



Esquema de Retribución por Servicios Ambientales

(ERSA)

**para la Conservación de los Bosques y
Gestión de Fuentes Hídricas en la
jurisdicción de CORPOCHIVOR**



Análisis de conectividad de ecosistemas



ASAMBLEA CORPORATIVA

CARLOS ANDRES AMAYA RODRIGUEZ
Gobernador de Boyacá
CARLOS ALBERTO ACEVEDO VELASQUEZ
Alcalde Municipio de Almeida
JULIO CESAR NEIRA CASTRO
Alcalde Municipio de Boyacá
PEDRO MIGUEL LOPEZ VELA
Alcalde Municipio de Campohermoso
LUIS CARLOS CRUZ LOPEZ
Alcalde Municipio de Ciénega
FRANCISCO JAVIER ROA MILLAN
Alcalde Municipio de Chinavita
CARLOS HERNANDO PERILLA ALDANA
Alcalde Municipio de Chivor
JULIO ERNESTO SANABRIA GUERRA
Alcalde Municipio de Garagoa
EDWIN CRISANTO BOHORQUEZ MORA
Alcalde Municipio de Guateque
BENJAMIN EDILSON PIÑEROS ALFONSO
Alcalde Municipio de Guayatá
HUGO ALEXANDER REYES PARRA
Alcalde Municipio de Jenesano
MELQUISEDEC SALGADO ZUBIETA
Alcalde Municipio de La Capilla
NABOR FELIPE LONDOÑO GORDILLO
Alcalde Municipio de Macanal
HERIBERTO SUAREZ MUÑOZ
Alcalde Municipio de Nuevo Colón
JOSE JACINTO MORALES SANABRIA
Alcalde Municipio de Pachavita
OMAR JUNCO ESPINOSA
Alcalde Municipio de Ramiriquí
MILTON OSWALDO FERNANDEZ
Alcalde Municipio de San Luis de Gaceno
RUBEN SANCHEZ NIÑO
Alcalde Municipio de Santa María
GERMAN RICARDO ROBAYO HEREDIA
Alcalde Municipio de Somondoco
CAMILO SASTOQUE LEIVA
Alcalde Municipio de Sutatenza
JHON ALEXANDER LOPEZ MENDOZA
Alcalde Municipio de Tenza
LUIS ALEJANDRO MILLAN DIAZ
Alcalde Municipio de Tibaná
YOANI VELA BERNAL
Alcalde Municipio de Turmequé
ELIS ALEXANDER MORENO SALAMANCA
Alcalde Municipio de Ubita
CARLOS JULIO MELO ALDANA
Alcalde Municipio de Ventaquemada
ALFREDO CARO PUIN
Alcalde Municipio de Viracachá

CONSEJO DIRECTIVO

JUAN MANUEL SANTOS CALDERON
Presidente de la República de Colombia
OSCAR MAURICIO BARRETO BOHORQUEZ
Representante del Presidente de la República
LUIS GILBERTO MURILLO
Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible
EMMA JUDITH SALAMANCA GUAUQUE
Delegada del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
CARLOS ANDRES AMAYA RODRIGUEZ
Gobernador de Boyacá
FABIO ALBERTO MEDRANO REYES
Delegado del Gobernador de Boyacá
LUIS CARLOS CRUZ LOPEZ
Alcalde Municipio de Ciénega
HERIBERTO SUAREZ MUÑOZ
Alcalde Municipio de Nuevo Colón
MILTON OSWALDO FERNANDEZ ALFONSO
Alcalde Municipio de San Luis de Gaceno
CAMILO SASTOQUE LEIVA
Alcalde Municipio de Sutatenza
RAFAEL RUIZ BUITRAGO
Representante Sector Privado
DAVID APARICIO AVILA
Representante Sector Privado
MARÍA ANDREA MEDINA GARCÍA
Representante ONG
HENRY CUESTA ALFONSO
Representante ONG

DIRECTIVOS CORPOCHIVOR

FABIO ANTONIO GUERRERO AMAYA
Director General
DAMARIS ASBLEIDY BUSTOS ALDANA
Secretaria General
OSCAR HERNANDO BERNAL VARGAS
Subdirector de Planeación y Ordenamiento Ambiental del Territorio
ANA CELIA SALINAS MARTIN
Subdirectora de Gestión Ambiental
OMAR HERNANDO FORERO GAMEZ
Subdirector Administrativo y Financiero
JOSE MANUEL ROJAS BERMUDEZ
Jefe Oficina de Control Interno
ANA LILIANA SUÁREZ HERRERA
Revisora Fiscal

María del Carmen Hernández – Supervisora Contrato para la Administración de Proyectos No.237–15

Néstor Alexander Valero Fonseca – Coordinación Proyecto 202: "Protección, Manejo Sostenible e Incremento de la Oferta Forestal"

Cristian Fernando Martin Lesmes – Comunicaciones



Esta publicación ha sido generada en el marco del Contrato para la Administración de Proyectos No.237–15, suscrito entre Corpochivor y South Pole Carbon Asset Management SAS, gracias a la cofinanciación del Fondo de Compensación Ambiental -FCA- del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en desarrollo del proyecto “Desarrollo de Estrategias de Gobernanza Forestal para la Gestión y Monitoreo de las Coberturas Boscosas de la Jurisdicción de CORPOCHIVOR”.

Preparado por:

South Pole Carbon Asset Management SAS en consorcio con Centro de Investigación en Ecosistemas y Cambio Global -Carbono & Bosques-

Víctor David Giraldo, Director de Proyecto Forestales y Cambio en el Uso del Suelo
+ (57) 300 7048 523 · v.giraldo@thesouthpolegroup.com ·

Catalina Becerra & Beatriz Zapata, Consultores

Medellín, 14 de diciembre de 2017

Revisión Técnica Corpochivor

Claudia Catalina Rodríguez Lache– Coordinación proyecto 103: Gestión integral del territorio

Jaime Mauricio Otálora Aldana– Coordinación proyecto 201: Protección, recuperación y manejo de la biodiversidad y de los ecosistemas estratégicos

Jhon Fredy Vallejo Buitrago – Coordinación proyecto 401: Gestión para el desarrollo sostenible en los sectores productivos de la jurisdicción.

Karen Dayana Perilla Novoa – Coordinación proyecto 301: Gestión integral del recurso hídrico

María del Carmen Hernández – Supervisora Contrato para la Administración de Proyectos No.237–15

Néstor Alexander Valero Fonseca – Coordinación Proyecto 202: "Protección, Manejo Sostenible e Incremento de la Oferta Forestal"

Wilmer Harvey Vallejo Arévalo – Operador Sistema de monitoreo de bosques y áreas de aptitud forestal y generar información temática y cartográfica

Cítese como:

2017, Corporación Autónoma Regional de Chivor, Corpochivor; South Pole Carbon Asset Management SAS en consorcio con Centro de Investigación en Ecosistemas y Cambio Global -Carbono & Bosques; Esquema de Retribución por Servicios Ambientales (ERSA) para la gestión de los bosques y la conservación de las fuentes hídricas en la Jurisdicción de CORPOCHIVOR.

