



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

UNIDAD MULTIDISCIPLINARIA DE DOCENCIA E INVESTIGACIÓN

FACULTA DE CIENCIAS

Uso de la ecología del paisaje para la zonificación sistemática de un humedal costero, caso de estudio: La Reserva Estatal El Palmar, Yucatán.

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LIC. EN MANEJO SUSTENTABLE DE ZONAS COSTERAS

PRESENTA:

EVELYN SUSANA GARCÍA NÚÑEZ.

ASESOR:

DR. RODOLFO RIOJA NIETO.

Sisal, Yucatán 2016





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Datos del alumno

García

Núñez

Evelyn Susana

9993256252

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Manejo Sustentable de zonas Costeras

309090931

Datos del Tutor (secretario)

Dr.

Rodolfo

Rioja

Nieto

Sinodal 1 (presidente)

M. en G.

David

Romero

Sinodal 2 (vocal)

Dra.

Laura Elene

Vidal

Hernández

Sinodal 3 (suplente)

Dra.

María Cristina

Garza

Lagler

Sinodal 4 (suplente)

M. en C.

Cristopher Arturo

González

Baca

Datos del trabajo

Uso de la ecología del paisaje para la zonificación sistemática de un humedal costero, caso de estudio: La Reserva Estatal El Palmar, Yucatán.

71 p

2016

Agradecimientos

A mis padres Alicia Núñez y Carlos García quienes me brindaron su apoyo, paciencia, consejos, amor, entusiasmo y en los momentos más difíciles me alentaron a seguir adelante, anhelando que siempre me preparara para enfrentarme a la vida. No tengo como agradecerles por todo lo brindado. Lo logramos y vamos por más...juntos como hasta el día de hoy!!

Con mucho cariño a mi hermana Karlita por hacer que los días grises, retomaran un color aún más brillante, por todos sus regaños y lecciones de vida, pero sobre todo por tener una sonrisa y un “te amo” en todo momento y a todas horas.

A mis abuelos José García, Julia Espinosa, Candelaria Nolasco y Guillermo Núñez por los valores inculcados que hoy me permitieron llegar hasta aquí y por todo el amor en las diferentes etapas de mi vida, sé que en donde quiera que se encuentren van a estar orgullosos y muy contentos por este gran logro que también es suyo.

A mi familia, tíos, primos y sobrinas por esos recibimientos que llenan de energía a cualquier persona y por ese calor de familia característico. En especial a mi querida Angelita por llenarme de tanto amor y cariño, recordándome lo hermoso que es ser niño, a mi tío Sergio por apoyarme en todo momento, a mi tío Javier y mi tío Pepe, por ser una fuente de inspiración para mí. Donde quiera que vaya siempre los voy a llevar en lo más profundo de mí ser.

A mi segundo hogar la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme permitido ser parte de ella, por todos los conocimientos adquiridos y las oportunidades proporcionadas. Gracias por recibirme y permitirme llenarme de esa pasión por el conocimiento. ¡¡Muchas gracias mi tan amada UNAM!!

Agradezco al proyecto CONACYT-153599 por la beca otorgada para la realización de este proyecto.

A la Unidad Académica Sisal por los aprendizajes obtenidos y por todas las experiencias adquiridas durante este proceso. Por permitirme conocer amigos inolvidables y profesores inigualables.

Al profesor Rodolfo Rioja, por alentarme, inspirarme y creer en este trabajo, por todo el conocimiento que compartió conmigo y el enriquecimiento académico y personal que adquiriré al trabajar a su lado, por todo su apoyo durante mi vida en Sisal y durante la trayectoria de mi carrera.

Gracias a mis compañeros de generación Dani, Pera, Rox y Adán por apoyarme en todo momento, por los momentos de diversión, de angustia, de frustración, de fiesta y por todos los momentos en los que me permitieron obtener aprendizajes académicos y de la vida a su lado, fue una generación única “Adán y sus cuatro Evas”.

A Rodrigo Trejo por todas las experiencias y el cariño; por los aprendizajes que compartimos y por hacer de mis días en Sisal una aventura.

Gracias a mi roomy de la vida Rox por hacer que mis días se llenaran de diversión, lecciones de vida y alegrías. Gracias por todas las experiencias que no se pueden describir con palabras, por llegar a ser más que una compañera, una hermana. De igual manera a Dani por ser una amiga incondicional y darme una sonrisa así no fuera un buen día para ella, por su apoyo en todo momento y por tolerar mis momentos de locura. Las quiero mucho y así hasta los 90.

A Richi, Misha, Meli, Vane, Diego go, Rodrigo (mejor conocido como “*Roy Don*”), Serch “vecinito y Gabo que de manera muy única siempre me estuvieron apoyando e inspirando a ser mejor persona. Fue un placer conocerlos muchachos.

A mis amigos de la UMDI-Sisal, Luis Salinas, Robert, Jony Valdez, Omar y Lalo por compartir conocimiento y experiencias conmigo, por ayudarme siempre y brindarme su amistad. Me llevo un excelente recuerdo de ustedes.

A Chucho y Ede por apoyarme y estar conmigo en todo momento, por cuidarme tanto como unos padres y por permitirme entrar en la hermosa familia que tienen, los quiero mucho.

A Beto, Lorenzo, Doña Gabi, Doña Lourdes y su familia, Doña Pastora, Chuc, Don Nazario, Máma Mari, El abuelo, Share, Janeth, Don Pichi y su familia y todos los habitantes de Sisal que me hicieron sentir como en casa.

A los compañeros de la CONANP Cozumel Christopher, Rosy, Itzel, Alfre, Paty, “el chivo”, “el toro”, Diana, Luke, Iris y Blanca por ser parte de mi formación y recordarme que siempre hay que luchar por las cosa que creemos, con convicción y ética, a pesar de las adversidades que se presentan en el camino.

Y por último pero sin ser menos importantes a Don Genaro y a los guías de cazadores de patos por el tiempo e información proporcionada y por su colaboración para la realización de este trabajo.

Índice

Introducción	1
Marco Teórico.....	4
Bosques de Manglar en México.....	4
Herramientas de conservación	7
Sistemas de Información Geográfica (SIG) y sensores remotos	11
Diseño Sistemático de ANP	12
Antecedentes.....	14
Área de estudio.....	16
Cacería cinegética	22
Metodología	24
Pre-procesamiento de la imagen.....	24
Construcción de capas para la identificación de sitios prioritarios de conservación	25
Caracterización y mapeo del uso antropogénico en la REEP.....	27
Análisis de superposición ponderada	28
Resultados	30
Discusión	45
Conclusiones.....	53
Anexos.....	56
Bibliografía	58
Leyes y normas	62

Índice de Figuras

Figura 1. Superficie (ha) y porcentaje del área cubierta por manglar en cada uno de los estados costeros mexicanos (CONABIO, 2013).....	6
Figura 2. Polígono de la Reserva Estatal “El Palmar”	17
Figura 3. Zonificación y subzonificación actual de la REEP (PREEP, 2006).....	21
Figura 4. Especies permitidas para la cacería cinegética dentro de la UMA del Palmar	23
Figura 5. Escena inicial (izquierda) e imagen resultante del pre-procesamiento (derecha), en adelante referida como AOI.....	25
Figura 6. Mapa de los cinco tipos de hábitat dentro de la REEP resultante del proceso de clasificación no supervisada.....	31
Figura 7. Área (ha) de los cinco tipos de hábitats identificados dentro de la REEP a través del análisis de clasificación no supervisada.....	32
Figura 8. Mapa de conectividad entre parches de la misma clase de hábitats dentro de la REEP.....	33
Figura 9. Valores medios de conectividad para cada uno de los hábitats identificados dentro de la REEP. Las barras representan el error estandar	34
Figura 10. Grado de complejidad (índice de forma) que presentan los hábitats dentro de la REEP.....	35
Figura 11. Media del índice de forma para cada uno de los hábitats identificados dentro de la REEP. Las barras color negro representan el error estándar	36

Figura 12. Mapa de intensidad de uso de acuerdo a la frecuencia de visitas en cada uno de los sitios designados para la cacería cinegetica dentro de la REEP.....37

Figura 13. Sitios prioritarios de atención dentro de la REEP de acuerdo a los elementos del paisaje analizados e intensidad de uso antropogénico39

Figura 14. Porcentaje del área total de la REEP asignado a distintos niveles de prioridad de acuerdo al análisis de superposición ponderada40

Figura 15. Frecuencia de pixeles de los cinco tipos de hábitats identificados dentro de la REEP de acuerdo el grado de prioridad de conservación.41

Figura 16. Frecuencia de los pixeles de acuerdo al grado de conectividad entre los parches de la misma clase con respecto la categoría de prioridad para su conservación.....41

Figura 17. Frecuencia de los pixeles con base en el índice de forma de los parches de tipo de hábitat de acuerdo al nivel de prioridad de conservación.42

Figura 18. Frecuencia de pixeles con respecto a la frecuencia de mención de los sitios designados para la cacería cinegética con base en su grado de prioridad de conservación.....42

Figura 19. Propuesta de selección zonas núcleo dentro de la REEP44

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Fórmula para obtener el índice de forma de cada uno de los parches de tipo de hábitat en donde p_{ij} es el perímetro en m de un parche y a_{ij} es el área en m^2 ajustado a una constante.....	26
Ecuación 2. Fórmula para obtener el grado de compactación de cada uno de los parches de los diferentes tipos de hábitat registrados en la REEP.....	27
Figura 6. Reclasificación y ponderación de las capas utilizadas para el análisis de superposición.....	29

Índice de tablas

Tabla 1. Número de especies por grupo taxonómico con alguna categoría de protección dentro de la REEP.....	18
Tabla 2. Zonificación, superficie y objetivos de la subzonificación actual de la REEP (Programa de Manejo, 2006).....	20
Tabla 3. Capas utilizadas para el análisis de superposición con el valor de ponderación para cada una.....	28
Tabla 4. Reclasificación de cada una de las capas de acuerdo a sus características y a los resultados obtenidos en los análisis y ponderación de cada una de ellas de acuerdo a su función e importancia dentro de la REEP.....	38

Introducción

La intensa explotación de los recursos naturales además del desmedido crecimiento de la mancha urbana han afectado de manera considerable los ecosistemas de México. En el caso de Yucatán, la importante actividad henequenera así como la colonización desorganizada disminuyó la calidad de los hábitats que ocurren en la región (Rincon, J. 2006). Con la finalidad de generar sistemas que contribuyan a mejorar el aprovechamiento de los recursos naturales y regular el crecimiento poblacional, se han establecido Áreas Natrales Protegidas (ANP), las cuales tiene como objetivos (LGEEPA, 1988):

I.- *Preservar los ambientes naturales representativos de las diferentes regiones biogeográficas y ecológicas y de los ecosistemas más frágiles, así como sus funciones, para asegurar el equilibrio y la continuidad de los procesos evolutivos y ecológicos.*

II.- *Salvaguardar la diversidad genética de las especies silvestres de las que depende la continuidad evolutiva; así como asegurar la preservación y el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad del territorio nacional, en particular preservar las especies que están en peligro de extinción, las amenazadas, las endémicas, las raras y las que se encuentran sujetas a protección especial.*

III.- *Asegurar la preservación y el aprovechamiento sustentable de los ecosistemas, sus elementos, y sus funciones.*

IV. *Proporcionar un campo propicio para la investigación científica y el estudio de los ecosistemas y su equilibrio.*

V.- *Generar, rescatar y divulgar conocimientos, prácticas y tecnologías, tradicionales o nuevas que permitan la preservación y el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad del territorio nacional.*

VI. *Proteger poblados, vías de comunicación, instalaciones industriales y aprovechamientos agrícolas, mediante zonas forestales en montañas*

donde se originen torrentes; el ciclo hidrológico en cuencas, así como las demás que tiendan a la protección de elementos circundantes con los que se relacione ecológicamente el área.

VII.- Proteger los entornos naturales de zonas, monumentos y vestigios arqueológicos, históricos y artísticos, así como zonas turísticas, y otras áreas de importancia para la recreación, la cultura e identidad nacionales y de los pueblos indígenas.

Las ANP son consideradas como un importante instrumento de política para la conservación de los ecosistemas y su biodiversidad (Leverington, *et al.*, 2010). Aquellas que son administradas correctamente, decretadas con la información necesaria y considerando a la población local, permiten entre otras cosas: representar gran parte de la biodiversidad de la región y preservar a lo largo del tiempo especies y otros elementos de la biodiversidad que mantiene los procesos naturales (Mallen, *et al.*, 2013). Sin embargo, históricamente el establecimiento y diseño de las ANP es llevado a cabo de manera empírica con poca o nula información del área (ej. principales actividades económicas, flora, fauna, conflictos sociales, utilización de los recursos) lo cual en muchas ocasiones reduce su efectividad.

En México actualmente existen 177 ANP de orden federal que abarcan una superficie de 25, 628, 239.39 ha, lo que representa el 5% del territorio nacional. De estas, ~348,065 ha corresponden a bosque de manglar (CONANP, 2015). En Yucatán existen 15 ANP de las cuales una es municipal, ocho estatales y cinco federales, cubriendo un 8.67% del territorio del estado (SEDUMA, *et al.*, 2010).

Los manglares son de vital importancia debido a los bienes y servicios que proporcionan, así como el alto potencial económico y social que poseen. Como ejemplo, podemos mencionar que funcionan como una barrera natural de protección ante huracanes e inundaciones, sirven como refugio para especies de importancia pesquera, son lugares de crianza de distintas especies de peces e invertebrados y proporcionan recursos, como la madera que es utilizada para leña,

para la construcción de viviendas o herramientas (Alongi, D., 2001; Gilman, *et al.*, 2006; Giri, *et al.*, 2011, Sanjurjo, R. & Welsh, C., 2000). Otros servicios ambientales que presta el manglar y que tiene alta relevancia actualmente es la captura de carbono. Así mismo hay que considerar su importancia turística y paisajística, la cual deja una derrama económica importante en las comunidades cercanas a estos ecosistema (CONABIO, 2008).

Este estudio tiene como objetivo proponer la zonificación sistemática de la Reserva Estatal “El Palmar” (REEP) en Yucatán, considerando características del paisaje, así como información sobre la principal actividad económica (cacería cinegética) que se lleva a cabo en el área. Haciendo uso de imágenes satelitales y Sistemas de Información Geográfica (SIG). La importancia del diseño sistemático radica principalmente en mejorar la relación costo-beneficio en el proceso de establecimiento y operación de áreas prioritaria de conservación, asegurando su funcionamiento a largo plazo y tomando en cuenta las condiciones socioeconómicas.

La REEP forma parte de un importante corredor biológico de la costa de la Península de Yucatán, alberga una considerable cantidad de especies de flora, fauna y presenta abundante vegetación de manglar, siendo esta un aporte importante al 55% de la cobertura total de mangle de la península, sin dejar de lado la serie de bienes y servicios ambientales que brindan estos ecosistemas.

La información derivada de este estudio será de utilidad para la toma de decisiones respecto al uso de los recursos naturales dentro de la reserva, además de generar estrategias que permitan hacer un manejo eficiente del área, aprovechando al máximo el capital humano y monetario destinado para la REEP.

Marco Teórico

Bosques de Manglar en México

Los bosques de manglar son formaciones vegetales conformados por plantas halófitas facultativas en la que predomina flora caracterizada por su alta resistencia a variaciones ambientales, tales como la capacidad de resistir una alta salinidad, además de establecerse y crecer en lugares con suelo poco firme y bajas concentraciones de oxígeno. (CONABIO, 2008). Regularmente, las especies de mangle se distribuyen dependiendo de sus requerimientos y adaptaciones. Sin embargo el relieve, el sustrato, los niveles de inundación y las perturbaciones (naturales y/o antropogénicas) modifican su distribución (CONABIO, 2013; Agraz, *et al.*, 2006).

Los bosques de mangle o manglares regularmente se distribuyen en las planicies de los trópicos húmedos, principalmente alrededor de esteros y lagunas. Estos ecosistemas han desarrollado adaptaciones a lugares altamente dinámicos (Lugo, E., & Snedaker, S., 1974). Entre estas se puede mencionar el sistema de raíces que les permiten asentarse en sitios donde el suelo es poco estable y a su vez soportar una alta salinidad debido a su capacidad de filtrar la sal y exudarla a través de las hojas, evitando al mismo tiempo ser comidas por otros organismos. Este sistema de raíces también facilita su supervivencia en sitios con bajas concentraciones de oxígeno e hidroperíodos cambiantes (Zaldívar, *et al.*, 2010).

De acuerdo a Agraz, *et al.* (2006), existen dos tipos de manglar: los que se encuentran en contacto continuo con el mar y los que tienen una conexión estacional. Los del primer tipo están influenciados por las mareas, lo que permite la comunicación con ecosistemas adyacentes como pastos marinos y arrecifes coralinos. Estas interacciones son importantes debido a que muchos organismos pasan alguna fase de su ciclo de vida en el manglar y al alcanzar una edad adulta regresan al mar. Por otro lado el segundo tipo de manglares suele servir como

“trampas” de sedimentos y materia orgánica protegiendo de la eutrofización a los ecosistemas cercanos (Agraz, *et al.*, 2006).

Setenta especies de mangle existen mundialmente (CONABIO, 2013). En México únicamente se encuentran seis: *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Avicennia germinans* (mangle negro), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), *Conocarpus erectus* (mangle botoncillo), una especie de mangle rojo que únicamente ha sido registrada en las costas de Chiapas *Rhizophora harrissoni* y *Avicennia bicolor* (Agraz *et. al.* 2006). De éstas, el mangle rojo, mangle negro, mangle blanco y mangle botoncillo son las más comunes. Todas las especies de mangle se encuentran amenazadas de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010 (López & Ezcurra, 2002; NOM-059, 2010).

En México, se reporta un área total de ~774, 090 ha de bosque de mangle en los 17 estados costeros del país. La distribución de este ecosistema se divide en diferentes regiones dependiendo de sus características: Pacífico Norte, Pacífico Sur, Pacífico Centro, Golfo de México y Península de Yucatán. En la Península de Yucatán se encuentra ~55% del total de cobertura de mangle en el territorio mexicano, seguida por el Pacífico Norte con una cobertura de ~24.5%, las regiones del Golfo de México y Pacífico Sur con ~11% y ~8.6% respectivamente y por último la zona Pacífico Centro con solo un ~0.9% (Figura 1). El estado que presenta mayor superficie de manglar en el país es Campeche con ~25% (CONABIO, 2013).



