

USAC

TRICENTENARIA

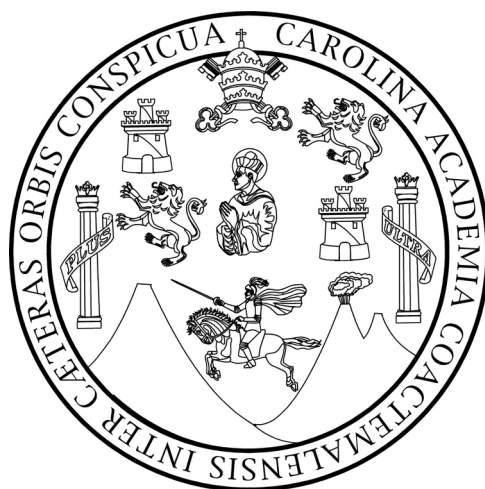
Universidad de San Carlos de Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA
PROGRAMA DE EXPERIENCIAS DOCENTES CON LA COMUNIDAD -EDC-
SUBPROGRAMA DEL EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO -EPS-

INFORME FINAL DEL INVESTIGACIÓN
REALIZADO EN
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN Y MANEJO DE ÁREAS PROTEGIDAS DEL CENTRO
DE ESTUDIOS CONSERVACIONISTAS-CECON-

DURANTE EL PERÍODO COMPRENDIDO

DEL 07 DE MARZO AL 09 DE SEPTIEMBRE DE 2016



PRESENTADO POR
MILVIA ELIZABETH ALBUREZ ORELLANA
CARNET 200210271.

ESTUDIANTE DE LA CARRERA DE
BIOLOGÍA

GUATEMALA, ABRIL DE 2,017

REF. SEGUNDO EPS. B1/2016

Contenido

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN.....	3
1 Nombre de la Investigación.....	3
2 Objetivos	3
2.1 General	3
2.2 Específicos	3
3 Marco Teórico	3
4 Justificación del trabajo	6
5 Plan de desarrollo	7
5.1 Experimental	7
5.1.1 Delimitación del Área	7
5.1.2 Escala de Trabajo y de Publicación	7
5.1.3 Obtención de imágenes.....	7
5.1.4 Información geográfica.....	8
6. Metodología	8
6.1 Caracterización y Análisis Visual del Paisaje	8
6.1.1 Caracterización.....	8
6.1.2. Análisis Visual	8
6.1.3 Categorización.....	9
6.2 ANALISIS DE FRAGMENTACION	9
6.2.1 Índice de fragmentación.....	9
6.2.2 Medición de distancias	10
6.2.3 Colindancia de parches.....	12
6.2.4 Índice de fragmentación.....	12
6.3 ANALISIS DE LA CONECTIVIDAD ESTRUCTURAL DE LA COBERTURA BOSCOA.....	12
6.3.1 Conectividad Estructural.....	12
6.3.2 Análisis de la conectividad.....	12

7	RESULTADOS	14
7.1	Clasificación de la vegetación.....	14
7.1.1	Procesamiento de la Imagen satelital.....	14
7.1.2	Clasificación de la Vegetación.....	16
7.1.3	Vegetación seleccionada para el estudio.....	16
7.2	Índice de Fragmentación	19
7.2.1	Distribución de la fragmentación	19
7.2.2	Cuantificación de la fragmentación	19
7.3	Índice de Conectividad Estructural	21
8	Discusión de Resultados	23
8.1	Clasificación.....	23
8.2	Índice de Fragmentación	23
8.3	Índice de Conectividad Estructural	24
9	Conclusiones.....	25
10	Recomendaciones	25
11	Bibliografía.....	27

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

1 Nombre de la Investigación

Análisis de fragmentación paisajística y conectividad estructural del Biotopo Protegido para la Conservación del Manatí “Chocón Machacas”.

2 Objetivos

2.1 General

Caracterizar y analizar la fragmentación del paisaje y la conectividad estructural en el Biotopo Protegido para la Conservación del Manatí “Chocón Machacas” y sus alrededores en su estado actual.

2.2 Específicos

- Caracterización, análisis visual y categorización del paisaje en el área de estudio con imágenes de sensores remotos (imágenes satelitales, LANDSAT 7).
- Analizar la fragmentación del paisaje de cobertura forestal.
- Analizar la conectividad estructural en la cobertura boscosa dentro del paisaje.

3 Marco Teórico

El Biotopo para la Conservación del Manatí “Chocón Machacas” es una de las áreas silvestres protegidas que administra el Centro de Estudios Conservacionistas de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Está ubicado en el departamento de Izabal en el margen norte del Golfete del Parque Nacional Río Dulce, incluido en la subregión fisiográfica denominada Caribe. Su altura va en un rango de 0 a 180 msnm, con una superficie de 6,258 ha y un perímetro de 52.53 km (Plan Maestro, 2014, p.14). La región se caracteriza por lluvias frecuentes, la precipitación pluvial anual es de 3,000 a 6,000 milímetros y la temperatura oscila entre los 30 y los 35 centígrados. Los suelos se clasifican como poco profundos en general y mal drenados, compuestos de roca caliza, cuyo principal componente es el carbonato de calcio y del cual contienen entre el 70% y 80%. Esto los convierte en suelos de vocación forestal y de protección de la cuenca. Pertenece a la región denominada Bosque Lluvioso Trans-Andino (Voss y Emmons, 1996, p.61), que corresponde al bioma terrestre Selva Tropical Lluviosa (Villar, 1998, p. 33), y se distribuye en la vertiente caribeña desde el suroeste de México hasta el noroeste de Sur América (Voss y Emmons, 1996, p. 61). Entre los ecosistemas más representativos de este bioma están: humedales lacustres, ríos, estuarios,

pantanos, litorales marinos, selvas altas perennifolias, sabanas de palma y pastizales (García, 1996, p. 46), la mayoría de los cuales se consideran presentes en el Biotopo (Alquijay, 1995, p.12. CONAP, JADE, USAC, CECON, 2014 p. 14). Dentro del área se encuentra una gran cantidad de especies vegetales y animales, por lo que la diversidad del lugar es alta (CONAP y otros, 2014, p. 14). Se reportan para el área 85 familias y 311 especies vegetales, siendo predominantes las familias Piperaceae con 12 especies, Acanthaceae con 15 especies, Areceae con 10 especies, Melastomataceae con 12 especies y Apocinaceae con 10 especies (Barrios, 2003, p. 42). Se reportan 18 especies de mamíferos mayores y dentro de ellos resalta la presencia del Manatí (*Trichechus manatus*), un mamífero acuático que habita exclusivamente en esta región (Sandoval, 1992, p. 140). La mayoría de los mamíferos mayores presentes están amenazados y se encuentran en la lista roja de CONAP y en CITES (CONAP y otros, 2014, p. 16). Se han documentado 14 especies de murciélagos (Pérez, 2001, p.28). Burgos y Enríquez reportan 95 especies de aves y entre las registradas 14 especies son migratorias, siendo la mayoría de éstas acuáticas, y 16 de ellas se encuentran amenazadas. (Pérez, 2001, p. 28). Con respecto a la herpetofauna en el Biotopo, se han registrado 16 especies de anfibios y 20 de reptiles (Acevedo y Vásquez, 2001, p.87). La ictiofauna reportada en el área son 82 especies (Kihn, 2001, p.62). Para el Biotopo exclusivamente se reportan 14 especies (Kihn, 2001, p.62).

La fragmentación es la creciente reducción y aislamiento de los parches de hábitat y poblaciones silvestres asociadas a éstas. La constante fragmentación de los hábitats naturales y la pérdida de conectividad de las poblaciones silvestres que éstos albergan dependen de una serie de factores y procesos que se relacionan e interactúan entre sí de maneras complejas. De manera general la reducción y separación espacial de los hábitats presentes en un territorio se ven afectados con la disminución de la abundancia de especies, cambios en los patrones de distribución y las capacidades de movilización y reproducción, afectando eventualmente la variabilidad y viabilidad de las poblaciones de organismos estrechamente ligados a los ambientes fragmentados, en especial a las especies con requerimientos exigentes de hábitat (Taylor, 2010, p.2).

La magnitud de la pérdida de conectividad derivada de la fragmentación depende de muchos factores, entre los que podemos mencionar: La especie considerada, las características y la disposición en el paisaje de los fragmentos o parches de hábitat, o las características de los espacios que separan dichos fragmentos. La sensibilidad de los organismos a la fragmentación de su ambiente no depende solo de su grado de especialización en el hábitat, sino también de la capacidad de dispersión de la especie que se relaciona con las demás especies presentes en el parche. La fragmentación determina la igualdad de condiciones de distribución del hábitat y de uso de suelo en el paisaje, la probabilidad de conservar el intercambio genético entre poblaciones que habitan parches distantes (metapoblaciones) o de colonizar nuevos territorios, factores considerados decisivos para la supervivencia de las especies (Gurrutxaga, 2003, p.12).

Merriam (1984) utiliza el término conectividad como un “parámetro para medir los procesos en los cuales las sub-poblaciones de un paisaje están interconectadas.” (p.7) Se puede considerar ampliamente dos tipos de conectividad del paisaje: conectividad funcional y la conectividad estructural. La conectividad funcional es una propiedad emergente que se expresa en el momento de ser evaluada la respuesta de un organismo a su hábitat; la conectividad estructural no evalúa la respuesta conductual de los organismos a la estructura del paisaje, y se enfoca en describir las relaciones físicas entre los parches de hábitat como los corredores o las distancias entre parches de vegetación. La conectividad estructural es medible con una variedad de métricas del paisaje o enfoques de análisis espacial. Cuando se establecen las relaciones físicas entre los parches de hábitat, se describe la conectividad estructural (Taylor, 2010, p. 3). La conectividad estructural es la propiedad de los elementos del ecosistema que les permite ponerse en contacto entre sí para facilitar la realización de procesos secuenciales en un orden determinado.

