

**Evaluación de la Integridad Ecológica del Bioma de Páramo de la Reserva Forestal  
Protectora Bosque Oriental de Bogotá, Mediante el Análisis Espacial de los Valores  
Objeto de Conservación a Escala de Paisaje.**

Isaac Quesada Méndez

Especialización en Sistemas de Información Geográfica, Facultad de Ingeniería Ambiental y  
Civil, Universidad Antonio Nariño

Andrés Felipe Carvajal Vanegas

Enero 11, 2021

**Nota del autor**

Isaac Quesada Méndez, Especialización en Sistemas de Información Geográfica,  
Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil, Universidad Antonio Nariño.

La correspondencia relacionada con esta investigación debe ser dirigida a Isaac  
Quesada Méndez Especialización en Sistemas de Información Geográfica, Facultad de  
Ingeniería Ambiental y Civil, Universidad Antonio Nariño, al correo [lquesada00@uan.edu.co](mailto:lquesada00@uan.edu.co)

**Tabla de contenido**

1	Resumen.....	6
2	Abstract.....	7
3	Introducción.....	8
1.	Marco Teórico y Estado del Conocimiento.....	10
1.1	Integridad Ecológica.....	10
1.2	Evaluación de la Integridad Ecológica.....	10
1.2.1	Identificación de Objetos de Conservación Relevantes para la Evaluación.....	10
1.2.1.1	<i>Criterios Principales</i> .....	13
1.2.1.2	<i>Criterios secundarios</i> .....	13
1.2.2	Definición de Atributos Ecológicos Clave.....	13
1.2.3	Unidades espaciales para el análisis de integridad ecológica.....	15
1.2.3.1	Cobertura.....	16
1.2.3.2	Unidad de paisaje.....	16
1.2.3.3	Ecosistema.....	18
1.3	Integridad y Paisaje.....	18
1.3.1	La estructura del paisaje e Integridad espacial.....	19
1.3.2	La Integridad Ecológica del Paisaje.....	20
1.4	Avances del estudio de la integridad ecológica en áreas protegidas.....	22
2	Objetivos.....	29
2.1	Objetivo General.....	29

INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ	3
2.2 Objetivos Específicos.....	29
3 Metodología .....	30
3.1 Área de Estudio .....	30
3.2 Preparación de Información Temática (Unidades De Análisis).....	32
3.3 Atributos ecológicos e indicadores evaluados.....	33
3.3.1 Indicadores.....	34
3.3.1.1 Indicadores de Composición.....	34
3.3.1.2 Indicadores de Composición y Estructura .....	35
3.3.1.3 Indicadores de Función.....	41
3.4 Estimación de Índices .....	45
3.5 Criterios para la Interpretación .....	53
3.5.1 Calificación de estado.....	53
3.5.2 Valoración numérica a cada valor objeto de conservación.....	56
3.5.3 Calificación de integridad .....	57
4 Resultados y discusión.....	58
5 Conclusiones.....	68
Referencias .....	70

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

**Lista de Tablas**

Tabla 1 Atributos Ecológicos e Indicadores Empelados para el Análisis de Integrada Ecológica de del Bioma de Páramo de la RFPBOB.....	34
Tabla 2 Código del nivel y nomenclatura de clasificación de coberturas de la tierra (Corine Land Cover) definidas para el bioma de páramo de la RFPBOB.....	46
Tabla 3 Incorporación manual de codificación presencia - ausencia (1 y 0) y porcentaje de las unidades espaciales.....	52
Tabla 4 Valoración y Descripción Propuesta para Indicadores (Ciontescu et al., 2014). ....	53
Tabla 5 Criterios de Direccionalidad para la Interpretación de Índices Seleccionados para la Evaluación de Integralidad Ecológica del Bioma de Paramo en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá,(Ciontescu et al., 2014).....	54
Tabla 6 Calificación del Estado Según los Valores Asignados a Cada Indicador (Zambrano et al., 2007).....	56
Tabla 7 Propuesta de Calificación de integridad ecológica según escala numérica propuesta por Herrera y Corrales (2005). ....	57
Tabla 8 Resultados de los Índices de Cada Atributo Atributos Ecológicos Obtenido para las Cobertura de la Tierra del Año 2010. ....	60
Tabla 9 Resultados de los Índices de Cada Atributo Atributos Ecológicos Obtenido para las Cobertura de la Tierra del Año 2015. ....	61
Tabla 10 Calificación del Valor Promedio de Cada Valor Objeto de Conservación del Bioma de Páramo de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá. ....	62
Tabla 11 Resultado de la Evaluación de la Integridad Ecología del Bioma de Páramo de la Reserva Forestal Protectora Bosque Orienta de Bogotá.....	65

**Lista de Figuras**

Figura 1 Niveles de biodiversidad contemplados para un análisis de integridad ecológica. ....	12
Figura 2 Factores formadores del paisaje. ....	17
Figura 3. Localización del área bioma de páramo dentro de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá. ....	32
Figura 4. Ventana de ingreso de información de las coberturas de la tierra en el software FRAGSTATS. ....	47
Figura 5. Ventana de selección de índices del componente Area/Density/Edge del menú de métricas del software FRAGSTATS. ....	48
Figura 6. Ventana de selección de índices del componente core area del menú de métricas del software FRAGSTATS. ....	49
Figura 7. Ventana de selección de índices del componente Isolation/Proximity del menú de métricas del software FRAGSTATS. ....	50
Figura 8. Ventana de selección de índices del componente Connectivity del menú de métricas del software FRAGSTATS. ....	51
Figura 9. Ventana de resultados obtenidos con el uso de la herramienta Spatial Análisis- Zonal- Zonal statistics a table del software ArcGis. ....	51

## 1 Resumen

Se realizó la evaluación de la integridad ecológica del bioma de páramo de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá, mediante el cálculo indicadores de métricas del paisaje para los atributos ecológicos de heterogeneidad, configuración espacial y continuidad, usando como unidades de análisis y valor objeto de conservación de filtro grueso las coberturas vegetales naturales, establecida para los años 2010 y 2015. Se logro establece que el bioma de paramo se encuentra en estado deseable, pero se requiere mejora de los esquemas de manejo para evitar que algunos objetos de conservación se mantengan en alto riesgo, en específico, el herbazal denso de tierra firme no arbolado, bosque de galería y ripario, arbustal abierto y arbustal denso alto.

***Palabras claves: Cobertura, Atributo ecológico, Páramo, Reserva forestal, ripario, Arbustal.***

## 2 Abstract

The evaluation of the ecological integrity from the páramo biome of the forest reserve protection Bosque Oriental de Bogotá was carried out, by calculating indicators of landscape metrics for the ecological attribution of the heterogeneity, spatial configuration and continuity, used as units for analysis and object value coarse filter conservation of natural plant covers, established for the years 2010 and 2015. It was established that the paramo biome is in a desirable state, but improvement of the management schemes is required to prevent some conservation objects from being maintained at high risk, specifically the dense grass of firm land notwooded, gallery and riparian forest and open shrubland and high dense shrubland.

***Key words: Coverage, Ecological Attribute, Páramo, Forest Reserve, Riparian,***

***Shrubland***

### 3 Introducción

El manejo de áreas protegidas ha comenzado a incluir análisis para evaluar los avances de su misión de conservación. El análisis de efectividad pregunta sobre sus logros y el de eficiencia indaga en los procesos para lograr estos objetivos, esto requiere información en diferentes escalas temporales y espaciales. En el corto plazo, es necesario obtener información sobre la gestión operativa y gobernanza; en el mediano plazo, la eficacia de la planificación estratégica y el potencial de gestión y a largo plazo se determinan las condiciones y nivel de alteración de los valores objeto de conservación en los cuales se fundamentó la razón y objetivo de la figura de conservación (Medina et al., 2005).

