# Reconocimiento del estado actual del paisaje del municipio de gutiérrez (Cundinamarca), mediante el uso de indicadores de ecología del paisaje

## Recognition of the current state of gutierrez county landscape (Cundinamarca), using landscape ecology indexes

Daniel León Garay, Fernando Gutiérrez Fernández.


### Resumen

Dentro del territorio colombiano, en la provincia de oriente de Cundinamarca, se encuentra el municipio de Gutiérrez, donde se destina gran área para la producción agropecuaria. Sin embargo este sitio colinda con una de las zonas de protección y conservación más importantes del departamento, el Parque Nacional Natural Sumapaz (SNNP). En este lugar se desarrolló la investigación del reconocimiento del estado actual del paisaje de Gutiérrez, mediante el uso de indicadores de ecología del paisaje. Dentro de los cuatro tipos de zonas ambientales presentes en el municipio (páramo subalpino, bosque muy húmedo montano, bosque húmedo montano bajo y bosque húmedo premontano) se realizó la ubicación de los relictos mediante los indicadores de ecología del paisaje: área de clase (CA), número de parches (NP), tamaño medio de la mancha (MPS), desviación estándar del tamaño de la mancha (PSSD), coeficiente de variación en el tamaño de la mancha (PSCV), índice de forma medio (MSI), índice de dimensión fractal (MPFD) y la distancia media del vecino más cercano (MNN). El desarrollo de estos indicadores demostró, un gran impacto antrópico en las zonas aledañas a la cabecera municipal, lo que debe ser analizado por el Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio, con el fin de guardar la vocación conservacionista de la zona. La investigación se realizó mediante el cálculo de los indicadores propuestos gracias al software de libre descarga Patch Analyst acoplado al programa de levantamiento de planos topográficos ArcGis 10.0 desde

### Abstract

Within Colombia, in the eastern province of Cundinamarca, lies the town of Gutierrez, where a large area is used for agricultural production. This site is adjacent to one of the most important areas of protection and conservation, Natural Sumapaz National Park (SNNP). Here recognition research current state of landscape Gutiérrez was developed using indicators of landscape ecology. Among the four types of environmental zones present in the municipality (subalpine moorland, montane wet forest, lower montane rain forest and montane rain forest) the location of relict indicators was performed by landscape ecology: class area (CA), number of patches (NP), Average spot size (MPS), standard deviation of the spot size (PSSD), coefficient of variation in the size of the spot (PsCV), Average shape index (MSI), fractal dimension index (MPFD), and the average distance from the nearest neighbor (MNN).

The development of these indicators showed a large human impact in the areas surrounding the county seat. Which should be considered by the POT of the municipality, in order to save the vocation of the area conservationist.

The research was conducted by calculating the proposed indicators. We used the software Patch Analyst , and the program ArcGis 10.0, and the POT, developed by the Municipal Administration Gutierrez in 2010.


**Recibido / Received:** Abril 15 de 2014 **Aprobado / Aproved:** Mayo 28 de 2014

**Tipo de artículo / Type of paper:** Artículo de investigacion científica y tecnólogica terminada.

**Afiliación Institucional de los autores / Institutional Affiliation of authors:** Proyecto de investigación Ecoturismo para la creación de valor con responsabilidad social y ecológica, Universidad de la Sabana (Bogotá). Grupo de investigación Choc Izone, Universidad El Bosque (Bogotá)

**Autor para comunicaciones / Author communications:** Fernando Gutiérrez Fernández, gutierrezluisf@unbosque.edu.co

*Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.*

el mapa de uso de suelos desarrollado por la Administración Municipal de Gutiérrez en el Esquema de Ordenamiento Territorial del año 2010.

**Palabras Clave**: Ecología del paisaje, indicadores, restauración ecológica, páramo, Parque Natural Sumapaz.

**Keywords**: Landscape ecology, indicators, ecological restoration, moor, Sumapaz National Park.

# Introducción

La pérdida de ecosistemas es una problemática que afecta a todos los países a nivel mundial y a la calidad de vida de los seres humanos, sin embargo en las últimas décadas los recursos naturales se han venido asumiendo como un bien colectivo, con lo cual se ha generado interés por controlar, y si es posible, revertir los procesos de detrimento de la calidad ambiental generada por las actividades antrópicas [1], en esta línea se encuentra la necesidad de implementar sistemas, con los cuales obtener información sobre el estado real de los ecosistemas [2].