Todos los derechos reservados. Los textos pueden ser usados parcial o totalmente citando la fuente. Su reproducción total debe ser autorizada por la Corporación Autónoma Regional de Chivor, Corpochivor.

Garagoa-Boyacá
Colombia
2017

Tabla de Contenido

Introducción	7
1 Zona de estudio	8
2 Metodología	10
2.1 Terminología de paisaje	11
2.2 Proceso de análisis	11
2.3 Descripción de los índices	12
2.3.1 Índices Binarios	12
NL (Número de conexiones):	12
NC (Número de componentes):	12
IIC (Índice integrado de conectividad):	13
2.3.2 Índices Probabilísticos	13
2.4 Interpretación de los índices	13
3 Resultados	15
3.1 Índices binarios	15
3.1.1 Análisis de componentes	15
3.1.2 Análisis del IIC	15
3.1.3 Análisis del IIC por fracciones:	19
3.2 Índices probabilísticos	23
4 Conclusiones	24
5 Bibliografía	25
Anexos	26

Lista de tablas

Tabla 1. Muestra de los resultados arrojados por CONEFOR (Importancia de cada nodo de acuerdo al índice evaluado.....	26
---	----

Lista de mapas

Mapa 1. Zona de estudio. Jurisdicción de Corpochivor	9
Mapa 2. Distribución de los componentes en la jurisdicción de CORPOCHIVOR. Los números se refieren al componente al que pertenece cada nodo	17
Mapa 3: Resultados jerarquización de parches de bosque de acuerdo al dIIC total. Los círculos más grandes indican mayor importancia del parche con respecto a la conectividad total del paisaje.	18
Mapa 4: Resultados IIC-Intra.....	20
Mapa 5: Resultados IIC-conexión.....	23

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación de los diferentes estudios realizados con el software Conefor	10
---	----

Siglas, acrónimos y abreviaturas

AWF	Flujo Ponderado por Área
<i>dI</i>	Términos relativos
EI F	Flujo o intercambio continuo
IIC	Índice Integrado de Conectividad
NC	Número de Componentes
NL	Número de Conexiones
PC	Probabilidad de Conexión
<i>VarI</i>	Términos absolutos

Introducción

Actualmente los ecosistemas boscosos están siendo rápidamente convertidos a grandes extensiones de cultivos o pastizales. Esto conduce a que cada vez más, se pase de una matriz de bosque con parches de cultivos o construcciones, a una matriz de pastos y/o cultivos, con parches de bosque. Procesos como la expansión de la frontera agropecuaria y la tala ilegal de bosques, generan eventualmente paisajes fragmentados, los cuales poco a poco pierden su funcionalidad ecológica en el paisaje con serias implicaciones para las especies animales y vegetales que conviven en el bosque.

Existen, sin embargo, casos en los que es posible garantizar la conectividad del paisaje, definida como el grado en el cual la configuración del paisaje facilita el movimiento de especies y otros flujos ecológicos (Taylor, Fahrig, & Henein, 1993). Mantener la conectividad del paisaje es de vital importancia para la permanencia de la vida animal, los flujos ecológicos y muchas otras funciones del paisaje (Santos & Tellería, 2006). Elementos propios del parche, como su área total, diversidad biológica, forma, y posición en la matriz de parches, pueden contribuir a mejorar la conectividad del paisaje. Sin embargo, el desconocimiento de la red de parches en el sistema y de la importancia de cada uno en cuanto a conectividad, no permite en ocasiones priorizar las zonas más importantes para implementar acciones de restauración y/o conservación que mejoren las funciones ecológicas del entorno y por tanto la degradación del ecosistema es cada vez mayor.

En la zona de jurisdicción de Corpochivor no se han implementado hasta el momento, estudios que permitan identificar las zonas boscosas de mayor importancia para la conectividad del ecosistema. El presente trabajo, pretende identificar estas zonas y finalmente definir algunos lineamientos para la toma futura de decisiones sobre conservación y/o restauración del recurso boscoso en la región. El análisis se realizó principalmente con el software Conefor, el cual fue diseñado para cuantificar la importancia de los parches de hábitat en la conectividad del paisaje

1 Zona de estudio

El análisis de conectividad se realizó para toda la jurisdicción de Corpochivor, la cual comprende 25 municipios del departamento de Boyacá (Mapa 1).

El objetivo principal de este estudio es identificar las áreas de bosque con mayor importancia para la conectividad general del paisaje (teniendo en cuenta la calidad de cada parche y su relación con los demás) e identificar igualmente, aquellas zonas potenciales para restauración o reforestación debido a su posición estratégica en la región.



Mapa 1. Zona de estudio. Jurisdicción de Corpochivor

2 Metodología

El análisis de conectividad se desarrolló con el software libre Conefor2,6¹. Este software fue desarrollado en la universidad de Lleida (España) para cuantificar la importancia de los parches de hábitat en la conectividad del paisaje a través de representaciones gráficas y diferentes índices de conectividad.

El software Conefor permite cuantificar la importancia de parches de hábitat para la conectividad del paisaje en relación con su área y conexión con otros parches, así como evaluar el impacto del cambio en el uso del suelo sobre la conectividad del paisaje. Conefor incluye índices funcionales de conectividad sobresalientes por su rendimiento como el Índice Integrado de Conectividad (IIC) y la Probabilidad de Conexión (PC), los cuales se basan en gráficos espaciales y en el concepto de disponibilidad de hábitat. Este concepto consiste en considerar un parche de hábitat como un espacio donde la conectividad ocurre, integrando los recursos existentes en el parche con los recursos disponibles a través de las conexiones entre parches. Así, en este software, la conectividad es considerada (y medida) como la propiedad del paisaje que determina la cantidad de hábitat disponible, sin importar si los recursos provienen de un parche de gran área, de la posibilidad de conexión con otros parches, o de una combinación de ambos factores².

Conefor ha sido utilizado en un gran número y variedad de aplicaciones, las cuales incluyen el soporte en las decisiones de planes de manejo y conservación, investigaciones científicas sobre el efecto de la conectividad en los diferentes procesos ecológicos, y reportes oficiales sobre los indicadores de biodiversidad y estudios de la conectividad en áreas protegidas, de entidades como la Comisión Europea, la Agencia Ambiental Europea y el Programa Ambiental de la Naciones Unidas³. En el siguiente mapa se muestra la ubicación aproximada de los estudios realizados con este software.