En los paisajes con heterogeneidad espacial se producen matrices conectantes bajas (de baja percolación), a diferencia de lo que sucede en los paisajes homogéneos, que se prestan a modificación por disturbios que alteran la conectancia de los corredores y núcleos (nodos de conexión) del sistema (Taylor, 2010, p.3).

La proximidad, es el grado de distancia física entre parches. Es un atributo estructural (descriptivo) del mosaico en el paisaje y puede ser mapeado, por lo tanto la matriz es el elemento más conectado del paisaje. Generalmente nos referimos como conectantes a otros elementos del paisaje como bosques, setos y lechos de ríos. La situación opuesta es llamada aislamiento. En algunas áreas rurales, la red de setos es el componente más conectado en la matriz de campo. Por ejemplo, la proximidad entre los bosques (potencialmente) juega un rol fundamental para las especies que necesitan cobertura boscosa para desplazarse. Por ejemplo, el incremento en la proximidad entre parches de bosque, después del abandono de tierras agrícolas, ha favorecido la difusión del jabalí salvaje en la mayoría de paisajes montañosos de Europa (Farina, 2008, p.72). Se puede intuir que la presencia de carreteras y tráfico vehicular representan factores que reducen la conectividad, especialmente para especies de tamaño pequeño y mediano como los erizos (*Erinaceus europaeus*). Huijser y Bergers (2000) han calculado que la presencia de carreteras y tráfico vehicular ha reducido la densidad poblacional de los erizos en los Países Bajos en un 35% (Gurrutxaga, 2003, p. 13).

Frecuentemente el término conectividad no es utilizado para especies focales, sino como un factor potencial que mejora la “circulación” de especies genéricas. La importancia de la conectividad estructural fue resaltada por Söndgerath y Schröder (2002), quienes utilizaron un modelado espacial explícito (p.17). En una revisión de los artículos relacionados con conectividad se discute abiertamente los problemas derivados de esta conceptualización. Específicamente, Goodwin (2003) hace notar la asimetría entre los artículos que tratan con la conectividad como una variable independiente y como una variable dependiente. Los estudios centrados en la conectividad como una variable dependiente son muy pocos. Al mismo tiempo, los estudios basados

en la estructura son más frecuentes que los estudios basados en la conectividad funcional. El autor sugiere que en un futuro la investigación de conectividad del paisaje se debería enfocar en: Dilucidar las relaciones entre la estructura del paisaje, el desplazamiento de los organismos, el comportamiento al desplazarse de los organismos y la conectividad del paisaje. Determinar la relación entre las diferentes medidas de conectividad, particularmente las medidas estructurales y funcionales Comprobar empíricamente el modelo de predicción independientemente de la conectividad en el paisaje. (p.18).

Los paisajes con el mayor potencial de conectividad pueden asegurar la supervivencia de las poblaciones que contienen. En algunos casos como en este estudio la conectividad estructural es baja pero la conectividad es alta, en este caso se puede asumir que existe un corredor funcional. En los paisajes en los cuales la cobertura vegetal ha sido severamente intervenida y fragmentada, la conectividad para las especies locales puede ser incrementada si la agricultura tradicional es mantenida con incentivos económicos.

4 Justificación del trabajo

En los últimos años se ha registrado una pérdida de cobertura boscosa dentro del Biotopo Protegido para la Conservación del Manatí “Chocón Machacas”. De 1995 al 2004 se han perdido más de 700 hectáreas de cobertura boscosa. En el año 1998 se tenía un 77% de cobertura boscosa natural y para el 2004 un 50% de cobertura boscosa que incluye bosque tropical, bosque inundable y bosque ralo (CONAP y otros 2004, p. 22). El biotopo Chocón Machacas muestra una tasa de cambio de disminución de 26 hectáreas al año. Los hábitats más abundantes son el bosque bajo inundable, el bosque alto y el bosque de manglar. En el área también son notables las asociaciones vegetales relacionadas con los numerosos cuerpos de agua (Ortiz, 2008, p. 18,19).

Por medio de imágenes multiespectrales de sensores remotos se ha observado el aumento en la fragmentación del hábitat, tanto dentro como en las afueras del Biotopo. La presencia de asentamientos humanos y las actividades económicas que desarrollan los diversos actores con influencia en el área incrementan la tasa de deforestación y el aumento en la fragmentación del hábitat. La parte oeste del Río Chocón Machacas ha estado expuesta constantemente a los impactos derivados del cambio en el uso de la tierra desde hace más de 20 años, en donde la vegetación natural ha sido reemplazada por pastos para ganadería, agricultura y guamiles (áreas de vegetación secundaria). En esta zona quedan pocos fragmentos aislados de vegetación natural (CONAP y otros, 2014, p.17). Es por estas razones del rápido cambio en el uso de suelo en los alrededores del Biotopo que se hace necesario visualizar el estado actual de la vegetación, su funcionalidad y conectividad, generando herramientas que nos permitan describir el fenómeno que ocurre de una forma objetiva y medible (CONAP y otros, 2014, p. 25).

Es de suma importancia realizar estudios que tomen en cuenta la estructura paisajística, pues es dentro del paisaje en donde se encuentran, construyen y desarrollan las características que permiten los procesos

naturales de migración, dispersión, reproducción y alimentación de las diferentes especies. El análisis de paisaje que se propone es una medida cartográfica del grado de agregación y fragmentación espacial de los parches de hábitat en el Biotopo Protegido para la Conservación del Manatí “Chocón Machacas”.

5 Plan de desarrollo

5.1 *Experimental*

5.1.1 *Delimitación del Área*

El análisis del estado actual del Biotopo para la Conservación del Manatí “Chocón Machacas” se realizó a una escala semidetallada de 1:50,000, abarcando el área protegida y cinco kilómetros a su alrededor a partir del polígono establecido como su delimitación legal.

5.1.2 *Escala de Trabajo y de Publicación*

Los análisis y mapas generados a partir de este trabajo de investigación se presentan en una escala de 1:50,000, para delimitar esta escala se realizó el cálculo del área mínima de mapeo para garantizar el detalle correspondiente a la escala utilizada.

5.1.3 *Obtención de imágenes*

Se realizó la búsqueda dentro de los servidores de imágenes de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) para la obtención de una imagen satelital de alta resolución. Se obtuvo el archivo proveniente del satélite LandSat-7, el cual proporciona imágenes ópticas de alta resolución para servicios de tierra, imágenes de vegetación, cubierta de suelo y agua, vías navegables interiores y zonas costeras.

El satélite LandSat-7 fue lanzado el 15 de abril de 1999 y una de sus características más relevantes es poseer la tecnología ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). El ETM+ también incluye características adicionales que lo convierten en un instrumento más versátil y eficiente para estudios de cambio global, monitoreo y evaluación de la cobertura de la tierra y mapeo de área grande.

Estas características son:

- Una banda pancromática con 15 m de resolución espacial.
- Apertura completa, 5% de calibración radiométrica absoluta.
- Un canal IR térmico con una resolución espacial de 60 m.
- Un registrador de datos a bordo.

LandSat-7 es el satélite de observación de la Tierra con mayor precisión de calibración, es decir, sus

mediciones son extremadamente precisas en comparación con las mismas mediciones realizadas en el suelo. El sensor de LandSat-7 ha sido llamado “el instrumento de observación de la Tierra más estable y mejor caracterizado jamás colocado en órbita”. Los rigurosos estándares de calibración de LandSat-7 lo han convertido en la mejor opción de validación para muchos sensores de resolución aproximada. (Taylor, M, 2017). Se obtuvieron los archivos de las nueve bandas espectrales de la imagen Landsat-7 LC80190492016244LGN00, imagen de resolución 30x30 metros por píxel, con una cobertura de nubes inferior al 5%, obtenida el viernes 2 de septiembre de 2016 a las 4:48:34 pm. La imagen se obtuvo a través de una cuenta de usuario en la página del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés), en la cual se solicitaron imágenes Clase A (alta resolución) por medio del ingreso de un catálogo y una carta de intención en la cual se especifica que estas imágenes no serán utilizadas con fines de lucro. Posteriormente se recibió un link de descarga directo en la cuenta de correo que se especificó en el formulario.

5.1.4 Información geográfica

Se realizó el procesamiento de imágenes satelitales obtenidas del satélite Landsat-7 en el año 2016, las cuales fueron clasificadas. Se contó también con el mapa de cobertura vegetal más reciente (2012), mapa de zonificación del área protegida, mapa de comunidades y asentamientos humanos.

6 Metodología

6.1 Caracterización y Análisis Visual del Paisaje

Se seleccionaron los ambientes, grupos de hábitats o ensambles de vegetación afines cuya evolución del grado de fragmentación fue evaluado. Luego de la selección se crearon los mapas que recogen las áreas de territorio que contienen cada uno de ellos, con base en la información cartográfica más reciente disponible.

Para cada tipo de ambiente (bosque denso, bosque caducifolio, bosque inundable) se seleccionaron las áreas con mayor cantidad de cobertura boscosa, según la continuidad en el dosel. Los índices se realizaron utilizando únicamente los tipos de cobertura boscosa por ser los de más valor ecológico en la región. La vegetación boscosa se agrupó posteriormente en bosque denso y bosque poco denso.

6.1.1 Caracterización

Se describieron las categorías que se crearon basándose en las características que son de importancia para los análisis posteriores. Estas categorías fueron; bosque caducifolio, y bosque de galería, presente en las áreas inundables y orillas de ríos (color naranja). Estos dos tipos de bosque posteriormente se clasificaron en dos categorías, bosque denso y bosque poco denso.

6.1.2 Análisis Visual

Se realizó un reconocimiento visual de los principales componentes de la matriz de paisaje; los poblados, caminos y carreteras, identificándolos como tales en un mapa.

