado a que la medición de la ribera varía en la cuenca alta, media y baja, se realiza una caminata en ambos márgenes del río y se procede a realizar una estimación del ancho promedio de la vegetación de ribera. Este indicador estima el ancho total y con ello si el grado de protección, establecido por la ley, se está manteniendo.	PR
BR	Porcentaje de cobertura vegetal en la zona de influencia.	La matriz del paisaje tiene influencia directa e indirecta en el ecosistema fluvial, por esta razón se requiere evaluar lo que rodea a dicho ecosistema, siendo la cobertura vegetal uno de los puntos más importantes. La presencia de bosques reduce el impacto ocasionado por la lluvia sobre el suelo, reduce la fuerza de la corriente, aumenta la infiltración del suelo y disminuye la erosión (Hamilton <i>et. al</i> , 2009). Si este elemento no está en el paisaje el ecosistema fluvial se presentarán mayores perturbaciones.	PR
BR	Área total de cultivos agrícolas perennes	Los cultivos agrícolas perennes, como lo son los mangos para las cuencas costeras de la región Istmo-Costa, aunque usualmente son monocultivos, cumplen con funciones de estructura y función, por ello, esta evaluación toma peso cuando se compara con diferentes usos de suelos, como los pastizales o zonas de aprovechamiento de arena. Contar con cultivos de grandes compas es preferible a tener solamente pastizales o áreas con suelo desnudo, ya que se protege el suelo de la erosividad y permite la presencia de fauna silvestre.	PR
RH	Alteraciones antrópicas en la característica del cauce.	Este indicador busca cuantificar las perturbaciones ocasionadas por el hombre hacia los cauces del río, como, por ejemplo, la extracción de grava y arena, represas, dragados, deposiciones de basura plástica, vertimientos de escombros, entre otros. Algunos de estos daños ya se han reportado para la zona (Cueto, 2015). Las alteraciones disminuyen los valores de IEH y reducen las funciones ecosistémicas por lo que es importante el monitoreo a largo plazo.	PR
RH	Presencia de construcciones	El establecimiento de construcciones antrópicas en los cauces de los ríos modifica la dinámica natural del cauce (Vericat y Batalla, 2004) así como la distribución de especies piscícolas. Asimismo, obras de retención pueden	PR

	antrópicas a lo largo del cauce.	suponer una disminución del caudal aguas abajo que ejerce modificaciones en la dinámica fluvial. Dado a que la cuenca del río Zanatenco y probablemente otras cuencas costeras han sido objetos de intervención, se considera la evaluación de este indicador, sí la información no se obtiene en el recorrido es posible obtenerla de entes gubernamentales como la CONAGUA.	
RH	Composición del sustrato del lecho del río.	El sustrato del lecho del río depende de varios factores, por ejemplo, clima, meteorización química o la meteorización física de las rocas, esta última genera detritos y sedimentos, algunos de ellos son cantos rodados, arenas y gravas (Basile, 2018)  En las cuencas costeras la evaluación de los sustratos estará integrado por los elementos mencionados, pero en la parte baja predomina la arena.	PR
RH	Porcentaje de vegetación (troncos, ramas, hojas) dentro del cauce, adyacentes de la vegetación ribereña	Los ríos tienen una estructura y composición auspiciada por la vegetación ribereña, las ramas, troncos y hojarascas son precursores de micro ecosistemas acuáticos para los macroinvertebrados y peces del río, razón por la que es importante la presencia de este tipo de material en el río. Por la dinámica de las cuencas costeras se recomienda evaluar este parámetro, ya que es posible que se la composición en la cuenca alta y media sea un tanto diferente a la cuenca baja, pero que en ambos casos se creen condiciones para su albergar vida acuática.	PR
<b>Indicadores de composición: En lo que respecta a los indicadores de composición se tienen 4 indicadores de composición y 11 indicadores de percepción rápida.</b>			
BR	Cobertura del suelo (puntos)	El muestreo satelital es una forma de evaluar en tiempo y espacio el paisaje. Establecer un área de influencia en círculos que evalúen los puntos exactos ayudará a evaluar la tendencia de manejo de la cuenca, así como del cambio de uso de suelo. Esto se establece evaluando los porcentajes obtenidos por cada cobertura y se refleja por porcentajes (Hamilton, 2013). En aquellos puntos establecidos en los deltas de los ríos en humedales o en ciudades ayudarán a registrar los cambios de la cuenca.	C
BR	Área Total (CA)	Este indicador define la extensión total del área por lo que es importante conocerla para cuando se empleen las métricas complementarias. Para las cuencas costeras se realizó una adaptación para ser analizada, del total de buffer evaluados obtiene el porcentaje para aquellos usos de protección en la cuenca, como el bosque de ribera, el bosque mesófilo y bosque secundario. La proporción de estos dictará el grado de integridad en la cuenca.	C
BR	Porcentaje del paisaje (PLAND)	Este índice se define como la suma del número de adyacencias similares para cada tipo de parche, este se divide por el número total de adyacencias de celda en el paisaje; multiplicado por 100 para obtenerse en porcentajes	C

(McGarigal, 2015). Explicado sencillamente, cuantifica los porcentajes de las clases focales en el paisaje.

Este indicador resalta la importancia de la matriz paisajística en las cuencas costeras ya que se puede ir evaluando las diferentes clases focales en tiempo y espacio.

BR	Composición de especies nativas VS exóticas	Lo esperado en un estudio de vegetación es que se tengan especies arbóreas nativas, sin embargo, algunos sitios han sufrido el cambio de uso de suelo y por ellos hay especies arbóreas exóticas. La presencia de estas especies puede ocasionar el desplazamiento de especies nativas en el margen del río. Este indicador busca evaluar la composición original de especies en el río, puesto que al estar inmersa en una matriz paisajística variada es posible que se reporten especies ajenas a la zona pero que están integradas en el ecosistema.	C
BR	Diversidad de edades en el bosque ribereño	La diversidad de edades es un elemento importante en la integración de los ecosistemas fluviales puesto que refleja una estructura más variada y con individuos de diferentes especies y edades, siendo este un indicador de una regeneración constante en el tiempo y con pocos daños por agentes externos.	PR
BR	Regeneración de especies	En los bosques tropicales, la regeneración natural cumple funciones específicas e importantes relacionadas al mantenimiento de la diversidad (Norden, 2014). En los bosques ribereños, y aún más en cuencas costeras, la diversidad de árboles en los márgenes del río puede cumplir funciones diferentes. Sin embargo, diferentes procesos naturales como antrópicos pueden evitar este proceso. Se recomienda evaluarlo en cuencas costeras debido a que la llanura aluvial está sometida a diversos procesos antrópicos que pueden estar evitando este proceso y generar información puntual para la restauración de este ecosistema en caso de requerirse y evitar la una diversidad pobre como se ha mostrado en otros estudios (González y Cadenazzi, 2018).	PR/C
BR	Número de obras de conservación de suelos	Este indicador toma gran importancia en la cuenca alta y media, sin embargo, debe evaluarse también en la parte baja. La cuenca alta y media del río Zanatenco ha sufrido problemas de deforestación por lo que el arrastre de sedimentos puede aumentar en época de lluvias. Contar con obras de conservación en zonas con pendientes pronunciadas y con evidentes problemas de erosión puede ayudar a recuperar los ecosistemas adyacentes.	PR/C
BR	Sistemas agroforestales	Los sistemas agroforestales, como parte de la matriz paisajística que puede rodear al río, pueden cumplir con aportar a los resultados de estructura, composición y función comparándolos con cuencas o zonas en que la matriz paisajística está sometida a pastizales. Estos sistemas son de importancia para la restauración que se han comenzado a implementar en legislaciones relacionadas a la agroforestería y la restauración de ecosistemas ribereños	PR

(FAO, 2017). Asimismo, estos sistemas ayudan en la captura de carbono tal como se ha mostrado en sistemas agroforestales ribereños (Bustamante-González *et al.* 2018). Evaluar este indicador genera información puntual sobre lo que rodea el río y mejorar la estructura dentro de la matriz paisajística.

