



# El Colegio de la Frontera Sur

Áreas prioritarias de conservación de la cuenca del río  
Usumacinta, bajo un enfoque multicriterio.

TESIS  
presentada como requisito parcial para optar al grado de  
Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural  
Con orientación en Manejo y Conservación de Recursos Naturales  
Por

Grecia Cruz Paz

2017

## **Dedicatoria**

A mi familia; a mi madre, a mi padre, a mi hermana, a Quetzalli. Los amo.

## **Agradecimientos**

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt).

Al Centro de Estudios Territoriales (CET) de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), Cede Cuauhtémoc, por abrirme las puertas y permitirme hacer uso de sus instalaciones.

Al Laboratorio Transdisciplinario para la Sustentabilidad (LaTSu), por el espacio y tiempo que me dedicaron.

A mi director, el Dr. Alejandro Espinoza Tenorio. Gracias por todo.

Al Dr. Luis Carlos Bravo Peña, por todo el apoyo y consejos. Aprendí mucho. Gracias.

A la Dra. María Mercedes Castillo Uzcanga y la Dra. María Azahara Mesa Jurado, miembros de mi comité tutorial. Gracias por sus valiosos comentarios.

A los sinodales: Dr. Rodimiro Ramos Reyes y Dr. Alejandro Ortega Argueta, por su colaboración en la revisión de este documento.

A mis compañeros, maestros, administrativos, personal de intendencia, y todos en la Unidad Villahermosa. Siempre tuvieron palabras amables y me brindaron su apoyo en los momentos más difíciles. Gracias.

## Tabla de contenido

<b>Dedicatoria</b> .....	iii
<b>Agradecimientos</b> .....	iv
<b>Tabla de contenido</b> .....	v
<b>Resumen</b> .....	vi
<b>Capítulo I. Introducción</b> .....	1
<b>Capítulo II. Artículo</b> .....	8
Resumen.....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
ÁREA EN ESTUDIO.....	13
METODOLOGÍA .....	14
Identificación de factores.....	15
Ponderación de factores por escenario .....	21
Evaluación multicriterio.....	22
RESULTADOS.....	22
Factor Biológico .....	22
Factores Hidrogeomorfológicos .....	23
Factores Antropogénicos.....	25
Escenarios .....	26
Áreas de conservación y protección.....	27
DISCUSIÓN.....	28
Esfuerzos de conservación en el Usumacinta .....	32
CONCLUSIONES.....	34
REFERENCIAS .....	35
<b>Capítulo III. Conclusiones</b> .....	42
<b>Literatura citada</b> .....	44
<b>ANEXOS</b> .....	46

## Resumen

Las Áreas Protegidas (AP) son el principal instrumento de conservación a nivel mundial, no obstante, su delimitación puede deberse a atributos escénicos o especies carismáticas, sin considerar aquellas regiones con atributos únicos que se encuentran en riesgo de desaparecer, denominadas Áreas Prioritarias de Conservación (APC). En la cuenca transfronteriza del río Usumacinta, importante reservorio cultural, hidrológico y de biodiversidad en Mesoamérica, se asientan 124 AP, sin embargo, se desconoce si están protegiendo lo más representativo de la biodiversidad de la región. De acuerdo a lo anterior, se identificaron áreas de alta irremplazabilidad y vulnerabilidad en la cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva de: a) protección a los taxones más amenazados, b) conectividad hidrológica de la cuenca y c) mayor naturalidad y menor impacto humano. Se realizó una Evaluación Multicriterio (EMC) para la identificación de las APC a partir de nueve factores espaciales clasificados en tres categorías: 1) *biológico*: Taxones amenazados, 2) *hidrogeomorfológicos*: Morfografía, Cuerpos de agua, Distancia a los cuerpos de agua y Disección Horizontal y 3) *antropogénicos*: Densidad de población, Tasa de deforestación y regeneración vegetal, Índice de antropización de cobertura vegetal del paisaje y Distancia a la carretera. Los factores se seleccionaron mediante revisión bibliográfica y disponibilidad de información, obteniéndolos de cartografía publicada o generada expresamente. Cada factor se reclasificó en función de su aptitud de conservación y se estandarizó en una escala continua. A partir de éstos se elaboraron tres modelos espaciales que identificaron: 1) regiones con especies amenazadas, 2) con el mayor acceso al agua y propensa a menores disturbios, y 3) con los menores efectos debido a la antropización. Posteriormente se conjuntaron en un modelo final, para identificar regiones con la mayor cantidad de atributos, es decir, las APC. Se determinó que el 23.7 % del territorio son APC. Menos de la mitad del territorio se encuentran protegidas por alguna AP, encontrándose cerca de 10,000 km<sup>2</sup> de APC sin protección. Esto representa nuevas oportunidades de colaboración en conservación transnacional, pudiendo incrementar 4.86 % (Guatemala) y 0.3 % (México) la actual superficie nacional protegida.

**Palabras clave:** Mesoamérica, conservación, áreas protegidas, cuenca, transfronteriza.

## Capítulo I. Introducción

Ante la inminente pérdida de biodiversidad causada por actividades humanas (Peres y Lake 2003; Phalan et al. 2013), resulta imperante la identificación de Áreas Prioritarias de Conservación (APC), es decir, regiones con atributos únicos y cuya persistencia se encuentre en riesgo (Chávez González et al. 2015). En este contexto, las APC deben ser parte fundamental de los planes de conservación para la protección de la biodiversidad (Margules et al. 2002).

Las APC se han identificado a través de tres enfoques denominados reactivos, representativos y proactivos, basados en criterios ecológicos como vulnerabilidad, irremplazabilidad y representatividad (Schmitt 2011) (Cuadro I). La vulnerabilidad es la “probabilidad o inminencia de destrucción o alteración de la vegetación nativa” (Pressey y Taffs 2001), mientras que la irremplazabilidad es la “probabilidad de que un área sea necesaria para contribuir en los objetivos de conservación de una región” (Pressey y Taffs 2001) y la representatividad se refiere al rango de variaciones características de un ecosistema (Norton y Roper-Lindsay 2004).

El enfoque reactivo identifica zonas de alta vulnerabilidad y alta irremplazabilidad (Brooks et al. 2006), siendo sus modelos los *Hotspots* de Biodiversidad (Myers et al. 2000) y las Ecoregiones en Crisis (Hoekstra et al. 2005). En el enfoque representativo se priorizan áreas con alto grado de irremplazabilidad sin considerar su vulnerabilidad (Brooks et al. 2006), y sus modelos son los Centros de Diversidad de Plantas (Davis et al. 1994), los Países Megadiversos (Mittermeier et al. 1997), las Áreas con Aves Endémicas (Stattersfield et al. 1998) y Global 200 (Olson y Dinerstein 1998; Olson y Dinerstein 2002). El enfoque proactivo prioriza sitios con baja vulnerabilidad que aún conservan grandes regiones inalteradas, como en los Bosques de Frontera (Bryant et al. 1997), las Últimas Regiones Silvestres (Sanderson et al. 2002) y las Áreas Silvestres de Alta Biodiversidad (Mittermeier et al. 2003) (Cuadro I).

**Cuadro I.** Prioridades globales de conservación de acuerdo a su enfoque ecológico (V=vulnerabilidad, I= irremplazabilidad, R=representatividad, ↑= alta, ↓= baja, – = no se considera).

Enfoque	Prioridades globales de conservación	Criterios Ecológicos			Objetivo de conservación y criterios de selección
		V	I	R	
Reactivo	Ecoregiones en crisis (Hoekstra et al. 2005)	↑	↓	–	Biomasa y ecoregiones en mayor riesgo: 1. Porcentaje del área convertida (cultivos, superficies artificiales) 2. Porcentaje del área designado como protegida (WDPA)
	Hotspots de Biodiversidad (Myers et al. 2000)	↑	↑	–	Áreas con altas concentraciones de especies endémicas ( <i>hotspots</i> =0.5 % o 1500 sp endémicas de las 300, 000 especies de plantas del mundo) y con una pérdida inusitada de hábitat: 1. Especies endémicas 2. Grado de amenaza
Representativo	Áreas Endémicas de Aves (Stattersfield et al. 1998)	–	↑	↑	EBA's (Endemic Bird Areas, <i>hotspots</i> de aves) 1. Especies de rango restringido (área de reproducción de 50, 000 km <sup>2</sup> )
	Centros de diversidad de plantas (Davis et al. 1994)	–	↑	↑	Áreas con el mayor número de plantas 1. El área cuenta con riqueza de especies evidente, incluso si el número de especies presente no es conocido exactamente 2. El área es conocida por contener un gran número de especies endémicas 3. El sitio contiene una importante reserva genética de plantas de valor humano o de uso potencial 4. El sitio contiene diversidad de hábitats
	Global 200 (Olson y Dinerstein 1998; Olson y Dinerstein 2002)	–	↑	↑	Mantener la diversidad de especies, la preservación de diversos ecosistemas y procesos ecológicos 1. Riqueza de especies 2. endemismo 3. Unicidad taxonómica 4. Fenómenos ecológicos o evolutivos inusuales 5. Rareza global de tipos de hábitats principales
	Países Megadiversos	–	↑	↑	Países biológicamente más ricos del mundo. Postulado biopolítico. 1. Endemismo 2. Diversidad de especies 3. Diversidad en categorías taxonómicas 4. Diversidad de ecosistemas (diversidad beta) 5. Presencia de ecosistemas marinos 6. Presencia de ecosistemas forestales húmedos
Proactivo	Bosques de Frontera (Bryant et al. 1997)	↓	↓	–	Bosques de frontera: grandes bosques naturales, ecológicamente intactos, y relativamente inalterados. 1. Bosques primarios 2. Área grande capaz de soportar poblaciones de todas las especies indígenas asociadas, 3. Área grande capaz de mantener poblaciones ante eventos naturales 4. Estructura y composición determinada sobre todo por eventos naturales 5. Paisaje heterogéneo, con parches de árboles de diferentes edades. 6. Dominado por especies de la región 7. Hábitat de la mayoría de otras plantas y animales que típicamente viven en ese tipo de bosque
	Últimas Regiones Silvestres (Sanderson et al. 2002)	↓	↓	↑	Índice de Influencia humana en la tierra 1. Densidad de población 2. Cambio de uso de suelo 3. Accesibilidad 4. Infraestructura de energía eléctrica
	Áreas Silvestres de Alta Biodiversidad (Mittermeier et al. 2003)	↓	↑	–	Áreas silvestres, (que retienen al menos el 70 % de su extensión histórica y 5 personas/km <sup>2</sup> ) 1. Densidad de población 2. Intactness

Los esfuerzos globales de identificación de APC resultan inoperantes a escala regional, tanto por lo grueso de sus límites (Harris et al. 2005), como por no incorporar amenazas, tales como el cambio climático (Iwamura et al. 2013) o el cambio de uso de suelo por tierras de cultivo (Phalan et al. 2013); por lo que idealmente la selección sistemática de un APC también debe incluir en aspectos socioeconómicos del área (Freudenberger et al. 2013), políticos (Schmitt 2011), la capacidad y gobernanza política e institucional (Brooks et al. 2006), el conocimiento tradicional (Balram et al. 2004), servicios ecosistémicos (De Barros et al. 2014) o la opinión de expertos (Arriaga-Cabrera et al. 2009). No obstante, en regiones con poca información, los criterios para identificar APC dependerán de la información disponible o que puede generarse a partir de percepción remota (Thieme et al. 2007), que permiten obtener información homogénea y continua del área.

Idealmente la identificación APC podrían derivar en la implementación de instrumentos de conservación (Chávez González et al. 2015), como las Áreas Protegidas (AP). Sin embargo, esto no siempre ocurre, y las AP, pueden ser declaradas por sus atributos escénicos (Pressey 1994) y especies carismáticas o amenazadas (Abellán et al. 2007). Actualmente las AP son el principal instrumento de los esfuerzos globales de conservación y cubren el 15.4 % de la superficie terrestre, y el 3.4 % de las zonas marinas y costeras del mundo (Juffe-Bignoli et al., 2014), por lo que la evaluación de la correspondencia espacial entre las APC y las AP de una región contribuiría a validar si se están protegiendo los elementos más representativos de la biodiversidad de una región.

### **Evaluación Multicriterio**

En el contexto de la planeación territorial, la identificación de regiones importantes para la conservación de recursos naturales, se ha apoyado en análisis geográficos ante la actual disponibilidad de información geográfica digital y herramientas de toma de decisión (López-Marrero et al. 2011), siendo los SIG's y la Evaluación Multicriterio (EMC) utilizados ampliamente en la identificación de APC (Davies et al. 2013; De Barros et al. 2014).

La EMC es una herramienta de decisión que permite la integración de diversos intereses en conflicto y permite guiar, mediante un proceso transparente y estructurado, una decisión de conservación compleja hacia objetivos realistas (Davies et al. 2013).

La técnica se basa en la teoría de la decisión, es decir, en cómo las decisiones repercuten en las posibles soluciones alternativas de un problema; sus enfoques pueden ser positivo (descriptivo) donde se predice el comportamiento de los agentes decisores, o normativo (prescriptivo) que deduce el comportamiento óptimo de dichos agentes (Eastman 2005). Éste último enfoque evalúa los eventos de decisión de manera objetiva, mediante una valoración costo-beneficio de los eventos sobre los que se decidirán, o de maneja subjetiva, es decir, incorporando planteamientos explícitos de las preferencias de los centros de decisión (Eastman 2005). En el campo de la decisión territorial, las aplicaciones de la EMC y los SIG (Sistemas de Información Geográfica) pertenecen al enfoque normativo subjetivo, donde destaca el componente espacial de los datos (Eastman 2005).

En la EMC, ante una problemática a resolver, se delimita un objetivo con el que se pretende resolverla, y para el cual se emplean capas temáticas afines; denominadas criterios, que pueden ser factores, cuando realzan o detractan características, o limitantes, cuando restringen o excluyen categorías específicas. Cada criterio recibe un valor, orden o rango en un proceso que se denomina “puntuación” o ponderación, denominándose entonces capas-criterio, que se someten a una regla de decisión específica, estructurada en función del objetivo. La implementación de este último paso se denomina “evaluación” y genera el resultado final o “modelo de decisión (Eastman 2005).

### **Las Áreas Protegidas de la cuenca Usumacinta**

La cuenca del río Usumacinta (73,192 km<sup>2</sup>) es la cuenca transfronteriza más grande de Mesoamérica, además de ser una de las áreas más diversas de la región (March Mifsut y Castro 2010; Kauffer Michel 2011). En ella se asientan 124 AP (Anexo I) que cubren el 32.6 % del territorio (23,837.1 km<sup>2</sup>, Figura 1), de éstas 82 se encuentran en Guatemala, 41 en México y una en Belice. Destacan las AP Categoría V destinadas a la conservación de paisajes terrestres y marinos (37), mientras que aquellas con

monumentos naturales son escasos (3) (Cuadro II). En total 45 cuentan con plan de manejo.