Figura 1. Ubicación de los diferentes estudios realizados con el software Conefor

Fuente: <http://www.conefor.org/applications.html>

¹ Saura, S. & J. Torné. 2009. Conefor Sensinode 2.2: a software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. *Environmental Modelling & Software* 24: 135-139.

² Manual del usuario Conefor 2.6. Disponible en: <http://www.conefor.org/coneforsensinode.html>

³ Aplicaciones de Conefor. Disponible en: <http://www.conefor.org/applications.html>

2.1 Terminología de paisaje

El programa Conefor utiliza la siguiente terminología:

Nodo: parches de hábitat viable (en este caso bosque) rodeados de hábitat no viable (coberturas no boscosas como pastos, cultivos o construcciones). Cada nodo está compuesto por un fragmento individual de bosque.

Enlace: conexión entre nodos que representa la habilidad potencial de un organismo para dispersarse directamente entre dos parches. Esta conexión puede ser física (una conexión directa como un corredor entre dos parches) o funcional (dentro de los límites de dispersión de un organismo en particular o un conjunto de organismos). Estos enlaces se consideran en CONEFOR como simétricos, es decir, la conexión permite el flujo de poblaciones en ambas direcciones.

Trayecto: ruta a lo largo de nodos conectados en los cuales ningún nodo es visitado más de una vez. La longitud del trayecto puede ser medida en unidades de distancia (p. ej. km) o por distancia topológica (p. ej., número de conexiones entre parches de hábitat).

Componente: conjunto de nodos para los cuales existe un enlace entre cada par de nodos. Los parches aislados conforman un solo componente. Bajo este enfoque, no hay relación funcional (no hay enlaces) entre parches que pertenecen a diferentes componentes.

Como se mencionó anteriormente, los gráficos de paisaje son una de las principales herramientas que utiliza el software Conefor. Un gráfico de paisaje se refiere a un grupo de nodos (o vértices) y conectores tal que cada conector une dos nodos. El utilizar estos gráficos permite representar de manera efectiva los patrones del paisaje como una red funcional de parches interconectados y realizar análisis complejos sobre la conectividad del paisaje (Pascual Hortal & Saura, 2006)

Con respecto a la disponibilidad de hábitat, el software reconoce que, en algunos casos, la calidad del parche en términos del área del mismo, puede ser más benéfica para un ecosistema que la conexión entre parches. Por tanto, para que un hábitat esté disponible para un animal o una población, este debe tener un área adecuada y además debe estar conectado con otros parches. Ninguna de estas dos variables de manera individual, garantiza la disponibilidad de hábitat. El software Conefor, fue desarrollado con el fin de capturar ambos atributos en el paisaje, lo cual difiere de la definición tradicional de conectividad, basada solamente en la conectividad entre los parches y no en la calidad de cada parche.

2.2 Proceso de análisis

El principal elemento requerido para el análisis de conectividad es un shapefile con los nodos o parches que se desean evaluar para la región de estudio. En el presente trabajo se utilizó la capa de coberturas del año 2012 disponible para toda la jurisdicción de Corpochivor⁴, y se consideraron como nodos, los polígonos definidos como bosque. La distancia entre parches se calculó como la distancia más corta posible entre los bordes de los polígonos utilizando la extensión para ArcGIS de CONEFOR.

Para evaluar la conectividad entre parches fue necesario establecer una distancia máxima que garantizara la conectividad de los mismos. Generalmente esta distancia depende del grupo de especies (animales o vegetales) que se desee evaluar, por ejemplo, mamíferos pequeños requieren distancias más cortas entre parches para poder movilizarse entre ellos comparado con las distancias requeridas por mamíferos grandes o

⁴ Esta capa proviene de imágenes generadas por el satélite Landsat 7, el cual presentó una falla desde el año 2003 que causó la pérdida de información de alrededor del 22% en cada imagen. Para más información sobre este error, referirse a http://landsat.usgs.gov/products_slcoffbackground.php, la cual contiene errores referentes a la falta de información debido a un fallo en el Scan Line Corrector (SLC).

aves⁵, y al evaluar especies vegetales es necesario conocer aspectos propios de cada especie como el tipo de fruto y de semilla y el método de dispersión (Muller-Landau, 2008). El presente estudio no se enfocó en ninguna especie en particular, sin embargo, el análisis se direccionó hacia la recuperación del bosque con el fin de implementar o fortalecer los corredores ecológicos entre parches, por lo que se estableció una distancia máxima de 500 m para considerar dos parches como conectados. Esta distancia también se seleccionó basada en el error de datos faltantes provenientes de la imagen satelital.⁶

Aunque el software permite realizar el análisis con cualquier atributo del parche disponible⁷, el único atributo disponible para Corpochivor fue el área de cada parche, por lo que el análisis se basa en este valor.

Los resultados obtenidos con la extensión de ArcGIS (identificación de cada nodo, distancia entre nodos y posibles conexiones) fueron los archivos de entrada para el software CONEFOR 2.6., el cual calculó la importancia de cada nodo de acuerdo a métricas de conectividad del paisaje basadas en índices. Tanto índices binarios como índices probabilísticos fueron calculados con el software para clasificar los nodos de acuerdo con su importancia. Estos índices se explican en la siguiente sección.

2.3 Descripción de los índices

Los índices generados a través de CONEFOR incluyen como índices binarios:

- El NL (Número de Conexiones)
- NC (Número de Componentes)
- IIC (Índice Integrado de Conectividad)

y como índices probabilísticos,

- El F (Flujo o intercambio continuo)
- AWF (Flujo Ponderado por Área).

A continuación, se presenta una descripción básica de cada uno. Para descripciones más específicas sobre cada índice, se recomienda consultar el manual del usuario de CONEFOR disponible en el sitio web del software⁸.

2.3.1 Indicices Binarios

Estos índices solo consideran si hay una conexión o no entre dos nodos. La conexión se determina al definir una distancia máxima que garantice la misma. La distancia es determinada por el analista.

NL (Número de conexiones): Describe el número total de conexiones en el hábitat. Al estar un paisaje más conectado, presenta un mayor número de conexiones entre nodos.

NC (Número de componentes): un componente representa una serie de nodos interconectados, por tanto, mientras más conectado esté el paisaje, menos número de componentes posee. Se considera que no hay conexión entre componentes y que un nodo que no esté conectado con ningún otro nodo es un componente por sí solo.

⁵ Algunos ejemplos de la variabilidad en la distancia de dispersión pueden consultarse en: Pires, A. S., Lira, P. K., Fernandez, F. A., Schittini, G. M., & Oliveira, L. C. (2002). Frequency of movements of small mammals among Atlantic Coastal Forest fragments in Brazil. *Biological Conservation*, 108(2), 229-237. Y en Robert, G. D., Glenn, S. M., Parfitt, I., & Fortin, M. J. (2002). Landscape connectivity as a function of scale and organism vagility in a real forested landscape. *Conservation Ecology*, 6(2), 10.