BR	Sistemas silvopastoriles	La cuenca del río Zanatenco, en la parte media-baja, tiene una gran superficie de cobertura de pastizales, debido a la actividad ganadera en la zona, lo que puede reflejarse como una integridad mala cuando no se cumplen roles de estructura, función o composición. La adaptación de ganaderos a nuevas formas de producir como este tipo de sistemas sugiere un mejor manejo en a la cuenca y en sus terrenos, aumentando a la cantidad de árboles presentes, por lo tanto, los valores de estructura y función se verán beneficiados.	PR
BR	Cercas vivas establecidas	Las cercas vivan son una forma de delimitar terrenos por ganaderos, si bien en la cuenca del río Zanatenco se ha notado el uso de alambrados, es común que los ganaderos dejen árboles en las orillas para la generación de sombras para el ganado. Mantener o aumentar este tipo de actividades ayuda a la mejora de los resultados en la toma de datos y genera un aumento de los servicios ecosistémicos por lo que se debe evaluar este tipo de actividades en zonas aluviales costeras.	PR
RH	Formación de bancos de sedimentos (parte alta y media).	Los bancos de sedimentos son por lo general resultado del arrastre de sedimentos producto de la erosión de los márgenes del río. La parte alta de la cuenca se considera la zona de producción y la parte media la zona de transferencia (Basile, 2018). Es menso común encontrar bancos de sedimentos en esta zona de la cuenca, sin embargo, la pendiente del cauce del río puede ser diferente a la de la cuenca por lo que se pueden generar bancos de sedimentos. La evaluación de los bancos de sedimentos puede sugerir el grado de erosión en la cuenca y la dinámica del río.	PR
RH	Formación de bancos de sedimentos (baja)	La parte baja de la cuenca está ubicada dentro de la zona de deposición de sedimentos (Basile, 2018) por lo tanto, es más común ver la formación de dichos bancos.  Para la región costera de Chiapas, y en específico para la cunca del río Zanatenco se han registrado modificaciones al cauce principal por lo que se ha disminuido los meandros del cauce y con ello modificando la dinámica de deposición. Evaluar este indicador ayuda a cuantificar el número de bancos en una superficie determinada.	PR
RH	Colonización de especies vegetales en	La presencia de especies vegetales en los bancos de sedimentos ayuda a la estabilización de estos, además, reciben especies de bosque ribereño y otras que ayudan a la formación de islas y con el tiempo rediseñar el cauce del río. En la cuenca del río Zanatenco el encausamiento y la creación de un	PR

	bancos de sedimentos	cauce recto que en época de luvias no disminuye velocidad por falta de meandros ha ayudado a la poca colonización de los bancos de sedimentos, por ellos, se requiere la evaluación de estos para entender el comportamiento hídrico y la deposición de los sedimentos.	
RH	Grado de estabilidad de los taludes del cauce.	Este concepto está muy relacionado a la erosión lineal en una red hidrográfica, debido a que este proceso, entre otros, está relacionado a la erosión de los márgenes del cauce principal (Basile, 2018). Por tal razón, se requiere evaluar el grado de estabilidad de los taludes ya que si su estabilidad es muy baja existe algo riesgo de erosión hídrica que ocasiona dos eventos: 1) El ensanchamiento del cauce por erosión y 2) La modificación del paisaje por resultado de la deposición de sedimentos.  Evaluar la estabilidad de los taludes en las cuencas costeras ayuda a obtener mejores resultados sobre el proceso de integridad ecohidrológica, ya que en muestreos prospectivos se notó la presencia de zonas con aprovechamiento de arena, extracción de graba y ganadería en las orillas del cauce.	PR
RH	Compactación de los márgenes del cauce	La compactación de los márgenes del cauce es de importancia cuando se abarca la estructura y composición de especies arbóreas. Se reconoce que la presencia del turismo tiene un impacto negativo sobre el suelo, como la compactación (MMA, CTCN, CATIE, ICRAF.2016.). En las cuencas costeras también se le puede agregar la ganadería, el desarrollo de caminos cercanos al río, e infraestructuras. Esto reduce el área de regeneración de especies en los márgenes del río y evita que las especies vegetales puedan proliferar (González <i>et al.</i> 2006), razón por la que es recomendable evaluar la compactación en el cauce.	PR

---

Indicadores de función: **Los indicadores de función están divididos en 9 indicadores cuantitativos y 9 indicadores de percepción rápida.**

---

BR	Distancia Promedio entre fragmentos	Los bosques fragmentados funcionan como islas para especies siendo la distancia uno de los principales factores que determinan la conectividad entre estos o no, así como el recambio de especies, ya que no es lo mismo para aves que para mamíferos o reptiles. Evaluar este indicador ayuda a generar información sobre el grado de conectividad estructural entre los fragmentos y las probabilidades de conectancia.	C
BR	Estrés hídrico (NDWI)	Empleando imágenes satelitales y aplicando el índice diferencial de agua normalizado (NDWI, por sus siglas en inglés), se puede evaluar los cuerpos de agua y el grado de saturación de humedad en el suelo. Para los humedales marino-costeros resulta aún más importante porque permite evaluar la fluctuación de estos a lo largo del año, facilitando los análisis espacio-temporal y generando bases sobre cómo los azolves pueden modificar la distribución de las especies de manglar.	C

BR	Índice Normalizado de Vegetación diferenciada (NDVI)	Este índice es empleado para determinar el desarrollo y vigorosidad de la vegetación, a través de la reflectancia de sus hojas hacia ciertas bandas del espectro electromagnético. Este índice de mucha utilidad también cuando se evalúa cultivos agrícolas. Para la cuenca es importante evaluarlo ya que con el tiempo permitirá reflejar la vegetación, su vigorosidad y a la vez relacionarlo con el estrés hídrico.	C
BR	Cobertura del suelo	Este indicador basa su importancia en la presencia de bosques en el bosque ribereño, al menos en la zona establecida en la legislación o en manuales de aprovechamiento forestal. Hamilton (2009), asegura que la contaminación difusa se puede eliminar o disminuir gradualmente con la cubierta vegetal. La cuenca del río Zanatenco está dentro de ANPs, sin embargo, no se garantiza la permanencia del bosque ribereño, razón por la que este indicador ayuda en la evaluación de la IEH.	C
BR	Conectividad del bosque ribereño con ecosistema adyacente.	Los bosques ribereños no son un ecosistema aislado por lo que están relacionados con los ecosistemas adyacentes, hablando en términos de estructura, función y composición. Además, estar cerca ayuda a la conectividad biológica faunística y florística, fungiendo como corredores transversales al cauce de ribera (Ceccón, 2003). En la línea, Gutiérrez y Becerra (2018) estudiaron la composición, estructura y riqueza de los bosques ribereños comparándolos con los de las laderas, y aunque existen diferencias estos están relacionados entre sí, por lo que es importante evaluar la adyacencia del bosque ribereño con otros ecosistemas. La cuenca del río Zanatenco es una zona de importancia para este estudio debido a la matriz paisajística en que está inmersa.	C
BR	Conectividad entre parches de cultivos.	En aquellos casos en que no se presente bosque adyacente es posible que existan parches de vegetación perenne, tal como son los cultivos de mango o cítricos para la cuenca. En ausencia del bosque estos cultivos cumplen con conectividad estructural y además protegen al suelo de erosión hídrica y eólica.	C
RH	Estado actual mediante uso de bioindicadores	Los bioindicadores son de los principales organismos empleados para determinar el grado de perturbación en un cuerpo de agua en espacio y tiempo (GWW, 2014)  La presencia/ausencia de los macroinvertebrados bentónicos, sugieren los diferentes grados de contaminación en un cuerpo de agua, por ello, establecer puntos de muestreo en la cuenca del río Zanatenco, contribuye a determinar el estado actual y la dinámica del agua en la cuenca alta, media y baja.	C
RH	Dureza	Evalúa la cantidad de calcio (Ca) y magnesio (mg) disuelta en el agua. Las fuentes de dureza son las rocas calizas pudiendo ser carbonato de calcio (CaCO <sub>3</sub> ) o carbonato de magnesio (MgCO <sub>3</sub> ). Emplear este indicador ayuda	C

a saber el comportamiento del cauce en diferentes épocas del año y a saber si existen vertimientos en la parte alta, media y baja.

RH	Alcalinidad	La alcalinidad está muy relacionada al pH y funge como la capacidad amortiguadora ante los cambios en los niveles de concentración del pH. En cuerpos de agua naturales la fuente de alcalinidad es son principalmente, los iones de carbonato ( $\text{HCO}_3$ ) y bicarbonato ( $\text{CO}_3$ ) a través de procesos geológico y edáficos. (GWW, 2014). Monitorear el pH en las cuencas costeras sugiere un seguimiento a posibles cambios en el agua por adición de ácidos o bases.	C
RH	Oxígeno disuelto	El OD es un indicador para conocer el grado de saturación de oxígeno en el agua, relacionándose directamente con el grado de contaminación del agua. Del resultado de este parámetro depende la vida animal y vegetal en los cuerpos de agua. Valores altos de OD están relacionados a agua de mejor calidad (GWW, 2014).	C
RH	pH	El pH es una medida indicadora del grado de acidez o alcalinidad del agua, siendo 7 un pH neutral, aunque se considera que el pH óptimo para el desarrollo de la vida acuática oscila entre 6.5 y 8. (GWW,2014). Los estudios del pH ayudarán a detectar alteraciones en las cuencas costeras, producto de perturbaciones naturales y antrópicas.	C
RH	UFC de coliformes fecales	Las bacterias pertenecientes a la las coliformes fecales en su mayoría son inofensivas, sin embargo, dentro de estas se encuentra la <i>Eshcerichia coli</i> , bacteria que habita en los intestinos de animales y humanos por lo que la presencia de estas bacterias en el agua se traduce como contaminación fecal. (GWW, 2014). El grado de concentración de esta bacteria en el agua determina el grado de contaminación. Este indicador es necesario que se contemple en las cuencas ya que refleja la contaminación del agua a través de su desplazamiento por la cuenca, viendo la marcada diferencia de un río antes y después de pasar por una ciudad. En este caso, el río principal pasa a un costado de la cabecera municipal y la presencia <i>de E. coli</i> puede significar descargas directas en el río.	C
RH	Conectividad transversal con las zonas de inundación.	Las cuencas costeras de Chiapas cuentan con un gran porcentaje en la llanura costera, esto conlleva a que la dinámica del río tienda a inundar zonas cercanas al cauce fluvial, permitiendo la dispersión de semillas y el llenado de pozas temporales. Dado a que se han presentado problemas de inundación en comunidades muchos ríos cuentan con barreras para evitar este hecho sin contemplar que es parte del ciclo natural. Evaluar esta conectividad puede ayudar a entender la riqueza de especies florísticas en las zonas naturales de inundación y el reacomodo de sedimentos en la cuenca baja.	PR