En los últimos años han aumentado diferentes definiciones de integridad ecológica, en general, señalan consistentemente que un ecosistema sano es estable, sostenible y activo, conservando en el tiempo su organización, autonomía y la capacidad de recuperarse la ser perturbado, en cuanto a los flujos de intercambio de materia, energía y componentes biológicos con otros ecosistemas (Zambrano et al., 2007).

la integridad ecológica es considerada entonces un sinónimo de la "salud" de un ecosistema, refiriéndose a su capacidad de carga, o a su potencial para proveer servicios (Rapport et al., 1998). Sumado a lo anterior, Parrish et al., (2003) señaló que cuando las principales características ecológicas de composición, estructura, función, proceso ecológico de un ecosistema ocurren dentro de los niveles de variación naturales, y este pueden resistir y recuperarse a la mayoría de las perturbaciones ambientales de origen natural o antrópico, se puede afirmar que un sistema ecológico mantiene su integridad, en este sentido la evaluación

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

en el largo plazo de las medidas de manejo de un área protegida, busca establecer como estas han influido en la integridad ecológica.

Partiendo que las áreas protegidas de Colombia por ley deben contar con instrumentos de planificación para la conservación, la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá-RFPBOB, ha dispuesto con un plan de manejo adoptado y actualizado mediante las resoluciones CAR No 1141 de 2006 y Minambiente No 1766 de 2016, respectivamente. El decreto 2372 de 2010 estableció que estos instrumentos de gestión de la conservación deberán formularse para periodos de 5 años, de manera que se evidencien resultados frente al logro de los objetivos de conservación, en este sentido, la resolución 1766 de 2016 estableció la responsabilidad de la autoridad ambiental competente en el seguimiento a la reserva, incluyendo análisis que contemple las variaciones temporales de las coberturas vegetales.

Por las motivaciones expuestas, se identificó la necesidad de aplicar una metodología que permitiera evaluar el estado de los objeto de conservación, como parte de monitoreo del objetivo de preservación y como instrumento de medida de los resultados en la gestión del de la RFPBOB, siendo abordado en este estudio, mediante la implementación de herramientas para el análisis de integridad ecológica propuesta por Zambrano et al., (2007), con el uso de las coberturas vegetales de bioma de páramo como valores objeto de conservación de filtro grueso de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá.

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

### 1. Marco Teórico y Estado del Conocimiento

#### 1.1 Integridad Ecológica

Según (Zambrano et al., 2007), cuando un ecosistema tiene sus componentes originales intactos, que incluyen tanto la biodiversidad (composición, estructura y Función), los abióticos (elementos físicos, como agua y rocas) y los procesos de función del ecosistema (depredación, parasitismo, simbiosis, fuego, inundación, etc.), se considera que este tiene integridad. En anterior definición el término "originales intactos" permite la evaluación de los atributos producidos por las dinámicas naturales, así como por procesos de transformación de baja intensidad provocados por el hombre. Los cambios en los atributos corresponden al grado "naturalidad" del ecosistema y están relacionados con referencias históricas que posean de estos (Noss 1990), por lo que el estado actual del ecosistema y el paisaje se interpreta como la expresión acumulativa de diferentes actividades humanas (Gardner et al., 1987).

#### 1.2 Evaluación de la Integridad Ecológica

La evaluación de integridad ecológica se enmarca en el proceso de planeación del manejo de un área y define los pasos para construir y asumir su gestión, este proceso responde a un modelo basado en el esquema estado-presión-respuesta. Muchas propuestas han sido construidas a partir del método de Parrish et al. (2003), modificado según las necesidades y con los aportes de un conjunto de investigadores (Zambrano et al., 2007). A continuación, se presentan conceptos esenciales utilizados para realizar este tipo de análisis en un área protegida.

##### **1.2.1 Identificación de Objetos de Conservación Relevantes para la Evaluación**

Andrade y Corzo (2011) exponen que la declaración de áreas protegidas es una de las formas de garantizar la estructura y función de los sistemas ecológicos prevalentes en una región,

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

siempre y cuando estas sentencias sean producto de procesos sólidos de priorización. Este modelo realiza una abstracción de la biodiversidad con el uso del concepto de objetos de conservación para la selección de áreas prioritarias para la conservación.

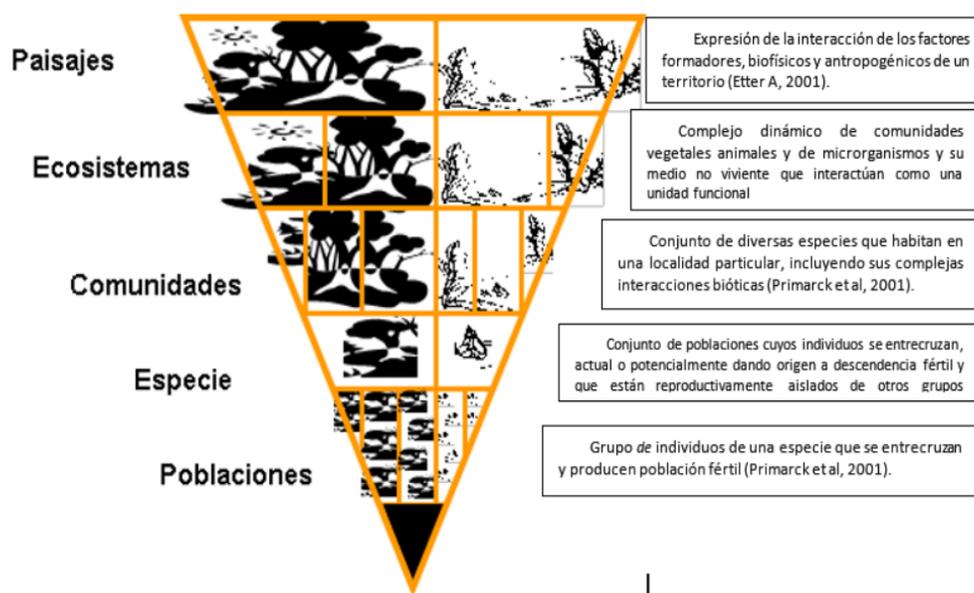
Se define al objeto de conservación como un atributo biótico utilizado para obtener información concerniente a la biodiversidad, sin dar lugar a su directa medición, permitiendo simplificar la complejidad de los sistemas biológicos en elementos que posibilitan la toman las decisiones para su manejo y monitoreo (Andrade y Corzo, 2011). Los objeto de conservación, también referenciados en la literatura como valores objeto de conservación son el eje fundamental y pilar de la planeación del manejo de un área protegida, debido a que estos repercuten en la proyección de las metas y acciones que contribuirán a asegurar su integridad, igualmente son referentes que permiten determinar el estado, presiones, amenazas, además de las estrategias a implementar para el manejo integral del área, que conlleve a la consecución de los objetivos de la figura de protección (Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales, 2011)

Andrade y Corzo (2011) refieren como se ha adoptado el enfoque del uso de valores objeto de conservación de filtro grueso y de filtro fino, concerniendo los primeros a altos niveles de diversidad biológica y con la finalidad de conservar comunidades, paisajes y sistemas ecológicos (Biomás), los cuales representa la biodiversidad del área en cuanto a riqueza, cantidad y extensión; de otra parte los niveles más bajos como especies, poblaciones, metapoblaciones o elementos de biodiversidad del área protegida con atributos ecológicos únicos, como el peligro crítico de extinción de algunas especies o endemismo, son considerados a nivel del filtro fino.