6.1.3 Categorización

Después de realizarse la descripción de las categorías de utilidad se procedió a aplicar los análisis correspondientes a la creación de categorías y sub categorías de bosque de acuerdo a sus características. El análisis se llevó a cabo en el programa ArcGIS versión 10.3 (Environmental Systems Research Institute, Inc. ESRI, 2014).

Estos análisis fueron:

- Se creó una imagen compuesta uniendo las bandas (cada banda corresponde a un archivo que contiene una imagen tomada a diferente longitud de onda) con la herramienta “composite bands”.
- Se ajustó la imagen compuesta a una combinación de bandas que permite alterar los colores de tal manera que se resalte la vegetación.
- Se utilizó la herramienta “Maximum Likelihood Classification”, la cual realiza una clasificación de máxima verosimilitud en un conjunto de bandas ráster y crea un ráster clasificado como resultado. Permite clasificar el ráster por medio de cada píxel de una celda, y para ello es necesario tener conocimiento previo de las clases del área de estudio (uso actual del suelo). Se marcaron puntos manualmente y se asignó un valor numérico para cada clase.
- Se nombraron las categorías y se editaron los nombres en la tabla de datos y en la etiqueta de la capa creada.

6.2 Análisis de Fragmentación

6.2.1 Índice de fragmentación:

El índice de fragmentación no es comparable entre diferentes ambientes, dadas las diferentes características propias de cada uno de ellos en cuanto a patrón de distribución espacial o factores que explican el origen. Por tanto, la evaluación de la evolución de este índice se realizará únicamente entre datos referidos al mismo ambiente. Para cada tipo de ambiente, la tendencia del índice será evaluada en función de su incremento o disminución. El índice propuesto utiliza una escala inversamente proporcional al grado de fragmentación del paisaje. Así, un aumento del valor del índice se relaciona con una disminución del grado de fragmentación, y viceversa. Esto se debe, atendiendo a la ecuación del índice, a que el incremento de la fragmentación se relaciona con la disminución de la superficie total de parches, un mayor número de fragmentos (parches) y una mayor dispersión de éstos. Una vez seleccionados los grupos de hábitats afines cuya evolución del grado de fragmentación se desea evaluar, se crearon los mapas que recogen las áreas de territorio que contienen cada uno de ellos.

Para cada tipo de hábitat se seleccionaron aquellas áreas del territorio en las que están presentes los hábitats correspondientes a “bosque denso”, “bosque caducifolio” y “bosque inundable”. Luego se crearon en la tabla los campos que fueron utilizados al construir la fórmula en la herramienta “Field Calculator”, y se aplicó el índice de fragmentación sobre cada uno de los mapas creados.

La ecuación utilizada para calcular el índice de fragmentación es la siguiente:

$$F = (Rc) = 2 \text{ dc } (\lambda/\pi)$$

$$F = \text{superficie total del hábitat} / (\text{número de manchas} \times \text{dispersión de las manchas})$$

Donde, dispersión de las manchas:

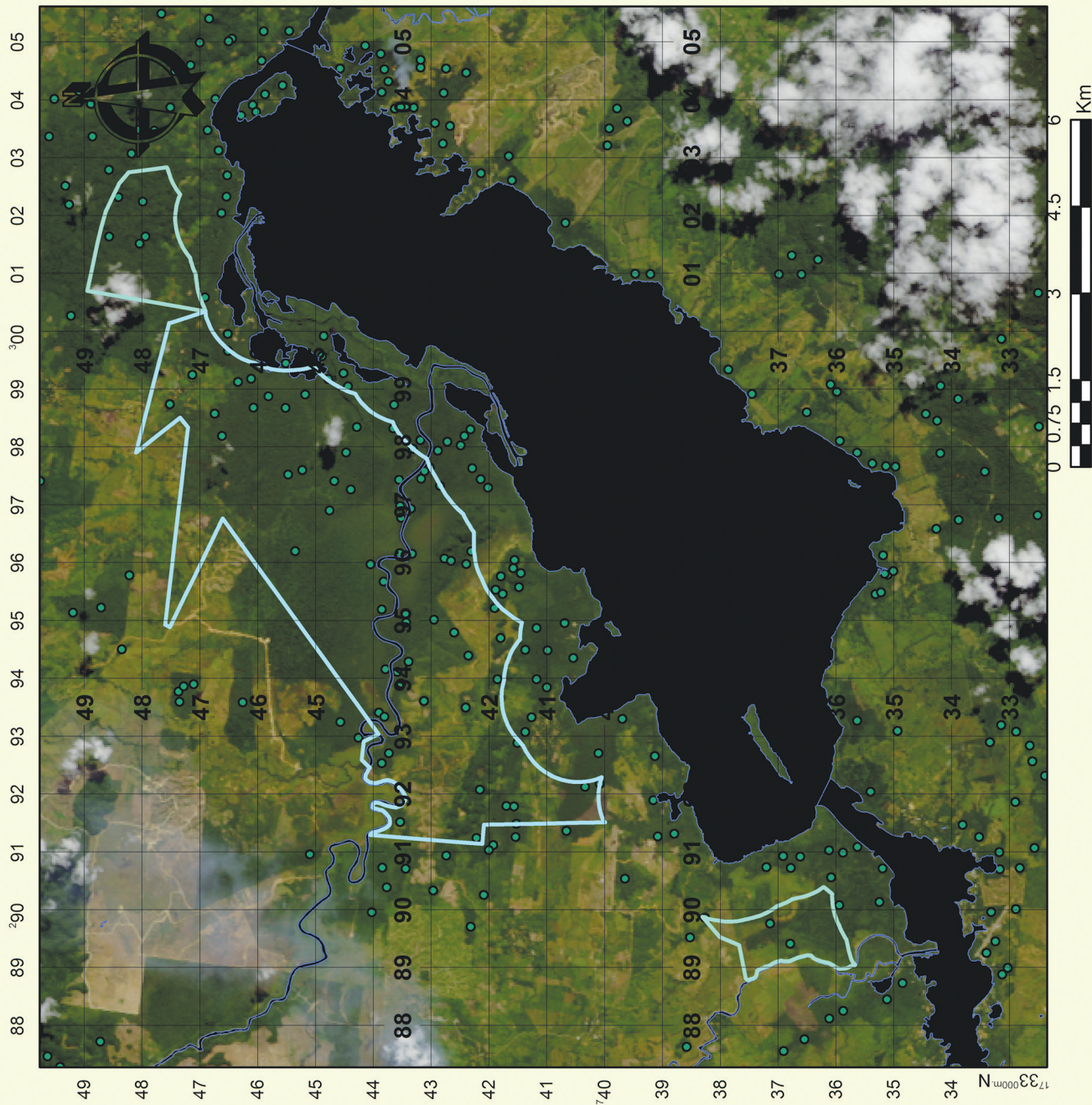
dc = Distancia media desde una mancha (su centro o centroide) hasta la mancha más cercana.

λ = Densidad media de manchas = (número de manchas / superficie total del área de estudio en Ha.) x 100 = Número de manchas por cada 100 Ha.

6.2.2 *Medición de distancias*

Utilizando el programa ArcGis (ESRI, 2014) como primer paso se calculó el área de cada uno de los parches utilizando la herramienta “calculate geometry” y a continuación se midió la distancia media entre parches de un mismo tipo. Para esto se colocó primero un punto en el centro de cada parche con la herramienta “feature to point” y luego se midió la distancia entre estos puntos con el punto del parche más cercano utilizando la herramienta “point distance” para cada categoría de bosque, y luego se midió la distancia del parche más cercano o sea el valor de distancia más pequeño con la herramienta “summary statistics” y se obtuvo la distancia media entre parches de un mismo tipo de bosque con la herramienta “field calculator”, opción “mean”. (Figura1)

Centroides de los parches de bosque



- Biotopo Chocón Machacas
- Cuerpos de Agua
- centroides



Proyección Transversal Mercator
 Para Guatemala-gtm-
 Meridiano Central 90°30'00"
 Factor de Escala 0.9998
 Escala 1:90000

Enero 2017

Figura1. Distribución de los centroides de cada parche de vegetación seleccionada. Se muestra la ubicación espacial del centro de cada parche de bosque utilizado para realizar los siguientes análisis. A partir de los centros de cada parche es posible medir en dónde se encuentra el centro de parche más cercano y de esta manera se establece la distancia mínima, que es un componente de la ecuación para calcular el índice de fragmentación.

6.2.3 Colindancia de parches

Se identificó visualmente cómo está estructurada espacialmente la matriz del paisaje y la ubicación de los parches de bosque respecto a sus colindantes más cercanos.

6.2.3 Índice de fragmentación:

En este estudio la fórmula se utilizó en el programa ArcGIS de la siguiente manera:

Ecuación

$$F = [\text{superficie total de hábitat}] / ((2 * [\text{distancia mínima}] * (([\text{Num parches}] / [\text{área total}] * 100) / 3.1416))$$

Figura 2. Fórmula de F aplicada en ArcGIS

La fórmula de la figura 2, fue escrita en la herramienta “Field Calculator”, la fórmula fue construida refiriendo a los nombres colocados a las diferentes columnas en la tabla creada que contienen los datos derivados de cada capa, estas columnas se encuentran en la tabla correspondiente a la capa “Tipos de Vegetación”.

6.3 Análisis de la Conectividad Estructural de la Cobertura Boscosa

6.3.1 Conectividad Estructural

Se define como la propiedad de los elementos del ecosistema que les permite ponerse en contacto entre sí para facilitar la realización de procesos secuenciales en un orden determinado. Se medirá la conectancia que existe entre parches de vegetación similares en el área de estudio.

6.3.2 Análisis de la conectividad

La conectividad depende de la utilización de paisajes regionales completos y de la dinámica de dicha utilización.

Índice de conectividad:

Fue aplicado y considerado a los ambientes de bosques primarios descritos en las subcategorías: “bosque denso”, “bosque caducifolio” y “bosque inundable”, las cuales posteriormente se unieron para formar las categorías “bosque denso y bosque poco denso”. Se elaboraron dos mapas en formato ráster con la siguiente información de partida:

- Un mapa de “fuentes”, correspondiente a las zonas del territorio que contienen los hábitats cuya conectividad se desea medir (en este caso, los bosques).