La problemática de pérdida de los recursos naturales, especialmente de la biodiversidad, ha sido ilustrada en la Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible de Johannesburgo, específicamente en el Convenio sobre Biodiversidad Biológica (CDB). Colombia se ha interesado desde antes por dar solución a dicha problemática, prueba de ello es la aparición de la Constitución Nacional de 1991, en donde se encuentran las bases legales para implementar estrategias de conservación. Posteriormente, se inicia el desarrollo de un sistema de diagnóstico y monitoreo ambiental alimentado con un sistema de indicadores de biodiversidad de ecosistemas como resultado del Convenio de Diversidad Biológica para el año 2010 [3], con el cual se fijaron las políticas, objetivos y actividades de las partes involucradas. La razón por la cual estas medidas, tienen tanta importancia, radica en que Colombia está ubicada dentro de las zonas geográficas de mayor biodiversidad, a nivel mundial.

Producto de lo anterior, se ha realizado actividades de caracterización y conservación de especies como la elaboración de los libros rojos nacionales de especies amenazadas de flora y fauna, el establecimiento de áreas importantes para la conservación de las aves (AICAS), la priorización de especies importantes para la conservación, la identificación de especies invasoras y el apoyo técnico para la declaración de áreas protegidas [4].

Dentro de los ecosistemas más sensibles al impacto ambiental están los páramos y los bosques andinos montanos y premontanos. Dentro de la ecología de estas zonas se interrelacionan una amplia biodiversidad de organismos endémicos expuestos a situaciones climáticas que se contrastan en estados extremos durante las horas del día y la noche. Este tipo de sistemas biológicos son grandes reservorios por su poder de captación y regulación de recursos hídricos [5].

Como todos los ecosistemas terrestres, los páramos han sido afectados por el impacto antrópico. Diferentes factores son los responsables en el deterioro de los ecosistemas de páramo, entre los cuales cabe mencionar el incremento en la temperatura global, el cambio de uso de suelo y la revolución verde (que cambió las técnicas de producción tradicional y que se realizan de forma intensiva). Esto ha ocasionado que estos ecosistemas se vean afectados, evidenciándose el acelerado deterioro. El Primer informe, "Comunicación Nacional de Colombia" (CN1), desarrollado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM de Colombia determinó que los sistemas de alta montaña son los más sensibles al calentamiento global y los primeros en ser deteriorados [6]. Dicho Instituto también postula que con la pérdida de estos ecosistemas se pierde, no solo la biodiversidad, sino también gran parte de los bienes y servicios ambientales, generando inseguridad hídrica en la nación.

Por lo tanto, las administraciones municipales se han interesado por desarrollar informes que reconozcan los usos del suelo, como han sido Los esquemas de ordenamiento territorial, en los que se han generado mapas de uso del suelo, que en la presente investigación se analizaron para el caso del Municipio de Gutiérrez con el software de indicadores de ecología del paisaje como el Patch Analyst, identificando de esta forma el estado actual de la fragmentación de los ecosistemas a nivel de condiciones del paisaje para el Municipio.

## Descripción del área de estudio

El municipio de Gutiérrez se ubica al sur oriente de Cundinamarca, y se encuentra localizado a los 4° 12' 10" latitud norte al y 74° 01' longitud oeste de Greenwich; se divide en las veredas de La Rinconada, El Cedral, La Concepción, La Reina, Carmen Arriba, Cerinza, Trapiche, El Hoyo, El Salitre, Cañuelal, La Palma, San Antonio, Río Chiquito, Potreritos, Pascote, Río Blanco, Los Medios, El Brasil, El Ramal y San Gil y una zona de conservación y protección ambiental que colinda con Bogotá que es el gran páramo de Sumapaz. Como unidad geográfica el municipio consta de un área aproximada de 46.000 hectáreas de las cuales 23 ha corresponden al casco urbano o cabecera municipal. La cabecera municipal se encuentra a una altura de 2350 msnm y a 77 kilómetros de Bogotá.

El Municipio por su gran extensión y geografía quebrada está ubicado dentro de varios pisos térmicos desarrollándose d iferentes ecosistemas en una región relativamente reducida. Gutiérrez presenta dos centros poblados (Pascote y San Antonio) y 1 casco urbano; su economía es netamente agropecuaria, especializándose en la producción de leguminosas con un área aproximada de 2000 Ha [7].