Figura 1. Superficie (ha) y porcentaje del área cubierta por manglar en cada uno de los estados costeros mexicanos (CONABIO, 2013).

En la península de Yucatán, las características climáticas, el suelo formado de roca kárstica, una amplia plataforma continental, así como la presencia de tormentas tropicales y huracanes, determinan el crecimiento y desarrollo de los manglares (López & Ezcurra, 2002). Celestún, Dzilam de Bravo, Progreso, Rio Lagartos y El Palmar por mencionar algunos, son sitios que destacan por la presencia de manglar en Yucatán. Para el año 2010 la proporción de bosques de manglar afectados en el estado fue de 1,788 ha. Sin embargo de acuerdo a Barrera (2016), en el caso particular de la costa Norte de Yucatán (incluyendo la REEP) se ha detectado un incremento en la cobertura del bosque de manglar >1,000 ha en la última década.

Sin embargo, estos ecosistemas se encuentran altamente amenazados debido a los asentamientos humanos, el desarrollo agrícola, ganadero y acuícola, así como

los desechos sólidos y la sobre explotación del ecosistema (CONABIO, 2013). De igual manera los factores ambientales, como la modificación de los hidroperíodos, huracanes, tormentas tropicales y aumento del nivel del mar contribuyen a la disminución de cobertura de bosques de manglar (Alongi, D., 2001; Gilman, *et al.*, 2006; Giri, *et al.*, 2011).

De acuerdo a lo mencionado anteriormente y como medida para evitar la pérdida total de estos ecosistemas tan importantes, se han establecido bajo el régimen de ANP a nivel nacional, además de encontrarse dentro del listado de sitios prioritarios de conservación de la CONABIO y de manera internacional en la lista Ramsar (Ramsar, 2016).

De la superficie cubierta por estos ecosistemas en toda la República Mexicana el 45.2% esta decretado como ANP federales, mientras que el 21.4% está en áreas de protección estatales y/o municipales, de los cuales Yucatán es uno de los estados de la República Mexicana con mayor número de ANP estatales (CONABIO, 2013).

Herramientas de conservación

Actualmente a nivel mundial ha surgido la necesidad de generar zonas de protección con la finalidad de reducir la alta tasa de pérdida de biodiversidad y ecosistemas, esto es claro en el Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020 y las metas de Aichi las cuales establecen una serie de acciones encaminadas a la conservación de la biodiversidad y la generación de conciencia ante la sociedad sobre los problemas del ámbito ecológico que aquejan al planeta. Dentro de estas acciones una de las medidas que resaltan en dicho plan, es la generación de áreas de protección teniendo como meta que para el 2020 se tenga al menos el 17% de las zonas terrestres y 10% de las zonas marinas y costeras bajo algún grado de protección, siendo áreas representativas, conectadas y bien administradas. De igual manera se encuentra el convenio sobre Cambio Climático, el cual tiene por compromiso la adaptación y restauración de humedales ante este

fenómeno, así como la convención Ramsar, la cual tiene como objetivo principal la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos (Carrillo, J., s.f).

México, es un país contratante y miembro de estos convenios, comprometido con las metas establecidas en cada uno de ellos. Tal es el caso de los sitios Ramsar, que para el año 2016 México cuenta con 142 inscritos en dicha lista lo que corresponde a 1.69% del territorio nacional, incluyendo la plataforma continental (Ramsar, 2016).

En México las Áreas Naturales Protegidas (ANP) son una de las principales herramientas de conservación y se definen como zonas del territorio nacional que no han sido alteradas significativamente por el humano y tiene el fin de preservar los ambientes naturales y mantener su equilibrio, salvaguardando la integridad de las especies, su uso y aprovechamiento (CONANP, 2015). A su vez, estas áreas pueden proporcionar beneficios económicos a las comunidades adyacentes, ya que dentro de ellas se llevan a cabo actividades de recreación e investigación (Bezaury, E., 2009). Para la cumplir con dichos objetivos es necesario zonificar las áreas con la finalidad de designar sitios con diferentes usos y aprovechamientos de acuerdo con una serie de elementos ecológicos evaluados.

La LGEEPA define la zonificación de las áreas de protección como el instrumento técnico de planificación [...] que permite ordenar el territorio dentro de las ANP en función del grado de conservación y representatividad de sus ecosistemas, la vocación del terreno y su potencial. Sumado a lo anterior con la finalidad de tener un manejo adecuado de ciertas especies de interés para actividades productivas se establecen las Unidades de Manejo para la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre (UMA) (LGEEPA, 2016).

Existen diferentes tipos de ANP: las federales, estatales, municipales, comunitarias, ejidales y privadas. A nivel federal las ANP se dividen en seis diferentes categorías: Reservas de la biosfera, Parques Nacionales, Monumentos Naturales, Áreas de Protección de Recursos Naturales, Áreas de Protección de Flora y Fauna y Santuarios. Dentro de cada categoría de ANP se establecen las

diferentes actividades que se pueden llevar a cabo dentro del área así como su zonificación y subzonificación. De las 177 ANP decretadas en México a nivel federal, 41 son reservas de la biosfera, 66 parques nacionales, 5 monumentos naturales, 8 áreas de protección de recursos naturales, 39 áreas de protección de flora y fauna y 18 santuarios (CONANP, 2015).

Los beneficios que proporcionan las ANP fundamentalmente son la disminución de impactos antropogénicos por el uso de suelo, mantienen la integridad del paisaje, identificación y detección de las transformaciones de los ecosistemas. De igual manera contribuyen a mantener las funciones ecológicas de los mismos, aumentar el tamaño de las poblaciones de especies de importancia comercial y a su vez las capturas que favorecen la economía local (Hayri, *et al.*, 2009; Rioja, *et al.*, 2008).

A su vez existen leyes y normas mexicanas que de alguna manera contribuyen a la protección de los bosques de manglar, sin embargo falta mucho en materia jurídica sobre la protección de estos ecosistemas. Dentro de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en el artículo 4 párrafo VI establece que *“Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano...”*, el artículo 27 dicta que *“La nación tendrá el derecho...de regular el aprovechamiento...de los recursos naturales...”* *“corresponde a la nación el dominio directo de todos los recursos naturales de la plataforma continental...”* y que *“son propiedad de las Naciones las aguas de los mares territoriales en la extensión y términos que fije el Derecho Internacional; las aguas marinas interiores; las de las lagunas y esteros.”* (Const, 1917)

Mientras que el artículo 88 establece los criterios necesarios para el aprovechamiento sustentable del agua y los ecosistemas acuáticos: I.- Corresponde al Estado y a la sociedad la protección de los ecosistemas acuáticos y del equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico; II.- El aprovechamiento sustentable de los recursos naturales que comprenden los ecosistemas acuáticos deben realizarse de manera que no se afecte su equilibrio ecológico; III.- Para mantener la integridad y el equilibrio de los elementos

naturales que intervienen en el ciclo hidrológico, se deberá considerar la protección de suelos y áreas boscosas y selváticas y el mantenimiento de caudales básicos de las corrientes de agua, y la capacidad de recarga de los acuíferos, y IV.- La preservación y el aprovechamiento sustentable del agua, así como de los ecosistemas acuáticos es responsabilidad de sus usuarios, así como de quienes realicen obras o actividades que afecten dichos recursos (Const, 1917)

Por otro lado el artículo 6o de la Ley General de Bienes Nacionales (LGBN) especifica que *“La nación tiene jurisdicción sobre el manejo y utilización de la tierra y agua dentro del territorio nacional”*, así de esta manera el ecosistema de humedales es regulado por la nación para su mejor aprovechamiento (LGBN, 2012). Por otra parte la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) establece normas con la finalidad de mantener y regular la estabilidad ecológica de los ecosistemas naturales (LGEEPA, 2016). De igual manera la Ley de Aguas Nacionales (LAN) en su artículo 86 Bis 1 establece las atribuciones para la preservación de los humedales que se vean afectados por los regímenes de flujo de aguas nacionales (LAN, 1992).

La Ley General de Vida Silvestre establece en su artículo 60 que *“...promoverá e impulsará la conservación y protección de las especies y poblaciones en riesgo, por medio del desarrollo de proyectos de conservación y recuperación, el establecimiento de medidas especiales de manejo y conservación de hábitats críticos y de áreas de refugio para proteger especies acuáticas...”* además en su artículo 60 Ter establece que *“Queda prohibida la remoción, relleno, trasplante, poda, o cualquier obra o actividad que afecte la integridad del flujo hidrológico del manglar del ecosistema y de su zona de influencia, de su productividad natural; de la capacidad de carga natural del ecosistema para los proyectos turísticos; de las zonas de anidación, reproducción, refugio, alimentación y alevinaje; o bien de las interacciones entre el manglar los ríos, las dunas, la zona marítima adyacente y los corales, o que provoque cambios en las características y servicios ecológicos.”* (LGVS, 2000).

A su vez en el artículo 420 Bis del Código Penal Federal (CPF) tipifica que se impondrá pena de dos a diez años de prisión y el equivalente de trescientos a tres mil días multa a quien ilícitamente dañe, deseque o rellene humedales, manglares, lagunas, esteros o pantanos y una pena adicional de dos años de prisión y hasta mil días multa adicionales cuando se realice o afecte un ANP (Código Penal Federal, 2016).

Así también existen un extenso número de normas que de manera directa o indirecta tiene injerencia sobre la protección de los humedales, una de las más importantes es la NOM-022-SEMARNAT-2003 la cual protege directamente a los manglares, sin embargo está norma actualmente está inoperable (NOM-022, 2003). Por otro lado la NOM-059-SEMARNAT-2010, establece la protección ambiental a especies nativas o en alguna categoría de riesgo de flora y fauna del país (NOM-059,2010). La NOM-061-SEMARNAT-1994 dictamina las especificaciones para mitigar los efectos ocasionados por el aprovechamiento forestal (NOM-061, 1994).

Por su parte el Sistema de Áreas Naturales Protegidas del estado de Yucatán (SANPY) reconoce el establecimiento y la protección legal por parte del estado a la Reserva Estatal El Palmar.

Sistemas de Información Geográfica (SIG) y sensores remotos

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son softwares y hardwares los cuales tiene como principal función el análisis de datos espaciales. Los SIG en combinación con la percepción remota (estudio de objetos de interés a la distancia) han sido utilizados para la determinación de sitios prioritarios y como una importante herramienta en la conservación, gestión y evaluación de áreas bajo protección (ej. Rioja, *et al.*, 2015; Ben, *et al.*, 2013).

El uso de datos espaciales y la generación de mapas conforman actualmente un aspecto fundamental del proceso de toma de decisiones y designación de sitios

prioritarios. Ya que la información espacial facilita el estudio y conocimiento de áreas de gran extensión, disminuyendo los costos del mismo. Sin embargo, la limitación para obtener datos satelitales, los efectos negativos de las condiciones climáticas y la falta de personal capacitado para la utilización de dichas herramientas son desventajas para el manejo eficiente de esta tecnología.

La protección de grandes espacios en muchas ocasiones no suele tener los beneficios esperados, debido al conflicto para delimitar estas áreas, poca y/o incorrecta información para llevarlo a cabo, así como la falta de consideración de los actores involucrados. Actualmente los SIG en combinación con los sensores remotos son una herramienta que contribuye a optimizar la eficiencia de las áreas de protección ya que facilita su determinación y manejo. Recientemente se han desarrollado trabajos y estudios para determinar y evaluar el efecto de las áreas protegidas por medio del uso de SIG, demostrando la eficiencia y utilidad de estas herramientas.

Diseño Sistemático de ANP

Hoy en día, para el establecimiento y diseño de ANP se han desarrollado nuevas técnicas espacialmente explícitas, ordenadas y replicables, en donde se utilizan bases de datos con registros de riqueza, abundancia, distribución de especies y biodiversidad, uso antropogénico de los sitios y conocimiento ecológico local, entre otros. A esto se le conoce como diseño sistemático (Hernández, et al., 2013).

Las ventajas de utilizar el diseño sistemático antes de la designación de áreas bajo protección, es la facilidad en la identificación de objetos clave de conservación, los cuales disminuyen esfuerzos, maximizando su eficiencia. Otra de las ventajas de estos métodos es que cuando la información es escasa o su generación tiene un alto costo, se pueden utilizar otras fuentes de información como monitoreos realizados con anterioridad, los ordenamientos territoriales y ecológicos de la zona, e incluso el conocimiento local que contribuya de manera importante para la designación de los sitios prioritarios.

A pesar de que se continúan realizando esfuerzos para mejorar las planificaciones sistemáticas de los sitios de protección, estas técnicas son poco utilizadas, lo cual contribuye a que las áreas protegidas no cumplan con sus objetivos, además, el constante cambio de técnicas utilizadas para el ordenamiento del territorio, la reciente utilización de los SIG y la falta de software dedicados a procesar dicha información se traducen en la falta de personal capacitado para hacer uso óptimo de estas herramientas, limitando así su utilización (Ferrier, S., 2002; Ben, *et al.*, 2013).

Antecedentes

Anteriormente, la falta de datos robustos, técnicas y herramientas eficientes dificultaban la correcta selección de sitios prioritarios para la conservación y obstaculizaban las evaluaciones de grandes extensiones territoriales. Hoy en día se están realizando trabajos con el uso de SIG y técnicas de percepción remota, demostrando la eficiencia y utilidad de estas herramientas. Sin embargo es importante destacar que estas técnicas no solo son utilizadas en cuestiones ambientales, ya que tienen una gran variedad de usos dependiendo los requerimientos para cada sitio.

Ejemplo de ello es lo mencionado por la Organización Mundial para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la cual considera a los SIG y técnicas de percepción remota como herramientas de gran utilidad para mejorar la sustentabilidad de la acuicultura marina, ya que disminuye los costos al hacer uso de datos disponibles (FAO, 2009). Así mismo está el trabajo realizado por el Gobierno de Colombia, que con ayuda de SIG logro detectar evidencias y rutas de explotación de oro de aluvión en el territorio, demostrando así la versatilidad de estas herramientas (MDJ, 2014). Al igual que el trabajo de Gonzales. (2012) en donde analiza con la ayuda de técnicas de percepción remota el desempeño de la Reserva Natural Parque Luro en Argentina.

De igual manera el caso de la aplicación de la herramienta de zonificación en La Reserva de Producción Faunística Cubayeno, Ecuador, un área que albergaba a 20 poblaciones indígenas, las cuales aprovechaban los recursos de distintas maneras, pero todas ellas sin un control que garantizara el objetivo de la designación de la reserva, por ello fue necesario realizar una zonificación en donde se tomaran en cuenta las condiciones ecológicas del área a través de la utilización de SIG, pero también información sobre el uso que los pobladores le estaban dando con base en una serie de encuestas realizadas y así de manera conjunta con la gente se llegó a un proceso de zonificación en el que todas las partes involucradas quedaron de acuerdo (Del Aguila, S. 2008).

Por otro lado el trabajo para diagnosticar y seleccionar una zona de interés ambiental en Itaúna, Brasil fue realizado con la utilización de los Sistemas de Información Geográfica, basado en las características físicas, morfológicas y sociales de la zona. Dicho estudio recalca la practicidad de los SIG para zonificar áreas, debido a la multitud de variables que es posible utilizar al mismo tiempo, lo cual permite un diagnóstico coherente y más cercano a la realidad (Lima, *et al.*, 2010).

México no ha sido la excepción en cuanto al uso y manejo de estas herramientas. Un ejemplo claro de ello es el estudio realizado en las selvas de Uxpanapa, Veracruz para demostrar la deforestación y el deterioro en las selvas de esta región (Hernández, I., 2013). Otro ejemplo del reciente uso de estas herramientas es visible en el trabajo realizado por Rioja *et al.* (2008) en donde se demuestra el efecto de una correcta designación de un área marina protegida utilizando los SIG. El estudio se realizó en El Parque Nacional Arrecifes de Cozumel en donde se integró información de la estructura y los diferentes tipos de hábitats, diversidad beta y fragmentación entre el área protegida y un área adyacente sin protección con la finalidad de evaluar la eficiencia de las estrategias de gestión dentro del parque. Se utilizaron SIG para generar mapas de la región protegida y de la que no cuenta con protección, al realizar la comparación se obtuvo que el uso de herramientas espacialmente explícitas tienen efectos positivos sobre la integridad de varios hábitats dentro del parque.

Dentro de la REEP también se ha hecho uso de estas herramientas para su estudio como el trabajo realizado por Barrera (2016) en donde se analiza la variación espacio-temporal de la cobertura del bosque de manglar en la costa norte del estado de Yucatán, incluyendo la reserva. El trabajo realizado por Rioja *et al.* (2015), dicho estudio evalúa el efecto del manejo de la REEP con base en la comparación de elementos del paisaje entre la reserva y un área adyacente sin protección.

Área de estudio

La Reserva Estatal El Palmar (REEP) fue decretada el 29 de enero de 1990, como Zona Sujeta a Conservación Ecológica. En ese primer decreto la reserva abarcaba una extensión de 50,177.39 ha que incluían 36 km de línea de costa y no contaba con Programa de Manejo (PM). Para el año 2006 se modificó el área quedando en 49,605.39 ha incluyendo una franja marina de 9,442.11 ha (Figura 2). Y al año siguiente por primera vez se publicó el Programa de Manejo de la reserva (PMREEP) (PMREEP, 2006).

La REEP está situada en el estado de Yucatán. Comprende los municipios de Celestún y Hunucmá, colindando con el puerto de Sisal, el Golfo de México y la Ría de Celestún. La reserva está constituida por vegetación de duna costera, petenes, pastos marinos, pero está dominada principalmente por vegetación de manglar (CONABIO, 2008). De igual manera es un sitio Ramsar desde el año 2003 ya que cumple con seis de los ocho criterios para pertenecer a la lista, los cuales son: 1) contar con un número de especies representativo del total de las especies de la península de Yucatán; 2) contener un porcentaje importante de especies endémicas, de distribución limitada o exclusiva; 3) albergar especies en peligro de extinción; 4) poseer especies de importancia económica; 5) presentar hábitats clave, críticos y prioritarios para el equilibrio biológico y 6) ocupar una superficie que pueda asegurar la pertenencia a largo plazo de los puntos anteriores (Ramsar, 2016; Echeverría, G., 2003).

