

ANÁLISIS DE LOS PATRONES ESPACIALES DEL PAISAJE EN UN CORREDOR BIOLÓGICO DEL MACIZO COLOMBIANO CAUCA.

ANALYSIS OF LANDSCAPE PATTERNS IN A BIOLOGICAL CORRIDOR OF COLOMBIAN ANDEAN, CAUCA DEPARTMENT.

ANÁLISE DOS PADRÕES DE PAISAGEM EM UM CORREDOR BIOLÓGICO DE COLÔMBIA ANDINA, DEPARTAMENTO DE CAUCA.

MARÍA CAMILA OROZCO M.¹, LUIS EDUARDO CERON R.², JUAN PABLO MARTÍNEZ I.³,
ROMÁN OSPINA M.⁴.

RESUMEN

Se determinó el patrón espacial de paisaje para un corredor biológico propuesto entre los municipios de Almaguer, Sucre y la Vega en el departamento del Cauca, cuya extensión es 28726 ha. El análisis se efectuó a partir del procesamiento de imágenes satelitales generando cartografía sobre usos del terreno empleando plataformas SIG. Se establecieron cuatro cuadrantes de análisis espacial, cada uno de 1600 ha, seleccionados en función del gradiente altitudinal y el tipo de usos del terreno presentes en la zona. En cada uno de los cuadrantes se aplicaron métricas del paisaje determinando diversidad, riqueza, composición y estructura a partir de variables como área, número de parches, índice de parche mayor, índice de forma del paisaje, índice de yuxtaposición y conectividad calculados con el programa Fragstats©. En la zona se encontró una elevada fragmentación ecosistémica predominando una matriz antropogénica (pastos limpios). Con los resultados obtenidos se establecieron lineamientos de conservación para usos del terreno conformados por bosques primarios, intervenidos, riparios y vegeta-

Recibido para evaluación: 11 de Agosto de 2014. **Aprobado para publicación:** 6 de Mayo de 2015.

- 1 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias. Ingeniera Forestal. Popayán, Colombia.
- 2 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias. Ingeniera Forestal. Popayán, Colombia.
- 3 Universidad del Cauca, Grupo de Estudios Ambientales. Biólogo, Candidato a Doctor en Ciencias Ambientales. Popayán, Colombia.
- 4 Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Magíster en Manejo de bosques tropicales. San José, Costa Rica

Correspondencia: camilaorozco9@gmail.com

ción de páramo, mientras que para rastrojos y aquellos de origen antrópico como pastos limpios, mosaico de cultivos y tierras degradadas se fijaron pautas de manejo, enfatizando la planificación del corredor biológico como unidad estratégica para la implementación de acciones.

ABSTRACT

It was determined the spatial pattern of landscape for a proposed biological runway between the towns of Almaguer, Sucre and La Vega in the department of Cauca, whose length is 28726 ha. The analysis was conducted from the processing satellite image generating a land image using mapping GIS platforms. We developed four quadrants of spatial analysis, each one of 1600 ha, selected based on the altitudinal gradient and type of land uses present in the area. In each of the quadrants were applied landscape metrics determining diversity, richness, composition and structure of variables such as area, number of patches, largest patch index, landscape shape index, juxtaposition and connectivity index calculated with the program Fragstats ©. In the area there was found a highly fragmented ecosystem predominantly anthropogenic matrix (clean pasture). With the results there was established conservation guidelines for land uses of primary forests, operated, and riparian vegetation wasteland, while for stubble and those anthropogenic as clean pasture, crops and land mosaic degraded management guidelines were set emphasizing the biological corridor planning a strategic unit for the implementation of actions.

PALABRAS CLAVES:

Uso del terreno, Conservación, Fragmentación.

KEY WORDS:

Land use, Conservation, Fragmentation.

PALAVRAS-CHAVE:

Uso da terra, Conservação, Fragmentação.

RESUMO

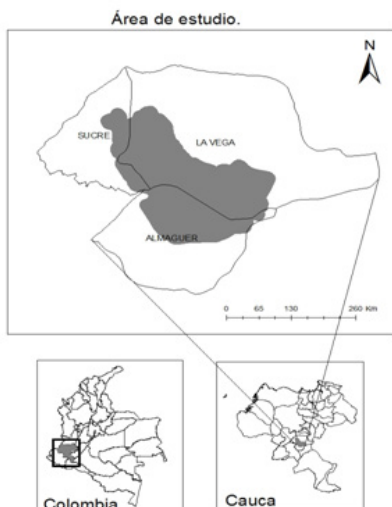
Foi determinado o padrão espacial de paisagem para um corredor biológico entre as cidades de Almaguer, Sucre e a Vega, no estado do Cauca que tem 28726 hectares. A análise foi realizada a partir do processamento de imagens de satélite gerando um mapeamento do uso do terreno utilizando plataformas SIG. Foram estabelecidos quatro quadrantes de análise espacial, cada um de 1600 hectares, os quais foram selecionados com base no gradiente de altitude e o tipo de usos do solo presente na área. Em cada um dos quadrantes foram aplicadas métricas da paisagem que determinaram a diversidade, riqueza, composição e estrutura a partir de variáveis como área, número de trechos, índice de justaposição, índice de forma da paisagem e conectividade calculada com o programa Fragstats©. Na área encontramos um ecossistema altamente fragmentado, predominantemente matriz antropogênica (pasto limpo). Com os resultados obtidos foram estabelecidas diretrizes de conservação para usos da terra composta de florestas primárias, florestas exploradas, matas ciliares e vegetação de páramo, enquanto que para restolho e aqueles de origem antrópico como pasto limpo, culturas e mosaico de terras degradadas fixamos orientações de gestão, enfatizando no planejamento o corredor biológico como uma unidade estratégica para a implementação de ações.

