

Análisis de Conectividad Espacial y Fragmentación de la Ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta

Francia Nataly López Yela

Artículo científico presentado como requisito para optar al Título de Especialista en Geomática

Director:

Luis Giovanni Carvajal Rodríguez



Universidad Militar Nueva Granada

Facultad de Ingeniería – Especialización en Geomática

Bogotá, D.C.

2017

ANALISIS DE CONECTIVIDAD ESPACIAL Y FRAGMENTACION DE LA ECORREGIÓN CIÉNAGA GRANDE DE SANTA MARTA

Francia Nataly López Yela
Ingeniera Forestal
Bogotá D.C., Colombia
Natalyzepol@gmail.com

RESUMEN

Se determinó el estado actual de los ecosistemas naturales con respecto a los procesos de fragmentación y conectividad ecológica que evidencia el paisaje del complejo lagunar de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta - CGSM. El análisis se elaboró bajo criterios (métricas) de la ecología del paisaje, entendida como el estudio de las interacciones entre los componentes espaciales y temporales de los diferentes tipos de hábitat, influenciados por las actividades humanas.

Los procesos fragmentación y conectividad fueron analizados para las coberturas naturales entre bosque denso (manglar), arbustales y vegetación secundaria, identificadas en el área de estudio, mediante el uso de herramientas de Sistema de información geográfica como ArcGIS® y SAGAGIS®, aplicando metodologías de fragmentación del paisaje así como conectividad de menor costo según distancias con el módulo Spatial Analyst ArcGIS®.

Dentro de los insumos usados para evaluación de la conectividad entre ecosistemas, se tiene la capa de coberturas de la tierra, obtenida del Sistema de Información Ambiental Marina – SIAM, de proyecto UAC_Magdalena_Proyecto_CGSM-Cambios de la cobertura de manglar entre 2013 y 2015, la cual se homologó según la leyenda de coberturas de la tierra CORINE land cover adaptada para Colombia.

El análisis de fragmentación permitió identificar que el área de estudio se halla fragmentada, y que las áreas núcleo para ecosistemas arbolados, no alcanzan a representar el 1% del área de estudio. Por lo tanto, se diseñaron rutas de conectividad, como primer insumo para la conectividad estructural de este ecosistema lagunar, especialmente entre fragmentos arbolados.

Palabras clave: Fragmentación, Conectividad, Sistemas de información geográfica.

ABSTRACT

The current state of the natural ecosystems was determined with respect to the processes of fragmentation and ecological connectivity evidenced by the landscape of the lagoon complex of the Ciénaga Grande de Santa Marta - CGSM ecoregion. The analysis was elaborated under metric criteria of landscape ecology, understood as the

study of the interactions between the spatial and temporal components of the different habitat types, influenced by human activities.

Fragmentation and connectivity processes were analyzed for the natural coverages between dense forest (mangrove), shrubs and secondary vegetation, identified in the study area, using Geographic Information System tools such as ArcGIS® and SAGAGIS®, applying methodologies Landscape fragmentation as well as lower cost connectivity at distances with the ArcGIS® Spatial Analyst module.

Among the inputs used to assess the connectivity between ecosystems, we have the layer of land cover, obtained from the Marine Environmental Information System - SIAM, project UAC_Magdalena_Proyecto_CGSM-Changes in mangrove cover between 2013 and 2015, which was approved according to the legend of land cover CORINE land cover adapted for Colombia.

The study area is considered fragmented according the fragmentation analysis, as well as the core areas for wooded ecosystems which don't represent 1% of the study area. Therefore, connectivity routes were designed as the first input for the structural connectivity of this lagoon ecosystem, especially among wooded fragments.

Keywords: *Fragmentation, Connectivity, Geographic information systems.*

INTRODUCCIÓN

El complejo lagunar de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM, es conocido como el complejo lagunar más extenso de Colombia, es quizá uno de los ecosistemas más productivos de Colombia. Su oferta de servicios está asociada al desarrollo de diferentes actividades antrópicas que se surten de la productividad de sus recursos naturales, entre los que se destaca la pesca, la extracción de madera, el transporte fluvial y en sí de la innumerable oferta de servicios ecosistémicos que provee. El aprovechamiento de estos recursos ha generado fuertes impactos, siendo un área altamente afectada en la que derivan procesos de fragmentación [1].

Conocer el proceso y nivel de intervención que se ha originado en este complejo lagunar, permite diseñar rutas de conectividad entre coberturas arboladas, las cuales pueden ser manejadas de manera óptima bajo los criterios de ecología del paisaje [2]. A partir de las rutas de conectividad estructural, se puedan propiciar estudios para la recuperación de este ecosistema estratégico, considerando el concepto de fragmentación, las áreas núcleo así como el sistema socioeconómico.

Las herramientas SIG son muy útiles en el diseño de las rutas de conectividad, ya que permiten plantear y evaluar diversas variables en la identificación de las áreas con mejores oportunidades de conservación. En este estudio, se evalúa la conectividad de coberturas arboladas y por lo tanto, en el análisis espacial convergen diferentes aspectos que permiten identificar las mejores rutas para el manejo de paisaje, teniendo en cuenta el grado de fragmentación entre áreas boscosas y su importancia en el área de estudio.

1 MATERIALES Y METODOS

1.1 AREA DE ESTUDIO

1.1.1 Aspectos geográficos

El área de estudio comprende el complejo cenagoso de la Ciénaga Grande de Santa Marta en el departamento del Magdalena y el Atlántico, en este complejo la Ciénaga Grande de Santa Marta es la laguna costera más grande del Caribe Colombiano y es el elemento central que da origen al nombre al sistema.

Los elementos geomorfológicos que se incluyen son la Ciénaga Grande y los complejos de ciénagas y caños de la Isla de Salamanca y de Pajarales [3], como muestra en la Figura 1, con la ubicación de los diferentes complejos asociados.