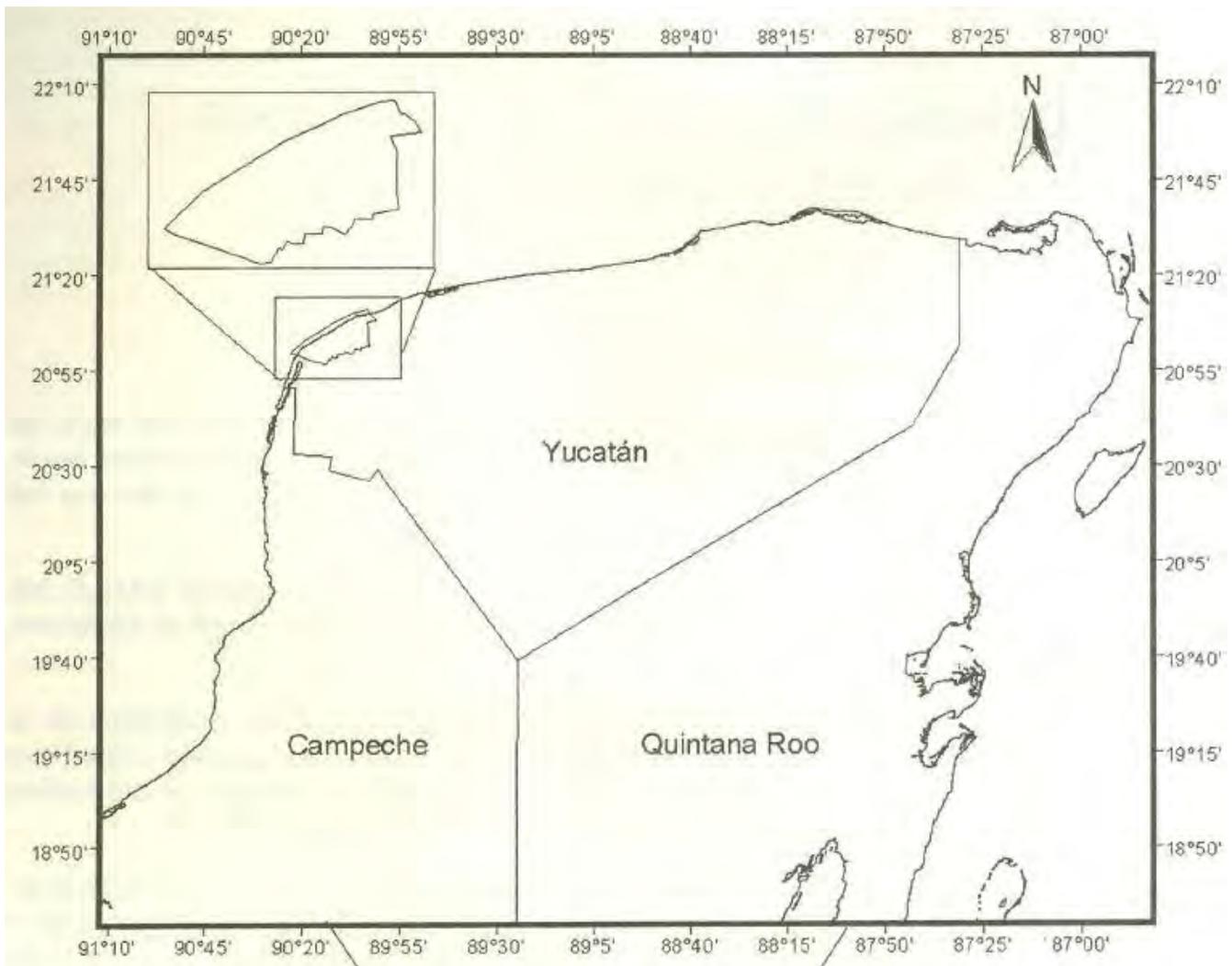


Figura 2. Ubicación de la Reserva Estatal “El Palmar” (PMREEP, 2006).

Cabe destacar que es un área utilizada como refugio para especies en peligro de extinción, endémicas y amenazadas, además durante el invierno llegan a habitar más de 20, 000 aves acuáticas ya que cuenta con un amplia variedad de ecosistemas, de acuerdo a la clasificación de humedales de la convención Ramsar, la reserva del Palmar presenta cuatro tipos de humedales: lecho marino, submareal, estuarino y palustre (Echeverría, G., 2003).

La tabla 1 muestra las especies que se encuentran bajo alguna categoría de riesgo dentro del área protegida, dividiéndolos en grupos de invertebrados, anfibios, reptiles, aves y mamíferos.

Tabla 1. Número de especies por grupo taxonómico con alguna categoría de riesgo, según la NOM-059-SEMARNAT-2010, dentro de la REEP (PMREEP, 2006).

Categoría de protección	Invertebrados	Anfibios	Reptiles	Aves	Mamíferos	Total
En peligro de extinción	1	*	3	1	5	10
Amenazadas	3	*	5	6	3	17
Protección especial	*	3	4	9	15	31
Total	4	3	12	16	23	58

La reserva estatal El Palmar se encuentra ubicada en la región Neotropical y es clasificada como una región prioritaria debido a que es alimentada por cuerpos de agua con características únicas en México. En esta zona predomina un clima semiárido con un promedio anual de temperatura de 26.5 °C y precipitación de 600mm (García, E., 1998; PMREEP., 2006). Se pueden distinguir claramente tres temporadas a lo largo del año: secas, lluvias y nortes. La salinidad es un componente importante dentro del área protegida, sin embargo es un elemento altamente variable ya que depende en su totalidad del aporte de agua y de la temperatura (Echeverría, G., 2003).

La vegetación que se encuentra dentro del área está compuesta por 548 especies, distribuidas en 100 familias. Algunas de las principales especies presentes son *Cordia dodecandra*, *Acacia dolichostachya*, *Brassavola cucullata*, *B. nodosa*, *Coccothrinax readii*, *Thrinax radiata*, además de las cuatro especies más comunes de mangle: *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus* (PMREEP, 2006).

La fauna que se puede encontrar dentro de la reserva consta de aves, reptiles, mamíferos y peces, ya que debido a los criterios establecidos por la convención Ramsar estos ecosistemas funcionan como refugio para una gran variedad especies, dentro de los cuales se encuentran (PMREEP, 2006):

Crustáceos: *Antromysis cenotensis*, *Cirolana anops*, *Creaseria morleyi*, *Millepora alcicornis*, *Cyanea capillata*, *Aurelia aurita*, *Limulus polyphemus*, *Pelagia noctiluca*.

Lepidópteros: *Hermeuptychia hermes*, *Eunica monima*, *Dryadula phaetusa*, *Microtia elva elva*, *Anteos maerula*, *Zerene cesonia*.

Peces: *Herengula jaguana*, *Synodus foetens*, *Opsanus beta*, *Caranx rubber*, *Haemulon plumieri*, *Orthopristis chrysoptera*, *Archosargus probatocephalus*.

Anfibios: *Triprion petasatus*, *Rana berlandieri*, *Rhinophrynus dorsalis*, *Bufo valliceps*, *Hyla microcephala*, *Scinax staufferi*.

Reptiles: *Coleonyx elegans*, *Sceloporus cozumelae*, *Carretta carretta*, *Eretmochelys imbricata*, *Trachemys scripta*, *Kinosternon scorpioides*, *Crocodylus moreletii*.

Aves: *Tigrisoma mexicanum*, *Egretta rufescens*, *Aythya affinis*, *Falco peregrinus*, *Zenaida aurita*, *Aratinga astec*, *Amazona xantholora*, *Vireo pallens*.

Mamífero: *Stenella attenuata*, *Tursiops truncatus*, *Lagenodelphis hosei*, *Grampus griseus*, *Feresa attenuata*, *Orcinus orca*, *Peponocephala electra*.

Al ser la REEP un ANP cuenta con una zonificación, de acuerdo a esta (Tabla 2); la zona núcleo tiene como objetivo principal la preservación de los ecosistemas a mediano y largo plazo, esta área a su vez se encuentra subdividida en dos áreas, la de uso restringido y la de protección, que coparten el objetivo principal de mejorar las condiciones actuales de estas zonas. Por otro lado la zona de amortiguamiento se encuentra subdividida en cinco áreas: aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, aprovechamiento especial, uso público y la franja marina; estas áreas tienen como principal objetivo orientar actividades de aprovechamiento encaminadas a un desarrollo sustentable, asegurando la conservación de los recursos a largo plazo, de igual manera se busca explotar los recursos esenciales para el desarrollo social y la realización de actividades recreativas y de esparcimiento dentro de la reserva (PMREEP, 2006).

Tabla 2. Zonificación, superficie y objetivos de la subzonificación actual de la REEP (Programa de Manejo, 2006).

Zona	Superficie (ha)	Objetivo
<i>Zona núcleo</i>	33, 804.16	La preservación de los ecosistemas a mediano y largo plazo.
Subzona de uso restringido	11, 876.64	Mantener e incluso mejorar las condiciones actuales de los ecosistemas.
Subzona de protección	21, 927.51	Asegurar la conservación de esta zona a largo plazo.
<i>Zona de amortiguamiento</i>	15, 801.22	Orientar las actividades de aprovechamiento hacia el desarrollo sustentable y su conservación a largo plazo.
Subzona de Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Naturales	5,122.66	Aprovechamiento de los recursos a largo plazo y actividades productivas sustentables.
Subzona de Aprovechamiento Especial	1,210.85	Explotación de recursos naturales esenciales para el desarrollo social sin deteriorar el ecosistema ni modificar el paisaje.
Subzona de Uso Público	24.95	Uso para actividades recreativas y de esparcimiento.
Franja Marina	9, 442.11	Uso para actividades científicas que coadyuven a la restauración ecológica de la misma.

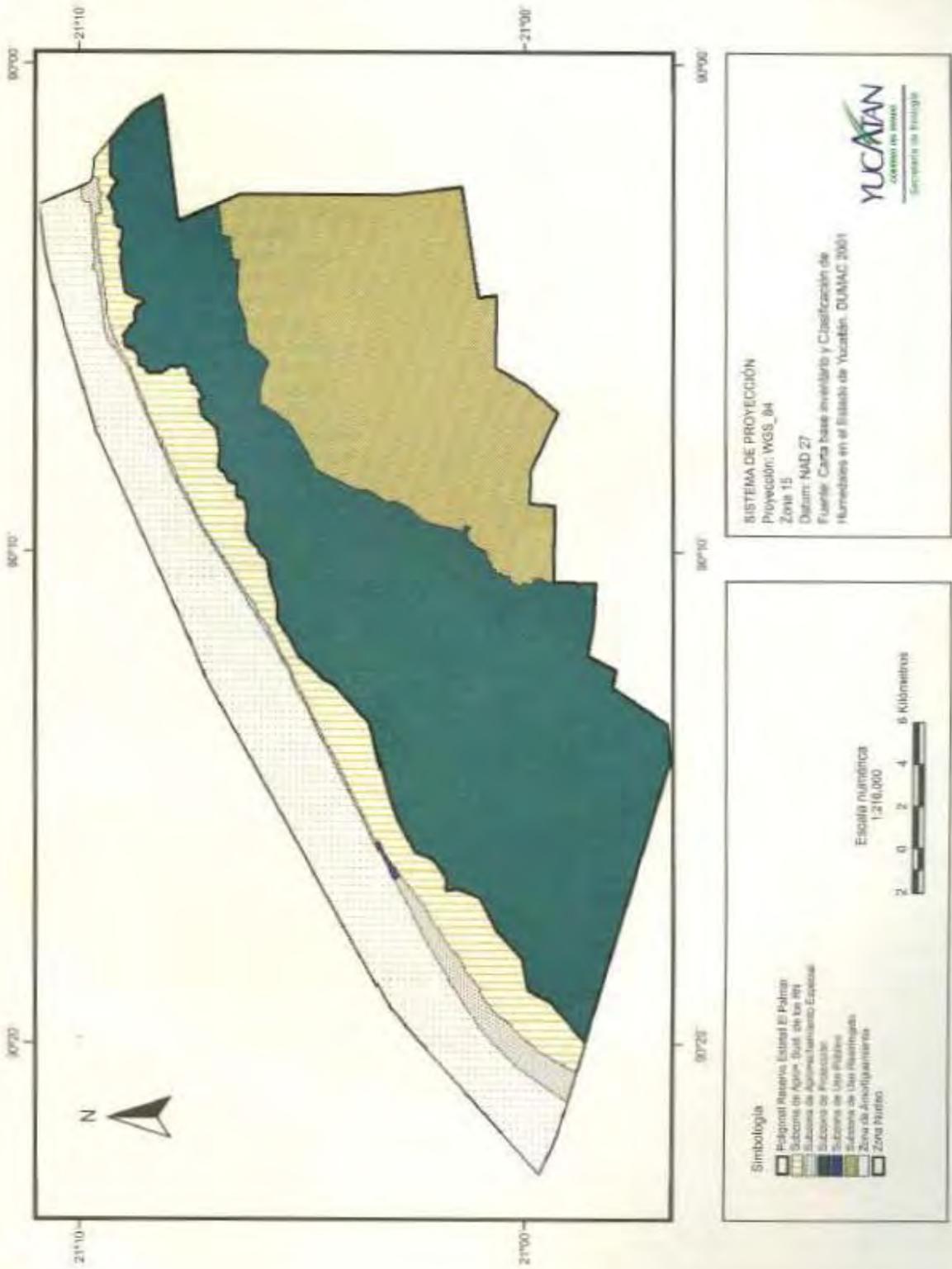


Figura 3. Zonificación y subzonificación actual de la REEP (PREEP, 2006).

Cacería cinegética

La REEP cuenta con una Unidad de Manejo para la conservación de la Vida Silvestre (UMA) para el aprovechamiento de aves acuáticas migratorias, dicha UMA cuenta con 21, 321 ha en la parte posterior de la barra arenosa paralela a la línea de costa. Esta actividad se encuentra regulada por la Secretaria de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (SEDUMA) y se lleva a cabo del 18 de diciembre al 17 de abril de cada año (Segovia, *et al.*, 2007).

Esta actividad se rige bajo lineamientos establecidos con base en estudios del área y de las especies cinegéticas de interés siendo necesario su cumplimiento para realizar dicha actividad:

- “...todas las personas que realicen la actividad cinegética deberán cumplir con lo establecido en dichos lineamientos...”
- “...los cazadores deberán realizar el cobro por el cintillo...cada cintillo tiene que contener el nombre del cazador, la temporada y la zona de caza”
- “...los cazadores deberán respetar las zonas, horarios y temporalidad para realizar dicha actividad...”
- “...cada cintillo de cobro ampara la recolección de 30 ejemplares de patos y cercetas a excepción del pato boludo menor (*Aythya affinis*) que se reduce a solo 5 ejemplares...”
- “...queda prohibido el uso de vehículos motorizados, luz artificial o cualquier otro artefacto para perseguir o acosar a las aves”
- “...los guías tiene que firmar una carta de compromiso de colaboración con la SEDUMA y solo podrán participar aquellos que cuenten con todos los documentos requeridos...”

(SEDUMA, 2016).

Nombre científico	Nombre común
<i>Anas discors</i>	<i>Cerceta alas azules</i>
<i>Fulica americana</i>	<i>Gallareta</i>
<i>Anas acuta</i>	<i>Pato golondrino</i>
<i>Aythya affinis</i>	<i>Pato boludo menor</i>
<i>Anas americana</i>	<i>Pato poolnunxi / panadero</i>
<i>Anas crecca</i>	<i>Cerceta alas verdes</i>
<i>Anas Clypeata</i>	<i>Pato cucharón</i>
<i>Aythya americana</i>	<i>Pato cabeza roja</i>

Figura 4. Especies permitidas para la cacería cinegética dentro de la UMA del Palmar.

Esta actividad ha llamado la atención de los aficionados, atrayendo a 170 cazadores por temporada aproximadamente, de los cuales 150 son mexicanos y 20 extranjeros. Obteniendo un aprovechamiento alrededor de 22, 500 aves.

De acuerdo a lo mencionado por el guardaparque Genaro Eusebio Cob Martínez se encuentran registrados 58 guías de cazadores, sin embargo, en las últimas dos temporadas operan únicamente 28, beneficiando así a las familias de dichos trabajadores.

Metodología

Pre-procesamiento de la imagen

Se utilizó una escena multiespectral en color falso (Verde, Rojo, Infrarrojo cercano, Infrarrojo medio) del satélite SPOT 5 (obtenida en el mes de abril del 2014) con una resolución espacial de 10 m por cada pixel. Debido a la necesidad de eliminar de la escena aquellas características radiométricas relacionadas con la atmósfera (nubosidad, humedad, etc.) y transformar los números digitales en reflectancia a nivel de la superficie, para que pueda ser comparable la información, se llevó a cabo una corrección atmosférica utilizando el módulo ATCOR del programa ERDAS.

Así mismo, se realizó una corrección geométrica con puntos de control en tierra (Datum WGS84). Estos puntos se definieron por aquellas características del paisaje que fueron fácilmente reconocibles en la escena y que no tienen variaciones frecuentes en su localización (ej. carreteras, cenotes y casas). Debido a que dentro de la reserva son escasas estas características de paisaje, también se consideraron petenes que se encontraban bien definidos en la imagen.

Posteriormente se definió el Área de Interés (AOI por sus siglas en inglés), eliminando de la escena aquellas regiones que se ubicaron fuera del polígono de la reserva así como el área marina (Figura 5). Este AOI se generó utilizando la última actualización del polígono de la reserva, que se encuentra en proceso de publicación. El área marina fue eliminada de la imagen ya que se carece de información suficiente para realizar los posteriores análisis.

