



**DIAGNÓSTICO DE LA FRAGMENTACIÓN ANTROPOGÉNICA  
DEL PAISAJE PARA EL MUNICIPIO DE GUTIERREZ  
(CUNDINAMARCA)**

**DANIEL LEÓN  
DIRECTOR: Dr. FERNANDO GUTIERREZ**

**UNIVERSIDAD DE LA SABANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS  
CHÍA  
MARZO DE 2014**

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	6
INTRODUCCIÓN .....	9
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA .....	11
3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	11
4. OBJETIVO GENERAL.....	12
5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
6. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	12
7. MARCO TEÓRICO .....	12
7.1. SOSTENIBILIDAD, DESARROLLO SOSTENIBLE Y BIODIVERSIDAD.....	12
7.2. BIODIVERSIDAD, ECOSISTEMAS ANDINOS Y ACTIVIDADES ANTROPOGÉNICAS (Hagen, y otros, 2012) .....	14
7.3. RESTAURACIÓN ECOLOGICA.....	16
7.5. FRAGMENTACIÓN .....	19
7.5.1. CARACTERÍSTICAS DE FRAGMENTO.....	20
7.5.2. BORDES DEL HÁBITAT .....	20
7.5.3. MATRIZ.....	21
7.6. INDICADORES O MÉTRICAS DEL PAISAJE (Bocco, Carl Troll y la ecología del paisaje, 2013).....	21
8. METODOLOGÍA .....	22
8.1. DESCRIPCIÓN DEL ECOSISTEMA DE REFERENCIA.....	23
8.1.1. Descripciones ecológicas y listas de especies antes de la perturbación.....	23
8.1.2. Reconocer la biodiversidad aun existente en los parches de biodiversidad .....	23
8.1.3. Descripción ecológica y lista de especies de ecosistemas similares e intactos ..	23
8.2. EVALUAR EL ESTADO ACTUAL DEL ECOSISTEMA A NIVEL DE CONDICIONES DEL PAISAJE .....	23
8.2.1. Ubicación de los relictos o parches del ecosistema general. ....	23
8.2.2. Análisis de uso del suelo donde se encuentran los relictos o parches .....	24
8.3. DEFINIR ESCALA Y NIVELES DE ORGANIZACIÓN Y ESTABLECER JERARQUÍAS DE LOS DISTURBIOS .....	24
8.3.1. Definir la escala y nivel organización del estudio.....	24
8.3.2. Establecer las jerarquías de disturbios de tipo antrópico para ecosistemas terrestres .....	24

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	24
9.1. DESCRIPCIÓN DEL ECOSISTEMA DE REFERENCIA.....	24
9.1.1. Descripciones ecológicas y listas de especies antes de la perturbación .....	26
9.1.2. Reconocer la biodiversidad aun existente en los parches de biodiversidad .....	27
9.1.3. Descripción ecológica y lista de especies de ecosistemas similares e intactos ..	28
9.2.1. Ubicación de los relictos o parches del ecosistema general .....	32
9.2.2. Reconocimiento de los disturbios antrópicos .....	39
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	41
BIBLIOGRAFÍA.....	42
ANEXO 1. FOTOGRAFÍAS DE LAS PLANTAS DE PÁRAMO.....	49
ANEXO 2. FOTOGRAFÍAS DE LAS ESPECIES DE BOSQUE MUY HÚMEDO MONTANO .....	53
ANEXO 3. FOTOGRAFÍAS DE LAS ESPECIES DE BOSQUE MUY HÚMEDO MONTANO BAJO .....	60
ANEXO 4. MAPA GENERAL GUTIERREZ (CUNDINAMARCA) Fuente: Administración Municipal de Gutiérrez, 2010.....	66
ANEXO 5. MAPA DEL USO DEL SUELO DE GUTIERREZ (CUNDINAMARCA) Fuente: Administración Municipal de Gutiérrez, 2010 .....	68

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del Municipio de Gutiérrez. (Administración Municipal de Gutiérrez, 2010) .....	11
Figura 2. Visiones del desarrollo sostenible (Barbault, 2011).....	14
Figura 3. Criterios y categorías definidas para analizar los indicadores a través de los tipos de ecosistemas (Feld et al., 2009).....	16
Figura 4. Secuencia y relaciones de los 13 pasos fundamentales en la restauración ecológica (Vargas, 2010). .....	18
Figura 5. Número de investigaciones en diferentes categorías para la primera década del siglo XXI. (Uemaa, Mander, & Marja, 2013).....	19
Figura 7. <i>Espeletia summapacis</i> Fuente: Autor.....	49
Figura 8. <i>Berberis goudotii</i> Fuente: Autor.....	49
Figura 9. <i>Juncus effusus</i> Fuente: Autor.....	49
Figura 10. <i>Plantago rigida</i> Fuente: Autor.....	50
Figura 11. <i>Puya goudotiana</i> Fuente: Autor.....	50
Figura 12. <i>Archytopyllum nitidum</i> Fuente: Autor.....	51
Figura 13. <i>Calamagrostis effusa</i> Fuente: Autor.....	51
Figura 14. <i>Galium hypocarpium</i> Fuente: Autor.....	52
Figura 15. <i>Pentacalia ledifolia</i> Fuente: Autor.....	52
Figura 16. <i>Bocconia frutescens</i> . Fuente: Autor.....	53
Figura 17. <i>Hawea fosteriana</i> . Fuente: Autor.....	53
Figura 18. <i>Cavendishia cordiflora</i> . Fuente: Autor.....	54
Figura 19. <i>Oreopanax floribundus</i> . Fuente: Autor.....	54
Figura 20. <i>Phytolacca bogotensis</i> . Fuente: Autor.....	55
Figura 21. <i>Macleania rupestris</i> . Fuente: Autor.....	55
Figura 22. <i>Lycopodium spp.</i> Fuente: Autor.....	56
Figura 23. <i>Chusquea scandens</i> . Fuente: Autor.....	56
Figura 24. <i>Weinmannia tomentosa</i> . Fuente: Autor.....	57
Figura 25. <i>Lobaria sp.</i> Fuente: Autor.....	57
Figura 26. <i>Tibouchina lepidota</i> . Fuente: Autor.....	58
Figura 27. <i>Ceroxylon quindiuense</i> . Fuente: Autor.....	58
Figura 28. <i>Clusia multiflora</i> . Fuente: Autor.....	59
Figura 29. <i>Ipomoea purpurea</i> . Fuente: Autor.....	60
Figura 30. <i>Pittosporum undulatum</i> . Fuente: Autor.....	60
Figura 31. <i>Fucraea andina</i> . Fuente: Autor.....	61
Figura 32. <i>Brugmasia candida</i> . Fuente: Autor.....	61
Figura 33. <i>Xylosma sp.</i> Fuente: Autor.....	62
Figura 34. <i>Ricinus communis</i> . Fuente: Autor.....	62
Figura 35. <i>Cedrela montana</i> . Fuente: Autor.....	63
Figura 36. <i>Erythrina edulis</i> . Fuente: Autor.....	63
Figura 37. <i>Dahlia imperialis</i> . Fuente: Autor.....	64
Figura 38. <i>Ceroxylon alpinum</i> . Fuente: Autor.....	64

Figura 39. *Cecropia telenitida*. Fuente: Autor ..... 65

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Metodología propuesta para el desarrollo del proyecto (Fuente: Autor).....	22
Tabla 2. Zonas agropecuarias evidenciadas en Gutiérrez. (Modificado de Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios, 2008).....	25
Tabla 3. Ecosistemas presentes en el territorio del municipio de Gutiérrez según la escala propuesta por Holdridge y Cuatrecasas (Fuente: Autor).....	26
Tabla 4. Categorías, descripción, acrónimos, unidades y rango de los indicadores de paisaje, implicaciones ecológicas y aplicación de estudio de las métricas o indicadores (Modificado de Fernandes, Aguiar & Ferreira, 2011).....	33
Tabla 5. Clase de cobertura y uso del suelo (Modificado de Administración Municipal de Gutiérrez, 2010).....	34
Tabla 6. Resultados de los indicadores de ecología del paisaje propuestos. Fuente: Autor.....	35
Tabla 7. Dióxido de carbono total estimado capturado por las clases de páramo, subpáramo y PNNS por Gutiérrez (Modificado de García, 2003).....	36
Tabla 8. Disturbios antrópicos evidenciados en Gutiérrez, Cundinamarca. Fuente: Autor.....	39

## RESUMEN

Dentro del territorio colombiano, en la provincia de oriente de Cundinamarca, se encuentra el municipio de Gutiérrez, donde se destina gran área a la producción agropecuaria. Sin embargo este sitio colinda con una de las zonas de protección y conservación más importantes del departamento, el Parque Natural Nacional Sumapaz (SNNP). En este lugar se desarrolló la investigación encaminada a diagnosticar la fragmentación de carácter antrópico mediante la realización de un estudio del paisaje del municipio de Gutiérrez, desde el enfoque sistémico del diagnóstico en una restauración ecológica. La investigación se desarrolló mediante tres actividades generales: i) la definición del ecosistema de referencia, ii) el reconocimiento del estado actual del paisaje de Gutiérrez mediante indicadores de ecología del paisaje y iii) el establecimiento de las escalas y jerarquías de los disturbios del ecosistema a nivel de paisaje. Al definir el ecosistema de referencia, se reconocieron cuatro tipos de zonas ambientales (páramo subalpino, bosque muy húmedo montano, bosque húmedo montano bajo y bosque húmedo premontano) y sus principales especies reportadas en la bibliografía y reconocidas en el presente estudio. Se realizó la ubicación de los relictos mediante un sistema de indicadores de ecología del paisaje mediante las métricas de: 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 impacto en las zonas aledañas a la cabecera municipal sobre la cobertura del suelo por parte de sistemas agropecuarios, 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 el mapa de uso de suelos desarrollado por la Administración Municipal de Gutiérrez. Se definió la escala y nivel de estudio a nivel de paisaje. Se reconocieron como principales agentes de cambio de uso de suelo a la deforestación, los sistemas de producción extensiva e intensiva, potrerización, sistemas productivos forestales no sostenibles y quemadas que están generando fragmentación en las zonas aledañas al casco urbano pero con una fuerte presencia de ecosistemas naturales en las zonas alejadas de la población.

### *PALABRAS CLAVES*

Ecología del paisaje, indicadores, restauración ecológica, páramo, Parque Natural Sumapaz.

## **ABSTRACT**

*Within Colombia, in the eastern province of Cundinamarca, lies the town of Gutierrez, a large area where agricultural production is intended. But this site is adjacent to one of the areas most important protection and conservation department, the Parque Nacional Natural Sumapaz (SNNP). Here research to diagnose the character of anthropogenic fragmentation by conducting a study of the landscape of the municipality of Gutiérrez, from the systemic approach of diagnosis in ecological restoration was developed. The research was conducted through three main activities: i) the definition of the reference ecosystem, ii) recognition of the current state of landscape indicators Gutiérrez by landscape ecology, and iii) the establishment of the scales and hierarchies of ecosystem disturbances landscape level. By defining the reference ecosystem, four types of environmental zones (subalpine moorland, montane wet forest, lower montane rain forest and montane rain forest) and its main species reported in the literature and recognized in this study are acknowledged. The location of the relics was carried out through a system of indicators using landscape ecology metrics: class area (CA), number of patches (NP), mean patch size (MPS), patch size standard deviation (PSSD), patch size coefficient of variation (PSCV) mean shape index (MSI), mean patch fractal distance (MPFD) and mean nearest neighbor (MNN). The development of these indicators demonstrated impact on the areas surrounding the county seat on the land cover by farming systems by calculating the proposed indicators thanks to free software download program coupled topographic planes Patch Analyst ArcGIS 10.0 from the land use map developed by the Municipal Administration Gutierrez. The scale and level of study at the landscape level was defined. It was recognized as key agents of change in land use to deforestation, systems of extensive and intensive production, unsustainable forest production systems and fires that are causing fragmentation in the areas surrounding the town center but with a strong presence of ecosystems natural in remote areas of the population.*

## **KEYWORDS**

*Landscape ecology, indicators, ecological restoration, wilderness, Natural Park Sumapaz.*

# INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la humanidad ha transformado los ecosistemas de manera acelerada. A lo largo del rápido crecimiento de la sociedad, la progresiva demanda de recursos, servicios, materias primas y espacio ha producido un gran deterioro e irreversible en la biodiversidad, generando una serie de impactos sobre los sistemas biológicos, en especial sobre los ecosistemas terrestres. En el interés de revertir el impacto de la sociedad, dentro del estudio de la ecología se han creado conceptos importantes con respecto a la biodiversidad y al estudio de la transformación humana sobre el paisaje. De igual forma en respuesta a tal problemática, el desarrollo ha cambiado y la sociedad se ha encaminado hacia un proceso de crecimiento fundamentado en tres pilares: económico, social y ambiental, los cuales si bien ya habían sido desarrollados se trabajaban de forma independiente. El desarrollo de cada pilar ha sido aislado y la fusión de los tres es lo que se ha denominado desarrollo sostenible.

En este interés de alcanzar modelos de desarrollo que propendan por la sostenibilidad han generado que los principios de la ecología se fusionen con los de la geografía dando como resultado la ecología del paisaje, en donde es importante definir el nivel de detección, para poder así definir de algún modo los sistemas que componen nuestro entorno.

En general la ecología del paisaje es una herramienta para determinar cómo interactúan los elementos del ecosistema; aplicándose a sistemas tan sensibles como los que se presentan en los páramos ecuatoriales, para lo cual las entidades gubernamentales afirman que:

*“(...) la ecología de los paisajes de páramo nos permite entender cómo interactúan los diferentes factores formadores de los escenarios territoriales de la alta montaña ecuatorial, guían una lectura de su estado actual, sus relaciones funcionales y sus posibles devenires, resultado de la interacción de las dimensiones físicas, bióticas y antrópicas implicadas. Los paisajes del futuro resultarán de la capacidad que tengamos de gestionar nuestras acciones de uso y conservación de manera sensible a las diferencias climáticas, geológicas, edáficas, biológicas y culturales comprometidas con la historia de los páramos, que seguirán existiendo, pero indudablemente con un rostro diferente cada día” (Baptiste, 2011) .*

De afirmaciones como esta es donde nacen proyectos de investigación para los diferentes entes territoriales como los municipios, en donde se proyectan maneras sostenibles de administración de sus recursos, sin perder de vista que hacen parte de sistemas de mayor tamaño como son las regiones y que tienen flujo de materia que pueden elevar la calidad de vida de sus habitantes.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

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 debido a que los recursos naturales son asumidos como un bien colectivo (Lorenzetti, 2011). Lo anterior ha generado preocupación e interés por controlar y, si es posible, revertir los procesos de detrimento de la calidad ambiental generada por las actividades antrópicas. Por lo tanto, se observa la necesidad de implementar sistemas donde se obtenga información sobre el estado de los ecosistemas (PNUMA/BM, 2004). La problemática de pérdida de los recursos naturales, especialmente de la biodiversidad, ha sido ilustrada en la Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible de Johannesburgo, en el Convenio sobre Biodiversidad Biológica (CDB). Colombia se ha interesada por estas temáticas desde el desarrollo de la Constitución Nacional de 1991. 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 de Convenio de Diversidad Biológica para el año 2010 (Decisión VI/26, CBD) (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2010), en donde se fijaron las políticas, objetivos y actividades de las partes involucradas

La razón por la cual se fijan estas medidas es porque Colombia está ubicada dentro de las zonas geográficas de mayor biodiversidad. 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 (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos "Alexander von Humboldt", 2010).

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 (Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios, 2008). 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. El incremento en la temperatura global, el cambio de uso de suelo y la revolución verde (que cambió las técnicas de producción tradicional y las realiza de forma intensiva) han hecho 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 (IDEAM, 2001). El IDEAM 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 que generan inseguridad hídrica en la nación.