Según Parrish et al., (2003) para seleccionar los valores objeto de conservación más relevantes para la evaluación de integridad ecológica, primero se debe seleccionar sistemas o

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

comunidades ecológicas como objetos de conservación y además de ello identificar especies individuales con características ecológicas que no estén representadas en las comunidades o sistemas ecológicos antes escogidos. Concluyendo la importancia de incluir en el análisis de integridad ecológica elementos de biodiversidad en cada uno de sus niveles: paisajes, ecosistemas, comunidades y poblaciones (Figura 1).



*Figura 1.* Niveles de biodiversidad contemplados para un análisis de integridad ecológica (Zambrano et al., 2007).

Herrera y Corrales (2004) establecieron que resulta deseable utilizar valores objeto de conservación de un nivel superior, pues se asume que su estado de conservación refleja de alguna medida la integridad en niveles inferiores, estos autores resumen los criterios más relevantes para la definición y el análisis de integridad de la siguiente forma.

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

### **1.2.1.1 Criterios Principales.**

A partir del grupo de valores objeto de conservación determinados en el plan de manejo se definen los que mejor represente la biodiversidad del área, en lo consenciente a cantidad, extensión y riqueza (filtro grueso), en general, estos valores están asociados a los niveles jerárquicos de comunidad o ecosistema. Además, se puede incorporar elementos de rasgos ecológicos únicos, que no están representados en los establecido en el punto anterior, generalmente estos objetos de conservación competen a una categoría de especie (filtro fino).

### **1.2.1.2 Criterios secundarios**

Seleccionar valores objeto de conservación, tomando como base información de cualquier forma de saber tradicional, como la mitología, los usos recreativos y productivos que sea importante para los actores sociales directamente relacionados con el área protegida, también puede en algunos casos incluirse categorías de riesgo de extinción tanto de ecosistemas o especies determinadas a partir ejercicios regionales o locales.

### **1.2.2 Definición de Atributos Ecológicos Clave**

Dentro de los atributos básicos que pueden ser usados para evaluar de estado de conservación regional, se determinan los atributos más críticos para su funcionalidad y permanencia temporal y espacial. Frecuentemente, esta información es limitada, por lo que es necesario trabajar con cierto grado de incertidumbre hasta que se establezca un diagnostico más fiable.

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

Algunos autores como Parrish et al., (2003) y Herrera y Corrales (2004) concuerdan en organizar en de cuatro grupos los atributos ecológicos claves para la evaluación de estado de conservación de un área protegida, siendo estos:

**Composición y estructura biológica:** Se refiere a gremios tróficos, especies, así como a las asociaciones entre especies, entendiendo que cada nivel de una organización cambiará con el tiempo, y en última instancia determinará su funcionamiento, así como la integridad del sistema biológico

**Regímenes ambientales y disturbios naturales:** Hace referencia a las variaciones naturales de factores químicos y físicos, que establecen el clima y eventos geológicos, los cuales son frecuentemente causales de cambios espaciales y temporales de los valores objeto de conservación.

**Interacciones bióticas:** Relacionada a la biodinámica que pueden determinar la prevalencia en tiempo y espacio de un objeto de conservación, como ejemplo de esto podemos enunciar la reproducción, flujos de energía y competencia.

**Conectividad:** Hace referencia a la oportunidad preserva las asociaciones ecológicas entre los sistemas biológicos y otros sistemas, y el flujo de recursos para permitir sus ciclos ecológicos.

Según Ciontescu et al., (2014) a nivel de ecosistemas o paisajes el establecer atributos genéricos debe ser visto como una pauta de las características más factibles de evaluar en un área geográfica seleccionada, sin que estos signifiquen poder considerar otros atributos en la evaluación de estado del área protegida. Este autor propone y define a nivel de ecosistemas y paisajes los siguientes atributos genéricos:

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

- **Heterogeneidad:** Complejidad de los arreglos espaciales en términos de su riqueza y dominancia.
- **Configuración espacial:** Forma como se disponen en un área las unidades espaciales de análisis.
- **Continuidad:** Las conexiones físicas existentes entre unidades espaciales similares o complementarias.

### ***1.2.3 Unidades espaciales para el análisis de integridad ecológica.***

En el proceso de la evaluación de la integridad ecológica de un área, la definición de las unidades de análisis es el punto de partida y tal vez el aspecto más relevante, siendo necesario definir estas de manera apropiada con el fin de recoger y sintetizar todos los aspectos del territorio, así los análisis posteriores poseerán una mayor veracidad al igual que una representación más próxima de la biodiversidad del área. El conjunto de unidades espaciales de un sistema ecológico posee una dependencia recíproca de las distintas relaciones de intercambio de materia y energía generadas, en tal sentido, la selección de unidades para elaborar el análisis de integridad, depende el nivel de incorporación de diferentes atributos de la biodiversidad (Ciontescu et al., 2014).

En concordancia con lo anterior Zambrano et al., (2007), propuso interpretar bajo diferentes criterios y características de la biodiversidad las distintas unidades espaciales del territorio, a fin de elaborar un variado número de análisis del paisaje. Sin embargo, frecuentemente no se cuenta con insumos adecuados para producir la información deseada, sumado a que los contextos geográficos requerirían distintas unidades de análisis y particulares para muchos casos. A continuación, se presenta de manera breve una definición de las unidades de análisis espacial

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

utilizadas con mayor frecuencia, así como las implicaciones de las mismas al ser incluidas en el análisis de integridad ecológica.

### **1.2.3.1 Cobertura.**

Al mencionar como unidad de análisis del territorio el termino cobertura, normalmente se da por entendido que se refiere a la cubierta vegetal, entendida como las unidades estructurales y funcionales, resultado de la correlación espacio - temporal de elementos biológicos vegetales característicos. Sin embargo, se hace necesario interpretar la cobertura como cualquier área que cubre el territorio, independientemente de su origen antrópico o natural, y por lo cual, en su definición y delimitación se deben incluir criterios fisionómicos de altura y densidad claramente específicos y diferenciados para cada una. Lo anterior implica que los estudios espaciales del territorio se fundamentan en el estado, tomando como base las particularidades del cubrimiento de la tierra y omitiendo los demás aspectos propios de cada región (Etter , 1994)

Dentro de los alcances que se deben tener claros al usar coberturas de la tierra como unidad de análisis del territorio, es la de entender que ejercicios se hacen con unidades generalistas y no particulares, ya que solo se involucran aspectos fisionómicos de la vegetación, omitiendo ciertos caracteres locales como la geomorfología, fauna, clima y demás factores formadores, lo anterior debido a que las coberturas encontradas, se delimitan y clasifican en un sistema común, a fin de permitir efectuar análisis comparativos a escalas nacionales o regionales (Ciontescu et al., 2014).