INTRODUCCIÓN

A través de diversos estudios que analizan el paisaje y sus patrones se ha logrado determinar cómo los cambios en el uso del terreno afectan la estructura, función y dinámica de los sistemas socioecológicos [1, 2, 3]. Se entiende el paisaje como una extensión de terreno compuesta por múltiples componentes que interactúan y se repiten a través del espacio, comprendiendo un mosaico de espacios naturales y antrópicos que definen patrones espaciales y temporales [4]. Por lo expuesto, el trabajo centra su análisis en las interacciones observables entre los elementos del paisaje mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permiten calcular los atributos espaciales del paisaje y sus componentes [5, 6].

El macizo colombiano es reconocido como una ecoregión estratégica que ofrece múltiples servicios ambientales, resaltando la oferta hídrica [7]; su diversidad ecosistémica y biológica se encuentra amenazada debido a diferentes procesos de degradación antrópica y a la fragmentación de sus bosques [8]. Considerando la vulnerabilidad ecosistémica asociada a los procesos de transformación que afectan al macizo colombiano; se planteó la necesidad de determinar los elementos que caracterizan sus paisajes, haciendo énfasis en el área propuesta para el corredor biológico en los municipios de Almaguer, Sucre y La Vega (Cauca). Esto con el fin de generar elementos que ayuden a orientar las estrategias para la conservación, recuperación, rehabilitación y restauración de ecosistemas en el corredor.

Figura 1. Área de estudio (corredor)



MÉTODO

El estudio se llevó a cabo en los Municipios de Almaguer, Sucre y La Vega ubicados al Sur-oriente del departamento del Cauca considerando una estrategia de corredor biológico propuesto por la Corporación Autónoma Regional del Cauca (2008) para 28726 ha en el área núcleo del Macizo Colombiano. La zona de estudio presenta un rango altitudinal entre los 1200 y 3400 m.s.n.m., con pendientes altas y geomorfología similar (Figura 1.)

Para este trabajo se empleó cartografía de usos del terreno generada mediante la clasificación supervisada multiespectral de una imagen ALOS 2010. La cual se compaginó con información secundaria a escala 1:25000 para toda el área de estudio. Se realizó una validación de las categorías de usos identificadas mediante puntos georreferenciados en campo a partir de polígonos seleccionados en la imagen.

Para la caracterización del paisaje primero se hizo un análisis semidetallado del área total del corredor y luego se analizaron cuatro cuadrantes de 1600 ha (detallado) en donde se determinaron los cambios en el patrón del paisaje. Estos fueron seleccionados a partir de una grilla generada considerando la altitud del área de estudio, obteniendo: 1) de 1200 a 1800 m.s.n.m., 2) de 1800 a 2600 m.s.n.m., 3) de 2600 a 3200 m.s.n.m. y 4) de 3200 a 3400 m.s.n.m., teniendo en cuenta para la selección aquellos cuadrantes que estuvieran completamente dentro del área muestral.

Con ayuda de la herramienta Fragstats© se establecieron los atributos determinantes del patrón del paisaje mediante métricas que no fueran redundantes y que tuvieran un comportamiento adecuado al tipo de estudio [10]. Las métricas utilizadas fueron Área (CA), Número de parches (NP), Índice de parche mayor (LPI), Índice de forma del paisaje (LSI), Relación área/número de parches (CA/NP) Índice de diversidad de Shannon (SHDI), Índice de diversidad de Simpson (SIDI), Índice de yuxtaposición (IJI) y Conectividad (CON), donde se trabajó con un radio de 1000 metros.

A partir de la información obtenida se definieron áreas con prioridades de conservación y restauración en la zona.

RESULTADOS

A partir de la validación en campo y la respectiva clasificación en el SIG se obtuvo como resultado la generación de nueve categorías de usos de terreno para la zona de estudio (Cuadro 1).