En Cundinamarca, en la provincia de oriente, se encuentra el municipio de Gutiérrez, que es una zona en donde se le destina una gran área del mismo para la producción agropecuaria, sin embargo este sitio colinda con una de las zonas de protección y conservación más importantes del departamento el páramo de Sumapaz.

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; además de una zona de conservación y protección ambiental que colinda con Bogotá que es el gran páramo de Sumapaz.

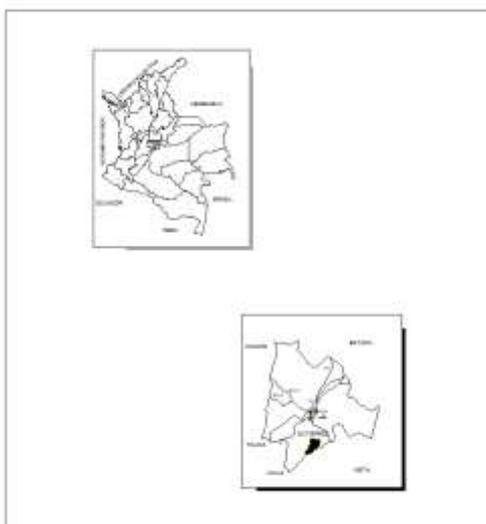


Figura 1. Localización del Municipio de Gutiérrez. (Administración Municipal de Gutiérrez, 2010)

Como unidad geográfica el municipio consta de un área aproximada de 52.700 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, pero su gran extensión y geografía quebrada lo ubica dentro de varios pisos térmicos desarrollándose diferentes ecosistemas en una región relativamente reducida. Limita por el norte municipios de Uña, Fosca y Guayabetal; por el sur occidente con el distrito Capital de Bogotá correspondiente a la localidad de Sumapaz y por el sur oriente con el Departamento del Meta. El municipio de Gutiérrez representa un área aproximada de 427 km<sup>2</sup>, dos centros poblados (Pascote y San Antonio) y 1 casco urbano, 14 ha corresponden al casco urbano o cabecera municipal. Su economía es netamente agropecuaria, especializándose en la producción de leguminosas con un área aproximada de 2000 Ha (Administración Municipal de Gutiérrez, 2010). El interés por reactivar su economía ha hecho que la población modifique los usos del suelo y utilice estas zonas para sistemas de producción intensiva.

## 2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La problemática objeto de estudio en este proyecto de investigación, tiene como alcance generar un diagnóstico de la fragmentación antropogénica a nivel de ecología del paisaje en las zonas que hacen parte o se solapan con el páramo de Sumapaz ubicadas en el municipio de Gutiérrez (Cundinamarca), dentro de este estudio se reconoce las zonas ambientales, se genera una propuesta de sistema de indicadores encaminada a la evaluación del impacto antrópico en la fragmentación sobre el paisaje de los ecosistemas propios del páramo de Sumapaz y bosque andino montano y premontano vulnerables a la influencia de las actividades antrópicas.

## 3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la fragmentación del paisaje debida a las actividades antrópicas sobre la región asociada al Sumapaz, ubicada en el municipio de Gutiérrez, Cundinamarca?

## 4. OBJETIVO GENERAL

Diagnosticar, a nivel de paisaje, la fragmentación antropogénica que da origen al impacto sobre la ecología del paisaje en el municipio de Gutiérrez en el departamento de Cundinamarca.

## 5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✚ Definir el ecosistema de referencia del paisaje de Gutiérrez.
- ✚ Reconocer el estado actual de la fragmentación del ecosistema a nivel de condiciones del paisaje de Gutiérrez.
- ✚ Establecer las escalas y jerarquías de los disturbios que generan fragmentación de carácter antrópico en el paisaje de Gutiérrez.

## 6. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

Es posible realizar el diagnóstico de la fragmentación antropogénica del paisaje en los ecosistemas de Gutiérrez, Cundinamarca.

## 7. MARCO TEÓRICO

### 7.1. SOSTENIBILIDAD, DESARROLLO SOSTENIBLE Y BIODIVERSIDAD

Los sistemas biológicos presentan una gran variedad de especies, diversidad que involucra diferentes niveles desde el genético hasta el ecosistémico. Por otra parte, la expansión de la población humana demanda una serie de recursos e influencia a los ecosistemas de la tierra, conduciéndolos a escenarios de reducción crítica en la biodiversidad. Se ha estimado que la reducción de los recursos naturales en los últimos dos siglos se ha acelerado vertiginosamente (Millennium Ecosystem Assesment, 2005; von May, Catenazzi, Angulo, Venegas, & Aguilar, 2012). Esta catastrófica pérdida en la biodiversidad está conectada directamente con el incremento de la población y el incremento en la demanda de recursos, lo cual requiere que se desarrollen alternativas que mantengan y garanticen la calidad de vida de las actuales generaciones y la conservación de recursos naturales (Figura 2). Lo anterior conduce a conceptos como los de la sostenibilidad o desarrollo sostenible. La sostenibilidad, en términos ecológicos, se define como el equilibrio que presenta una especie con respecto a los diferentes factores de su entorno. La sostenibilidad de un recurso puede referirse a la explotación de dicho recurso por debajo del límite de renovación del mismo. Por lo tanto, el concepto de sostenibilidad se concluye con el informe de Brundtland en 1987, que consiste en la satisfacción de las demandas de recursos de las generaciones actuales sin comprometer los recursos para las generaciones futuras (World Comission On Environment And Development, 1987; Arcas, Pagès & Casals, 2011).

La sostenibilidad, en términos de desarrollo económico, sostiene que ningún sistema puede crecer de manera indefinida sin que se vea afectado por una retroalimentación negativa que le permita el equilibrio (Elizalde, 2009; Jacobi, Raufflet & Arruda, 2011). La crisis ambiental que

enfrenta la sociedad actual es el resultado del crecimiento del sistema económico debido a que no plantea referentes en cuanto al límite de los recursos disponibles en el medio ambiente. (Wallerstein, 2008). Dentro del marco de la sostenibilidad nacen los conceptos de ecología profunda y ecología superficial. La ecología superficial se encarga de combatir la contaminación y la reducción de los recursos naturales y la ecología profunda que se dirige a objetivos más detallados de carácter social, político y cultural que dan como resultado los problemas ambientales (Naess, 2007; Angel, 2013), también propone una nueva filosofía que armonice con los conceptos de la ciencia de la ecología.

La sostenibilidad es enfática en el desarrollo de la sociedad humana teniendo en cuenta que los recursos provistos por la naturaleza son limitados, se enfoca en ser “criaturas de frontera” que estén encaminadas en la interiorización y cambiar el concepto de expansión por el de intensidad (Olalde, 2007; Elizalde, 2009). Para que una sociedad pueda desarrollar sus actividades productivas de manera sostenible debe fundamentar el concepto de sostenibilidad dentro de sus políticas. Según Riechman (2008) afirma que los valores ecosociales de cooperación y solidaridad deben implantarse sobre las políticas de la sociedad actual para poder sobrellevar la crisis mundial actual.

Todo uso del concepto de sostenibilidad debe explicarse en el contexto donde se estudie para no entrar en incongruencias, debido a que el término inicialmente propuesto se enmarca en ambigüedades, además por su uso indiscriminado ha perdido la objetividad. Para estudios ecológicos se propone tomar como referente la sostenibilidad conceptualizada bajo la economía ecológica, es decir, la ecología profunda (Pascual, 2008), se propone realizar los análisis de la sostenibilidad bajo la insostenibilidad que impera en el sistema económico actual, a partir del deterioro del medio ambiente y de la ineficiencia del sistema económico para permitir la recuperación de los recursos. También propone que en ese interés de analizar la insostenibilidad de los sistemas, se debe partir de las herramientas que ofrece la ciencia, evitando juicios de valor subjetivos afectados por el ruido generado por los intereses concretos de algunas organizaciones.

Los conceptos de desarrollo sostenible o desarrollo sustentable describen el desarrollo socioeconómico bajo las políticas de la sostenibilidad y se formaliza su definición, paralelo al de sostenibilidad en el Informe Brundtland (1987), como resultado de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas, fundada en la Asamblea de las Naciones Unidas en 1983. Desde 1970 las investigaciones en el entorno ecológico se evidencia que las actividades humanas generan alto impacto sobre la biodiversidad por lo tanto se desarrollan las investigaciones con respecto a la vulnerabilidad de los ecosistemas desde el punto de vista ecológico (Boullón, 2006; Lima, 2009).

Como objetivo principal, el desarrollo sostenible intenta reunir los tres principales aspectos (económico, social, y ambiental) de las actividades humanas dentro del marco de la economía verde (Barbault, 2011):

- Sostenibilidad económica: define a la actividad como financieramente posible y rentable.
- Sostenibilidad social: define a la actividad en el interés de mantener la cohesión social y la calidad de vida de los individuos
- Sostenibilidad ambiental: define a la actividad en el interés de preservar los recursos naturales, dentro de los que se incluyen a la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos.

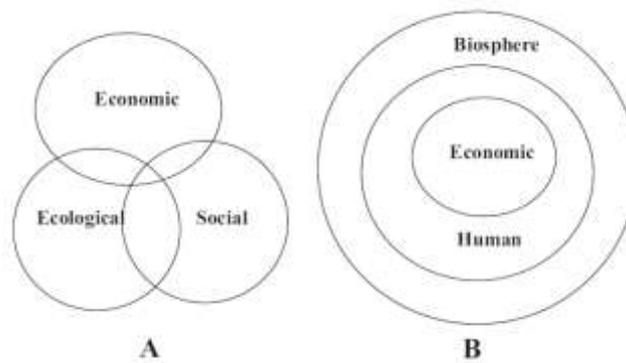


Figura 2. Visiones del desarrollo sostenible. (A) la visión estándar de desarrollo sostenible y sus tres pilares. (B) La visión ecológica reconocida por la "economía verde (Barbault, 2011)

## 7.2. BIODIVERSIDAD, ECOSISTEMAS ANDINOS Y ACTIVIDADES ANTROPOGÉNICAS (Hagen *et al*, 2012)

Los ecosistemas planetarios están perdiendo su biodiversidad a velocidades alarmantes debido al cambio de uso de suelo, deforestación, sistemas de agricultura intensiva, contaminación, urbanización, cambio climático y fragmentación de los hábitats. Estos fenómenos pueden interrumpir las redes ecológicas y los servicios que proveen, adicionalmente están creciendo de manera acelerada sobre la superficie terrestre y las consecuencias de la pérdida de estos servicios y bienes no han sido claramente comprendidas. El mayor reto que existe en predecir las consecuencias del cambio en la biodiversidad es entender la complejidad en los sistemas naturales y las etapas necesarias para conservarlos en este mundo cambiante. La biodiversidad está organizada a escalas regionales como una red compleja de especies interactuantes, las cuales proveen a los procesos ecosistémicos de bienes y servicios valiosos para las sociedades humanas. Estas conexiones entre especies son frecuentemente ignoradas en el contexto de cambio global, se ignora su papel como agentes precursores de extinción. Comprender las causas y las consecuencias de la pérdida de la interacción de las especies promete proveer una mirada crítica dentro de las respuestas y perturbaciones ecológicas. La interacción entre los ambientes abióticos y la complejidad biótica a través del tiempo y del espacio hace los ambientes naturales aparentemente difíciles de comprender. Una aproximación que simplifica el estudio de múltiples especies es el de redes ecológicas. Este concepto incluye las interacciones antagónicas y mutualistas, las cuales pueden responder de manera diferente a las perturbaciones, como la fragmentación y están determinadas por la estabilidad en términos de resiliencia, resistencia y robustez.

Cambios en el paisaje pueden ser causados por procesos físicos, factores bióticos como los ingenieros ambientales y sus influencias antropogénicas. Las especies reorganizarán los tamaños de sus poblaciones y algunas conexiones entre especies pueden ser destruidas o reconfiguradas completamente. Este tipo de cambios puede generar fragmentación de hábitats que se define como el proceso durante el cual una gran extensión de un paisaje es transformado en áreas más pequeñas de dicho paisaje aisladas unas de otras dentro de la matriz de un paisaje distinto del original. La fragmentación reduce el área de los hábitats y la conectividad de especies tiene implicaciones para la red ecológica general lo cual puede causar problemas en la conservación de los fragmentos restantes. La conectividad de los fragmentos, las características de la matriz, la disponibilidad de corredores de movilidad entre los fragmentos, la permeabilidad y la estructura de bordes de hábitats son importantes en el contexto y los efectos en la estructura, la resistencia y la fuerza de las interacciones de las especies.

Los efectos de la fragmentación en la biodiversidad dependen de los tipos de especies y de las características de los fragmentos de la matriz que los rodea. Por lo tanto, las redes ecológicas pueden ser vistas desde los términos físicos y biológicos como una red espacial del paisaje de fragmentos de hábitats que provee una matriz, una conectividad de hábitat y una red de interacciones ecológicas dirigidas por una serie de procesos ecológicos y evolutivos.

La razón primordial generada de las actividades antrópicas por la cual existe pérdida del capital natural, es la subvaloración de los beneficios del capital natural debida a la dificultad de expresar la importancia de sus funciones (ecológicas, socioculturales y económicas) en términos monetarios porque muchos de estos beneficios no pueden ser dimensionados en el análisis de mercado convencional. Existe un déficit de información en cuanto a las diferentes funciones y valores de los ecosistemas naturales y seminaturales, por lo tanto se toman las decisiones del uso del suelo basándose en esta información incompleta. Los errores del mercado juegan un rol fundamental en la pérdida de los ecosistemas y paisajes porque muchos de los beneficios del capital natural y seminaturales son apreciados como externalizados (De Groot, 2006). Las principales causas de pérdida de la biodiversidad se deben al cambio del uso del suelo, deforestación, agricultura intensiva, urbanización, cambio climático y fragmentación de hábitat.

Este proceso de pérdida de los ecosistemas seguido de la pérdida del capital natural consta de dos etapas: la degradación de los ecosistemas y la urbanización del medio (Luceño, 2008). Los ecosistemas con mayores repercusiones sobre el medio ambiente, debido a su pérdida, son los humedales y los bosques tropicales. Las agencias internacionales también reportan que aproximadamente se pierden 14 hectáreas de coberturas naturales por segundo, de las cuales en su mayoría corresponden a bosques húmedos tropicales. Gran parte de la desaparición de los bosques tropicales se generan en las zonas donde existen desigualdades sociales marcadas, en naciones con bajos niveles de desarrollo que producen un crecimiento demográfico alto demandando recursos que se extraen de las zonas ambientales protegidas (Gore, 2009).