⁶ Las bandas de datos faltantes tienen un ancho máximo entre 390 y 450 m, lo que puede causar la división de un parche y hacer que este se considere como dos parches diferentes en el análisis. Al establecer una distancia de 500 m, se asegura que un parche dividido erróneamente se considere como conectado.

⁷ Atributos como forma, capacidad de carga, densidad de población o calidad del parche pueden ser introducidos en el software.

⁸ <http://www.conefor.org/index.html>

IIC (Índice integrado de conectividad): Este índice es el más recomendado por los autores del software ya que tiene en cuenta tanto la conectividad dentro del nodo como la conectividad entre los nodos. Se divide en tres fracciones como se describe a continuación:

IIC-Intra: Evalúa la importancia del nodo con respecto a la disponibilidad de hábitat dentro del mismo (Intraconectividad), generalmente con base en el área de cada parche. Esta parte del índice no tiene en cuenta la conexión del nodo con respecto a los otros nodos.

IIC -Flujo: Evalúa la conectividad del nodo teniendo en cuenta la disponibilidad de hábitat y la conectividad del nodo. Sin embargo, este indicador no evalúa la importancia del nodo con respecto al paisaje total, ya que se centra en la conectividad del nodo como tal.

IIC -Conexión: Evalúa la importancia de un nodo como conector entre otros nodos (Interconectividad). Esta parte del índice sólo tiene en cuenta la posición topológica del nodo y por tanto es independiente del área del nodo o cualquier otro atributo que esté presente.

2.3.2 Índices Probabilísticos

Estos índices evalúan la conectividad de dos nodos al establecer la probabilidad de dispersión entre ambos nodos. Para ejecutar estos índices, es necesario ingresar la probabilidad de dispersión dada una distancia entre nodos. Posteriormente el programa ajusta una función exponencial decreciente para calcular los índices probabilísticos. En el caso de Corpochivor, se utilizó una probabilidad de dispersión del 0.5 para una distancia de 250 m, de acuerdo a los 500 m definidos anteriormente⁹.

F (Flujo o intercambio continuo): estima el flujo de organismos a través de la red de nodos teniendo en cuenta la probabilidad de dispersión entre nodos.

AWF (Flujo Ponderado por Área): Además de la probabilidad de conexión entre nodos, este índice tiene en cuenta el área de cada nodo.

Los autores del software recomiendan dentro de los índices probabilístico, el índice PC (Probabilidad de conexión), el cual es incluso mejor que el IIC. No obstante, por la gran cantidad de nodos encontrados, este índice no fue calculado debido a que esto implicaba un esfuerzo computacional muy alto que tomaría varias semanas (aproximadamente 25 días)

2.4 Interpretación de los índices

A través del software es posible obtener los valores absolutos de cada índice. No obstante, estos valores son útiles para comparar la fragmentación actual del paisaje con otras regiones o para realizar un análisis multitemporal de la misma, pero no para caracterizar la importancia actual de cada nodo. Por tanto, los resultados que se presentan en este informe se enfocan en la otra métrica generada por el software, que es la importancia de cada nodo con respecto a su disponibilidad de hábitat y su aporte a la conectividad del paisaje.

Así, la importancia de cada nodo es calculada por el software como el cambio en la conectividad del paisaje (de acuerdo al índice seleccionado) al remover el nodo evaluado. La importancia es presentada tanto en términos absolutos (*varI*), como en términos relativos (*dI*) como se describe a continuación:

- **dI:** Este valor proporciona la importancia de cada nodo al evaluar el cambio porcentual de la conectividad al remover algún nodo en específico. La “*d*” se refiere al delta (cambio) y la “*I*” es el índice con el que se está evaluando la conectividad. Mayores valores de *dI* indican una mayor importancia del

⁹ Es decir, una distancia de 500 m equivale a una probabilidad igual a cero de dispersión, así que una distancia de 250m equivale a una probabilidad de dispersión de 0.5.

nodo en la conectividad del paisaje. Esto, para todos los índices evaluados, excepto para NC, donde el análisis es opuesto. La importancia relativa de cada nodo es calculada así:

$$dI(\%) = 100 * \frac{I - I_{remove}}{I}$$

dI es la importancia de cada nodo, I es el valor del índice cuando todos los nodos están presentes en el paisaje, e I_{remove} es el valor del índice cuando el nodo evaluado es removido del paisaje.

- **varI**: provee el cambio absoluto en el valor de conectividad del paisaje al remover un nodo. En áreas muy extensas, este valor puede ser más útil que el dI ya que este último puede ser muy bajo y aproximarse a cero en esos casos. Es calculado, así:

$$varI = I - I_{remove}$$

3 Resultados

Todos los índices se evaluaron con la importancia relativa (*dI*) del índice y no con la importancia absoluta (*varI*) debido a que la interpretación con este indicador es más directa.

3.1 Índices binarios

Para toda el área de jurisdicción de Corpochivor, se encontraron 4,993 parches de bosque (nodos) con 13,081 posibles enlaces. La importancia de cada parche evaluada con este índice indica que los parches de bosque más importantes son aquellos ubicados en los municipios de Garagoa, Campohermoso, Santa María, San Luis de Gaceno, Chivor y Macanal.

Al evaluar la importancia de cada nodo con respecto al índice NC (número de componentes), se encontraron seis nodos de gran importancia para la conectividad del paisaje. Estos nodos se distribuyen en los municipios de Garagoa, Campohermoso, Santa María, San Luis de Gaceno, Chivor y Macanal. Este índice, sin embargo, no permite caracterizar muy bien la importancia de otros nodos debido a que, en muchos casos, al remover un nodo, el número de componentes no cambia, por lo que se obtienen valores de cero en el *DNC* para la mayoría de nodos. No obstante, es interesante analizar el número y la distribución de los componentes en el área de Corpochivor. Esta información es útil para conocer las áreas potenciales a reforestar o restaurar con el fin de disminuir el número de componentes al conectar más parches y/o para priorizar la conservación de parches fundamentales para la conectividad total del paisaje.