Análisis para el área total del corredor (Semidetallado)

El patrón estructural de la zona sugiere un paisaje fragmentado con una matriz de pastos que representa el 34,5% del área de estudio, seguido por el bosque primario (21,1%), mosaico de cultivos (17,2%) y bosque natural intervenido (16,5%). En dicha matriz se hallan inscritos parches y corredores, sin embargo se encuentra dividida permitiendo que en algunas zonas predominen otros usos, este panorama es el

Cuadro 1. Usos de terreno

Categoría	Usos de Terreno
Bosque Ripario (BR)	Vegetación natural asociada a las orillas de los ríos por su oferta de microhábitat, destinadas a conservación.
Bosque primario (BP)	Bosques naturales compuestos por especies nativas de árboles, no presenta actividad antrópica, poca alteración de sus procesos ecológicos, poseen valor ecológico y económico para la sociedad.
Bosque Natural Intervenido (BNI)	Se refiere al bosque natural que fue sometido a una intervención humana, poseen valor económico para la sociedad.
Mosaico de cultivos (MC)	Vegetación compuesta por especies de uso agrícola.
Rastrojo (R)	Vegetación con alturas menores a de 5 m., subarbórea, arbustiva y herbácea en regeneración.
Pastos limpios (PL)	Predominio de especies herbáceas, principalmente gramíneas, dedicadas a pastoreo permanente.
Tierras degradadas (TD)	Superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal por sobreexplotación.
Cobertura antrópica y ríos (CyR)	Zonas pobladas e infraestructura humana, se incluyen los ríos para efectos de procesamiento e interpretación.
Vegetación de paramo (VP)	Caracterizado por la dominancia de herbáceas y arbustos propios del ecosistema, zona de conservación.

resultado de la historia de uso del suelo que ha estado caracterizada por la pérdida de cobertura forestal propia de la zona.

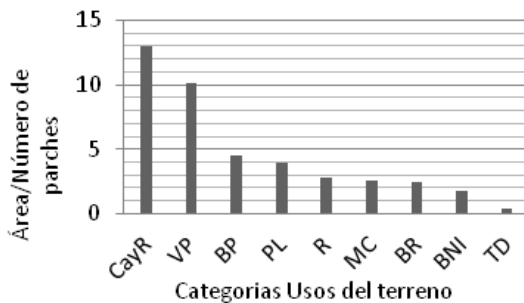
Se puede evidenciar que las categorías como cobertura antrópica y ríos, mosaicos de cultivos, rastrojos, pastos limpios, y las tierras degradadas representan el 57% del área total, lo que revela que el paisaje está altamente intervenido, sin embargo la zona tiene un 43% de cobertura natural, representado en bosque primario, bosque natural intervenido, bosque ripario y vegetación de paramo, un porcentaje de área menor al esperado, además de encontrarse fragmentos reparados en muchos parches y diversas distancias en la zona, lo que coincide con el estudio de Ospina (2005) y Marín (2008).

En todo el paisaje se pudo observar que el bosque natural intervenido presentó el mayor número de parches (2740), seguido por los pastos limpios (2535), mientras que las tierras degradadas (20), la cobertura antrópica y ríos (35) así como la vegetación de paramo (65) presentaron el menor número de parches (Cuadro 2). El alto número de parches de los pastos limpios, puede darse debido a la ganadería extensiva y a las actividades antrópicas que permiten una sustitución de coberturas boscosas por potreros generando la reducción de las coberturas naturales a pequeños fragmentos de bosque.

En la Figura 2 se puede observar que la relación área/número de parches para cobertura antrópica y ríos es alta porque su área (455 ha) se distribuye en un pocos parches (35), lo que indica que sus extensio-

Cuadro 2. Índices de fragmentación por tipo de categorías uso del terreno para el área total

	CA	NP	LPI	LSI	IJI	CON	CA/ NP
CyR	455,1	35	0,3	48,8	71,4	9,1	13,0
VP	655,2	65	0,6	15,5	51,9	13,9	10,1
BP	6064,1	1330	3,6	63,0	65,3	2,5	4,6
PL	9924,3	2520	10,8	84,7	75,5	2,0	3,9
R	1146,1	417	0,2	36,2	65,8	2,3	2,8
MC	4967,9	1920	3,3	65,6	61,2	2,7	2,6
BR	753,7	312	0,3	28,3	61,7	7,7	2,4
BNI	4751,9	2740	0,4	82,9	63,2	1,7	1,7
TD	7,9	20	0,0	6,3	22,8	15,8	0,4

Figura 2. Relación área/número de parches para el área del corredor

nes se encuentran agrupadas, mientras que los pastos limpios, el bosque primario, y los mosaicos de cultivos a pesar de tener mayores áreas presentan un alto número de parches, lo que indica mayor extensión distribuida en muchos fragmentos y el bosque primario al tener alta abundancia de parches, representa la categoría de interés más fragmentada de todo el paisaje.

La configuración espacial de los parches de las diferentes categorías en el paisaje, mostró que el aislamiento entre los parches de vegetación de páramo, bosque primario y bosque ripario fue bajo, ya que aunque sus parches son numerosos y de diversos tamaños están agregados favoreciendo su proximidad; esta situación permite que exista flujo a lo largo del paisaje entre los diferentes tipos de hábitat disponibles para los múltiples organismos, desempeñando un papel importante en la distribución de las especies forestales [13, 14, 15].