### 7.3. INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD

En la agenda 21, en su capítulo 40, se promueve el uso de indicadores para medir el desarrollo sostenible. Según la definición de la Agencia Europea del Medio Ambiente, un indicador es un herramienta que comunica e informa sobre el estado de una materia en particular que responden a tres funciones: simplificación, cuantificación y comunicación. Aplicados a medir la sostenibilidad de un ecosistema debe cumplir las siguientes características:

- Ser de fácil comprensión y ser relevantes normativamente
- Ser objetivos y cuantificables
- Comparables con una situación de referencia
- Científicamente sólidos y válidos estadísticamente
- Sensibles a variaciones de tiempo y espacio
- Factibles técnica y económicamente
- Útiles para futuros escenarios del ecosistema.
- Comparables en otros escenarios regionales
- Tener en cuenta la biodiversidad de cada país
- Ser diseñados según las necesidades de los afectados

Un indicador de sostenibilidad captura y mide aspectos particulares de la política de sostenibilidad en una forma fácil de comunicar, permitiendo el monitoreo y el direccionamiento de las políticas sin importar si es un enfoque interno o externo. Los indicadores son información

con el valor agregado de no ser datos individuales, sino por el contrario, son datos que muestran información que permite un mayor conocimiento de la realidad objeto de estudio (Pérez *et al.*, 2008). Investigadores afirman que existen diferentes usos de los indicadores como (a) Herramienta de planeación (b) herramienta de estudio (c) herramienta de comunicación y (d) como herramienta colaborativa (Hoernig & Seasons, 2004; Gómez *et al.*, 2013). Los indicadores pueden usarse en varias escalas espaciales, incluyendo, local, regional, nacional en gran variedad de situaciones (Fahy & Cinnéide, 2008). Es importante destacar que el indicador o el índice son representaciones matemáticas que permiten analizar los comportamientos de un sistema y deben responder al desarrollo económico, social, ambiental, humano, si son indicadores de desarrollo sostenible (Pérez *et al.*, 2008)

Se pueden clasificar los indicadores según los criterios sugeridos por Feld *et al.* (2009): (1) Propósito o campo de aplicación, (2) Tipo del indicador, (3) Escala espacial, (4) Componente de la biodiversidad y (5) Servicio ecosistémico (Figura 3).

criterio	Razones	Categoría consideradas
Propósito o campo de aplicación	La motivación o el objetivo para el desarrollo del indicador	Aseguración de la calidad del hábitat, monitoreo de la biodiversidad, aseguramiento de la calidad del agua, aseguramiento del estado ecológico, evaluación restauración/manejo, aseguramiento de la función ecosistémica, respuesta natural a los disturbios, modelado predictivo, valoración económica.
Tipo de indicador	Los indicadores pueden ser abióticos o bióticos.	Biótico: Genético, especies, comunidad, función, estructura, sensibilidad, rasgo. Abiótico: físico, químico, bioquímico, hábitat, área, fragmentación.
Escala espacial	Escala a la cual es usado el indicador. La escala potencial de indicación puede diferir.	Mancha (granja), local, nacional, regional, su global
Componente de la biodiversidad	La biodiversidad es constituida por diferentes componentes.	Genético, estructural, biodiversidad funcional.
Servicio ecosistémico.	El "Millennium Ecosystem Assessment" define cuatro clases de servicios ecosistémicos (MA 2005): Aprovisionamiento: Productos obtenidos de los ecosistemas. Regulación Beneficios obtenidos de la regulación de los procesos ecosistémicos. Culturales: Beneficios inmateriales humanos obtenidos de los ecosistemas. Soporte: Servicios necesarios para la producción de otros servicios ecosistémicos.	Suministro de agua/alimento, suministro de fibra/energía, fuentes genéticas/ornamental, regulación de aire/agua/clima/erosión, regulación de epidemias/muertes/riesgo, tratamiento de residuos/autopurificación, producción primaria, formación del suelo, descomposición, recirculación de nutrientes/agua

Figura 3. Criterios y categorías definidas para analizar los indicadores a través de los tipos de ecosistemas (Feld *et al.*, 2009)

## 7.4. RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

La sociedad internacional de restauración ecológica define a la restauración ecológica como una actividad que genera o acelera la recuperación de un ecosistema con respecto a su salud, integridad y sostenibilidad ambiental (SER, 2012). Los trabajos de restauración ecológica incluyen un amplio espectro de proyectos de control de la erosión, reforestación, revegetación de áreas intervenidas, reintroducción de especies nativas, así como el mejoramiento del hábitat de una especie determinada.

En cuanto a la conservación de la biodiversidad, se señala que las actividades de restauración no sustituyen a las de conservación, pero son complementarias. Muchos de los programas de conservación se basan en las condiciones biofísicas históricas que han generado la perturbación, es decir, se encamina a ecosistemas que son incapaces de responder al cambio climático global,

se dirige a ecosistemas que son cada vez más frágiles y susceptibles a colapsos catastróficos. En este sentido, la restauración es esencial para proporcionar un nuevo espacio para la regeneración de los hábitats y el asentamiento de la flora y fauna asociada al respectivo ecosistema. (Harris *et al.*, 2006; Vargas, 2011). La restauración ecológica se basa en cuatro conceptos fundamentales: i) perturbación, ii) sucesión, iii) fragmentación y iv) funciones del ecosistema (Liu, 2011)

### ***Perturbación***

La perturbación es un cambio de las condiciones ambientales, aquello que interfiere con el funcionamiento natural de un sistema biológico. La restauración de un ecosistema totalmente sostenible a menudo implica el estudio y tratar de restaurar un régimen de perturbaciones naturales (por ejemplo, la ecología del fuego)

### ***Sucesión***

La sucesión ecológica es el proceso por el cual las especies que componen una comunidad cambian con el tiempo. Después de una perturbación, un ecosistema progresa generalmente de un nivel sencillo de organización (es decir, pocas especies dominantes) a una comunidad más compleja (por ejemplo, muchas especies interdependientes) durante varias generaciones. Dependiendo de la gravedad de la perturbación, la restauración a menudo consiste en iniciar, ayudar o acelerar procesos de sucesión ecológicos.

### ***Fragmentación***

La fragmentación del hábitat, concepto que comparte con la ecología del paisaje, es la aparición de discontinuidades espaciales en un sistema biológico. A través de los cambios de uso del suelo (por ejemplo, agricultura) y las perturbaciones naturales, los ecosistemas se dividen en partes más pequeñas. Pequeños fragmentos de hábitat pueden mantener sólo pequeñas poblaciones y las poblaciones pequeñas que son más vulnerables a la extinción.

### ***Funciones de los ecosistemas***

Describen los procesos fundamentales de los sistemas naturales, como los ciclos de nutrientes y los flujos de energía. Estos procesos son los componentes básicos y esenciales de los ecosistemas. Es necesario abordar los procesos ecológicos que pueden ser degradados y la comprensión de la complejidad de estos ciclos. Un ecosistema funcional que se autoperpetúa es el objetivo final de los esfuerzos de restauración. En conclusión, estas funciones de los ecosistemas son propiedades emergentes del sistema en su conjunto que permiten el seguimiento y la gestión y así, la estabilidad a largo plazo de un ecosistema.

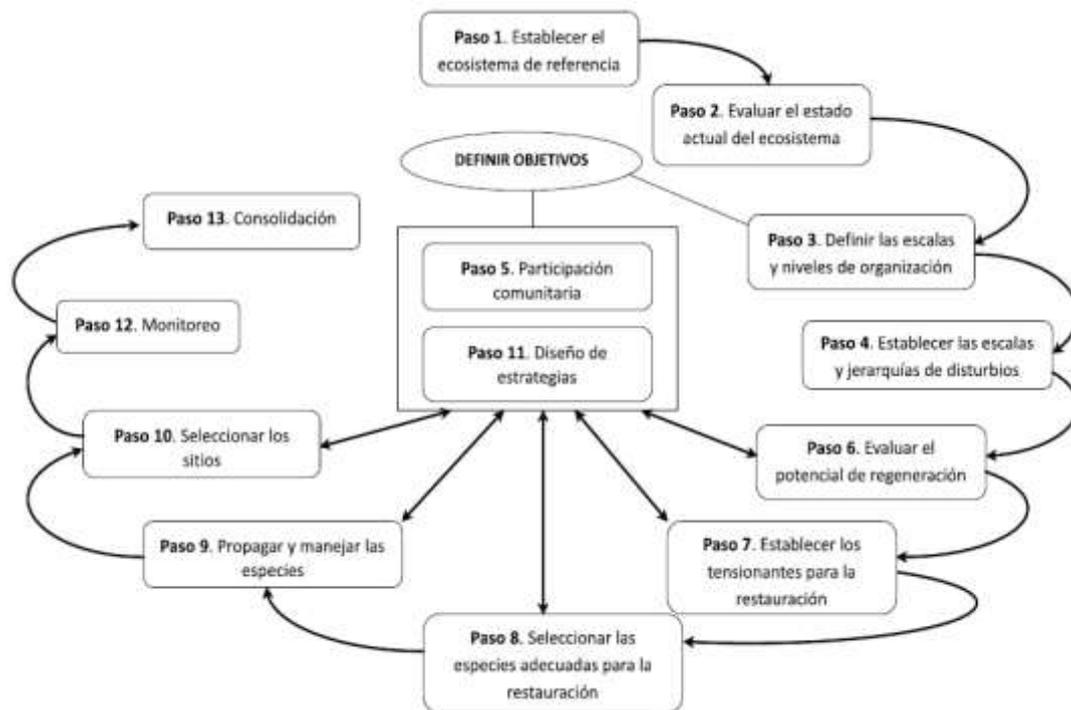


Figura 4. Secuencia y relaciones de los 13 pasos fundamentales en la restauración ecológica (Vargas, 2010).

Según Vargas (2010) un proceso de restauración ecológica se debe desarrollar en 13 pasos fundamentales. Las diferentes actividades se enmarcan en el diagnóstico, implementación y seguimiento del proceso de recuperación. Se desarrollan desde establecer el ecosistema de referencia, la evaluación del estado actual del ecosistema, la definición de escalas y jerarquías de los disturbios, la evaluación del potencial de regeneración, el establecimiento de los tensionantes de la restauración, la selección de las especies adecuadas para la restauración, la propagación y manejo de especies, la selección de los sitios a recuperar, el monitoreo del proceso y la consolidación; todo apoyado con la participación de la comunidad relacionada con el ecosistema a recuperar (Figura 4).

## 7.5. ECOLOGÍA DEL PAISAJE

La ecología ha demostrado un gran interés en los patrones espaciales y la distribución geográfica de los organismos. La distribución latitudinal y altitudinal de las zonas vegetales están demarcadas por la geografía del ecosistema al cual pertenecen. Gracias a este tipo de intereses, en 1938 Carl Troll, ecólogo y geógrafo, desarrolló el concepto de ecología del paisaje. Troll describe la ecología del paisaje como una disciplina resultado de la asociación de la geografía física y la ecología. También se define como una perspectiva espacial y geográfica, útil como herramienta para la comprensión de los fenómenos naturales complejos, donde su aplicación práctica pone énfasis a los aspectos socioeconómicos de los ecosistemas (Bocco, 2010).

Dentro de las tendencias de indicadores más usadas en investigaciones de ecología del paisaje están las métricas de cambio de uso de suelo, función de hábitat, función de regulación del paisaje y función de información. Uuemaa *et al.* (2013) encontraron una serie de patrones en los estudios referentes a los indicadores de ecología del paisaje en donde predominan las investigaciones de uso del suelo (Figura 5).

Categoría	Subcategoría	Total
<b>Evaluación de los patrones del uso del suelo</b>	Cambios del uso del suelo	128
	Áreas urbanas	57
	Áreas forestales	52
	Áreas agrícolas	7
<b>Funciones del paisaje:</b>		
<b>Hábitat</b>	Mamíferos	41
	Plantas	35
	Biodiversidad general	31
	Aves	29
	Insectos	12
	Anfibios	4
	Peces	4
<b>Regulación</b>	Calidad de agua	29
	Control de incendios	10
	Clima/Microclima	7
	Control de enfermedades	7
	Control de la erosión	5
	Control de inundaciones	1
<b>Información</b>	Estética ambiental	13

Figura 5. Número de investigaciones en diferentes categorías para la primera década del siglo XXI. (Uuemaa, Mander, & Marja, 2013)

Los estudios del paisaje, siempre han sido ligados o se realizan a partir de un enfoque sistémico, por ejemplo, en el mundo anglosajón cuando se realiza primero el *system approach* (castellano: aproximación sistémica) para luego obtener el *landscape synthesis* (castellano: síntesis del paisaje), la cual se configura a partir del *land system* (castellano: sistema de tierras). Como también se puede comprobar en la excelente obra de Neef «Metodología topológica y corológica en la investigación de paisajes» (alemán: «*Topologische und chorologische abertswesen in der landschaftsforschung*») siempre la idea original de concepto alemán *landschaf* (castellano: paisaje) está asociada al análisis de tipo sistémico

## 7.6. FRAGMENTACIÓN

La fragmentación de hábitats es definida como un proceso durante el cual una gran extensión de hábitat es transformada en parches o manchas de área más pequeña con respecto a la total, aisladas unas de otras por una matriz de hábitats diferentes al original. Esta incrementa la discontinuidad en el patrón espacial de disponibilidad de recursos, afectando las condiciones de las especies y por lo tanto la salud individual. La fragmentación puede darse por dos condiciones naturales y antropogénicas en ecosistemas terrestres y acuáticos. Refiriéndose específicamente a la fragmentación de ecosistemas terrestres, los efectos de la fragmentación en la biodiversidad depende de los tratamientos que se den a las especies y a los fragmentos que rodean a la matriz (Ewers & Didham, 2006; Montenegro, 2009). Cuatro efectos de forma son la base del dimensionamiento cuantitativo de la fragmentación de hábitats (Fahrig, 2003): (i) reducción en el tamaño del hábitat, (ii) incremento en el número de fragmentos, (iii) reducción en el tamaño del fragmento y (iv) incremento en el aislamiento de los fragmentos. Con la pérdida del hábitat se reduce los tamaños de las poblaciones y por lo tanto las especies con sus respectivas conexiones. Para entender la complejidad del paisaje es importante reconocer las características

del paisaje, los bordes del hábitat, y la calidad de la matriz, posteriormente analizarlos espacial y temporalmente en una escala apropiada (Hagen *et al.*, 2012).

### 7.6.1. CARACTERÍSTICAS DE FRAGMENTO

Las características de fragmento son importantes para entender los efectos de fragmentación en la biodiversidad (Tabla 3). Son características importantes: la pérdida de hábitat, el tamaño y el grado de aislamiento de los fragmentos. El área necesaria para mantener a las poblaciones es determinada por el tamaño del fragmento, en manchas pequeñas se presentan menos individuos que en manchas más grandes (Debinski & Holt, 2000; Demaría, Aguado, & Steinaker, 2008; Vivian, Lima, & Santos, 2012). El efecto de área en la biodiversidad puede predecirse de las curvas especie-área (Sabatino, Maceira, & Aizen, 2010) y en los casos de áreas pequeñas son más fáciles de predecir que en áreas grandes (Hill *et al.*, 2011). Los efectos temporales también dependen del tamaño del fragmento porque para fragmentos pequeños los procesos pueden ser más lentos que en los grandes (Terborgh, Lopez, Tello, Yu, & Bruni, 1997).

El aislamiento restringe el movimiento y la dispersión de las especies a través de los fragmentos y depende de la distancia física y la calidad de la matriz (Bender, Tischendorf, & Fahrig, 2003; Altamirano, Echeverría, & Lara, 2008). Los dos aspectos de mayor interés relacionados con la fragmentación y el aislamiento son la conectividad y la disponibilidad de corredores. La conectividad es el grado por el cual el paisaje permite o impide el desarrollo de los procesos a través de los fragmentos (Taylor, Fahrig, & With, 2006; Saenz, 2008). Los efectos de la fragmentación en las interacciones bióticas son un complejo de respuestas individuales de las diferentes especies que interactúan (Ricketts, Williams, & Mayfield, 2006; Saenz, 2008). Algunas especies pueden ser afectadas por la distancia del fragmento al hábitat particular, mientras otras pueden ser influenciadas por la calidad o la disponibilidad del hábitat a los hábitats adyacentes. Una de las características estructurales de los paisajes de mayor importancia para la conectividad es la presencia de corredores, los cuales pueden ser naturales o antropogénicos. Son elementos del paisaje que facilitan el movimiento de los organismos a los fragmentos, promoviendo la conectividad biótica y la sincronización (Hilty, Lidicker, & Merenlender, 2006).