- Un mapa de resistencias o costo de los usos del suelo de la matriz territorial en la que se insertan las “resistencias” al movimiento de las especies especialistas asociadas al ambiente de estudio (especie tipo, hipotética).

Se creó la capa de costos o resistencias en el programa ArcGIS de la siguiente manera:

Utilizando la herramienta “Reclassification”, se asignaron los valores de “costo o resistencia” que presenta cada tipo de uso de suelo, utilizando la tabla propuesta en “Índices de Fragmentación y Conectividad para el Indicador de Biodiversidad y Paisaje de la Comunidad Autónoma del País Vasco CAPV” (Gurrutxaga, 2003, p. 25)

Tabla 1. Tipos de vegetación utilizados en la clasificación del mapa de resistencias.

TIPO DE VEGETACIÓN - USO DE SUELO	
VALOR DE RESISTENCIA	RESISTENCIA
Bosques	1
Fase Juvenil de Bosque	5
Matorrales	10
Plantaciones Forestales	15
Pebrezales	20
Vegetación herbácea	30
Prados y cultivos atlánticos	40
Erosiones margo-acrilosas	50
Roquedos	60
Cultivos leñosos	60
Cultivos de cereal, patata	65
Parques urbanos	100
Zonas sin vegetación	100
Bosques de ribera	1
Carretera de tráfico medio	40

A continuación se utilizó la herramienta “Cost distance” para crear la capa de resistencias; El cálculo de la permeabilidad del territorio entre las manchas de bosque se realizó mediante la función CostDistance de la extensión “Spatial Analyst”. A diferencia de las funciones euclidianas de distancia, CostDistance no calcula la distancia real de un punto a otro, sino que determina la relación costo-distancia más corta (o el costo acumulado del viaje) desde cada celda hasta su celda más cercana en el conjunto de celdas de origen. Además las funciones de costo-distancia no miden la distancia en unidades geográficas, sino en unidades de costo. CostDistance calculó, celda por celda, el costo acumulado de desplazamiento entre las manchas del mapa de fuentes, teniendo en cuenta tanto las resistencias existentes en los espacios que las separan como la distancia espacial existente entre dichas manchas. Como resultado, se obtuvo un mapa de celdas con diferentes valores de permeabilidad del territorio para las especies sensibles a la fragmentación ligadas al ambiente de estudio. Las cuadrículas correspondientes a las “fuentes” obtienen un valor de costo-distancia 0, mientras que a las restantes cuadrículas se les asigna un valor de costo-distancia de conectividad propio.

Este último mapa fija unos valores de resistencias en una escala del 1 al 100, de mayor a menor permeabilidad, para los usos del suelo respecto al desplazamiento de una especie forestal local “tipo” con una capacidad dispersiva limitada. El índice de conectividad se calculó obteniendo el valor medio de todas las celdas del mapa de costo-distancia obtenido, exceptuando las de valor 0. Al tratarse de un valor procedente de una suma de valores acumulativos, el valor de costo-distancia de las cuadrículas y del índice de conectividad está condicionado por el tamaño de las cuadrículas de análisis. Los valores acumulados de costo-distancia serán mayores en cuanto el tamaño de la cuadrícula sea menor, es decir, cuanto mayor número de cuadrículas contenga el área de estudio. (Gurrutxaga, 2003, p.13)

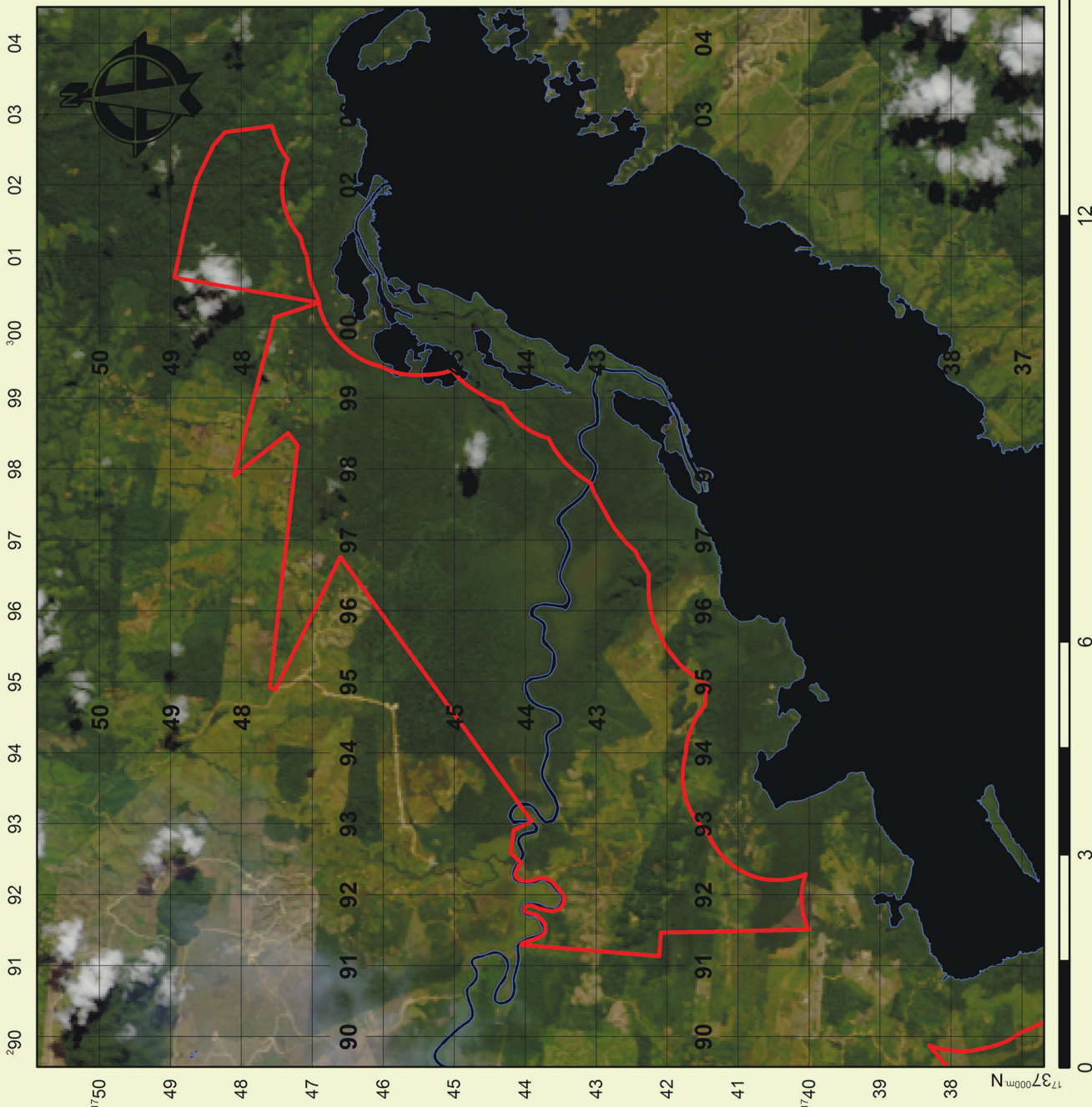
7 Resultados

7.1 Clasificación de la vegetación



7.1.1 Procesamiento de la Imagen satelital

La unificación de imágenes satelitales es un requisito puesto que estas se obtienen en archivos separados, cada banda corresponde a una imagen obtenida midiendo diferentes longitudes de onda, y se presenta cada una en un archivo diferente, se utilizó software para realizar la unificación de bandas y poder clasificarlas como muestra la imagen en color verdadero, seleccionando las bandas 3, 2,1 por ser las recomendadas en la bibliografía (Fernández-Coppel, 2001, p. 13) de la imagen LandSat-7 LC80190492016244LGN00. (Figura 3)

Imagen Satelar Compuesta



Tipos de vegetación

-  Biotopo Chocón Machacas
-  Cuerpos de Agua



Proyección Transversal Mercator
Para Guatemala-gtm-
Meridiano Central 90°30'00"
Factor de Escala 0.9998
Escala 1:90000

Noviembre 2016

Figura 3. Composición de imagen en color verdadero y delimitación del Biotopo "Chocón Machacas". En esta imagen se muestra el resultado final de la unificación de los archivos que contienen las imágenes a diferentes longitudes de onda (bandas), para presentar esta imagen se seleccionaron las bandas 3, 2, 1 que permiten apreciar la vegetación con su color natural.

7.1.2 Clasificación de la vegetación

En función de la imagen LandSat unificada se procedió a realizar una clasificación supervisada, basada en la firma espectral de áreas representativas “tipo” de cada uno de los usos, obteniendo como resultado las iteraciones de cada una de estas firmas, para toda la imagen. Se identificaron 7 usos de suelo diferentes para el área a los cuales se les nombró: Claro, Agricultura, Bosque denso, Matorral, Bosque inundable, Pastizal y Bosque caducifolio. El resultado de la clasificación supervisada de vegetación se presenta espacialmente en el mapa del área a continuación (Figura 4).