El índice de parche mayor (LPI) indica que en el zona un parche de pastos limpios ocupa el 10,8% de toda la área, sugiere que el paisaje evaluado contiene un parche de pastos grande con respecto al área del paisaje y de las categorías de interés, coincidiendo con la matriz encontrada en la zona. El índice de forma del paisaje (LSI) muestra que los pastos limpios, el bosque natural intervenido, los mosaico de cultivos y el bosque primario presentaron formas complejas y fragmentos irregulares, mientras que la vegetación de páramo y bosque ripario tuvieron valores inferiores indicando que el perímetro de sus parches maneja una regularidad. Esto se explica debido a que la vegetación de páramo tiende a ser compacta y los bosques riparios, se encuentran al lado de los ríos siguiendo su cauce y dando origen a formas alargadas y regulares [16, 17].

El índice de yuxtaposición mostró que los fragmentos de pastos limpios, bosque primario, bosque natural intervenido y bosque ripario con valores altos presentan una buena adyacencia, es decir que se encuentran aglomerados dentro de toda la zona, en cambio para la vegetación de páramo el índice fue de 51,9% ya que sus parches se encuentran aglomerados solo en la zona más alta.

Para el índice de conectividad se encontró que la vegetación de páramo presenta el nivel más alto de conectividad dentro del paisaje con un 13,9%, esto se debe a que la cubierta vegetal paramuna está más agrupada y sigue un patrón altitudinal [18]. Las categorías de interés muestran una baja conectividad entre sus parches.

El Índice de diversidad de Shannon a nivel de paisaje fue de 1,60 para la zona de estudio, lo que indica que es heterogéneo y que presenta una alta abundancia relativa dentro del paisaje. El Índice de dominancia de Simpson fue de 0,72 siendo un valor cercano a 1 lo que demuestra que es un paisaje dominado por un tipo de uso del terreno que en este caso corresponde a pastos limpios, por ser la matriz y presentar el parche mayor dentro del ecosistema, al haber una alta dominancia, se presenta una baja diversidad de las categorías restantes.

Análisis detallado en los cuadrantes del corredor

Cuadrante 1 (C1). Se encuentra ubicado en la parte más baja (1200-1800 msnm), con pendientes relativamente bajas y un relieve no muy diverso, debido a esto hay alta expansión agrícola y ganadera, dada la facilidad para acceder a los terrenos y realizar su explotación, por esto se presenta una matriz de pastos limpios con un área que cubre prácticamente la totalidad del cuadrante, con pocos parches de otras coberturas y alta fragmentación ecosistémica.

Cuadrante 2 (C2). Situado entre los 1800 y 2600 msnm, sin embargo presenta intervención humana debido a que la explotación aún resulta sencilla por la geomorfología, dando continuidad a la matriz de pastos limpios (cuadro 3), pero con mayor número de parches de otros usos del terreno como el mosaico de cultivos y algunos tipos de bosques, indicando que la conservación aumenta y la fragmentación tiende a disminuir.

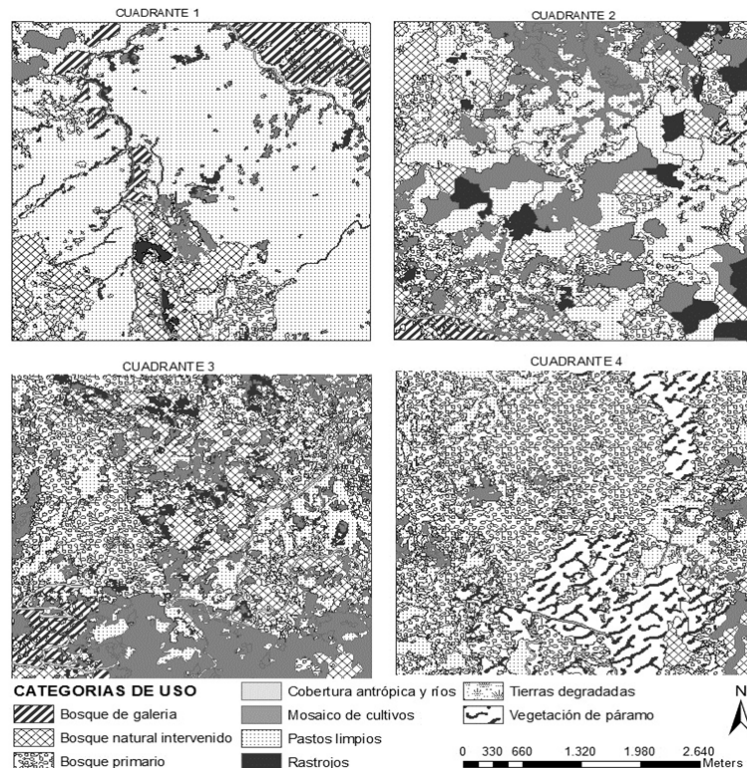
Cuadro 3. Área (ha) de cada categoría de uso del terreno por cuadrante