### **1.2.3.2 Unidad de paisaje.**

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

Autores como Herrera y Corrales, (2004) y Zambrano et al., (2007) coinciden en que la unidad de paisaje desde un enfoque de la ecología, puede ser definida como una fracción homogénea del espacio geográfico en cuanto composición y fisionomía, así como con un patrón de estabilidad temporal, y la cual a una resolución (nivel de análisis espacio- temporal) es diferenciable y reconocible de otras colindantes, producto de las complejas interacciones entre rocas, suelo, agua, clima, flora y la actividad humana.

Acogiendo lo anterior, se posee de una unidad de análisis que sintetiza el territorio, representando en cada una los diferentes flujos ecológicos y factores formadores del paisaje, y los cual se ven expresado en la geoforma y cobertura (figura 2), por lo que cabe pensar en ellas como unidades bastante útiles para la evaluación de integridad, al sintetizar aspectos de vegetación y relieve (Zonneveld y Forman, 1990)

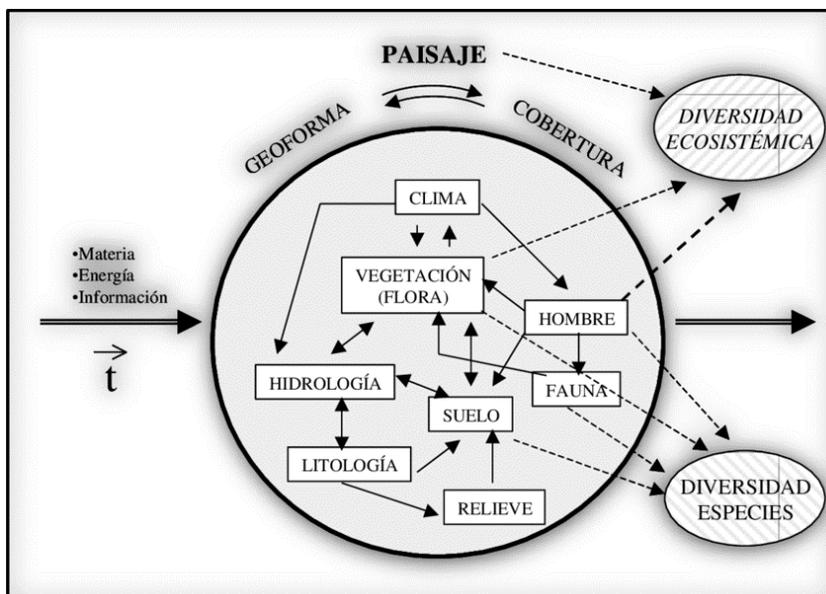


Figura 2. Factores formadores del paisaje (Zonneveld y Forman, 1990).

### **1.2.3.3 Ecosistema.**

Ciontescu et al., (2014) reseña que un ecosistema puede ser descrito como una fracción de la ecósfera convencionalmente delimitada, que se considera como un todo organizado en el tiempo y espacio, en el cual simultáneamente diferente tipo de procesos ocurren de que involucran los distintos componentes, sin importar si son organismos vivos o materiales inertes y que interactúan entre sí, sin embargo, al incluir a la especie humana como sociedad se alcanza un conjunto que comprende dentro de la misma concepción de ecosistemas los fenómenos que conectan las ciencias de la naturaleza y del hombre.

Sustentados en la anterior definición, podemos entender como ecosistema a las unidades espaciales que sintetizan el territorio tanto en aspectos de la biodiversidad, así como lo consiente a características de intervención humana, por consiguiente al considerar que las variables que se pueden llegar a tener en cuenta son características de cada región y hacen bastante particulares cada tipo de ecosistema, es posible realizar análisis de integridad ecológica muy completos, pero bastante específico de cada área de estudio.

## **1.3 Integridad y Paisaje**

Autores como Ciontescu et al., 2014; Zambrano, 2007; Medina, 2005, resaltan las bondades del paisaje como medio para estimar la integridad de los ecosistemas. En este planteamiento prepondera la visión de paisaje con territorio, esto es un espacio físico, objeto de planificación, con un conjunto de contenidos naturales y artificiales y en el que pueden encontrarse distintos tipos de ecosistemas (Forman, 1995). En la misma línea, Fleming et al., (1995), indican que ha habido un creciente reconocimiento de la necesidad de entender las poblaciones de seres vivos

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

en el contexto de los paisajes que ellas ocupan, ya que en el enfoque tradicional de la teoría ecosistémica, carece de consideraciones espaciales explícitas, sería así inadecuado para responder a cuestiones relativas a la persistencia de las poblaciones, señalando:

- i) La distribución espacial de los recursos (alimento, refugio, etc.), es importante, debido al gasto energético que conlleva su explotación.
- ii) El período de ocurrencia de los recursos tiene asimismo un aspecto espacial; su disponibilidad en el territorio cambia según épocas.
- iii) otros factores tales como la presencia de depredadores o la ausencia de alimento podrían limitar las áreas del “paisaje” -territorio que una población puede usar.

De acuerdo con lo anterior Ciontescu et al., 2014 establece que un requisito para la integridad de los ecosistemas es la existencia de un mosaico funcional en el paisaje. Tal mosaico aseguraría por ejemplo que las especies individuales puedan llevar a cabo su ciclo de vida pese a las fluctuaciones periódicas en el ambiente. El paisaje sería, por tanto, el ámbito donde se despliegan los procesos ecológicos y con ellos la diversidad correspondiente, que hacen posible la integridad de los ecosistemas específicos (fragmentos concretos) que lo componen.

### **1.3.1 La estructura del paisaje e Integridad espacial.**

En el contexto de la ecología del paisaje, Restrepo y Gomez (2008) define que la estructura espacial está referida al patrón de coberturas existente en el territorio. Las coberturas proceden de manchas que, según su aspecto, son apreciadas mediante mapas, foto área, teledetección, etc., son asignadas a distintas categorías, algunas de las cuales corresponden a tipos de ecosistemas o hábitats, más o menos humanizados, otros son infraestructuras o artefactos dispuestos en el territorio. El resultado es una visión del paisaje formado por manchas que se

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

expresan y despliegan dando lugar a mosaicos, así como estructuras lineales de conexión (pasillos o corredores) que crean redes, todo ello en una matriz básica de fondo.

Los estudios de este tipo tratan de entender el significado del mosaico que puede distinguirse con una escala de percepción de poco detalle y descubrir su patrón organizativo. Este patrón, es estimable mediante distintos índices sintéticos, se considera un reflejo o indicador de la trama de relaciones subyacente. Para ello se analizan las relaciones espaciales entre los tipos de manchas, la disposición de los fragmentos que pertenecen a cada tipo y los corredores que los conectan. El análisis de la estructura se orienta a determinar la calidad o nivel de conservación de los distintos hábitats existentes, en función de su conectividad o fragmentación (Fahrig, 1994).

Para la integridad espacial se considera relevante la presencia de un patrón de coberturas o fragmentos y corredores de distinto tipos de ecosistemas, favorable al mantenimiento de flujos de transferencia y procesos esenciales, físicos y biológicos. Los efectos del patrón de paisaje sobre la riqueza de especies y disponibilidad de hábitats han sido bastante explorados en la literatura (Forman, 1995; Steiner y Köhler, 2003). Previamente a la cuantificación de la estructura espacial, es necesario establecer la tipología de los fragmentos y emplear diferentes métricas para apreciar su distribución, tamaño y forma. (McGarigal y Marks, 1995; Forman, 1995), los valores así obtenidos son indicadores de la composición del paisaje y de la fragmentación (reducción y aislamiento) de los distintos hábitats o ecosistemas que lo componen.