3.1.1 Análisis de componentes

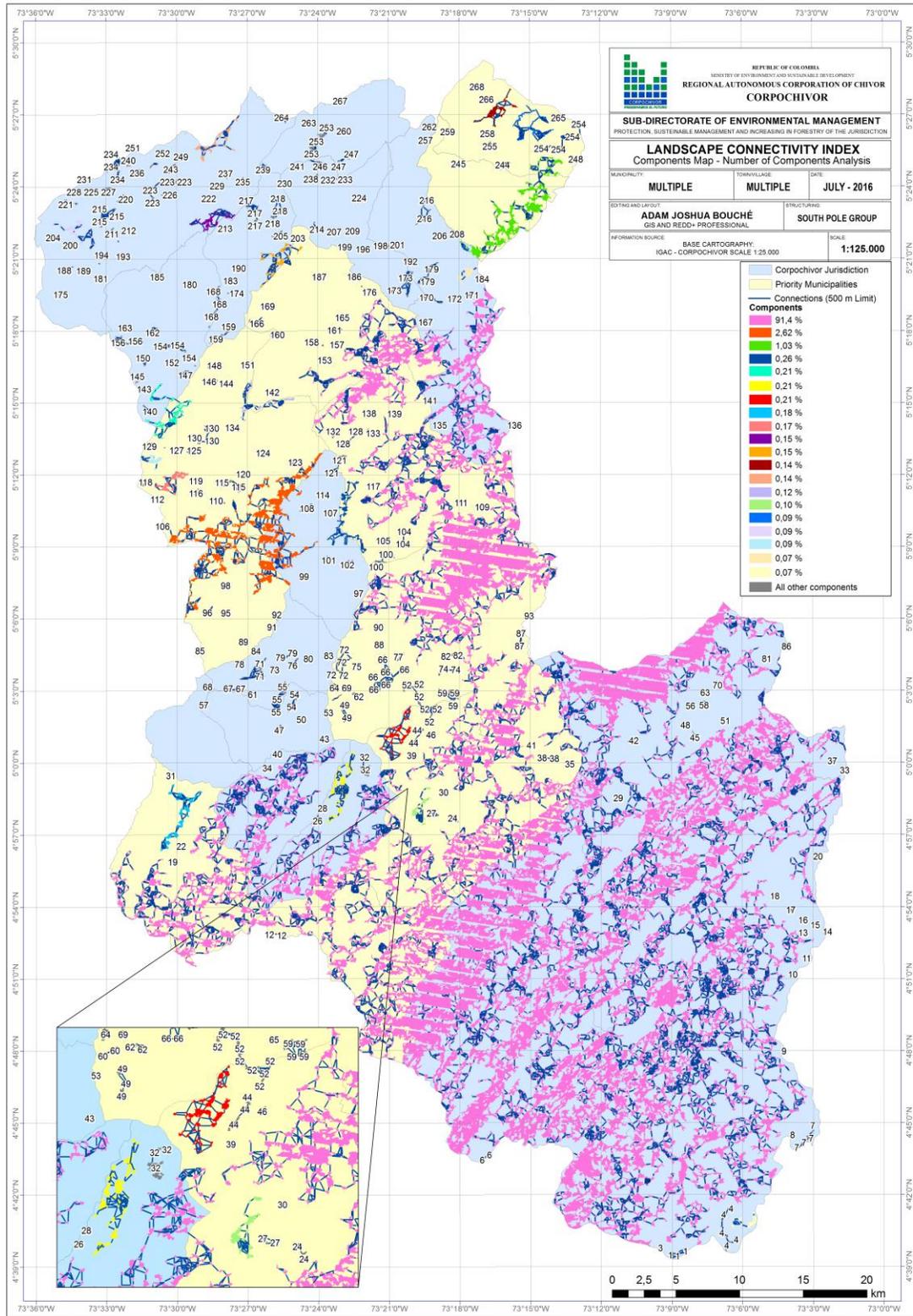
En total se encontraron 268 componentes, de estos sin embargo se destaca uno que contiene el 91% del área de bosque de Corpochivor, lo que equivale a 50.297 hectáreas de bosque conectado. Este componente se distribuye en la parte sur occidental del área de Corpochivor y cubre los municipios de San Luis de Gaceno, Santa María, Campohermoso, Chivor, Macanal, Garagoa, Guayatá, Somondoco, Almeida, Chinavita y parte de Ramiriquí (componente rosa en el Mapa 2).

El segundo componente más representativo se encuentra distribuido en los municipios de Úmbita, La Capilla y Pachavita¹⁰ (color naranja en el Mapa 2), este componente ocupa un área de 1.443 hectáreas, que corresponden al 2,62% del área total de bosques. El tercer componente más representativo se encuentra principalmente en los municipios de Ciénaga y Viracachá (color verde fluorescente en el Mapa 2). Este componente cubre un área total de 568 hectáreas que corresponden al 1% del área total de bosques. Los restantes componentes ocupan menos del 0,3% del área total de bosques.