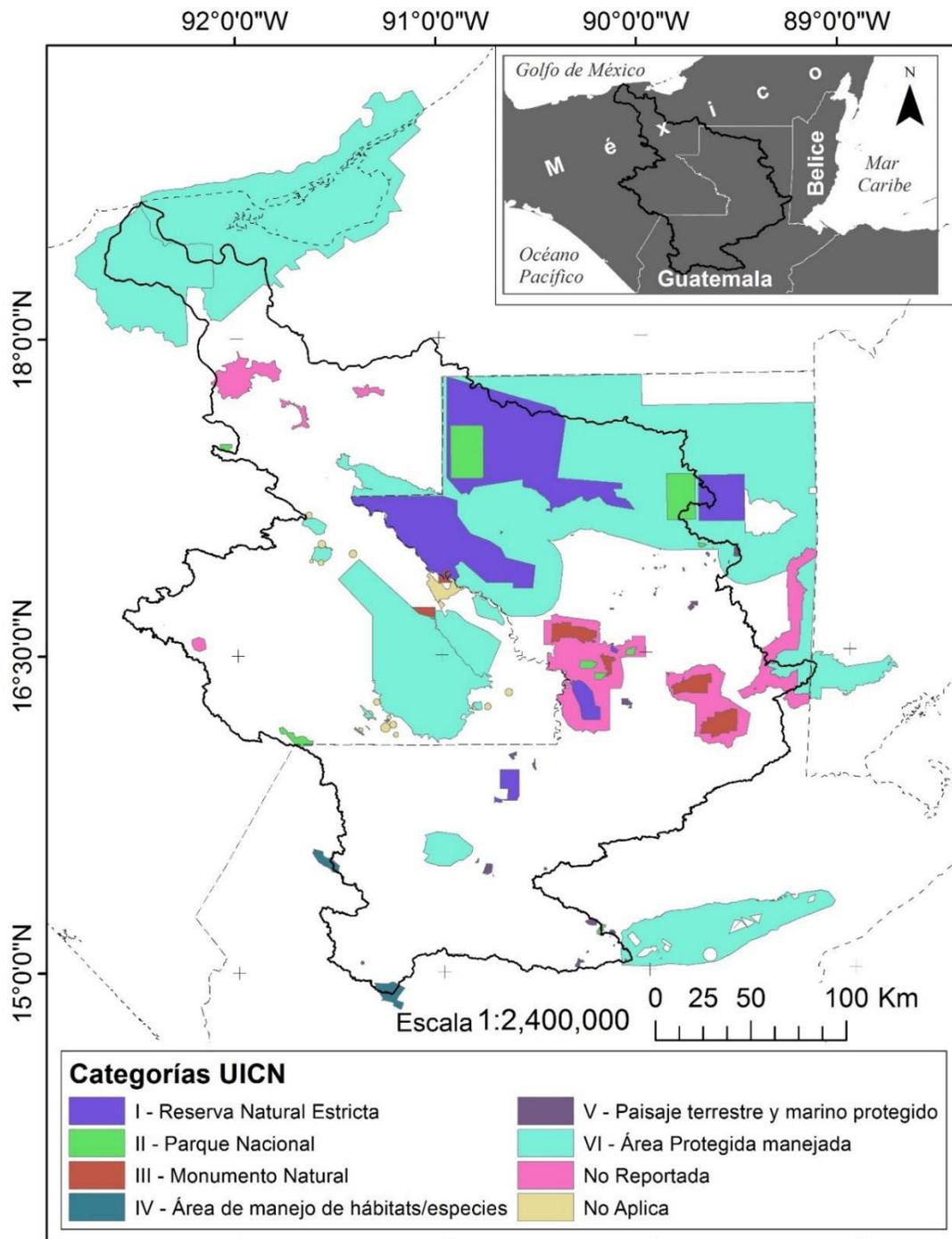


Figura 1. AP de la cuenca del río Usumacinta (Fuentes: Laboratorio de análisis de información geográfica y estadística LAIGE Ecosur San Cristóbal de las Casas, Unión internacional para la Conservación de la Naturaleza, IUCN por sus siglas en inglés).

Cuadro II. Áreas Protegidas en la cuenca del río Usumacinta por categorías de manejo de la UICN. La categoría NR incluye AP con protección jurídica del estado, mientras que NA corresponde a AP Comunitarias sin protección jurídica; ambas no reportadas en la base de datos de la Base de datos mundial de Áreas Protegidas (WDPA, por sus siglas en inglés) (IUCN y UNEP-WCMC 2016).

<b>Categorías UICN</b>	<b>Guatemala</b>	<b>México</b>	<b>Belice</b>	<b>Cuenca Usumacinta</b>
Ia (Reserva Natural Estricta)	7	---	---	7
II (Parque nacional)	7	2	---	9
III (Monumento natural)	4	2	---	6
IV (Área de manejo de hábitats/especies)	20	0	---	20
V (Paisaje terrestre y marino protegido)	37	0	---	<b>37</b>
VI (Área protegida manejada)	4	12	1	17
NR (No reportada)	3	7	---	10
NA (No aplica)	---	18	---	18
Total	82	41	1	124

En el presente estudio, se aplicó la EMC para la identificación de las APC en la cuenca del río Usumacinta. Para ello se siguieron los siguientes pasos. En primer lugar, se identificó la problemática, la cual radica en conocer si las actuales ANP de la cuenca Usumacinta se asientan en regiones con atributos valiosos y únicos que se encuentren en riesgo, es decir, en APC. Luego se seleccionaron factores de naturaleza biológica, hidrogeomorfológica y antropogénica, obteniendo nueve capas-criterio en total. Posteriormente se formularon tres reglas de decisión: la primera fue identificar regiones con especies amenazadas; la segunda, identificar aquellas con el mayor acceso al agua y propensa a menores disturbios, y la tercera, determinar aquellas áreas con los menores efectos debido a la antropización. Cada regla de decisión originó un modelo de decisión, que se conjuntaron en uno final para identificar regiones con la mayor cantidad de atributos, es decir aquellas con la mayor aptitud de conservación, y que se denominaron APC.

Considerando lo anterior, el objetivo general del presente trabajo es evaluar si las AP de la cuenca del Usumacinta se localizan en los sitios más apropiados desde la perspectiva de tres criterios: a) protección a los taxones más amenazados, b) conectividad hidrológica de la cuenca y c) mayor naturalidad y menor impacto humano.

Se plantearon cuatro objetivos específicos:

- 1) Describir y caracterizar la distribución espacial de las AP en la cuenca del río Usumacinta,
- 2) Caracterizar la cuenca del río Usumacinta en función de la distribución espacial de los taxones amenazados, su morfografía e hidrofuncionalidad, y dinámicas de antropización y cambios de cobertura en el paisaje,
- 3) Identificar mediante una evaluación multicriterio la ubicación espacial óptima de áreas a proteger para la preservación de: a) taxones más amenazados, b) conectividad hidrológica de la cuenca y c) mayor naturalidad y menor impacto humano y;
- 4) Evaluar la correspondencia espacial entre polígonos de las actuales AP y las APC.

## Capítulo II. Artículo

**Título del trabajo:** Áreas prioritarias de conservación en la cuenca Usumacinta, la aplicación de un enfoque multicriterio.

**Nombre(s) completo(s) del(los) autor(es):** Grecia Cruz-Paz<sup>1</sup>, María Mercedes Castillo<sup>2</sup>, Alejandro Espinoza-Tenorio<sup>3</sup>, Luis Carlos Bravo-Peña<sup>\*,4</sup>, Emmanuel Valencia Barrera<sup>5</sup>, M. Azahara Mesa-Jurado<sup>6</sup>.

Adscripción institucional: <sup>1,2,3,6</sup> El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) Unidad Villahermosa. <sup>4</sup>Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) División Multidisciplinaria Cuauhtémoc. <sup>5</sup>El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) Unidad San Cristóbal de las Casas.

### **Dirección (completa):**

<sup>1,2,3,6</sup> Carretera a Reforma Km. 15.5 s/n. Ra. Guineo 2da. Sección, Villahermosa, Tabasco, México. C.P. 86280. <sup>4</sup>Km. 3.5 Carretera Cuauhtémoc-Anáhuac, Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, México. C.P. 31600. <sup>5</sup>Periférico Sur s/n, Barrio de María Auxiliadora, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México C.P. 29290.

\*Autor de contacto

**Teléfonos de contacto:** <sup>1,2,3,6</sup> 993 313 6110, <sup>4</sup>625 128 1700

**Correo electrónico:** <sup>1</sup>grcruz@ecosur.edu.mx, <sup>2</sup>mmcastillo@ecosur.mx,  
<sup>3</sup>aespinoza@ecosur.mx, <sup>4</sup>luis.bravo@uacj.mx, <sup>5</sup>evalenci@ecosur.mx,  
<sup>6</sup>mmesa@ecosur.mx.

# Áreas prioritarias de conservación en la cuenca Usumacinta, la aplicación de un enfoque multicriterio

## Resumen

Las áreas prioritarias para la conservación (APC) se han establecido para proteger valiosas regiones biodiversas del creciente impacto humano. La cuenca transfronteriza del río Usumacinta es un importante reservorio cultural, hidrológico y biológico de Mesoamérica, donde, sin embargo, prevalecen importantes amenazas antropogénicas que han limitado los esfuerzos de protección de recursos naturales. El presente trabajo desarrolla una evaluación multicriterio (EMC) de aspectos biológicos, hidrológicos y antropogénicos de la cuenca Usumacinta para identificar APC, es decir, aquellas áreas con la mayor aptitud de conservación de acuerdo a su grado de irremplazabilidad y vulnerabilidad. El modelo determina que el 23.7 % del territorio son APC, sin embargo, menos de la mitad se encuentran protegidas por alguna de las actuales 124 Áreas Protegidas (AP). Priorizar áreas de conservación dentro del esquema actual de protección de la cuenca facilitaría un manejo sistémico basado en las variaciones biofísicas y sociales regionales, complementando así los esfuerzos locales para proteger las 30 especies vulnerables, presente en la cuenca, de los impactos de las actividades humanas. Los resultados del presente trabajo abren nuevas oportunidades de colaboración en materia de conservación transnacional, pudiendo incrementar 4.86% (Guatemala) y 0.3 % (México) la superficie nacional protegida.

Palabras clave: Mesoamérica, área protegida, irremplazabilidad, vulnerabilidad

## INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas son una importante causa de pérdida de biodiversidad y se estima que el 21.8 % de la superficie del planeta ya ha sido transformada por estas actividades (Hoekstra et al., 2005). Para mitigar los procesos de pérdida de biodiversidad se han identificado regiones del territorio que poseen valiosos atributos biofísicos y socioeconómicos que, no obstante, están en riesgo inminente por causas naturales o humanas (Chávez González, González Guillén y Hernández de la Rosa, 2015). La intención de establecer estas áreas prioritarias para la conservación (APC) es asegurar la persistencia de la naturaleza (Knight et al., 2008), pues en ellas se incluyen las especies de todos los taxones conocidos en una región y así fungir como referente para los tomadores de decisiones y las políticas públicas (Chávez González, González Guillén y Hernández de la Rosa, 2015). Las APC buscan complementar los esfuerzos de conservación con las Áreas Protegidas (AP's) que se encuentran en regiones sujetas a fuertes presiones antropogénicas (Margules, Pressey y Williams, 2002).

La identificación de APC comenzó a principios de los años noventa con ejercicios a nivel mundial basados en enfoques proactivos, representativos o reactivos, apoyados en conceptos ecológicos como la vulnerabilidad, irremplazabilidad y representatividad (Schmitt, 2011). En las evaluaciones proactivas se priorizan aquellos sitios con baja vulnerabilidad que aún conservan grandes regiones inalteradas (Bryant, Nielsen y Tangle, 1997; Mittermeier et al., 2003), mientras en los análisis representativos se priorizan áreas con alto grado de irremplazabilidad, sin considerar su vulnerabilidad (Olson y Dinerstein, 1998, 2002; Brooks et al., 2006). En cambio, en los ejercicios reactivos se determinan zonas de alta vulnerabilidad e irremplazabilidad (Hoekstra

et al., 2005), como en los casos en los que se identifican *hotspots* de biodiversidad (Myers et al., 2000).

No obstante, a escala regional la identificación de APC regularmente se basa en atributos ecológicos locales, pudiendo definirse a partir de una especie, taxa o todas las especies de un área, buscando el menor número de áreas necesarias para representarlas o aquellas que maximicen la probabilidad de persistencia (Bonn y Gaston, 2005). Además, los actuales análisis remarcan la necesidad de integrar las principales amenazas a las que se enfrenta la biodiversidad, como la expansión de tierras de cultivo (Phalan et al., 2013) y el cambio climático (Iwamura et al., 2013), así como aspectos políticos (Schmitt, 2011) de la capacidad y gobernanza política e institucional de una región (Brooks et al., 2006) o sus procesos socioeconómicos (Freudenberger et al., 2013).

La cuenca del río Usumacinta es un territorio compartido por Guatemala, México y Belice, que destaca como un importante reservorio cultural, hidrológico y biológico (March Mifsut y Castro, 2010). Esta enorme área de 73,192 km<sup>2</sup> (Kauffer Michel, 2011) forma parte de Mesoamérica, que se considera el tercer *hotspot* más grande del mundo (Myers et al., 2000), el cual aún posee bosques ecológicamente intactos o de frontera (Bryant, Nielsen y Tangle, 1997). Toda la biodiversidad que depende del Usumacinta, el último gran río de Guatemala y México sin represar, ha proporcionado beneficios históricos a los habitantes de la región; tan solo los servicios ambientales de la parte mexicana se encuentran valorados en 23,000 millones de dólares anuales (Sáenz-Arroyo, 2015). Sin embargo, la biodiversidad de la cuenca es vulnerable, y ecosistemas prioritarios, como la eco-región de coníferas, están catalogados en estado crítico (Olson

y Dinerstein, 1998, 2002). Las fuertes presiones sobre los recursos naturales permanecen por la apertura de caminos, sobrepesca, canalización, desvíos y contención de cauces, caza furtiva, especies introducidas y crecimiento urbano (March Mifsut y Castro, 2010). Además existen potenciales amenazas por proyectos de desarrollo hidroeléctrico que amenazan con interrumpir la conectividad del cauce principal del río (CFE, 2002).