### 7.6.2. BORDES DEL HÁBITAT

Los generadores de bordes de hábitats pueden ser naturales o antropogénicos y son pronunciaciones del paisaje fragmentado. El borde de hábitat y la forma del fragmento son importantes determinantes de la biodiversidad (Laurance *et al.*, 2011) y afecta fuertemente en la variedad de las plantas y animales (Bach & Kelly, 2004). Tres de los grupos principales de efectos de borde biológicos y físicos en hábitats fragmentados son (Murcia, 1995): (i) cambios en el ambiente biótico a través de los bordes, (ii) efectos biológicos relacionados a los cambios en las especies en el borde y en los bordes resultado de (i), y (iii) efectos biológicos indirectos, los cuales son el resultado de los cambios en (ii) con efecto cascada en las especies en sus interacciones antagonistas y mutualistas. Los bordes influyen a los bancos de semillas y en su calidad, abundancia y diversidad de la lluvia de semillas (Melo, Dirzo, & Tabarelli, 2006). En los bosques el incremento de la temperatura del aire y el incremento o reducción de humedad pueden afectar a la reproducción de las plantas (Camargo, Souza, Reys, & Morellato, 2011). Adicionalmente, interacciones planta-animal pueden verse afectadas, por ejemplo, las tasas de polinización en los bordes pueden disminuir o incrementarse con implicación en el éxito reproductivo de las plantas y en la dispersión de las semillas (Burgess, Kelly, Robertson, & Ladley, 2006). La influencia puede ser positiva para las densidades de los animales, patrones de

migración, disponibilidad de frutos, tamaño y vigor de planta o negativa por limitar el movimiento animal en los bordes (Hill *et al.*, 2011). Por otra parte la capacidad de las especies de detectar fragmentos de hábitat, de conectar del paisaje y su resistencia en el paisaje fragmentado dependen de la habilidad para cruzar el borde entre del fragmento y la matriz (Stevens, Leboulenge, Wesselingh, & Baguette, 2006). Los bordes de hábitat pueden ser caracterizados como “fuertes” o “suaves” de acuerdo a su permeabilidad. Bordes fuertes son límites los cuales los individuos cruzan raramente, aunque su permeabilidad puede variar con la historia, mientras que los bordes suaves son más permeables. Cambios en la permeabilidad del borde pueden alterar las tasas de migración, y por lo tanto, los procesos demográficos y ecológicos (Hagen *et al.*, 2012).

### 7.6.3. MATRIZ

La matriz rodea a los fragmentos e influencia su estructura y dinámica (Prevedello & Vieira, 2011). Para los fragmentos de bosque, la calidad de la matriz puede variar desde un paisaje agrícola deforestado a un bosque secundario en crecimiento, variando considerablemente en hostilidad y permeabilidad de cada especie. La calidad de la matriz puede determinar la conectividad, las tasas de dispersión o mortalidad asociadas y su influencia puede inhibir o acentuar la fragmentación de área o aislamiento (Ewers & Didham, 2006). Una matriz de alta calidad puede minimizar los efectos de borde mediante el soporte de las comunidades en los fragmentos (Pardini *et al.*, 2009). Un complejo estructural, diverso o de origen antropogénico puede albergar una fracción significativa de la biota original, potencializando la pérdida de la biodiversidad. La calidad de la matriz puede ser importante para las cadenas tróficas. Un reciente estudio ha demostrado como la invasión del hábitat de borde terrestre puede causar colapso en la estructura de la cadena trófica y en los procesos ecosistémicos del paisaje adyacente, mediante la alteración de la porosidad del flujo de energía a través del ecotono (Hladyz *et al.*, 2011).

### 7.7. INDICADORES O MÉTRICAS DEL PAISAJE (Bocco, 2013)

La aplicación de métodos cuantitativos en ecología del paisaje converge en los «indicadores de paisaje» (*landscape metrics*). Los índices o indicadores de paisaje generan datos numéricos sobre la composición y la configuración de los hábitats o las clases que conforman los paisajes, la proporción de cada tipo de cobertura del suelo o la superficie y la forma de los elementos del paisaje. Los índices de paisaje producen una medida comparativa entre distintas configuraciones paisajísticas, y el comportamiento de sus factores temporal y la definición de escenarios futuros. Los principales indicadores del paisaje reportados por Carl Troll en la fundación de la ecología del paisaje y referenciados por Bocco (2010) se pueden aplicar en diferentes niveles:

- a) A nivel de fragmento (*patch level*). Se aplican a cada fragmento individualmente
- b) A nivel de clase (*class level*). Los cálculos se aplican a cada conjunto de fragmentos de la misma clase.
- c) A nivel de paisaje (*landscape level*). Los cálculos se aplican al conjunto del paisaje en general.

Se pueden diferenciar cinco grandes tipos de índices de paisaje (Vila, Varga, Llausàs, & Ribas, 2006)

**Indicadores de área, superficie, densidad y variabilidad.** Este tipo índices se centran en las características de dimensión y en el número de fragmentos que conforman el área de estudio. Este grupo representa un conjunto de indicadores que se relacionan con el tamaño de las manchas y la cantidad de borde creado por las mismas. Permite una primera aproximación general a las características morfológicas de un paisaje.

**Indicadores de forma.** Se fundamentan en las características de forma de las manchas que constituyen un determinado paisaje. Este tipo de métricas se basa en la relación entre área y perímetro, y permite la comprensión de este factor fundamental a nivel morfológico y funcional.

**Indicadores de ecotono y hábitat interior.** Permiten hacer mediciones sobre la amplitud del ecotono, o hábitat de borde, y su relación con el hábitat interior.

**Indicadores de distancia, vecindad y conectividad.** Estos índices miden la distancia desde el hábitat de borde y ecotono de un fragmento hasta el fragmento más próximo al mismo tipo. Se trata de índices fundamentales para poder valorar el grado de aislamiento o conectividad existente entre los distintos fragmentos, se basa en el supuesto de que un mayor aislamiento genera una reducción de las probabilidades de albergar un grado de diversidad biológica mayor.

## 8. METODOLOGÍA

De la propuesta metodológica de la Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica (2012), modificada para ecosistemas colombianos por Vargas (2010), en donde se proponen los pasos de cualquier tipo de restauración ecológica, se enumeran los 13 etapas a tener en cuenta en la restauración ecológica (Figura 4); se tomaron como referencia las 4 primeros etapas se determina la metodología para comprobar la hipótesis, en la fase de diagnóstico. Adicionalmente, se realiza la recopilación de datos de la observación de las áreas de los ecosistemas que están siendo afectadas mediante una serie de indicadores de ecología del paisaje (Tabla 1).

Tabla 1. Metodología propuesta para el desarrollo del proyecto (Fuente: Autor)

Actividad General	Actividad Específica
DESCRIPCION DEL ECOSISTEMA DE REFERENCIA	<p>Descripciones ecológicas y listas de especies antes de la perturbación</p> <p>Reconocer la biodiversidad aun existente en los parches de biodiversidad</p> <p>Descripción ecológica y lista de especies de ecosistemas similares e intactos</p>
EVALUAR EL ESTADO ACTUAL DEL ECOSISTEMA A NIVEL DE CONDICIONES DEL PAISAJE	<p>Ubicación de los relictos o parches del ecosistema general: Indicadores área, superficie y densidad Indicadores de forma Indicadores de conectividad</p> <p>Análisis de uso del suelo donde se encuentran los relictos o parches</p>
DEFINIR ESCALA Y NIVELES DE ORGANIZACIÓN Y ESTABLECER JERARQUÍAS DE LOS DISTURBIOS	<p>Definir la escala y nivel organización del estudio</p> <p>Establecer las jerarquías de disturbios de tipo antrópico para ecosistemas terrestres</p>

## **8.1. DESCRIPCION DEL ECOSISTEMA DE REFERENCIA**

Para describir a nivel de paisaje el ecosistema y sus respectivas zonas ambientales se tomó como base la propuesta por Vargas (2010). Se modificó para el caso específico de Gutiérrez, según la disponibilidad de información, dando como resultado 3 actividades principales.

### **8.1.1. Descripciones ecológicas y listas de especies antes de la perturbación**

Se reconoció por las bases de datos en línea las zonas ambientales que se encuentran en las latitudes y altitudes de la zona objeto de estudio. Se realizó una revisión bibliográfica de descripciones ecológicas y listados de especies para las latitudes específicas de la zona objeto de estudio.

### **8.1.2. Reconocer la biodiversidad aun existente en los parches de biodiversidad**

Posteriormente se realizó el reconocimiento de las especies mediante las relaciones morfológicas (forma de los órganos) para las plantas evidenciadas en las diferentes zonas ambientales reconocidas ( Villareal *et al.*, 2004 ; Instituto de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Colombia, 2013).

### **8.1.3. Descripción ecológica y lista de especies de ecosistemas similares e intactos**

Se realizó una revisión bibliográfica y en línea de las bases de datos de especies de zonas ambientales de ecosistemas similares e intactos (Instituto de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Colombia, 2013).

## **8.2. EVALUAR EL ESTADO ACTUAL DEL ECOSISTEMA A NIVEL DE CONDICIONES DEL PAISAJE**

Para evaluar el estado actual del ecosistema Vargas (2010) propone una serie de indicadores que arrojan información general de la estructura del paisaje y una sucesión de actividades que se presentan a continuación:

### **8.2.1. Ubicación de los relictos o parches del ecosistema general.**

Se hace una evaluación de las condiciones previas y actuales del ecosistema mediante la ubicación de relictos a parches del ecosistema original mediante 3 tipos de indicadores de paisaje:

 Indicadores área, superficie y densidad



Indicadores de forma

Indicadores de conectividad

## **8.2.2. Análisis de uso del suelo donde se encuentran los relictos o parches**

Se realizó el análisis del uso del suelo basado en la cartografía suministrada por el sistema de información geográfico proporcionado por la gobernación municipal en el Esquema de Ordenamiento Territorial (2010).

## **8.3. DEFINIR ESCALA Y NIVELES DE ORGANIZACIÓN Y ESTABLECER JERARQUÍAS DE LOS DISTURBIOS**

### **8.3.1. Definir la escala y nivel organización del estudio**

Vargas (2010) propone que existen 3 escalas y 3 niveles para el estado del paisaje, los cuales se resumen de la siguiente manera: i) Escala local y nivel de especie, ii) Escala local y nivel de comunidad, iii) Escala regional o nivel Ecosistémico, iv) Escala del paisaje.

### **8.3.2. Establecer las jerarquías de disturbios de tipo antrópico para ecosistemas terrestres**

Los principales disturbios reconocidos por Vargas (2010) son clasificados en naturales y antrópicos. Los naturales corresponden a: deslizamientos, vulcanismo, huracanes, tormentas, lluvias y vientos fuertes, inundaciones, heladas, disturbios producidos por animales y fuegos naturales. Los disturbios antrópicos corresponden a la ganadería y la agricultura, la minería, la deforestación, las quemas, la construcción de obras civiles, la explotación de especies, siembra de especies forestales exóticas y las invasiones biológicas. Para el estudio es de interés netamente las de origen antrópico por lo que la revisión se hará para esta categoría y se evidenciará con el levantamiento fotográfico.

## **9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **9.1. DESCRIPCION DEL ECOSISTEMA DE REFERENCIA**

Son escasos los estudios hechos directamente en la zona pero el Instituto Alexander von Humboldt (IAvH) junto con entes gubernamentales desarrolló estudios de investigación, en zonas similares a las altitudes y latitudes del municipio de Gutiérrez (Cundinamarca), los cuales se toman como punto de partida para describir el ecosistema de referencia. De igual forma se empleó uno de los pocos estudios que tiene el municipio que es la cartografía desarrollada en por la administración municipal, en donde se puede evidenciar que la unidad de estudio municipio de Gutiérrez se ubica en una región montañosa que va desde los 1000 msnm hasta

niveles superiores de los 3000 msnm (IDEAM, 2013), generando un entorno que incentiva la diversidad biológica.

En cuanto a precipitaciones se tiene que el municipio alberga ecosistemas de abundante humedad con precipitaciones donde Abril, Mayo, Junio, Julio y Agosto se incrementan, con el promedio más alto en Julio con 208 mm de promedio (IDEAM, 2013). El periodo seco se presenta durante los meses de Diciembre, Enero, Febrero y Marzo, presentándose en enero y febrero precipitaciones de 35 mm de promedio. El promedio anual es de 1500 mm, según el reporte del Estudio General de Suelos de Cundinamarca (2000) y según el POMCA Rio Negro (2007) referenciados en el Esquema de Ordenamiento Territorial (Administración Municipal de Gutiérrez, 2010), es de 1494 mm anuales.

Actualmente el municipio cuenta con 8.15 km<sup>2</sup> de lagos en el sector de páramos que representan el 1.89% del área municipal; los ríos y quebradas ocupan un área de 17.28 km<sup>2</sup> y corresponden al 4.01% del área municipal para un total de 5.9 km<sup>2</sup> de cubrimiento hídrico del total del área municipal. El cubrimiento hídrico del total del área municipal, detallado anteriormente le permite al municipio de Gutiérrez convertirse en una de las principales fuentes hídricas del departamento y del país.

El municipio se encuentra en una zona de brillo solar relativamente medio, razón por la cual se reportan temperaturas promedio bajas con respecto a los valores nacionales (IDEAM; UPME, 2005).

En cuanto a los usos del suelo en el municipio de Gutiérrez las principales actividades económicas se encuentran ligadas al uso del recurso suelo y están relacionadas con la producción agrícola y pecuaria. En la actualidad una gran área conserva las características de bosques no comerciales, ubicadas en las partes altas y en los páramos de Las Mercedes, Peña Lisa, Correderos, Las Dantas y El Cedral.

En el plan agropecuario municipal se encuentran los siguientes tipos de zonas agropecuarias, lo cual fue comprobado en campo y que se explica en el numeral 10.2. (Tabla 2)

Tabla 2. Zonas agropecuarias evidenciadas en Gutiérrez. (Modificado de Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios, 2008)

ZONA 1	ZONA AGROPECUARIA DE ALTA PRODUCTIVIDAD
<b>LOCALIZACIÓN</b>	Se encuentra en las lomas, cuevas y laderas, en tierras con características y cualidades biofísicas y socioeconómicas apropiadas para la actividad agropecuaria. Se localiza en las veredas San Antonio, La Reina, Carmen Arriba y Abajo, El Cedral, Pascote, La Concepción, Río chiquito, Río Blanco Brasil. Predomina el cultivo de fríjol, papa, arveja, maíz, caña panelera, pastos mejorados, dedicados
<b>ACTIVIDADES</b> <b>Composición: a) 50% b) 30% otros 20%</b>	a) fríjol, papa, arveja, maíz y caña panelera b) Pastos mejorados y pastoreo extensivo: bovinos y ovinos
ZONA 2	ZONA AGROPECUARIA DE MEDIANA A BAJA PRODUCTIVIDAD

<b>LOCALIZACIÓN</b>	Se encuentra en las lomas y laderas en tierras con características y cualidades biofísicas y socioeconómicas poco apropiadas para la actividad agropecuaria. Se localiza en los alrededores de la cabecera municipal, ocupa buena parte de las veredas: El Cedral, La Concepción, Río Blanco, Brasil, y cañuelal. Predomina el cultivo de frijol, arveja, papa, maíz y cultivos de pan coger pastos en rotación con variedades de pastos no mejorados
<b>ACTIVIDADES</b> <b>Composición: a) 50% b) 30% otros 20%</b>	a) frijol, arveja, papa, maíz b) Pastos mejorados a) papa en bultos; b) leche, carne Bajos
<b>ZONA 3</b>	<b>ZONA DE PASTOREO EXTENSIVO</b>
<b>LOCALIZACIÓN</b>	Se encuentra en las lomas, cuevas y laderas Se localiza en las veredas La Rinconada, la zona norte del Hoyo, la zona sur de San Gil. El Hoyo, Potreritos, Los Medios Predominan los pastos naturales dedicados al pastoreo extensivo.
<b>ACTIVIDADES</b> <b>Composición: a) 50% b) 30% otros 20%</b>	a Pastos naturales y pastoreo extensivo (bovinos) b. Pastos naturales y pastoreo extensivo (ovinos )

Como resultado de las observaciones de campo y el reconocimiento según Holdridge y Cuatrecasas (Jiménez , 1982) estas observaciones se pueden definir como las unidades ambientales que se relacionan en la tabla 5 y corresponden a lo propuesto por el Esquema de Ordenamiento Territorial de Gutiérrez.