	C1	C2	C3	C4	\bar{x}	DS	CV%
BR	133,9	32,2	54,8	0,0	55,2	57,1	103,3
BP	35,2	133,2	371,6	809,9	337,5	345,2	102,3
BNI	185,4	310,9	355,7	94,2	236,5	119,2	50,4
MC	59,8	354,0	429,6	68,5	227,9	191,7	84,1
R	27,6	109,9	53,6	0,7	47,9	46,6	97,2
PL	1139,4	657,7	304,7	242,4	586,0	411,8	70,3
CyR	20,6	5,1	30,1	8,0	15,9	11,6	72,3
TD	2,1	1,9	0,0	0,0	1,0	1,2	115,7
VP	0,0	0,0	0,0	377,1	94,3	188,6	200,0

Cuadrante 3 (C3). Con altitudes de 2600 a 3200 msnm, la geomorfología y clima es más irregular, permitiendo menor expansión ganadera y cultivos más numerosos convirtiendo esta cobertura (mosaico de cultivos) en la matriz de la zona, se observa mayor conservación respecto a los dos cuadrantes anteriores ya que al ser mas permeable permite mayor flujo de organismos entre los fragmentos de otros usos del terreno como bosques [19], La anterior explicación concuerda con lo expuesto por Criollo y Bastidas (2011) para plantaciones forestales.

Cuadrante 4 (C4). Esta es la zona más elevada del área total, con altitudes entre 3200 y 3400 msnm, presenta diversidad de relieves y dificultad para ejecutar actividades antrópicas, conllevando un buen estado de conservación de los ecosistemas con una matriz de bosque primario y vegetación de paramo presente y distribuida únicamente en este cuadrante (Figura 3), por esta razón deben centrarse aquí los esfuerzos de gestión.

Figura 3. Usos del terreno por cuadrantes priorizados en el corredor



Comparación entre cuadrantes

Cuadro 4. Número de parches de cada categoría de uso del terreno por cuadrante

	C1	C2	C3	C4	\bar{x}	DS	CV%
BR	50	18	21	0	22,3	20,7	93,0
BP	5	37	150	86	69,5	63,2	90,9
BNI	86	164	137	138	131,3	32,7	24,9
MC	119	89	289	91	147,0	95,7	65,1
R	21	23	50	2	24,0	19,8	82,3
PL	64	87	287	96	133,5	103,2	77,3
CyR	9	4	3	5	5,3	2,6	50,1
TD	4	12	0	0	4,0	5,7	141,4
VP	0	0	0	29	11,3	14,5	128,9

Según el cuadro 4. El mosaico de cultivos presentó el mayor número de parches, seguido de los pastos limpios y el bosque natural intervenido, mientras que los rastrojos, el bosque ripario y la vegetación de páramo tienen valores bajos. Se debe tener en cuenta que el área influye notoriamente en el comportamiento de este índice, debido a esto es de vital importancia analizar la relación área/número de parches en la que el bosque primario presentó menor número de parches con grandes áreas, esto se puede evidenciar también para la vegetación de páramo en el cuadrante número 4.

En el Cuadro 5 se encontró que para los cuadrantes número 1 y 2 los índices de parche de mayor tamaño se encuentran dentro de la categoría pastos limpios, en cuanto a los cuadrantes número 3 y 4 el índice de parche mayor lo presenta el bosque primario seguido de la vegetación de páramo para el cuadrante 4. Podemos inferir que la cobertura que presenta los parches más grandes son los pastos

Cuadro 5. Índice de parche mayor (LPI) por categoría de uso del terreno por cuadrante

	C1	C2	C3	C4	\bar{x}	DS	CV%
BR	5,1	1,4	2,5	0,0	2,3	2,2	96,6
BP	2,1	2,1	17,2	37,9	14,9	16,9	114,4
BNI	3,1	4,5	12,3	0,7	5,1	5,0	97,5
MC	0,7	6,6	14,6	1,2	5,8	6,4	111,9
R	0,4	0,9	0,5	0,0	0,4	0,3	77,3
PL	68,6	30,9	3,9	3,7	26,8	30,6	114,3
CyR	0,4	0,2	1,2	0,3	0,5	0,5	89,1
TD	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	129,8
VP	0,0	0,0	0,0	16,2	4,0	8,1	200,0

limpios, seguidos por el bosque primario, con un valor significativo a comparación de los parches de las demás coberturas.