Para aminorar el impacto de las actividades antropogénicas sobre la biodiversidad de la cuenca del Usumacinta se han decretado múltiples AP's desde 1979 en los tres países que conforman la cuenca. Pese a estos instrumentos, los procesos de deterioro siguen incrementando y urgen herramientas reactivas que permitan priorizar y planificar los esfuerzos de conservación en la región. El presente trabajo pretende identificar áreas de alta irremplazabilidad y vulnerabilidad en la cuenca del río Usumacinta con ayuda de Sistemas de Información Geográfica (SIGs) y una Evaluación Multicriterio (EMC).

La EMC es una técnica cuantitativa utilizada como herramienta en la identificación de APC (De Barros et al., 2014; Farashi, Naderi y Parvian, 2016), que permite identificar la solución espacial óptima para cumplir objetivos múltiples, a partir de la ponderación y superposición espacial de la información cartográfica relevante al objeto de estudio (Malczewski y Rinner, 2015). La técnica implica definir el objetivo del análisis, o problema que se intenta resolver, los criterios o factores espaciales que definen la aptitud del espacio al problema bajo análisis, el peso que tendrán estos factores, y la técnica bajo la cual estos factores serán añadidos o superpuestos entre sí (Gómez Delgado y Barredo Cano, 2005). Su ventaja radica en que pueden utilizarse numerosos

criterios o indicadores a cualquier escala, unidad de medida o límite territorial (Chávez González, González Guillén y Hernández de la Rosa, 2015).

## ÁREA EN ESTUDIO

El río Usumacinta se conforma por la confluencia de sus tres principales tributarios, los ríos Lacantún, Negro o Chixoy y La Pasión (Figura 1); éstos dos últimos nacen en Guatemala (Cabrera y Cuc, 2002). El gradiente fisiográfico de la cuenca del río Usumacinta se origina en la región la región montañosa de la Sierra Madre, en los departamentos guatemaltecos de Huehuetenango, Quiché y Totonicapán de la provincia fisiográfica Tierras altas sedimentarias, así como en los municipios mexicanos de Chanal, Huixtán y Oxchuc en la provincia de Los Altos de Chiapas. Aguas abajo, éstos dan paso a las Tierras bajas interiores del Petén, al Cinturón Plegado del Lacandón y la Sierra Lacandona, que finalizan en la Llanura y Pantanos Tabasqueños y la Plataforma Sedimentaria de Yucatán (Cervantes-Zamora et al., 1990; IGN, 2002). El clima de la cuenca varía desde templado subhúmedo en las regiones montañosas, hasta cálido húmedo en la planicie (García, 1998; IGN, 2001).

Culturalmente, el territorio destaca por albergar a pobladores de las etnias de los Lacandones y Choles, descendientes directos de los mayas, y al menos otros veinte grupos étnicos (Cabrera y Cuc, 2002), entre ellos a los chontales, en la parte baja de la cuenca (Maimone-Celorio et al., 2006). Biológicamente, posee una gran biodiversidad, y especies emblemáticas como el tapir, el jaguar, el ocelote o la guacamaya roja (March Mifsut y Castro, 2010) y aún mantiene grandes remanentes de bosque de la Selva Maya, un importante remanente de bosque subtropical húmedo en América Central que originalmente abarcaba desde Chiapas, hasta Yucatán, Guatemala y Belice, además de

bosques de pino y encino, bosques mesófilos de montaña, selvas tropicales, pantanos y humedales (Norris, Wibwer y Morales Marín, 1999; March Mifsut y Castro, 2010).

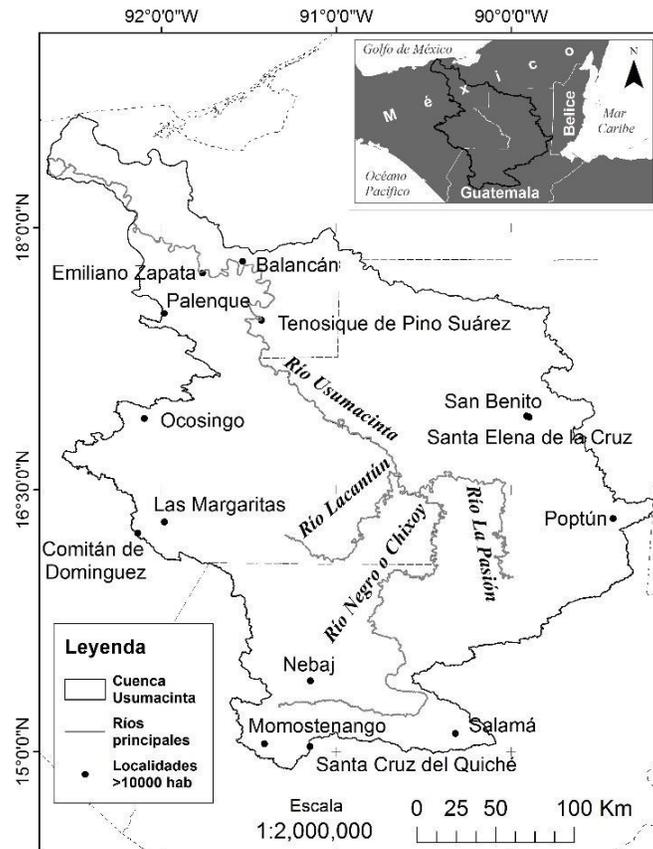


Figura 1. Cuenca transfronteriza del río Usumacinta conformada por Guatemala (57.9 %), México (42 %) y a Belice (0.1 %). (Fuentes: Laboratorio de análisis de información geográfica y estadística LAIGE Ecosur San Cristóbal de las Casas, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática INEGI, Instituto Geográfico Nacional IGN, Sistema Nacional de Información Territorial SINIT).

## METODOLOGÍA

El arreglo metodológico seguido para la EMC incluyó siete etapas (Figura 2). Se identificaron nueve factores espaciales de aspectos biológico, hidrogeomorfológicos y antropogénicos de la cuenca Usumacinta (Cuadro I), que se reclasificaron en función de

su aptitud de conservación y se estandarizaron en una escala continua (FUZZY, IDRISI Selva 17.00), mediante una función de pertenencia de lógica difusa (Eastman, 2012).

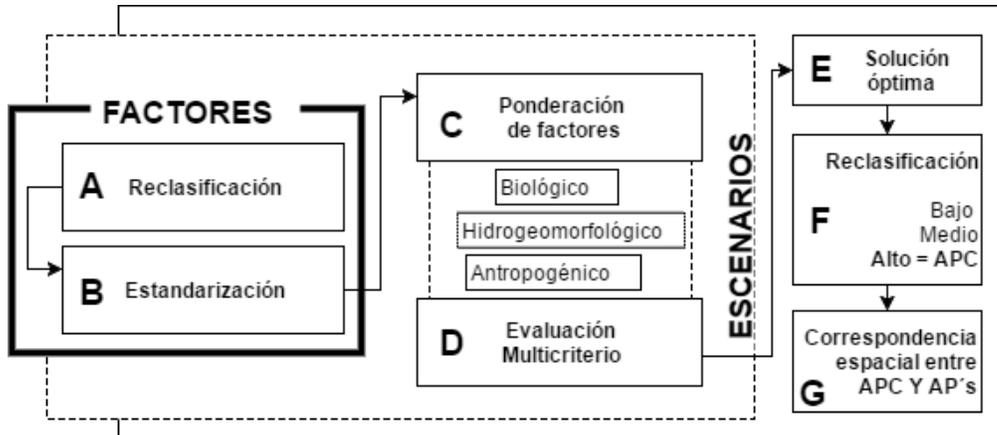


Figura 2. Diagrama metodológico para la identificación de áreas prioritarias de conservación.

### Identificación de factores

El factor biológico está representado por los taxones amenazados en la lista roja de la Unión internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por sus siglas en inglés). Los rangos de distribución de las especies vulnerables (VU), en peligro (EN) y peligro crítico (CR) de la cuenca Usumacinta se agruparon por taxa (Cuadro I). Se le asignó una mayor aptitud de conservación al territorio donde se sobrepuso el mayor número de taxones amenazados (Venter et al., 2014; Campos et al., 2016).

Los factores hidrogeomorfológicos considerados fueron: morfografía, distancia a cuerpos de agua y disección horizontal (Cuadro I). La morfografía, o disección vertical (DV) por km<sup>2</sup>, hace referencia a la amplitud del relieve; es decir, la distancia vertical entre los puntos de mayor y menor altitud de una unidad (Priego et al., 2010). Se le

asignó una mayor aptitud de conservación a las regiones de mayor elevación y relieve más abrupto, debido a su difícil acceso y menores disturbios (Farashi, Naderi y Parvian, 2016).

En relación con el segundo factor se llevó a cabo una clasificación supervisada para identificar los cuerpos de agua observables a escala 1:100,000 (calidad cartográfica= 87 %). Para cada imagen de satélite Landsat 8 se generó un COMPOSITE con las bandas 3, 4 y 5, a partir de donde se digitalizaron campos de entrenamiento con cuatro clases: agua, concreto, desmonte y vegetación. De estas clases se extrajeron las firmas espectrales a partir de seis bandas (2, 3, 4, 5, 6 y 7) y un índice basado en el NDVI (Banda 2-Banda 5) / (Banda 2+Banda 5). Considerando que incluso pequeños cuerpos de agua fungen como refugios de biodiversidad (Biggs, von Fumetti y Kelly-Quinn, 2016), todos tuvieron la máxima prioridad de conservación.

A partir de los cuerpos de agua se calculó la distancia euclidiana entre píxeles, con la finalidad de identificar regiones con el mayor acceso al agua. El factor de distancia a los cuerpos de agua toma como supuesto del análisis que en este espacio ocurren los procesos de migración (1.0 km) y dispersión de los anfibios (1.0–10.0 km) (Semlitsch, 2008), el único taxa con desplazamiento limitado fuera del agua de este estudio. A partir de los 10 km lineales del centro de cuerpos de agua, la aptitud disminuye conforme más se aleja.

La disección horizontal se obtuvo a partir de la red hidrológica (Cuadro I), calculando la densidad de drenaje con la longitud total de corrientes de agua por km<sup>2</sup>, para ubicar los sitios con mayor o menor grado de humedad en el paisaje, otorgándole mayor aptitud a

áreas con mayor la densidad de drenaje ( $> 5 \text{ km/km}^2$ , clase 1), y la menor aptitud a las de menor la densidad ( $< 0.3 \text{ km/km}^2$ , clase 7) (García Coll et al., 2011).

El grupo de factores antropogénicos incluye cuatro variables: densidad de población, tasa de deforestación y regeneración vegetal, índice de antropización de cobertura vegetal del paisaje y distancia a las carreteras. La densidad de población se calculó por  $\text{km}^2$  a partir de la población total por localidad. Debido a que la población humana también ha sido un referente para inferir el grado de influencia en la biodiversidad, y mientras menor sea la densidad menor será su influencia (Sanderson et al., 2002), este supuesto se utilizó en el análisis, donde se asignó mayor aptitud de conservación a las áreas con población  $\leq 5$  personas/ $\text{km}^2$  (Mittermeier et al., 2003), y menor prioridad de conservación a aquellas entre 6-10 personas  $\text{km}^2$  (Sanderson et al., 2002).

Para la tasa de deforestación y regeneración vegetal se estimó el cambio de uso de suelo en la cuenca a través de la tasa de deforestación en el período 2001-2013 mediante la reclasificación en “Natural” y “No natural” de la cobertura de suelo tipo 1 IGBP de MODIS (MODIS, 2012) (Anexo I), mediante la fórmula (Puyravaud, 2003; Vuohelainen et al., 2012):

$$q = \left[ \frac{A_2^{\frac{1}{t_2-t_1}}}{A_1} - 1 \right] * 100$$

donde:

q= Tasa anual de deforestación (%)

$A_1$ = Cobertura forestal en el año inicial

$A_2$ = Cobertura forestal en el año final

t<sub>1</sub>= Año inicial

t<sub>2</sub>= Año final

Considerando que las tasas de deforestación menores están asociadas con altas reservas de carbono y APC para el jaguar (De Barros et al., 2014), se le otorgó la mayor aptitud de conservación a aquellas áreas asociadas con procesos de regeneración vegetal, es decir, con valores positivos en la tasa anual de deforestación y regeneración vegetal, mientras que a aquellos valores negativos se les otorgó menor aptitud de conservación, al estar asociados con procesos de deforestación.

El índice de antropización de la cobertura vegetal del paisaje permite conocer el grado de alteración de la cobertura vegetal por unidades de paisajes (Priego et al., 2004) y mide el grado de influencia humana en el paisaje (Steinhardt et al., 1999). Se calculó por km<sup>2</sup>, a partir de una cartografía compuesta por una cobertura del año 2013 tipo 1 IGBP de MODIS, cuerpos de agua y localidades urbanas (OpenStreetMap®), mediante la fórmula de Shishenko (1988).

$$IACV = \frac{\sum_{i=1}^n r_i * A_{ij}}{AT_j}$$

donde:

IACV: Índice de antropización de la cobertura vegetal del paisaje

r<sub>i</sub>: Grado de transformación antropogénica de los paisajes del tipo i de utilización o ponderación del grado de transformación antropogénica

A<sub>ij</sub>: Área dedicada al tipo de utilización i en el geocomplejo j

AT<sub>j</sub>: Área total del paisaje j

La mayor aptitud de conservación se le otorgó a zonas con el menor grado de perturbación humana, de acuerdo con la categorización propuesta por Mathews Fernández (2011) , donde relaciona la degradación de los suelos con la alteración de la cubierta vegetal.

Con el factor de distancia a la carretera se recopiló información de carreteras y caminos, a partir de las cuales se obtuvo la sumatoria de la longitud total de las vías de comunicación por área (Cuadro I). Posteriormente con operadores de contexto espacial se calculó la distancia euclidiana de cada pixel respecto a las carreteras adyacentes, con la finalidad de identificar las regiones más accesibles, tomando como supuesto que el acceso humano a través de carreteras facilita incursiones a pie mayores a 5 km, permitiendo la extracción de grandes mamíferos (Peres y Lake, 2003), así como índices de deforestación mayores a 95 % en los primeros 5.5 km que las rodean (Barber et al., 2014).