### **1.3.2 La Integridad Ecológica del Paisaje**

La pertinencia de la escala de paisaje en el manejo de la integridad ecológica queda sustentada en Westra, (1995), quien propone tres versiones distintas e interdependientes de integridad: la integridad ecosistémica referida a espacios poco o casi nada intervenidos, llamados

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

a constituir áreas centrales o “core”, para la protección de hábitats; la integridad en términos de “salud ecosistémica”, en áreas con intervención humana, que constituirían zonas de amortiguación de las anteriores y, por último, “integridad cultural” en los espacios del desarrollo económico, social y cultural. De esta forma, aunque en estos dos últimos tipos de áreas prevalecen intereses antrópicos y no se propician procesos de sucesión natural, las actividades que en ellos se desarrollan no deberían afectar negativamente a los procesos en las zonas centrales de la integridad ecosistémica, sino, por el contrario, ser compatibles con ellos y aumentar el capital ecocultural del conjunto.

De lo anterior se deduce, en primer lugar, que el paisaje es un nivel apropiado para analizar los ecosistemas humanizados, pues permite incluir aspectos culturales, infraestructuras y la influencia de la historia. En segundo, que el concepto de integridad ecológica no puede limitarse a los ecosistemas no alterados, ni sólo a los naturales sometidos a explotación reciente, sino buscar métodos para abordar la extensa problemática de los ecosistemas derivados de una modificación antigua por parte de la población humana, siendo el paisaje la escala más adecuada para ello (Restrepo y Gomez, 2008),

Según lo propuesto por Andreasen et al., (2001), las métricas o indicadores más empleados en la estimación de características de naturalidad pueden sintetizarse en tres grupos, a saber, las métricas composicionales, estructurales y funcionales.

Las métricas composicionales se centran en la biota, especies o grupos funcionales con capacidad descriptiva para el ecosistema considerado. Las métricas estructurales describen la fragmentación de hábitat y Las métricas funcionales que se relacionan con el mantenimiento de procesos básicos tales como la producción, herbivorismo, predación, descomposición, perturbaciones características, sucesión, entre otros.

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

Recogiendo las anteriores ideas Restrepo y Gomez (2008), plantea como apropiado considerar que cada grupo de métricas sugiere una dimensión de la integridad. Así, las estructurales establecen una dimensión espacial relacionada con la disposición del paisaje, a su vez, las características composicionales y funcionales permiten apreciar la dimensión ecosistémica de la integridad.

Este marco analítico permite relacionar al tiempo una aproximación físico y espacial de fragmentos o manchas, con una perspectiva ecológico funcional; la escala de paisaje o con la de ecosistema y por último valorar el ajuste o idoneidad de la intervención antrópica incluyendo los usos como parte esencial del paisaje. Mantener la consideración conjunta de los tres aspectos implica admitir que la integridad ecológica a la escala del paisaje no puede desprenderse de la funcionalidad de los ecosistemas que lo componen y reducirse a una estimación de la estructura espacial, con independencia de la calidad de los contenidos, implica de hecho reconocer que no siempre en la planificación territorial, la calidad de la función puede deducirse de la estructura (patrón) y especialmente en sistemas dinámicos con procesos de histéresis (Gómez, 1997)

### **1.4 Avances del estudio de la integridad ecológica en áreas protegidas**

Según Ervin (2003) los estudios sobre integridad ecológica en las áreas protegidas envuelven una gran diversidad de enfoques, escalas y métodos, este autor referencia los estudios más relevantes agrupándolos de la siguiente manera:

Estudios que emplean la magnitud de las amenazas que enfrentan las áreas protegidas (Brandon et al., 1998; Singh 1999; Rao et al., 2002; Ervin 2003; Goodman 2003; WWF2004),

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

Investigaciones basadas en el estado de conservación, estimado por la variación de la destinación del uso del suelo y la vegetación (Sánchez et al. 1999 y Liu et al., 2001).

Investigaciones que usan la viabilidad y permanencia de ciertas especies (Woodroffe y Ginsberg 1998; Laidlaw 2000; Caro 2001; Fabricious et al., 2003; Parrish et al., 2003; Bhagwat et al., 2005),

Estudios que se basan en los procesos y funciones ecológicas (Parrish et al., 2003) y la estabilidad del ecosistema (Friedman y Zube 1992).

Este autor realza el empleo de procesos de cambios en el uso del suelo y la vegetación como indicadores, ofrece información de una fracción del conjunto de cambios que sufre un ecosistema y que inciden en la integridad ecológica, esta afirmación la basa en el hecho de que estas transformaciones son uno de los factores principales de los procesos de deterioro, por ejemplo la pérdida de hábitat y por lo tanto de biodiversidad (Dale et al., 1994; Lidlaw 2000; Sala et al., 2000; Kinnard et al., 2003; Sánchez et al., 2005), procesos de degradación del suelo (Riezebos y Loerts, 1998; Islam y Weil, 2000), el cambio climático global (Houghton et al., 1999), así como el menoscabo de los servicios ecosistémicos (Vitousek et al., 1997).

Por último, es necesario mencionar el planteamiento de Turner y Corlett (1996) quien expone que no todo proceso de cambios en el uso del suelo y la vegetación se traduce en un detrimento de la integridad ecológica, sin embargo, aquellos de gran magnitud pueden causar modificaciones de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas.

En lo que respecta a las áreas protegidas Herrera y Corrales (2004) con el auspicio de Programa Ambiental Regional para Centroamérica (PROARCA) publica el manual para la

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

evaluación y monitores de la integridad ecológica en áreas protegidas, en el cual presentan los pasos metodológicos necesarios para evaluar la integridad ecológica de las áreas protegidas. Esta propuesta se basa en la adaptación de los planteamientos realizados por Parrish et al., (2003) quien propuso realizar la evaluación basada en cuatro componentes centrales, a los cuales en este manual se adiciona uno, se describe a continuación de manera global pasos propuestos:

la identificación de objetos de conservación: Para las áreas protegidas, en principio estos deben tomarse directamente de la ley de creación de esta, o los señalados en el Plan de Manejo del Área. Especies individuales o condiciones particulares que sostienen la supervivencia de esta, pueden ser definidas como objetos de conservación, sin embargo conservar condiciones que sostienen reducido número de especies nativas, no asegura obligatoriamente las condiciones para la sobrevivencia en el largo plazo de todas las especies presentes en el área o comunidades. Por tal razón se recomienda la selección de comunidades ecológicas o sistemas como objetos de conservación

Determinar los atributos ecológicos clave: los atributos constituyen la composición, estructura, interacción entre factores biológicos o no biológicos, que hacen que el objetivo de conservación se preserve, porque afectarán su tamaño, condición y el contexto paisajístico donde se sitúa, proporcionando una base para evaluar las presiones como el deterioro funcional o degradación, que socavan el objetivo de conservación

Identificación de indicadores: Para efectos de esta metodología, el indicador hace referencia a la entidad cuantificable que se utiliza para evaluar el estatus y tendencia del o de los atributos ecológicos clave. Deben cumplir con las siguientes cualidades para que puedan usarse con el propósito de evaluar la integridad ecológica, ser relevantes desde un punto de vista biológico,

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

sensibles a la presión provocada por el hombre y, al mismo tiempo, reflejen cambios en el mismo, sin que dichos cambios sean excesivos, puedan ser cuantificables y contar con una relación costo-efectividad baja, Es decir, su costo de medición es muy bajo, por lo que brinda la mayor cantidad de información con un mínimo esfuerzo para la recolección.