## Metodología

Durante el 2013, se realizó una evaluación de las condiciones actuales del ecosistema mediante la ubicación de relictos a parches del ecosistema original mediante 3 tipos de indicadores de paisaje. Para el estudio se escogieron indicadores de densidad, forma y conectividad (Tabla 1).

Según la disponibilidad de software para el análisis de indicadores del paisaje disponible en línea, se eligió el Patch Analyst debido a que permite realizar estudios de análisis de ecología del paisaje de datos provenientes en formatos vector o ráster de conectividad y fragmentación, incluyendo el cálculo de diferentes métricas o indicadores [8].

***Tabla 1.*** *Categorías, descripción, acrónimos, unidades y rango de los indicadores de paisaje, implicaciones ecológicas y aplicación de estudio de las métricas o indicadores [9].*

| Categoría | Indicadores de paisaje | Acrónimo (por sus siglas en inglés) | Unidades y rango | Descripción | Fórmula de cálculo | Implicaciones ecológicas principales | Aplicación de estudio para la vegetación de Gutiérrez |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Área/ densidad | Área de clase | CA | Hectáreas $[0,\infty]$ | Estadística básica de la configuración espacial | $CA=\sum a_{ij}$ donde $a_{ij}$ es el área de la clase i y la mancha j | Productividad, ciclos biogeoquímicos y dinámica de especies | Indicador simple de fragmentación |
| | Número de mancha | NP | Adimensional $[0,\infty]$ | | $NP=n_i$ donde $n_i$ es el número de manchas para iésima clase | | |
| | Tamaño medio de la mancha | MPS | Hectáreas $[0,\infty]$ | | $MPS=\frac{\sum_{i=1}^{m} A_i}{m}$ donde $A_i$ es el área de la clase i | | |
| | Desviación estándar del tamaño de la mancha | PSSD | Hectáreas $[0,\infty]$ | | $PSSD=\sqrt[2]{\frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left[a_{ij}-\left(\frac{A}{N}\right)\right]}{N}}$ donde $a_{ij}$ es el área de la clase i y la mancha j | | |
| | Coeficiente de variación en el tamaño de la mancha | PSCV | Porcentaje $[0,\infty]$ | Variabilidad en el tamaño de las manchas | | Diversidad biológica | Homogeneidad en la estructura de la vegetación |

| Categoría | Indicadores de paisaje | Acrónimo (por sus siglas en inglés) | Unidades y rango | Descripción | Fórmula de cálculo | Implicaciones ecológicas principales | Aplicación de estudio para la vegetación de Gutiérrez |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Forma | Índice de forma medio | MSI | Adimensional $[0,\infty]$ | Complejidad de las formas. Aproximadamente 1 para forma con perímetros simples | $MSI = 0.25 p_{ij} / \sqrt[2]{a_{ij}}$ donde $a_{ij}$ es el área de la clase i y la mancha j | Interacciones con los efectos de la matriz-borde adyacente | Configuración espacial de la vegetación en términos de la complejidad de los parches |
| | Índice de dimensión fractal | MPFD | Adimensional $[1,2]$ | Dimensión fractal: Relación del perímetro por unidad de área. Se incrementa a medida que los parches son irregulares | $MFRACT = 25$ En donde: $S = Logp_{ij} / Loga_{ij}$ donde $a_{ij}$ es el área de la clase i y la mancha j y $p_{ij}$ es el perímetro para la clase i y la mancha j | Conectividad lateral | |
| Conectividad | Distancia media del vecino más cercano | MNN | Metros $[0,\infty]$ | Distancia mínima entre manchas de la misma clase, basado en la distancia más corta entre sus bordes | $MNN = \frac{\sum_{i=1}^{N} d_i}{N}$ donde N es el número de puntos. di es la distancia del vecino más cercano para el punto i | Flujo de energía y biomasa y efectos de conectividad-biodiversidad biológica | Aislamiento de las manchas, interconectividad |

## Resultados

Para el análisis del paisaje se tuvo en cuenta como punto de partida las clases propuestas por el Esquema de Ordenamiento Territorial de Gutiérrez desarrollado para el 2010 (Tabla 2).