Tabla 3. Ecosistemas presentes en el territorio del municipio de Gutiérrez según la escala propuesta por Holdridge y Cuatrecasas (Fuente: Autor)

Zona propuesta por Holdridge	Símbolo	Equivalente Cuatrecasas	Altitud (msnm)	Biotemperatura (°C)	Precipitación anual media (mm)
Bosque húmedo premontano	bh – PM	Subpáramo	1000-2000	18 – 24	1000 – 2000
Bosque húmedo montano bajo	bh – MB	Subpáramo	2000-3000	12 – 18	1000 – 2000
Bosque muy húmedo montano	bmh – M	Subpáramo	3000-4000	6 – 12	1000 –2000
Páramo subalpino	p – SA	Páramo	4000-4500	3 – 6	>500

Se evidencia que para los ecosistemas ubicados en Gutiérrez, predominan los sistemas tropicales montanos, de alta radiación solar, húmedos de temperaturas relativamente bajas. Las especies vegetales que se ubican en este tipo de hábitats se ubican dependiendo de la altitud reportándose especies de menor tamaño a medida que se reduce la altitud, lo que se ratifica con las observaciones en campo. La diversidad de especies es alta para este tipo de coberturas.

### 9.1.1. Descripciones ecológicas y listas de especies antes de la perturbación

No se han reportado listas de especies ni descripciones ecológicas para las zonas ambientales ubicadas en Gutiérrez (Cundinamarca). Únicamente se ha reportado un sistema de información geográfica en el Esquema de Ordenamiento territorial desarrollado por la Administración Municipal del año 2010, en donde se desarrolló cartografía en la cual se utilizó el mapa de uso de suelos (Anexo 5).

### **9.1.2. Reconocer la biodiversidad aun existente en los parches de biodiversidad** *Unidad de páramo subalpino*

Existen parches en unidades localizadas en las regiones aledañas al Sumapaz estas unidades son: el páramo El Clarín, Las Mercedes y el páramo Correderos en la vereda el Hoyo, el páramo Las Dantas en la vereda San Gil y la Cuchilla el Buque en la Vereda la Rinconada. Se ubican partir de los 3.500 m.s.n.m. Tiene una extensión aproximada de 8.92 Km<sup>2</sup>, ocupando un 20.77% del área total del municipio. Se caracteriza por la ausencia de árboles y por la abundancia de gramíneas, entremezcladas con arbustos y plantas en forma de cojines o almohadillas. De las especies características de páramo que se reconoció visualmente se encontró. *Espeletia summapacis*, *Berberis goudotii*, *Juncus effusus*, *Plantago rigida*, *Puya goudotiana*, *Archytopyllum nitidum*, *Calamagrostis effusa*, *Galium hypocarpium*, *Pentacalia ledifolia* (Anexo 1)

### *Unidad bosque muy húmedo montano*

Se presenta en las unidades de latitudes altas de los cordones montañosos que delimitan a los páramos. Se extiende desde los 3.000 hasta los 3.500 m.s.n.m. su área aproximada es de 9.30 Km<sup>2</sup>, siendo el 21.65% del área total del municipio. Debido a que se encuentra en el límite superior del bosque se nombra como subpáramo. Su vegetación varía desde los arbustos en la zona que colinda con el páramo hasta la presencia de árboles de porte bajo en las altitudes inferiores. Las especies visualmente reconocidas características para este tipo de zona ambiental son *Bocconia frutescens*, *Hawea fosteriana*, *Odontoglossum lindenii*, *Oreopanax bogotense*, *Monochaetum myrtoideum*, *Oreopanax floribundus*, *Cavendishia cordiflora*, *Phyllanthus salviifolius*, *Macleania rupestris*, *Lycopodium spp.*, *Clusia multiflora*, *Chusquea scandens*, *Macleania rupestris*, *Lycopodium spp*, *Lobaria sp*, *Tibouchina lepidota*, *Weinmania tomentosa*, *Passiflora mixta*, *Phytolacca bogotensis*, *Physalis peruviana*, *Polytricum juniperinum*, *Thunbergia alata*, *Yucca elephantipes*, *Ceroxylum quindiense* y *Clusia multiflora* (Anexo 2).

### *Unidad de bosque húmedo montano bajo*

Gran parte del municipio de Gutiérrez se ubica entre los 2.000 y 3.000 m.s.n.m. y se extiende en las partes altas de los flancos cordilleranos. Cubre parcialmente las veredas de Potreritos, Los Medios, el sur de la Vereda del Hoyo, el norte de la vereda San Gil, Brasil, Ramal, Río Blanco, Río Chiquito, El Cedral, La Concepción, La Reina, Carmen Abajo, El Salitre, Cañuelal, el Centro y la zona sur de la vereda La Rinconada y la vereda Carmen Arriba. Su extensión aproximada es de 19.57 Km<sup>2</sup>, ocupa el 45.55% del área total del municipio. Se encontró especies ya evidenciadas para altitudes mayores, en la unidad de bosque muy húmedo montano y otras especies que

comienzan diferenciar el paisaje debido al incremento de temperatura y la reducción de la humedad como *Odontoglossum lindenii*, *Oreopanax bogotense*, *Monochaetum myrtoideum*, *Cavendishia cordiflora*, *Phyllanthus salviifolius*, *Macleania rupestris*, *Lycopodium spp.*, *Clusia multiflora*, *Chusquea scandens*, *Bocconia frutescens*, *Weinmania tomentosa*, *Passiflora mixta*, *Phytolacca bogotensis*, *Physalis peruviana*, *Polytricum juniperinum*, *Thunbergia alata*, *Yucca elephantipes*, *Ceroxylum quindiense*, *Ipomoea purpurea*, *Pittosporum undulatum*, *Fucraea andina*, *Brugmasia candida*, *Xylosma sp*, *Ricinus communis*, *Cedrela montana*, *Erythrina edulis*, *Dahlia imperialis*, *Ceroxylon alpinum*, *Cecropia telenitida* (Anexo 3)

### **Unidad de bosque húmedo premontano**

Este tipo de piso se extiende entre 1.000 y 2.000 m.s.n.m. en la zona media del flanco occidental y el oriental. Su extensión aproximada es de 5.17 Km<sup>2</sup>, ocupa el 12.03% del área total del municipio. Este piso térmico cubre parcialmente de las veredas Trapiche, Río chiquito linderos del Río Blanco, Río Blanco, Pascote, San Antonio, Carmen Abajo, el sur de Cerinza, La Palma y Río Taguate, bordeando el Río Santa Rosa en la vereda el Ramal. El Reconocimiento de las especies se dificulta debido a las pronunciadas inclinaciones y lo distantes que se encuentran las zonas disponibles de rivera de río con respecto al casco urbano, pero el análisis de uso de suelo sugiere que la extensión en su mayoría está conformada por vegetación arbustiva (Anexo 4, Anexo 5, Anexo 6).

#### **9.1.3. Descripción ecológica y lista de especies de ecosistemas similares e intactos**

Los entes gubernamentales concernientes con la preservación y el cuidado del medio ambiente han desarrollado una serie de investigaciones en cuando a biodiversidad de los ecosistemas de alta montaña y alto andino como se refiere a las zonas ambientales ubicadas en altitudes superiores a los 1000 msnm.

### **Unidad de páramo subalpino**

Dentro de la lista de especies disponibles propias de la región están los diferentes estudios que se han hecho para el páramo de Sumapaz. La revisión más específica que se ha reportado es la desarrollada por Pedraza-Peñaloza *et al.* (2005), en donde toma como objeto de estudio Chisacá, que hace parte de la localidad No. 20 del Distrito Capital de Bogotá ubicada en la parte septentrional del Parque Nacional Natural de Sumapaz (PNNS), en cuya entrada se encuentra la laguna de Chisacá, a 4° 16' 22.2" de latitud norte y 74° 12' 27.3" de longitud oeste. La zona esta intimamente ligada debido a que los paramos se solapan geográficamente.

En general para los ecosistemas de páramo, la pluviosidad varía entre 1.500 y 2.000 mm anuales. Se caracteriza por bajas temperaturas medias entre 6 y 8°C; alta insolación diurna, baja presión atmosférica, escasa densidad de aire, constantes cambios de temperatura y humedad, además, predominan vientos moderados a fuertes (Ramírez, 2011). Para el complejo, específicamente para la región ubicada en la estación de la laguna de Chisacá es de 1248 mm, se han reportado valores máximos de 264 mm en noviembre y mínimos de 2 mm en enero. La temperatura promedio anual es de 4.8°C, con oscilaciones diarias alrededor de 25°C. Las especies

evidenciadas en el presente estudio corresponden a lo evidenciado por investigaciones previas para la zona de Chisacá, en donde se encontró vegetación abierta de tipo pajonal, sin árboles, con arbustos achaparrados, de hojas coriáceas y con estructura adaptada a ambientes secos de día y húmedos en las época de precipitaciones altas (Pedraza-Peñaloza, Betancur, & Franco-Rosselli, 2005).

La especies reportadas para el páramo de Chusacá son *Aa hartwegii* Garay, *Acaena cylindristachya*, *Acaena elongata* L, *Achyrocline satureoides*, *Ageratina glyptophlebia*, *Ageratina gracilis*, *Ageratina tinifolia*, *Agrostis araucana*, *Agrostis fasciculata*, *Agrostis hankeana* Hitchc, *Agrostis trichodes*, *Aphanactispiloselloides* Cuatrec, *Aragoa corrugatifolia*, *Arcytophyllum muticum*, *Arcytophyllum nitidum*, *Arenaria lanuginosa*, *Azorella crenata*, *Azorella Cuatrecasasii*, *Braccharis prunifolia*, *Braccharis revoluta*, *Braccharis rupícola*, *Braccharis tricuneata*, *Bartsia laniflora*, *Bartsia pedicularoides*, *Bartsiasantolinifolia*, *Bartsia stricta*, *Belloa kunthiana*, *Belloa radians*, *Berberis goudotii*, *Bidens triplinervia*, *Bomarea hirsuta*, *Brachyotum strigosum*, *Bromus catharticus*, *Buddleja bullata*, *Calamagostris effusa*, *Calamagostris fibrovaginata*, *Calamagostris intermedia*, *Calamagostris ligulata*, *Calamagostris planifolia*, *Calandrina acaulis*, *Calceolaria mexicana*, *Callitriche nubigena*, *Callitriche sp.*, *Cadarmine Alberti*, *Cadarmine bonariensis*, *Carex bonplandii*, *Carex pichinchensis*, *Carex pygmaea*, *Castilleja fissifolia*, *Castilleja integrifolia*, *Castratella piloselloides*, *Cerastium subspicatum*, *Cestrum buxifolium*, *Chusquea tessellata*, *Clinopodium nubigenum*, *Conyza uliginosa*, *Coprosma granadensis*, *Cortaderia columbiana*, *Cortaderia nítida*, *Cotula mexicana*, *Crassula venezuelensis*, *Danthonia secundiflora*, *Diplostephium alveolatum*, *Diplostephium revolutum*, *Diplostephium rhomboidale*, *Diplostephium schultzei*, *Disterigma empetrifolium*, *Draba cuatrecasana*, *Draba sericea*, *Eleocharis acicularis*, *Eleocharis stenocarpa*, *Epidendrum chioneum*, *Epidendrum erosum*, *Epilobium denticulatum*, *Eryngium humboldtii*, *Eryngium humile*, *Escallonia mytilloides*, *Espeletia grandiflora*, *Espeletia killipii*, *Espeletia summapacis*, *festuc sp.*, *Galium ascendens*, *Galium canescens*, *Galium corymbosum*, *Galiumhypocarpium*, *Gamochaeta americana*, *Gamochaeta purpurea*, *Gaultheria anastomosans*, *Gaultheria sclerophylla*, *Gentiana sedifolia*, *Gentianella corymbosa*, *Geranium lindenianum*, *Geranium sibbaldioides*, *Gnaphalium antennarioides*, *Gnaphalium sp.*, *Gratiola bogotensis*, *Greigia stenolepis*, *Gynoxys fuliginosa*, *Gynoxys hirsuta*, *Halenia adpressa*, *Halenia asclepiadea*, *Halenia major*, *Hesperolemes obtusifolia*, *Hieracium avilae*, *Hieracium avilae*, *Hieracium frigidum*, *Hydrocotyle bonplandii*, *Hydrocotyle gunnerifolia*, *Hydrocotyle hederacea*, *Hydrocotyle ranunculoides*, *Hypericum juniperinum*, *Hypericum lanciloides*, *Hypericum mexicanum*, *Hypericum myricariifolium*, *Hypericum prostratum*, *Hypericum strictum*, *Hypericum thuyoides*, *Hypochaeris radicata*, *Hypochaeris sessiliflora*, *Juncus breviculmis*, *Juncus bufonius*, *Juncus ecuadoriensis*, *Juncus effusus*, *Juncus stipulatus*, *Lachemilla aphanoides*, *Lachemilla fulvescens*, *Lachemilla galioides*, *Lachemilla hirta*, *Lachemilla hispidula*, *Lachemilla aff. holosericea*, *Lachemilla mandoniana*, *Lachemilla nivalis*, *Lachemilla orbiculata*, *Laestadia muscicola*, *Laestadia pinifolia*, *Lasiocephalus otophorus*, *Lilaea scilloides*, *Lilaeopsis schaffneriana*, *Limosella australis*, *Lobelia tenera*, *Lupinus alopecurioides*, *Lupinus cf. bogotensis*, *Luzula gigantea*, *Luzula racemosa*, *Luzula vulcanica*, *Lysipomia laciniata*, *Lysipomia muscoides*, *Lysipomia sphagnophila*, *Miconia chionophila*, *Miconia salicifolia*, *Mimulus glabratus*, *Monnina aff. salicifolia*, *Montia meridensis*, *Moritzia lindenii*, *Muehlenbeckia tamnifolia*, *Muehlenbeckia volcánica*, *Muhlenbergia cleefi*, *Myriophyllum aquaticum*, *Myrrhidendron glauscescens*, *Niphogeton dissecta*, *Niphogeton lingula*, *Niphogeton ternata*, *Noticastrum marginatum*, *Oenothera multicaulis*, *Oreobolus cleefi*, *Oreobolus goeppingeri*, *Oreomyrrhis andicola*, *Oritrophium peruvianum*, *Ortachne erectifolia*, *Orthrosantus chimborascensis*, *Oxalis medicaginea*, *Pachyphyllum pastii*, *Paepalanthus karstenii*, *Paepalanthus lodiculoides*, *Parietaria debilis*, *Paspalum hirtum*, *Pentacalia abietina*, *Pentacalia andicola*, *Pentacalia flosfragans*, *Pentacalia Guadalupe*, *Pentacalia ledifolia*, *Pentacalia nítida*, *Pentacalia reissiana*, *Pentacalia vaccinioides*, *Peperomia hartwegiana*, *Peperomia microphylla*, *Pernettya hirta*, *Pernettya prostrata*, *Plagiocheilus solivaeformis*, *Plantago australis*, *Plantago*

*rigida*, *Poa orthophylla*, *Puya clava-herculis*, *Puya goudotiana*, *Puya santosii*, *Puya trianae*, *Racinaea tetrantha*, *Ranunculus flagelliformis*, *Ranunculus geranoides*, *Ranunculus limoselloides*, *Ranunculus nubigenus*, *Rhynchospora macrochaeta*, *Rhynchospora oreobolidea*, *Ribes bogotatum*, *Rorippa nana*, *Rubus acanthophyllos*, *Rubus gachetensis*, *Rumex acetosella*, *Rumex tolimensis*, *Sabazia trianae*, *Senecio canescens*, *Senecio formosoides*, *Senecio formosus*, *Senecio niveo-aureus*, *Senecio subruncinnatus*, *Sibthorpia repens*, *Sigesbeckia jorullensis*, *Sisyrinchium convolutum*, *Sisyrinchium pusillum*, *Solanum stenophyllum*, *Stachys elliptica*, *Stachys eriantha*, *Stachys pusilla*, *Stellaria cuspidata*, *Tibouchina grossa*, *Tripholium repens*, *Trisetum irazuense*, *Urtica cf. ballotifolia*, *Vaccinium floribundum*, *Valeriana arborea*, *Valeriana pavonii*, *Valerianapilosa*, *Valeriana plantaginea*, *Veronica serpyllifolia*, *Vicia andicola*, *Weinmannia fagaroides*, *Werneria pygmaea*, *Xenophyllum humile*, *Xyris subulata*