En el Cuadro I se recopilan los factores y criterios considerados para la identificación de las APC:

**Cuadro I.** Criterios para la identificación de áreas prioritarias de conservación en la cuenca Usumacinta.

Grupo	Factor	Fuente de información	Clase	Reclasificación*
Biológico	Taxones amenazados IUCN (VU, EN, CR)	Distribución de especies amenazadas <sup>1</sup>	1	4 taxones
			2	3 taxones
			3	2 taxones
			4	1 taxón
Hidrogeomorfológico	Morfografía	Modelo Digital de Elevación acondicionado <sup>2</sup>	1	DV* > 500 m/km <sup>2</sup>
			2	DV > 10 < 500 m/km <sup>2</sup>
			3	DV < 10 m/km <sup>2</sup>
	Cuerpos de agua Distancia a los cuerpos de agua	Imágenes del satélite Landsat 8 OLI/TIRS <sup>3</sup>	1	Todos
			Prioridad alta en zona de influencia (10 km), disminuye a 0 en distancia máxima (52571.9 m).	
			1	4-5 km/km <sup>2</sup>
Disección Horizontal	Dirección y áreas de concentración de flujo superficial <sup>2</sup>	2	3-4 km/km <sup>2</sup>	
		3	2-3 km/km <sup>2</sup>	
		4	1-2 km/km <sup>2</sup>	
		5	0.3-1 km/km <sup>2</sup>	
		6	< 0.3 km/km <sup>2</sup>	
Antropogénico	Densidad de población	a) Población total por localidad México <sup>4</sup> ; b) Guatemala <sup>5</sup> .	1	≤ 5 personas/km <sup>2</sup>
			2	6-10 personas km <sup>2</sup>
			3	> 11 personas km <sup>2</sup>
	Tasa de deforestación y regeneración vegetal	a) Cobertura de uso del suelo tipo 1 IGBP de MODIS año 2001 <sup>6</sup> y 2013 <sup>6</sup>	1	1 % a 100 %
			2	0 % a -1.4 %
			3	≥ -1.4 % a -100 %
	Índice de antropización de cobertura vegetal del paisaje	a) Cobertura MODIS de uso del suelo 2013 <sup>6</sup> ; b) Cuerpos de agua; c) Localidades urbanas (OpenStreetMap®)	1	≤ 0.20
			2	0.21-0.40
			3	0.41-0.60
			4	0.61- 0.80
5			≥ 0.81	
Distancia a la carretera	a) Vías de comunicación (VC) México <sup>7</sup> ; b) RNC <sup>8</sup> ; c) VC Guatemala <sup>5</sup> ; d) VC Open StreetMap®.	Prioridad alta lejos de carreteras (26,782 m) disminuye a 0 conforme se acerca a los 5500 m.		

\* Factores en función de su aptitud de conservación (clase 1 = mayor prioridad). Fuentes: <sup>1</sup>(IUCN, 2016) ; <sup>2</sup>GRID-3arcsecond, HydroSHEDS (WWF, 2013); <sup>3</sup>(Landsat Archive, 2013); <sup>4</sup>Población de Chiapas, Campeche, Tabasco del Censo de Población y Vivienda 2000 (INEGI, 2012); <sup>5</sup>Censo Nacional XI de Población y VI de Habitación 2002 SEGEPLAN (SINIT, 2012); <sup>6</sup>(MODIS, 2012); <sup>7</sup>Conjunto de Datos Vectoriales de Carreteras y Vialidades Urbanas Edición 1.0 para Chiapas, Campeche y Tabasco (INEGI, 2011) ; <sup>8</sup> Red Nacional de Caminos (INEGI, 2015). \*Disección Vertical. Los factores se obtuvieron de cartografía publicada, o bien se generaron expresamente por los autores del trabajo.

## Ponderación de factores por escenario

El procedimiento de ponderación utilizó como eje la técnica de análisis jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés), para ordenar la importancia de diversos criterios en una escala continua a través de la comparación pareada entre ellos (Saaty, 2008). Dicha ponderación se realizó bajo tres escenarios con prioridades diferentes, donde los factores tienen un peso distinto: Biológico, Hidrogeomorfológico y Antropogénico (Cuadro II). El primero identificó regiones con especies amenazadas, el segundo zonas con el mayor acceso al agua y propensa a menores disturbios, y el tercero aquellas áreas con los menores impactos debido a la antropización. En cada caso, se asignó mayor peso al grupo de variables que describen y dan nombre a cada escenario.

Cuadro II. Peso ponderado de los factores bajo tres escenarios de conservación. En negritas los factores con mayor peso por escenario.

<b>Factor</b>	<b>Escenario Biológico</b>	<b>Escenario Hidrogeomorfológico</b>	<b>Escenario Antropogénico</b>
Taxones	<b>0.222</b>	0.111	0.028
Morfografía	0.111	0.139	0.028
Diseción Vertical	0.139	0.167	0.028
Cuerpos de agua	0.194	0.194	0.083
Distancia a los cuerpos de agua	0.167	<b>0.222</b>	0.111
Densidad de población	0.056	0.028	0.139
Tasa de deforestación	0.028	0.056	0.194
Índice de antropización	0.056	0.056	<b>0.222</b>
Distancia a la carretera	0.028	0.028	0.167

## Evaluación multicriterio

Se realizó una evaluación multicriterio para cada escenario (MCE, IDRISI Selva 17.00), tomando como base una técnica de sumatoria lineal ponderada, a partir de los pesos obtenidos por cada factor en la fase previa de AHP. En la escala resultante para cada escenario, cero se considera como la aptitud menor de conservación y 1 la aptitud mayor de conservación. Los escenarios Biológico, Hidrogeomorfológico y Antropogénico, se conjuntaron en un cuarto escenario (escala 0 a 3), denominado “solución óptima” (Wood y Dragicevic, 2006), el cual se categorizó en tres rangos equivalentes de acuerdo a su prioridad de conservación (baja, media y alta).

Se realizó una comparación entre las actuales AP de la cuenca Usumacinta (IUCN y UNEP-WCMC, 2016), y las APC delimitadas en el presente estudio para evaluar su correspondencia espacial.

## RESULTADOS

### Factor Biológico

En la caracterización biológica de la cuenca Usumacinta se encontró que ésta alberga 12 especies en peligro crítico (CR), 11 especies Vulnerables (VU) y siete en peligro de extinción (EN). Las 30 especies pertenecen a seis taxones: anfibios (22 sp), reptiles (3 sp), aves (2 sp), insectos (1 sp), crustáceos (1 sp), y mamíferos (1 sp). Los reptiles y mamíferos se despliegan en toda el área de la cuenca, seguidos de las aves (75.8 %), los anfibios (16.4 %), los crustáceos (8.6 %) y los insectos (3.8 %). Cabe destacar que en el 3.9 % del territorio de la cuenca se distribuye un taxón, en el 89.3 % se distribuyen

dos taxones, en el 5 % se distribuyen tres y en el 1.7 % se distribuyen cuatro (Figura 3A).

### Factores Hidrogeomorfológicos

Morfográficamente, las mayores disecciones verticales (Montañas medianas y altas) se distribuyen en el 6.3 % de la cuenca (Figura 3B), mientras que las disecciones verticales intermedias (Premontañas altas, Lomeríos grandes y pequeños, Lomeríos medianos y grandes, Llanuras altas y lomeríos pequeños) se distribuyen en el 47.8 % y aquellas con la menor disección en el 45.8 % del territorio.

Los cuerpos de agua abarcan una extensión del 1.2 % del territorio. De la cuenca, México es el país con el mayor porcentaje de cobertura de cuerpos de agua (580.48 km<sup>2</sup>, 68 %), seguido de Guatemala (277.2 km<sup>2</sup>, 32 %), mientras que en la región de Belice no se registra ninguno (Figura 3C). En el caso de la distancia a los cuerpos de agua, se encontró que el punto más alejado de un cuerpo de agua se ubicó a 52,571.9 m lineales (Figura 3D).

Con respecto a la disección horizontal, la longitud de la red hídrica es de 59,648.2 km con un orden de corrientes máximo de 8. La mayor proporción de corrientes de agua se encuentra en Guatemala (57.8 %), seguida de México (42.2 %) y por último Belice (0.01 %). El 34.4 % de la cuenca presenta la menor densidad de corrientes de agua por km<sup>2</sup> (Figura 3E), mientras que el 33.9 % y el 24.6 % son ligeramente y suavemente diseccionadas, respectivamente. Únicamente el 0.01 % del territorio tiene la mayor densidad de corrientes de agua, en tanto que el 0.4 % es medianamente diseccionado y el 6.7 % es ligera a medianamente diseccionado.

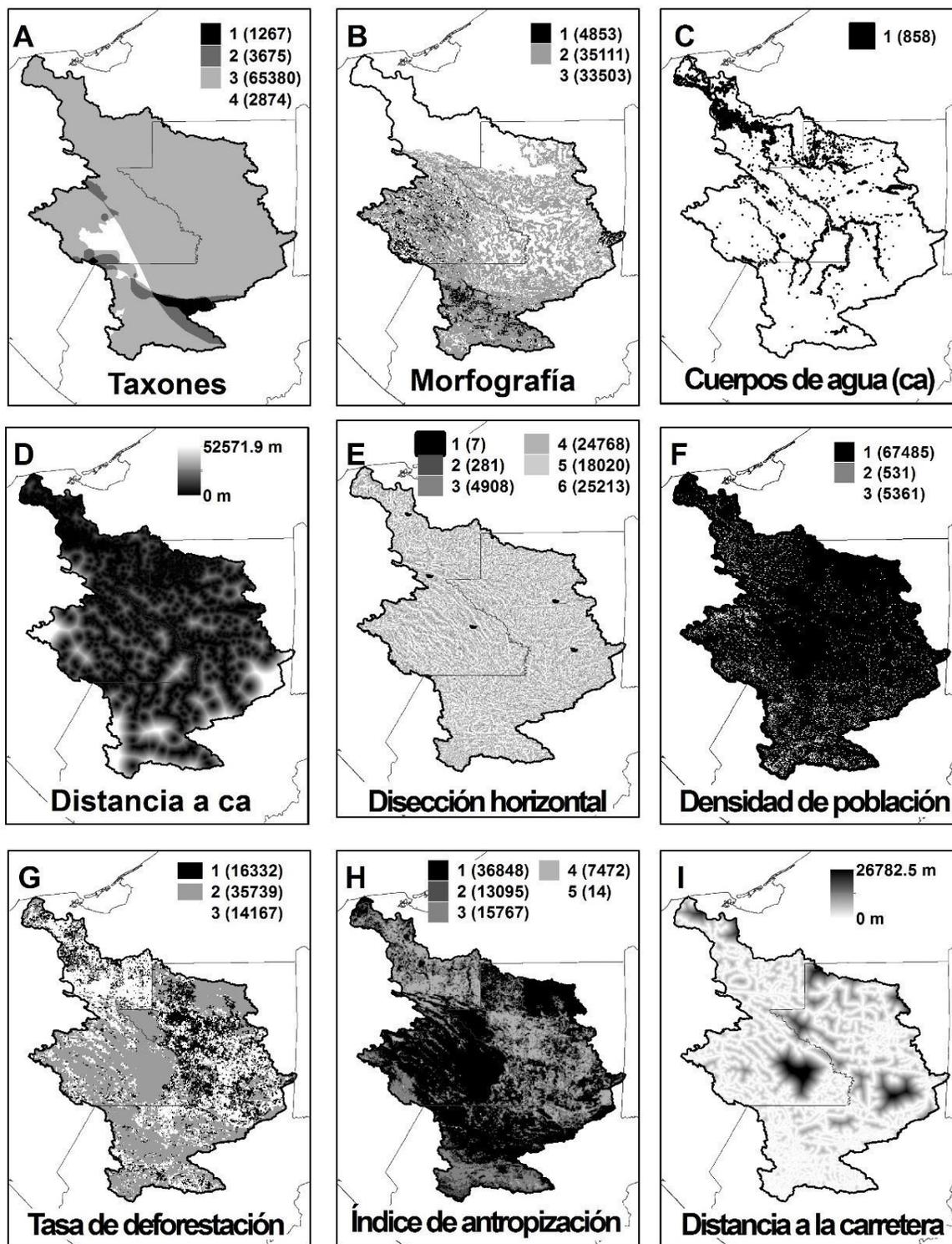


Figura 3. Factores estandarizados en función de su aptitud de conservación. Tiene mayor aptitud la clase número 1 (color negro), y disminuye conforme aumenta el valor de la clase (color blanco). Entre paréntesis, área (km<sup>2</sup>) de las clases. CA=Cuerpos de agua.

## Factores Antropogénicos

Entre los años 2000 y 2002, la población total fue de 2,285,578 habitantes, estando distribuida en 8,954 localidades (urbanas y rurales). En Guatemala se encontró el 68 % de la población (1,545,842 hab), distribuida en 5,315 localidades (59 % del total de localidades). México albergó el 32 % de la población del territorio (739,736 hab) con el 41 % de localidades (3,639), mientras que en el área correspondiente a Belice no existen asentamientos humanos. En general el 92.2 % del territorio alberga densidades entre cero y cinco habitantes por km<sup>2</sup> (Figura 3F), mientras que un 0.5 % densidades de entre 6 y 10 habitantes por km<sup>2</sup>, y un 7.3 % a densidades mayores de 11 habitantes por km<sup>2</sup>.

El proceso de regeneración vegetal entre 2001 y 2012 ocurrió en un 24.7 % de la cuenca (Figura 3G), mientras que las tasas de deforestación baja (entre -1.4 % y cero) se encontraron en el 54 % de la cuenca y las tasas de deforestación alta (entre -100 % y -1.4 %) en el 24.4 % del territorio de la cuenca.

El 50.3 % del territorio presentó un índice de antropización muy bajo (< 0.20, Figura 3H), bajo en un 17.9 % de la cuenca, medio en 21.5 % de la cuenca, alto en el 10.2 % y muy alto en el 0.02 % (Figura 3H).

Con el factor de distancia a las carreteras se encontraron 25,368.9 km de carreteras que conectan a la Cuenca Usumacinta. El pixel más alejado de una carretera, se encontró a 26.8 km (Figura 3I). El área de influencia de 1 km a ambos lados de las carreteras es de 61,581.9 km<sup>2</sup>, mientras que aquellas regiones alejadas en ese radio conforman un área de 11,614.5 km<sup>2</sup>, compuesta por 103 fragmentos que van desde los

287 m<sup>2</sup> hasta los 2,839 km<sup>2</sup>, con un promedio de 112.76 km<sup>2</sup>. Los fragmentos menores a 10 km<sup>2</sup> abarcan 165 km<sup>2</sup> y constituyen el 66 % del total de fragmentos en la cuenca (68).

## Escenarios

El escenario que prioriza aspectos biológicos para la selección de áreas de conservación de especies, tuvo un valor máximo de 0.90 sobre uno. El 97.5 % del territorio se señala con mediana prioridad de conservación (Figura 4A), mientras las zonas con alta prioridad representan el 2.1 % y con baja prioridad el 0.4 %.