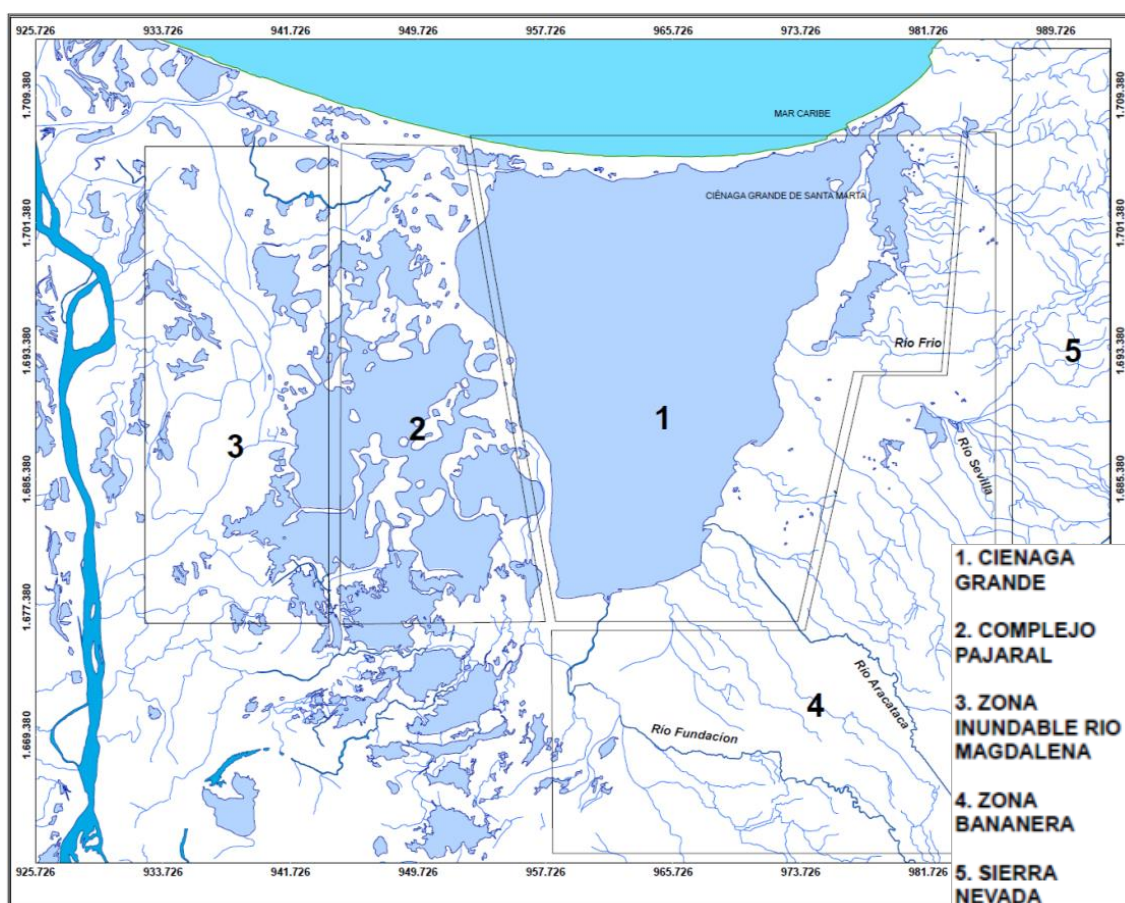


Figura 1 Zonas de interacción de la ciénaga Grande de Santa Marta
Fuente: Adaptado de Saldarriaga, 1991.

1.1.2 Condiciones climáticas

El análisis de la distribución espacio-temporal de la temperatura realizada por el IDEAM en el Atlas Climático de Colombia [4], se reporta que la temperatura registra valores mayores a 24 C presentando un clima cálido. La humedad promedio mensual

se mantiene entre 70 y 79%, lo cual representa un régimen bastante estable y constante. Los registros máximos indican que se pueden obtener valores de hasta el 87% en febrero; mientras que los mínimos que se dan son alrededor de 60% en febrero y marzo.

1.1.3 Coberturas de la tierra y vegetación asociada

En respuesta a las condiciones tanto climáticas como de edáficas, hidrológicas y geomorfológicas, se halla diversidad de vegetación, en el registro de las coberturas naturales arboladas características del área estudio, como los bosques densos inundables, los arbustales y la vegetación secundaria [3].

Para la cobertura de bosque denso, la composición florística está relacionada principalmente por especies como *Avicennia germinans* (mangle salado), *Rhizophora mangle* (mangle rojo) y *Laguncularia racemosa* (mangle bobo) [3].

Para el caso de la cobertura arbustal abierto esclerófilo, la especie dominante es *Prosopis juliflora* (Trupillo) cuya característica es el establecimiento de individuos en suelos pobres, con nivel freáticos bajos y carentes de materia orgánica [5].

En la cobertura de vegetación secundaria se encuentra un dominio de las especies que pertenecen a las Familias Leguminosae, Rubiaceae y Capparaceae. Entre estas se destacan por su abundancia: *Pithecellobium lanceolatum* (Buche), *Cordia alba* (Uvito), *Cynophalla hastata* (Arará), *Copernicia tectorum* (Palmiche), *Avicennia germinans* (Mangle salado), *Cynophalla* cf. *Verrucosa* (Bejuco), *Melicoccus bijugatus* (MamónCILLO), *Capparis indica* (Olivo), las cuales son indicadoras de ecosistemas, intervenidos, en el área de estudio esta cobertura se desarrolla en las zonas con influencia de drenajes de agua dulce.

1.2 METODOLOGÍA

A continuación se relacionan las tres fases generales, para el análisis de investigación, las cuales se detallarán a lo largo de este capítulo (Figura 2).

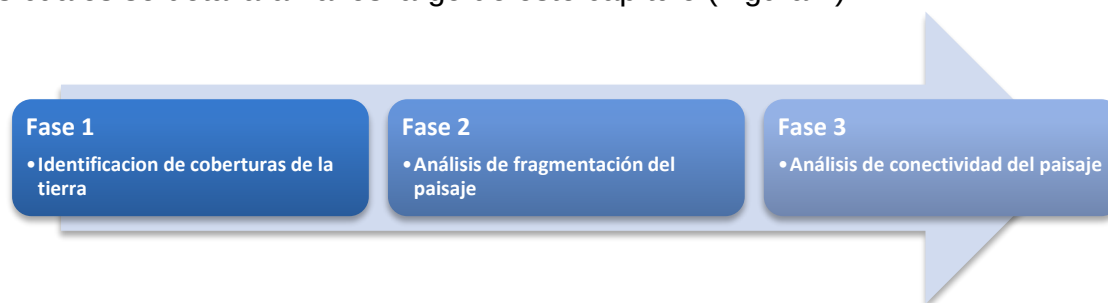


Figura 2 Identificación de fases para el desarrollo del proyecto de investigación

Fuente: Elaboración propia, 2016

1.2.1 Coberturas de la tierra

La cobertura, es la cubierta (bio) física que se observa sobre la superficie de la tierra y no solamente describe la vegetación y los elementos antrópicos existentes sobre esta, sino que también describen otras superficies terrestres como afloramientos rocosos y cuerpos de agua [6].