### **Unidad bosque muy húmedo montano**

En esta unidad climática, se registra precipitaciones que oscilan entre 1.200 y 1.500 mm de promedio anual. Se caracteriza por una temperatura aproximada promedio de 10°C. Las especies reportadas por la Corporación Autónoma regional para este tipo de unidad ambiental (2004) son *Persea mutisii*, *Persea ferruginea*, *Odontoglossum lindenii*, *Drimys granadensis*, *Bocconia frutescens*, *Lupinus bogotensis*, *Phytolacca bogotensis*, *Auioea dubia*, *Oreopanax bogotense*, *Ocotea calophylla*, *Monochaetum myrtoideum*, *Cavendishia cordifolia*, *Brunellia propinqua*, *Myrcianthes leucoxila*, *Prunus buxifolia*, *Ugni myricoides*, *Clethra fimbriata*, *Posoqueria latifolia*, *Muehlenbeckia tamnifolia*, *Viburnum tryphyllum*, *Cavendishia cordifolia*, *Billia columbiana*, *Macleania rupestris*, *Xylosma sp.*, *Lycopodium spp.*, *Vallea stipularis*, *Bucquetia glutinosa*, *Chusquea scandens*, *Ficus andicola*, *Brunellia acutangula*, *Brunellia propinqua*, *Prunus buxifolia*, *Mutisia clematis*, *Escallonia myrtilloides*, *Polylepis quadrijuga*, *Abatia parviflora*, *Escallonia floribunda*, *Myrsine guianensis*, *Weinmannia tomentosa*, *Podocarpus oleifolius*, *Taraxacum officinale*, *Clethra fagifolia*, *Viburnum tryphyllum*, *Hyeronima rufa*, *Weinmannia rollotii*, *Berberis rigidifolia*, *Monochaetum myrtoideum*, *Tournefortia polystachia*, *Aetanthus cf. Mutisii*, *Diplostegium rosmarinifolius*, *Pentacallia pulchella*, *Smilax floribunda*, *Gunnera schultesiana*, *Macleania rupestris*, *Morella parvifolia*, *Morella pubescens*, *lobaria sp.*, *Clethra rugosa*, *Tibouchina lepidota*, *Hesperomeles cf. Heterophylla*, *Ilex nervosa*, *Ilex kunthiana*, *Polytricum juniperinum*, *Castratella piloselloides*, *Ceroxylum quindiuense*, *Aegiphilla bogotensis*, *Symplocos theiformis*, *Gaultheria aff columbiana*, *Quercus humboldtii*, *Brunellia acutangula*, *Macrocarpaea glabra*, *Gaiadendron punctatum*, *Simplocos theiformis*, *Ternstroemia meridionalis*, *Axinaea macrophylla*, *Centronia brachycera*, *Schefflera bogotensis*, *Schefflera sp.*, *Desfontainia spinosa*.

### **Unidad de bosque húmedo montano bajo**

Su pluviosidad varía entre los 600 y 1.200 mm promedio anual y en las zonas altas llega hasta los 2.000 mm, con una temperatura aproximada promedio de 12 a 14°C (IDEAM, 2013), estos datos validan la presencia de las especies observadas (Mahecha, 2004). Las especies reportadas por la Corporación Autónoma regional para este tipo de unidad ambiental (2004) son: *Abutilon insigne*, *Acacia melanoxylon*, *Persea mutisii*, *Persea ferruginea*, *Odontoglossum lindenii*, *Hedyosmum bonplandianum*, *Drimys granadensis*, *Populus deltoides*, *Bocconia frutescens*, *Senna multiglandulosa*, *Senna viarum*, *Alnus acuminata*, *Cleome anómala*, *Sparrmannia*

*africana*, *Myrcianthes ropaloides*, *Hedyosmum bonplandianum*, *Lupinus bogotensis*, *Phytolacca bogotensis*, *Critoniopsis bogotana*, *Aiouea dubia*, *Oreopanax bogotense*, *Ocotea calophylla*, *Meriania nobilis*, *Monochaetum myrtoideum*, *Cavendishia cordiflora*, *Phytolacca dioica*, *Liquidambar styraciflua*, *Schinus molle*, *Smallanthus pyramidalis*, *Myrcia cucullata*, *Myrcianthes ropaloides*, *Myrcianthes leucoxyloides*, *Eugenia myrtifolia*, *Prunus buxifolia*, *Ugni miricoides*, *Clethra fimbriata*, *Meliosma bogotana*, *Phyllanthus salviifolius*, *Ipomoea purpurea*, *Muehlenbeckia tamnifolia*, *Pittosporum undulatum*, *Viburnum tryphyllum*, *Piper bogotense*, *Ficus carica*, *Cestrum parvifolium*, *Billia columbiana*, *Rhamnus pubescens*, *Furcraea cf. cabuya*, *Macleania rupestris*, *Brugmasia candida*, *Tropaeolum majus*, *Styloceras laurifolium*, *Xylostoma* sp., *Fuchsia boliviana*, *Citharesxylum subflavescens*, *Meliosma bogotana*, *Lycopodium* spp., *Ipomoea purpurea*, *Brygmansia sanguinea*, *Vallea stipularis*, *Clusia multiflora*, *Tropaeolum majus*, *Prunus serótina*, *Chusquea scandens*, *Ricinus communis*, *Ficus andicola*, *Cedrela montana*, *Juglans neotropica*, *Bocconia frutescens*, *Prunus buxifolia*, *Barnadesia spinosa*, *Braccharis macrantha*, *Mutisia clematis*, *Escallonia myrtilloides*, *Polylepsis quadrijuga*, *Lochroma fuchsoides*, *Abatia parviflora*, *Bomarea patinii*, *Crotalaria agatiflora*, *Croton funkianus*, *Duranta mutisii*, *Escallonia floribunda*, *Clusia multiflora*, *Myrsine guianensis*, *Myrsine coriácea*, *Solanum ovalifolium*, *Delostoma integrifolium*, *Weinmannia tomentosa*, *Passiflora mixta*, *Dodonaea viscosa*, *Vallea stipularis*, *Podocarpus oleifolius*, *Tecoma stans*, *Taraxacum officinale*, *Dalea coerulea*, *Bucquetia aglutinosa*, *Erythrina rubrinervis*, *Populus deltoides*, *Hyeronima rufa*, *Dahlia imperialis*, *Cestrum parvifolium*, *Croton bogotanus*, *Saurauia scabra*, *Prunus buxifolia*, *Weinmannia balbisiana*, *Malvaviscus* aff. *Arboreus*, *Smallanthus pyramidalis*, *Eccremis coarctata*, *Eucalyptus ficifolia*, *Furcraea* cff. *Cabuya*, *Coryanea crassa*, *Brugmansia candida*, *Lippia hirsuta*, *Lochroma fuchsoides*, *Aetanthus* cf. *Mutisii*, *Daphnopsis bogotensis*, *Grevillea robusta*, *Phytolacca bogotensis*, *Meliosma bogotana*, *Diplostegium rosmarinifolius*, *Pentacalia punchella*, *Lafoensia acuminata*, *Smilax floribunda*, *Physalis peruviana*, *Solanum lycioides*, *Gunnera schultesiana*, *Pyracantha coccinea*, *Cotoneaster pannosus*, *Anthurus archeri*, *Ganoderma* sp., *Macleania rupestris*, *Escallonia pendula*, *Magnolia grandiflora*, *Hesperomeles goudotiana*, *Meriania nobilis*, *Delostoma integrifolium*, *Schinus molle*, *Polytricum juniperinum*, *Thumbergia alata*, *Dalea coerulea*, *Salix humboldtiana*, *Yucca elephantipes*, *Phoenix canariensis*, *Ricinus communis*, *Ceroxylum quindiense*, *Ceroxylum alpinum*, *Symplocos theiformis*, *Cyperus papyrus*, *Bomarea pantinii*, *Lafoensia acuminata*, *Decussocarpus rospigliosii*, *Pinus radiata*, *Prumnopitys montana*, *Pittosporum tobira*, *Fuchsia boliviana*, *Populus deltoides*, *Teline monspessulana*, *Lippia hirsuta*, *Bursera tomentosa*, *Brunellia acutangula*, *Macrocarpaea glabra*, *Muehlenbeckia tamnifolia*, *Ternstroemia meridionalis*, *Axinaea macrophylla*, *Cytharexylum subflavescens*, *Macleania rupestris*, *Lantana camara*, *Trema micrantha*, *Cecropia telenitida*, *Panopsis suaveolens*, *Eschweilera antioquiensis*, *Matisia lozanoi*, *Solanum lycioides*

### **Unidad de bosque húmedo premontano**

En este tipo de unidad la pluviosidad depende de cada uno de los flancos: 1.200 a 1.500 mm en el occidente y entre 3.000 y 5.000 en el oriente. La temperatura, varía entre los 16 y 20°C (IDEAM, 2013). Las especies reportadas por la Corporación Autónoma regional (2004) para este tipo de unidad ambiental son *Hymenaea courbaril*, *Prosopis juliflora*, *Alchornea grandiflora*, *Tessaria integrifolia*, *Bursera simarouba*, *Terminalia catappa*, *Croton schiedeana*, *Calathea* sp., *Nerium oleander*, *Plumeria rubra*, *Brownea ariza*, *Phoebe cinnamomifolia*, *Thumbergia grandiflora*, *Erythrina fusca*, *Bixa Orellana*, *Chloroleucon bogotense*, *Caesalpinia pulcherrina*, *Pithecellobium saman*, *Guazuma ulmifolia*, *Genipa americana*, *Hura crepitans*, *Artocarpus communis*, *Thricantera gigantea*, *Adenaria floribunda*, *Euterpe oleacera*, *Anacardium excelsum*, *Maclura tinctoria*, *Pithecellobium dulce*, *Xylopia aromatica*, *Persea americana*, *Ochroma*

*pyramidale, Heliocarpus popayanensis, Erythrina edulis, Guadua angustifolia, Phyllanthus acuminatus, Warszewiczia coccinea, Vochysia lehmannii, Aristolochia máxima, Albizia carbonaria, Aristolochia ringens, Centrosema pubescens, Mirabilis jalapa, Antigonon leptopus, Hamelia patens, Asclepias curassavica, Schefflera morototoni, Calathea lutea, Guarea guidonia, Melocactus curvispinus, Vochysia ferrugina, Ficus carica, Erythrina poeppigiana, Pithecellobium lanceolatum, Artocarpus communis, Jacaranda caucana, Billia columbiana, Theobroma cacao, Pachira speciosa, Ficus insípida, Bactris gasipaes, Coffea arabica, Chrysophyllum auratum, Chrysophyllum cainito, Thricanthera gigantea, Crescentia cujete, Pseudomelia rigida, Erythrina indica, Croton smithianus, Cassia grandis, Gynerium sagittatum, Cassia moschata, Cassia grandis, Tabebuia rosea, Swietenia macrophylla, Spathodea campanulata, Machaerium capote, Enterolobium cyclocarpum, Anacardium excelsum, Vismia baccifera, Trichilia palida, Trichilia hirta, Calliandra pittieri, Leucaena leucocephala, Calliandra trinervia, Alchornea grandiflora, Trema micrantha, Zornia diphylla, Thevetia peruviana, Crotalaria nitens, Bauhinia purpurea, Toxicodendron striatum, Hura crepitans, Pachira speciosa, Ricinus communis, Clarisia biflora, Ficus macrocyce, Delonix regia, Jatropha tomentosa, Hura crepitans, Vitis sicyoides, Persea americana, Terminalia catappa, Chloroleucon botense, Artocarpus communis, Smallanthus pyramidalis, Ochroma pyramidale, Heliocarpus popayanensis, Erythrina edulis, Phyllanthus acuminatus, Nicolaia elatior, Vochysia lehmannii, Antigonon leptopus, Calathea lutea, Ficus carica, Theobroma cacao, Erythrina fusca, Bactris gasipaes, Simarouba amara, Coffea arabica, Cassia grandis, Anacardium excelsum, Calliandra trinervia, Alchornea grandiflora, Billia columbiana, Crotalaria nitens, Guarea guidonia, Ceiba pentadra, Tecoma stans, Maclura tinctoria, Guadua angustifolia, Inga marginata, Inga edulis, Annona muricata, Cecropia arachnoidea, Calycolpus moritzianus, Adenaria floribunda, Psidium guajava, Vochysia ferruginea, Pithecellobium guachapele, Croton gossypiiifolius, Albizia carbonaria, Thricanthera gigantea, Styloceras laurifolium, Juglans neotropica, Thunbergia alata, Salix humboldtiana, Sambucus peruviana, Equisetum giganteum, Myrsine guianensis, Clarisia biflora.*

## 9.2. EVALUAR EL ESTADO ACTUAL DEL ECOSISTEMA A NIVEL DE CONDICIONES DEL PAISAJE

### 9.2.1. Ubicación de los relictos o parches del ecosistema general.

Basándose en un estudio del paisaje similar se escogieron los siguientes indicadores de Densidad

- ✚ Indicadores de área, superficie y densidad
  - Área de clase
  - Número de parches o manchas
  - Tamaño medio de parche o mancha
  - Desviación estándar de del tamaño de parche o mancha
  - Coeficiente de variación en el tamaño del parche o mancha
- ✚ Indicadores de forma
  - Índice de forma medio
  - Índice de dimensión fractal
- ✚ Indicadores de conectividad
  - Distancia del vecino más cercano

Tabla 4. Categorías, descripción, acrónimos, unidades y rango de los indicadores de paisaje, implicaciones ecológicas y aplicación de estudio de las métricas o indicadores (Modificado de Fernandes, Aguiar & Ferreira, 2011)

Categoría	Indicadores de paisaje	Acrónimo (por sus siglas en inglés)	Unidades y rango	Descripción	Implicaciones ecológicas principales	Aplicación de estudio para la vegetación de Gutiérrez
<b>Área/densidad</b>	Área de clase	CA	Hectáreas [0, ∞]	Estadística básica de la configuración espacial	Productividad, ciclos biogeoquímicos y dinámica de especies	Indicador simple de fragmentación
	Número de mancha	NP	Adimensional [0, ∞]			
	Tamaño medio de la mancha	MPS	Hectáreas [0, ∞]			
	Desviación estándar del tamaño de la mancha	PSSD	Hectáreas [0, ∞]			
	Coficiente de variación en el tamaño de la mancha	PSCV	Porcentaje [0, ∞]			
<b>Forma</b>	Índice de forma medio	MSI	Adimensional [0, ∞]	Complejidad de las formas. Aproximadamente 1 para forma con perímetros simples	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	Conectividad lateral	
<b>Conectividad</b>	Distancia media del vecino más cercano	MNN	Metros [0, ∞]	Distancia mínima entre manchas de la misma clase, basado en la distancia más corta entre sus bordes	Flujo de energía y biomasa y efectos de conectividad-biodiversidad biológica	Aislamiento de las manchas, interconectividad

Según la disponibilidad de software para el análisis de indicadores del paisaje disponible en línea se elige al 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 (Steiniger & Hay, 2009). De la aplicación de este software en los mapas de uso de suelos del Sistema de Información Geográfico del Esquema de Ordenamiento territorial (2010) suministrado por la administración pública de Gutiérrez se obtuvo los resultados de la tabla 6.

Para el análisis del paisaje se tiene en cuenta las clases propuestas por el Esquema de Ordenamiento Territorial de Gutiérrez desarrollado para el 2010 (Tabla 5).