El Escenario Hidrogeomorfológico tuvo un valor máximo de 0.91, donde el 97.1% del territorio tiene prioridad de conservación media, mientras que las zonas de mayor prioridad corresponden al 2.1 % (Figura 4B). Solo el 0.7 % del área de la cuenca se cataloga como de baja prioridad de conservación.

El Escenario Antropogénico tuvo un valor máximo de 0.96. Las zonas con prioridad media y alta tienen 53.5 % y 44 %, respectivamente (Figura 4C). Las zonas con baja prioridad de conservación representan el 2.1 %.

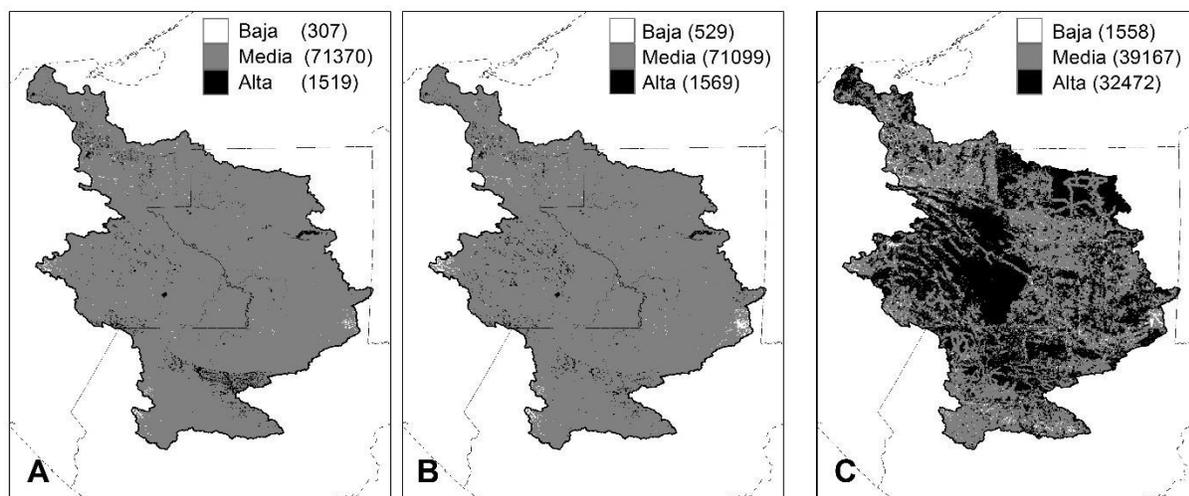


Figura 4. Escenario A) Biológico, B) Hidrogeomorfológico y C) Antropogénico de acuerdo a sus prioridades de conservación: baja (blanco), media (gris) y alta (negro). Entre paréntesis, área (km<sup>2</sup>) de las clases.

#### Áreas de conservación y protección

De las 124 AP asentadas en la cuenca del Usumacinta, 82 se encuentran en Guatemala, 41 en México y una en Belice, y en conjunto cubren el 32.6 % del territorio de la cuenca (24,126.2 km<sup>2</sup>).

El escenario con la “solución óptima” tuvo un valor máximo de 2.56 sobre 3, e indica que el área de la cuenca con baja prioridad de conservación representa el 0.4 % del territorio (286.7 km<sup>2</sup>) del cual el 10 % se encuentra protegido (Figura 5). Las zonas con prioridad media representan el 75.9 % (55,570.8 km<sup>2</sup>) encontrándose protegidas el 30 % de éstas. Aquellas con alta prioridad, representan el 23.7 % del territorio (17,338.9 km<sup>2</sup>), del cual casi la mitad se encuentra protegida por AP (44.1 %).

La mayoría de las APC se distribuyen en Guatemala (55.7 %), seguida de México (44.2 %) y por último Belice (0.003 %). En Guatemala de los 9,666.3 km<sup>2</sup> que abarcan las APC, el 43.7 % se encuentra en territorio protegido por AP, cifras parecidas en México,

donde de los 7,672.1 km<sup>2</sup> de APC, el 44.5 % está dentro de un AP. En Belice el 100 % de las APC se encuentra protegido

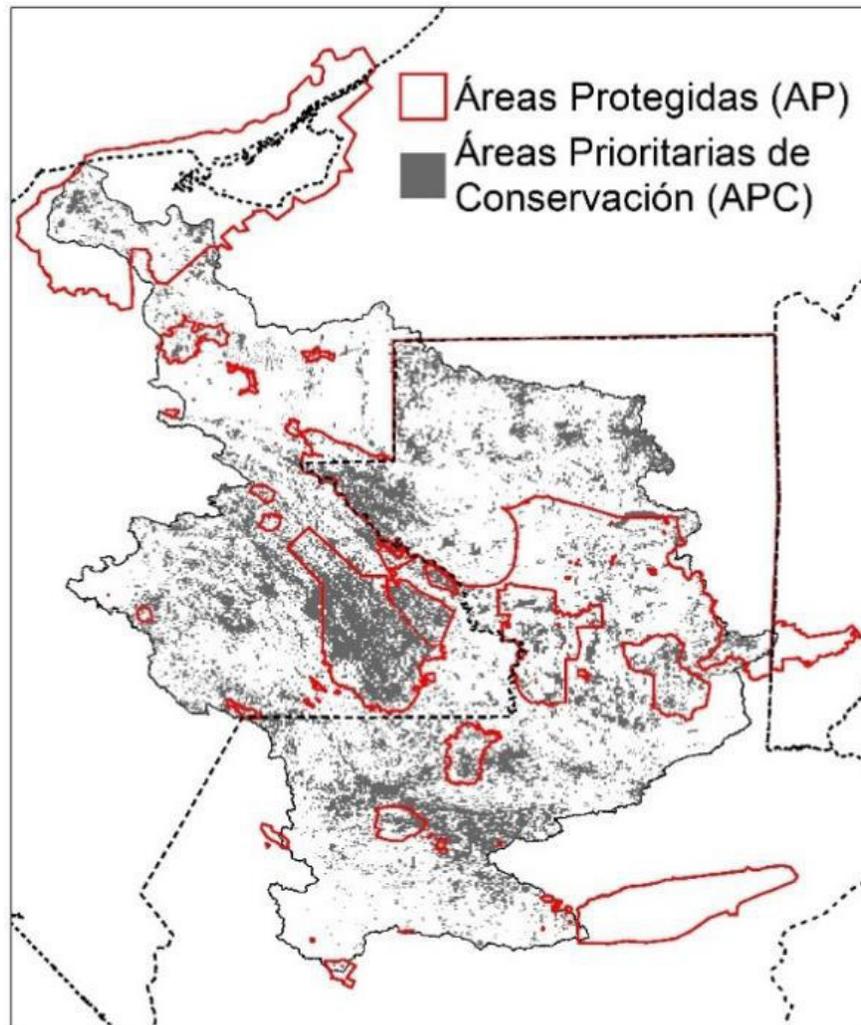


Figura 5. Áreas prioritarias de conservación y áreas protegidas en la cuenca Usumacinta. (Fuentes: Laboratorio de análisis de información geográfica y estadística LAIGE Ecosur San Cristóbal de las Casas, Unión internacional para la Conservación de la Naturaleza, IUCN por sus siglas en inglés).

## DISCUSIÓN

La identificación de APC mediante la Evaluación Multicriterio y SIG es un acople metodológico novedoso y viable en grandes áreas donde existen un alto número de variables, como soluciones posibles. Por ello, el presente trabajo representa un primer

esfuerzo que considera a la cuenca del Usumacinta como una macro unidad ecohidrológica, permitiendo la identificación de APC en una gran cuenca trinacional.

Dentro de las bondades del método, destacan que la ponderación jerárquica de la información espacial es establecida por criterios definidos por el modelador; en este caso mediante la opinión de expertos y revisión de literatura especializada disponible. Además, la estandarización de la información en escalas continuas la convierte en una técnica capaz de integrar diversas y numerosas variables. Debido a que la calidad de los estudios regionales de APC depende de información del área de estudio que cumpla con los objetivos de la investigación (Harris, Jenkins y Pimm, 2005), el presente trabajo utilizó información disponible cuya fuente, acceso, disponibilidad y resolución varió de un país a otro. Posteriores estudios pueden explorar otros factores.

El uso de una EMC permitió la integración de diferentes tipos de información que ha sido utilizada independientemente en investigaciones de otras partes del mundo (Shi *et al.*, 2005; Campos *et al.*, 2016; Duarte, Ribeiro y Paglia, 2016). En este sentido, los taxones amenazados son un primer instrumento para identificar oportunidades de conservación a nivel regional (Fitzpatrick *et al.*, 2007; Adriaens *et al.*, 2015; Campos *et al.*, 2016). Además, las especies amenazadas son un factor con el que la vulnerabilidad e irremplazabilidad puede medirse (Schmitt, 2011) y su protección mediante áreas protegidas ayuda a cumplir con los objetivos 11 y 12 de la Convención en Diversidad Biológica (CBD, 2013). Aunque redes de AP pueden llegar a proteger alrededor del 30 % del rango de distribución total de anfibios amenazados (Campos *et al.*, 2016), cabe destacar que a nivel mundial sólo el 15 % del rango de distribución de las aves, mamíferos y anfibios vulnerables se encuentra dentro de un AP (Venter

*et al.*, 2014). En el caso de la cuenca Usumacinta las actuales AP cubren este porcentaje sólo para aves (42.5 %) y reptiles y mamíferos (33 %), el resto de los taxones están por debajo de estos porcentajes: 4.7 % de la distribución de anfibios amenazados, 3.2 % de insectos y 1.3% de crustáceos.

La morfografía del territorio rige los patrones de distribución altitudinal de la riqueza de especies y endemismo de diversos taxones. La riqueza es mayor en tierras bajas y disminuye conforme mayor sea la altitud, mientras que el endemismo es menor en tierras bajas y mayor en hábitat de montaña (Peterson *et al.*, 1993); por ello, en estrategias de conservación a gran escala, el objetivo debe considerar a las especies endémicas, con rangos de distribución limitados y que se encuentran consistentemente en las zonas altas de las montañas, como se prioriza en el presente trabajo.

Los pequeños cuerpos de agua, aunque vulnerables a las mismas amenazas que los grandes cuerpos de agua, fungen como refugios de biodiversidad, sin embargo son sistemáticamente excluidos de los planes de manejo (Biggs, von Fumetti y Kelly-Quinn, 2016), debido a que las ideas tradicionales de conservación no los incluyen y a la complejidad en la implementación de las estrategias (Abell, Allan y Lehner, 2007; Kingsford, Biggs y Pollard, 2011). Incluso en aquellos humedales urbanos (naturales o artificiales), la riqueza de murciélagos aumenta conforme mayor sea la superficie del cuerpo de agua y mientras más cobertura vegetal lo rodee, así como con condiciones de poca luz y poca contaminación en sus sedimentos (Straka *et al.*, 2016). Asimismo, la conectividad hidrológica de los ríos proporciona el hábitat adecuado para las especies en cada etapa de su ciclo de vida (Amoros y Bornette, 2002). Razones por las cuales, aunque los cuerpos de agua tienen poca cobertura en la cuenca, todos sin excepción,

tienen igual importancia en el análisis, dado que las especies bajo algún esquema de protección especial, cuentan para su recuperación con una importante red de cuerpos y corrientes a lo largo de toda la cuenca que aún conserva su curso natural.

El efecto de las actividades humanas sobre la biodiversidad puede inferirse a través de diversas manifestaciones (Sanderson *et al.*, 2002) y permite la identificación de zonas con menor grado de amenaza. Por ejemplo, la densidad poblacional mundial en promedio es de 42 habitantes por km<sup>2</sup>, mientras que en todos los *hotspots* del mundo es de 73 habitantes por km<sup>2</sup>; sin embargo, en Mesoamérica es de 50 habitantes por km<sup>2</sup> (Cincotta, Wisnewski y Engelman, 2000). No obstante, la cuenca Usumacinta, que pertenece a este último, tiene una densidad promedio de 30.6 habitantes por km<sup>2</sup>, cifra que resulta baja en comparación de los referentes mundiales y que se refleja en un bajo índice de impacto humano en la mitad del territorio, bajo el supuesto de densidad.

En Guatemala y Belice, las tasas de deforestación entre 1999 y 2008, tuvieron una tendencia de incremento en la conversión a tierras de cultivo, mientras que México presentó tendencia a la baja (Phalan *et al.*, 2013). En otros países latinoamericanos la tasa de deforestación ha llegado hasta el 36.8 % (De Barros *et al.*, 2014), no obstante, en la cuenca Usumacinta, se registraron tasas altas de pérdida de coberturas naturales en una cuarta parte del territorio, pero también tasas bajas de deforestación en la mitad del territorio, e incluso ganancias de cobertura vegetal en una cuarta parte, donde antes existían coberturas no naturales de vegetación. Esto es un buen indicador para la conservación de los recursos naturales y puede repercutir directamente en los planes de conservación.

A nivel global, aquellas regiones alejadas 1 km de la carretera se consideran no accesibles, y se componen por lo regular de fragmentos  $< 1 \text{ km}^2$  hasta  $>100 \text{ km}^2$ , que representan el 80 % de la superficie de la tierra (105.2 millones de  $\text{km}^2$ ) y constituyen refugios claves de biodiversidad, no obstante, de este tipo de superficie sólo el 9.3 % se encuentra cubierto por AP (Ibisch *et al.*, 2016). En la cuenca del Usumacinta, éstas regiones no accesibles, representan el 66 % del territorio y están protegidas en un 41.5 % (19982.4  $\text{km}^2$ ), proveyendo importantes servicios ecosistémicos (Ibisch *et al.*, 2016).

### Esfuerzos de conservación en el Usumacinta

En la cuenca Usumacinta las 124 AP cubren el 33 % del territorio y las APC identificadas en este estudio, el 23 %, y aunque en extensión las AP podrían resguardar completamente a las APC, sólo el 48.9 % se encuentra incluido en AP; el otro 51.2 % no protegido se distribuye equitativamente en México y Guatemala. El área resguardada por AP en la cuenca Usumacinta es alta al compararla con otras regiones, como la del Cuadrángulo de hierro en Brasil (7000  $\text{km}^2$ ), donde el 13 % de su territorio (826  $\text{km}^2$ ) ha sido identificado como APC; sin embargo, sólo un 30 % se encuentra dentro de un régimen estricto de protección y un 12.2 % dentro de un régimen de uso sustentable (Duarte, Ribeiro y Paglia, 2016).