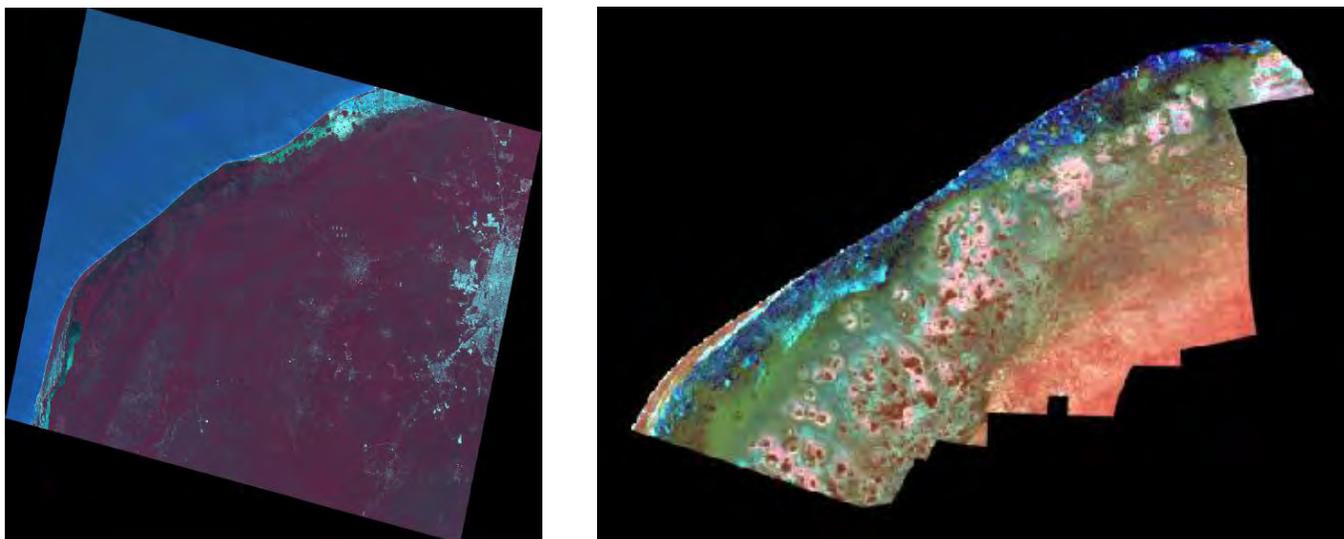


Figura 5. Escena inicial (izquierda) e imagen resultante del pre-procesamiento (derecha), en adelante referida como AOI.

Construcción de capas para la identificación de sitios prioritarios de conservación

Se construyó un mapa temático de tipo de hábitat mediante un proceso de clasificación no supervisada, utilizando como base 100 clases (Schowengerdt, R. A. 2007). Posteriormente, mediante el uso de la herramienta Grouping (ERDAS, 2012) se reagruparon las clases en cinco grupos principales: manglar, áreas sin vegetación, selva, áreas inundadas y otra vegetación. Estos grupos, mencionados en el resto del documento como clases, se identificaron *a priori* (especialmente y como característica del paisaje) en base al análisis de la zonificación del PMREEP, así como en el Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Costa de Yucatán (POETCY) y por trabajos realizados con anterioridad en la zona de estudio (Moreno, 2013; Rioja, *et al.*, 2015).

Al mapa obtenido se le aplicaron análisis de vecindario, agregación, filtro y eliminación para eliminar grupos de píxeles muy pequeños y disminuir el tiempo de análisis y transformación del archivo (ERDAS, 2012). Para finalizar este proceso se le realizó un Fuzzy recorde, el cual realiza una revisión final de la agrupación

de las clases y reduce la incertidumbre entre las misma. Finalmente, se utilizó la herramienta Thematic Pixel Agregation en ERDAS con la finalidad de disminuir el tamaño del archivo y poder utilizarlo en el programa Fragstats 4.2.1 para el cálculo de los índices de forma y conectividad descritos en las siguientes secciones.

Se calculó el índice de forma, el cual expresa la complejidad de cada uno de los parches (Ecuación. 1). Este índice es igual al perímetro (m) del parche dividido por la raíz cuadrada del área (m²) del parche, ajustado a una constante, siendo quizás la medida más directa de complejidad de forma (Fragstats, 2015).

$$\text{SHAPE} = \frac{.25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \quad \left| \begin{array}{l} p_{ij} = \text{perímetro del parche } ij \text{ (m)} \\ a_{ij} = \text{área del parche } ij \text{ (m}^2\text{)} \end{array} \right.$$

Ecuación 1. Fórmula para obtener el índice de forma de cada uno de los parches de tipo de hábitat en donde p_{ij} es el perímetro en m de un parche y a_{ij} es el área en m² ajustado a una constante (Fragstats, 2015).

De acuerdo al índice de forma, lo valores resultantes ≤ 1 son parches que presentan formas más homogénea, mientras que los valores más altos presentan formas más irregulares.

La conectividad se basa en medidas espaciales como superficie, forma de los parches y distancia entre ellos (EUROPARC, 2009). Para elaborar el mapa de conectividad, se calculó la distancia entre parches de la misma clase de borde a borde, dependiendo del núcleo de cada uno (Ecuación 2).

$$ENN = \frac{1}{n} \sum_{ij} \frac{1}{h_{ij}}$$

h_{ij} = distancia (m) del parche ij al parche más cercano de la misma clase.

Ecuación 2. Fórmula para obtener el grado de compactación de cada uno de los parches de los diferentes tipos de hábitat registrados en la REEP (Fragstats, 2015).

Los valores > 0 serán los más alejados entre sí y por el contrario los valores muy cercanos a 0 tenderán a estar más cerca de los parches de su misma clase y por la tanto mejor conectados.

Caracterización y mapeo del uso antropogénico en la REEP

La cacería cinegética de aves es la principal actividad antropogénica que se lleva a cabo dentro de la REEP. Por lo tanto, del 18 de diciembre al 17 de abril del 2015, se realizaron 24 encuestas semi-estructuradas (Anexo 1) a los cazadores de patos más activos. Los cazadores fueron seleccionados con base en la información proporcionada por Genaro Eusebio Cob Martínez, guardaparque de la REEP. Se realizó un análisis de frecuencia del uso de los principales puntos de cacería con los resultados obtenidos en las encuestas. Posteriormente dichas entradas se clasificaron en cinco grupos: muy baja intensidad, baja intensidad, media intensidad, alta intensidad y muy alta intensidad con base a la frecuencia de visitas mencionada por los cazadores.

Se construyó un archivo vectorial (shapefile) con el AOI de la REEP, posteriormente se digitalizaron los principales puntos de cacería marcados por los guías. Considerando que los cazadores reportaron en promedio un desplazamiento de 1.7 km por día de caza, se construyó un buffer con dicha distancia de radio a partir de la línea de costa hacia tierra adentro, tomando como inicio cada entrada de caza. Posteriormente el buffer generado con base en el

desplazamiento de los cazadores se subdividió en 20 cuadros de 1.7 km cada uno, en donde se agregó la frecuencia de eventos de caza por temporada, para facilitar la consulta de la información por áreas.

Análisis de superposición ponderada

Para este análisis se trabajó con los cuatro mapas generados anteriormente (tipo de hábitat, índice de forma, conectividad e intensidad de uso antropogénico). La conectividad es una propiedad de los paisajes y consiste en la función de la conexión entre manchas de hábitats, dicha propiedad se basa en medidas espaciales como superficie, forma de los parches y distancia entre ellos. Por otro lado el índice de forma se traduce en la fragmentación de los parches de los diferentes tipos de hábitats, este es considerado como un proceso dinámico por el cual un hábitat va quedando reducido a parches de menor tamaño y tiene relación con el área y el perímetro de cada uno (Buendía, C., s.f). Mientras que la intensidad de uso antropogénico se basa frecuencia de la principal actividad llevada a cabo dentro de la REEP, la cacería cinegética.

Estos mapas, son referidos en adelante como capas, en donde a cada una le fue asignado un valor de ponderación (peso). Este valor fue designado dependiendo del grado de importancia según sus características y funciones dentro de la REEP (Tabla 3).

Tabla 3. Capas utilizadas para el análisis de superposición con el valor de ponderación asignado para cada una.

Capa	Valor (%)
<i>Tipo de hábitat</i>	40
<i>Conectividad</i>	30
<i>Índice de forma</i>	15
<i>Uso antropogénico</i>	15

Posterior a la reclasificación y ponderación de las capas se exportaron a formato raster definiendo la ventana de selección a un pixel con la finalidad de evitar que se generalice la información contenida en ellas.

Con las capas reclasificadas en el programa Arc Gis 10.1 se realizó el análisis de superposición ponderada con la herramienta Model Builder utilizando la siguiente fórmula (Ecuación 3).

$$SPP = \sum_1^n (\text{valores de las capas } i \times \text{valor de ponderación asignado a cada capa})$$

Ecuación 3. Reclasificación y ponderación de las capas.

Donde:

SPP= Valor obtenido para cada pixel.

n= número de capas (tipo de hábitat, índice de forma, conectividad e intensidad de uso antropogénico)

Resultados

En el mapa de tipo de hábitat (Figura 6) se pueden observar los diferentes hábitats dentro de la REEP, el mapa generado revela que el hábitat predominante dentro de la reserva es el manglar, seguido por la selva baja caducifolia, áreas inundadas, otra vegetación en una menor proporción, y por último, áreas sin vegetación.

La clase de otra vegetación está compuesta principalmente por pastizales, matorrales, arbustos de menor tamaño así como vegetación de duna costera y especies de manglar de menor tamaño y en menor proporción.

De igual manera es posible visualizar la distribución de los hábitats dentro del área, destacando que el hábitat conformado por la vegetación de manglar se ubica más cercano a la franja marina. La clase conformada por otra vegetación se encuentra principalmente rodeando los ojos de agua y en menor proporción cerca del litoral costero. Por otro lado, la selva baja caducifolia se encuentra en zonas con poca variabilidad y en el caso de la REEP este hábitat se encuentra en mayor contacto con las perturbaciones antropogénicas.

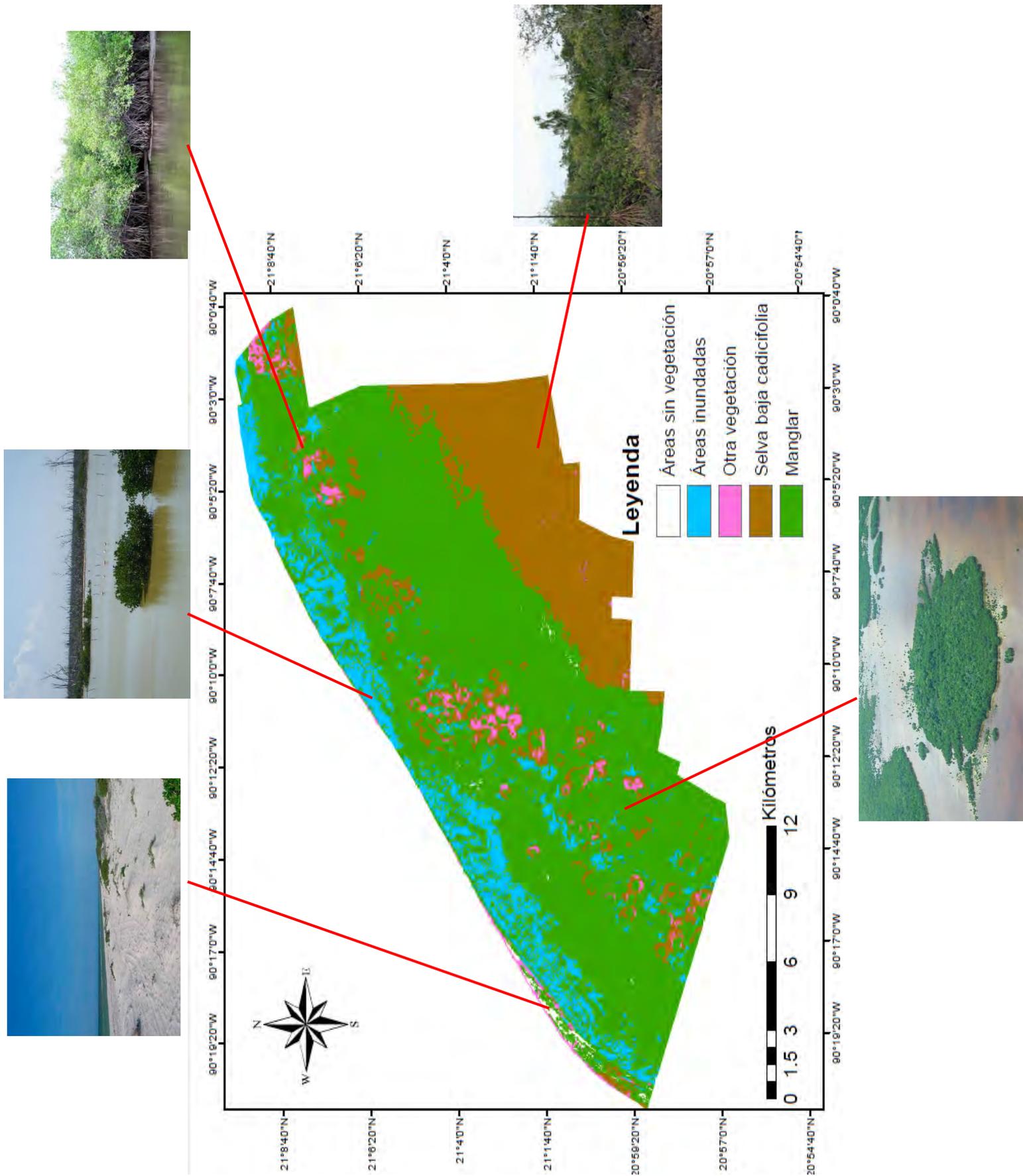


Figura 6. Mapa de los cinco tipos de hábitat dentro de la REEP resultante del proceso de clasificación no supervisada.

En la Figura 5 se muestra el área (ha) que abarca cada uno de los hábitats dentro de la reserva. Es evidente que el hábitat predominante es el manglar, éste abarca una proporción de 26 320.93 ha, lo que corresponde al ~65% de la reserva, seguido por la selva baja caducifolia con 8 908.75 ha, áreas inundadas con 4 095.01 ha, otra vegetación con 765.34 ha y en mucho menor proporción áreas sin vegetación con 421.80 ha.

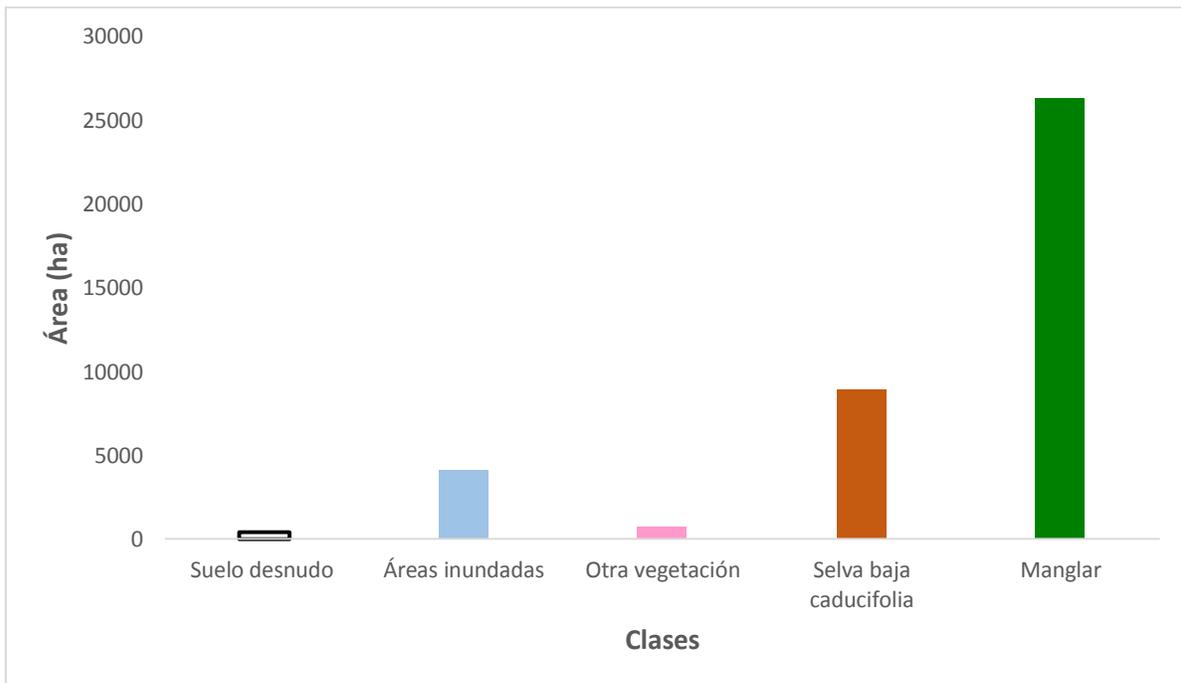


Figura 7. Área total (ha) de los cinco tipos de hábitats identificados dentro de la REEP a través del análisis de clasificación no supervisada.

En la Figura 8 se puede observar el grado en el que los hábitats se encuentran conectados dentro de la REEP. De manera general la mayoría de los parches que componen cada clase presentan altos niveles de conectividad. Los hábitats mejor conectados se encuentran en el centro de la REEP, mientras que los de menor conectividad en el límite Suroeste de la reserva.