Tabla 2. Cobertura de uso actual del Biotopo “Chocón Machacas”

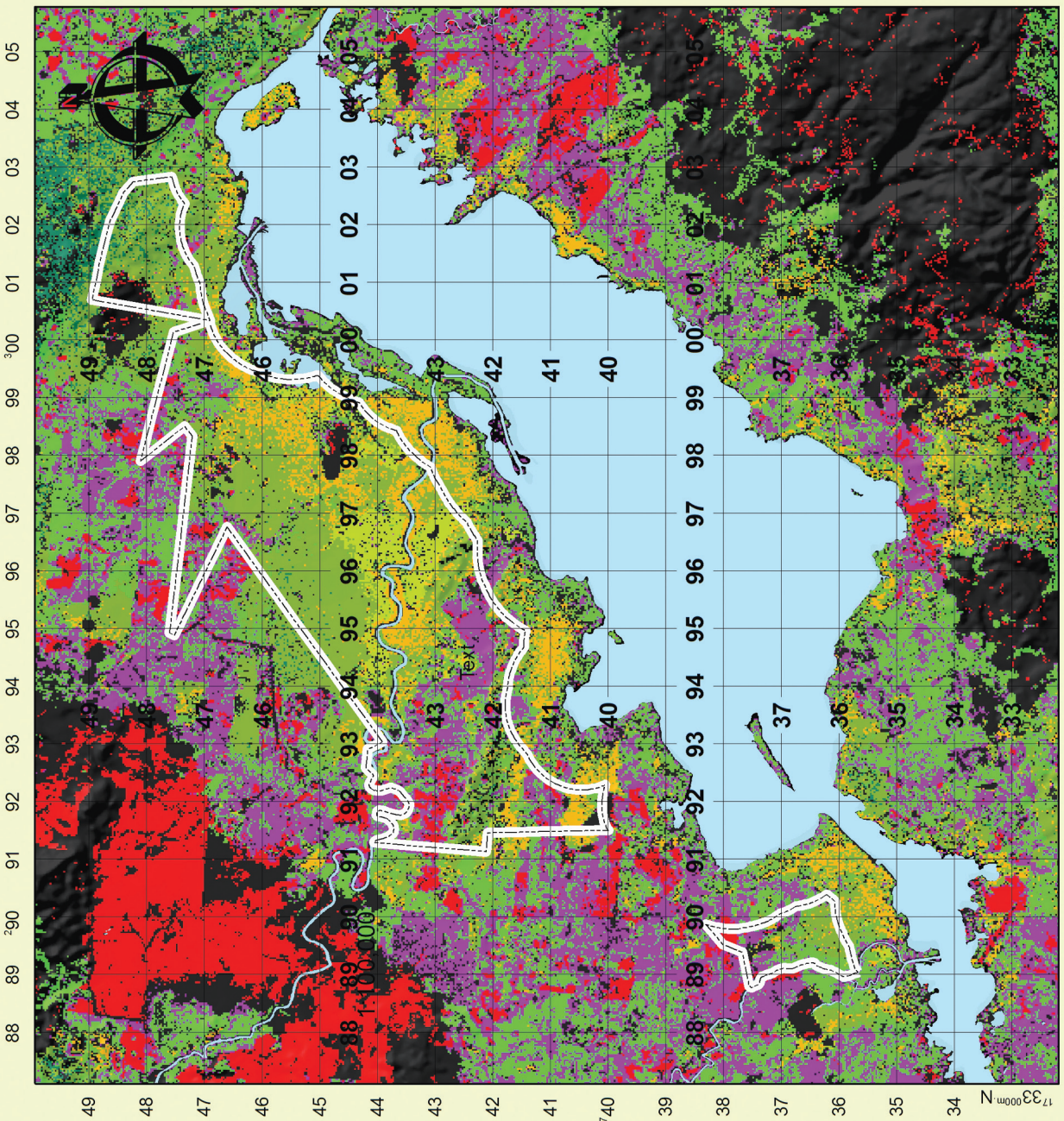
USO ACTUAL	ÁREA	
	ÁREA KM ²	ÁREA %
Claros	1.21	3.84
Agricultura	5.12	16.31
Bosque denso	0.42	1.34
Matorral	5.36	17.10
Bosque denso	3.82	12.19
Pastizal	2.54	8.10
Bosque poco denso	12.90	41.12
Total	31.37	100

7.1.3 Vegetación seleccionada para el estudio

De los tipos de vegetación encontrados en el área de estudio, se seleccionaron el bosque caducifolio, y bosque de galería. Según el estado en que se observa estos tipos de vegetación reclasificaron en dos categorías, bosque denso y bosque poco denso, como se muestra en la figura 5.

Clasificación de la Vegetación

ESCALA 1:100,000



- Biotopo Chocón Machacas
- cueros_agua_2006
- Claro
- Agricultura
- Bosque denso
- Matorral
- Bosque inundable
- Pastizal
- Bosque caducifolio

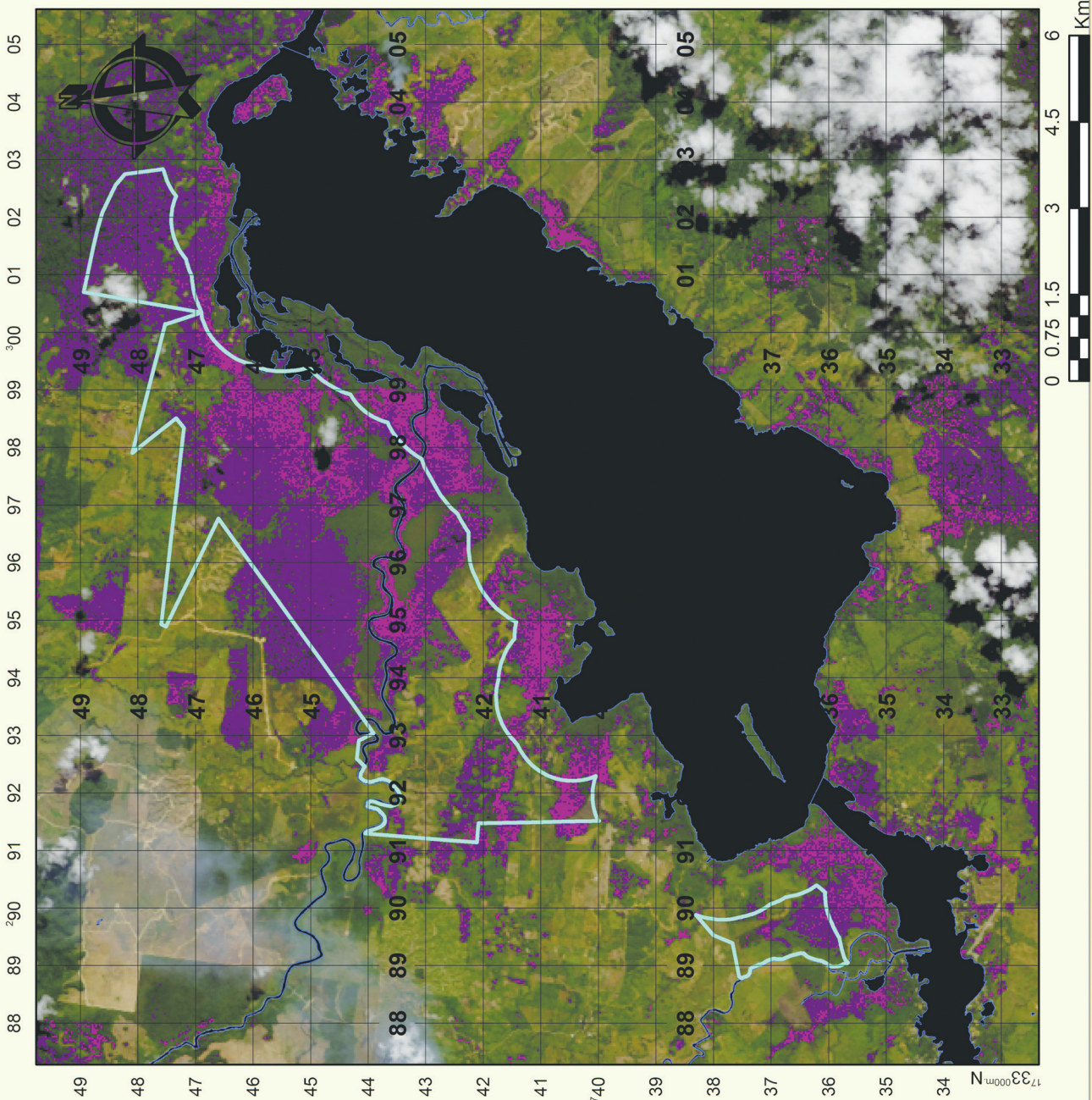


Proyección Transversal Mercator
 Para Guatemala-gtm-
 Meridiano Central 90°30'00"
 Factor de Escala 0.9998
 Escala 1:90000

Enero 2017

Figura 4. Tipos de Vegetación en el área de estudio. En color rojo se muestran las áreas que no cuentan con cobertura vegetal, en las cuales el suelo está expuesto, se nombraron "Claros", en color violeta se muestran las áreas que son dedicadas a cultivos, en color verde oscuro se muestran parches de bosque con una cobertura muy densa, estas áreas se encuentran fuera del biotopo ubicadas hacia el oeste, en color verde limón se muestran los matorrales, en color naranja el bosque de galería o inundable, en color verde claro los pastizales y en color verde olivo el bosque caducifolio.

Vegetación Seleccionada para el Estudio



Tipos de Vegetación Seleccionados

- Bosque denso
- Bosque poco denso
- Biotopo Chocón Machacacas
- Cuerpos de Agua



Proyección Transversal Mercator
 Para Guatemala-gtm-
 Meridiano Central 90°30'00"
 Factor de Escala 0.9998
 Escala 1:90000

Enero 2017

Figura 5. Vegetación boscosa seleccionada para los análisis. En color morado se muestran los parches de bosque denso y poco denso utilizados para la creación de los índices de fragmentación y conectividad estructural

7.2 Índice de Fragmentación

7.2.1 Distribución de la fragmentación

Se presenta el resultado del Índice de fragmentación, el cual muestra una escala de valores ordinaria que van de 0 a 100, siendo los valores más bajos los lugares más fragmentados y los altos los lugares menos fragmentados. Los parches que se observan en color rojo son los parches que presentan la mayor fragmentación y los parches en color verde los que presentan menor grado de fragmentación. Figura 6.