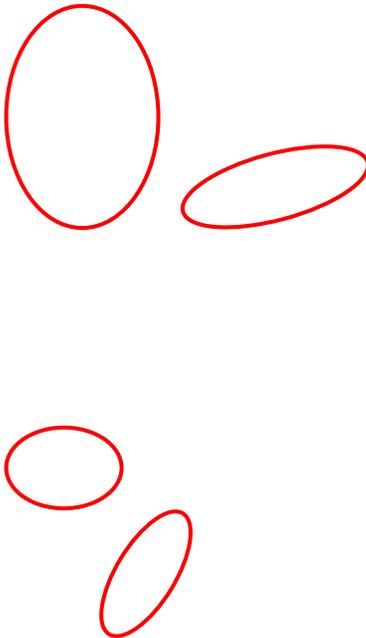
3.1.2 Análisis del IIC

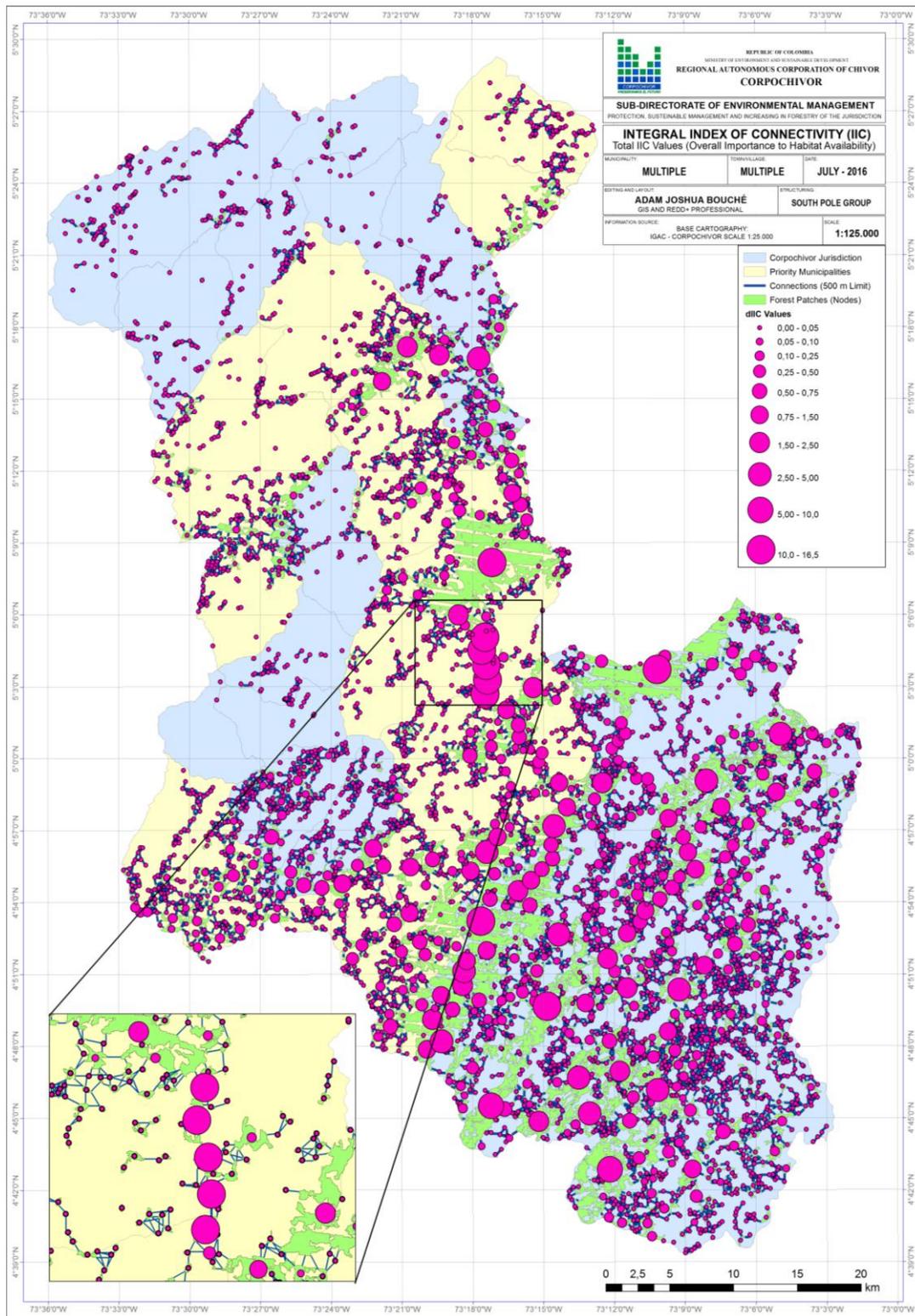
Analizando el IIC total se encontró que los nodos más importantes para la conectividad general de la región son aquellos presentes en los municipios de Garagoa (parte norte), Campohermoso (zona norte), Santa María (zona centro y Oeste) y zona noreste de Chivor (círculos rojos en el Mapa 3).

¹⁰Estos municipios hacen parte de los 10 municipios priorizados por el proyecto de PSA.



Mapa 2. Distribución de los componentes en la jurisdicción de CORPOCHIVOR. Los números se refieren al componente al que pertenece cada nodo

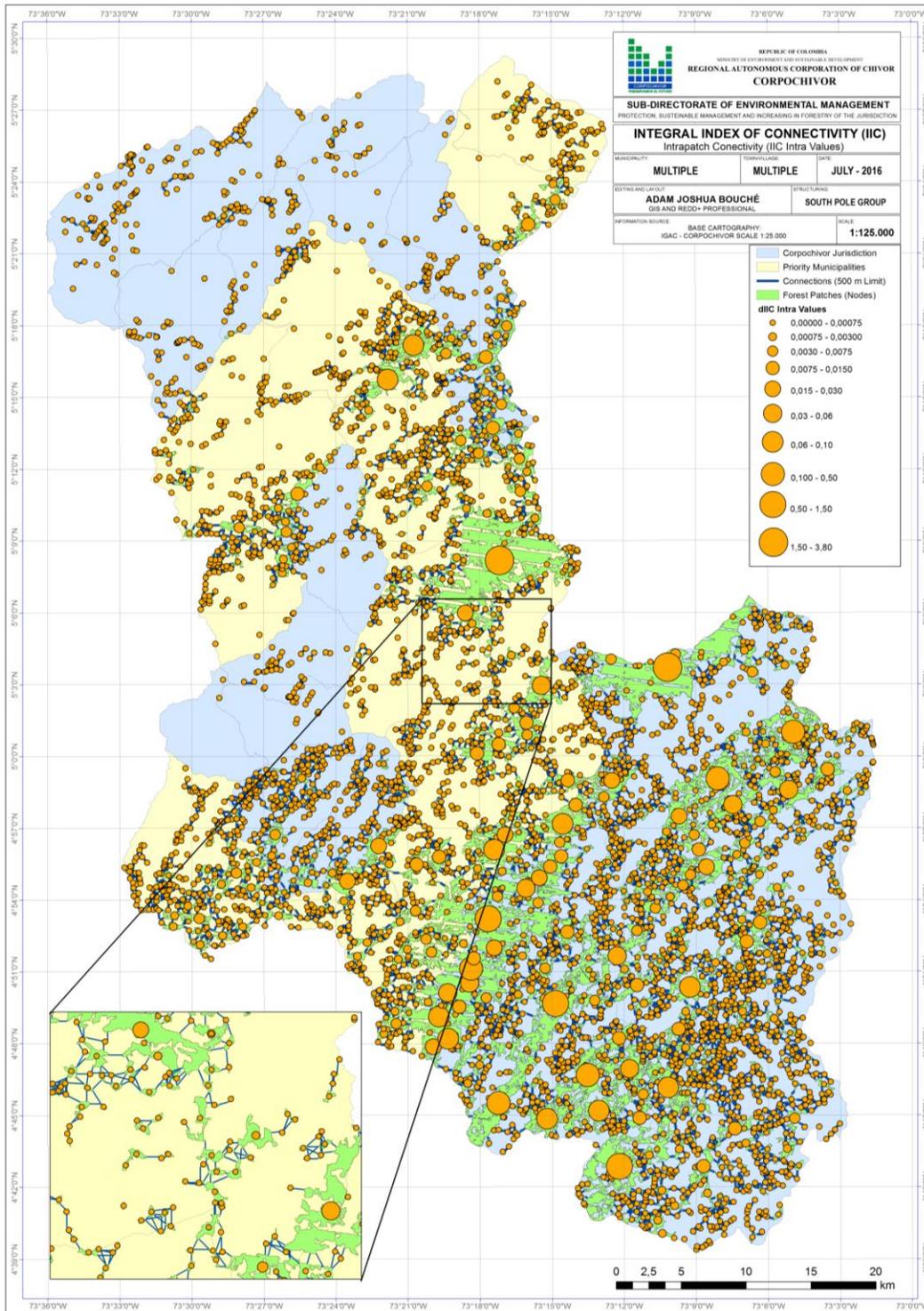




Mapa 3: Resultados jerarquización de parches de bosque de acuerdo al dIIC total. Los círculos más grandes indican mayor importancia del parche con respecto a la conectividad total del paisaje.