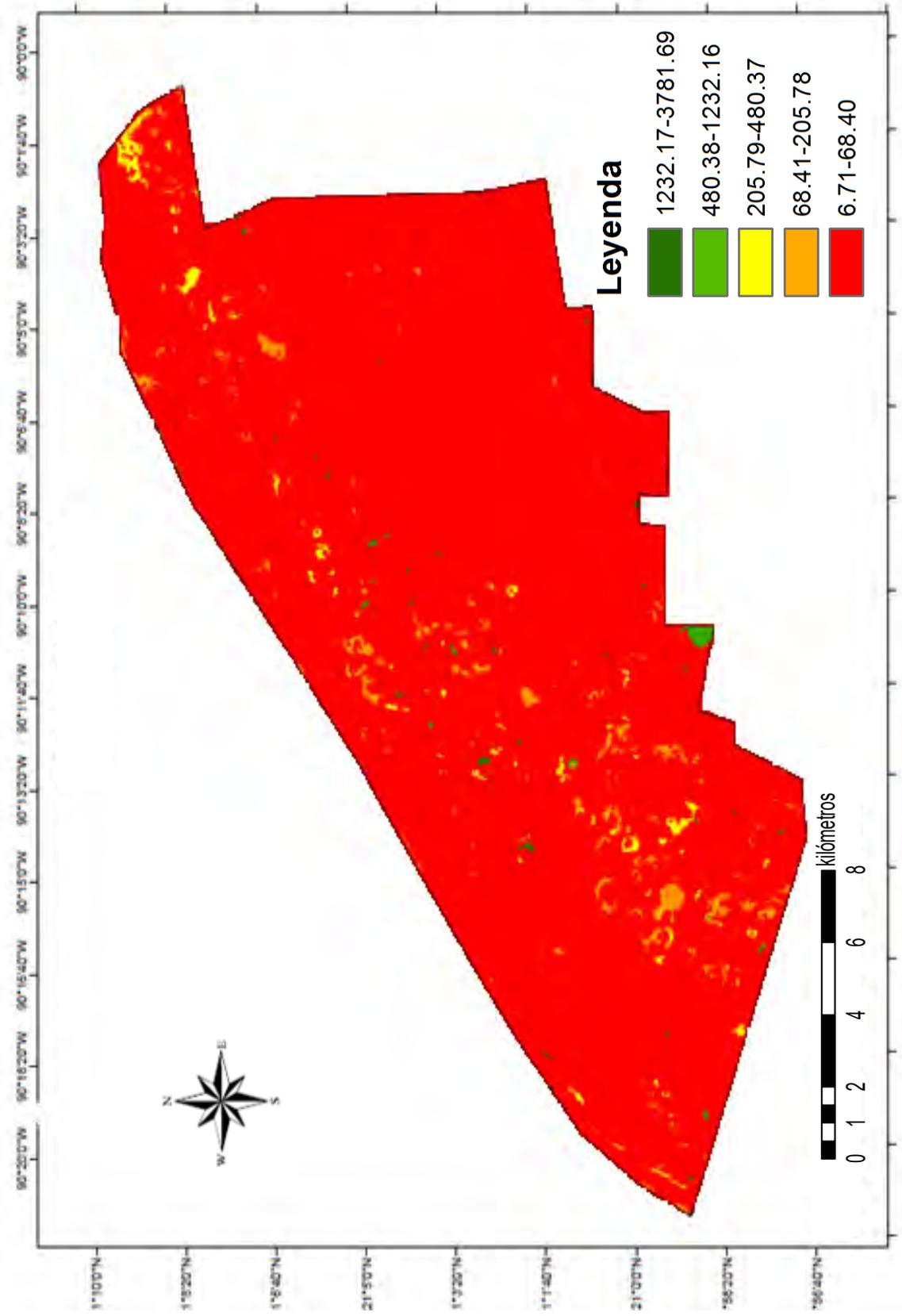


Figura 8. Mapa de conectividad entre parches de la misma clase de hábitats dentro de la REEP.

De acuerdo a la Figura 9 podemos decir que el hábitat que representa un mayor grado de conectividad es el manglar, seguido de áreas sin vegetación, selva baja caducifolia, otra vegetación y por último áreas inundadas.

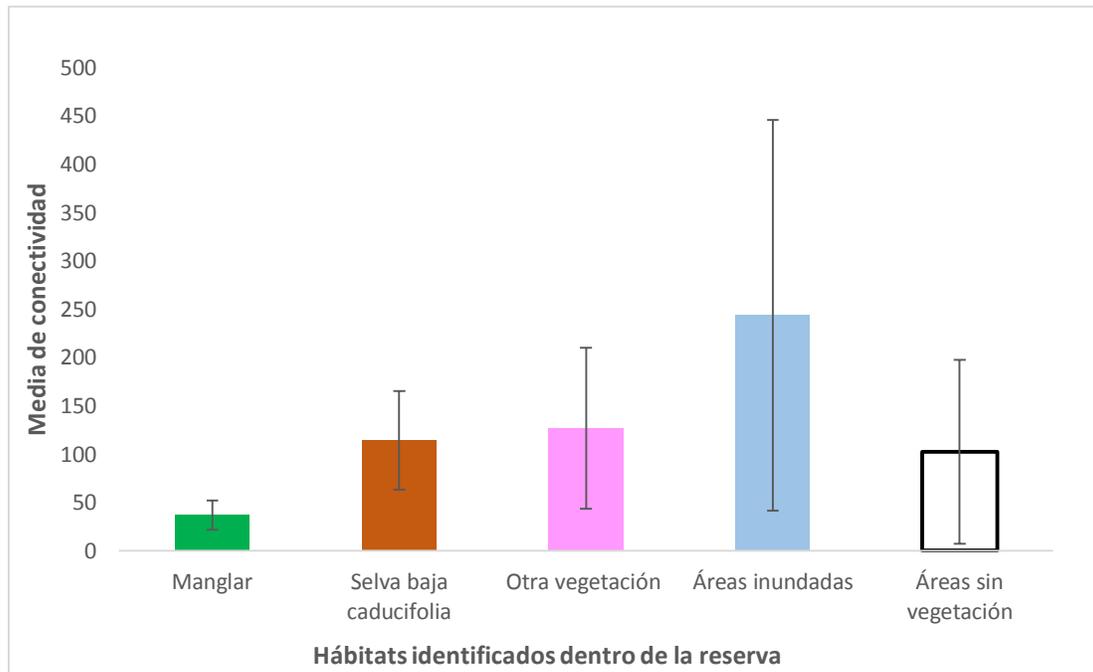


Figura 9. Valores medios de conectividad para cada uno de los hábitats identificados dentro de la REEP. Las barras representan el error estándar.

La Figura 10 muestra el índice de forma que tienen los hábitats dentro de la REEP, es claro que los hábitats presentan un alto nivel de compactación (26 450.93 ha, lo cual corresponde al 65% del área total de reserva), siendo el centro de la reserva el área con un mayor grado de compactación. Los hábitats que presentan un menor valor dentro de la capa de índice de forma son el manglar y la selva baja caducifolia, caso contrario de la conectividad, debido a su amplia distribución dentro de la reserva y el tamaño de los parches de estos hábitats. El hábitat que se encuentra conformado por otra vegetación, muestra valores muy altos debido a que son parches compactos, en espacios reducidos y muy bien definidos.

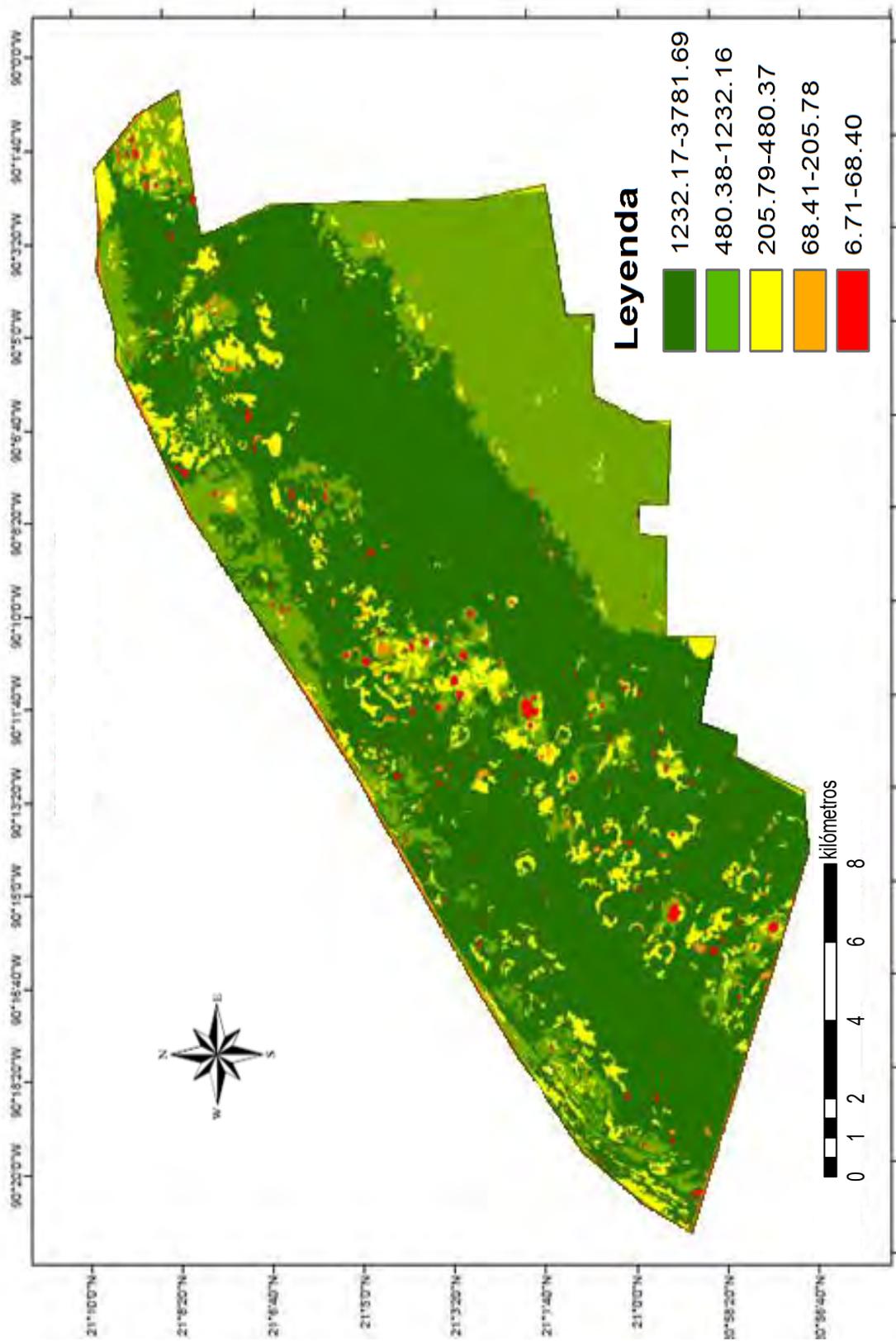


Figura 10. Grado de complejidad (índice de forma) que presentan los hábitats dentro de la REEP.

En la Figura 11 se observa que el tipo de hábitat de otra vegetación presenta parches con un alto grado de fragmentación, seguido por áreas inundadas, áreas sin vegetación, manglar y selva baja caducifolia.

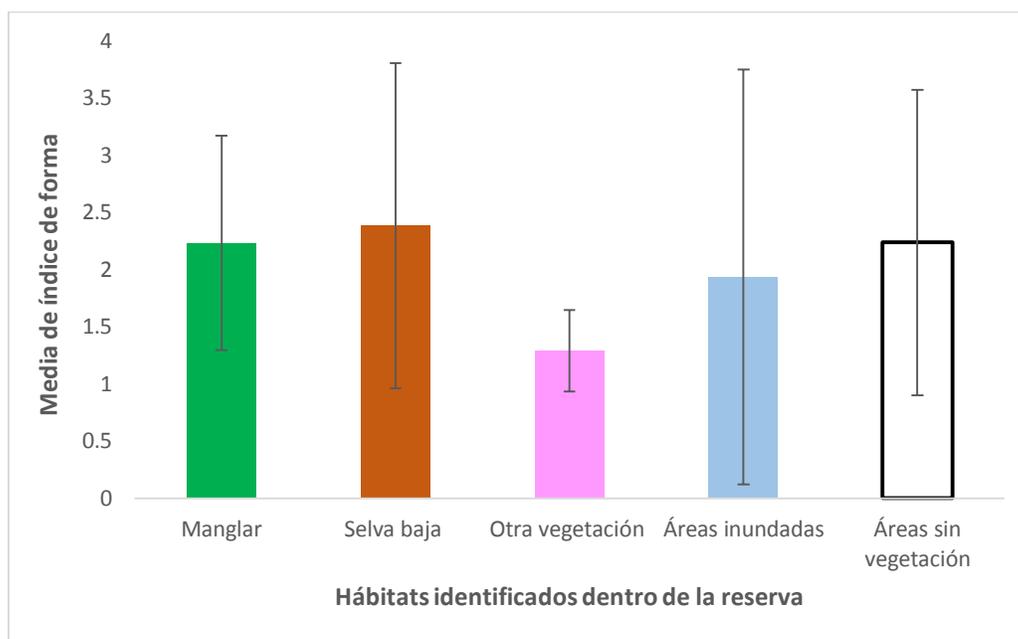


Figura 11. Media del índice de forma para cada uno de los hábitats identificados dentro de la REEP. Las barras color negro representan el error estándar.

En la Figura 12 podemos observar la intensidad de uso dentro de la REEP basada en la cacería cinegética, principal actividad dentro del área. Esta, representa la frecuencia de visita de los sitios para llevar a cabo dicha actividad conforme a lo mencionado por los guías de cazadores.

Podemos observar que el centro más cercano a la línea de costa de la reserva es el que presenta una intensidad de uso muy alta. También se presentan resultados con una alta intensidad de uso en el lado oeste de la zona, teniendo los valores más bajos cerca de la localidad de Sisal, a pesar de su fácil acceso. Cabe mencionar que este análisis se limita a 1.7 km en dirección tierra dentro desde la costa, debido a que para dicha actividad es la distancia promedio de recorrido que reportaron los cazadores.

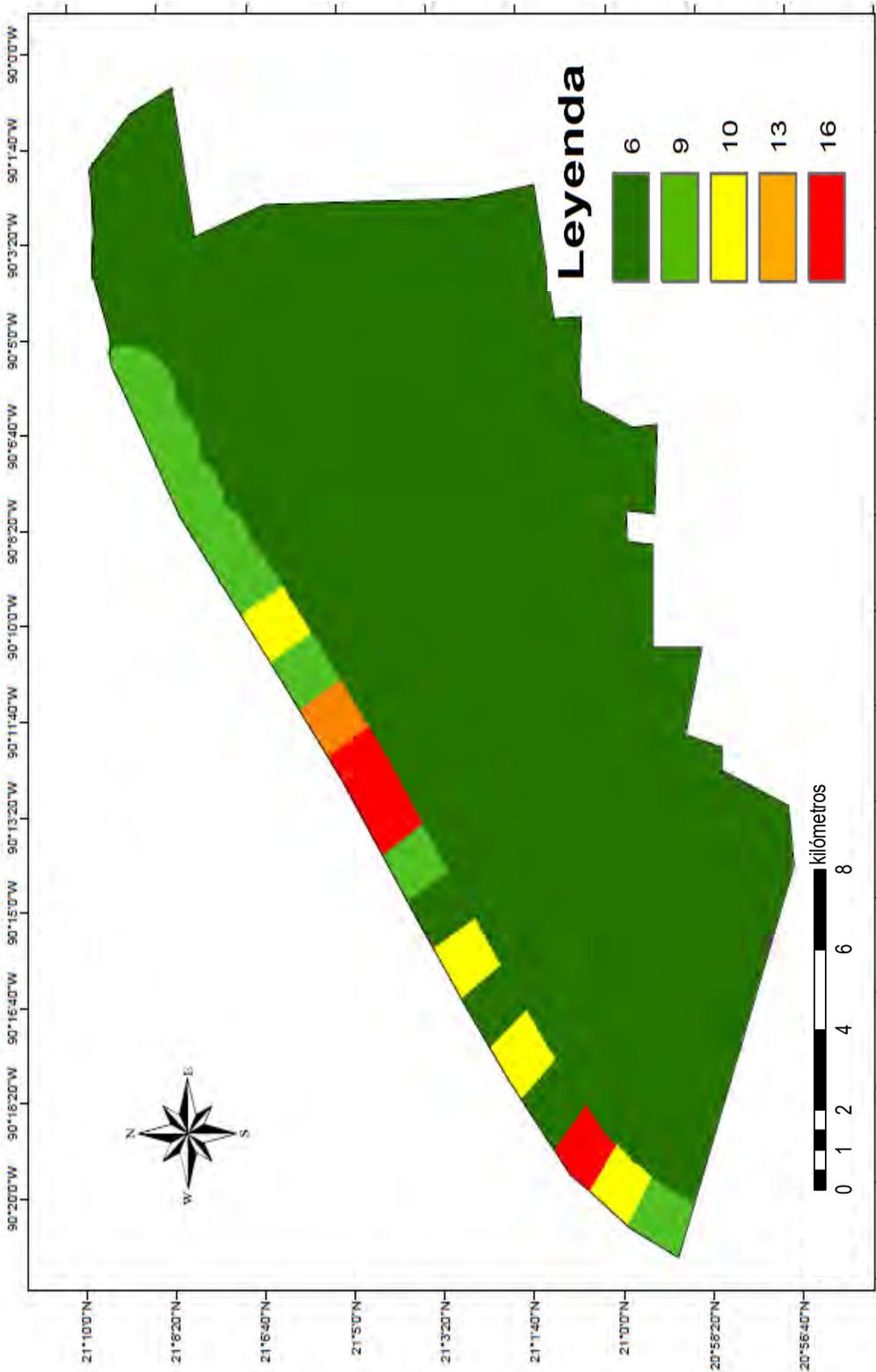


Figura 12. Mapa de intensidad de uso de acuerdo a la frecuencia de visitas en cada uno de los sitios designados para la cacería cinegética dentro de la REEP.

En la Tabla 4 se muestran los valores asignados a una escala común para cada una de las capas utilizadas para este trabajo (tipo de hábitat, conectividad, índice de forma e intensidad de uso) y su ponderación con la cual se generó el mapa de sitios prioritarios de atención. Las columnas en la tabla están conformadas por las categorías y valores obtenidos en los diferentes análisis para cada una de ellas.

Tabla 4. Reclasificación de cada una de las capas de acuerdo a sus características y a los resultados obtenidos en los análisis y ponderación de cada una de ellas de acuerdo a su función e importancia dentro de la REEP.