***Tabla 2.*** *Clase de cobertura y uso del suelo [7]*

| Clase de cobertura | Uso de suelo | Área Total (ha) | %Área |
|---|---|---|---|
| Área Sin Uso Agropecuario ni Forestal (A.S.U.A.F.) | Afloramiento | 65.8 | 0.14 |
| | Deslizamiento | 93.06 | 0.20 |
| | Institucional | 7.69 | 0.02 |
| | Laguna | 9.08 | 0.02 |
| | Perímetro Urbano | 17.12 | 0.04 |
| | Rio | 187.51 | 0.41 |
| | Riesgo no Mitigable | 15.75 | 0.03 |

| Clase de cobertura | Uso de suelo | Área Total (ha) | %Área |
|---|---|---|---|
| Bosque | Bosque Fragmentado | 645.17 | 1.40 |
| | Bosque Natural | 3727.60 | 8.10 |
| | Bosque Secundario | 1194.99 | 2.60 |
| Cultivos | Asociación Papa-Arveja | 203.67 | 0.44 |
| | Consociación Frijol-Sagú-Caña-Café-Yuca-Plátano | 1686.70 | 3.67 |
| | Consociación Frijol-Pasto Natural | 226.5 | 0.49 |
| | Monocultivo Frijol | 854.28 | 1.86 |
| Explotación Agrícola Confinada (E.A.C.) | Piscícola | 0.55 | 0.00 |
| Paramo | Bosque Natural | 231.17 | 0.50 |
| | Pajonales | 6178.63 | 13.43 |
| | Pastos | 467.38 | 1.02 |
| | Rastrojo | 4948.00 | 10.76 |
| | Vegetación | 2528.63 | 5.50 |
| | Pasto Natural | 91.53 | 0.20 |
| | Pasto con Rastrojo | 3011.74 | 6.55 |
| | Pastos | 2677.50 | 5.82 |
| Área de protección cuerpos de agua | Ronda de Quebrada | 160.96 | 0.35 |
| | Ronda de Rio | 3.83 | 0.01 |
| Áreas del sistema de servicios públicos domiciliarios (A.S.S.P.D.) | Almacenamiento | 0.03 | 0.00 |
| | Captación | 8.64 | 0.02 |
| | Conducción | 2.22 | 0.00 |
| | PGRIS | 0.84 | 0.00 |
| | PTARS | 1.45 | 0.00 |
| | Tratamiento | 0.02 | 0.00 |
| Sub Paramo | Bosque Fragmentado | 26.11 | 0.06 |
| | Bosque Natural | 2294.06 | 4.99 |
| | Bosque secundario | 249.5 | 0.54 |
| | Pasto con Rastrojo | 899.36 | 1.96 |
| | Pastos | 334.12 | 0.73 |
| | Rastrojo | 369.1 | 0.80 |
| Vegetación Arbustiva | Rastrojo | 5703.41 | 12.40 |
| | Rastrojo Quemado | 238.35 | 0.52 |
| Parque Nacional Natural del Sumapaz (P.N.N.S.) | Parque Nacional Natural del Sumapaz (PNNS) | 6638.47 | 14.43 |

Del análisis de los mapas de uso de suelos del Sistema de Información Geográfico del Esquema de Ordenamiento territorial (2010) suministrado por la administración pública de Gutiérrez, mediante la aplicación del software Patch Analyst se obtuvieron los resultados que se presentan en la tabla 3.

***Tabla 3.*** *Resultados de los indicadores de ecología del paisaje propuestos.*

| Clase | CA (ha) | %A | NP | MPS(ha) | PSSD(ha) | PSCV (%) | MSI | MPFD | MNN (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ASUAF | 394.24 | 0.86 | 33 | 11.95 | 32.97 | 275.95 | 4.22 | 1.32 | 330.73 |
| Bosque | 5543.59 | 12.10 | 96 | 57.75 | 139.11 | 240.91 | 1.83 | 1.31 | 223.21 |
| Sub Paramo | 4154.12 | 9.07 | 112 | 37.09 | 91.19 | 245.87 | 1.91 | 1.32 | 821.93 |
| Área de protección cuerpos de agua | 164.08 | 0.36 | 51 | 3.22 | 3.25 | 101.04 | 3.00 | 1.46 | 196.02 |
| Cultivos | 2958.20 | 6.46 | 55 | 53.79 | 94.26 | 175.26 | 2.06 | 1.28 | 451.70 |
| Páramo | 20134.58 | 43,77 | 111 | 128.73 | 361.38 | 280.74 | 1.91 | 1.31 | 658.80 |
| Pasto | 5755.66 | 12.57 | 74 | 77.78 | 168.18 | 216.23 | 2.24 | 1.30 | 220.25 |
| Vegetación Arbustiva Ra | 5785.39 | 12.63 | 44 | 131.49 | 256.93 | 195.41 | 1.87 | 1.30 | 330.73 |
| EAC | 0.55 | 0.00 | 1 | 0.55 | 0.00 | 0.00 | 2.03 | 1.46 | Indeterminado |
| ASSPD | 13.14 | 0.03 | 16 | 0.82 | 0.57 | 68.85 | 2.80 | 1.45 | 1296.19 |
| Vegetación Arbustiva Rq | 130.58 | 0.29 | 1 | 130.58 | 0.00 | 0.00 | 2.39 | 1.30 | 110.00 |
| PNNS | 6638.47 | 14.43 | 1 | 6609.69 | 0.00 | 0.00 | 1.74 | 1.20 | Indeterminado |