Actualmente Guatemala cuenta con 309 AP (34,827.6  $\text{km}^2$ ) que cubren el 31.04 % de su superficie terrestre (SIGAP y CONAP, 2017), mientras que México tiene 177 AP (207,722.5  $\text{km}^2$ ) que cubren el 10.6 % (SEMARNAT y CONANP, 2016). Ambos países forman parte de la Convención en Diversidad Biológica, la cual tiene como meta proteger el 17 % de la superficie terrestre y aguas interiores de su país para el año

2020, así como prevenir la extinción de especies, hábitat o biomas amenazados (CBD, 2013). Guatemala ya ha alcanzado ese objetivo (CONAP, 2014), mientras que México con el decreto en diciembre de 2016 de la nueva Reserva de la Biosfera (RB) de la Sierra de Tamaulipas (3,088.9 km<sup>2</sup> más) y la Zona de Salvaguarda Región Selva Lacandona (18,348.89 km<sup>2</sup>) (DOF, 2016), toma acciones para acercarse. Ésta última es un polígono que cubre a algunas de las APC mexicanas identificadas en el presente trabajo, no obstante, la Zona de Salvaguarda sólo prohíbe las actividades de exploración y extracción de hidrocarburos y no se clasifica como AP, a diferencia de la RB. Cabe destacar que la Zona de Salvaguarda es una gran extensión del territorio, cuyo estatus de protección puede complementarse con las APC identificadas al interior, ya que éstas últimas delimitan regiones más pequeñas, donde el uso de recursos humanos y materiales puede ser usado más eficientemente.

Ante el reto de ser compartida por tres países con prioridades diferentes de conservación, los acuerdos de desarrollo mutuo en la cuenca del río Usumacinta no siempre son exitosos, por ejemplo, existe poca cooperación entre los países en materia de aguas (Kauffer Michel, 2011). No obstante, el Corredor Biológico Mesoamericano, proyecto multinacional que incluye a México, Guatemala, Belice, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá, recalca la importancia biológica de la zona, al buscar la conectividad entre las AP de la región, así como el uso sustentable de los recursos naturales, y donde la protección, el manejo y la creación de corredores a nivel paisaje es fundamental (Ochoa-Gaona, 2007). En México la conectividad se ha implementado a través de diversos instrumentos de protección como Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) extensivas, reservas y ordenamientos

ecológicos comunitarios y programas de manejo forestal (Álvarez Icaza y Muñoz Piña, 2008). En este sentido, las APC pueden integrarse a los actuales instrumentos de conservación, pudiendo fungir como corredores entre las AP mexicanas de Chiapas y las de Guatemala.

Considerando que los criterios que guían las tomas de decisiones gubernamentales, dependen de acuerdos internacionales financiados por instituciones internacionales en colaboración con los gobiernos de cada país, se debe construir sobre la identificación y promover valores en común, así como propiciar actividades coordinadas (Sandwith *et al.*, 2001). El presente trabajo abre nuevas oportunidades de colaboración en materia de conservación, ya que si las APC se incluyen en el sistema de AP, Guatemala puede pasar de proteger el 31.04 % al 35.9 % de su territorio, mientras que México del 10.6 % al 10.9 % de su superficie nacional protegida.

## CONCLUSIONES

La cuenca del río Usumacinta es una prioridad global de conservación. Los esfuerzos que se han realizado para su conservación son importantes y significativos, pero suelen ser superados por los retos. Las APC propuestas son un esfuerzo para enfocar acciones de conservación que integran un gran número de factores sobre irremplazabilidad y vulnerabilidad en la elección de un sitio idóneo de conservación a nivel de cuenca.

Actualmente unos 10,000 km<sup>2</sup> de APC se encuentran sin protección en la cuenca Usumacinta, lo cual representa una oportunidad importante de conservación para México y Guatemala, que les permitiría expandir su actual red de AP, con la certeza

que proteger áreas que conservarán especies en peligro, cuerpos y corrientes de agua y zonas con poca influencia humana. Dichas APC son producto de un estudio a escala regional e identificadas con ayuda de la EMC, que ha demostrado ser una técnica poderosa en la identificación de APC, por lo cual futuras investigaciones a escala local deben incorporar información fina que enriquezca y mejore la delimitación de las APC.

## REFERENCIAS

Abell, R., J. D. Allan y B. Lehner (2007), «Unlocking the potential of protected areas for freshwaters», *Biological Conservation*, vol. 134, no. 1, pp. 48-63. doi: 10.1016/j.biocon.2006.08.017.

Adriaens, T., G. San Martin y Gomez, J. Bogaert, L. Crevecoeur, J. P. Beuckx y D. Maes (2015), «Testing the applicability of regional IUCN Red List criteria on ladybirds (Coleoptera, Coccinellidae) in Flanders (north Belgium): Opportunities for conservation», *Insect Conservation and Diversity*, pp. 404-417. doi: 10.1111/icad.12124.

Álvarez Icaza, P. y C. Muñoz Piña (2008), «Evolución y perspectivas de las políticas ambientales y sus instrumentos», en *Capital natural de México*. México: CONABIO, p. 301.

Amoros, C. y G. Bornette (2002), «Connectivity and biocomplexity in waterbodies of riverine floodplains», *Freshwater Biology*, vol. 47, no. 4, pp. 761-776. doi: 10.1046/j.1365-2427.2002.00905.x.

Barber, C. P., M. A. Cochrane, C. M. Souza y W. F. Laurance (2014), «Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon», *Biological Conservation*. Elsevier Ltd, vol. 177, , pp. 203-209. doi: 10.1016/j.biocon.2014.07.004.

De Barros, A. E., E. A. Macdonald, M. H. Matsumoto, R. C. Paula, S. Nijhawan, Y. Malhi y D. W. Macdonald (2014), «Identification of Areas in Brazil that Optimize Conservation of Forest Carbon, Jaguars, and Biodiversity», *Conservation Biology*, vol. 28, no. 2, pp. 580-593. doi: 10.1111/cobi.12202.

Biggs, J., S. von Fumetti y M. Kelly-Quinn (2016), «The importance of small waterbodies for biodiversity and ecosystem services: implications for policy makers», *Hydrobiologia*. Springer International Publishing, pp. 1-37. doi: 10.1007/s10750-016-3007-0.

Bonn, A. y K. J. Gaston (2005), «Capturing biodiversity: selecting priority areas for conservation using different criteria», *Biodiversity and Conservation*, vol. 14, pp. 1083-1100. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

Brooks, T. M., R. A. Mittermeier, G. A. B. da Fonseca, J. Gerlach, M. Hoffmann, J. F. Lamoreux, C. G. Mittermeier, J. D. Pilgrim, A. S. Rodrigues, Mittermeier. C. G, J. D. Pilgrim y A. S. L. Rodrigues (2006), «Global Biodiversity Conservation Priorities», *Science*, vol. 313, no. 5783, pp. 58-61. doi: 10.1126/science.1127609.

Bryant, D., D. Nielsen y L. Tangle (1997), *Last Frontier Forests: Ecosystems and Economies on the Edge*, World Resources Institute. Washington, D.C. Disponible en: <http://pdf.wri.org/lastfrontierforests.pdf>.

Cabrera, J. y P. Cuc (2002), *Ambiente, conflicto y cooperación en la cuenca del río Usumacinta*. San Jose, Costa Rica: FUNDAPEM Proyecto Conflicto y Cooperación Ambiental en Cuencas Internacionales Centroamericanas.

Campos, F. S., G. A. Llorente, L. Rincón, R. Lourenço-De-Moraes y M. Solé (2016), «Protected areas network and conservation efforts concerning threatened amphibians in the Brazilian Atlantic Forest», *Web Ecology*, vol. 16, pp. 9-12. doi: 10.5194/we-16-9-2016.

CBD (2013), «Quick guides to the Aichi Biodiversity Targets», p. 42. Disponible en: <http://www.cbd.int/nbsap/training/quick-guides/>.

Cervantes-Zamora, Y., S. L. Cornejo-Olgín, R. Lucero-Márquez, E. Espinoza-Rodríguez, J. M., Miranda-Viquez y A. Pineda-Velázquez (1990), *Provincias Fisiográficas de México 1:4000000, Catálogo de metadatos geográficos*. CONABIO. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/rfisio4mgw.xml?\\_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc\\_html\\_xsl&\\_indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/rfisio4mgw.xml?_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html_xsl&_indent=no) (Accedido: 1 de febrero de 2017).

CFE (2002), *Ingeniería conceptual del proyecto hidroeléctrico Boca del Cerro, Chiapas/Tabasco*. Disponible en: <http://aestomas.org/presa-hidroelectrica-boca-del-cerro/>.

Chávez González, H., M. de J. González Guillén y P. Hernández de la Rosa (2015), «Metodologías para identificar áreas prioritarias para conservación de ecosistemas naturales», *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, vol. 6, no. 27, pp. 8-23. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322015000100002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322015000100002).

Cincotta, R. P., J. Wisniewski y R. Engelman (2000), «Human population in the biodiversity hotspots», *Nature*, vol. 404, no. 6781, pp. 990-2. doi: 10.1038/35010105.

CONAP (2014), *V Informe Nacional de Cumplimiento de los Acuerdos del Convenio sobre Diversidad Biológica*. Guatemala.

DOF (2016), *DECRETO por el que se establece la zona de salvaguarda denominada Región Selva Lacandona*. México: Diario Oficial de la Federación.

Duarte, G. T., M. C. Ribeiro y A. P. Paglia (2016), «Ecosystem Services Modeling as a Tool for Defining Priority Areas for Conservation», *PLOS ONE*, p. 19. doi: 10.1371/journal.pone.0154573.

Eastman, J. R. (2012), *IDRISI Selva Chapter One : IDRISI Selva Introduction*.

Farashi, A., M. Naderi y N. Parvian (2016), «Identifying a preservation zone using multi-criteria decision analysis», *Animal Biodiversity and Conservation*, vol. 39, no. 1, pp. 29-36.

Fitzpatrick, Ú., T. E. Murray, R. J. Paxton y M. J. F. Brown (2007), «Building on IUCN regional red lists to produce lists of species of conservation priority: A model with Irish

bees», *Conservation Biology*, vol. 21, no. 5, pp. 1324-1332. doi: 10.1111/j.1523-1739.2007.00782.x.

Freudenberger, L., P. Hobson, M. Schluck, S. Kreft, K. Vohland, H. Sommer, S. Reichle, C. Nowicki, W. Barthlott y P. L. Ibisch (2013), «Nature conservation: Priority-setting needs a global change», *Biodiversity and Conservation*, vol. 22, no. 5, pp. 1255-1281. doi: 10.1007/s10531-012-0428-6.

García, E. (1998), *Climas 1:1000000, Catálogo de metadatos geográficos*. CONABIO. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/clima1mgw.xml?\\_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc\\_html.xsl&\\_indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/clima1mgw.xml?_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no) (Accedido: 1 de febrero de 2017).

García Coll, I., A. Ramírez, A. Niño Cruz y J. Rivas Alfonso (2011), *Herramientas para la planeación territorial y el ordenamiento ecológico*.

Gómez Delgado, M. y J. I. Barredo Cano (2005), *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. 2a ed. Madrid, España: Editorial Ra-Ma.

Harris, G. M., C. N. Jenkins y S. L. Pimm (2005), «Refining Biodiversity Conservation Priorities», *Conservation Biology*, vol. 19, no. 6, pp. 1957-1968.

Hoekstra, J. M., T. M. Boucher, T. H. Ricketts y C. Roberts (2005), «Confronting a biome crisis: global disparities of habitat loss and protection», *Ecology Letters*, vol. 8, , pp. 23-29. doi: 10.1111/j.1461-0248.2004.00686.x.

Ibisch, P. L., M. T. Hoffmann, S. Kreft, G. Pe'er, V. Kati, L. Biber-Freudenberger, D. A. DellaSala, M. M. Vale, P. R. Hobson y N. Selva (2016), «A global map of roadless areas and their conservation status», *Science*, vol. 354, no. 6318. doi: 10.1126/science.aaf7166.

IGN (2001), «Clasificación Climática de Köppen República de Guatemala». Disponible en: <http://web.maga.gob.gt/sigmaga/suelos-1-250/>.

IGN (2002), *Mapa Fisiográfico-Geomorfológico República de Guatemala, Mapas Nacionales 1:250000*. Disponible en: <http://web.maga.gob.gt/sigmaga/suelos-1-250/> (Accedido: 1 de febrero de 2017).

INEGI (2011), *Conjunto de Datos Vectoriales de Carreteras y Vialidades Urbanas Edición 1.0 (Distribución por Entidad Federativa), Topografía*. Disponible en: [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/vectoriales\\_carreteras.aspx](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/vectoriales_carreteras.aspx).

INEGI (2012), *Censo de Población y Vivienda 2010, Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE Versión 05/2012)*. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/scince/scince2010.aspx>.

INEGI (2015), *Red Nacional de Caminos RNC, Productos*. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825209575>.

IUCN (2016), *The IUCN Red List of Threatened Species, International Union for Conservation of Nature and Natural Resources*. Disponible en: <http://www.iucnredlist.org/>.

IUCN y UNEP-WCMC (2016), *The World Database on Protected Areas (WDPA)* [Online], Cambridge, UK: UNEP-WCMC. Disponible en: [www.protectedplanet.net](http://www.protectedplanet.net).

Iwamura, T., A. Guisan, K. A. Wilson y H. P. Possingham (2013), «How robust are global conservation priorities to climate change?», *Global Environmental Change*. Elsevier Ltd, vol. 23, , pp. 1277-1284. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2013.07.016.

Kauffer Michel, E. F. (2011), «Hidropolíticas en la frontera entre México, Guatemala y Belice: la necesaria redefinición de un concepto para analizar la complejidad de las relaciones en torno al agua en escenarios transfronterizos», *Aqua-LAC*, vol. 3, no. 1, pp. 157-166.

Kingsford, R. T., H. C. Biggs y S. R. Pollard (2011), «Strategic Adaptive Management in freshwater protected areas and their rivers», *Biological Conservation*. Elsevier Ltd, vol. 144, no. 4, pp. 1194-1203. doi: 10.1016/j.biocon.2010.09.022.

Knight, A. T., R. M. Cowling, M. Rouget, A. Balmford, A. T. Lombard y B. M. Campbell (2008), «Knowing but not doing: Selecting priority conservation areas and the research-implementation gap», *Conservation Biology*, vol. 22, no. 3, pp. 610-617. doi: 10.1111/j.1523-1739.2008.00914.x.

Landsat Archive (2013), *EarthExplorer*, USGS. Disponible en: <http://earthexplorer.usgs.gov/>.