Peso	40%	15%	30%	15%
Valor	Tipo hábitat	Intensidad de uso	Conectividad	Índice de forma
1 (muy baja prioridad)	Áreas sin vegetación	6	1232.17-3781.69	11.64-25.68
2 (baja prioridad)	Áreas inundadas	9	480.38-1232.16	4.01-11.63
3 (media prioridad)	Otra vegetación	10	205.79-480.37	1.83-4.0
4 (alta prioridad)	Selva baja	13	68.41-205.78	1.53-1.82
5 (muy alta prioridad)	Manglar	16	6.71-68.40	1-1.52

En la Figura 13 se puede observar que los sitios con una muy alta prioridad de conservación se encuentran en la parte central cerca de la zona costera de la reserva, sitios que son los más frecuentados en la actividad cinegética, con un alto grado de conectividad y un alto índice de forma además de presentar un hábitat clasificado como muy importante. Hay regiones dentro de la REEP en distintos tipos de hábitat que de acuerdo a sus características obtienen un valor alto de prioridad.

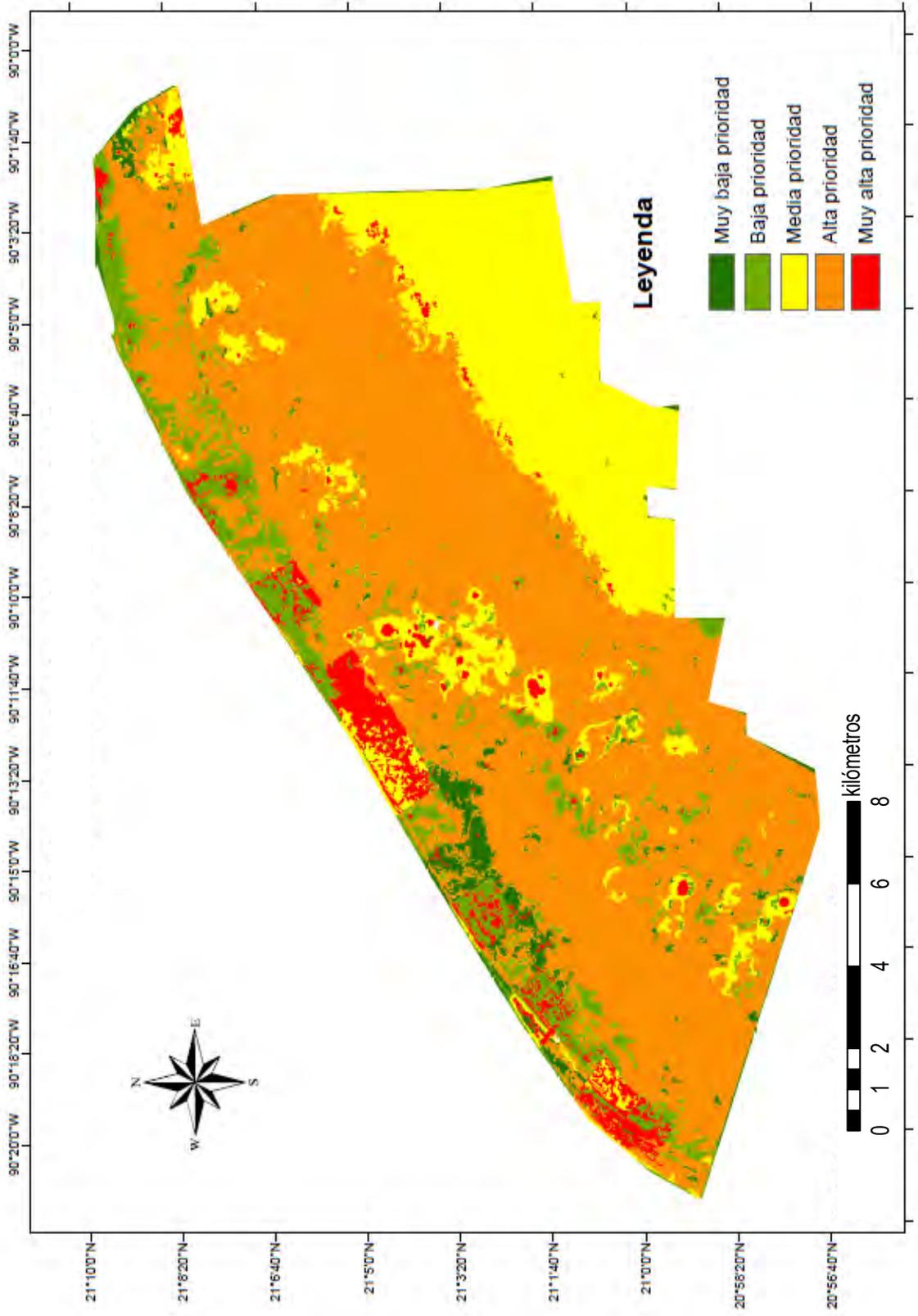


Figura 13. Sitios prioritarios de atención dentro de la REEP de acuerdo a los elementos del paisaje analizados e intensidad de uso antropogénico.

En la Figura 14 se observa el porcentaje del área que abarca cada una de las categorías de acuerdo al nivel de prioridad de las características del paisaje evaluadas. Visualmente es claro que del total de la REEP el 86% corresponde a áreas con prioridad alta, seguida por sitios con prioridad media con solo el 10 % del área y por último sitios con muy alta, baja y muy baja prioridad contribuyen con el 4% del total del área.

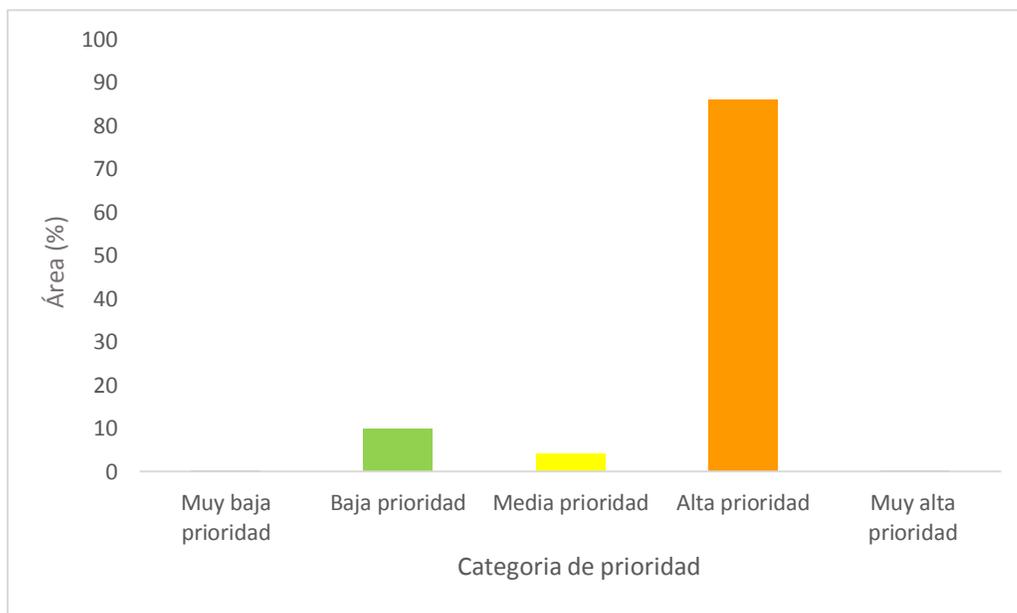


Figura 14. Porcentaje del área total de la REEP asignado a distintos niveles de prioridad de acuerdo al análisis de superposición ponderada.

En las Figuras 15, 16, 17 y 18 podemos observar la frecuencia de los pixeles de cada una de las capas generadas para el análisis de superposición ponderada (tipo de hábitat, conectividad, índice de forma e intensidad de uso antropogénico) de acuerdo al nivel de prioridad obtenido del análisis de superposición. Estas figuras muestran la manera en que se complementan las distintas capas para establecer una prioridad determinada a cada área a partir del análisis realizado. Es evidente que no siempre las características consideradas como de mayor

importancia (ej. hábitat de manglar en la tabla 4) obtiene la mayor prioridad, pues esto dependerá de las características de las otras capas y la ponderación asignada.

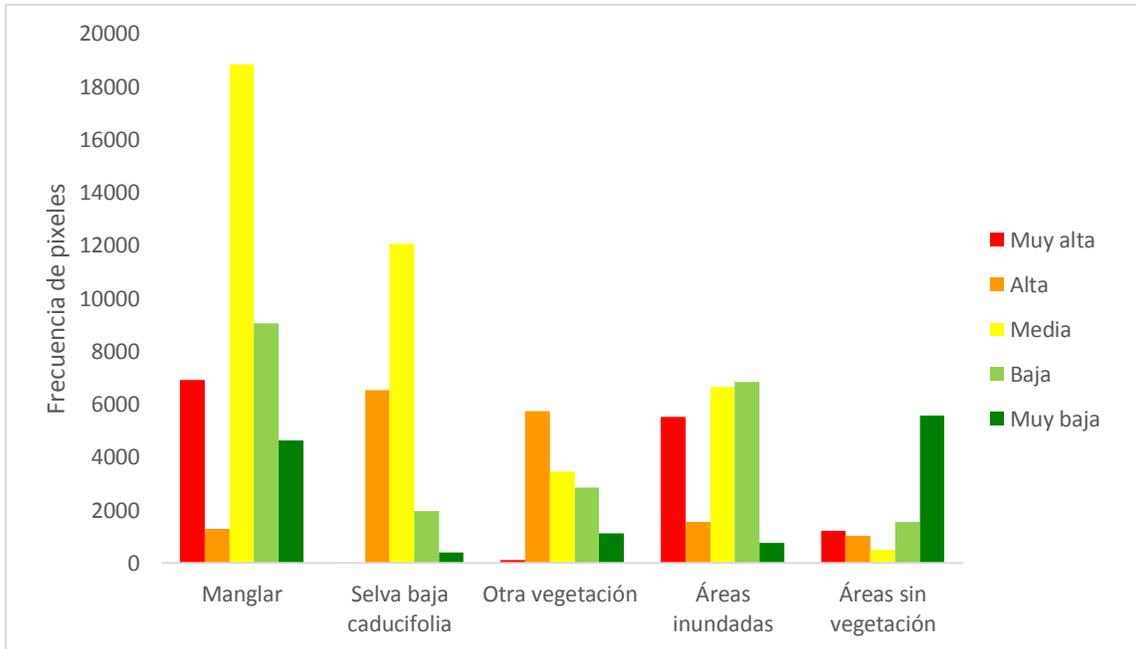


Figura 15. Frecuencia de pixeles de los cinco tipos de hábitats identificados dentro de la REEP de acuerdo el grado de prioridad de conservación.

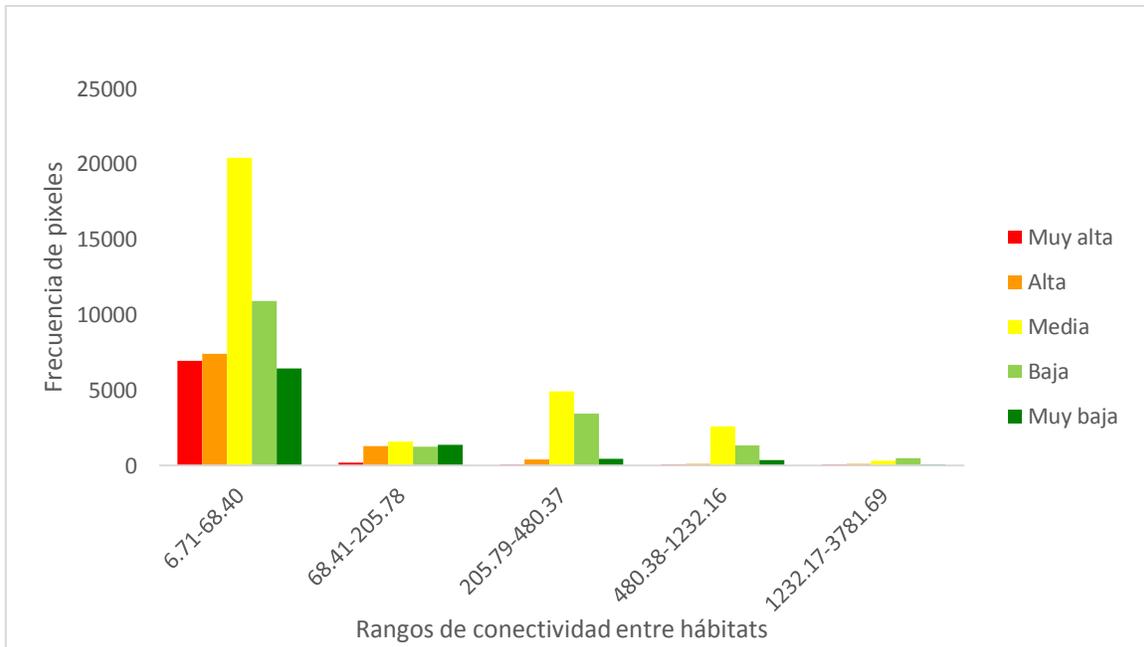


Figura 16. Frecuencia de los pixeles de acuerdo al grado de conectividad entre los parches de la misma clase con respecto la categoría de prioridad para su conservación.

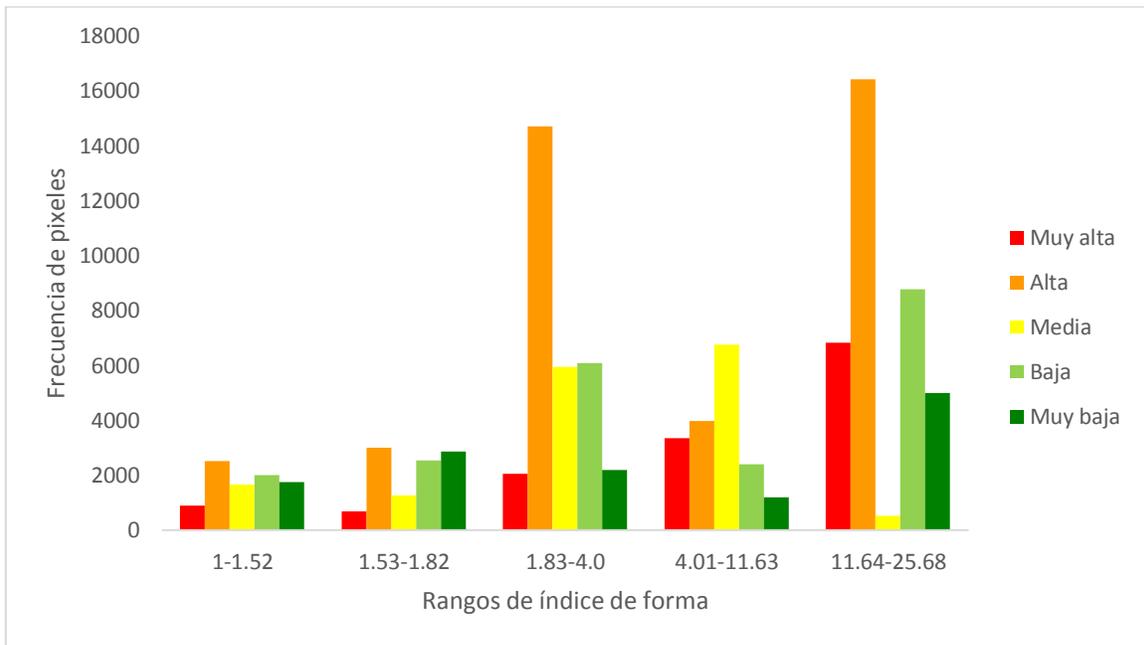


Figura 17. Frecuencia de los pixeles con base en el índice de forma de los parches de tipo de hábitat de acuerdo al nivel de prioridad de conservación.

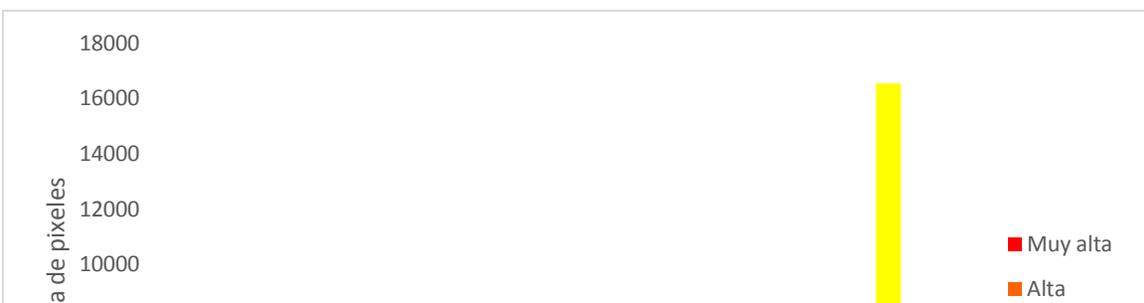


Figura 18. Frecuencia de pixeles con respecto a la frecuencia de mención de los sitios designados para la cacería cinegética con base en su grado de prioridad de conservación.

A partir del análisis realizado se propone una zonificación sistemática de la REEP (Figura 19). Se han seleccionado sitios prioritarios (zonas núcleo) más pequeños pero con los elementos y características necesarias para tener un alta representatividad de todos los hábitats y complementariedad lo cual permite cuadyuvar a su conservación a un largo plazo.