RH	Red de drenaje sin interrupción alguna.	La conectividad transversal de los cauces es muy importante cuando se habla de conectividad funcional y estructural de especies acuáticas en los cuerpos de agua, como los peces. Algunas especies de peces tienden a desplazarse aguas arriba y la colocación de presas de gaviones, mampostería entre otras, evita tal movimiento, por lo que el ecosistema fluvial, para tener una buena integridad, requiere tener un flujo natural del cauce a lo largo del río. (Dado a que es posible que en el punto no caigan preseas se recomienda solicitar información a instituciones correspondientes, como la Comisión Nacional del Agua.	PR
RH	Basura plástica en el agua.	La basura plástica en el agua repercute directamente en la calidad del agua, iniciando por la contaminación visual hasta contaminación con residuos químicos o fosfatos derivados de botellas de pesticidas o jabones. Asimismo, sugiere la presencia de asentamientos humanos río arriba o desechos de turistas sobre el cauce principal, por lo que evaluar este indicador ayuda a tomar mejores decisiones sobre el manejo del ecosistema fluvial.	PR
RH	Color del agua	El agua limpia es incolora, sin embargo, en un ecosistema fluvial la suma de diferentes elementos (sustrato, ramas, hojarasca, algas etc) en el cauce puede generar un color uniforme del río en la parte alta y la parte media del cauce cuando no existen avenidas. Las partes bajas de las cuencas costeras probablemente presentarán un color más turbio debido al sustrato arenoso del cauce. Este indicador es recomendable evaluarlo por épocas ya que en periodo de lluvias todo el río presentará un color chocolatoso debido a los sedimentos arrastrados.	PR
RH	Olor del agua	El olor es un elemento físico del agua y uno de los primeros en reconocerse, sin necesidad de hacer estudios de calidad de agua, para tener conocimiento que existe algún tipo de contaminación en el cuerpo de agua. Este indicador permite alertar de cambios en el agua. La cuenca del río Zanatenco debe tener este componente como posible indicador de vertimientos de aguas negras en la ciudad o como indicador de presencia de ganadería en los cuerpos de agua, mismo que puede alertar para realizar estudios más profundos.	PR
RH	Presencia de plantas acuáticas en el cuerpo de agua.	La presencia de plantas acuáticas en los cuerpos de agua puede sugerir parte de la composición del ecosistema fluvial, sin embargo, en algunos casos puede relacionarse al aumento de material orgánico en el agua, además, el adecuado manejo o no de las cuencas, puede repercutir sobre los niveles de nutrientes en los cuerpos de agua y con ello, la proliferación de este tipo de especies vegetales (Harley, 2019). Para las cuencas costeras, es importante evaluarlo en la parte alta y media, esta información puede complementar resultados en la zona de manglares. Asimismo, estas especies pueden formar	PR

micro ecosistemas para macroinvertebrados acuáticos de donde se pueden obtener explicaciones de calidad de agua.

## ANEXO 6. JUSTIFICACIÓN DE INDICADORES PARA EL MANGLAR

Objeto de conservación: Ecosistema de manglar			
Indicadores de estructura			
Descripción: <b>Los indicadores de estructura están agrupados en 9 indicadores de estructura y 2 de percepción rápida.</b>			
AEC	Indicador	Justificación	Tipo
Manglar	Cobertura empleando dos árboles en conglomerado SARMOD	La cobertura de manglar es un índice importante cuando se desea evidenciar el comportamiento de este ecosistema en tiempo y espacio. Emplear la metodología de SARMOD homogeniza la toma de datos y permite obtener el grado de integridad (García-Alaniz y Schmidt, 2016).	C
Manglar	Tamaño promedio del parche (Area_MN)	Obtener los tamaños promedios de los parches es una forma clara de visualizar la posible tendencia que lleva el parche cuando este se compara con el resto de la matriz paisajística. Este indicador es bueno para dar seguimiento a los remanentes de vegetación, a los manglares y a los bosques ribereños.	C
Manglar	Índice del parche más grande (LPI)	Al igual que en el ecosistema fluvial, este índice permite obtener el parche más grande, dando resultados puntuales sobre aquellos parches dentro de la cuenca baja ya que no toda la superficie corresponde a ecosistema de manglar.	C
Manglar	Densidad de borde (ED)	El borde mide la cantidad de metros lineales de los usos focales por ha (McGarigal, 2015). Se debe considerar que el efecto borde puede interferir en la estructura y composición de las especies vegetales, volviéndolo importante en la cuantificación en los parches presentes.	C
Manglar	Índice de interspersión y juxtaposición (IJI)	Sugiere una buena intercalación de los parches en el paisaje (McGarigal 2015), por lo que evaluarlo ayuda a comprender mejor y tomar decisiones, sí es el caso, en la matriz paisajística.	C
Manglar	Índice de agregación (AI)	Para los ecosistemas de manglar de la zona costera de Chiapas, es posible este índice sea uno de los más constantes en el tiempo, sin embargo, la matriz paisajística que rodea a los manglares y que está inmerso dentro del	C

sitio Ramsar puede ser muy cambiante. Con este índice se evaluará el grado de agregación que tienen las clases focales. (McGarigal, 2015)

Manglar	Número de parches (NP)	El número de parches en un sitio Ramsar toma una relevancia cuando existe una presión sobre esta forma de conservación. Poblaciones humanas asentadas dentro del sitio Ramsar pueden alterar el número de parches, principalmente de bosques, e incluso desaparecerlos el aumento de las áreas para ganadería. Muestrear la cantidad de parches y el tipo genera información de cuáles son los usos que presentan una mayor presión. (McGarigal, 2015)	C
Manglar	Índice de división (DIVISIÓN)	Este índice está basado en probabilidad de que dos pixeles elegidos al azar no pertenezcan al mismo parche (McGarigal, 2015). sí el valor es cero se sugiere que es un solo parche y si el valor se aproxima a 1 el parche es muy pequeño. En un paisaje costero sometido a la ganadería se debe evaluar este índice para contemplar aquellos remanentes de vegetación y posibles zonas inmersas dentro de la sucesión ecológica que sea precursora del establecimiento de nuevas especies.	C
Manglar	Distancia al vecino Euclidiano más cercano (ENN)	En un humedal Ramsar es de importancia evaluar el grado de aislamiento de un parche y la distancia al vecino más cercano. En un escenario optimista se emplea la regla de vecindad de ocho vecinos para tener mayores adyacencias y tener una aproximación hacia aquellas zonas que pueden ser intervenidas si se requiere realizar conectividad (McGarigal, 2015)	C
Manglar	Enfermedad visual del árbol	Todo tipo de ecosistemas presenta enfermedades en árboles, y el ecosistema de manglar no es la excepción. Dado a que la muerte de un ejemplar puede desencadenar un foco de contaminación hacia otros arboles se requiere la evaluación de posibles enfermedades en el árbol. La información generada también puede ayudar a entender mejor el estado ecológico de poblaciones de manglar.	PR
Canales	Porcentaje de canales que permiten el intercambio hídrico	Los humedales de manglar en el sitio Ramsar han estado inmersos dentro de proyectos productivos y de restauración por lo que se han creado canales con fines de conectividad que complementen el flujo natural, sin embargo, muchos de estos canales han sido azolvados por sedimentos provenientes de la cuenca alta y media, reduciendo el intercambio hídrico en los canales.  Documentar los canales con intercambio hídrico ayudarán a visualizar la estructura, función y composición de los manglares, actuales y futuros.	PR

---

#### Indicadores de composición

Los indicadores de composición cuentan únicamente con 4 indicadores cuantitativos.