*Fuente: Autor*

Se evidencia que las áreas con mayor porcentaje son las que poseen coberturas naturales como el Parque Nacional Natural de Sumpaz (PNNS) o los relictos de ecosistemas nativos como el páramo, subpáramo y bosque natural de las diferentes zonas ambientales. El aprovechamiento de sus recursos es tradicional, porque no se evidencian sistemas agroecológicos en los parches de las clases como lo reportado en otro tipo de ecosistemas más fragmentados en zonas ecuatoriales de conservación [9]

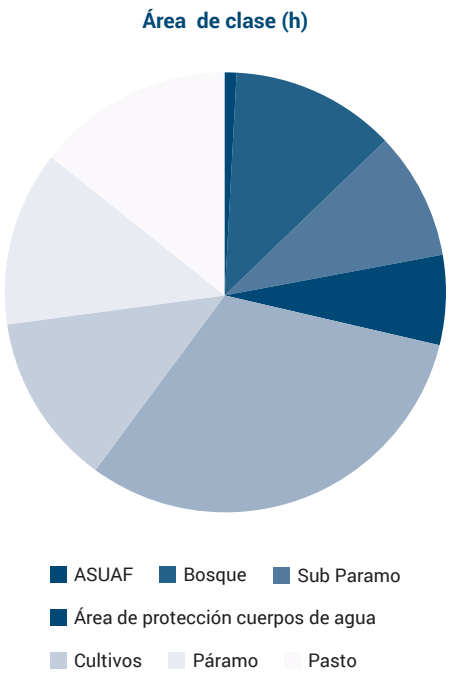
No existe una zona de transición entre los ecosistemas naturales y los agroecosistemas que generen protección para los ecosistemas de páramo específicamente, situación que se evidencia gracias a los niveles bajos en el indicador de área de la clase de los cultivos con técnicas agroecológicas.

Existe una amplia extensión total reportada para la función de los servicios ecosistémicos (PNNS, área de protección de cuerpos de agua, páramo, subpáramo y bosques) y con el régimen de lluvias, reportado por el Sistema de Información Ambiental, de intervalos entre 1200 y 1500 mm [10], se observa el potencial hídrico de la región. Estas precipitaciones se concentran principalmente en el río Taguaté.

## Área de clase promedio (CA)

En la tabla 2 y figura 1 se muestra el área promedio de cada clase con respecto a la tipo de cobertura. El área que cubre el Parque Natural Nacional Sumapaz (PNNS) muestra ser levemente mayor con respecto a la observada para los pastizales y los cultivos que son ecosistemas producto de las actividades antrópicas, dato que corresponde a que solo existe como único parche Se observa que el área con mayores valores de clase promedio son el páramo, el bosque y el rastrojo (tabla 3).

***figura 1.*** *Área de clase Fuente: Autores*




Se ratifica entonces con el presente estudio las conclusiones expuestas por la Administración Municipal (2010) en el Esquema de Ordenamiento Territorial, en donde se señala que Gutiérrez es un municipio conservacionista debido a que la extensión de los ecosistemas naturales (ASUAF, bosque, áreas de protección de cuerpos de agua, páramos, vegetación arbustiva y PNNS) es mayor con respecto a la de los agroecosistemas (cultivos y pastizales). Se puede evidenciar que los ecosistemas de origen antrópico corresponden con tan sólo el 19.34% de la extensión total y los ecosistemas naturales ocupan un extensión del 80.66%.

Con respecto a las dimensiones del fragmento, cuanto mayor es el tamaño del parche mayor es el número de especies que puede sostener [10] por lo tanto se evidencia que las coberturas naturales de Gutiérrez son potencialmente hábitat de gran cantidad de especies, eso evidencia el área promedio de las clases de páramo, subpáramo, ASSPD, vegetación arbustiva y área de protección de cuerpos de agua.