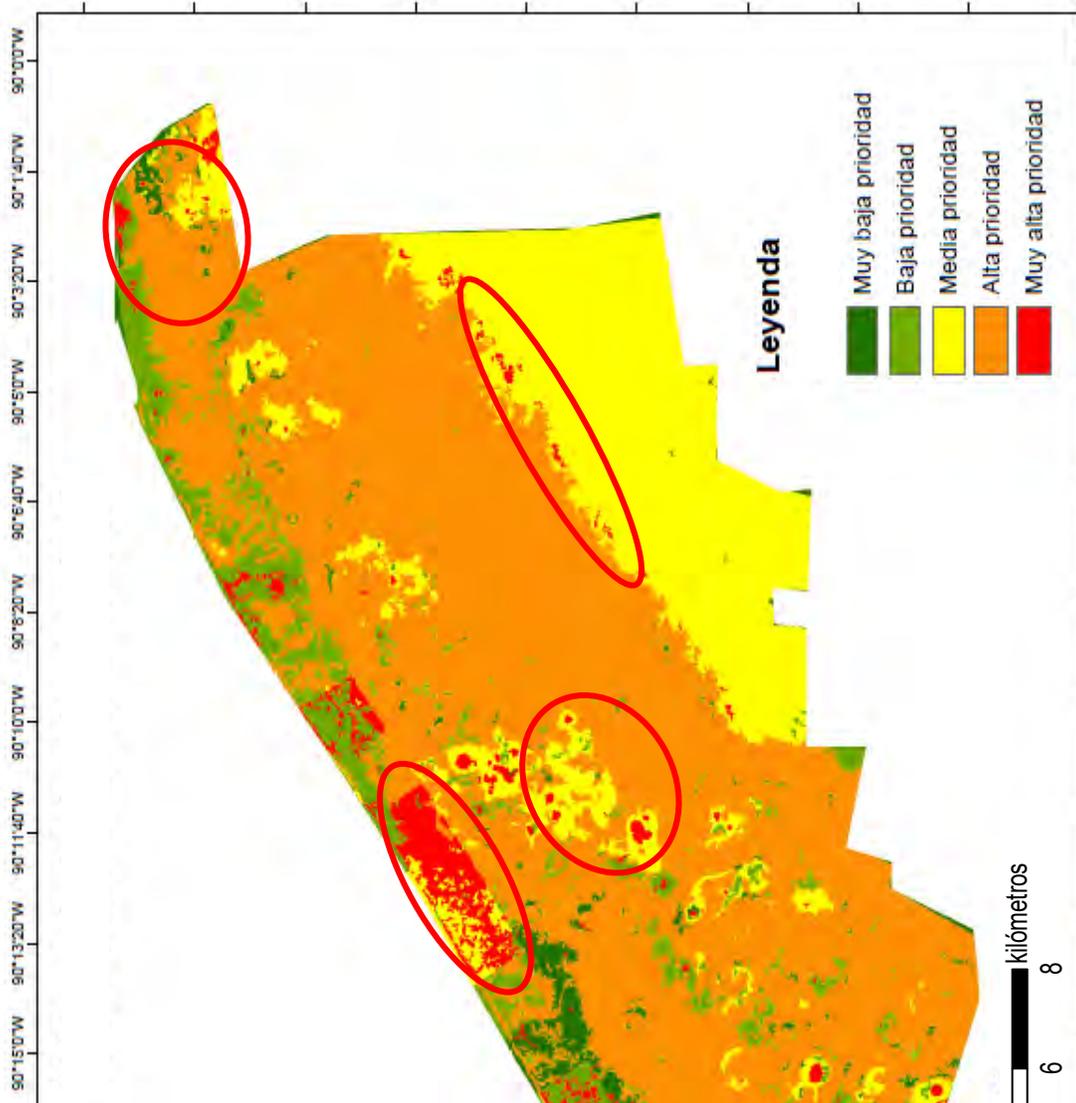


Figura 19. Propuesta de selección de zonas núcleo dentro de la REEP.

Discusión

Varios ecosistemas requieren protección debido a que se ven amenazados por el humano, lo que amenaza su estructura o funcionamiento. Debido a lo dicho anteriormente se ha optado por generar estrategias para conservar sitios o especies esenciales, por ello diversos grupos sociales y entidades gubernamentales han generado estrategias para protegerlos.

A pesar de dichos esfuerzos es difícil alcanzar los principales objetivos de conservación deseados, ya que es necesario un trabajo multidisciplinario en el que se aborden las problemáticas de las áreas desde diferentes perspectivas, tomando en cuenta el abanico de posibilidades positivas y negativas dentro de las áreas.

Tal es el caso de la REEP, que además de contar con zonas exclusivas para la conservación, cuenta con una UMA para el aprovechamiento de aves acuáticas migratorias. Esta UMA trae importantes beneficios económicos a la población de Sisal con la actividad de caza cinegética que se lleva a cabo dentro del área. Sin

embargo este beneficio es muy reducido ya que está dirigido únicamente a los guías de cazadores de patos, además que el consumo de productos y servicios por parte de los cazadores dentro del puerto es mínimo según los pobladores. De igual manera es necesario poner en la balanza los impactos (negativos y positivos) de la actividad, ya que si bien trae beneficios económicos, los daños ambientales están siendo visibles al reducir las poblaciones de patos y alejarlas más cada año según los comentarios realizados por los guías de cazadores entrevistados, lo que implica un mayor gasto para llegar a las presas.

Debido a los comentarios realizados por parte de los guías entrevistados es necesario cuestionarse si el establecimiento de la UMA dentro de la reserva es compatible con otras posibles actividades (ej. aviturismo, recorridos ecológicos, fotografía de naturaleza, etc.), esto va de la mano con la metodología utilizada para realizar la zonificación y designación de la UMA dentro de la REEP.

Es importante mencionar que para que las zonificaciones y los procesos de designación de las ANP cumplan con sus objetivos tienen que realizarse de una manera óptima, con un amplio conocimiento del espacio y sus características. Sin embargo, la ausencia de datos sobre las zonas de interés, de recursos económicos y de personal capacitado, dificulta su cumplimiento. Todo proceso de zonificación y designación es único, esto va a depender de los objetivos que persigue la asignación de las áreas de protección, ya sea proteger especies, hábitats, servicios eco sistémicos, culturales, entre otros; lo anterior con la finalidad de regular las áreas de acuerdo a los objetivos que se persiguen.

Para la propuesta de zonificación desarrollada para la REEP se analizaron elementos del paisaje tales como el tipo de hábitat, la conectividad, el índice de forma e intensidad de uso antropogénico. Con estos elementos finalmente se logró hacer un análisis de superposición en el que se pueden seleccionar las zonas prioritarias de conservación de acuerdo a éstas características del paisaje (Margules & Pressey, 2000).

En el análisis de superposición se asignaron los valores de ponderación de acuerdo al grado de importancia de acuerdo a las características y funciones

dentro de la reserva. A la capa de tipo de hábitat se le asignó el mayor peso (40%) ya que es la unidad que define las características de la REEP y con ello los elementos que conforman el paisaje. Además, dentro de la reserva se encuentran hábitats que son únicos para la supervivencia de especies que se encuentran amenazadas o en peligro de extinción. Sin dejar de lado que la REEP presenta hábitats clave para las poblaciones que habitan las zonas del litoral mexicano, hábitats que se encuentran en constante deterioro por las intensas actividades antropogénicas (Efrain, A. *et al.*, 2010; SEMARNAT, 2007).

Dentro de la capa de tipo de hábitat la vegetación de manglar fue la que recibió el valor con mayor importancia, principalmente porque predomina en la REEP, así como por las importantes funciones que desempeñan (la filtración de agua, circulación de nutrientes y refugio para especies de importancia comercial). Además de ser una importante zona de transición entre los ecosistemas terrestres y marinos, sin dejar de lado que salvaguarda a las poblaciones costeras ante los huracanes, tormentas tropicales y aumentos en el nivel de mar. Por otro lado de acuerdo con Margules & Pressey (2000) en términos de protección y conservación los humedales son zonas que se olvidan en la legislación mexicana, ya que se encuentran muy pocas leyes y normas que protejan de manera directa o indirecta los elementos de estos ecosistemas (ej. LGBN, LGEEPA, LGVS, CPF, NOM-O22-SEMARNAT-2003, NOM-059-SEMARNAT-2010 y NOM-061-SEMARNAT-1994).

Seguido del hábitat conformado por el manglar se encuentra la selva baja caducifolia, este ecosistema presenta una amplia distribución en México, además de una alta biodiversidad. De igual manera este hábitat tienen un gran interés relacionado con el aprovechamiento de los recursos naturales y por esta misma razón se encuentran vulnerables ante los cambios antropogénicos.

Además, en la REEP abarca un área importante y estratégica, debido a que es la zona que ha sufrido importantes modificaciones y un mayor impacto antropogénico al tener contacto directo con la carretera que conecta la ciudad de Hunucmá y la comisaria de Sisal, ocasionando la fragmentación del hábitat y continuas

modificaciones debido al tránsito continuo de vehículos, lo cual impide o dificulta el flujo de especies (Moreno, J., 2013).

La capa llamada Otra vegetación (que presenta principalmente vegetación de petenes, manglares y pastizales) obtuvo un valor menor, sin embargo, es importante destacar que regularmente esta vegetación se ubica rodeando los ojos de agua que se encuentran dentro de la REEP y en conjunto forman un hábitat esencial para ciertas especies, por esta razón la modificación o pérdida de este hábitat sería crítico para el equilibrio dentro de la reserva.

A la capa de Áreas inundadas también se le asignó un valor bajo. Esta zona depende principalmente de la temporalidad, no considerada en este estudio, ya que en la zona en donde se encuentra la REEP se pueden distinguir tres temporadas climáticas: secas, lluvias y nortes.

Por último, pero no menos importante, encontramos la categoría de Áreas sin vegetación, en ella se pueden distinguir extensiones de arena, e inclusive vegetación de duna costera que debido a su baja proporción aumentaron la incertidumbre en el análisis de clasificación no supervisada.

Cabe mencionar que por tener un código de asignación alto o bajo, los demás hábitats no dejan de ser importantes, ya que cada uno conforma una pieza clave dentro de la REEP y contribuyen de manera considerable a mantener las funciones ecológicas dentro de la misma, destacando que en conjunto conforman un hábitat importante como parte de un corredor biológico dentro de la península de Yucatán (Efraín, *et al.*, 2010; CONABIO, 2013).

Por otro lado la capa de conectividad recibió el 30% ya que suele ser uno de los objetos prioritarios de diagnóstico en la ecología del paisaje y contribuye de manera importante a la movilidad de las especies proporcionando un amplio marco en estudios de funcionalidad de hábitats (Bernal & Bryan, 2008). Además, la conectividad entre hábitats es un elemento relevante en la ordenación y planificación del territorio ya que también analiza las implicaciones de las intervenciones humanas en la estructura ecológica, como es la carretera en el

caso de la REEP (Correa, C. 2009). Es claro que en general los ecosistemas dentro de la REEP presentan una alta conectividad entre sí, lo cual nos puede dar evidencias sobre la salud y estado de conservación de la reserva, permitiendo el flujo continuo de especies entre los hábitats.

El índice de forma o la compactación de los parches que conforman un ecosistema es importante a considerar como una medida para inferir en su resiliencia, considerando que los parches con un alto grado de compactación tienden a presentar mejores condiciones de salud (Bogaert, 2000). Sin embargo, algunos hábitats presentan naturalmente parches poco compactos, lo cual no necesariamente indica que sean más vulnerables. Esta área del conocimiento necesita más estudios, considerando su variación en el tiempo y la capacidad de mantener sus características biológicas.

Por lo mencionado anteriormente a esta capa se le asignó el 15%, siendo los resultados más cercanos a 0 a los que se les asignaron valores más altos ya que son los que se encuentran más compactos y por lo tanto presentan una forma con menor fragmentación. Por otro lado los parches con resultados más altos son los que presentan hábitats menos compactos.

De acuerdo a lo mencionado por Philips & Navarrete (2009) la conectividad y el índice de forma están estrechamente relacionados ya que el hecho de que parches de los mismos hábitats se encuentren aislados, se traduce en la fragmentación de hábitats antiguamente conectados, dificultando el flujo de materia y energía, así como la distribución espacial de los individuos dentro de la REEP, además de generar cambios importantes en la composición del paisaje (ej. La modificación de flujos hídricos, filtración de materia orgánica, aportación de alimento para las especies, entre otros). Lo cual puede verse reflejado en el desequilibrio del ecosistema y como resultado la pérdida de especies y hábitats completos.

Para este análisis, la capa de intensidad de uso antropogénico se asoció a la principal actividad analizada, la cacería cinegética, por lo tanto recibió un valor de 15%, la cual tiene fuertes lazos con el del tipo de hábitat, la conectividad entre los mismos y su nivel de perturbación, así como la fragmentación entre estos. Las zonas que tienen mayor intensidad y frecuencia de uso son las que presentan las mejores condiciones para resguardar a las especies de aves migratorias que se albergan temporalmente en la REEP.

Sin embargo, otras actividades esporádicas dentro de la reserva son el avistamiento de aves, recorridos ecológicos, paseos familiares a los ojos de agua, liberación de tortugas, por mencionar algunas. Desafortunadamente, no se tiene un registro de la frecuencia e intensidad de estas actividades, ya que la dirección de la reserva no las documenta y se desconoce las áreas preferentemente usadas para poder ser incorporadas en esta capa.

En el puerto de Sisal se han fomentado proyectos de ecoturismo dentro de la reserva, esto con la finalidad de promover el uso y aprovechamiento de los recursos naturales de una manera sustentable y promover el desarrollo social de la comunidad. No obstante la cacería cinegética que se promueve dentro de la reserva no es compatible con las actividades mencionadas anteriormente, lo cual dificulta la consolidación de dichos proyectos, frenando así el progreso de estas actividades.

Lo mencionado anteriormente es una muestra clara de que la falta de herramientas e información para zonificar las ANP, así como la ausencia de personal suficiente para hacer cumplir con los objetivos de las mismas y los vacíos en la legislación mexicana, obstaculizan el cumplimiento de las metas establecidas para la conservación y preservación de los recursos naturales. Esto va de la mano con una serie de problemas sociales debido a los usos realizados por los pobladores antes de su designación como zona de protección, ya que estos generan un sentido de pertenencia sobre los recursos, dificultando el manejo

adecuado de los mismos. Es importante mencionar que el uso que los pobladores hacen de los recursos no siempre es inadecuado ya que se ha visto que el conocimiento local es una pieza clave para el buen funcionamiento de las ANP según la experiencia de las instituciones que persiguen objetivos de conservación como la CONANP.

Al ser México un país comprometido con convenios de conservación a nivel internacional y ante la necesidad de generar áreas para cumplir con dichas metas es necesario desarrollar herramientas que faciliten la generación y planeación de las áreas protegidas, ya que si no se cuenta con la información necesaria para tomar estas decisiones podemos obtener una conservación ambigua e inconsistente, quedando únicamente como áreas establecidas legalmente, sin un manejo eficaz que garantice el cumplimiento de los objetivos deseados.

Durante las últimas dos décadas muchas de las aproximaciones para la protección de hábitats se encuentran encaminadas hacia la definición de estrategias de conservación con una visión de manejo integral de extensos territorios, esto debido a que se ha comprobado que muchos procesos ecológicos operan a grandes escalas espacio-temporales. Por ello es importante fomentar la utilización de herramientas como los SIG, sensores remotos y la planificación sistemática como base para la adecuada designación de áreas bajo protección, con la finalidad de salvaguardar áreas con mayor extensión las cuales pueden ser parte de importantes corredores biológicos, permitiendo el tránsito de especies y la conexión de hábitats.

Para México, las herramientas de planificación de ANP son limitadas, por ello es importante reflexionar sobre los métodos de planificación de las áreas protegidas en el futuro, ya que estas deberán tender a una planificación sistemática, siendo procesos más integrales que permitan el manejo efectivo de las áreas reduciendo así la pérdida de biodiversidad.

Una de las medidas esenciales dentro de las ANP para su administración es la zonificación ya que esta facilita su manejo, debido a que suele ser imposible establecer restricción total dentro del área, así que se tienen que subdividir las zonas con la finalidad de preservar los ecosistemas y fomentar el uso sustentable de los recursos. Pero es importante destacar que en muchos de los casos en donde se designan áreas de protección se ignora la realidad social que realmente aquejan a estas zonas, dificultando el trabajo conjunto con las poblaciones (Brenner, L. 2010).

Siendo la zonificación una herramienta diseñada para cumplir con la representatividad y persistencia de los hábitats a lo largo del tiempo, es claramente visible que con la zonificación actual de la reserva no se cumple ninguno de los objetivos, ya que únicamente tiene designado como zona núcleo el hábitat de manglar y selva baja caducifolia, dejando con un grado de protección menor a los otros hábitats que conforman la reserva, siendo que también se encuentran zonas inundadas, suelo desnudo y vegetación de dunas costeras. Por otro lado, las zonas núcleo de la zonificación actual abarcan gran parte de la reserva, incluyendo una porción importante del ecosistema de manglar y su totalidad de la selva baja caducifolia. De igual manera las áreas de amortiguamiento, uso público y uso restringido se encuentran en grandes proporciones a lo largo de la reserva, dificultando su manejo y la representatividad de los hábitats (Figura 3.)

En dicha zonificación se puede observar la limitada información para seleccionar zonas prioritarias para la conservación y persistencia de los recursos. Esto se ve reflejado en el tamaño de las subzonas dentro del área, ya que es evidente que debido al gran tamaño de la zona núcleo se dificulta su vigilancia y monitoreo dentro de la misma, lo que se traduce en un manejo inadecuado de esta área.

Como podemos ver en la propuesta resultante de este trabajo, los sitios designados como zonas núcleo se sugieren más pequeños pero con los elementos y características necesarias para tener una alta representatividad de los hábitats presentes en la región. Como resultado se facilitaría su conservación a

largo plazo al mantener en un esquema “alto” de protección a las funciones ecológicas que permiten su persistencia. De igual manera, al tener zonas núcleo más pequeñas, hace que su protección sea más eficiente pues se disminuye el área que tiene en principio un alto nivel de restricciones, ya que la REEP cuenta únicamente con un guardaparque y con poco equipo para la vigilancia y monitoreo.

Las ventajas que ofrece la propuesta de zonificación realizadas en este trabajo son el manejo eficiente de las diferentes áreas dentro de la reserva, asegurando el cumplimiento de los objetivos para cada una de ellas. Así mismo, la propuesta es versátil, ya que de ser necesario y si se proporciona mayor número de datos (capas), se puede generar una propuesta más completa que facilite la toma de decisiones enfocadas al manejo de la REEP.