Tipo

---

Manglar	Regeneración de especies	La regeneración de especies es un indicador de importancia en los manglares, ya que puede indicar niveles en la salinidad del suelo, intercambio hídrico, sucesión ecológica entre otros. Dado a que las cuencas costeras constantemente están recibiendo sedimentos provenientes de la cuenca alta y puede alterar el ecosistema de manglar, se recomienda evaluar este parámetro.	C
Diversidad de especies	Número de especies conservadas bajo algún esquema de protección de la NOM-059-semarnat-2009	El manejo efectuado dentro del sitio Ramsar ayuda a la conservación de las especies, sin embargo, estresores ejercidos sobre el ecosistema de manglar puede ocasionar la pérdida o disminución de la presencia de algunas especies, por lo que se requiere tener el número de especies protegidas por el sitio y ver en el tiempo si avanza o disminuye este número. Esto puede estar ligado a riqueza de especies.	C
Manglar	Área Total (CA)	El área total pro cada parche es importante cuantificarlo ya que si se establece un monitoreo periódico se podrá comparar el aumento o disminución de las diferentes clases focales (McGarigal, 2015).	C
Manglar	Porcentaje del paisaje (PLAND)	Evalúa los porcentajes de clases focales en el paisaje (McGarigal, 2015). Con este dato se obtiene la clase focal más representativa en el paisaje y permite obtener tendencias a lo largo del tiempo. Los esfuerzos de restauración o conservación del sitio Ramsar pueden verse claramente reflejados en un periodo de tiempo.	C

## ANEXO 7.-PROTOCOLO DE MONITOREO DE LA INTEGRIDAD ECOHIDROLÓGICA DEL ECOSISTEMA FLUVIAL

**OC:** Ecosistema fluvial de la cuenca    **AEC:** Bosque de ribera

**Objetivo:** El objetivo de las mediciones del ecosistema fluvial es determinar el estado actual del bosque ribereño y del cuerpo de agua, aunado a esto se evalúa el estado actual de una zona de amortiguamiento de 2km a partir de la franje ribereña del río Zanatenco.

**Método de obtención de datos:** Imágenes satelitales, mediciones en campo

**Nota:** La metodología está adaptada para ser empleada por técnicos y personas de comunidades, por ello, se divide en indicadores cuantitativos e indicadores cualitativos, a su vez estos se dividen en indicadores de estructura, composición y función.

**Descripción:** Esta metodología debe contemplar las dos orillas del río y obtener un promedio de estas.

### Sección A: Bosque ribereño

Consideraciones	Se describe el bosque de ribera por diferentes atributos inmersos dentro de la estructura, composición y el contexto paisajístico.					
AEC	<b>Indicadores de estructura</b>					
	Estado	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Continuidad longitudinal del bosque ribereño	Área de la cobertura longitudinal	La cobertura longitudinal del bosque ribereño es excelente (<80%).	La cobertura longitudinal del bosque ribereño es buena (60-79%).	La cobertura longitudinal del bosque ribereño es moderada (40-59%).	La cobertura longitudinal del bosque ribereño es baja (20-39%).	La cobertura longitudinal del bosque ribereño es menor a la de la superficie evaluada (<19%).
	Estado	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
	Fragmentación del bosque ribereño	Nula fragmentación, el bosque mantiene una conectividad estructural, transversal y longitudinal continúa. (<19%).	Moderada fragmentación, el bosque mantiene una conectividad estructural, transversal y longitudinal continua, algunas	Mediana fragmentación, el bosque mantiene una conectividad estructural, transversal y longitudinal continua. Aumenta la	Alta fragmentación, el bosque disminuye su conectividad estructural, transversal y longitudinal continua. Los	Muy alta fragmentación, el bosque ribereño ha perdido su conectividad. (>80%).

			zonas sin cobertura vegetal. (20-39%).	presencia de zonas sin cobertura vegetal. (40-59%).	parches sin vegetación son más notorios. (60-79%).	
	Estado	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Matriz paisajística del ecosistema adyacente del bosque de ribera	Tamaño promedio del parche (Area_MN) *	El área promedio de parche, para para el parche boscoso más grande de la zona de influencia, del río Zanatenco es superior las 1201 ha.	El área promedio de parche, para para el parche boscoso más grande de la zona de influencia, del río Zanatenco es oscila entre 901 y 1200 ha	El área promedio de parche, para para el parche boscoso más grande de la zona de influencia, del río Zanatenco es oscila entre 601 y 900 ha	El área promedio de parche, para para el parche boscoso más grande de la zona de influencia, del río Zanatenco es oscila entre 301 y 600 ha.	El área promedio de parche, para para el parche boscoso más grande de la zona de influencia, del río Zanatenco es inferior a 300 ha
	Estado	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
	Índice del parche más grande (LPI)*	La suma de los parches de vegetación boscosa es superior al 80%.	La suma de parches con vegetación boscosa oscila entre el 60-79%	La suma de parches con vegetación boscosa oscila entre el 40-59%	La suma de parches con vegetación boscosa oscila entre el 20-39%	La suma de los parches de vegetación boscosa es menor al 19%
	Estado	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
	Densidad de borde (ED)*	La suma de los bordes de bosques primarios y secundarios es <19% del total de los bordes de todos los usos de suelo.	La suma de los bordes de bosques primarios y secundarios está entre un 20-39% del total de los bordes de todos los usos de suelo.	La suma de los bordes de bosques primarios y secundarios está entre un 40-59% del total de los bordes de todos los usos de suelo.	La suma de los bordes de bosques primarios y secundarios está entre un 60-70% del total de los bordes de todos los usos de suelo.	La suma de los bordes de bosques primarios y secundarios es >80% del total de los bordes de todos los usos de suelo.
	Estado	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)

Índice de dispersión y juxtaposición (JI)	Se tiene una muy buena intercalación de parches dentro del paisaje de la cuenca (<80%)	Se tiene una buena intercalación de parches dentro del paisaje de la cuenca (60-79%)	Se tiene una regular intercalación de parches dentro del paisaje de la cuenca (40-59%)	Los parches dentro del paisaje presentan una baja intercalación (20-39%)	Se tiene una muy baja intercalación de parches del paisaje dentro de la cuenca (<20%)
Estado	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Índice de agregación (AI)	Se tiene una muy buena agregación en los parches focales (<80%)	Se tiene una buena agregación de los parches focales (60-79%)	Se tiene una regular agregación de los parches focales (40-59%)	Se tiene una baja agregación entre los parches focales (20-39%)	Se tiene una muy baja agregación entre los parches focales (<20%)
Estado	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Número de parches (NP)	Con la regla de ocho vecinos, se tienen 20 parches dentro del paisaje costero	Con la regla de ocho vecinos, se tiene entre 21 y 70 parches en el paisaje costero	Con la regla de ocho vecinos, se tiene entre 71 y 120 parches en el paisaje costero	Con la regla de ocho vecinos, se tienen entre 121 y 170 parches en el paisaje costero	Con la regla de ocho vecinos, se tienen más de 171 parches en el paisaje costero
Estado	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Densidad de parches (PD)	Con la regla de ocho vecinos y con un tamaño de celda de 10m, el número de parches de bosques es <19%	Con la regla de ocho vecinos y con un tamaño de celda de 10m, el número de parches de bosques oscila entre 20-39%	Con la regla de ocho vecinos y con un tamaño de celda de 10m, el número de parches de bosques oscila entre 40-59%	Con la regla de ocho vecinos y con un tamaño de celda de 10m, el número de parches de bosques oscila entre 60-79%	Con la regla de ocho vecinos y con un tamaño de celda de 10m, el número de parches de bosques es <80%
Estado	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Índice de división (DIVISIÓN)	Se tiene <19% de probabilidad que dos píxeles elegidos al azar en	Se tiene entre un 20-39% de probabilidad que dos píxeles	Se tiene entre un 40-59% de probabilidad que dos píxeles elegidos al azar en el	Se tiene entre un 60-79% que dos píxeles elegidos al azar en el paisaje	Se tiene >80% de probabilidad que dos píxeles elegidos al azar en

		el paisaje no estén situados en el mismo parche de la clase focal y corresponda a un único parche.	elegidos al azar en el paisaje no estén situados en el mismo parche de la clase focal, hay presencia de más de dos parches.	paisaje no estén situados en el mismo parche de la clase focal, se incrementa el número de parches.	no estén situados en el mismo parche de la clase focal, se aumenta la cantidad de parches.	el paisaje no estén situados en el mismo parche de la clase focal y corresponda a varios parches.
	Estado	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
	Distancia al vecino Euclidiano más cercano (ENN)	La distancia del parche más grande de vegetación boscosa es menor a 100m.	La distancia del parche más grande de vegetación boscosa oscila entre los 101 y 500m	La distancia del parche más grande de vegetación boscosa oscila entre los 501 y 900m	La distancia del parche más grande de vegetación boscosa oscila entre los 901 y 1300m	La distancia del parche más grande de vegetación boscosa es mayor a 1301m
<b>Indicadores de composición</b>						
	Estado	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Composición de la vegetación	Cobertura del suelo	El área ocupada por la vegetación es excelente (>80%).	El área ocupada por la vegetación es alta (60-79%).	El área ocupada por la vegetación es moderada. Comienzan signos de pérdida de cobertura vegetal fuerte (40-59%).	El área ocupada por la vegetación es baja. La proyección vertical de las copas ocupa un área poco representativa. (20-39%).	El área ocupada por la vegetación es casi nula. El suelo está desnudo y se aprecia poca regeneración (<19%).
Matriz paisajística del ecosistema	Estado	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
	Área Total (CA)	Del total del área de la zona de influencia, más de	Del total del área de la zona de influencia, entre	Del total del área de la zona de influencia, entre un 40-59%	Del total del área de la zona de influencia, entre	Del total del área de la zona de influencia, menos