Cuadro 6. Índice de forma del paisaje (LSI) por categoría de uso del terreno por cuadrante

	C1	C2	C3	C4	\bar{x}	DS	CV%
BR	9,4	5,9	7,7	0,0	5,7	4,1	71,0
BP	5,2	9,4	19,2	14,9	12,2	6,1	50,4
BNI	14,3	19,7	23,7	15,6	18,3	4,2	23,2
MC	14,0	14,2	25,5	12,7	16,6	5,9	35,9
R	10,1	6,3	16,8	2,0	8,8	6,3	71,2
PL	13,9	17,1	26,2	17,6	18,7	5,3	28,1
CyR	24,5	6,7	16,5	9,9	14,4	7,8	54,4
TD	2,8	4,8	0,0	0,0	1,9	2,3	123,2
VP	0,0	0,0	0,0	8,9	2,3	4,5	200,0

Para el cuadro 6, en los cuatro cuadrantes evaluados se encontró que el bosque natural intervenido, pastos limpios, mosaico de cultivos y bosque primario obtienen valores altos para el LSI, lo cual indica formas irregulares dentro de la configuración del paisaje, mientras que la vegetación de páramo tiende a mantener una forma regular dentro del paisaje ajustándose a una forma geométrica simple.

El índice de yuxtaposición (Cuadro 7) para los cuadrantes del área de estudio muestra que hay adyacencias entre parches de una misma categoría, debido a que presenta valores relativamente altos en todos los casos, sin embargo para el cuadrante número 1 en las tierras degradadas presentan baja adyacencia, esto se puede dar porque hay muy pocas

Cuadro 7. Índice de yuxtaposición (IJ) por categoría de uso del terreno por cuadrante

	C1	C2	C3	C4	\bar{x}	DS	CV%
BR	39,3	53,8	66,2	0,0	39,8	28,7	72,2
BP	39,3	62,2	73,6	70,4	61,4	15,5	25,2
BNI	38,4	55,1	76,2	62,4	58,0	15,8	27,2
MC	37,7	52,9	74,5	74,6	59,9	17,9	30,0
R	62,4	60,5	70,0	53,9	61,7	6,6	10,7
PL	82,2	67,5	74,9	58,8	70,9	10,1	14,2
CyR	53,8	59,8	82,5	65,7	65,4	12,3	18,8
TD	4,4	31,7	0,0	0,0	9,0	15,3	168,9
VP	0,0	0,0	0,0	60,0	15,0	30,0	200,0

unidades de esta categoría dentro del cuadrante, los valores más altos se dan en el cuadrante número 1 para pastos limpios y en el cuadrante número 3 para cobertura antrópica y ríos, debido a que sus parches tienden a estar espacialmente agregados.

Para las categorías de interés como bosque primario, bosque natural intervenido y bosque ripario es posible observar como incrementa este índice a medida que se analiza cada una de las ventanas de estudio, siendo el cuadrante número 3 donde se presenta el mayor índice de adyacencia para estas tres, es importante resaltar que en el cuadrante número 4 se encontró un índice de adyacencia de 60% para la vegetación de páramo, que no es posible comparar con las demás, sin embargo la adyacencia y conectividad entre sus parches es alta.

Para el análisis de conectividad en el cuadrante 1 se obtuvo alta conectividad para el bosque primario con un 70%, a pesar de que los bosques primarios no cuentan con una gran cantidad de área dentro de esta ventana, esto indica que sus parches se encuentran en un radio inferior a los 1000 m. En los cuadrantes número 2 y 3 es el bosque ripario quien presenta el mayor índice de conectividad con un 79% y 90,4% respectivamente, esto obedece a que su distribución se asocia al curso de los ríos. El bosque primario presenta alta conectividad permitiendo los flujos e intercambios entre sus parches.

El coeficiente de variación en la comparación de cuadrantes presenta valores altos en la mayoría de métricas, lo que quiere decir que los datos son diferentes, indicando unos valores heterogéneos, alejados del promedio. Sin embargo para el número de parches en el bosque primario se encontró un coeficiente de

variación pequeño, mostrando datos homogéneos, ya que presenta un número de parches muy parecido en todos los cuadrantes, algo muy similar sucede con los rastrojos en el índice de yuxtaposición, en donde sus parches poseen adyacencias muy parecidas durante toda el área de estudio.

Estrategias de Conservación y Manejo Adaptativo

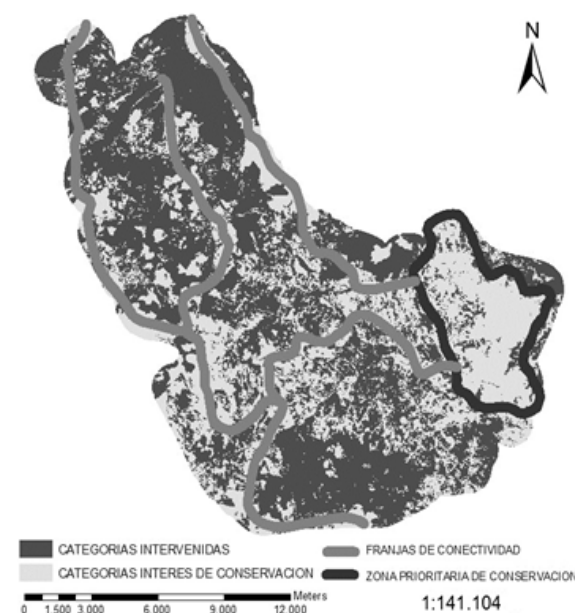
A partir del estudio de los usos del terreno se identificaron cuatro sectores prioritarios para centrar los esfuerzos de manejo adaptativo, se prioriza la zona alta que contiene los páramos y una matriz de bosque natural que favorece la movilidad de organismos entre los fragmentos de estas categorías y regula múltiples servicios ambientales (Figura 4). Los otros tres sectores se localizan durante toda el área de estudio en donde a pesar de no existir un continuo de las coberturas de interés para conservación, estas presentaron altos valores de conectividad y adyacencia permitiendo que aún se den interacciones entre ellas mismas ofreciendo diversos ambientes para la fauna y flora, garantizando recursos variados para los organismos.