Identificación del rango aceptable de variación de indicadores: Hace referencia a la necesidad de determinar del cambio de tiempo del índice, primero en ambientes sin perturbación, donde se asume que esta no es aleatoria y se limita a un rango específico considerado como natural, consistente con la persistencia en el largo plazo de cada objeto de conservación, o en cambio fuera de los rangos naturales a causas de la influencia antrópica.

La evaluación del estado actual: Este paso incluye reunir y analizar los datos relevantes para el monitoreo de cada indicador y utilizando los resultados de este análisis para determinar la categoría apropiada para cada indicador.

Finalmente, Para generar una estimación de la integridad ecológica del área protegida, se plantea realizar la estimación un valor único basado en el promedio simple de los valores correspondientes a cada objeto de conservación y se emite el respectivo criterio, bajo el análisis de un indicador con una escala nominal de 1 a 5. De ser requerido mayor detalle, se recomienda consultar directamente la referenciada publicación.

En Colombia las primeras aproximaciones conceptuales y metodológica para la evaluación de la integridad ecológica de las área protegidas fue desarrollado por la Unidad de Parques Nacionales Naturales de Colombia en el documento "*Hacia el análisis de integridad ecológicas de los Parques Nacionales Naturales de Colombia*" (Montenegro, 2005), este texto enfatiza en la identificación de indicadores institucionales para definir el estado de los valores objetos de

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

conservación a escala de paisaje y ecosistema, sintetizando los índices en seis grupos, a saber:

- índice de composición, proponiendo como instrumento de medida lista de especies y comunidades con abundancia de información.
- índice de heterogeneidad, en donde propone como instrumentos de medida índices de diversidad, riqueza y equidad, según lo propuesto por Bermudez (2005) y Montenegro (2005).
- índices de conectividad, proponiendo como instrumento de medida los análisis de zonificación ecológica o índices de migración y dispersión de los valores objeto de conservación, según lo propuesto por Bermudez (2005).
- índices de representatividad, en donde propone como instrumentos de medida el cálculo los porcentajes de cobertura que conforma el área protegida según los estudios realizados por Corzo (2004).
- índices de funcionalidad, donde propone como instrumentos de medida métricas de relaciones área-perímetro, según los estudios realizados por Corzo (2004), así como el número de fragmentos del paisaje y coeficiente de variación de tamaño de los fragmentos según lo propuesto por Bermudez, (2005).
- Índices de biomasa, proponiendo como instrumento de medida el Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

Por último, establece un nivel de valoración de los índices y evaluación de los valores objeto de conservación como indicadores de integridad ecológica del área protegida.

Posteriormente Zambrano et al., (2007) publica el documento titulado “*Evaluación de integridad ecológicas – Propuesta metodológica*”, en donde establece criterios para la definición los valores objeto de conservación (VOC) relevantes para el análisis de la integridad ecológica en un área protegida, y los cuales son separados por su nivel de representatividad de la biodiversidad (filtro grueso) o por sus características ecológicas únicas (filtro fino).

Seguidamente determina una serie de atributos genéricos para cada uno de los VOC, en donde a nivel de filtro grueso lista atributos a nivel de paisaje y ecosistema y para filtro fino a nivel de poblaciones, a su vez establece una serie de indicadores recomendados para el análisis de integridad ecológica, haciendo especial referencia a los aplicables en los Parques Nacionales Naturales de Colombia. Finalmente especifica el proceso metodológico para la valoración de un estado deseable o no deseable de cada objeto de conservación, basados en la comparación de los valores de los indicadores obtenidos con una línea de referencia, así como la evaluación de la integridad ecológica por medio de descriptor cuantitativo establecidos por Herrera y Corrales (2005), basándose en el promedio simple de los indicadores analizados, siguiendo una adaptación de la propuesta realizada por Parrish et al., (2003).

En cuanto a estudios específicos en Colombia en se resalta el realizado por Giraldo et al., (2014), quien presentó el ejercicio de la valoración de la integridad del paraqué nacional natural Isla Gorgona con el uso de indicadores de composición, el cual se basó en análisis de los valores objeto de conservación de selva húmeda tropical, ecosistema dulceacuícola, ecosistema de arrecife coralino, litorales rocosos y ecosistema pelágico, siguiendo la propuesta por Zambrano

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

et al., (2007). Reportando un estado deseable, haciendo el llamado de la necesidad de mejorar los esquemas de manejo sobre el VOC Selva Lluviosa Tropical.

De otro lado Falla et al., (2014) realizó el análisis de integridad ecológica el Parque Nacional Natural El Tuparro, encontrando en un estado deseable el valor objeto de conservación el bioma de sabana seca, este estudio uso como unidad de análisis las coberturas naturales a escala 1:100.000, siguiendo la clasificación de la tierra de Corine Land Cover. Los resultados evidenciaron la necesidad de ajustar las medidas de manejo implementadas para la restauración y conservación los herbazales abiertos arenosos, los bosques densos altos inundables y herbazales densos de tierra firme e inundables, que son claves para mantener un buen estado de conservación y funcionalidad del Parque.

En lo que respecta a estudio de integridad ecológica en paramos en Colombia resalta el trabajo realizado Avella et al., (2015), en donde efectuó la evaluación del estado de atributos ecológicos claves de estructura, basadas en coberturas vegetales y atributos de composición con análisis de riqueza y diversidad de especies representativas del páramo y bosque altoandino del pantano de Monquentiva (Guatavita-Cundinamarca), siguiendo las propuestas de Parrish et al., (2003) y Zambrano et al., (2007). Como resultado establecido que en general para los siete tipos de vegetación asociados a las formaciones vegetales páramos y bosque altoandino, presentaron un buen un buen estado de conservación, implicando que el área protegida se encuentra en estado deseable, y se requiere mejorar la gestión en el manejo con el fin de evitar la permanecías en riesgo de algunos los valores objeto de conservación, específicamente los chuscales y los bosques achaparrados.

Por ultimo cabe resaltar el estudio de Giraldo et al., (2016) en la valoración dela integridad ecológica realizado fuera de un área protegida, con el usos de atributos de composición y

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

estructura en fragmentos de bosque seco tropical en áreas específicas del municipio de La Victoria del departamento de Caldas, empleando 7 indicadores biológicos asociados a la composición y 3 métricas del paisaje ligados a la conectividad. Este autor concluyó que según los valores totales obtenidos en la matriz de evaluación, a la zona actividad minera, como el sistema con menor valor de integridad (Estado crítico), seguido por la zona sistema silvopastoril sin manejo (Aceptable), mientras que la zona de bosque aparece con el mayor valor de integridad (Bueno).

## 2 Objetivos

### 2.1 Objetivo General

Analizar espacialmente los valores objeto de conservación del bioma de páramo de la reserva forestal protectora Bosque Oriental de Bogotá, con el fin de efectuar a escala de paisaje un análisis de la integridad ecológica.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Analizar la variación de métricas del paisaje obtenidas de las coberturas de la tierra del bioma de páramo de la RFPBOB en el periodo 2010 a 2015.
- Evaluar mediante el uso de tres atributos ecológicos el estado de los valores objeto de conservación asociados al bioma de páramo de la RFPBOB.
- Efectuar la valoración de la integridad ecológica del bioma de páramo de la RFPBOB, mediante el uso de coberturas de la tierra como atributos de filtro grueso.