adyacente del bosque de ribera		un 80% corresponde a cobertura boscosa (primarios, secundarios)	un 60-79% corresponde a cobertura boscosa (primarios, secundarios)	corresponde a cobertura boscosa (primarios,	un 20-39% corresponde a cobertura boscosa (primarios,	de un 19% corresponde a cobertura boscosa (primarios, secundarios)
	Estado	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
	Porcentaje del paisaje (PLAND)	El paisaje consiste en un solo tipo de clase focal (único parche) (>80%)	El paisaje tiene más de un tipo de clase focal (60-79%)	El paisaje presenta una clase focal medianamente rara en el paisaje (40-59%)	El paisaje tiende a presentar clases focales bastante raras en el paisaje, ausencia de un solo parche. (20-39%)	Las clases focales en el paisaje son raras, presencia de varios parches. (<19%).
<b>Indicadores de función</b>						
	Estado	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Distancia	Distancia promedio entre parches	La distancia entre parches permite la conectividad de especies de mamíferos menores como anfibios, reptiles y otros. La distancia promedio es menor a 100 m	La distancia promedio reduce la conectividad entre anfibios, reptiles y mamíferos menores, pero aún puede concretarse. Distancia entre 101 y 300 m.	La distancia entre parches aún permite conectar especies faunísticas, aunque los reptiles y anfibios comienzan a verse afectados. 301 y 500	La distancia entre parches pone en riesgo el desplazamiento de la fauna silvestre. Comienza aislamiento de especies de menor tamaño. 501-700 m.	La distancia promedio entre parches beneficia a aves y mamíferos medianos y mayores, pero aísla a anfibios y reptiles. Distancia superior a los 701 m
	Estado	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)

Umbrales climáticos	Estrés hídrico	Para la época de seca, en la cuenca del Zanatenco, la humedad máxima (cuerpos de agua/vegetación) es mayor a 0.7	Para la época de seca, en la cuenca del Zanatenco, la humedad máxima (cuerpos de agua/vegetación) oscila entre 0.6 y 0.3	Para la época de seca, en la cuenca del Zanatenco, la humedad máxima (cuerpos de agua/vegetación) oscila entre a 0.2 y -0.2	Para la época de seca, en la cuenca del Zanatenco, la humedad máxima (cuerpos de agua/vegetación) oscila entre a -0.3 y -0.7	Para la época de seca, en la cuenca del Zanatenco, la humedad máxima (cuerpos de agua/vegetación) es menor a 0.7
	Estado	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
	Índice Normalizado de Vegetación diferenciada	El NDVI muestra una vigorosidad alta en las plantas >0.7	El NDVI muestra una vigorosidad media en las plantas (0.6 y 0.3).	El NDVI muestra una vigorosidad baja en las plantas (0.2y - 0.2).	El NDVI muestra una vigorosidad baja en las plantas (-0.3,-0.7).	El NDVI muestra una vigorosidad muy baja en las plantas (<-0.7).
<b>BOSQUE DE RIBERA-INDICADORES DE PERCEPCIÓN RÁPIDA</b>						
<b>Indicadores de estructura</b>						
	Indicador	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Bosque de ribera	Ancho promedio de la vegetación ribereña (Siguiendo la LAN 1192)	Se tiene un ancho de 10m (LAN 1992) en la parte alta, 20 m en la parte media y 30 m en la parte alta. > 80%	El ancho en la cuenca alta, media y baja se encuentra con un 60-79% de vegetación.	El ancho en la cuenca alta, media y baja se encuentra con un 40-59% de vegetación.	El ancho en la cuenca alta, media y baja se encuentra con un 20-39% de vegetación.	El ancho en la cuenca alta, media y baja tiene una conectividad transversal menor al 19%
	Indicador	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
	Porcentaje de cobertura vegetal en la zona de influencia	La zona de influencia tiene >80% de cobertura vegetal.	Se tiene entre un 60-79 % de cobertura vegetal en la zona de influencia.	Se tiene entre un 40 y un 59% de cobertura vegetal en la zona de influencia.	Es tiene entre el 20 y 39 % de cobertura vegetal en la zona de influencia.	Se tiene <19% de la vegetación en la zona de influencia.
	Indicador	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)

	Área total de cultivos agrícolas	Los cultivos de frutales cubren >80% de la cobertura vegetal evaluada en el indicador anterior.	Los cultivos de frutales ocupan entre el 79 y el 60% de la cobertura vegetal evaluada en el indicador anterior.	Los cultivos de frutales ocupan entre el 40 y el 59% de la cobertura vegetal evaluada en el indicador anterior.	Los cultivos de frutales ocupan entre el 20 y el 39% de la cobertura vegetal evaluada en el indicador anterior.	Los cultivos de frutales cubren >19% de la cobertura vegetal evaluada en el indicador anterior.
<b>Indicadores de composición</b>						
	<b>Indicador</b>	<b>Excelente (5)</b>	<b>Bueno (4)</b>	<b>Regular (3)</b>	<b>En riesgo (2)</b>	<b>Degradado (1)</b>
Bosque de ribera	Composición de especies nativas VS exóticas	La mayor parte de las especies registradas son nativas (<80%)	Entre un 60 y 79% de las especies son nativas. Las exóticas son mínimas.	Entre un 40 y un 59% las especies son nativas. El resto son exóticas.	Entre un 20 y 39% de las especies son nativas, predominan las especies exóticas.	< del 19% de las especies son nativas, el resto son exóticas.
		<b>Excelente (5)</b>	<b>Bueno (4)</b>	<b>Regular (3)</b>	<b>En riesgo (2)</b>	<b>Degradado (1)</b>
	Diversidad de edades en el bosque ribereño	Se pueden apreciar cuatro estratos de vegetación en el bosque ribereño (árboles, árboles pequeños, arbustos y herbáceas).	Se pueden apreciar tres estratos de vegetación en el bosque ribereño (árboles, árboles pequeños, arbustos y herbáceas).	Se pueden apreciar dos estratos de vegetación en el bosque ribereño (árboles, árboles pequeños, arbustos y herbáceas).	Se pueden apreciar un estrato de vegetación en el bosque ribereño (árboles, árboles pequeños, arbustos y herbáceas).	No se aprecian estratos y existe presencia de algún tipo de pasto.
		<b>Excelente (5)</b>	<b>Bueno (4)</b>	<b>Regular (3)</b>	<b>En riesgo (2)</b>	<b>Degradado (1)</b>
	Regeneración de especies	Se tiene más del 80% de la superficie del suelo con regeneración de	Se tiene entre el 60% y 79% de la superficie del suelo con regeneración de	Se tiene entre el 40% y 59% de la superficie del suelo con regeneración de	Se tiene entre el 20% y 39% de la superficie del suelo con regeneración de	Se tiene <19% de la superficie del suelo con regeneración de

		especies de bosque ribereño.	especies de bosque ribereño.	especies de bosque ribereño.	especies de bosque ribereño.	especies de bosque ribereño.
	Indicador	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Suelo en los márgenes del río,	Número de obras de conservación de suelos	Se tienen >5 obras de conservación de suelo y agua en la zona de influencia del río y de la zona estuarina.	Se tienen entre 3-4 obras de conservación de suelo y agua en la zona de influencia del río y de la zona estuarina.	Se tienen 2 obras de conservación de suelo y agua en la zona de influencia del río y de la zona estuarina.	Se tiene 1 obra de conservación de suelo y agua en la zona de influencia del río y de la zona estuarina.	No se tienen obras de conservación de suelo y agua en la zona de influencia del río y de la zona estuarina.
	Indicador	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
	Sistemas agroforestales	La zona de influencia cuenta con más del 80% de sistemas agroforestales implementados	La zona de influencia tiene entre 60 y 79 % de sistemas agroforestales implementados	La zona de influencia tiene entre 40 y 59 % de sistemas agroforestales implementados	La zona de influencia tiene entre 20 y 39 % de sistemas agroforestales implementados	La zona de influencia cuenta con menos del 19% de sistemas agroforestales implementados
	Indicador	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
	Sistemas silvopastoriles	En la zona de influencia, más del 80% de las parcelas cuentan con sistemas silvopastoriles.	En la zona de influencia, entre el 60 y 79% de las parcelas cuentan con sistemas silvopastoriles.	En la zona de influencia, entre el 40 y 59% de las parcelas cuentan con sistemas silvopastoriles.	En la zona de influencia, entre el 20 y 39% de las parcelas cuentan con sistemas silvopastoriles.	En la zona de influencia, más del 19% de las parcelas cuentan con sistemas silvopastoriles.
	Indicador	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
	Cercas vivas establecidas	En promedio, >80% de parcelas en la zona de influencia cuentan con cercas vivas.	La zona de influencia tiene entre el 60 y 79% de cercas vivas dentro de las	La zona de influencia tiene entre el 40 y 59% de cercas vivas dentro de las parcelas en este espacio.	La zona de influencia tiene entre el 20 y 39% de cercas vivas dentro de las	<19% de parcelas en la zona de influencia cuentan con cercas vivas.