En la zona de páramos es importante continuar evaluando los cambios de cobertura y buscar estrategias de orden político para detener la pérdida de vegetación natural a causa de la expansión agropecuaria. Se deben generar estrategias de negociación con las comu-

Cuadro 8. Conectividad (CON) por categoría de uso del terreno por cuadrante

	C1	C2	C3	C4	\bar{x}	DS	CV%
BR	28,6	79,1	90,5	0,0	49,5	42,6	85,9
BP	70,0	28,1	21,8	21,8	35,4	23,3	65,7
BNI	26,1	21,8	19,5	20,3	21,9	2,9	13,5
MC	26,3	37,5	19,5	36,2	29,9	8,6	28,6
R	23,8	20,6	24,3	0,0	17,2	11,6	67,4
PL	43,6	32,4	18,2	25,9	30,1	10,7	35,7
CyR	33,3	33,3	87,2	40,0	48,5	26,0	53,7
TD	33,3	40,9	0,0	0,0	18,6	21,7	116,7
VP	0,0	0,0	0,0	31,3	7,8	15,6	200,0

Figura 4. Zonas de conservación priorizadas



nidades que están presionando esta zona para poder conservarla.

Para los otros tres sectores es indispensable identificar cuáles son las prácticas que están generando presión sobre los bosques remanentes ya que es importante mantener la estructura del paisaje actual y complementarla con la mejora de las coberturas diferentes a las de interés de conservación [21, 22]. Se deben caracterizar los bosques, para establecer la dinámica de las comunidades e identificar otros requerimientos para su conservación. Para esto es importante que se establezca un sistema de cuadrantes de monitoreo de los bosques, como se ha propuesto en programas como MACACEA [21].

La implementación de una red de franjas de conectividad que permita el flujo de las interacciones entre coberturas de interés, por ejemplo: para el cuadrante 1 sería importante conectar los parches de bosque primario, para los cuadrantes 2 y 3 los bosques riparios y para el cuadrante 4 la vegetación de páramo, esto debido a que presentan alta conectividad entre ellos. Los corredores se pueden desarrollar bajo sucesión natural, restauración o reforestación con especies nativas o de interés de restauración.

Los pastos limpios siendo la matriz de la zona tienen alta importancia en esta propuesta, aplicando la técnica de las cercas vivas o siembra de árboles dentro de los potreros, que pueden generar recursos para la fauna como forraje, producción de madera, frutos, leña y sombrío al ganado.

Teniendo en cuenta que los rastrojos hacen parte de las primeras etapas de la sucesión natural, se pretende dejar por un tiempo un algunas zonas sin intervención para permitir que se lleve a cabo, sin olvidar que este proceso lleva muchos años, otra forma de realizarlo es acelerando el proceso con siembras de arbustos o árboles nativos permitiendo que conduzcan a una transformación más rápida y se podrían implementar cultivos diversificados de manera sostenible.

Respecto a los mosaicos de cultivos se les puede dar un manejo mediante los sistemas agroforestales, tratando de evitar los monocultivos, cultivando bajo asociaciones que permitan los diferentes aportes y demanda de nutrientes al suelo.

CONCLUSIONES

Al analizar el paisaje total y el resultado de la comparación entre cuadrantes, se pudo evidenciar que la matriz es pastos para los dos casos, lo que indica que en muchos de los aspectos el análisis de paisaje completo podría generar los mismos resultados que identificar el patrón del paisaje basado en muestras.

La intervención antrópica está más acentuada en las zonas bajas del área de estudio, como lo mostró el análisis de cuadrantes, mientras que a mayor altura la intervención es menor.

Para el análisis de conectividad de todo el paisaje es evidente que la vegetación de páramo es la que presenta el nivel más alto de conectividad.

Los bosques riparios muestran una alta conectividad, lo que indica que sirve de corredores biológicos naturales permitiendo interrelación de organismos, pero es evidente que estos ecosistemas están sufriendo una gran presión, reduciendo de manera drástica su conectividad lo que conlleva a pérdida de diversidad y afecta las interacciones de dicho ecosistema

REFERENCIAS

- [1] PETIT, S. and FREDERIKSEN, P. Modelling land use change impacts for sustainability assessment. *Ecological Indicators*, 11 (1), 2011, p. 1-3.
- [2] HAINES, Y.R. Land use and biodiversity relationships. *Land Use Policy*, 26 (1), 2009, p. S178-S186.
- [3] ERB, K.H. How a socio-ecological metabolism approach can help to advance our understanding of changes in land-use intensity. *Ecological Economics*, 76 (0), 2012, p. 8-14.
- [4] FORMAN, R. Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology*, 10 (3), 1995, p. 133-142.
- [5] HELBRON, H., SCHMIDT, M., GLASSON, J. and DOWNES, N. Indicators for strategic environmental assessment in regional land use planning to assess conflicts with adaptation to global climate change. *Ecological Indicators*, 11 (1), 2011, p. 90-95.