3.1.3 Análisis del IIC por fracciones:

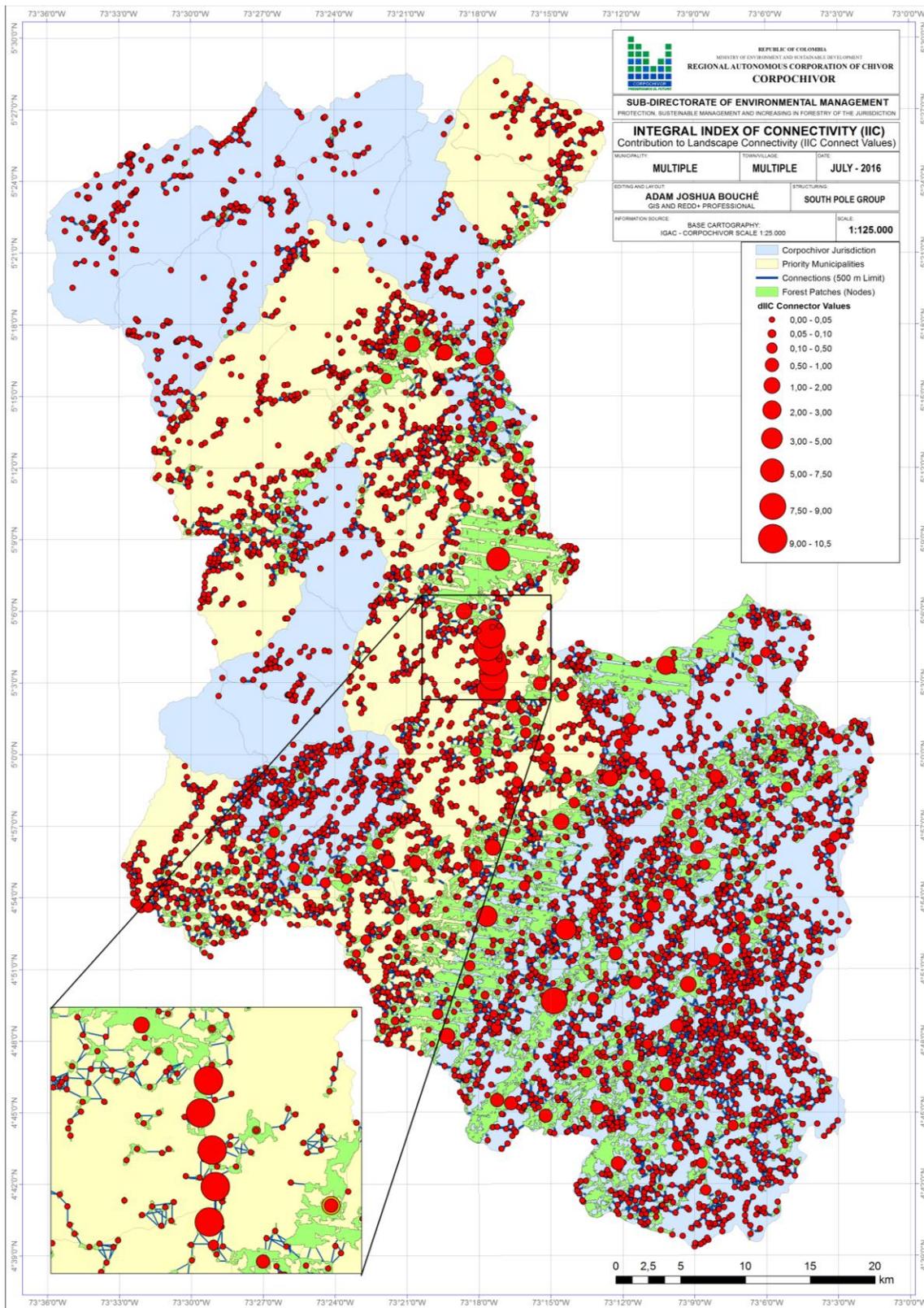
IIC-Intra: debido a que este índice evalúa la disponibilidad de hábitat dentro de cada parche, los nodos caracterizados como de mayor importancia fueron aquellos de mayor área. Por tanto, se deberían priorizar según este índice, los parches en los municipios de Campohermoso, Garagoa y Chivor (Mapa 4). Estos parches hacen parte del componente más grande que existe en toda el área de Corpochivor, descrito anteriormente. La importancia de garantizar la conservación de estos nodos o parches es que para aquellas especies que no pueden desplazarse mucho para reproducirse o conseguir alimento, la disponibilidad inmediata de hábitat es fundamental. Conservar este tipo de parches es importante para conservar también especies que se ven afectadas por el efecto borde



Mapa 4: Resultados IIC-Intra

IIC-Conexión: los nodos más importantes según este índice incluyen los que ya se han seleccionado por buena disponibilidad de hábitat, y también incluye otros nodos que, siendo muy pequeños, son fundamentales para la

conectividad de otros parches. De hecho, los 5 parches más importantes según este índice son de menos de 30 hectáreas (recuadro en el Mapa 5)



Mapa 5: Resultados IIC-conexión.

Es interesante como algunos parches son irrelevantes según el índice IIC-Intra, pero son de gran importancia según el índice IIC-conexión (recuadros en las Figuras 4 y 5). Esto porque al medir principalmente el IIC-Intra, la disponibilidad de hábitat en términos de área, se clasifican los nodos de menor área como poco importantes, pero en ocasiones, estos pequeños parches pueden actuar como escalones o “stepping stones” entre varios parches de bosque, por lo que su importancia según el índice IIC-conexión es muy alta. Este hecho también se puede evidenciar al analizar la tabla presentada en los anexos, la cual contiene una muestra de los resultados obtenidos con la información de todos los índices para cada parche.

Estos resultados apoyan la hipótesis de que el índice IIC total es uno de los mejores para evaluar la conectividad entre ecosistemas debido a que tiene en cuenta diferentes atributos de los parches evaluados.

IIC-Flujo: aunque este índice depende tanto del atributo de cada parche (en este caso del área) como de la posición del parche en la región¹¹, los resultados obtenidos en esta parte del índice se asemejan a los del IIC-Intra. Sin embargo, los resultados de este índice proporcionan información adicional sobre los parches. Este índice es el único incluido en el software que se asemeja a la capacidad de soportar una metapoblación. Este índice tampoco mide el efecto de los “stepping stones” y no cuantifica específicamente el rol de un nodo como elemento conector entre otros parches de hábitat¹¹.

El hecho de que siempre se haya seleccionado los parches de los municipios de Garagoa, Campohermoso, Santa María y Chivor significa que estas zonas son extremadamente importantes para la conexión de los parches de bosque y por tanto su conservación es prioritaria. Perder uno de estos nodos implicaría gran pérdida de conectividad.