Las coberturas de la tierra proporcionan información fundamental para diversos procesos, entre estos: los mapas de ecosistemas, conflictos de uso del territorio, ordenación de cuencas y del territorio, seguimiento a la deforestación de los bosques, inventarios forestales e identificación de cambios en la cubierta vegetal, que implican procesos de fragmentación [7].

Para este estudio, el producto inicial de coberturas de la tierra se extrajo de la capa de cambios de la cobertura de manglar entre 2013 y 2015, como parte del análisis multitemporal de la CGSM INVEMAR, para el proyecto “Monitoreo de las condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta” [8]. El cual presenta las diferentes unidades diferenciables y los cambios observados con respecto a la pérdida o ganancia de bosques en el área de la CGSM.

A partir del insumo de coberturas, se realizó una reclasificación de estas unidades como se muestra en la Tabla 1, con el fin de estandarizar las coberturas de la tierra de acuerdo con la metodología establecida por la leyenda nacional de coberturas de la tierra CORINE land Cover adaptada para Colombia [7].

Tabla 1 Homologación de Coberturas de la Tierra según metodología CORINE Land Cover

Cobertura Clasificada INVEMAR-2015	Cobertura Reclasificada CORINE Land Cover
Bosque de Manglar	Bosque denso
Bosque de manglar (denso)	
Bosque de manglar (Poco denso)	
Bosque de manglar (Por verificar)	
Parches de manglar dispersos	
Bosque seco tropical	Arbustal
Vegetación xerofítica	
Vegetación rala de transición	Vegetación secundaria o en transición
Cuerpos de agua	Aguas continentales
Pastizal y Suelo Desnudo	Áreas abiertas, sin o con poca vegetación
Suelo Desnudo	
Bosque Seco Tropical y Cultivos	Áreas agrícolas heterogéneas
Playón	Áreas húmedas continentales
Vegetación Acuática	
Vegetación de áreas inundables	
Pantano sin cobertura	Áreas húmedas costeras
Playón y Vegetación Xerofítica	

Cobertura Clasificada INVEMAR-2015	Cobertura Reclasificada CORINE Land Cover
Cultivos	Cultivos permanentes
Área Urbana	Zonas urbanizadas

Fuente: Elaboración propia, 2016

1.2.2 Fragmentación del paisaje

La fragmentación del paisaje hace referencia a la división que presenta un hábitat originalmente continuo en relictos remanentes inmersos en una matriz transformada [9]- [10]. Este proceso es considerado como la etapa final de un proceso de alteración de un hábitat en el que la disminución de su superficie, el aumento del efecto borde y la subdivisión se hacen mayores hasta llegar al punto en el que el paisaje pierde su funcionalidad y se altera tanto su composición como estructura, dejando como resultado elementos aislados unos de otros [11].

El estudio estructural de fragmentación fue obtenido a partir de las herramientas estadísticas establecidas en el software especializado para análisis de la ecología del paisaje SAGA GIS® (Sistema Automatizado para el Análisis Geocientífico) un software SIG libre multiplataforma liberado bajo la GPL, creado por el Instituto de Geografía de Göttingen, Alemania (Versión 4.0).

El análisis estructural de fragmentación, radica en localizar la continuidad espacial de un ecosistema, en términos de su estructura, entendida como los elementos físicos que componen el paisaje. Para este análisis se utilizó el método introducido e implementado por SAGA GIS, con el cual se procede a identificar, cuantificar y espacializar las categorías de fragmentación para las coberturas arboladas, considerando su importancia ecológica en el área de estudio [12] - [13] (Ver Figura 3).

El método usado por SAGA mide la cantidad de celdas adyacentes a las coberturas arboladas dentro de una ventana de evaluación, determinando un grado de fragmentación, por lo tanto las categorías se clasifican a partir de la definición de la densidad Pf (proporción de celdas que contienen el ecosistema boscoso) y conectividad Pff (estima la probabilidad condicional de que, dado un pixel de bosque, su vecino es también bosque) [12].

Cuando Pff es mayor que Pf , implica que el bosque o la cobertura arbolada es agrupada; la probabilidad de que un vecino cercano también es bosque, es mayor que la probabilidad media que sea bosque dentro de la ventana o área de estudio. Inversamente, cuando Pff es más pequeño que Pf , la implicación es que lo que no es bosque se agrupa.

La diferencia ($Pf - Pff$) caracteriza a un gradiente de agregación de los bosques ("borde") para la formación de masas no boscosas ("perforada"). Cuando $Pff = Pf$, el modelo no puede distinguir los bosques o masas no forestales. El caso de $Pf = 1.0$ ("interior") representa una ventana por completo de bosque durante el cual debe ser $Pff 1.0$.

En la Figura 3, se observa la espacialización de las categorías de fragmentación, en donde el modelo utilizado para identificar categorías de fragmentación bosque, se desarrolla a partir de las mediciones de Pf y Pff en un área.

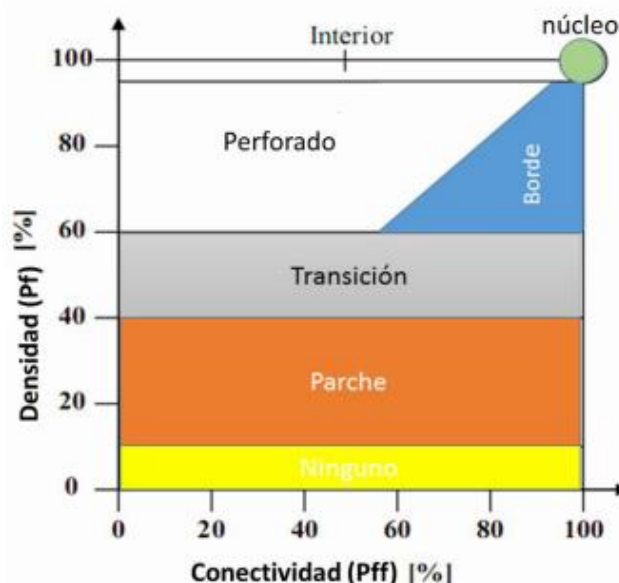


Figura 3 Identificación de categorías de fragmentación en un plano cartesiano

Fuente: [12] - [13]

En la Tabla 2, se muestra la descripción de las categorías de fragmentación alternativa implementadas en SAGA para el análisis a nivel espacial.