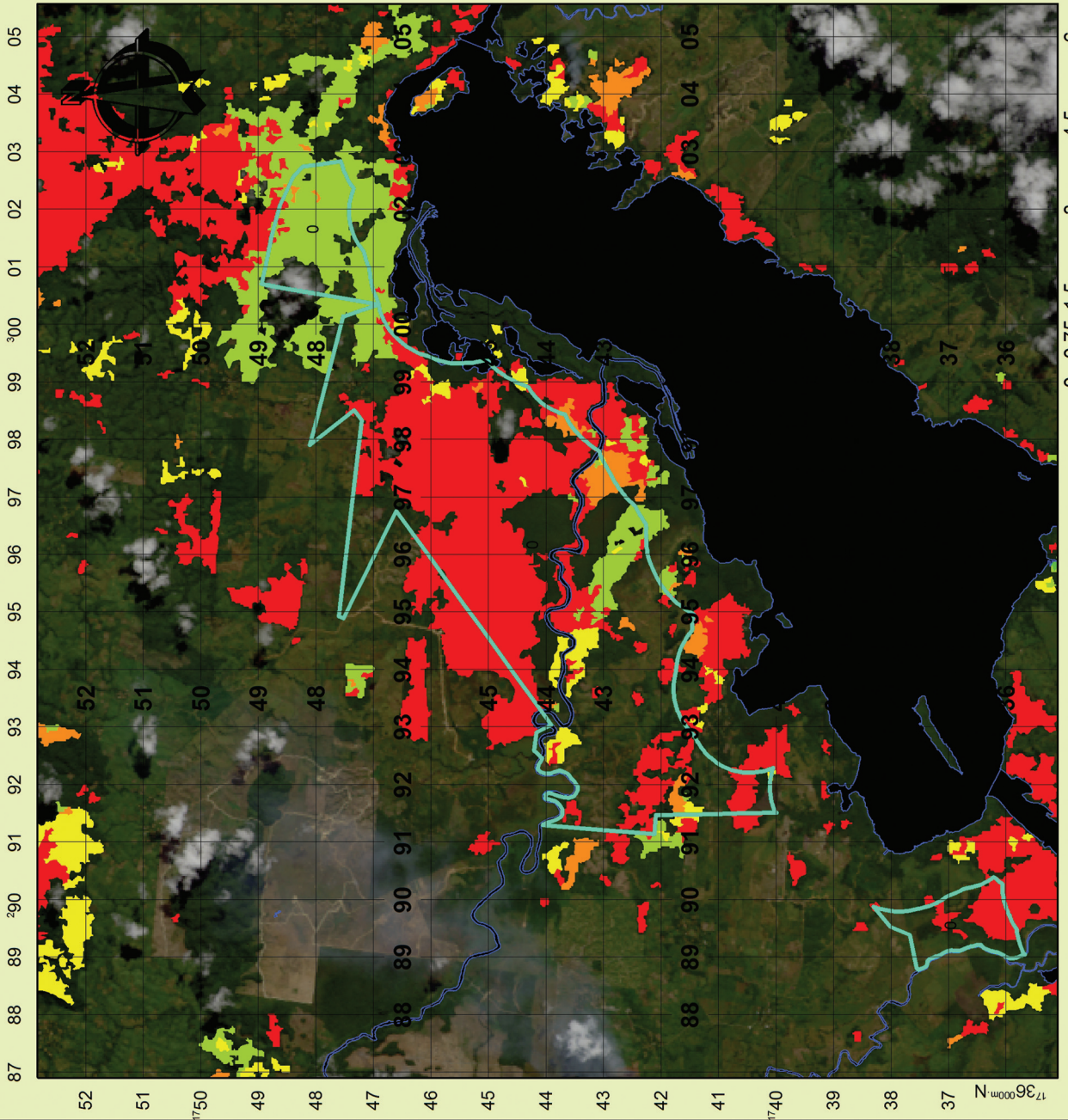
7.2.2 Cuantificación de la fragmentación

Derivado del análisis de la fragmentación se calcularon datos cuantitativos que permitan describir las relaciones que existen entre la cantidad de parches, el área que estos ocupan y su perímetro expuesto a efecto de borde por otros usos, lo cual permite explicar de mejor manera la dinámica con respecto de la fragmentación evaluada. Los datos obtenidos se presentan en la tabla 3.

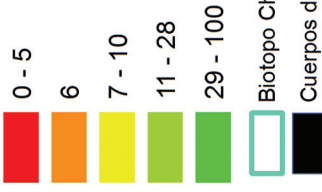
Tabla 3. Resumen del estado actual de los parches de vegetación boscosa.

ELEMENTO EVALUADO	CANTIDAD DEL ELEMENTO	RELACIÓN BORDE POR ÁREA	DENSIDAD DE PARCHES KM ²
Número de fragmentos de bosque (bosque de galería, bosque primario caducifolio, bosque caducifolio)	1,059 unidades	0.08 Km/Ha.	5.025
Número de fragmentos de bosque de galería/bosque inundable (cercano a cuerpos de agua)	343 unidades	0.11 Km/Ha.	0.1333
Número de fragmentos de bosque primario denso; bosque caducifolio en buen estado	132 unidades	0.17 Km/Ha.	0.0513
Número de fragmentos de bosque caducifolio poco denso	584 unidades	0.12 Km/Ha.	0.2269
Perímetro expuesto a efecto de borde	2,574 Km	No aplica	No aplica
Distancia media de los fragmentos	400.23 metros	No aplica	No aplica

Índice de Fragmentación



Índice de Fragmentación



Proyección Transversal Mercator
Para Guatemala-gtm-
Meridiano Central 90°30'00"
Factor de Escala 0.9998
Escala 1:90000

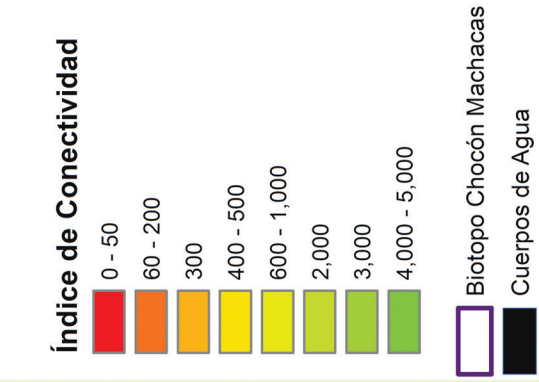
Enero 2017

Figura 6. Mapa de distribución del Índice de Fragmentación en el Biotopo "Chocón Machacas". Se observa en color rojo las áreas más fragmentadas, en color naranja-amarillo las áreas medianamente fragmentadas y en color verde las áreas poco fragmentadas.

7.3 Índice de Conectividad Estructural

Al evaluar la dificultad con la que una especie tipo, puede desplazarse entre los distintos parches de bosque, atravesando distintos usos de suelo, se determina un valor de conectividad estructural, el cual se va modificando conforme la dificultad aumenta, como consecuencia de que los valores más bajos presentan una mayor dificultad, los valores más altos una menor dificultad; para el área evaluada los valores van de 0 a 5,000 siendo los valores ordinarios y proporcionales, por lo tanto los valores bajos los presentan las áreas que representan los principales obstáculos que funcionan como barreras naturales (cuerpos de agua, y áreas muy fragmentadas o sin cobertura vegetal) y los valores altos los que permiten la conectancia entre parches de bosque. Observamos que el esfuerzo que haría una especie para moverse dentro de los distintos usos es menor en las áreas con parches boscosos de mayor tamaño, más cercanos unos de otros, y rodeados de usos que conservan algún tipo de vegetación. La figura 7 muestra estos resultados.

Índice de Conectividad



Proyección Transversal Mercator
 Para Guatemala-gtm-
 Meridiano Central 90°30'00"
 Factor de Escala 0.9998
 Escala 1:90000