Gutiérrez tiene un porcentaje de áreas de clase de conservación más alta que las reportadas en paisajes con ecosistemas de alta montaña en municipios del orobioma altoandino ubicado entre los municipios de los departamentos de Boyacá y Santander, que son Departamentos aledaños a la zona de estudio y que poseen este tipo de ecosistema [11].

Los páramos son ecosistemas captadores de dióxido de carbono debido a que poseen procesos de mineralización y reciclaje de nutrientes; esto genera una tendencia a la absorción de carbono depositado como materia orgánica en el suelo [12] y debido a la gran extensión reportada en el municipio de Gutiérrez, se concluye que es un municipio que contribuye a la reducción de la emisión de gases efecto invernadero global (tabla 4).

***Tabla 4.*** *Dióxido de carbono total estimado capturado por año en las clases de páramo, subpáramo y PNNS ubicados en Gutiérrez [13]*

| Clase | Compartimiento | Ton C/Ha | $CO_2$ total estimado promedio capturado por Gutiérrez (Ton C/Ha) |
|---|---|---|---|
| Páramo | Vegetación | 20 | 285.770 |
| | Suelo | 1.700 | 24'290.461 |
| | Tota | 1.720 | 24'576.232 |
| Subpáramo | Vegetación | 20 | 83.082 |
| | Suelo | 1.700 | 7'062.000 |
| | Total | 1.720 | 7'145.082 |
| PNNS | Vegetación | 20 | 285.770 |
| | Suelo | 1.700 | 24'290.461 |
| | Total | 1.720 | 24'576.232 |

## Número de parches (NP)

Se observa mayor cantidad de manchas para la cobertura de subpáramo y páramo seguido de la cobertura de bosques, pero si se compara con el área de cada clase, se reconoce que la mayor extensión y número de manchas es para la cobertura de páramo; por lo tanto, la zona ambiental predominante es el páramo altonadino en donde se presentan los tipos de vegetación para el páramo: bosque natural, pajonales, pastos, rastrojo, vegetación, pasto natural, pasto con rastrojo y pastos; y el subpáramo: bosque fragmentado, bosque natural,

bosque secundario, pasto con rastrojo, pastos y rastrojo. La vegetación con mayor área reportada en cada una de las clases es para páramo el pajonal y para el subpáramo y el bosque natural. La clase de bosque también presenta un número de manchas considerables, distribuido en tipos de coberturas: bosque fragmentado, bosque natural y bosque secundario (tabla 3).

El número de fragmentos de una clase de parche es una medida simple de la subdivisión o fragmentación del mismo; sin embargo, el número de parches de una clase puede ser importante para reconocer los procesos ecológicos [14], aunque en este caso muestra una organización de los hábitats para las especies. El gran parche denominado PNNS es remplazado por parches de páramo y subpáramo, finalizando en bosques a medida que baja la altitud y por parches de la clase de cultivos y pastos a medida que se acerca al caso urbano. Estas últimas clases evidencian fraccionamiento en el paisaje general a medida que se aproximan al casco urbano. Gutiérrez es un paisaje levemente fragmentado debido a que a pesar de tener una gran extensión, solamente se evidencian 55 parches correspondientes a cultivos y 74 a pastos, unidades que poseen áreas de tamaño menor con respecto al páramo y similar a los bosques.

## Tamaño medio de la mancha (MPS) y desviación estándar de la mancha (PSSD)

El tamaño promedio de la mancha del PNNS es la más alta, este dato no es representativo debido a que existe como única área de protección. Además se evidencia una variabilidad de los datos demasiado pronunciada, lo que refleja que la heterogeneidad de los tamaños es alta (Tabla 3). Se muestra un promedio de tamaño medio alto para la clase de páramo y la vegetación arbustiva situación interesante para fines conservacionistas. Con respecto a otro tipo de municipios, en Gutiérrez se presenta un MPS dentro del rango reportado para ecosistemas de origen natural con poca intervención antrópica que los presentados en el paisaje del orobioma altoandino, en unidades ambientales similares, ubicado entre los municipios de los departamentos de Boyacá y Santander, que como se mencionó anteriormente son Departamentos aledaños a la zona de estudio que poseen este tipo de ecosistema [11]

## Coeficiente de variación en el tamaño de la mancha (PSCV)

Para la clase de páramo, se reporta un coeficiente de variación en el tamaño de la mancha alto, lo que significa una alta variabilidad en la clase de la cobertura, valor que se respalda con la desviación estándar del tamaño medio para esta clase de manchas (PSSD) (Tabla 3). Se ratifica entonces que las manchas que corresponden a la clase de páramo tienen una alta variación en cuanto al tamaño. También se evidencia un alto índice para las áreas sin uso agropecuario o forestal, valor que apoya la heterogeneidad de las manchas o relictos de ecosistemas naturales.