Tabla 2 Categorías de fragmentación alternativa implementadas en SAGA

CATEGORIA DE FRAGMENTACIÓN	DENSIDAD	DESCRIPCIÓN
Núcleo	Igual a 1	Densidad y Conectividad igual a 1
Interior	Mayor a 0,9	Densidad mayor a 0,90
Indeterminado	Mayor 0,6	Densidad igual a Conectividad
Perforado	Mayor 0,6	Densidad menor Conectividad mayor a 0
Borde	Mayor 0,6	Densidad menor Conectividad menor a 0
Transición	$0,4 < \text{Densidad} < 0,6$	
Parche	Menor a 0,4	
Ninguno	Menor a 0,2	

Fuente: Adaptado de Phua *et al.*, 2008, antes Riitters *et al.*, 2000.

1.2.3 Conectividad del paisaje

La conectividad términos de estructura puede ser entendida como la configuración espacial de diferentes tipos de hábitat y se conoce como el grado de conexión física entre los parches que conforman un paisaje, definida también por el número de enlaces funcionales entre parches del mismo tipo, donde cada parche está conectado o no basado en un criterio de distancia [13].

Para la evaluación de la conectividad, la opción Spatial Analyst de ArcGIS10.3, permitió hacer el análisis de superficies de costos menores o menores zonas de resistencia, en donde inicialmente se asignaron pesos porcentuales a las variables de coberturas (60%) y categorías de fragmentación (40%) a partir de la herramienta Overlay (Weighted overlay).

Para las coberturas se asignaron los pesos con los cuales se discriminó la facilidad o dificultad del trazado de las rutas para la conectividad, entendida como el costo de conectividad entre fragmentos arbóreos. Los pesos se califican de 0 a 9, siendo 1 la cobertura que presenta el menor costo de conectividad y calificación 9 para la cobertura con mayores resistencias para modelar esta conectividad (ver Tabla 3).

Tabla 3 Coberturas de la Tierra

Cobertura Reclasificada CORINE Land Cover	Calificación de pesos
Bosque denso	1
Arbustal	1
Vegetación secundaria o en transición	2
Aguas continentales	7
Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	9
Áreas agrícolas heterogéneas	7
Áreas húmedas continentales	6
Áreas húmedas costeras	7
Cultivos permanentes	8
Zonas urbanizadas	9

Fuente: Elaboración propia, 2016

Para las categorías de fragmentación los pesos se asignaron por el tipo de categoría de fragmentación, como se presenta en la **Tabla 4**. En donde las áreas núcleo son las que se buscan conectar como primera medida, y por tanto su calificación de peso es 1 ya que no presentan resistencia.

Tabla 4 Categorías de fragmentación

Categorías de fragmentación	Calificación de pesos
Núcleo	1
Interior	2
Indeterminado	No data
Perforado	4
Borde	5
Transición	6
Parche	7
Ninguno	8

Fuente: Elaboración propia, 2016

Posteriormente en el módulo cost distance de Arc GIS, se buscó indicar el área con dificultad o costo de resistencia de movimiento a través de ella, en seguida se usó la herramienta cost Back link, para seleccionar las áreas con los menores costos en la caracterización de las rutas más eficientes, las cuales fueron definidas con la

herramienta Cost Path, la cual produce un ráster de salida que registra la ruta o las rutas de menor coste desde las ubicaciones seleccionadas hasta la celda de origen más cercana definida dentro de la superficie de coste acumulativo, en términos de distancia (ver Figura 4).

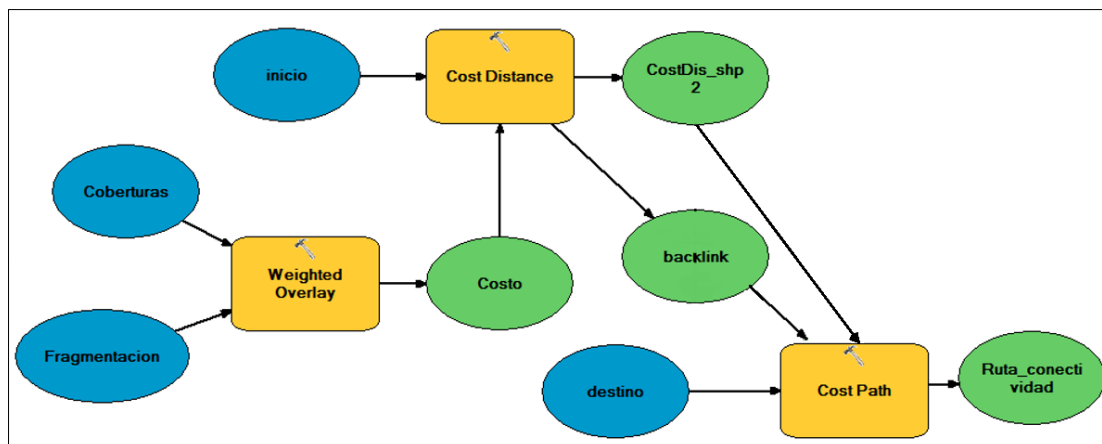


Figura 4 Metodología para elaboración de rutas de conectividad
Fuente: Elaboración propia, 2016

Con estos procedimientos se modelaron las rutas de menor costo (least cost path), considerando una grilla de fricción o resistencia donde cada celda indica la dificultad o costo de moverse a través de ella y busca el camino con la menor suma de fricciones denominada como la distancia de menor costo [14] [15].