3.2 Índices probabilísticos

Aunque el software CONEFOR permite calcular fácilmente los índices F y AWF, estos índices no son adecuados para evaluar la importancia de los parches en el paisaje. En el análisis realizado por Saura & Pascual (2010) sobre la respuesta de diferentes índices a ciertas propiedades deseadas en un índice de conectividad se encontró que estos dos índices tienen muy mal desempeño¹² debido a que no capturan la importancia de pequeños parches que sirven como conexión entre grandes parches y que no consideran como negativa la pérdida de una parte de un parche ni la pérdida de un parche aislado. Por esta razón, no se presentan los resultados de estos índices en este informe.

¹¹ Saura, S., & Rubio, L. (2010). A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. *Ecography*, 33(3), 523-537.

¹² De un total de 13 propiedades deseables, sólo 5 fueron cumplidas satisfactoriamente por estos índices.

4 Conclusiones

El análisis realizado a través del software CONEFOR permitió identificar los parches de bosque más importantes para la conectividad del paisaje en el área de CORPOCHIVOR. Varios de los índices evaluados señalaron como más importantes, aquellos parches de mayor área ubicados en los municipios de Garagoa, Campohermoso, Santa María y Chivor (Mapa 2).

La priorización realizada con los diferentes índices permitió identificar otros atributos importantes para la conectividad en cada parche. Esto permitió un análisis integral y poco sesgado hacia un solo atributo del parche, como el área. Se recomienda, sin embargo, utilizar los resultados del índice IIC para priorizar los parches o nodos de bosque en futuros planes de conservación. Esto porque este índice ha demostrado su eficiencia en cuanto a la captura de la conectividad dentro y entre parches, además que captura la mayoría de cambios negativos que pueden afectar la conectividad de la región y es efectivo detectando cuales cambios son más críticos para su conservación. La priorización de acuerdo a otros índices debe tomarse con cautela debido a que estos en ocasiones no son sensibles a ciertos cambios importantes en el paisaje (Pascual-Hortal, 2006)

Es bastante probable que el gran número de nodos encontrados estuviese influenciado por el bandeo presente en las imágenes satelitales. Este hecho limitó los cálculos al no poder calcular el índice probabilístico PC, definido por Saura & Pascual (2007) como el mejor índice de conectividad¹³. A pesar de esta limitación, los resultados obtenidos con el índice IIC son precisos ya que este índice es definido como el segundo mejor índice, según los mismos autores¹⁴. Baranyi *et al.* (2011) demostraron que las diferentes partes del índice IIC proporcionan información complementaria y no redundante acerca de la conectividad del paisaje y que estos capturan a su vez información sobre conectividad que necesitaría ser colectada usando un grupo más grande de índices.

Este estudio constituye una base sobre el estado actual de los parches de bosque existentes en el área de Corpochivor. Se recomienda a partir de los resultados encontrados, para estudios posteriores, enfocar el análisis de conectividad a un grupo de especies con información disponible sobre su distancia máxima de dispersión. Esto permitirá definir de manera más precisa los parámetros iniciales del software y, por tanto, obtener resultados más precisos. Evaluar la sensibilidad de los resultados al considerar diferentes distancias de dispersión también podría proporcionar información útil.

¹³El índice PC cumple satisfactoriamente con los 13 requerimientos anteriormente mencionados.

¹⁴ Este índice cumple con 11 de las 13 propiedades ideales de un índice de conectividad mencionadas anteriormente.

5 Bibliografía

- Baranyi, G. S. (2011). Contribution of habitat patches to network connectivity: redundancy and uniqueness of topological indices. *Ecological Indicators*, 11(5), 1301-1310.
- Cicero. (45 BC). *de Finibus Bonorum et Malorum*.
- Muller-Landau, H. C. (2008). Interspecific variation in primary seed dispersal in a tropical forest. *Journal of Ecology*, 96(4), 653-667.
- Pascual Hortal, L., & Saura, S. (2006). Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape ecology*, 21, 959-967.
- Pascual-Hortal, L. &. (2006). Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape ecology*, 21(7), 959-967.
- Santos, T., & Tellería, J. L. (2006). Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Revista ecosistemas*, 2, 15.
- Saura, S. &. (2010). Common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. *Ecography*, 33(3), 523-537.
- Taylor, P. D., Fahrig, L., & Henein, K. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 571-573.

Anexos

Tabla 1. Muestra de los resultados arrojados por CONEFOR (Importancia de cada nodo de acuerdo al índice evaluado).

Node	dNL	Componente	dNC	dIIC	dIICint	dIICflx	dIICcon	dF	dAWF
1941	0,48	2	-1,12	16,4	0,70	6,93	8,77	0,59	15,01
4957	0,62	2	-2,61	16,07	3,78	6,86	5,43	0,70	13,56
2420	0,47	2	-2,99	13,47	1,26	8,63	3,58	0,55	9,70
4637	0,42	2	-4,85	10,69	2,37	6,23	2,09	0,48	7,12
4199	0,05	2	-0,37	10,5	0,00	0,06	10,44	0,04	0,00
4264	0,06	2	-0,37	10,46	0,00	0,04	10,43	0,07	0,00
4475	0,03	2	-0,75	10,38	0,00	0,09	10,29	0,03	0,00
4357	0,05	2	-0,37	10,37	0,00	0,05	10,32	0,05	0,00
4503	0,03	2	-0,37	10,33	0,00	0,02	10,31	0,03	0,00
410	0,46	2	-1,87	6,93	0,78	5,25	0,90	0,53	5,77
821	0,15	2	-2,24	5,90	0,36	4,64	0,90	0,19	9,21
3754	0,47	2	-1,12	4,38	0,30	3,08	0,99	0,62	7,72
1912	0,14	2	0	4,14	0,01	0,93	3,20	0,17	3,01
2939	0,23	2	-0,37	3,61	0,08	1,90	1,64	0,27	1,26
1072	0,17	2	-0,37	3,33	0,08	2,00	1,24	0,20	2,21
3096	0,21	2	-0,75	3,29	0,08	1,69	1,52	0,25	1,06
871	0,31	2	-0,75	3,25	0,19	2,94	0,13	0,40	6,51
5735	0,11	2	-1,12	2,87	0,01	0,33	2,53	0,12	0,17
535	0,27	2	-0,75	2,87	0,09	2,08	0,70	0,31	5,22
1557	0,21	2	0	2,80	0,10	2,24	0,46	0,22	2,96
1476	0,18	2	0	2,76	0,07	1,64	1,06	0,21	0,47
4129	0,35	2	-1,87	2,76	0,18	2,21	0,36	0,50	3,23
741	0,31	2	-0,37	2,59	0,08	1,94	0,57	0,37	4,17

Esquema de Retribución por Servicios Ambientales
(ERSA) | **para la Conservación de los Bosques y**
Gestión de Fuentes Hídricas en la
jurisdicción de CORPOCHIVOR



PBX: +57 (8) 7500661 / Cr.5Nº 10 - 125 / Garagoa - Boyacá

www.corpochivor.gov.co