Enero 2017

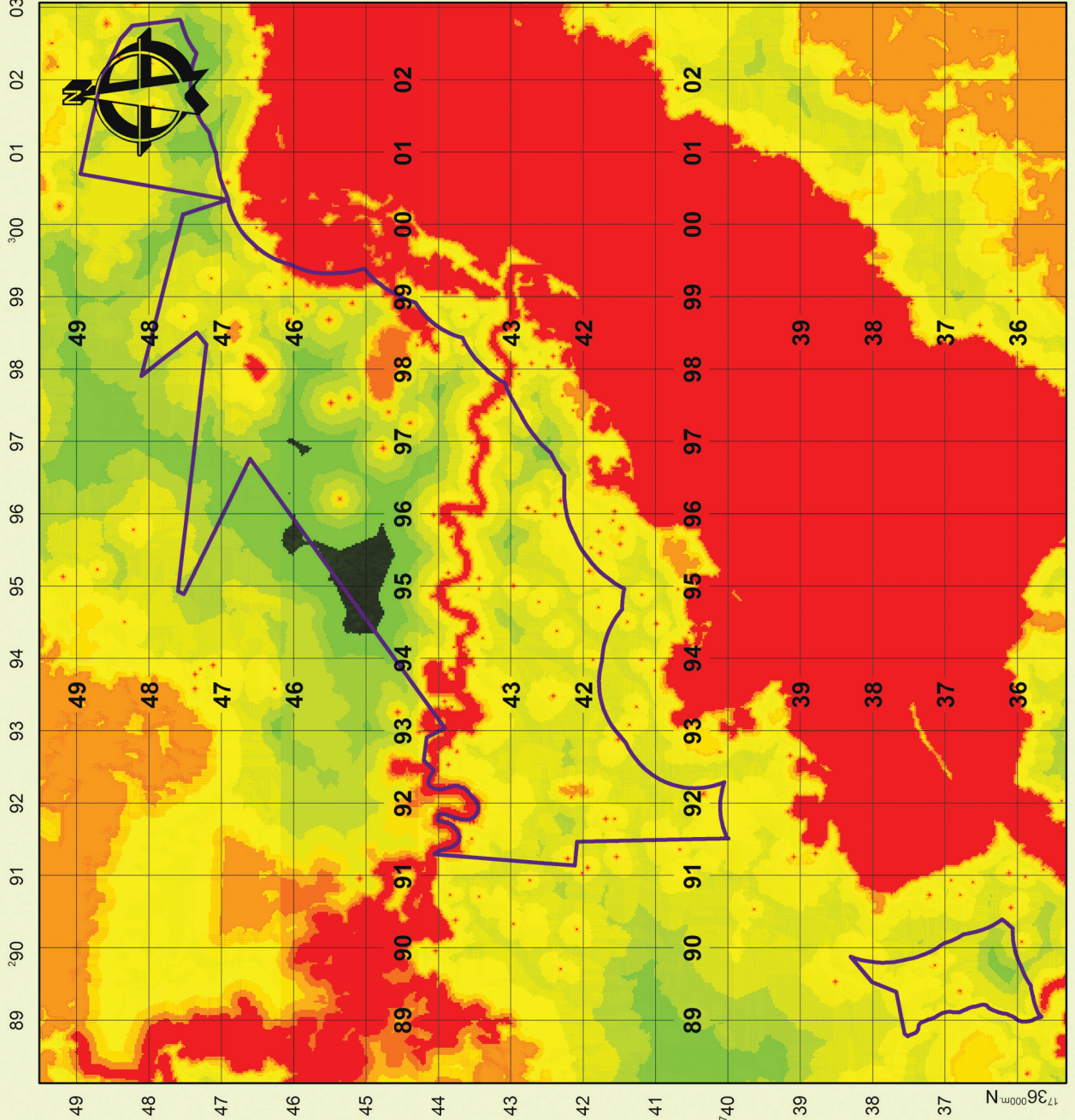


Figura 7. Índice de Conectividad Estructural en el Biotopo "Chocón Machacas". Se presenta el índice en una escala que va de 0 a 5,000, Los valores más bajos representados en color rojo son los principales obstáculos para la movilización de las especies, las áreas en verde son las que permiten con mayor facilidad el desplazamiento.

8. Discusión de Resultados

8.1 Clasificación

Los usos de suelo que ocupan la mayor cantidad de área dentro del Biotopo son matorrales (17.10%), agricultura (16.31%) y el bosque poco denso, (12.19%), (tabla 1). El Biotopo presenta una cobertura boscosa de 54.65%. El fragmento de área protegida que se encuentra en el sur-oeste está aislado del polígono principal que delimita el área protegida, en este fragmento la vegetación predominante es matorral y agricultura. En el polígono principal del área los remanentes boscosos bosque denso y poco denso se encuentran distribuidos hacia el este, en donde se conectan con parches de bosque que todavía existen fuera de los límites del Biotopo. En la parte oeste del polígono principal se observa un área intervenida con cultivos, claros, y pastizales. Vale la pena mencionar que hacia el norte del Biotopo se encuentra un área muy amplia, de claros y áreas sin ninguna cobertura vegetal, esto reduce las posibilidades de que el área se conecte de alguna manera con áreas protegidas cercanas como el Área Protegida de Usos Múltiples Río Sarstún.

8.2 Índice de Fragmentación

El incremento de la fragmentación se relaciona con la disminución de la superficie total de las manchas, con un mayor número de fragmentos (manchas) y con una mayor dispersión de éstas. En el Biotopo “Chocón Machacas” la mayor parte del área presenta un índice bajo (áreas muy fragmentadas), incluso áreas en apariencia superficial cubiertas con vegetación presentan un alto índice de fragmentación, el cual se observa en el mapa de la figura 6 como los parches de bosque color rojo. Esto se debe a que ha sido talado, presentando perforaciones dentro de la masa boscosa. En el mapa que ilustra gráficamente los resultados del índice de fragmentación se observan las áreas muy fragmentadas en color rojo, las áreas en las que la fragmentación es menor en naranja-amarillo, y las áreas poco fragmentadas en tonalidades verdes.

El Área total del Biotopo es de 35.53 Km², en los cuales hay 1059 unidades (parches) de los tipos de bosque seleccionados (denso/poco denso). Esto significa que hay 5.025 parches por Km². Si tomamos este dato como punto de referencia, para evaluar un proceso de restauración o conservación cada año debería disminuir el número de parches por kilómetro cuadrado. Si en años posteriores este número aumenta, esto indica una mayor degradación de la cobertura boscosa densa/poco densa (Tabla 3).

El perímetro expuesto a efecto de borde es de 2,574Km. Una de las consecuencias más evidentes de la fragmentación de los sistemas forestales es la susceptibilidad de los fragmentos de bosque a los efectos negativos de sus bordes. Los efectos negativos que se han documentado reportan mayor

mortalidad de fauna o flora cerca del borde con respecto al interior del bosque (Chen et al., 1992, (p.387); Mills, 1995, (p. 395)), y la consecuente reducción del área del fragmento (Harris, 1988 (p.330); Gascon et al., 2000, (p.1356)). A pesar de que los bordes han sido estudiados extensivamente, la definición y medición del borde genera varias restricciones al depender del investigador u observador, del organismo o variable estudiada y de la escala espacial del estudio (Lidicker y Peterson, 1999, p.211). “La percepción de un borde por un artrópodo variará mucho de la de un mamífero. Por ello los bordes pueden ser específicos para una especie y según recientes estudios con mamíferos pequeños la percepción del borde puede ser relativa al sexo o edad de los animales dentro de una misma especie” (Lidicker y Peterson, 1999, p.211).

8.3 Índice de Conectividad Estructural

La conectividad medida a partir de permeabilidad del borde puede modular el efecto de la fragmentación sobre especies características del bosque. Stamps y otros (1987) Indicaron que los bordes abruptos (hard edges) o impermeables actúan como una barrera que nunca es cruzada por organismos especializados en un hábitat como podrían ser en este caso los cuerpos de agua de gran extensión, o con mayor riesgo de ser consumidos en el hábitat adyacente como por ejemplo áreas abiertas; claros, pastizales y vegetación arbustiva o cultivos jóvenes. Los bordes suaves (soft edges) funcionan como membranas permeables a los organismos emigrantes. Entre los bordes suaves como los que se encuentra adyacentes a usos de suelo con valores bajos (la tabla 1) y abruptos pueden existir varios niveles de permeabilidad. Si consideramos que el movimiento de organismos entre hábitats está sujeto a la permeabilidad de los bordes, y que este movimiento puede determinar la movilidad de semillas, la permeabilidad puede entonces también afectar la invasión de especies arbóreas y con ello la expansión del bosque a partir del borde. Se ha encontrado que los bordes suaves (bordes con estrato herbáceo alto) incrementan la abundancia y movilidad de los dispersores (*Peromyscus* spp.) de bellotas a pastizales abandonados con respecto a los bordes abruptos con pastizales pastoreados adyacentes (López-Barrera, 2003, p. 89).

Para el área de estudio se describe la conectividad (Figura 7) siendo el valor más bajo el que describe la menor conectividad y el valor más alto la mejor conectividad. Se observa un factor que influye mucho en la conectividad es el tipo de vegetación subyacente al parche de bosque estudiado. En el área hay algunos tipos de vegetación o uso de suelo que permiten el paso de las especies, como pastizales y matorrales, y otros como la agricultura y los claros, que representan aislamiento de las áreas boscosas en cuanto a su capacidad de facilitar el tránsito de especies a través de él. En general para el área de estudio se observa que hay mayor cantidad de área que permite la conectividad en estado bueno y regular, observándose algunas áreas críticas en los lugares más afectados por cambio de uso de suelo y agricultura. Podemos observar que en los lugares que están presente el

bosque denso y poco denso la conectividad presenta valores altos. La vegetación presente dentro del Biotopo para la Conservación del Manatí “Chocón Machacas” presenta una mayor área de cobertura considerada según la medición como muy fragmentada, pero con una conectividad estructural aceptable, esto se debe a las relaciones que conserva con los parches situados hacia el este, que se encuentran en un mejor estado de conservación.