2 RESULTADOS Y ANALISIS

2.1 MAPA DE COBERTURAS

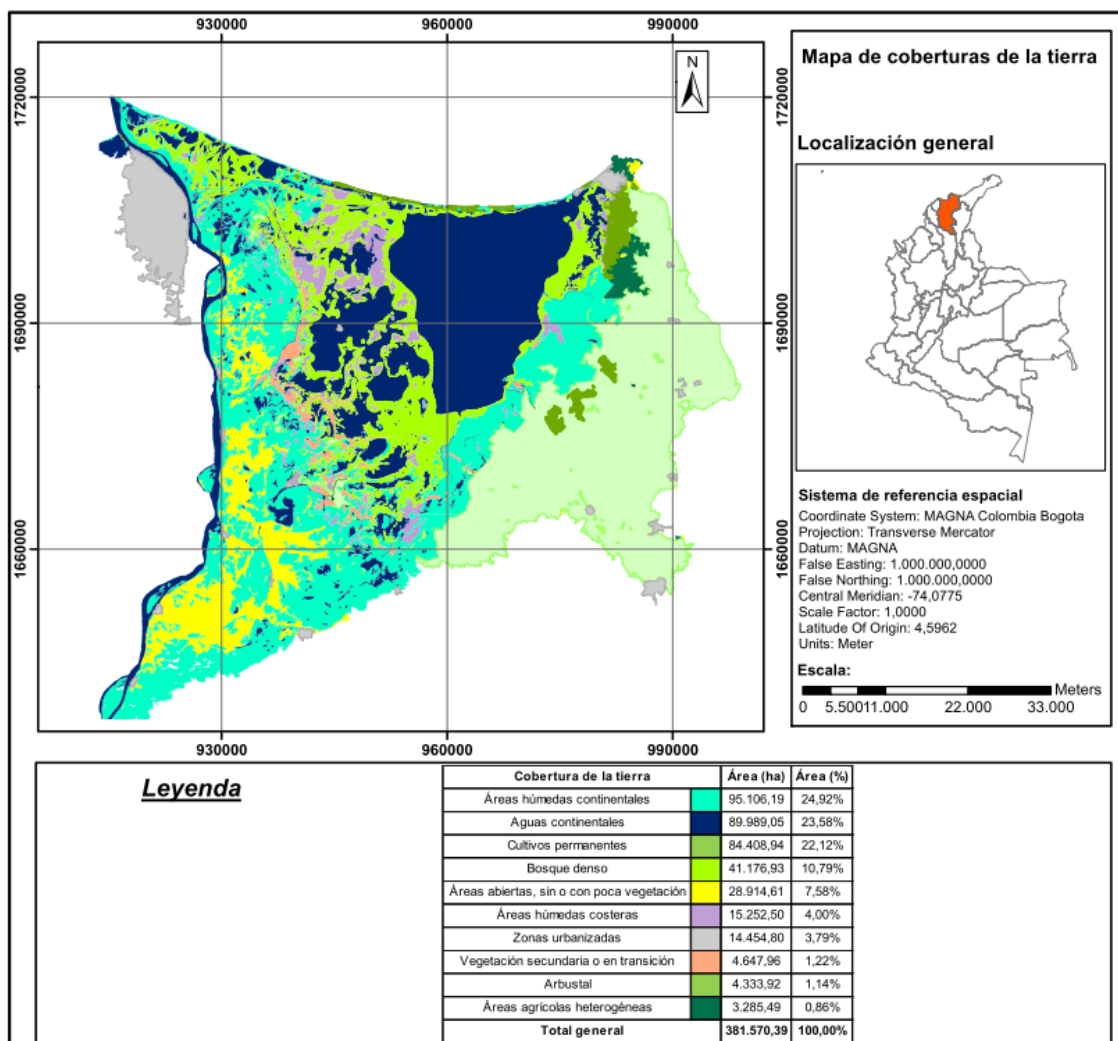
En la Tabla 5, se presenta el área de ocupación de las diferentes unidades de coberturas de la tierra según la leyenda CORINE Land Cover (CLC) adaptada para Colombia [7]. En la Tabla 5, se presenta el área de estudio discriminado por el tipo de cobertura.

Tabla 5 Coberturas de la tierra en la CGSM

Cobertura de la tierra	Área (ha)	Área (%)
Áreas húmedas continentales	95.106,19	24,92%
Aguas continentales	89.989,05	23,58%
Cultivos permanentes	84.408,94	22,12%
Bosque denso	41.176,93	10,79%
Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	28.914,61	7,58%
Áreas húmedas costeras	15.252,50	4,00%
Zonas urbanizadas	14.454,80	3,79%
Vegetación secundaria o en transición	4.647,96	1,22%
Arbustal	4.333,92	1,14%
Áreas agrícolas heterogéneas	3.285,49	0,86%
Total general	381.570,39	100,00%

Fuente: Elaboración propia, 2016

En el Mapa 1, se espacializan los diferentes tipos de cobertura, en dónde las áreas húmedas continentales son las que presentan la mayor área de ocupación y los arbustales y áreas agrícolas heterogéneas son las coberturas que están menos representadas.



Mapa 1 Coberturas de la tierra en la CGSM

Fuente: Elaboración propia, 2016

2.2 FRAGMENTACION

La síntesis de los resultados generados en las categorías a nivel espacial para el 2016, permitió espacializar las categorías de fragmentación y realizar un análisis visual del estado de los ecosistemas naturales de arbustales, bosques (manglar) y vegetación secundaria con respecto a la oferta de áreas potenciales para la conectividad ecológica.

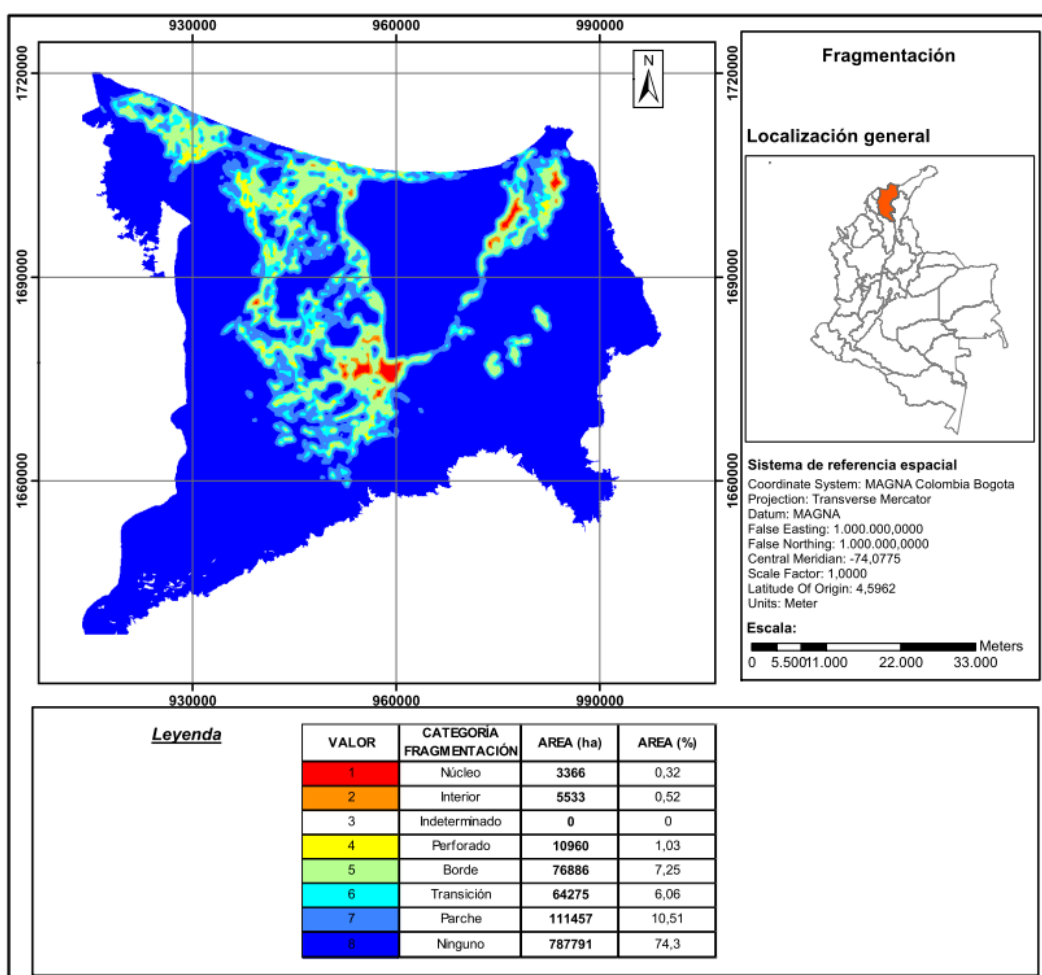
En la Tabla 6, se muestra el área que ocupa cada una de las categorías de fragmentación, en la que las áreas núcleo solo están representadas con un 0,32% del área de estudio.