Tabla 5. Clase de cobertura y uso del suelo.(Modificado de Administración Municipal de Gutiérrez, 2010)

Clase de cobertura	Uso de suelo	Área Total (ha)	%Área
Área Sin Uso Agropecuario ni Forestal (A.S.U.A.F.)	Afloramiento	65.8	0.001
	Deslizamiento	93.06	0.101
	Institucional	7.69	0.008
	Laguna	9.08	0.010
	Perímetro Urbano	17.12	0.019
	Rio	187.51	0.204
	Riesgo no Mitigable	15.75	0.017
Bosque	Bosque Fragmentado	645.17	0.704
	Bosque Natural	3727.60	4.098
	Bosque Secundario	1194.99	1.370
Cultivos	Asociación Papa-Arveja	203.67	0.237
	Consociación Frijol-Sagú-Caña-Café-Yuca-Plátano	1686.70	1.965
	Consociación Frijol-Pasto Natural	226.5	0.269
	Monocultivo Frijol	854.28	1.018
Explotación Agrícola Confinada (E.A.C.)	Piscícola	0.55	0.001
Paramo	Bosque Natural	231.17	0.278
	Pajonales	6178.63	7.459
	Pastos	467.38	0.610
	Rastrojo	4948.00	6.494
	Vegetación	2528.63	3.549
	Pasto Natural	91.53	0.133
	Pasto con Rastrojo	3011.74	4.389
	Pastos	2677.50	4.081
Área de protección cuerpos de agua	Ronda de Quebrada	160.96	0.256
	Ronda de Rio	3.83	0.006
Áreas del sistema de servicios públicos domiciliarios (A.S.S.P.D.)	Almacenamiento	0.03	0.000
	Captación	8.64	0.014
	Conducción	2.22	0.004
	PGRIS	0.84	0.001
	PTARS	1.45	0.002
	Tratamiento	0.02	0.000
Sub Paramo	Bosque Fragmentado	26.11	0.042
	Bosque Natural	2294.06	3.657
	Bosque secundario	249.5	0.413
	Pasto con Rastrojo	899.36	1.494
	Pastos	334.12	0.564
	Rastrojo	369.1	0.626
Vegetación Arbustiva	Rastrojo	5703.41	9.736
	Rastrojo Quemado	238.35	0.451

Parque Nacional Natural del Sumapaz (P.N.N.S.)	Parque Nacional Natural del Sumapaz (PNNS)	6638.47	12.611
--	--	---------	--------

Se evidencia que las áreas con mayor porcentaje son las que poseen coberturas naturales como el 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 (Fernandes, Aguiar, & Ferreira, 2011)

No existe una zona de transición entre los ecosistemas naturales y los agroecosistemas que generen protección para los ecosistemas de páramo específicamente, lo que debe generarse para minimizar las presiones antrópicas sobre los ecosistemas naturales, 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 gran 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 nivel de humedad presente, se observa el potencial hídrico de la región. Esta humedad se concentra principalmente en el río Taguaté.

Tabla 6. Resultados de los indicadores de ecología del paisaje propuestos. Fuente: Autor

Clase	CA	%A	NP	MPS	PSSD	PSCV	MSI	MPFD	MNN
ASUAF	394.24	0.86	33	11.95	32.97	275.95	4.22	1.26	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	14288.51	31.20	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			2.03		
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			2.39	1.30	110.00
PNNS	6609.69	14.43	1	6609.69			1.74	1.20	

### Área de clase promedio (CA)

En la tabla 7 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 un complejo. Se observa que el área de clase promedio con mayores valores para el páramo y el subpáramo (tabla 6).

Se ratifica las conclusiones de la Administración Municipal (2010) de ser 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 (Hagen *et al.*, 2012) 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 Ra y área de protección de cuerpos de agua.

Gutiérrez tiene un porcentaje de áreas de clase de conservación más alta que las reportadas en municipios del orobioma altoandino ubicado entre los municipios de los departamentos de Boyacá y Santander (IAvH, 2005).

Los páramos son ecosistemas captadores de dióxido de carbono debido a las temperaturas bajas con que se comportan por lo tanto tienen bajas tasas de mineralización y reciclaje de nutrientes. Esto genera una tendencia a la absorción de carbono depositado como materia orgánica (Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios, 2008) y debido a la gran extensión reportada en el municipio de Gutiérrez lo hace un municipio que contribuye a la reducción de la temperatura global ambiental (tabla 7).

Tabla 7. Dióxido de carbono total estimado capturado por las clases de páramo, subpáramo y PNNS por Gutiérrez (Modificado de García, 2003)

Clase	Compartimiento	Ton C/Ha	CO <sub>2</sub> total estimado promedio capturado por Gutiérrez (Ton C/Ha)
Páramo	Vegetación	20	285770
	Suelo	1700	24290461
	Total	1720	24576232
Subpáramo	Vegetación	20	83082
	Suelo	1700	7062000
	Total	1720	7145082
PNNS	Vegetación	20	285770
	Suelo	1700	24290461
	Total	1720	24576232

### 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 alpino 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 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 6).

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 (MacGarigal & Marks, 1995), 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 los cultivos y 74 a pastos.

### *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 único complejo de protección. Además se evidencia una variabilidad de los datos demasiado pronunciada, lo que refleja que la heterogeneidad de los tamaños es alta (Tabla 6). 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 para el orobioma altoandino ubicado entre los municipios de los departamentos de Boyacá y Santander (Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2005)

### *Coefficiente de variación en el tamaño de la mancha (PSCV)*

Un coeficiente de variación en el tamaño de la mancha alto se reporta para la clase de páramo, valor que propone 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 6). Se ratifica que las manchas que corresponden a la clase de páramo tienen una alta variación en cuanto a su forma. También se evidencia un alto índice para las áreas sin uso agropecuario ni 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)*

Según la relación de índice de forma medio con la irregularidad de la mancha según la clase, se evidencia que las clases con mayor irregularidad son las áreas sin uso agropecuario ni forestal y las áreas de protección de cuerpos de agua. Las áreas con mayor regularidad de forma son los relictos de páramo y subpáramo (tabla 6).

En cuanto al índice de forma medio para las clases de origen natural de Gutiérrez se encuentran bajo del rango, situación que afirma que las clases presentan formas más regulares que las reportadas en el orobioma subandino, exceptuando las ASUAF (Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2005).

Se observa que la cobertura con mayor comportamiento de forma irregular es área sin uso agrícola ni 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.

### *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, unido a la información del área de clase genera inferencia de una distribución bastante irregular de los ecosistemas de páramo. Se evidencia 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 6).

Este indicador se comporta de manera similar que los reportados para ecosistemas similares en latitudes del departamento de Boyacá y Santander, aunque levemente menor como sucedió con el MSI (Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2005). También se puede observar que a nivel general se comporta como otros ecosistemas naturales de páramo ubicados en las latitudes del Corredor de Conservación Choco-Manabí (CCCM) siendo levemente más irregulares en este complejo ecológico pero teniendo indicadores de área y densidad menores (Echeverry & Harper, 2007).

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. Situación que se valida con la afirmación de Calvo y Ortiz (2012) en tomar mayor información con respecto al Sistema de Información Geográfica, porque para esta investigación la conectividad es bastante alta gracias a que las clases de origen natural se solapan generando una matriz de carácter natural.

En cuanto a la conectividad, el indicador de distancia media del vecino más cercano muestran distanciamiento alto entre las mismas clases, pero teniendo en cuenta la distribución de uso de suelo (Anexo1) que muchas de las clases están relacionadas se puede inferir una gran conectividad en las manchas. El índice de proximidad medio ratifica la gran conectividad que pueden tener las clases de los ecosistemas predominantes.

### 9.2.2. Reconocimiento de los disturbios antrópicos

Según el reconocimiento de los principales disturbios que afectan con mayor frecuencia los ecosistemas tropicales propuesto por Vargas (2010), se realizó salidas de campo para evidenciar fotográficamente los que son de origen antrópico y que están afectando a los ecosistemas de la región de Gutiérrez, Cundinamarca (Tabla 8). Se evidenció que los principales disturbios de origen antrópico son la deforestación, los sistemas de producción extensiva e intensiva, la potrerización, los sistemas productivos forestales no sostenibles y las quemas inducidas.

Tabla 8. Disturbios antrópicos evidenciados en Gutiérrez, Cundinamarca. Fuente: Autor

Disturbios antrópicos	Descripción	Evidencia fotográfica
<b>Deforestación</b>	Se presenta deforestación en las zonas intersticiales para ampliar los terrenos dedicados a los cultivos y para utilizar esa madera como sistemas de tutorado en los sistemas productivos de leguminosas	
<b>Sistemas de producción extensiva e intensiva (agricultura y ganadería)</b>	Los sistemas productivos de leguminosas se manejan como monocultivos. La presencia de sistemas agroecológicos es baja con respecto a los sistemas tradicionales	

<p><b>Potrerización</b> Se evidencia en la zonas aledañas a páramo para ampliar sistemas de producción de ganado vacuno de raza normando</p>	
<p><b>Sistemas productivos forestales no sostenibles</b> Por el interés de producir madera para los sistemas de tutorado, se han hecho plantaciones de Eucaliptos.</p>	
<p><b>Quemas</b> Se evidencia quemas espontáneas en los periodos de sequía y quemas inducidas por agricultores interesados en incrementar sus áreas de cultivos. Defensa civil datos de forma verbal obtenidos.</p>	

Las observaciones obtenidas se unen a lo afirmado en el informe de la Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios (2008) en donde afirman que el incremento de las quemas de origen antrópico y el uso más continuo de los suelos en cultivos generan la desaparición de especies y le permiten la entrada a las especies foráneas. Afirman también que entre mayor cantidad de área utilizada mayor área se demandará y más difícil será la recuperación de especies nativas de los páramos y subpáramos.

Los indicadores previos arrojan un efecto antrópico de fragmentación en los ecosistemas naturales de la región de Gutiérrez lo cual se ratifica el examen visual descrito previamente (Tabla 8). Las actividades antrópicas que generan pérdida de coberturas naturales son: deforestación, sistemas de producción intensiva y extensiva, potrerización, sistemas productivos forestales no sostenibles y quemadas.

## 10. CONCLUSIONES

Se puede observar que en general la región no presenta indicadores altos de fragmentación pero se muestra alto impacto en las zonas intersticiales de los agroecosistemas y los ecosistemas naturales, situación que amenaza el desarrollo sostenible del municipio.

Según la comparación de los datos, las zonas correspondientes a Gutiérrez se ubican en zonas de gran humedad, brillo solar y alta variabilidad en sus altitudes geográficas, se infiere que son las causas más probables por las cuales alberga gran cantidad de biodiversidad en todos los niveles. En cuanto a sus altitudes, el contraste tan marcado es la razón por la cual tiene gran disponibilidad de agua, sea en sus lagos, humedad relativa y precipitaciones, por lo tanto es alto el potencial de suministro en servicios ecosistémicos relacionados con este recurso.

Los indicadores propuestos revelan información útil del estado de los hábitats de las regiones correspondientes a Gutiérrez para su uso sostenible. Se revela información de hábitats del municipio afectados por fragmentación, que son considerablemente valiosos para el desarrollo sostenible, además de ser sensibles por su variabilidad en altitudes y diversidad. Los indicadores muestran que es un territorio poco intervenido, a nivel general, pero en las zonas aledañas al casco urbano el impacto 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. Según los bajos niveles de fragmentación en las zonas alejadas al casco urbano se puede observar que esta región potencialmente es hábitat de especies animales de interés para el estudio y la conservación mientras se desarrollan procesos de servicios ecosistémicos que generen desarrollo económico y social. La alta proporción de áreas de cobertura vegetal permite a esta región ser un gran sumidero de carbono, ubicando especies fotosintéticas.

Se evidencia presencia de actividades agropecuarias insostenibles generando impacto negativo sobre el uso del suelo, contrastado con un porcentaje alto de áreas de conservación. Estas zonas de impacto antropogénico evidencian técnicas de cambio de uso de suelo que afectan la sostenibilidad del suelo (quemadas, potrerización, sistemas de producción no sostenibles y deforestación) generando pérdida de materia orgánica a corto plazo. La biodiversidad nativa de la región no es utilizada en los sistemas agropecuarios, por el contrario, la totalidad de los agroecosistemas son de especies foráneas insostenibles para este tipo de suelos.

## 11. RECOMENDACIONES

Es necesario que se establezcan políticas de conservación, con su implementación, para las áreas levemente impactadas en la región objeto de estudio. Se propone desarrollar un sistema de

regeneración de los ecosistemas que han sido afectados por las actividades antrópicas teniendo en cuenta la sostenibilidad antrópica de los habitantes del municipio de Gutiérrez. Un reconocimiento etnobotánico de Gutiérrez (Cundinamarca) puede arrojar conocimiento importante para el desarrollo sostenible de esta zona, por lo tanto, se sugiere investigaciones en el marco de la antropología cultural específicamente en el uso cultural de la biodiversidad para esta región.

Al no existir sistemas para el aprovechamiento de los servicios ecosistémicos ofrecidos por las reservas naturales, es necesario el reconocimiento de la biodiversidad a nivel de especie y genética sobre todo para cada unidad ambiental debido a que es demasiado marcada la diferencia gracias al relieve montañoso y la gran cantidad de humedad debida a las precipitaciones, y diseñar esos sistemas de aprovechamiento de los servicios ecosistémicos de manera sostenible.

Por lo tanto, según la metodología propuesta por Vargas (2010), se recomienda una serie de trabajos para la restauración y reconocimiento que requiere de otro tipo de indicadores encaminados a riqueza de diversidad para continuar el proceso de caracterización, conservación y restauración de ecosistemas. El potencial en biodiversidad que se presenta en estas áreas puede ser útil para diferentes actividades relacionadas con el desarrollo sostenible. Puede servir de banco de germoplasma para ecosistemas; fuente de investigación de productos y servicios en el campo farmacéutico, agrícola y cosmético; entre otras actividades. Esto requiere de futuras investigaciones encaminadas al reconocimiento cuantitativo y cualitativo de la diversidad biológica y su potencial como herramienta de desarrollo sostenible, además que se desarrollen investigaciones en donde se cuantifiquen los servicios ecosistémicos que ofrecen las zonas de protección ubicadas en esta región.

Se propone comparar los datos arrojados por el software con datos reportados en campo periódicamente como sistema de seguimiento del estado de los hábitats en el tiempo. Además de incorporar indicadores que evidencien el comportamiento de la biodiversidad directamente. En el desarrollo de la recuperación y conservación de los ambientes naturales está involucrado el apoyo de la comunidad y la aplicación de la normatividad, por lo tanto se recomienda que se desarrollen actividades en donde la comunidad reconozca y se apropie de la diversidad biológica de manera sostenible y que los entes gubernamentales se apropien de la administración de los recursos naturales.

## BIBLIOGRAFÍA

Administración Municipal de Gutiérrez. (2010). *Esquema de Ordenamiento Territorial*. Gutiérrez.: Administración Municipal.

Altamirano, A., Echeverria, C., & Lara, A. (2008). Efecto de la fragmentación forestal sobre la estructura vegetal de las poblaciones amenazadas de *Legrandia concinna* (Myrtaceae) del centro-sur de Chile. *Rev. chil. hist. nat*, 27-42.

Angel, S. (2013). Vacíos en la literatura sobre filosofía de la educación ambiental : Una revisión de las corrientes de la filosofía. *Luna Azul*, 213-246.