Maimone-Celorio, M., M. Aliphat, D. Martínez-Carrera, B. Ramírez-Valverde, J. Valdéz-Hernández y A. Macías-Laylle (2006), «Manejo tradicional de humedales tropicales y su análisis mediante sistemas de información geográfica (SIGs): El caso de la comunidad Maya-Chontal de Quintín arauz, Centla, Tabasco», *Universidad y Ciencia*, vol. 22, no. 1, pp. 27-49. Disponible en: [http://www.publicaciones.ujat.mx/publicaciones/uciencia/junio2006/3manejo\\_humedales\\_tropicales.pdf](http://www.publicaciones.ujat.mx/publicaciones/uciencia/junio2006/3manejo_humedales_tropicales.pdf).

Malczewski, J. y C. Rinner (2015), *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science, Advances in Geographic Information Science*. Springer Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-540-74757-4.

March Mifsut, I. y M. Castro (2010), «La Cuenca del Río Usumacinta: Perfil y perspectivas para su conservación y desarrollo sustentable», en Cotler Ávalos, H. (ed.) *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*. Primera. México D.F.: SEMARNAT, INE, IAP, pp. 193-197.

Margules, C. R., R. L. Pressey y P. H. Williams (2002), «Representing biodiversity: data and procedures for identifying priority areas for conservation.», *Journal of biosciences*, vol. 27, no. 4 Suppl 2, pp. 309-326. doi: 10.1007/BF02704962.

Mathews Fernández, J. (2011), «Evaluación de la modificación edafo-biógena de los paisajes en Michoacán, México», *Investigación y Amazonía*, vol. 1, no. 2, pp. 78-84.

Mittermeier, R. A., C. G. Mittermeier, T. M. Brooks, J. D. Pilgrim, W. R. Konstant, G. A. B. da Fonseca y C. Kormos (2003), «Wilderness and biodiversity conservation», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 100, no. 18, pp. 10309-13. doi: 10.1073/pnas.1732458100.

MODIS (2012), *Land Cover Type Yearly L3 Global 500 m SIN Grid, LP DAAC Land Processes Distributed Active Archive Center*. Disponible en: [https://lpdaac.usgs.gov/dataset\\_discovery/modis/modis\\_products\\_table/mcd12q1](https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/mcd12q1).

Myers, N., R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. B. da Fonseca y J. Kent (2000), «Biodiversity hotspots for conservation priorities», *Nature*, vol. 403, no. 6772, pp. 853-858. doi: 10.1038/35002501.

Norris, R., J. S. Wibwer y L. O. Morales Marín (1999), «Ecoturismo basado en la comunidad en la Selva Maya: problemas y potencial», en Primack, R. B., D. B. Bray, H. A. Galleti, y I. Ponciano (eds.) *La Selva Maya conservación y desarrollo*. Ciudad de México: Siglo XXI Editores, p. 475. Disponible en: <https://books.google.com.mx/books?id=QLUQQSR-WOMC&pg=PA374&dq=bosque+subtropical+húmedo+selva+maya&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi30r24q7LUAhUq6oMKHXNAD1kQ6AEIjAA#v=onepage&q=bosque+subtropical+húmedo+selva+maya&f=false>.

Ochoa-Gaona, S. (2007), «Una perspectiva de paisaje en el manejo del Corredor Biológico Mesoamericano», en Harvey, C. A. y J. C. Sáenz (eds.) *Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica*. 1a ed. Santo Domingo de Heredia, Costa Rica, p. 624.

Olson, D. M. y E. Dinerstein (1998), «The Global 200: a representation approach to conserving the earth's most biologically valuable ecoregions», *Conservation Biology*, vol. 12, no. 3, pp. 502-515. doi: 10.1046/j.1523-1739.1998.012003502.x.

Olson, D. M. y E. Dinerstein (2002), «The Global 200: Priority ecoregions for global conservation», *Annals of the Missouri Botanical Garden*, vol. 89, no. 2, pp. 199-224. doi: 10.2307/3298564.

Peres, C. A. y I. R. Lake (2003), «Extent of nontimber resource extraction in tropical forests: Accessibility to game vertebrates by hunters in the Amazon basin», *Conservation Biology*, vol. 17, no. 2, pp. 521-535. doi: 10.1046/j.1523-1739.2003.01413.x.

Peterson, A. T., O. A. Flores-Villela, L. S. León-Paniagua, J. Llorente-Bousquets, M. A. Luis-Martínez, A. G. Navarro-Sigüenza, M. G. Torres-Chávez y I. Vargas-Fernández (1993), «Conservation Priorities in Mexico: Moving up in the World», *Biodiversity Letters*, vol. 1, no. 2, pp. 33-38. doi: 10.2307/2999648.

Phalan, B., M. Bertzky, S. H. M. Butchart, P. F. Donald, J. P. W. Scharlemann, A. J. Stattersfield y A. Balmford (2013), «Crop Expansion and Conservation Priorities in Tropical Countries», *PLOS ONE*, vol. 8, no. 1, pp. 1-13. doi: 10.1371/journal.pone.0051759.

Priego, Á., H. Cotler, A. Fregoso, N. Luna y C. Enriquez Guadarrama (2004), «La Dinámica Ambiental de la Cuenca Lerma-Chapala», *Gaceta Ecológica*, vol. 71, pp. 23-38. Disponible en: <http://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=53906202> (Accedido: 20 de septiembre de 2016).

Priego, A., G. Bocco, M. Mendoza y A. Garrido (2010), *Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisaje*. Primera. SEMARNAT, INE, CIGA-UNAM.

Puyravaud, J. P. (2003), «Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation», *Forest Ecology and Management*, vol. 177, no. 1-3, pp. 593-596. doi: 10.1016/S0378-1127(02)00335-3.

Saaty, T. L. (2008), «Decision making with the analytic hierarchy process», *International Journal of Services Sciences*, vol. 1, no. 1, p. 83. doi: 10.1504/IJSSCI.2008.017590.

Sáenz-Arroyo, A. (2015), *Los Servicios Ecosistémicos en la Subcuenca del Río Usumacinta*.

Sanderson, E. W., M. Jaiteh, M. a. Levy, K. H. Redford, A. V. Wannebo y G. Woolmer (2002), «The Human Footprint and the Last of the Wild», *BioScience*, vol. 52, no. 10, pp. 891-904. doi: 10.1641/0006-3568(2002)052[0891:THFATL]2.0.CO;2.

Sandwith, T., C. Shine, L. Hamilton y D. Sheppard (2001), *Transboundary Protected Areas for Peace and Co-operation, Best Practice Protected Area Guidelines Series*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.

Schmitt, C. B. (2011), «A tough choice: Approaches towards the setting of global conservation priorities», en Zachos, F. E. y J. C. Habel (eds.) *Biodiversity Hotspots Distribution and Protection of Conservation Priority Areas*. 1a ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 543. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

SEMARNAT y CONANP (2016), *Prontuario Estadístico y Geográfico de las Áreas Naturales Protegidas de México*.

Semlitsch, R. D. (2008), «Differentiating Migration and Dispersal Processes for Pond-Breeding Amphibians», *Journal of Wildlife Management*, vol. 72, no. 1, pp. 260-267. doi: 10.2193/2007-082.

Shi, H., A. Singh, S. Kant, Z. Zhu y E. Wallers (2005), «Integrating habitat status, human population pressure, and protection status into biodiversity conservation priority setting», *Conservation Biology*, vol. 19, no. 4, pp. 1273-1285. doi: 10.1111/j.

Shishenko, P. G. (1988), *Estabilidad de los paisajes a las cargas económicas. Geografía Física Aplicada*. Editorial de la Escuela Superior, Kiev, Ucrania.

SIGAP y CONAP (2017), *Sistema Guatemalteco De Áreas Protegidas -Sigap-*. Disponible en: <http://www.turismo-sigap.com/es/guatemala/sistema-guatemalteco-de-areas-protegidas-sigap> (Accedido: 1 de febrero de 2017).

SINIT (2012), *Descargas SINIT, SEGEPLAN Guatemala*. Disponible en: <http://www.segeplan.gob.gt/nportal/index.php/ide-descargas> (Accedido: 7 de julio de 2016).

Steinhardt, U., F. Herzog, A. Lausch, E. Müller y S. Lehmann (1999), «Hemeroby index for landscape monitoring and evaluation», en Pykh, Y. A., D. E. Hyatt, y R. J. Lenz (eds.) *Environmental Indices - System Analysis Approach*. Oxford: EOLSS, pp. 237-254.

Straka, T. M., P. E. Lentini, L. F. Lumsden, B. A. Wintle y R. van der Ree (2016), «Urban bat communities are affected by wetland size, quality, and pollution levels», *Ecology and Evolution*, vol. 6, no. 14, pp. 4761-4774. doi: 10.1002/ece3.2224.

Venter, O., R. A. Fuller, D. B. Segan, J. Carwardine, T. Brooks, S. H. M. Butchart, M. Di Marco, T. Iwamura, L. Joseph, D. O'Grady, H. P. Possingham, C. Rondinini, R. J. Smith,

M. Venter y J. E. M. Watson (2014), «Targeting Global Protected Area Expansion for Imperiled Biodiversity», *PLoS Biology*, vol. 12, no. 6, pp. 1-7. doi: 10.1371/journal.pbio.1001891.

Vuohelainen, A. J., L. Coad, T. R. Marthews, Y. Malhi y T. J. Killeen (2012), «The effectiveness of contrasting protected areas in preventing deforestation in Madre de Dios, Peru», *Environmental Management*, vol. 50, no. 4, pp. 645-663. doi: 10.1007/s00267-012-9901-y.

Wood, L. J. y S. Dragicevic (2006), «GIS-Based Multicriteria Evaluation and Fuzzy Sets to Identify Priority Sites for Marine Protection», *Biodiversity and Conservation*, vol. 16, no. 9, pp. 2539-2558. doi: 10.1007/s10531-006-9035-8.

WWF (2013), *HydroSHEDS*, USGS. Disponible en: <http://hydrosheds.cr.usgs.gov/dataavail.php>.

## ANEXO 1

Clases de cobertura de suelo tipo 1 IGBP de MODIS 2001 y 2013, ponderación para el Índice de antropización y reclasificación para la Tasa de deforestación

	<b>Clase</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Reclasificación</b>
1	Bosque de coníferas perennifolio	0.1	Natural
2	Bosque latifoliado perennifolio	0.1	Natural
3	Bosque de coníferas caducifolio	0.1	Natural
4	Bosque latifoliado caducifolio	0.1	Natural
5	Bosque mixto	0.1	Natural
6	Matorrales cerrados	0.2	Natural
7	Matorrales abiertos	0.3	Natural
8	Pastizal con arbustivas	0.4	Natural
9	Sabana	0.5	Natural
10	Pastizal	0.5	No Natural
11	Cuerpos de agua	0.1	Natural
12	Tierras de cultivo	0.7	No Natural
13	Zona urbana y construcciones	0.9	No Natural
14	Tierras de cultivo-Mosaico de vegetación	0.6	No Natural
15	Estéril o con escasa vegetación	0.8	Natural

### **Capítulo III. Conclusiones**

Respecto al objetivo general, donde se evalúa si las actuales AP de la cuenca del Usumacinta se localizan en los sitios más apropiados, se concluye que los esfuerzos de conservación a nivel de cuenca, aunque individuales, han contribuido a proteger casi el 50 % de las regiones con atributos importantes, por lo que con un esfuerzo coordinado se podría alcanzar la meta más rápidamente.

Acerca de la distribución y caracterización espacial de las actuales AP en la cuenca, tanto Guatemala como México cubren una tercera parte del territorio, no obstante, apenas un 3.6 % de éstas cuenta con plan de manejo, por lo que este punto debe considerarse seriamente antes de poner en marcha futuros planes de conservación en la región.

Respecto a la caracterización de la cuenca, se destaca que existen condiciones propicias para conservación de los recursos naturales; las especies bajo algún esquema de protección especial, cuentan para su recuperación con una importante red de cuerpos y corrientes a lo largo de toda la cuenca que aún conserva su curso natural. Además, las bajas densidades de población se reflejan en un bajo índice de impacto humano en la mitad del territorio, y en el proceso de regeneración vegetal registrado en una cuarta parte de la cuenca, así como en importantes zonas aún alejadas de las vías de comunicación, que repercutirán directamente en los planes de conservación, no obstante, también existen problemáticas actuales importantes, tal es el caso de la deforestación asociada a la ganadería y el narcotráfico, que se ha documentado principalmente en la Selva Maya y en sus colindancias con México (Paullier 2016). Razones por las cuales las APC, pueden contribuir en la conservación de los recursos

naturales, protegiéndolas mediante instrumentos de manejo y conservación, como: las ANP, UMA, Corredores Biológicos, Ordenamientos, etc.

Por otra parte, la implementación de la EMC en la identificación de APC ha resultado exitosa bajo las condiciones actuales del estudio, pues ha logrado la integración de información valiosa y heterogénea, en un resultado capaz de proporcionar información puntual acerca de las regiones más valiosas para la conservación en la cuenca. Destaca que tanto Guatemala como México cuentan con los territorios equivalentes por proteger.

Las áreas de APC identificadas sin protección representan una oportunidad de cooperación transfronteriza entre Guatemala y México. Sin embargo, se recomiendan futuras investigaciones puntuales que mejoren y demarquen los límites de las APC del presente estudio, con la finalidad de implementar mecanismos de protección y conservación efectivos en éstas. Dicho proceso debe involucrar a los principales actores locales: habitantes, instancias gubernamentales y no gubernamentales, centros de investigación, entre otros

Asimismo, a nivel de cuenca, la cooperación trinacional es fundamental para que las AP comiencen a funcionar como una red, y en donde la coordinación entre las instituciones gubernamentales contribuya a mejorar los mecanismos de protección y conservación.

## Literatura citada

Abellán P, Sánchez-Fernández D, Velasco J, Millán A. 2007. Effectiveness of protected area networks in representing freshwater biodiversity: the case of a Mediterranean river basin (south-eastern Spain). *Aquatic Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 17:361–374.

Arriaga-Cabrera L, Aguilar V, Espinoza J. 2009. Regiones prioritarias y planeación para la conservación de la biodiversidad. En: *Capital natural de México: estado de conservación y tendencias de cambio*. Vol. II. p. 433–457.

Balram S, Dragičević S, Meredith T. 2004. A collaborative GIS method for integrating local and technical knowledge in establishing biodiversity conservation priorities. *Biodivers. Conserv.* 13:1195–1208.

De Barros AE, Macdonald EA, Matsumoto MH, Paula RC, Nijhawan S, Malhi Y, Macdonald DW. 2014. Identification of Areas in Brazil that Optimize Conservation of Forest Carbon, Jaguars, and Biodiversity. *Conserv. Biol.* 28:580–593.