			parcelas en este espacio.		parcelas en este espacio.	
<b>Indicadores de función</b>						
	<b>Indicador</b>	<b>Excelente (5)</b>	<b>Bueno (4)</b>	<b>Regular (3)</b>	<b>En riesgo (2)</b>	<b>Degradado (1)</b>
Función de la vegetación	Cobertura del suelo	La cobertura de vegetación boscosa (bosques primarios, secundarios o ribereños) es superior (>80%) a los cultivos perennes y pastos (<20%), permitiendo funciones ecológicas como mayor diversidad de especies, mejor conectividad, flujo de energía.	La cobertura de vegetación boscosa (bosques primarios, secundarios o ribereños) es superior (60-79%) a los cultivos perennes y pastos (<40-21%), permitiendo funciones ecológicas como mayor diversidad de especies, mejor conectividad, flujo de energía.	La cobertura de vegetación boscosa (bosques primarios, secundarios o ribereños) es igual (59-41%) a los cultivos perennes y pastos (59-41%), se mantienen funciones ecológicas como diversidad de especies, conectividad, flujo de energía.	La cobertura de vegetación perenne (Cultivos de mango, zapote, o plantaciones maderables) y pastos es superior (60-79%) a vegetación boscosa (40-21%), disminuyendo funciones ecológicas como mayor diversidad de especies, mejor conectividad, flujo de energía.	La cobertura de vegetación perenne (Cultivos de mango, zapote, o plantaciones maderables) y pastos es superior (>80%) a vegetación boscosa (<20%), disminuyendo funciones ecológicas como mayor diversidad de especies, mejor conectividad, flujo de energía.
	<b>Indicador</b>	<b>Excelente (5)</b>	<b>Bueno (4)</b>	<b>Regular (3)</b>	<b>En riesgo (2)</b>	<b>Degradado (1)</b>
	Conectividad del bosque ribereño con ecosistema adyacente.	El bosque ribereño tiene una excelente (>80%) conectividad con el bosque adyacente.	El bosque ribereño tiene una buena (60-79%) conectividad con el bosque adyacente.	El bosque ribereño tiene una moderada (40-59%) conectividad con el bosque adyacente.	El bosque ribereño tiene una baja (20-39%) conectividad con el bosque adyacente.	El bosque ribereño tiene poca conectividad al ecosistema adyacente (<19%).
	<b>Indicador</b>	<b>Excelente (5)</b>	<b>Bueno (4)</b>	<b>Regular (3)</b>	<b>En riesgo (2)</b>	<b>Degradado (1)</b>

	Conectividad entre parches de cultivos.	Los cultivos frutales arbóreos permiten una excelente conectividad con otros parches de vegetación.	Los cultivos frutales arbóreos permiten una alta conectividad con otros parches de vegetación.	Los cultivos frutales arbóreos permiten una mediana conectividad con otros parches de vegetación.	Los cultivos frutales arbóreos permiten una baja conectividad con otros parches de vegetación.	Los cultivos frutales arbóreos no permiten una alta conectividad con otros parches de vegetación.
--	---	---	--	---	--	---

### Sección A: Recurso hídrico

Indicadores cuantitativos						
Indicadores de función						
AEC	Estado	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Agua	Calidad del agua mediante uso de macroinvertebrados	La calidad del agua es excelente (101 > 120)	La calidad del agua es buena (75-100).	La calidad del agua es regular (50-74).	La calidad del agua es de mala calidad (25-49).	La calidad del agua es de muy mala calidad (<24).
	Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
	Dureza	0 a 100 mg/l de CaCo <sub>3</sub> . Excelente calidad para la cuenca costera.	101 a 200 mg/l de CaCo <sub>3</sub> . Buena calidad para los ríos de la cuenca costera.	201 a 300 mg/l de CaCo <sub>3</sub> . Mediana calidad para los ríos de la cuenca costera.	301 a 400 mg/l de CaCo <sub>3</sub> . baja para los ríos de la cuenca costera.	Más de 500 mg/l de CaCo <sub>3</sub> . Muy baja calidad para los ríos de la cuenca costera.
	Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
	Alcalinidad	> 300 mg/l se tiene una alta capacidad amortiguadora.	Entre 150 y 300 mg/l alta capacidad amortiguadora.	Entre 100 y 149 mg/l moderada capacidad amortiguadora.	Entre 50 y 99 mg/l baja capacidad amortiguadora.	0-49 mg/l se tiene una capacidad amortiguadora muy baja.
	Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)

	Oxígeno disuelto	Muy bueno para soportar vida animal en el cuerpo de agua. (7-11 ppm)	Concentración de oxígeno buena para los organismos acuáticos y buena para peces tropicales. (4-a 7 ppm)	Se restringen organismos sensibles y perduran algunos insectos y peces. (2 a 4 ppm)	Poca concentración de oxígeno en el agua. Se tiene poca vida animal. (0-2 ppm)	Muertes de organismos por falta de oxígeno 0 ppm).
	Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
	pH	6.5 a 8.5 óptimo para el desarrollo de vida acuática.	A) 4.0 a 5.5 y 9.0 a 11 Crecimiento lento y problemas en reproducción.	<4 Muerte por acidez y >11 muerte por alcalinidad.	<4 Muerte por acidez y >11 muerte por alcalinidad.	<4 Muerte por acidez y >11 muerte por alcalinidad.
	Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
	UFC de coliformes fecales	Seguro para el contacto humano. (<100 UFC)	Relativamente seguro para contacto humano. (101-200 UFC)	Aumenta riesgo de causar enfermedades. (201-400 UFC)	Riesgo alto de causar enfermedades. (401-600 UFC)	Muy peligroso para el contacto humano. (>600 UFC)
<b>Indicadores de percepción rápida</b>						
<b>Indicadores de estructura</b>						
	Indicador	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
	Morfología transversal del cauce	Nula alteración El cauce no presenta ningún tipo de alteración.	Baja alteración (<10%) El cauce presenta alteraciones que afectan la integridad del ecosistema (Dragados, extracción de	Mediana alteración (11 y 39%) Notoria presencia de alteraciones al cauce que afecta su integridad ecosistémica. (Dragados,	Alta alteración (40-79 %) Fuertes alteraciones al cauce que afecta su integridad ecosistémica. (Dragados, extracción de arena, depósitos de	Alteración >80% El cauce presenta alteraciones con poca probabilidad de restauración, colocando en riesgo la integridad ecosistémica. (Dragados,

			arena, depósitos de basura, desviación de agua, presas).	extracción de arena, depósitos de basura, desviación de agua, presas).	basura, desviación de agua, presas).	extracción de arena, depósitos de basura, desviación de agua, presas).
	Indicador	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Conectividad longitudinal del cauce.	Presencia de construcciones antrópicas a lo largo del cauce.	Nula presencia de construcciones antrópicas sobre la parte longitudinal del cauce (piedras, encausamiento, llantas, etc.).	<19% de construcciones antrópicas sobre la parte longitudinal del cauce (piedras, encausamiento, llantas, etc.).	Entre el 20 y el 49% de construcciones antrópicas sobre la parte longitudinal del cauce (piedras, encausamiento, llantas, etc.).	Entre el 50 y el 79% de construcciones antrópicas sobre la parte longitudinal del cauce (piedras, encausamiento, llantas, etc.).	Más del 80% de construcciones antrópicas sobre la parte longitudinal del cauce (piedras, encausamiento, llantas, etc.).
	Indicador	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Sustrato del lecho	Composición del sustrato del lecho del río.	Se identifican al menos cinco tipos de sustratos. En las zonas bajas es aceptable encontrar dos. En ambos casos se favorece la biodiversidad acuática.	Se identifican al menos cuatro tipos de sustratos. La biodiversidad acuática aún se ve beneficiada.	Se identifican al menos tres tipos de sustratos, pero de estos predomina uno. Las condiciones para biodiversidad acuática comienzan a ser baja.	Se identifican al menos dos tipos de sustratos, uno de ellos es más notorio que el otro. Las condiciones propicias para biodiversidad acuática son bajas.	En todos los casos (cuenca alta, media y baja) se identifica un tipo de sustrato.
	Indicador	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
	Porcentaje de vegetación dentro del cauce, adyacentes de la	En el cauce se identifica una alta cantidad de materia orgánica	En el cauce se identifica una moderada cantidad de materia orgánica	En el cauce se identifica una escasa cantidad de materia orgánica (hojas, ramas,	En el cauce se identifica una baja cantidad de materia orgánica (hojas,	En el cauce no se identifica presencia de materia orgánica