Sin embargo, más allá de las herramientas y técnicas para definir y establecer los polígonos de las ANP y de las zonificaciones, es necesario centrar la atención en modificar y adecuar dichas propuestas con base en las necesidades y condiciones reales del lugar. Es decir, si se incluyen a todos los actores involucrados en este proceso, con la finalidad de equilibrar los beneficios y asegurar la aceptación de los lineamientos establecidos dentro del área, se garantiza así el cumplimiento de los objetivos de conservación. En este sentido, es claro que el diseño y establecimiento de las ANP envuelve un contexto ambiental, político y social, de acuerdo a esto la definición de estos espacios dependerá del reconocimiento y adecuado manejo de estos elementos.

Conclusiones

Es necesario considerar la planificación sistemática como una herramienta básica para la designación de nuevas áreas, esto con el fin de consolidar logros hacia el manejo integral de los recursos del país y a su vez fomentar el desarrollo social. Sin embargo, se tienen que considerar los desafíos asociados a este cambio en la planeación y establecimiento de dichas áreas ya que muchos de los espacios que

tentativamente podrían ser designados como áreas de protección se encuentran sometidos a múltiples fuentes de presión, haciendo que estas áreas se queden únicamente en su establecimiento legal ya que en ellas nunca se implementan acciones efectivas de manejo. Por ello, los métodos de conservación que aseguren la persistencia de la biodiversidad, generando el menor costo posible y manteniendo la conexión entre ecosistemas, son más que necesarios.

Como se puede ver en este trabajo el uso de SIG y sensores remotos para la generación de mapas, que permitan visualizar elementos clave dentro de los ecosistemas deseados es muy útil, ya que se pueden analizar áreas extensas en menos tiempo y con un menor costo. Además, una de las ventajas de la utilización de esta herramienta es la facilidad de interpretación de los resultados, proporcionando una amplia gama de información que permita ordenar el territorio y designar zonas prioritarias de conservación.

De acuerdo a la propuesta de zonificación que se realizó en este trabajo los sitios seleccionados con un alto grado de prioridad para la conservación son aquellos que presentan mejores condiciones en los elementos del paisaje evaluados, lo que se traduce en un conjunto de elementos con buenas condiciones en áreas más pequeñas. Esto a su vez nos lleva a la conclusión de que no es necesario designar áreas prioritarias de conservación de gran tamaño, como lo son las zonas núcleo; si no áreas con los elementos y características del paisaje necesarias para mantener el equilibrio dentro de la reserva y garantizar así su buen funcionamiento.

Las subzonas que se encuentran dentro del área de amortiguamiento son de gran importancia, ya que son las más vulnerables por que en ellas se llevan a cabo las principales actividades de aprovechamiento de recursos y de recreación, debido a su fácil acceso. Por ello es de gran importancia designar estas áreas como sitios prioritarios de conservación y así mantener la integridad de los ecosistemas dentro de la REEP.

Las ANP tienen que contar con un método de planificación que contengan las características y elementos necesarios para poder garantizar los objetivos de dichas áreas, lo cual a su vez incrementa la necesidad por mejorar las técnicas

para dichos procesos, tales como la priorización sistemática, la cual garantiza la conservación y manejo de los hábitats con un enfoque más cercano a la realidad.

A pesar de los avances en cuanto a políticas de conservación y fomento hacia una cultura integral con el ambiente, los esfuerzos para la conservación siguen siendo escasos para los compromisos que tiene México a nivel internacional. Esto se debe a que la planeación de dichas acciones no se encuentra sustentada por los elementos necesarios para su desarrollo, además de la falta de cumplimiento a todos los niveles de las reformas y leyes establecidas que respaldan estas acciones. Por ello, hoy en día es necesario desarrollar herramientas e información que faciliten y promuevan acciones de manejo sustentable y conservación de hábitats.

Actualmente es fundamental que la designación de espacios con algún grado de protección se realice desde una perspectiva regional, y así garantizar la conservación de la biodiversidad en sus diferentes niveles, para ello la utilización de SIG y de la planificación sistemática, son instrumentos fundamentales en la gestión ambiental, ya que facilitaran la toma de decisiones y la proyección de espacios destinados a la conservación del patrimonio natural.

Finalmente, la estabilidad y funcionamiento de las áreas de protección dentro del territorio mexicano dependen de la conservación de todos los elementos, tanto ambientales, socio-culturales y paisajísticos, ya que todos ellos necesariamente tiene que contemplarse de manera conjunta y no como elementos aislados para el manejo y éxito de las mismas.

Anexos

Anexo 1. Encuesta semi-estructurada realizada a los guías de cazadores de patos para medir la intensidad de uso antropogénico dentro de la REEP.



Universidad Nacional Autónoma de México.

Manejo Sustentable de Zonas Costeras.

Objetivo: conocer la frecuencia, uso e intensidad de las actividades que se llevan a cabo dentro de la Reserva Estatal El palmar en Sisal, Yucatán para diseñar mejores estrategias de manejo.

Dirigido: Guías de cazadores de patos y prestadores de servicios ecoturísticos.

Criterios de selección: (1) realizar actividades dentro de la Reserva Estatal El palmar.

Edad del encuestado: _____

Actividad que realiza:

- a) Guía de cazadores de patos
- b) Prestador de servicios ecoturísticos

Antigüedad en esta actividad: _____

1. ¿Tiempo dedicado a dicha actividad a la semana?

2. ¿Mencione las tres principales actividades que realiza para generar ganancias económicas?
 - a) Pesca
 - b) Negocio propio
 - c) Otro: _____

3. ¿Cuáles son los puntos que más frecuenta durante la temporada de cacería de patos o viajes ecoturísticos? (Indicarlos en el mapa)

4. ¿Con que frecuencia realiza esta actividad?

5. ¿Qué distancia aproximadamente recorre en cada viaje?

Si es usted guía de cazadores

6. ¿Cuántos organismos captura por viaje?
¿Por temporada? _____



7. ¿Cuáles son las principales especies que busca?
- a) Cerceta las azules (*Anas discors*)
 - b) Gallereta (*Fulica americana*)
 - c) Pato golondrino (*Anas acuta*)

Si usted es prestador de servicios ecoturísticos

8. ¿Cuáles son las principales actividades que realiza?
- a) Caminatas
 - b) Paseos con bici
 - c) Otro: _____

9. De las actividades que mencionaste anteriormente ¿Con que frecuencia realizas cada uno?

Observaciones:

Bibliografía

- Agraz, H. C., Noriega, T., Rodolfo, L., Jiménez, Z., Francisco, V., & José, J. (2006). "*Identificación de los manglares en México*", Campeche: Universidad Autónoma de Campeche.
- Alongi, D. M. (2001). "*Present state and future of the world's mangrove forests.*" Environmental Conservation.
- Barrera, E. (2016). " Distribución espacio-temporal de la cobertura de bosque de manglar en la reserva estatal El Palmar y área adyacente sin esquema de protección.", Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Barrera, E. (2012). "*Caracterización y mapeo de habitat bentónicos en Bahía Magdalena, B.C.S mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) y sensores remotos*", Universidad Nacional Autónoma, Sisal, Yucatán.
- Ben, G., Rioja, N. R., MacNeil, A. M., Lupton, J., Rahbek, C., (2013). "*Comparing diversity data collected using a protocol designed for volunteers with results from a professional alternative*", Methods in Ecology and Evolution, Vol. 4, p. 383-392.
- Bezaury, E. Juan. (2009). "*El valor de los bienes y servicios que las áreas naturales protegidas proveen a los mexicanos*", The Nature Conservancy, México.
- Bogaert, J; Rousseau, R; Van Hecke, P & Impens, I. (2000). "*Alternative area-perimeter ratios for measurement of 2D shape compactness of habitats.*" Applied Mathematics and Computation 111: 71-85.
- Brenner, Ludger. (2010). "*Gobernanza ambiental, actores sociales y conflictos en las Áreas Naturales Protegidas mexicanas*", Revista Mexicana de Sociología, Vol. 72, No 2, México.
- Caro, J; Delibes, M. M. & Arroyo, B. (2014). "*La gestión cinegética y la conservación de especies.*", Instituto de Investigación de Recursos Cinegéticos, Ambienta, No.108, p.68-79, México.
- Carrillo, J. (s.f). "*El marco legal e institucional aplicable a la gestión de humedales y ecosistemas acuáticos en México.*", Centro Mexicano de Derecho Ambiental, México.
- CONABIO. (2008). "*Manglares de México.*", Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, Distrito Federal.
- CONABIO (2013). "*Manglares de México: Extensión, distribución y monitoreo*", 1ª ed, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- CONANP (2015). "*Áreas protegidas decretadas*" , Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México.
- Ramsar (2016). "La convención de Ramsar". Consultado en línea en <http://www.ramsar.org/es> (20/07/2016)

- Correa, C. (2009). *“Análisis del estado actual de la conectividad de las coberturas vegetales de la cuenca media del río Tunjuelo”*, Colombia, Bogotá.
- Del Aguila, S.D. (2008), *“Zonificación ambiental para el ordenamiento territorial de la subcuenca bimunicipal del río Aguas Calientes, Nicaragua.”*, Programa de educación para el desarrollo y la conservación escuela de posgrado, Costa Rica.
- Echeverría, G. (2003), *“Ficha informativa de los humedales de Ramsar. FIR.”*, Áreas Naturales Protegidas de la Secretaría de Ecología del Estado de Yucatán, Yucatán, México.
- Efrain, L; Alonso, P; Andrade, H; Alonzo-Parra, M. Andrade-Hernández, D. Castillo-Tzab, J. Chablé-Santo, R. Durán, C. Espadas-Manrique, I. Fernández-Stohanzlova, J. Fraga, E. Galicia, J.A. González-Iturbe, J. Herrera-Silveira, J. Sosa-Escalante, G.J. Villalobos-Zapata, y F. Tun-Dzul, (2010). *“Plan de Conservación de la Eco-región Petenes-Celestún-Palmar”*. Universidad Autónoma de Campeche. Pronatura Península de Yucatán. A.C., p-184, México, Yucatán.
- EUROPARC-España. (2009), *“Conectividad Ecológica y Áreas Protegidas. Herramientas y Casos Practicos.”*, FUNGOBE, España, Madrid.
- ERDAS. (2012), *“Manual de practicas de percepción remota. Parte 1.”*, Bogotá.
- Fragstats. (2015), *“Help Contents”*, University of Massachusetts.
- Ferrier, S., (2002). *“Mapping Spatial Pattern in Biodiversity for Regional Conservation Planning: Where to from Here?”*, Systematic Biology, Australia.
- Gilman, Eric., Van Lavieren, Hanneke., Ellison, Joanna., Jungblut, Vainuupo., Areki, Francis., Brighthouse, Genevieve., Bungitak, John., Dus, Eunice., Henry, Marion., Kilman, Mandes., Matthews, Elizabeth., Sauni, Jr. Ierupaala., Teariki-RuatuNenenteiti., Tukia, Sione. & Kathy Yuknavage. (2006). *“Pacific Island Mangroves in a Changing Climate and Rising Sea”*, UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 179. United Nations Environment Programme, Regional Seas Programme, Nairobi, Kenya.
- Giri, C., Ochieng, E., L. L. Tieszen., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J. & Duke, N. (2011). *“Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data”*, Global Ecology and Biogeography, USA.
- González, R., Villareal, D. & Monica , G. (2012). *“Evaluación de la efectividadde la Reserva Parque Luro como herraminetas de conservación del Caldenal pampeano: cambios en la cobertura vegetal a nivel de paisaje entre 1960 y 2004”*, Asociación Argentina de Ecología, Ecología Austral, Argentina.
- Hayri Esbah y, Bulent Deniz, Baris Kara, Birsen Kesgin. (2009). *“Analyzing landscape changes in the Bafa Lake Nature Park of Turkey using remote sensing and landscap estructure metrics”*, Environ Monit Assess, Aydin, Turkey.

- Hernández, I. U., Ellis, E. A., Gallo, C.A. (2013). *“Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz”*, GeoFocus, No 13, p. 1-24.
- Koleff, P. & Urquiza-Haas, T. (coords.). (2011). *“Planeación para la conservación de la biodiversidad terrestre en México: retos en un país megadiverso.”*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad–Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México
- Leverington, F., Lemos C. K., Courrau, J., Pavese, H., Nolte, C., Marr, M., Coad, L., Burgess, N., Bomhard, B., & Hockings, M. (2010). *“Management effectiveness evaluation in protected areas – a global study”*, 2a ed, The University of Queensland, Australia.
- Lima, T.C; Teixeira, D.A; Herculano, R.N. & Nogueira, S.M.A. (2010). *“El uso de SIG en la zonificación de las áreas protegidas –APA-ITAÚNA/BRASIL- Un caso de estudio.”*, Tecnologías de la información Geográfica: La información Geográfica al servicio de los ciudadanos, p.889-904, Sevilla.
- López & Ezcurra. (2002). *“Los manglares de México: una revisión”*. Madera y Bosques. No. especial: 27:51, pp. 50, México.
- Lugo, E & Snedaker, S. (1974). *“The ecology of mangroves”*, Annual Review of Ecology and Systematics.
- Malcolm, H.A., Foulsham, E., Pressey, R.L., Jordan, A., Davies P.L., Ingleton, T., Johnstone N., Hessey, S & Smith S.D. (2011) *“Selecting zones in a marine park: Early systematic planning improves cost-efficiency; combining habitat and biotic data improves effectiveness”*, Ocean & Coastal Management, Australia.
- Mallen, I., Newing, H., Porter, L., Pritchard, D., García, E., Mendez, M. E., Sanchez, M. C., De la Peña, A., & Reyes, V. (2013). *“Cognisance, participation and protected areas in the Yucatan Peninsula”*, Environmental Conservation.
- Margules, C.R. & Pressey, R.L. (2000). *“Systematic Conservation planning”*, Nature, Vol.405, p.243-253, Australia.
- Massera, C. (2012), *“Zonificación en el área protegida marino costera de la provincia de Chubut empleando Sistemas de Información Geográfica para intervenir en conflictos de uso.”*, Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG), No. 4, p. 239-264.
- Ministerios de Justicia de Colombia. (2014). *“Explotación de oro de aluvión. Evidencias a partir de percepción remota.”*, Gobierno de Colombia, Colombia.
- Moreno, J. (2013). *“Comparación de la cobertura y fragmentación del bosque de manglar entre un área natural protegida y área adyacente sin esquema de protección”*, Universidad Nacional Autónoma de México, Sisal, Yucatán.

- Naranjo, J. E; López A.J.C; Dirzo, R. (2010). *“La cacería en México”*, CONABIO, Biodiversitas, No. 91, p.6-10, México.
- Organización para la agricultura y la alimentación de las naciones unida (FAO). (2009). *“Sistemas de información geográfica, sensores remotos y mapeo para el desarrollo y la gestión de la acuicultura marina”*, Servicio de gestión y conservación de la acuicultura, Departamento de pesca y Acuicultura FAO, Roma.
- Phillips, B.J. & Navarrete, E.D. (2009). *“Análisis de fragmentación y conectividad”*, Plan de manejo ambiental, Colombia, Bogotá.
- Programa de Manejo Reserva Estatal El Palmar (PMREEP). (2006). Secretaría de Ecología del Estado de Yucatán, pp: 9-10, 51-60, México.
- Rincon, J (2006). *“Las áreas naturales protegidas de México de su origen precoz a su consolidación tardía”*, Universidad Autónoma Chapingo, Scripta Nova, Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales, Vol. X, num.218. Consultado en línea en (<http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-218-13.htm>).
- Rioja, N.R., Charles Sheppard. (2008). *“Effects of management strategies on the landscape ecology of a Marine Protected Area”*, Ocean & Coastal Management.
- Rioja, N.R; Moreno, J.A; Gómez V.J (2015). *“Efecto del manejo de un Área Natural Protegida en el paisaje del bosque de manglar en la Península de Yucatán.”*, Hidrobiologica, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, México, Distrito Federal.
- Sanjurjo, R. & Welsh, C. (2005). *“Una descripción del valor de los bienes y servicios ambientales prestados por los manglares”*, Num. 74, Gaceta Ecologica, Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- Segovia, A., Torres, A., Echeverría, J., Sosa, E. & Morales, A. (2007). *“Especies y hábitat Prioritario del Estado de Yucatán, México: Aves acuáticas migratorias.”*, Secretaría de Ecología, Gobierno del Estado de Yucatán, Yucatán.
- SEDUMA, CYCY, PPD-FMAM, CONABIO. (2010). *“Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán.”*, Yucatán, México, pp: 414-419.
- SEDUMA, (2016). *“Lineamientos internos para el ordenamiento de la actividad cenagética en la UMA Reserva Estatal El Palmar.”*, Yucatán, México.
- SEMARNAT, INE. (2007). *“Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México”*, México.
- Schowengerdt, R.A. (2007). *“Remote Sensing Models and Methods for Image Processing.”*, Elsevier, USA.

Wang, Kai., Steven E. Franklin., Xulin Guo., Yuhong He & McDermid J. Gregory. (2009). *“Problems in remote sensing of landscapes and habitats”*, Progress in Physical Geography, pp 33, Canada.

Zaldívar, J. Arturo., Herrera, S. Jorge., Teutli, H. Claudia., Comín, A. Francisco., Andrade, J. Luis., Molina, C. Carlos., & Pérez, C. Rosela. (2010). *“Conceptual Framework for Mangrove Restoration in the Yucatán Peninsula”*, Vol.3, Ecological Restoration, University of Wisconsin System, USA.

Leyes y normas

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos [Const]. (1917). Última reформа 2016.

Código Penal Federal (CPF). (2016). México, Distrito Federal.

Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos. (28 de enero de 1988). *“Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente”*. [2016]. Diario Oficial de la Federación. México.

Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos. (20 de mayo de 2004). *“Ley General de Bienes Nacionales”*. [2016]. Diario Oficial de la Federación. México.

Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos. (3 de julio de 2000). *“Ley General de Vida Silvestre”*. [2016]. Diario Oficial de la Federación. México.

Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos. (1 de diciembre de 1992). *“Ley de Aguas Nacionales”*. [2016]. Diario Oficial de la Federación. México.

SEMARNAT. (10 de abril de 2003). NOM-022-2003. *“Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zona de manglar”*. Diario Oficial de la Federación.

SEMARNAT. (30 de diciembre de 2010). NOM-059-2010. *“Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.”*, Diario Oficial de la Federación.