- [6] POTSCHIN, M. Land use and the state of the natural environment. *Land Use Policy*, 26 (1), 2009, p. S170-S177.
- [7] DNP. Lineamientos estratégicos para la gestión ambiental articulada del macizo colombiano (Documento borrador). Bogotá (Colombia): 2010, 45 p.
- [8] PAZ, G. Variabilidad genética del roble común (*Quercus humboldtii* bonpl.) en la región del macizo colombiano. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10 (2), 2012, p. 110 - 116.
- [9] CRC. Mejoramiento del paisaje forestal como apoyo a la conformación del corredor biológico páramo de barbillas, microcuencas los huevos, chuzolongo y pascariguaco en los municipios de Almaguer y la Vega - núcleo del macizo colombiano, departamento del Cauca. Popayán (Colombia): 2008, 28 p.
- [10] ECHEVERRIA, C., COOMES, D.A., HALL, M. and NEWTON, A.C. Spatially explicit models to analyze forest loss and fragmentation between 1976 and 2020 in southern Chile. *Ecological Modelling*, 212 (3-4), 2008, p. 439-449.
- [11] OSPINA, R. y CARDONA, G. Análisis del paisaje y su influencia sobre las características florísticas de los bosques dominados por *Guadua angustifolia* en el eje cafetero colombiano. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 3 (1), 2005, p. 64-73.
- [12] MARÍN, A., TORO, L. y URIBE, S. Conectividad estructural del paisaje cafetero en la cuenca alta del río San Juan, suroeste antioqueño, Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 23, 2008, p. 43-54.
- [13] RODRÍGUEZ, M.A., AIZEN, M.A. and NOVARO, A.J. Habitat fragmentation disrupts a plant-disperser mutualism in the temperate forest of South America. *Biological Conservation*, 139 (1-2), 2007, p. 195-202.
- [14] LAURANCE, W.F., NASCIMENTO, H.E.M., LAURANCE, S.G., ANDRADE, A.C., FEARNESIDE, P.M., RIBEIRO, J.E.L., ROBSON, L.C. and FEARNESIDE, P.M. Rain Forest Fragmentation and the Proliferation of Successional Trees. *Ecology*, 87 (2), 2006, p. 469-482.
- [15] LAURANCE, W. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: implications for conservation. En: *Stability of Tropical Rainforest Margins*. 1 ed. Berlín (Alemania): Springer, 2007, p. 9-35.
- [16] MARTÍNEZ, J. Determinación preliminar del estado de fragmentación en el área seleccionada de la parte sur del corredor biológico Munchique-Pinche, Informe Técnico. Popayán (Colombia): CRC, 2007, 43 p.
- [17] MARTÍNEZ, J., FIGUEROA, APOLINAR y RAMÍREZ, B. Cambios de cobertura y fragmentación a través de un análisis espacio temporal en el parque nacional natural Puracé. En: *Fragmentación y coberturas vegetales en ecosistemas andinos*, Departamento del Cauca. 1 ed. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca., 2009, p. 137-155.
- [18] ARELLANO, H. y RANGEL, O. Patrones en la distribución de la vegetación en áreas de páramo de Colombia: heterogeneidad y dependencia espacial. *Caldasia*, 30 (2), 2008, p. 355-411.
- [19] MARTÍNEZ, J., TANDIOY, W. y FIGUEROA, A. Patrones de cambio naturales y antrópicos en un ecosistema altoandino, parte alta de la cuenca del río Palacé. En: *Fragmentación y coberturas vegetales en ecosistemas andinos*, Departamento del Cauca. 1 ed. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca., 2009, 400 p.
- [20] CRIOLLO, Y. y BASTIDAS, S. Análisis del paisaje y de su relación con características florísticas de los bosques naturales de la compañía Smurfit Kappa Cartón de Colombia, en el núcleo meseta, municipios de Popayan y Cajibío, departamento del Cauca. [Tesis en Ingeniería Forestal]. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2011, p. 86.
- [21] GEA. Modelamiento climático, patrones de cambio y sus efectos en ecosistemas agrícolas altoandinos, identificando medidas de adaptación y mitigación para la planificación. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012, 84 p.
- [22] SARMIENTO, M. y RAMOS, P. Informe sobre el Estado y Calidad de las Políticas Públicas sobre Cambio Climático y Desarrollo en Colombia: Sector agropecuario y forestal. Bogotá (Colombia): AVINA-PCL, 2012, p. 37.