### 3 Metodología

#### 3.1 Área de Estudio

El área de estudio corresponde al bioma de páramo dentro de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá – RFPBOB, esta reserva fue declarada por la junta directiva del Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente –INDERENA, conforme al alinderamiento establecido en el artículo 1 del Acuerdo 30 del 30 de septiembre de 1976 y modificado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, bajo la resolución 463 de 2005. En cuanto a la división geopolítica de Colombia, el área de estudio se encuentra en el distrito capital de Bogotá D.C (Figura 3).

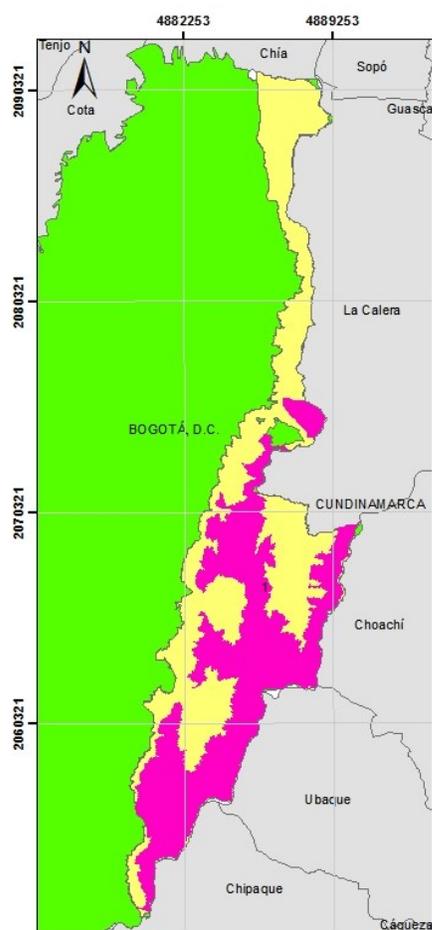
Para establecer el área de paramo dentro de la RFPBOB se acogió la delimitación efectuada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en la resolución No 1434 de 2017 *“Por medios de la cual se delimita el área de páramos Cruz Verde – Sumapaz y se adoptan otras determinaciones”*.

El área de estudio hace parte del complejo de páramo Cruz Verde – Sumapaz, el cual se ubica principalmente en el suroeste del departamento de Cundinamarca, además de los departamentos de Meta, el distrito capital (Bogotá D.C), y un pequeño extremo en el departamento de Huila. Comprende un sector de 25 municipios, dentro de los cuales los de mayor área son: Bogotá, D. C., San Luis de Cubarral, La Uribe, Guamal y Gutiérrez (Sarmiento et al., 2013).

En el complejo de páramo Cruz Verde – Sumapaz, se puede observar formaciones de vegetación páramo, subpáramo y bosques, que varían desde condiciones secas a pluviales en montañas y lomeríos, con bajos niveles de transformación de alrededor del 15%. (Rangel, 2000). El subpáramo en la primera franja de flora, caracterizada por el predominio vegetación arbustiva,

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

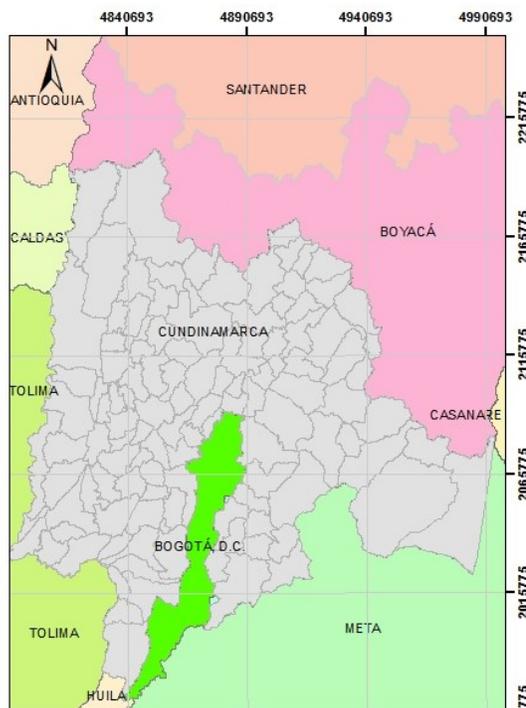
matorrales con superioridad de las especies de las familias Asteraceae y Ericaceae. La segunda como páramo propiamente dicho, caracterizado por una cobertura de gramíneas, en donde se observa una alta diversificación de las comunidades vegetales, en centrado casi todos los tipos de vegetación, con un amplio predominio de chuscales, pajonales y frailejones, los. Por último, encontramos el superpáramo caracterizado la evidencia de suelo desnudo y por la discontinuidad de la vegetación (Rangel, 2000).



Ubicación del bioma de páramo en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

### Leyenda:

-  Bioma de Paramo
-  RFP Bosque Oriental de Bogotá
-  Municipios de Departamento de Cundinamarca
-  Area del Distrito Capital - Bogotá D.C



Ubicación geopolítica del Distrito Capital Bogotá D.C.

Coordinate System: MAGNA Colombia Bogota  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: MAGNA  
 False Easting: 1.000.000,0000  
 False Northing: 1.000.000,0000  
 Central Meridian: -74,0775  
 Scale Factor: 1,0000  
 Latitude Of Origin: 4,5962  
 Units: Meter

**UAN**  
 UNIVERSIDAD  
 ANTONIO NARIÑO

Especialización en Sistemas de Información Geográfica,  
 Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

*Figura 3.* Localización del área bioma de páramo dentro de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá (fuente propia).

El plan de manejo de La reserva forestal protectora Bosque Oriental de Bogotá adoptado mediante resolución Miambiente No 1766 de 2016, determinó que se trata de una parte básica de la región capitalina y del patrimonio cultural ecológico y social de la región, por contener importantes y únicos objetos de conservación, los cuales proveen diferentes servicios ambientales; y los que requieren se preserven bajo la figura de área protegida, dentro de los cuales se destacan los siguientes:

la vegetación del páramo de Cruz Verde y los bosques bajos de tierra firme que a pesar de los cambios a los que sido objetos las coberturas de esta área protegida, se puede observar la preponderan las de tipo natural que ascienden al 64,80% del área; en la que se encuentran varios tipos de bosque, humedales y de vegetación herbácea y/o arbustiva, esta última propia de áreas de subpáramo y páramo. Por lo anterior y considerando que estas coberturas conforman una muestra representativa de la región, y por sus funciones de protección del suelo y regulación del agua, se contemplan como objetos de conservación. (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR, 2016).

### **3.2 Preparación de Información Temática (Unidades De Análisis)**

Para el análisis de estado de un área protegida o de una región, es importante que se utilice una unidad de análisis que sintetice de la mejor manera el territorio, para el caso del presente

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

estudio se utilizaron las coberturas de la tierra, siguiendo los estándares establecidos por la base de datos de Corine Land Cover Colombia (CLC) adaptada para el bioma de páramo. (Rodríguez, 2014)

Para el presente estudio se seleccionaron las coberturas de la tierra a escala 1:10.000 obtenidas para el bioma de páramo de la RFPBOB de los años 2010 y 2015, por cumplir con los parámetros establecidos en el decreto 2372 de 2010, en cuanto al periodo de mínimo de 5 años para la evaluación, simetría de escala y homologación de coberturas con los lineamientos establecidos por Rodríguez (2014). Esta información es resultado de la interpretación de imágenes satelitales GeoEye-I de los años 2009, 2010, 2014 y 2015, las coberturas para el año 2010 se obtuvo del estudio de modificación del plan de manejo de la RFPBB realizado por la CAR y publicado en el año 2016, de otro lado el insumo para el año 2015 se obtuvo de la línea base del estudio diagnóstico de reserva forestal protectora productora de la Cuenca Alta del Río Bogotá, realizado por la CAR.