Tabla 6 Síntesis de las categorías de fragmentación a nivel espacial para los ecosistemas analizados en el área de estudio

CATEGORIA	ID	Nº DE CELDAS	AREA (ha)	AREA (%)
Núcleo	1	3366	3366	0,32
Interior	2	5533	5533	0,52
Indeterminado	3	0	0	0,00
Perforado	4	10960	10960	1,03
Borde	5	76886	76886	7,25
Transición	6	64275	64275	6,06
Parche	7	111457	111457	10,51
Ninguno	8	787791	787791	74,30

Fuente: Elaboración propia, 2016

En el Mapa 3, se presenta el mapa con las categorías de la fragmentación en el área de estudio. En la que se evidencia que el paisaje en general se encuentra en un estado salpicado, es decir que el ecosistema ha sido destruido entre un 10 a 40% [16], por lo cual se deben seguir tomando medidas específicas encaminadas a la protección de los bosques que contemplen su incremento en tamaño y conectividad.



Mapa 2 Categorías de fragmentación

Fuente: Elaboración propia, 2016

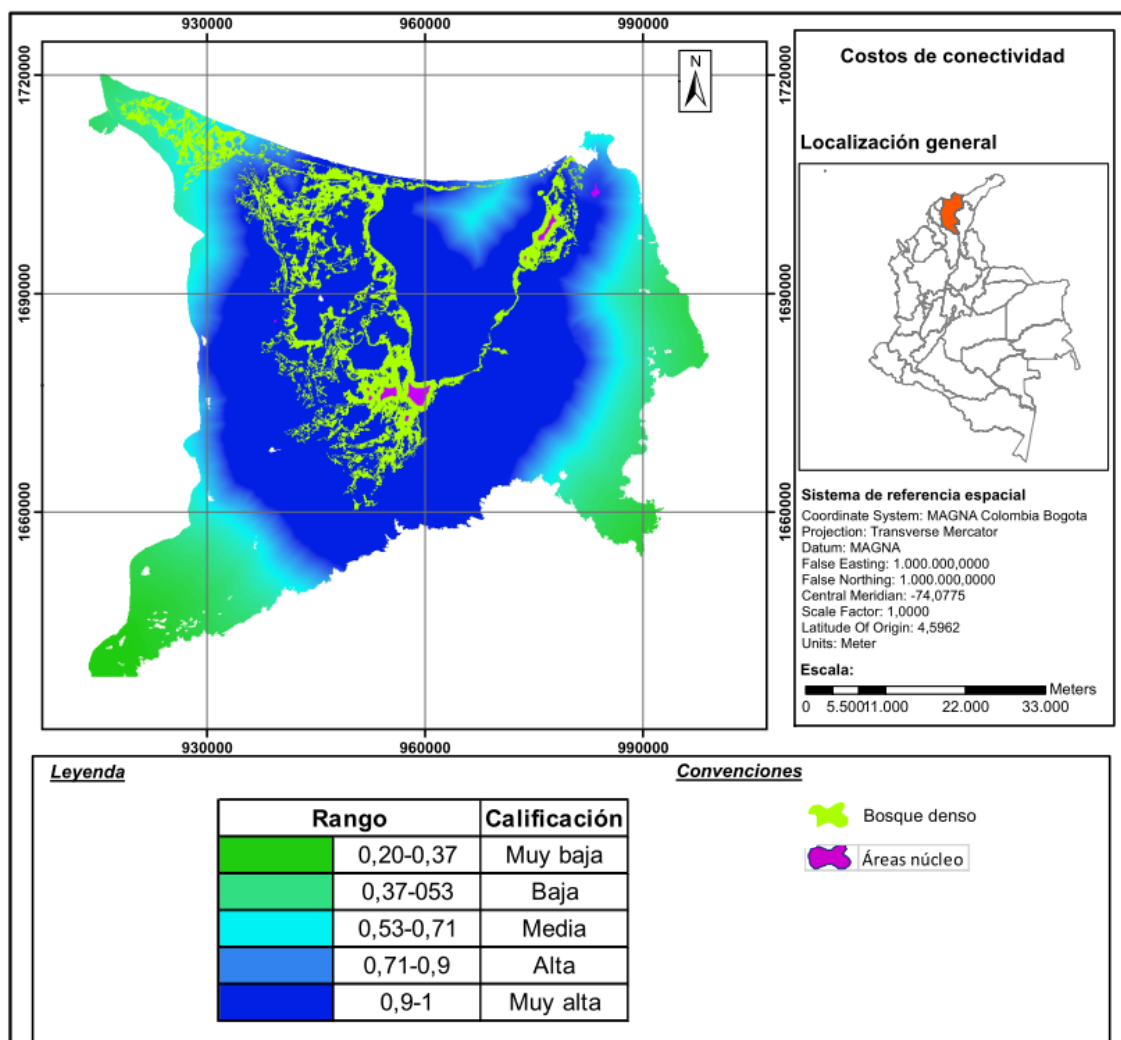
La fragmentación se produce cuando enormes segmentos de vegetación se eliminan, dando como resultado numerosos parches derivados de la matriz de bosque, más pequeños y aislados unos de otros, lo que implica una disminución en el tamaño de los fragmentos remanentes de los ecosistemas boscosos [17]. Generalmente la fragmentación se asocia a efectos negativos por las acciones antrópicas, que conllevan a una modificación intensa de la matriz original del territorio, y se traduce en una pérdida y transformación de los hábitats naturales. A partir de la fragmentación se afecta la movilidad de especies en el área y la disminución de poblaciones e incluso su extinción, afectando severamente la biodiversidad, particularmente en ambientes frágiles como los bosques húmedos tropicales.