Según el tamaño medio de las manchas por clase, se observa que el comportamiento de las áreas de los ecosistemas predominantes (páramo, subpáramo y bosques) es variado, teniendo altas y bajas extensiones en una misma clase. Este indicador es demasiado general para arrojar algún tipo de conclusión y su respectiva desviación estándar y coeficiente de variación no aclaran el comportamiento de los tamaños.

## Índice de forma medio (MSI)

En cuanto al índice de forma medio para las clases de origen natural de Gutiérrez se encuentran bajo el parámetro de regularidad en las formas, situación que afirma que las clases presentan formas más regulares que las reportadas en el orobioma subandino, exceptuando las ASUAF [11].

Se observa que la cobertura con mayor comportamiento de forma irregular es el área sin uso agrícola o forestal, situación que puede inferir que su comportamiento es de una cobertura natural y que puede tener el potencial de estudio de la biodiversidad presente, dado su menor intervención antrópica.

## Índice de dimensión fractal (MPFD)

Según el análisis de dimensión fractal, se ratifica lo observado en el índice de forma, en donde se expresa que las zonas con mayor complejidad de forma son las áreas de protección de acuíferos y la de los sistemas de servicios públicos. Esto unido a la información del área

de clase, genera inferencia de una distribución bastante irregular de los ecosistemas de páramo. Se evidencia por lo tanto, el desarrollo de los ecosistemas naturales (páramo, PNNS, área de protección de acuíferos y vegetación arbustiva) en formas irregulares y de gran extensión frente al menor desarrollo de las áreas ocupadas por los agroecosistemas (tabla 3).

Este indicador se comporta de manera similar a los reportados para ecosistemas, que se encuentran en similares latitudes del departamento de Boyacá y Santander, aunque para el MSI se presenta un valor menor levemente [11]. También se puede observar que a nivel general Gutiérrez, se comporta como otros ecosistemas naturales de páramo ubicados en las latitudes del Corredor de Conservación Choco-Manabí (CCCM) siendo ligeramente más irregulares los que se presentan en este complejo ecológico, pero teniendo indicadores de área y densidad menores [15].

La cobertura que presenta mayor comportamiento fractal, es el área de protección de acuíferos, se infiere que es debido a que mantiene la forma de los cuerpos de agua, situación importante para el equilibrio hídrico de los ecosistemas de la región.

## Distancia media del vecino más cercano (MNN)

Se puede observar que el PNNS es una clase aislada de cualquier otro tipo de mancha de la misma clase porque no reporta este tipo de índice. Las manchas de la clase de páramo y subpáramo son las más distanciadas, por lo tanto, la conectividad entre los relictos puede verse disminuida, a pesar que se tiene una gran cantidad de parches de estas clases, eso se traduce en que las especies van a tener dificultades para moverse entre las manchas del mismo tipo de cobertura. En cuanto a la conectividad, el indicador de distancia media del vecino más cercano, muestra distanciamiento alto entre las mismas clases, pero teniendo en cuenta la distribución de uso de suelo que muchas de las clases están relacionadas se puede inferir una gran conectividad en las manchas.

## Conclusiones

Los indicadores muestran que es un territorio poco intervenido, a nivel general, pero en las zonas aledañas al casco urbano el impacto de orgen antrópico es alto. La división de los ecosistemas naturales ha generado gran cantidad de manchas de la misma clase, especialmente para los ecosistemas predominantes en la zona (páramo y subpáramo).

Se puede observar que la fragmentación es una amenaza latente para los ecosistemas predominantes, sin embargo los bajos niveles de fragmentación en las zonas alejadas al casco urbano, muestra que esta región es un ecosistema con un gran potencial para proporcionar hábitats a especies de interés para conservación, situación que debe ser tenida en cuenta por la Administración Municipal en la actualización del Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio.