Brooks TM, Mittermeier RA, da Fonseca GAB, Gerlach J, Hoffmann M, Lamoreux JF, Mittermeier CG, Pilgrim JD, Rodrigues AS., Mittermeier. C. G, et al. 2006. Global Biodiversity Conservation Priorities. *Science* (80-. ). 313:58–61.

Bryant D, Nielsen D, Tangley L. 1997. *Last Frontier Forests: Ecosystems and Economies on the Edge*. Washington, D.C.

Chávez González H, González Guillén M de J, Hernández de la Rosa P. 2015. Metodologías para identificar áreas prioritarias para conservación de ecosistemas naturales. *Rev. Mex. Ciencias For.* 6:8–23.

Davies AL, Bryce R, Redpath SM. 2013. Use of multicriteria decision analysis to address conservation conflicts. *Conserv. Biol.* 27:936–944.

Davis SD, Heywood VH, Hamilton AC. 1994. *Centres of plant diversity: a guide and strategy for their conservation*. Volume I. Cambridge, UK.

Eastman J. 2005. Multi-criteria evaluation and GIS. En: Longley PA, Goodchild MF, Maguire DJ, Rhind DW, editores. *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*. 2a ed. John Wiley & Sons Incorporated. p. 493–502.

Freudenberger L, Hobson P, Schluck M, Kreft S, Vohland K, Sommer H, Reichle S, Nowicki C, Barthlott W, Ibisch PL. 2013. Nature conservation: Priority-setting needs a global change. *Biodivers. Conserv.* 22:1255–1281.

Harris GM, Jenkins CN, Pimm SL. 2005. Refining Biodiversity Conservation Priorities. *Conserv. Biol.* 19:1957–1968.

Hoekstra JM, Boucher TM, Ricketts TH, Roberts C. 2005. Confronting a biome crisis: global disparities of habitat loss and protection. *Ecol. Lett.* 8:23–29.

IUCN, UNEP-WCMC. 2016. *The World Database on Protected Areas (WDPA)* [On-line]. Cambridge, UK UNEP-WCMC.

Iwamura T, Guisan A, Wilson KA, Possingham HP. 2013. How robust are global conservation priorities to climate change? *Glob. Environ. Chang.* 23:1277–1284.

Kauffer Michel EF. 2011. Hidropolíticas en la frontera entre México, Guatemala y Belice: la necesaria redefinición de un concepto para analizar la complejidad de las relaciones en torno al agua en escenarios transfronterizos. *Aqua-LAC* 3:157–166.

López-Marrero T, González-Toro A, Heartsill-Scalley T, Hermansen-Báez LA. 2011. Multi-Criteria Evaluation and Geographic Information Systems for Land-Use Planning and Decision Making. [Gainesville, Florida].

March Mifsut I, Castro M. 2010. La Cuenca del Río Usumacinta: Perfil y perspectivas para su conservación y desarrollo sustentable. En: Cotler Ávalos H, editor. Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización. Primera. México D.F.: SEMARNAT, INE, IAP. p. 193–197.

Margules CR, Pressey RL, Williams PH. 2002. Representing biodiversity: data and procedures for identifying priority areas for conservation. *J. Biosci.* 27:309–326.

Mittermeier RA, Mittermeier CG, Brooks TM, Pilgrim JD, Konstant WR, da Fonseca GAB, Kormos C. 2003. Wilderness and biodiversity conservation. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 100:10309–13.

Mittermeier RA, Robles Gil P, Mittermeier GC. 1997. Megadiversidad: Los países biológicamente más ricos del mundo. 1a ed. Quebec, Canadá.

Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, da Fonseca GAB, Kent J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853–858.

Norton DA, Roper-Lindsay J. 2004. Assessing significance for biodiversity conservation on private land in New Zealand. *N. Z. J. Ecol.* 28:295–305.

Olson DM, Dinerstein E. 1998. The Global 200: a representation approach to conserving the earth's most biologically valuable ecoregions. *Conserv. Biol.* 12:502–515.

Olson DM, Dinerstein E. 2002. The Global 200: Priority ecoregions for global conservation. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 89:199–224.

Paullier J. 2016. ¿Quiénes son los “narcogaderos” que han incendiado miles de hectáreas de bosques en Guatemala? BBC Mundo, México.

Peres CA, Lake IR. 2003. Extent of nontimber resource extraction in tropical forests: Accessibility to game vertebrates by hunters in the Amazon basin. *Conserv. Biol.* 17:521–535.

Phalan B, Bertzky M, Butchart SHM, Donald PF, Scharlemann JPW, Stattersfield AJ, Balmford A. 2013. Crop Expansion and Conservation Priorities in Tropical Countries. *PLoS One* 8:1–13.

Pressey RL. 1994. Ad Hoc Reservations: Forward or Backward Steps in Developing Representative Reserve Systems? *Conserv. Biol.* 8:662–668.

Pressey RL, Taffs KH. 2001. Scheduling conservation action in production landscapes: Priority areas in western New South Wales defined by irreplaceability and vulnerability to vegetation loss. *Biol. Conserv.* 100:355–376.

Sanderson EW, Jaiteh M, Levy M a., Redford KH, Wannebo A V., Woolmer G. 2002. The Human Footprint and the Last of the Wild. *Bioscience* 52:891–904.

Schmitt CB. 2011. A tough choice: Approaches towards the setting of global conservation priorities. En: Zachos FE, Habel JC, editores. Biodiversity Hotspots Distribution and Protection of Conservation Priority Areas. Vol. 1. 1a ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. p. 543.

Stattersfield AJ, Crosby MJ, Long AJ, Wege DC. 1998. Endemic bird areas of the world: Priorities for biodiversity conservation. Cambridge, UK: BirdLife International.

Thieme M, Lehner B, Abell R, Hamilton SK, Kellendorfer J, Powell G, Riveros JC. 2007. Freshwater conservation planning in data-poor areas: An example from a remote Amazonian basin (Madre de Dios River, Peru and Bolivia). Biol. Conserv. 135:500–517.

## ANEXOS

### Anexo I. AP de la cuenca Usumacinta

	País	Nombre	Designación	Categoría IUCN	Plan de manejo
1	Belice	Columbia River	Reserva de la Biósfera	VI	Sí
2	Guatemala	Actun Kan	Parque Regional Municipal	IV	No
3		Aguateca	Monumento Cultural	II	Sí
4		Cataljé o Sacataljé	Reserva Natural Privada	V	No
5		Ceibal	Monumento Cultural	II	Sí
6		Ceibo Mocho Flor de la Pasión	Reserva Natural Privada	V	No
7		Cerro Cahuí	Biotopo Protegido	II	Sí
8		Cerro Verde	Reserva Natural Privada	V	No
9		Chajumpec	Reserva Natural Privada	V	No
10		Chuna'a	Parque Regional Municipal	IV	Sí
11		Complejo III APSP	Zona de Amortiguamiento	NR	Sí
12		Complejo IV APSP	Zona de Amortiguamiento	NR	Sí
13		Complejos I Y II APSP	Zona de Amortiguamiento	NR	No
14		Cuevas El Tecolote	Parque Regional Municipal	IV	No
15		Doña Chanita Flor de la Pasión	Reserva Natural Privada	V	No
16		Dos Pilas	Monumento Cultural	II	Sí
17		El Chicozapote	Parque Regional Municipal	IV	No
18		El Cibal	Reserva Natural Privada	V	No
19		El Copoito	Parque Regional Municipal	IV	No
20		El Esfuerzo	Parque Regional Municipal	IV	No
21		El Manantial	Reserva Natural Privada	V	No
22		El Mango	Reserva Natural Privada	V	No
23		El Mirador	Parque Regional Municipal	IV	No
24		El Naranja	Reserva Natural Privada	V	No
25		El Pollo	Reserva Natural Privada	V	Sí
26		El Pucté	Refugio de Vida Silvestre	III	Sí
27		El Recuerdo	Reserva Natural Privada	V	No
28		El Rosario	Parque Nacional	I	No

29	Entre Ríos	Reserva Natural Privada	V	Sí
30	Finca AA	Reserva Natural Privada	V	Sí
31	Finca Chaca	Reserva Natural Privada	V	No
32	Finca La Gloria	Reserva Natural Privada	V	No
33	Finca Los Chultunes I	Reserva Natural Privada	V	No
34	Finca Los Chultunes II	Reserva Natural Privada	V	No
35	Finca Los Tarros	Reserva Natural Privada	V	No
36	Finca Monte María	Reserva Natural Privada	V	Sí
37	Finca Nitún	Reserva Natural Privada	V	No
38	Finca Rincon Grande	Reserva Natural Privada	V	No
39	Finca Rústica Chimel	Reserva Natural Privada	V	No
40	Finca Sajalal	Reserva Natural Privada	V	No
41	Finca San José	Reserva Natural Privada	V	No
42	Hacienda Pastores	Reserva Natural Privada	V	No
43	Karnac	Reserva Natural Privada	V	No
44	La Caridad	Parque Regional Municipal	IV	No
45	La Cumbre Flor de la Pasión	Reserva Natural Privada	V	No
46	La Democracia	Reserva Natural Privada	V	Sí
47	La ENEA	Parque Regional Municipal	IV	Sí
48	La Espernaza	Reserva Natural Privada	V	No
49	La Ponderosa	Reserva Natural Privada	V	No
50	La Vega del Zope	Parque Regional Municipal	IV	Sí
51	Laguna del Tigre	Parque Nacional	I	Sí
52	Laguna del Tigre - Río Escondido	Biotopo Protegido	II	Sí
53	Laguna Lachuá	Parque Nacional	I	Sí
54	Laguna Perdida	Reserva Natural Privada	V	No
55	Los Altos de San Miguel Tonicapán	Parque Regional Municipal	IV	No
56	Los Cerritos - El Postezuelo	Parque Regional Municipal	IV	Sí
57	Los Lagartos	Reserva Natural Privada	V	No
58	Machaquilá	Refugio de Vida Silvestre	III	Sí
59	Mario Dary	Biotopo Protegido	II	Sí
60	Maya	Reserva de la Biósfera	VI	Sí
61	Montañas Mayas Chiquibul	Reserva de Biosfera	VI	Sí
62	Najochón	Parque Regional Municipal	IV	Sí
63	Nueva Juventud	Parque Regional Municipal	IV	Sí
64	Petexbatún	Refugio de Vida Silvestre	III	Sí
65	Ranchito Alegre	Reserva Natural Privada	V	No
66	Riscos de Momostenango	Parque Nacional	I	No
67	Sacbaquecán	Parque Regional Municipal	IV	Sí
68	Sacpeten	Parque Regional Municipal	IV	No
69	San Miguel La Palotada - El Zotz	Biotopo Protegido	II	Sí
70	San Román	Reserva Biológica	I	Sí
71	Santa Rosa y Llano Largo	Reserva Natural Privada	V	No
72	Santa Rosita	Reserva Natural Privada	V	No

73		Santuario Botanico	Parque Regional Municipal	IV	No
74		Saq Ha	Reserva Natural Privada	V	No
75		Sierra de las Minas	Reserva de Biosfera	VI	Sí
76		Sierra del Lacandón	Parque Nacional	I	Sí
77		Tikal	Parque Nacional	I	Sí
78		Todos Santos Cuchumatán	Reserva Forestal Municipal	IV	No
79		Tres Marias	Reserva Natural Privada	V	No
80		Txinivakan	Parque Regional Municipal	IV	No
81		Venus Verdoso	Parque Regional Municipal	IV	No
82		Visis Cabá	Reserva de Biosfera	VI	No
83		Xutilhá	Refugio de Vida Silvestre	III	Sí
84	México	Agua Perla	Área Natural Protegida Comunitaria	NA	No
85		Área comunal protegida dentro de la Reserva Comunal La Cojolita	Área Natural Protegida Privada	NA	No
86		Área de Conservación La Caverna	Área Destinada Voluntariamente a la Conservación	VI	No
87		Bonampak	Monumento Natural	III	Sí
88		Cañón del Usumacinta	Área de Protección de Flora y Fauna	VI	Sí
89		Carmen Yaxchuch	Área Natural Protegida Municipal	NR	No
90		Cascadas de Reforma	Área Natural Protegida Estatal	NR	No
91		Cerro El Mirador	Área Destinada Voluntariamente a la Conservación	VI	No
92		Chacamax	Área Natural Protegida Municipal	NR	No
93		Chanal	Área Natural Protegida Estatal	NR	No
94		Chan-Kin	Área de Protección de Flora y Fauna	VI	Borrador
95		Cristóbal Colón	Área Natural Protegida Comunitaria	NA	No
96		Guadalupe Miramar	Área Natural Protegida Comunitaria	NA	No
97		Humedales La Libertad	Área Natural Protegida Estatal	NR	Sí
98		La Bella Ilusión	Área Natural Protegida Comunitaria	NA	No
99		La Corona	Área Natural Protegida Comunitaria	NA	No
100		La Fortuna Gallo Giro	Área Natural Protegida Comunitaria	NA	No
101		La Serranía	Área Destinada Voluntariamente a la Conservación	VI	No
102		Lacandón	Área Natural Protegida Comunitaria	NA	No
103		Lacan-Tun	Reserva de la Biósfera	VI	No
104		Laguna de Términos	Área de Protección de Flora y Fauna	VI	Sí
105		Lagunas de Montebello	Parque Nacional	II	Sí
106		Las Nubes	Área Natural Protegida Comunitaria	NA	No

107	Lázaro Cárdenas	Área Natural Protegida Municipal	NR	No
108	Metzabok	Reserva de la Biósfera	VI	Sí
109	Montes Azules	Reserva de la Biósfera	VI	Sí
110	Naha-Metzabok	Área de Protección de Flora y Fauna	VI	Sí
111	Niños Héroes	Área Natural Protegida Comunitaria	NA	No
112	Nuevo Huixtán	Área Natural Protegida Comunitaria	NA	No
113	Nuevo Rodolfo Figueroa	Área Natural Protegida Comunitaria	NA	No
114	Palenque	Parque Nacional	II	No
115	Pantanos de Centla	Reserva de la Biósfera	VI	Sí
116	Reforma Agraria	Área Natural Protegida Comunitaria	NA	No
117	Reserva Las Guacamayas	Área Destinada Voluntariamente a la Conservación	VI	No
118	Resolución de asamblea general de la sub comunidad en acta.	Área Natural Protegida Privada	NA	No
119	Salto de agua	Área Natural Protegida Comunitaria	NA	No
120	San Isidro	Área Natural Protegida Comunitaria	NA	No
121	San Luis	Área Natural Protegida Comunitaria	NA	No
122	Sistema Lagunar Catazajá	Área Natural Protegida Estatal	NR	Sí
123	Villa las Rosas	Área Natural Protegida Comunitaria	NA	No
124	Yaxchilán	Monumento Natural	III	Sí