Cuando un ecosistema presenta mayor intervención, conlleva a su fragmentación, siendo uno de los procesos más notables de la modificación del paisaje original, lo cual influye de forma directa en los procesos ecológicos que acontecen a lo largo del paisaje. En el momento que las tierras agrícolas y ganaderas modifican y separan los fragmentos de ecosistemas naturales, estos fragmentos son ecológicamente análogos a islas, como lo propone la teoría de biogeografía de islas [18], entonces entre mayor distancia tengan las islas se afecta la supervivencia de las poblaciones bióticas, al afectar sus corredores de movilidad. De acuerdo a esto, una de las medidas para mitigar la fragmentación, resulta de la implementación de acciones de conectividad entre fragmentos boscosos.

2.3 CONECTIVIDAD

Se buscó que las áreas núcleo halladas mediante el análisis de fragmentación, sean usadas como sitios potenciales para propiciar la conectividad. Para lo cual, se hace un cálculo de distancias euclidiana, la cual identifica la distancia desde cada celda hasta la celda de origen más cercano, generando varios radios de distancias. El análisis de menor costo realizado, se analizó de manera general sin aplicar la metodología para una especie en particular, ya que para ello se requería hacer un análisis más detallado de las condiciones más adecuadas del hábitat y supervivencia de alguna especie en particular, lo cual no es el objeto del estudio.

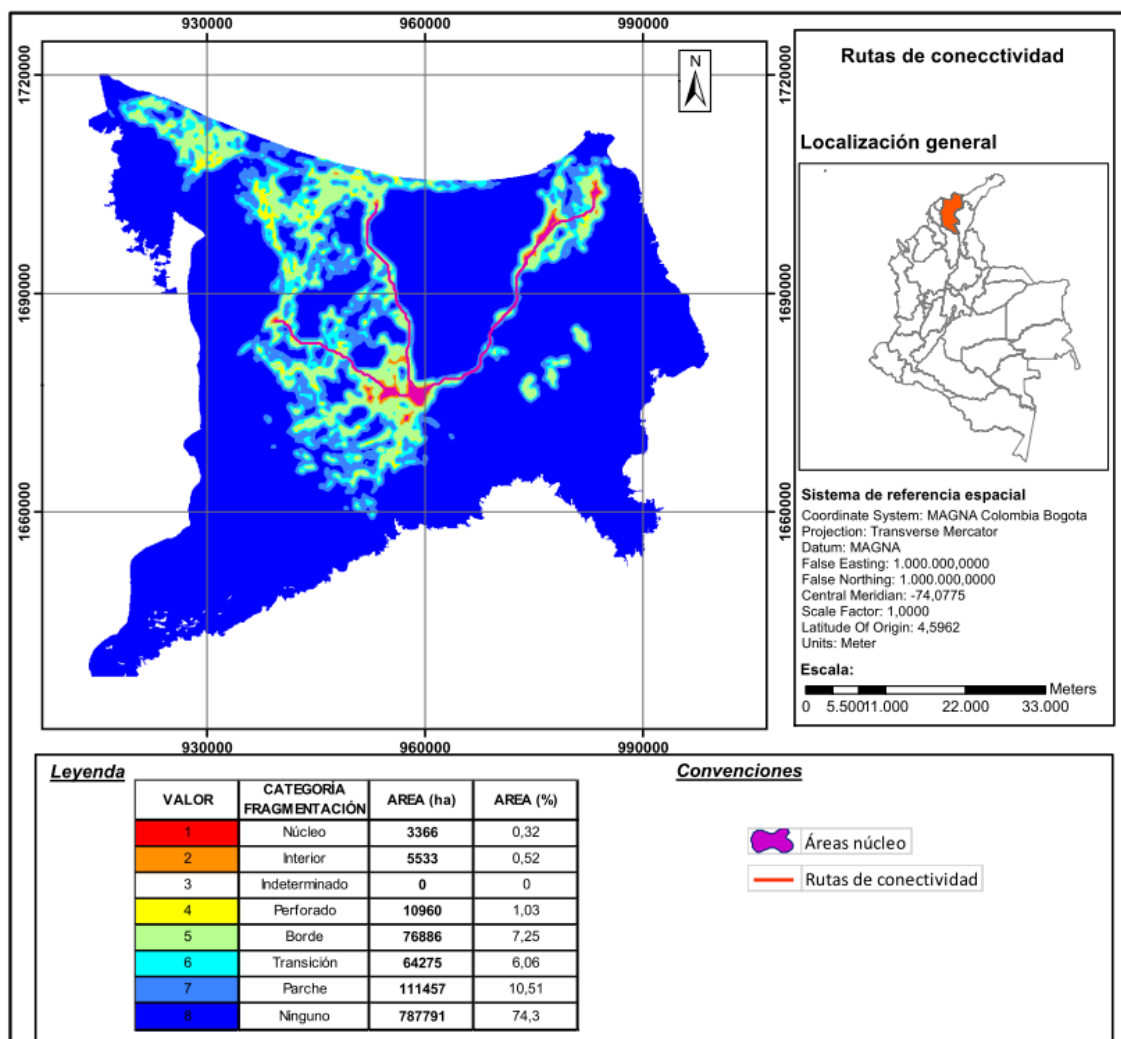
En el Mapa 3, se presenta la distribución de los rangos en donde es posible realizar los programas de conectividad, siendo las categorías de mayor valor aquellas más factibles, al encontrarse dentro del área de influencia de los núcleos, de acuerdo a la distancia entre fragmentos. Mientras que las zonas con menores valores y que van cambiando su tonalidad a colores claros (verdes) presentan menores probabilidades de conexión, teniendo en cuenta que los fragmentos a conectar se sitúan cada vez más lejos de los fragmentos de interés, especialmente de aquellos núcleos de la cobertura de bosque denso bajo inundable.



Mapa 3 Costos para la conectividad de áreas núcleo con la cobertura de bosque denso (manglar)
Fuente: Elaboración propia, 2016

Es importante tener en cuenta que ésta propuesta se basa específicamente en conectividad estructural o espacial, la cual se refiere a las relaciones de continuidad y adyacencia entre los fragmentos de un tipo de cobertura [19].

En el Mapa 4, se presentan las rutas de conectividad entre fragmentos boscosos, derivados de las áreas núcleo bajo el análisis de fragmentación. Estas rutas de conectividad no presentan un análisis complementario de niveles de salinización.