Por lo anterior, es que se considera que el uso de software como el Patch Analyst, son elementos que proporcionan información valiosa y que debe ser utilizado en la elaboración y el análisis que se realiza en los diferentes Esquemas de Ordenamiento Territorial.

## Bibliografía

[1] R. Lorenzetti, Teoría del derecho ambiental, Bogotá: Temis, 2011.

[2] Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente/Banco Mundial y Universidad de Costa Rica (PNUMA/BM/UCR), «Iniciativa Latinoamericana y del Caribe para el Desarrollo Sostenible: Indicadores de Seguimiento,» PNUMA/BM/UCR, San José, 2004.

[3] Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, «La Perspectiva Mundial sobre la Diversidad Biológica 3,» Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, Montreal, 2010.

[4] Instituto de Investigación de Recursos Biológicos "Alexander von Humboldt"., «Informe sobre el Estado de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente 2009,» IAvH, Bogotá, 2010

[5] Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios, «Panorama y perspectivas sobre la gestión ambiental de los ecosistemas de páramo,» Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios, Bogotá, 2008.

[6] IDEAM, «Convención Marco de Naciones Unidas para el cambio Climático,» IDEAM, Bogotá, 2001.

[7] Administración Municipal de Gutiérrez, «Esquema de Ordenamiento Territorial,» Administración Municipal, Gutiérrez., 2010.

[8] S. Steiniger y G. Hay, «Free and open source geographic information tools for landscape ecology,» *Ecological Informatics*, p. 183–195, 2009.

[9] M. Fernandes, F. Aguiar y M. Ferreira, «Assessing riparian vegetation structure and the influence of land use using landscape metrics and geostatistical tools,» *Landscape and Urban Planning*, pp. 166-177, 2011.

[10] M. Hagen, D. Kissling, C. Rasmussen, M. De Aguiar, L. Brown, D. Carstensen, I. Alves-Dos-Santos, Y. Dupont, F. Edwards, J. Genini, P. Guimarães Jr., G. Jenkins, P. Jordano, C. Kaiser-Bunbury, M. Ledger, K. Maia, F. Darcie Marquitti, Ó. Mclaughlin, P. Morellato, E. O'Gorman, K. Trøjelsgaard, J. Tylianakis, M. Morais, G. Woodward y J. Olesen, «Advances in Ecological Research,» de *Biodiversity, Species Interactions and Ecological Networks in a Fragmented World*, 2011, p. 89–210.

[11] Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, «Indicadores de seguimiento y evaluación de la política de biodiversidad,» Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, 2005.

[12] Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios, «Situación de los páramos en Colombia frente a la actividad antrópica y el cambio climático,» Procuraduria General de la Nación, Bogotá, 2008.

[13] J. Garcia, *Análisis del potencial de emisión de dióxido de carbono del páramo de Chingaza y lineamientos para su conservación en el contexto del mecanismo de desarrollo limpio*, Bogotá : Pontificia Universidad Javeriana, 2003.

[14] K. MacGarigal y B. Marks, «Fragstats: Spatial pattern analysis program for Quantifying landscape structure.,» US, Department of Agriculture, Forest Division, Portland,, 1995.

[15] M. Echeverry y G. Harper, «Fragmentación y deforestación como indicadores del estado de los ecosistemas en el Corredor de Conservación Choco-Manabí (Colombia-Ecuador),» *Recursos Naturales y Ambiente* , pp. 78-88, 2007.

[16] Millennium Ecosystem Assesment, «Ecosystem an human well-being: biodiversity synthesis,» World Resource Institute, Washinton D.C., 2005.

## Los Autores

### Daniel León Garay

Ingeniero químico, Magister en diseño y gestión de procesos con énfasis en sistemas biólogicos, docente en ciencias naturales e investigador en proyectos relacionados con el desarrollo sostenible de sistemas productivos agroindustriales.

### Fernando Gutiérrez Fernández

Ecólogo, Pontificia Universidad Javeriana, Especialista en gestión Urbana y Ordenamiento territorial (Universidad Politécnica de Valencia – España), Especialista en Gestión Medio Ambiental (Universidad Politécnica de Madrid – España), Especialista en Desarrollo, Sostenibilidad y Ecodiseño (Universidad Politécnica de Valencia – España), Doctor en Desarrollo, Sostenibilidad y Ecodiseño (Universidad Politécnica de Valencia – España), Tesis doctoral Cum laude, Profesor asociado Universidad El Bosque.