- Arcas, J., Pagès, A., & Casals, M. (2011). El futuro del hábitat: repensando la habitabilidad desde la sostenibilidad. El caso español. *Revista INVI*, 65-93.
- Bach, C., & Kelly, D. (2004). Effects of forest edges on herbivory in a New Zealand mistletoe, *Alepis flavida*. *N. Z. J. Ecol.*, 195–205.
- Baptiste, B. L. (2011). Ecología del Paisaje en los Páramos. *Páramos*, 32-39.
- Barbault, R. (2011). 2010: A new beginning for biodiversity? *Comptes Rendus Biologies*, 483–488.
- Bender, D., Tischendorf, L., & Fahrig, L. (2003). Using patch isolation metrics to predict animal movement in binary landscapes. *Landsc. Ecol.*, 17–39.
- Bernal, H., García, H., & Quevedo, G. (2011). *Pautas para el conocimiento, conservación y uso sostenible de las plantas medicinales nativas en Colombia*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Bocco, G. (2010). Carl Troll y la ecología del paisaje. *Investigación Ambiental*, 92-93.
- Boullón, R. (2006). Espacio Turístico y Desarrollo Sustentable. *Aportes y Transferencias*, 17-24.
- Burgess, V., Kelly, D., Robertson, A., & Ladley, J. (2006). Positive effects of forest edges on plant reproduction: literature review and a case study of bee visitation to flowers of *Peraxilla tetrapetala* (Loranthaceae). *N. Z. J. Ecol.*, 179–190.
- Calvo, A., & Ortiz, E. (2012). Fragmentación de la cobertura forestal en Costa Rica durante los periodos 1997-200 y 2000-2005. *Revista Forestal Mesoamericana Kuru*, 10-21.
- Camargo, M., Souza, R., Reys, P., & Morellato, L. (2011). Effects of environmental conditions associated to the cardinal orientation on the reproductive phenology of the cerrado savanna tree *Xylopia aromatic* (Annonaceae). *An. Acad. Bras. Cienc.*, 1007–1020.
- De Groot, R. (2006). Function-analysis and valuation as a tool to assess land use conflicts in planning for sustainable, multi-functional landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 175–186.
- Debinski, D., & Holt, R. (2000). A survey and overview of habitat fragmentation experiments. *Conserv. Biol.*, 342–355.
- Demaría, M., Aguado, I., & Steinaker, D. (2008). Reemplazo y fragmentación de pastizales pampeanos semiáridos en San Luis, Argentina. *Ecología Austral*, 55-70.
- Echeverry, M., & Harper, G. (2007). Fragmentación y deforestación como indicadores del estado de los ecosistemas en el Corredor de Conservación Choco-Manabí (Colombia-Ecuador). *Recursos Naturales y Ambiente*, 78-88.
- Elizalde, A. (2009). ¿Qué desarrollo puede llamarse sostenible en el siglo XXI? La cuestión de los límites y las necesidades humanas. *Revista de Educación. Educar para el desarrollo sostenible*, 53-75.

- Espinal, S. (1991). *Apuntes ecológicos*. Medellín: Lealon.
- Ewers, R., & Didham, R. (2006). Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. *Biol. Rev.*, 117–142.
- Ewers, R., & Didham, R. (2006). Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. *Biol. Rev.*, 117–142.
- Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annu. Rev. Ecol.*, 487–515.
- Fahy, F., & Cinnéide, M. (2008). Developing and testing an operational framework for assessing quality of life. *Environmental Impact Assessment Review*, 366–379.
- Feld, C. K., Da Silva, M., Sousa, J. P., De Bello, F., Bugter, R., Grandin, U., . . . Harrison, P. (2009). Indicators of biodiversity and ecosystem services: a synthesis across ecosystems and spatial scales. *Oikos*, 1862-1871.
- Fernandes, M., Aguiar, F., & Ferreira, M. (2011). Assessing riparian vegetation structure and the influence of land use using landscape metrics and geostatistical tools. *Landscape and Urban Planning*, 166-177.
- García, J. (Diciembre de 2003). 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, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Gómez, W., Sánchez, E., Espinoza, A., & Herrera, F. (2013). El papel de los activos productivos en modos de vida rurales: La obtención de indicadores. *Convergencia*, 71-105.
- Gore, A. A. (2009). *Nuestra elección: Un plan para resolver la crisis climática*. Barcelona: Planeta.
- Hagen, M., Kissling, D., Rasmussen, C., De Aguiar, M., Brown, L., Carstensen, D., . . . Olesen, J. (2011). Advances in Ecological Research. En *Biodiversity, Species Interactions and Ecological Networks in a Fragmented World* (págs. 89–210).
- Hagen, M., Kissling, D., Rasmussen, C., De Aguiar, M., Brown, L., Carstensen, D., . . . Olesen, J. (2012). *Biodiversity, Species Interactions and Ecological Networks in a Fragmented World*. Elsevier Ltd.
- Harris, J., Higgs, R., Higgs, E., & Aronson, J. (2006). Ecological restoration and global climate change. *Restoration Ecology*, 170 - 176.
- Hill, J., Gray, M., Khen, C., Benedick, S., Tawatao, N., & Hamer, K. (2011). Ecological impacts of tropical forest fragmentation: how consistent are patterns in species richness and nestedness? *Philos. Trans. R. Soc. B*, 3265–3276.
- Hilty, J., Lidicker, J., & Merenlender, A. (2006). *Corridor Ecology: The Science and Practice of Linking Landscapes for Biodiversity Conservation*. Washington, DC.: Island Press.

- Hladyz, S., Abjornsson, K., Cariss, H., Chauvet, E., Dobson, M., Elosegí, A., . . . Gulis, V. (2011). Stream ecosystem functioning in an agricultural landscape: the importance of terrestrial-aquatic linkages. *Adv. Ecol. Res.*, 211–276.
- Hoernig, H., & Seasons, M. (2004). Monitoring of indicators in local and regional planning practice: concepts and issues. *Planning practice and research*, 81-99.
- IDEAM. (2001). *Convención Marco de Naciones Unidas para el cambio Climático*. Bogotá: IDEAM.
- IDEAM. (15 de 4 de 2013). *Sistema de Información Ambiental*. Obtenido de <http://institucional.ideam.gov.co/>
- IDEAM; UPME. (2005). *Atlas de Radiación Solar de Colombia*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Metereología y Estudio Ambientales.
- Instituto de Ciencias Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. (01 de 02 de 2013). *Colecciones Científicas*. Obtenido de Herbario : <http://www.biovirtual.unal.edu.co>
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos “Alexander von Humboldt”. (2010). *Informe sobre el Estado de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente 2009*. Bogotá: IAvH.
- Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (2005). *Indicadores de seguimiento y evaluación de la política de biodiversidad*. Bogotá: Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Jacobi, P., Raufflet, E., & Arruda, M. (2011). Educação para a sustentabilidade nos cursos de Administração: reflexão sobre paradigmas e práticas. *REV. ADM. MACKENZIE*, 21-50.
- Jiménez , H. (1982). *Ecología Basada en Zonas de Vida*. San José: IICA.
- Laurance, W., Camargo, J., Luizao, R., Laurance, S., Pimm, S., Bruna, E., . . . Zartman, C. (2011). The fate of Amazonian forest fragments: a 32-year investigation. *Biol. Conserv.*, 56–67.
- Lima, G. (2009). Educação ambiental crítica: do socioambientalismo às sociedades sustentáveis. *Educ. Pesqui*, 145-163.
- Liu, J. (2011). Finding Sustainability in Ecosystem Restoration. *Kosmos Fall* .
- Lorenzetti, R. L. (2011). *Teoría del derecho ambiental*. Bogotá: Temis.
- Luceño, M. (2008). Ambiente y sostenibilidad. Una mirada esceptica. *Medio ambiente y desarrollo sostenible*, 173-189.
- MacGarigal, K., & Marks, B. (1995). *Fragstats: Spatial pattern analysis program for Quantifying landscape structure*. Portland,: US, Department of Agriculture, Forest Division.
- Mahecha, G. E. (2004). *Vegetación del territorio CAR: 450 especies de sus llanura y montañas*. Bogota: Corporación Autonoma Regional de Cundinamarca.

- Melo, F., Dirzo, R., & Tabarelli, M. (2006). Biased seed rain in forest edges: evidence from the Brazilian Atlantic forest. *Biol. Conserv.*, 50–60.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystem an human well-being: biodiversity synthesis*. Washinton D.C.: World Resource Institute.
- Montenegro, O. (2009). Biological Conservation and its Evolutionary Perspective. *Acta biol. Colomb*, 255 - 268.
- Murcia, C. (1995). Edge effects in fragmented forests, implications for conservation. *Trends Ecol. Evol.*, 58–62.
- Naess, A. (2007). Los movimientos de la ecología superficial y la ecología profunda: un resumen. *Ambiente y Desarrollo*, 98-101.
- Olalde, M. O. (2007). *Sostenibilidad ecológica*. Leioa: Universidad del País Vasco.
- Organización Naciones Unidas. (1992). *Convenio sobre la diversidad biológica*. Johannerburgo: ONU.
- Pardini, R., Faria, D., Accacio, G., Laps, R., Mariano-Neto, E., Paciencia, M., . . . Baumgarten, J. (2009). The challenge of maintaining Atlantic forest biodiversity:a multi-taxa conservation assessment of specialist and generalist species in an agroforestry mosaic in southern Bahia. *Biol. Conserv*, 1178–1190.
- Pascual, J. A. (2008). La insostenibilidad como punto de partida del desarrollo sostenible. *Revista CTS*, 81-94.
- Pedraza-Peñaloza, P., Betancur, J., & Franco-Rosselli, P. (2005). *Chisacá, un recorrido por los páramos andinos*. Bogotá: Universidad Nacional.
- Pérez, C., Gutiérrez, C., Narváez, M., Reyes, G., & Pimentel, M. (2008). Exploración documental para la configuración de indicadores de sostenibilidad en Venezuela. *Multiciencias*, 62-70.
- Prevedello, J., & Vieira, M. (2011). Does the type of matrix matter? A quantitative review of the evidence. *Biodivers. Conserv.*, 1205–1223.
- Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios. (2008). *Panorama y perspectivas sobre la gestión ambiental de los ecosistemas de páramo*. Bogotá: Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios.
- Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios. (2008). *Situación de los páramos en Colombia frente a la actividad antrópica y el cambio climático*. Bogotá: Procuraduria General de la Nación.
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente/Banco Mundial y Universidad de Costa Rica (PNUMA/BM/UCR). (2004). *Iniciativa Latinoamericana y del Caribe para el Desarrollo Sostenible: Indicadores de Seguimiento*. San José: PNUMA/BM/UCR.

- Ramírez, M. (2011). Importancia de los microorganismos y la edafofauna en los páramos. *Páramos*, 42-57.
- Ricketts, T., Williams, N., & Mayfield, M. (2006). Connectivity and ecosystem services: crop pollination in agricultural landscapes. En K. Crooks, & M. Sanjayan, *Connectivity Conservation* (págs. 255–289). Cambridge: Cambridge University Press.
- Ruiz, C., Hernandez, D., & Duque, J. (2012). Corredores biológicos una estrategia de recuperación es paisajes altamente fragmentados. *Gestión y Ambiente*, 7-18.
- Sabatino, M., Maceira, N., & Aizen, M. (2010). Direct effects of habitat area on interaction diversity in pollination webs. *Ecol. Appl.*, 1491–1497.
- Saenz, J. (2008). *Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica*. San Jose: INBio.
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. (2010). *La Perspectiva Mundial sobre la Diversidad Biológica 3*. Montreal: Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica.
- SER Society for Ecological Restoration International. (15 de Marzo de 2012). *Guidelines for Developing and Managing Ecological Restoration Projects*. Obtenido de <http://www.ser.org/resources/resources-detail-view/guidelines-for-developing-and-managing-ecological-restoration-projects>
- Steiniger, S., & Hay, G. (2009). Free and open source geographic information tools for landscape ecology. *Ecological Informatics*, 183–195.
- Stevens, V., Leboulenge, E., Wesselingh, R., & Baguette, M. (2006). Quantifying functional connectivity, experimental assessment of boundary permeability for the natterjack toad (*Bufo calamita*). *Oecologia*, 161–171.
- Taylor, P., Fahrig, L., & With, K. (2006). Landscape connectivity: a return to the basics. En K. Crooks, & M. Sanjayan, *Connectivity Conservation* (págs. 29–43). New York: Cambridge University Press .
- Terborgh, J., Lopez, L., Tello, J., Yu, D., & Bruni, A. (1997). Transitory states in relaxing ecosystems of land bridge islands. En W. Laurance, & R. Bierregaard, *Tropical Forest Remnants: Ecology, Management, and Conservation of Fragmented Communities* (págs. 256–274). Chicago: University of Chicago Press.
- Uuemaa, E., Mander, Ü., & Marja, R. (2013). Trends in the use of landscape spatial metrics as landscape indicators: A review. *Ecological Indicators*, 100–106.
- Vargas, O. (2010). Los pasos fundamentales para la restauración ecológica. *La restauración ecológica en la práctica: memorias del I congreso colombiano de restauración ecológica* (págs. 19-40). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Vargas, O. (2011). Restauración ecológica: Biodiversidad y conservación. *Acta biol.Colomb*, 221-246.

- Vila, J., Varga, D., Llausàs, A., & Ribas, R. (2006). Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la geografía. *Doc. Anàl. Geogr*, 151-166.
- Villagran, C. (1998). Etnobotánica indígena de los bosques de Chile: sistema de clasificación de un recurso múltiple. *Revista Chilena de Historia Natural*, 245-268.
- Vivian, H., Lima, G., & Santos, R. (2012). Forest conservation index and historical evolution in a coastal region: The São Sebastião Island, São Paulo, Brazil. *Bosque (Valdivia)*, 353-358.
- von May, R., Catenazzi, A., Angulo, A., Venegas, P., & Aguilar, C. (2012). Investigación y conservación de la biodiversidad en Perú: importancia del uso de técnicas modernas y procedimientos administrativos eficientes. *Rev. peru. biol*, 351 - 358.
- Wallerstein, I. (2008). Ecología y costes de producción capitalistas: No hay salida. *Revista Futuros*.
- World Comission On Environment And Development. (1987). *Our common future*. Oxford: Oxford University Press.

## ANEXO1. FOTOGRAFÍAS DE LAS PLANTAS DE PÁRAMO



Figura 6. *Espeletia summapacis* Fuente: Autor



Figura 7. *Berberis goudotii* Fuente: Autor



Figura 8. *Juncus effusus* Fuente: Autor



Figura 9. *Plantago rigida* Fuente: Autor



Figura 10. *Puya goudotiana* Fuente: Autor



Figura 11. *Archytophyllum nitidum* Fuente: Autor



Figura 12. *Calamagrostis effusa* Fuente: Autor



Figura 13. *Galium hypocarpium* Fuente: Autor



Figura 14. *Pentacalia ledifolia* Fuente: Autor

## ANEXO 2. FOTOGRAFÍAS DE LA ESPECIES DE BOSQUE MUY HÚMEDO MONTANO



Figura 15. *Bocconia frutescens*. Fuente: Autor



Figura 16. *Hawea fosteriana*. Fuente: Autor



Figura 17. *Cavendishia cordiflora*. Fuente: Autor



Figura 18. *Oreopanax floribundus*. Fuente: Autor



Figura 19. *Phytolacca bogotensis*. Fuente: Autor



Figura 20. *Macleania rupestris*. Fuente: Autor



Figura 21. *Lycopodium spp.* Fuente: Autor



Figura 22. *Chusquea scandens.* Fuente: Autor



Figura 23. *Weinmannia tomentosa*. Fuente: Autor



Figura 24. *Lobaria sp.* Fuente: Autor



Figura 25. *Tibouchina lepidota*. Fuente: Autor



Figura 26. *Ceroxylon quinduense*. Fuente: Autor



Figura 27. *Clusia multiflora*. Fuente: Autor

### ANEXO 3. FOTOGRAFÍAS DE LAS ESPECIES DE BOSQUE MUY HÚMEDO MONTANO BAJO



Figura 28. *Ipomoea purpurea*. Fuente: Autor



Figura 29. *Pittosporum undulatum*. Fuente: Autor



Figura 30. *Fucrea andina*. Fuente: Autor



Figura 31. *Brugmasia candida*. Fuente: Autor



Figura 32. *Xylosma sp.* Fuente: Autor



Figura 33. *Ricinus communis.* Fuente: Autor



Figura 34. *Cedrela montana*. Fuente: Autor



Figura 35. *Erythrina edulis*. Fuente: Autor



Figura 36. *Dahlia imperialis*. Fuente: Autor



Figura 37. *Ceroxylon alpinum*. Fuente: Autor



Figura 38. *Cecropia telenitida*. Fuente: Autor

## **ANEXO 4. VEGETACIÓN CARACTERÍSTICA DEL PISO TÉRMICO DE BOSQUE HÚMEDO PREMONTANO**



Fuente: Autor