	vegetación ribereña.	(hojas, ramas, troncos). (>80%).	(hojas, ramas, troncos). (40-79%).	troncos). (11-39%).	ramas, troncos). (<10%).	(hojas, ramas, troncos).
<b>Indicadores de composición</b>						
	<b>Indicador</b>	<b>Excelente (5)</b>	<b>Bueno (4)</b>	<b>Regular (3)</b>	<b>En riesgo (2)</b>	<b>Degradado (1)</b>
Bancos de sedimentos	Formación de bancos de sedimentos (parte alta y media).	En la parte media y alta se nota una ausencia de formación de bancos de sedimentos.	En la parte media y alta se nota poca formación de bancos de sedimentos (10-25%).	En la parte media y alta se nota una formación moderada de bancos de sedimentos (26-50%).	En la parte media y alta se nota una formación abundante de bancos de sedimentos (51-75%).	En la parte media y alta se nota una alta formación de bancos de sedimentos (>76%).
	<b>Valor</b>	<b>Excelente (5)</b>	<b>Bueno (4)</b>	<b>Regular (3)</b>	<b>En riesgo (2)</b>	<b>Degradado (1)</b>
	Formación de bancos de sedimentos (baja)	La zona baja muestra bancos de sedimentos naturales en un 10% de su cauce.	La zona baja muestra bancos de sedimentos naturales entre un 11 y 30 % de su cauce.	La zona baja muestra bancos de sedimentos naturales entre un 31 y 50 % de su cauce.	La zona baja muestra bancos de sedimentos naturales entre un 51 y 80 % de su cauce.	La zona baja muestra bancos de sedimentos naturales entre ocupando más de su 80% de superficie.
	<b>Valor</b>	<b>Excelente (5)</b>	<b>Bueno (4)</b>	<b>Regular (3)</b>	<b>En riesgo (2)</b>	<b>Degradado (1)</b>
	Colonización de especies vegetales en bancos de sedimentos	Existe una colonización vegetal de los bancos de sedimentos cubriendo >90% de estos.	Existe una colonización vegetal de los bancos de sedimentos cubriendo entre un 60 y 89% de estos.	Existe una colonización vegetal de los bancos de sedimentos cubriendo entre un 59 y 30% de estos.	Existe una colonización vegetal de los bancos de sedimentos cubriendo entre un 29 y 10 % de estos.	Existe una colonización vegetal de los bancos de sedimentos <10%.
	<b>Valor</b>	<b>Excelente (5)</b>	<b>Bueno (4)</b>	<b>Regular (3)</b>	<b>En riesgo (2)</b>	<b>Degradado (1)</b>

Orillas del cauce	Grado de estabilidad de los taludes del cauce.	Los taludes del cauce están con cubierta vegetal y no presentan daños antrópicos.	Las orillas del cauce presentan baja alteración (10%) por causa de extracción de arena, incendios, paso de ganado, etc.	Las orillas del cauce presentan moderada alteración (11 y 30%) por causa de extracción de arena, incendios, paso de ganado, etc.	Las orillas del cauce presentan alta alteración (31 y 69%) por causa de extracción de arena, incendios, paso de ganado, etc.	Las orillas del cauce presentan una alteración muy alta (>80%).
	Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Orilla del río	Compactación de los márgenes del cauce	Ambas orillas del cauce no presentan grados de compactación y la vegetación ribereña es predominante.	Un de las dos orillas del cauce presenta compactación (presencia de caminos de terracería o pasos de ganado).	Ambas orillas del río presentan cierto grado de compactación (Terracerías, caminos o paso de ganado).	Las orillas del río presentan un alto grado de compactación, la vegetación ribereña disminuyó.	Se presenta nula vegetación en las orillas del río y carretera pavimentada con un ancho de cuatro metros o más.
<b>Indicadores de función</b>						
Conectividad en zonas de inundación	Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
	Conectividad transversal con las zonas de inundación.	El cauce no presenta barreras entre la zona de inundación y el cauce.	El cauce presenta pequeñas barreras (<10%) entre la zona de inundación y el cauce.	El cauce presenta barreras (11 al 39%) entre la zona de inundación y el cauce.	El cauce tiene una alta presencia de barreras (40 al 79%) entre la zona de inundación y el cauce.	El cauce tiene una alta barrera para la conectividad entre la zona de inundación y el cauce (>80%).
	Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
	Red de drenaje sin interrupción alguna.	Nula presencia de presas de gaviones, represas, presas	1 a 2 presas de gaviones, represas, presas filtrantes u otros	3 a 4 presas de gaviones, represas, presas filtrantes u otros	5 a 6 presas de gaviones, represas, presas filtrantes u otros que limiten la	7 a 8 presas de gaviones, represas, presas filtrantes u otros que limiten la

		filtrantes u otros que limiten la conectividad de los organismos en el río.	que limiten la conectividad de los organismos en el río.	que limiten la conectividad de los organismos en el río.	conectividad de los organismos en el río.	conectividad de los organismos en el río.
	Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Calidad del agua	Basura plástica en el agua.	Sin presencia de basura antrópica sobre el cuerpo de agua.	Se aprecia basura antrópica en un 10% del cauce.	Entre el 11 y el 40 % del cauce tienen presencia de basura antrópica.	Entre el 40 y el 85% del cauce con presencia de basura antrópica	Más del 86% del cauce con presencia de basura antrópica
	Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
	Color del agua	El agua es transparente y no muestras signos de alteración o sedimentos.  La parte baja presenta sedimentos, pero aún se puede apreciar el fondo.	El agua es transparente, pero se nota la presencia de algas y sedimentos en poca proporción.  La parte baja presenta sedimentos, pero aún se puede apreciar el fondo o parte de la columna de agua.	La corriente muestra signos de cambio en la coloración, provocada por sedimentos, algas o vertimientos.  La parte baja de la cuenca muestra un poco visibilidad del fondo, la columna de agua se aprecia menos de la mitad de profundidad.	Se tienen importantes cambios en la coloración natural del agua, la columna de agua no permite mostrar el fondo.  La parte baja de la cuenca muestra una gran cantidad de sedimentos y cambio en la coloración del cuerpo de agua.	El cuerpo de agua tiene un cambio en el color original del agua en un >90%.  El río en la parte baja de la cuenca, presenta una alteración total del color.
	Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
	Olor del agua	No se aprecia olor característico de cuerpos	Se distingue un ligero olor en el cuerpo de agua,	El cuerpo de agua presenta un olor que no	El cuerpo de agua presenta un mal olor que es	El cuerpo de agua ha cambiado su olor natural y ahora

		contaminados, tanto en la parte baja, media y alta.	aplica para la parte alta, media y baja de la cuenca.	corresponde al de su cauce (fétidos, podridos, agua almacenada, etc).	fácilmente reconocible por los monitores. fétidos, podridos, agua almacenada, etc).	presenta alteraciones importantes en esta característica. El olor es fácilmente distinguible y posiblemente se puede identificar la fuente.
--	--	---	---	---	---	---

### ANEXO 8.-PROTOCOLO DE MONITOREO DE LA INTEGRIDAD ECOHIDROLÓGICA DEL LOS MANGLARES

**OC:** Ecosistema de manglar    **AEC:** Manglar

El objetivo de las mediciones a los manglares radica en la determinación del estado actual, mediante evaluación cuantitativa, de dicho ecosistema.

**Método de obtención de datos:** Imágenes satelitales, mediciones en campo

**Nota:** Determinar la categoría de manglar a la que pertenecen manglar ribereño, de borde, de islote, manglar de cuenca. Según la ficha técnica de creación del sitio Ramsar (2008), existen cuatro especies de manglar.