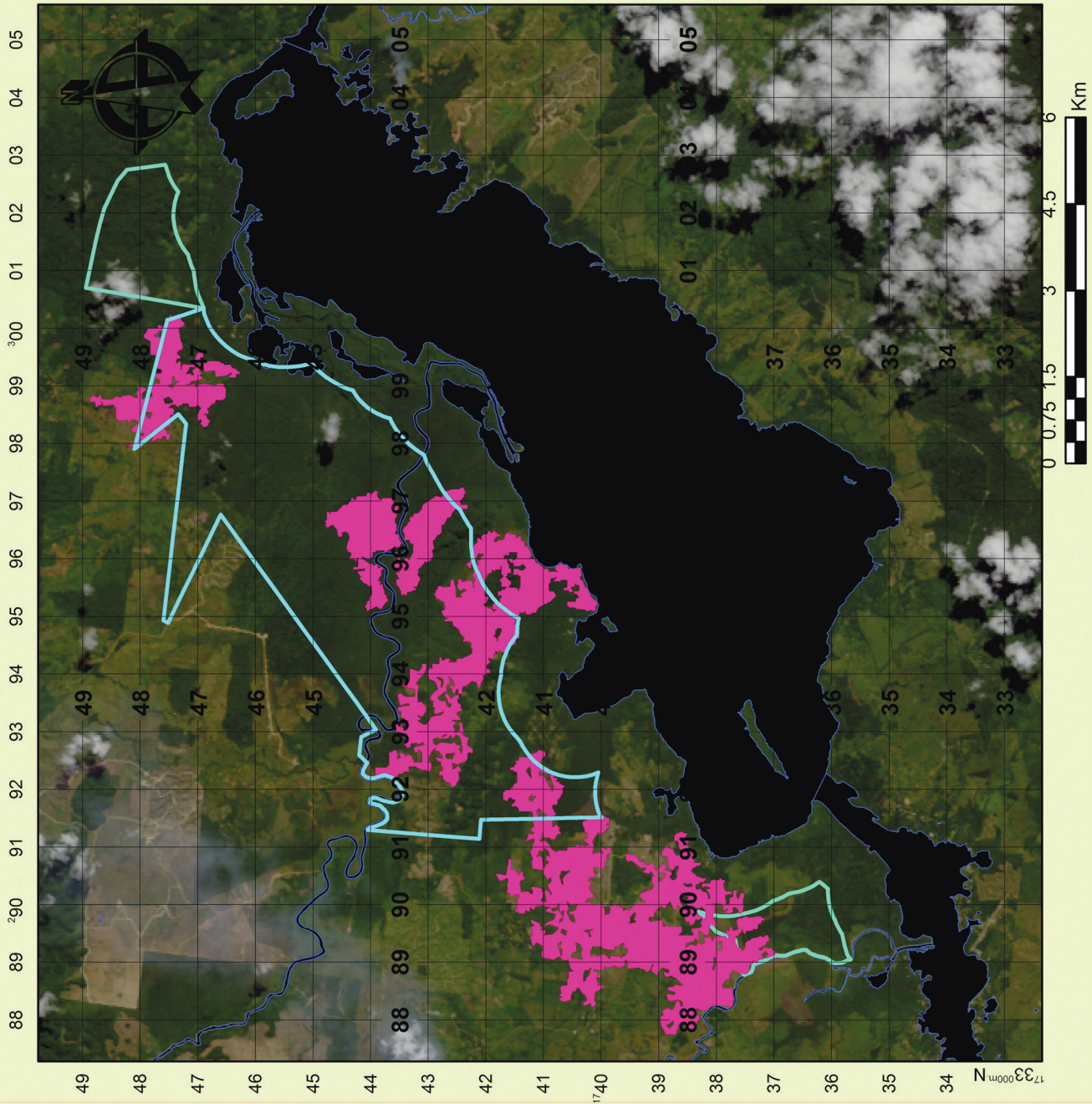
9 Conclusiones

- Dentro del Biotopo para la Conservación del Manatí “Chocón-Machacas” existe un área de bosque de 157.79 Km² que presenta un índice de fragmentación alto, en la valoración ponderada del índice, un área de 31.31 km² que presenta un índice de fragmentación medio (7-10) y un área de 21.64 km² que presenta un índice de fragmentación bajo (11-100)
- En el área de estudio los 1,059 fragmentos de bosque tienen 2.574Km de área perimetral expuesta a efecto de borde.
- En el área de estudio existen 5.025 parches de bosque por Km². Este puede funcionar como un valor de referencia para evaluaciones posteriores.
- Los resultados del índice de conectividad muestran un área de 288.3256 km² color verde, (alta conectividad 2000-5000) y un área de 237.8493 km² color amarillo (mediana conectividad 600-1000), según los rangos establecidos para este estudio. Esto se debe a las relaciones que tienen los parches de bosque con la vegetación circundante.

10 Recomendaciones

- Realizar una comprobación en campo de los tipos de vegetación sugeridos en esta publicación.
- Realizar un estudio que incluya datos de campo, respaldados por muestreos de una especie tipo local, que responda a las variables ambientales que son alteradas cuando la cobertura boscosa es fragmentada (humedad, temperatura, etc.).
- En base a los resultados, con el fin de reducir la fragmentación y mejorar la conectividad estructural del Biotopo se propone la restauración de la vegetación con especies nativas de las áreas mostradas en la figura 8.

Áreas Sugeridas para la Restauración



- areasareforestar
- Biotopo Chocón Machacas
- Cuerpos de Agua



Proyección Transversal Mercator
 Para Guatemala-gtm-
 Meridiano Central 90°30'00"
 Factor de Escala 0.9998
 Escala 1:90000

Enero 2017

Figura 8. Áreas recomendadas para la restauración vegetal con el fin de mejorar la conectividad estructural.

11 Bibliografía

- Acevedo, M. y C. Vásquez. (2001). Anfibios y Reptiles. Caracterización ecológica de los Biotopos Chocón Machacas, Izabal y Cerro Cahui. Guatemala: DIGI-USAC.
- Alquijay, B. (1995). Biotopo para la Conservación del Manatí “Chocón-Machacas” de la serie Biotopos. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia- CECON.
- Barrios M. (2003). Especies de Flora Endémica y Amenazada de la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil y BUCM. Informe Final de Investigación. Guatemala: Centro de Datos para la Conservación. Centro de Estudios Conservacionistas. Universidad de San Carlos de Guatemala. (p. 42).
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas “CONAP-, Jade, Universidad de San Carlos de Guatemala,- USAC, Centro de Estudios para la Conservación” CECON- . (2014). Plan maestro 2010-2014 Biotopo Protegido para la Conservación del Manatí “Chocón Machacas”. Borrador pendiente de aprobación, segunda actualización.
- Chen, J., Franklin, J. F. y Spies, T. A. (1992). Vegetation responses to edge environments in old-growth Douglas-Fir forests. Ecological Applications. Estados Unidos: The ecological Society of America.
- Environmental Systems Research Institute, Inc. ESRI, (2014). ArcGis, version 10.3 for desktop. Estados Unidos. Recuperado de http://www.esri.com/~media/Files/Pdfs/legal/section508/vpats/arcgis-for-desktop-and-extensions-10_3.pdf
- Farina, A. (2008). Principles and Methods in Landscape Ecology. Netherlands: Springer Science & Business Media Dordrecht. . DOI 10.1007/978-94-011-4082-9.
- Fernández-Coppel, I. A. (2001). El Satélite LANDSAT, Análisis visual de Imágenes Obtenidas del Sensor ETM+ Satélite LANDSAT. España: Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. Palencia. Universidad de Valladolid.
- García, C. S. (1996). Aproximación a la Ecología del Pantano de Confra del Caribe Guatemalteco. Guatemala: Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. Tesis.
- Gascon, C., Williamson, G. B. y Da Fonseca, G. A. B. 2000. Receding forest edges and vanishing reserves. Estados Unidos: Science 288(5470):1356-8.
- Goodwin Goodwin, B.J. (2003) Is landscape connectivity a dependent or independent variable? Estados Unidos: Landsc Ecology. DOI:10.1023/B:LAND.0000004184.03500.a

- Gurrutxaga San Vicente, M. (2003). Índices de fragmentación y conectividad para el indicador de biodiversidad y paisaje de la Comunidad Autónoma del País Vasco. España: Informe de la Dirección de la Dirección de Biodiversidad del Gobierno Vasco.
- Harris, L. D. (1988). Edge effects and conservation of biotic diversity. Estados Unidos: Society of Conservation Biology . DOI: 10.1111/j.1523-1739.1988.tb00196.x
- Huijser, M. Bergers, P. (2000). The effect of roads and traffic on hedgehog (*Erinaceus europaeus*) populations. Institute for forestry and nature research (IBN-DLO). The Netherlands: Departament of landscape ecology. DOI: 10.1016/S0006-3207(00)00006-9._
- Kihn, H. (2001). Peces. En: Pérez, et. al. 2001. Caracterización ecológica de los Biotopos Chocón Machacas, Izabal y Cerro Cahui. Guatemala: DIGI-USAC. (p.62).
- Lidicker, W. Z. J. y Peterson, J. A. (1999). Responses of Small Mammals to Habitat Edges. En Landscape Ecology of Small Mammals (eds Barrett, G.W. y Peles, J.D.), Estados Unidos: Springer Science+ Business Media New York. (Páginas 211-227). DOI 10.1007/978-0-387-21622-5_10
- López-Barrera, F. (2003). Edge effects in a forest mosaic: implications for the oak regeneration in the Highlands of Chiapas, Mexico. Reino Unido: Universidad of Edimburgo.
- Mallarach J. M. (2004). Análisis y diagnóstico de la conectividad ecológica y paisajística en el sector sur del Anillo Verde de Vitoria-Gasteiz. Estudios de opciones y alternativas para maximizar el beneficio social y ecológico de los enlaces potenciales del Anillo verde con los Montes de Vitoria. España.
- Mills, L. S. (1995). Edge Effects and Isolation: Red-Backed voles on forest remnants. Estados Unidos: Conservation Biology, Volume 9, No. 2.
- Ortiz Chour, B. H. (2008). Análisis del Cambio de la Cobertura de Bosque en las Reservas del Departamento de Izabal. Informe de Tesis. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
- Pérez, S. (2001). Caracterización ecológica de los Biotopos Chocón Machacas, Izabal y Cerro Cahuí, Petén. Guatemala: Centro de Estudios Conservacionistas CECON.
- Villar, L. M. (1998). La Flora Silvestre de Guatemala. Guatemala: Editorial Universitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Voss, R. S. y L. H., Emmons. (1996) Mammalian diversity in Neotropical lowland rainforest: A preliminary assesment. Estados Unidos: Bulletin of the Museum of Natural History. No.230.
- Sandoval Calderon, O. R. (1992). Determinación de mamíferos por medio de sus rastros en el Biotopo Chocón Machacas, Livingston, Izabal. Guatemala: Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Stamps, J. Buechner, M. Krishnan, V. (1987). The effects of Hábitat Geometry on Territorial Defense Costs; Intruder Pressuere in Bounded Habitats. Estados Unidos: Society for Integrative and Comparative Biology, American Zoologist. Volume 27, issue 2. DOI: <https://doi.org/10.1093/icb/27.2.307>
- Söndgerath, D. & Schröder B. (2002) Population dynamics and habitat connectivity affecting the spatial spread of populations – a simulation study. Paises Bajos: Landscape Ecology, Springer Netherlands. DOI: 10.1023/A: 1015237002145
- Taylor. M. (2017). NASA Landsat Science. Estados Unidos. <http://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-7/>
- Taylor, P. D, Fahrig, L. With, K. (2010). Landscape Connectivity: A Return to the Basics. Canada: Department of Biology, Acadia University, Wolfville, Cambridge University Press. DOI: 10.1017/CBO9780511754821