Mapa 4 Ruta de menor costo para la conectividad de áreas núcleo

Fuente: Elaboración propia, 2016

Este método ofreció una base cuantitativa para el seguimiento de la conectividad estructural, desde un enfoque exploratorio y descriptivo el cual puede complementarse en otros estudios con un análisis de conectividad funcional, lo cual integraría las relaciones espaciales en búsqueda de la capacidad de movilidad de las especies de la flora y fauna, así como también de sus flujos ecológicos. Si bien este modelo de conectividad presenta un primer acercamiento a las áreas en las que se pueden enfocar programas de restauración y/o conservación de ecosistemas, se deben considerar también aspectos antrópicos como las rutas de pesca y rutas de transporte fluvial, las cuales limitan la conectividad entre fragmentos boscosos. Aspectos abióticos como salinidad, contaminación y nivel de agua, ya que para el establecimiento de especies arbóreas, se deben evaluar los requerimientos específicos de cada una para su éxito.

3 CONCLUSIONES

La combinación de diversas fuentes de información como los sensores remotos y los Sistemas de Información Geográfica, se han convertido en herramientas para el análisis del estado de las coberturas de la superficie terrestre y el análisis del patrón espacial del paisaje, en aspectos variables como la composición y distribución de los ecosistemas, permitiendo identificar los factores incidentes en los resultados obtenidos como es el caso de la fragmentación y las posibilidades de encontrar métodos para su recuperación como las propuestas de rutas de conectividad estructural.

La fragmentación generalmente se asociada a efectos negativos por las acciones antrópicas sobre un territorio, estos se traducen en una pérdida y transformación de los hábitats naturales. A partir de la fragmentación se afecta la movilidad de especies en el área y la disminución de poblaciones e incluso su extinción, afectando severamente la biodiversidad, particularmente en ambientes frágiles como los bosques. En el área de estudio se encontró que los ecosistemas boscosos se hallan salpicados, lo que se traduce en una afectación entre un 10 a 40%, por lo cual se deben seguir tomando medidas específicas encaminadas a la protección de los bosques que contemplen su incremento en tamaño y conectividad.

El análisis de las rutas de conectividad estructural, únicamente contempla criterios de cobertura y grado de fragmentación, pero se debe integrar a este análisis la influencia antrópica como rutas de pesca, rutas de transporte, zonas de disposición de residuos o la presencia de cultivos y plantaciones, identificadas de manera sinérgica con un componente social. Estos criterios son importante porque la comunidad es determinante en las condiciones y transformaciones del paisaje, llegando a limitar en muchas zonas las áreas de conectividad natural o modificando las planteadas.

Las herramientas SIG han permitido jerarquizar aspectos que favorecen la conectividad de fragmentos en un escenario de recuperación, si se integran al modelo variables adicionales se puede obtener mayor confianza en el éxito de un proyecto de recuperación de áreas intervenidas. Se considera un avance al integrar conocimientos bióticos con cartográficos, pero se reconoce la necesidad de integración de otras disciplinas para la implementación de programas de recuperación paisajística.

Los resultados obtenidos a partir de las herramientas SIG facilitan el análisis para la toma de decisiones respecto a los programas de recuperación, en esta medida los resultados deben ser reinterpretados para tomar decisiones que sean aplicables a la realidad del terreno, en donde interactúan muchos factores que pueden potenciar o detener cualquier ejecución de un proyecto. Como en este estudio, en donde la modelación de rutas de menor costo para la conectividad estructural entre coberturas arboladas, permiten establecer un escenario base para la implementación de futuros planes de la recuperación de esta importante Ciénaga.

4 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Aguilera, María, «Habitantes del agua: El complejo lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta,» Banco de la República, Bogotá, D.C, 2011.
- [2] Turner, Monica, «Spatial and temporal analysis of landscape patterns,» *Landscape Ecology*, vol. 4, nº 1, pp. 21-30, 1990.
- [3] S. Vilardy y J. González, «Repensando la Ciénaga: Nuevas miradas y estrategias para la sostenibilidad en la Ciénaga Grande de Santa Marta.,» Universidad del, Santa Marta, Colombia., 2011.
- [4] IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, «Atlas Climatológico de Colombia.,» IDEAM, Bogotá, D.C., 2005.
- [5] Nobre, F.V., «A algarobeira no Nordeste brasileiro, especialmente no Rio Grande do Norte.,» EMPARN, Natal., Natal, 1982.
- [6] IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, «Coberturas de la tierra,» IDEAM, Bogotá D.C, 2012.
- [7] IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, «Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para,» IDEAM, Bogotá, D.C, 2010.
- [8] INVEMAR, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, «UAC_Magdalena_Proyecto_CGSM-Cambios de la cobertura de manglar entre 2013 y 2015,» Invemar, Santa Marta, 2015.
- [9] IAvH, Instituto Alexander von Humboldt, Sistema de Indicadores de Seguimiento de la Política de Biodiversidad, Bogotá: Unidad de Sistemas de Información Geográfica SIG, 2002.
- [10] Fahrig, L, «Effects of habitat fragmentation on biodiversity,» vol. Rev. Ecol. Evol. Syst, nº 34:487-515, 2003.
- [11] EUROPARC, Conectividad ecológica y áreas protegidas. Herramientas y casos prácticos, Madrid, España: FUNGOBE, 2009.
- [12] Riitters, Kurt; Wickham, James; O'Neill, Roberto; Jones, Bruce; Smith, Elizabeth., «Global-scale patterns of forest fragmentation,» *fragmentation.*, vol. 4 (2), nº 3, pp. art-3, 2000.
- [13] H. Bennett, «Linkages in the landscape role of corridors and connectivity in wildlife conservation.,» IUCN, Switzerland and Cambridge, 1999.
- [14] Adriaensen, F; Chardon, J. P; De Blust, G.; Swinnen, E.; Villalba, S.; Gilinck, H.; Matthysen, E., «The application of least cost modeling as a functional landscape model.,» 233 – 247, p. 233 – 247, 2003.
- [15] Hargrove, William; Hoffman, Forrest; Efroymson, Rebecca., «A Practical Map-Analysis Tool for Detecting Potential Dispersal Corridors,» *Landscape Ecology*, pp. 361-373, 2005.
- [16] Chassot, Olivier; Morera, Carlos., Corredores Biológicos: Acercamiento conceptual y experiencia en América, San José: Imprenta Nacional, 2007.

- [17] Burel, Françoise; Baudry, Jacques, «Ecología del Paisaje. Conceptos, Métodos y Aplicaciones,» Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 2002.
- [18] McArthur, R.H.; Wilson, E. O, «The theory of island biogeography.,» Princeton University Press, , Princeton (New Jersey),USA. , 1967.
- [19] Taylor, Philip; Fahrig, Lenore; With, Kimberly, «Landscape connectivity: A return to basics.,» *Connectivity Conservation*, pp. 29-43., 2006.