Consideraciones	<b>Manglar de borde:</b> Son aquellos manglares que rodean los cuerpos de agua influenciados por fluctuaciones verticales del agua que inundan continuamente hacia el interior del bosque.				
	<b>Manglar de cuenca:</b> Son aquellos manglares establecidos en donde el flujo de agua vertical predomina sobre el flujo lateral.				
	<b>Manglar ribereño:</b> Son aquellos manglares que crecer en la orilla del cauce principal del río que llega al mar o a los esteros.				
	<b>Manglar de islote:</b> Se refieren a aquellos manglares que crecieron en islotes rodeados en sus todo su perímetro por agua y sus mareas.				
<b>Indicadores de estructura</b>					
Estado	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Cobertura empleando dos árboles en conglomerado SARMOD	La suma del área de los dos árboles está por arriba del 90% de área total de conglomerado	La suma del área de los dos árboles está entre el 89 y 70% del área total de conglomerado	La suma del área de los dos árboles está entre el 69 y 50% del área total de conglomerado	La suma del área de los dos árboles está entre el 49 y 30% del área total de conglomerado	La suma del área de los dos árboles está por debajo del 29% del área total de conglomerado

Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Tamaño promedio del parche (Area_MN)	El área promedio de parche, para el sitio Ramsar en la cuenca baja del río Zanatenco es superior las 260 ha.	El área promedio de parche, para el sitio Ramsar en la cuenca del Zanatenco, oscila entre las 200- 259 ha	El área promedio de parche, para el sitio Ramsar en la cuenca del Zanatenco, oscila entre las 120-199 ha	El área promedio de parche, para el sitio Ramsar en la cuenca del Zanatenco, oscila entre las 60-119 ha	El área promedio de parche, el sitio Ramsar en la cuenca baja del río Zanatenco es inferior a las 59 ha.
Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Índice del parche más grande (LPI)	La suma de los parches de vegetación (manglar más bosque secundario) superior al 80%.	La suma de parches con vegetación (manglar más bosque secundario) oscila entre el 60-79%	La suma de parches con vegetación (manglar más bosque secundario) oscila entre el 40-59%	La suma de parches con vegetación (manglar más bosque secundario) oscila entre el 20-39%	La suma de los parches de vegetación (manglar más bosque secundario) es menor al 19%
Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Densidad de borde (ED)	La suma de los bordes de la cobertura vegetal arbórea (manglar más bosque secundario) es <19% del total de los bordes de todos los usos de suelo.	La suma de los bordes de la cobertura vegetal arbórea (manglar más bosque secundario) está entre un 20-39% del total de los bordes de todos los usos de suelo.	La suma de los bordes de la cobertura vegetal arbórea (manglar más bosque secundario) está entre un 40-59% del total de los bordes de todos los usos de suelo.	La suma de los bordes de la cobertura vegetal arbórea (manglar más bosque secundario) está entre un 60-70% del total de los bordes de todos los usos de suelo.	La suma de los bordes de la cobertura vegetal arbórea (manglar más bosque secundario) es >80% del total de los bordes de todos los usos de suelo.
Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Índice de interspersión y juxtaposición (IJI)	Se tiene una muy buena intercalación de parches, dentro del sitio Ramsar, perteneciente a la cuenca baja del río Zanatenco (<80%)	Se tiene una buena intercalación de parches, dentro del sitio Ramsar, perteneciente a la cuenca baja del río Zanatenco (60-79%)	Se tiene una regular intercalación de parches, dentro del sitio Ramsar, perteneciente a la cuenca baja del río Zanatenco (40-59%)	Se tiene una baja intercalación de parches, dentro del sitio Ramsar, perteneciente a la cuenca baja del río Zanatenco (20-39%)	Se tiene una muy baja intercalación de parches, dentro del sitio Ramsar, perteneciente a la cuenca baja del río Zanatenco (<20%)
Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)

Índice de agregación (AI)	Se tiene una muy buena agregación en los parches focales en el sitio Ramsar (<80%)	Se tiene una buena agregación de los parches focales en el sitio Ramsar (60-79%)	Se tiene una regular agregación de los parches focales en el sitio Ramsar (40-59%)	Se tiene una baja agregación entre los parches focales en el sitio Ramsar (20-39%)	Se tiene una muy baja agregación entre los parches focales en el sitio Ramsar (<20%)
Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Número de parches (NP)	Con la regla de ocho vecinos, se tienen 19 parches dentro del paisaje costero	Con la regla de ocho vecinos, se tiene entre 20 y 39 parches en el paisaje costero	Con la regla de ocho vecinos, se tiene entre 40 y 59 parches en el paisaje costero	Con la regla de ocho vecinos, se tienen entre 60 y 79 parches en el paisaje costero	Con la regla de ocho vecinos, se tienen más de 80 parches en el paisaje costero
Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Índice de división (DIVISIÓN)	Se tiene <19% de probabilidad que dos píxeles elegidos al azar en la zona Ramsar dentro de la cuenca, no estén situados en el mismo parche de la clase focal y corresponda a un único parche.	Se tiene entre un 20-39% de probabilidad que dos píxeles elegidos al azar, en la zona Ramsar dentro de la cuenca, no estén situados en el mismo parche de la clase focal, hay presencia de más de dos parches.	Se tiene entre un 40-59% de probabilidad que dos píxeles elegidos al azar, en la zona Ramsar dentro de la cuenca, no estén situados en el mismo parche de la clase focal, se incrementa el número de parches.	Se tiene entre un 60-79% que dos píxeles elegidos al azar, en la zona Ramsar dentro de la cuenca, no estén situados en el mismo parche de la clase focal, se aumenta la cantidad de parches.	Se tiene >80% de probabilidad que dos píxeles elegidos al azar, en la zona Ramsar dentro de la cuenca, no estén situados en el mismo parche de la clase focal y corresponda a varios parches.
Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Distancia al vecino Euclidiano más cercano (ENN)	La distancia del parche más grande de vegetación de manglar es menor a 49m.	La distancia del parche más grande de vegetación de manglar oscila entre los 50-99m	La distancia del parche más grande de vegetación de manglar oscila entre los 100-149m	La distancia del parche más grande de vegetación de manglar oscila entre los 150-199 m	La distancia del parche más grande de vegetación de manglar es mayor a 200 m

### Indicadores de composición

Regeneración de especies	Se tiene más del 90% de la superficie del suelo con regeneración de manglares.	Se tiene entre el 89% y 70% de la superficie del suelo con regeneración de manglares.	Se tiene entre el 69% y 50% de la superficie del suelo con regeneración de manglares.	Se tiene entre el 49% y 30% de la superficie del suelo con regeneración de manglares.	Se tiene menos del 29% de la superficie del suelo con regeneración de manglares.
Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Número de especies conservadas bajo algún esquema de protección de la NOM-059-semarnat-2009	El Sitio Ramsar Estuarino Puerto Arista conserva más de 41 especies de flora y fauna silvestre.	El Sitio Ramsar Estuarino Puerto Arista conserva entre 31 y 40 especies de flora y fauna silvestre.	El Sitio Ramsar Estuarino Puerto Arista conserva entre 21 y 31 especies de flora y fauna silvestre.	El Sitio Ramsar Estuarino Puerto Arista conserva entre 11 y 20 especies de flora y fauna silvestre.	El Sitio Ramsar Estuarino Puerto Arista conserva menos de 10 especies de flora y fauna silvestre.
Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Área Total (CA)	Del total del polígono del sitio Ramsar para la cuenca baja, más de un 80% corresponde a cobertura boscosa (manglares, acahuales)	Del total del polígono del sitio Ramsar para la cuenca baja, entre 60 y 79% corresponde a cobertura boscosa (manglares, acahuales)	Del total del polígono del sitio Ramsar para la cuenca baja, entre 40 y 59% corresponde a cobertura boscosa (manglares, acahuales)	Del total del polígono del sitio Ramsar para la cuenca baja, entre 20 y 39% corresponde a cobertura boscosa (manglares, acahuales)	Del total del polígono del sitio Ramsar para la cuenca baja, menos de un 19% corresponde a cobertura boscosa (manglares, acahuales)
Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Porcentaje del paisaje (PLAND)	El ecosistema costero consiste en un solo tipo de clase focal (único parche) (>80%)	El ecosistema costero tiene más de un tipo de clase focal (60-79%)	El ecosistema costero presenta una clase focal medianamente rara en el paisaje (40-59%)	El ecosistema costero tiende a presentar clases focales bastante raras en el paisaje, ausencia de un solo parche. (20-39%)	Las clases focales en el p ecosistema costero son raras, presencia de varios parches. (<19%).
<b>INDICADORES DE PERCEPCIÓN RÁPIDA</b>					
Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)

Enfermedad visual del árbol	Menos del 10% de la vegetación presenta signos de enfermedades.	Entre el 10 y 30 % de la vegetación presenta algún signo de enfermedades.	Entre el 30 y 50 % de la vegetación presenta algún signo de enfermedades.	Entre el 50 y 70 % de la vegetación presenta algún signo de enfermedades.	Más del 70% de la vegetación presentan signos de enfermedades en las copas.
Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Porcentaje de canales que permiten el intercambio hídrico.	Más del 90 % de los canales permiten recambio hídrico.	Entre el 89 y 70% de los canales permiten recambio hídrico.	Entre el 69 y 50% de los canales permiten recambio hídrico.	Entre el 49 y 30% de los canales permiten recambio hídrico.	Menos del 29 % de los canales permiten recambio hídrico.
Valor	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	En riesgo (2)	Degradado (1)
Presión de la ganadería sobre el ecosistema de manglar	Nula presencia/evidencia de ganado dentro del ecosistema de manglar.	Se muestran indicios de presencia de ganado, sin embargo, no se nota un efecto perjudicial sobre la flora y el suelo	Se muestra afectación en el ecosistema de manglar, posible abertura de zonas para el establecimiento de pastizales.	Se muestra afectación sobre la composición florística y estructural del manglar. El suelo es compacto, pero en caminos o veredas hacia la zona de pastoreo.	Presencia de ganado y conversión de humedales de manglar a pastizales. Destrucción del ecosistema de manglar y suelo altamente compactado y se han cercado terrenos.