### **3.3 Atributos ecológicos e indicadores evaluados.**

Cada atributo ecológico utilizado para evaluar el estado de conservación del área protegida, así como el análisis de integridad ecológica, puede explicarse por diferentes indicadores que responden directamente a las características estructurales de cada atributo. En principio, estos indicadores son métricas del paisaje, la ecología del paisaje utiliza estos indicadores para cuantificar espacialmente la estructura del territorio y correlacionarlo con diferentes formas de intervención antrópica (Zambrano et al., 2007).

Para el atributo ecológico de heterogeneidad se utilizaron métricas a nivel de paisaje, estimando el número total de clases o unidades dentro del territorio, es decir el número de coberturas de un área. Tanto el atributo de configuración espacial como el de continuidad,

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

contiene métricas a nivel de clase, aquí se cuantifican las características estructurales como un promedio de las mediciones de cada fragmento de cada clase. Siguiendo lo planteado por Zambrano et al., (2003) los atributos ecológicos utilizados para evaluar el estado de conservación del bioma de páramo de la RFPBOB (tabla 1).

Tabla 1

*Atributos Ecológicos e Indicadores Empleados para el Análisis de Integrada Ecológica de del Bioma de Páramo de la RFPBOB.*

Atributo Ecológico	Definición.	Categoría	Indicadores
Heterogeneidad	Complejidad de los arreglos espaciales en términos de su riqueza y dominancia.	Composición	Número de unidades espaciales naturales.
			Proporción de unidades espaciales naturales.
Configuración espacial	Forma como se disponen en un área las unidades espaciales de análisis y por ende de forma básica a conocer sobre el efecto que tienen los procesos naturales o antropogénicos que las afectan.	Composición Estructura	Tamaño del fragmento más grande de la unidad espacial natural.
			Número de fragmentos de una unidad espacial natural.
			Área núcleo efectiva
Continuidad	Conexiones físicas existentes entre unidades espaciales similares o complementarias.	Función	Conectividad entre fragmentos de las unidades espaciales naturales.
			Continuidad longitudinal de las unidades espaciales naturales.
			Continuidad altitudinal entre unidades espaciales naturales.

### 3.3.1 Indicadores

#### 3.3.1.1 Indicadores de Composición

**Número de Unidades Espaciales:** El arreglo espacial que caracteriza un área protegida, puede sufrir alteraciones no deseables, posibles de identificar en el tiempo a partir del monitoreo de la cantidad de unidades espaciales existentes, medida que permite saber acerca de la dinámica natural o inducida que tiene el área y medio para verificar si se están conservando o no

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

los elementos de biodiversidad que identifican un área protegida. este indicador se refiere al número de unidades naturales que conforman un área protegida, bien estas pueden ser coberturas, unidades de paisaje o ecosistemas; responde al atributo ecológico de heterogeneidad, el cual analiza la complejidad de los arreglos espaciales en términos de su riqueza y dominancia (Zambrano et. al. 2003).

El indicador de variación porcentual del número de unidades espaciales naturales , está determinado por el número de unidades espaciales naturales, que es calculado para la línea de información de referencia y para la línea de información actual Este indicador es propuesto por Zambrano et. al. 2003, la fórmula se nota a continuación.

$$\Delta Nue = \sum UE_a - \sum UE_r$$

Donde:

$\Delta Nue$ : Variación en el número de numero de unidades espaciales naturales.

$UE_r$ : unidades espaciales naturales de la línea de información de referencia.

$UE_a$ : unidades espaciales naturales de la línea de información actual.

### 3.3.1.2 Indicadores de Composición y Estructura

**Proporción de Unidades Espaciales Naturales:** A partir del número de unidades espaciales existentes y la extensión que estas ocupen, es posible conocer la forma como se disponen dichas unidades y los cambios que puedan experimentar en el tiempo, lo que determina la posibilidad de conservación de valores objeto de conservación del nivel ecosistemas o paisajes.

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

Para el cálculo de la variación en el porcentaje de unidades espaciales naturales es necesario realizar la valoración del porcentaje de la unidad espacial natural con respecto a la superficie del área protegida, este indicador de estado adaptado de Zambrano et al.,( 2003). Para el cálculo del indicador de estado es necesario conocer la extensión de la unidad espacial natural sumando el área en hectáreas de cada uno de sus fragmentos y conocer la extensión en hectáreas del área protegida, expresando esta relación en porcentaje mediante la división de estas dos extensiones y multiplicando por cien, la fórmula del indicador se nota a continuación.

$$Pue_i = \frac{Eue_i}{Eap} * 100$$

Donde:

$Pue_i$ : Porcentaje que representa la extensión total de la unidad espacial natural  $i$  en el área protegida.

$Eue_i$ : Extensión total en hectáreas de una unidad espacial natural  $i$ .

$Eap$ : Extensión total en hectáreas del área protegida.

Una vez obtenido el dato del porcentaje de cada unidad espacial natural en el área protegida para la línea de información de referencia y la línea de información actual ( $Pue_a$ ), se procede a calcular la variación entre éstas, aplicando la fórmula que se presenta a continuación.

$$\Delta Pue_i = (Pue_{ia} - Pue_{ir})$$

Donde:

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

$\Delta$ Pue<sub>i</sub>: cambios en el porcentaje que representa la extensión de la unidad espacial natural *i*, respecto a la extensión del área protegida, en relación con la línea de información de referencia y la línea de información actual.

Pue<sub>ia</sub>: Porcentaje que representa la extensión total de la unidad espacial natural *i* en el área protegida, para la línea de información actual.

Pue<sub>ir</sub>: Porcentaje que representa la extensión total de la unidad espacial natural *i* en el área protegida, para la línea de información de referencia

**Área Núcleo Efectiva:** Conocer acerca de la disposición de los fragmentos que constituyen un valor objeto de conservación del nivel paisaje o ecosistema, respecto al efecto que puede estar teniendo la dinámica de fragmentación y transformación, implica saber sobre los determinantes estructurales que afectan la integridad ecológica de un área protegida.

El significado principal de establecer el área núcleo es averiguar sobre la estructura de los fragmentos relacionados con el "efecto borde" Mcgarigal y Marks (1995). Por este motivo, es necesario determinar la longitud del impacto o afectación desde la periferia hacia el interior de cada objeto de conservación, teniendo en cuenta criterios ecológicos y las singularidades de cada uno de ellos, asumiendo que esta distancia es un ambiente perturbado en el que pueden establecerse fácilmente las "plagas", aumentar sus poblaciones y luego dispersarse por el interior del fragmento (Zambrano et. al. 2003).

Una vez determinada esta longitud se calcula el indicador de estado, correspondiente a la extensión en hectáreas de la unidad espacial natural, luego de restarle el área de afectación calculada desde el borde hacia el interior, hasta llegar a la distancia anteriormente descrita. El cálculo se realiza para cada uno de los fragmentos y luego se suman para cada una de las

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

unidades espaciales naturales. Este indicador equivale al “Total Core Area -TCA” propuesto por McGarigal y Marks (1995), la fórmula del indicador se nota a continuación.

$$TCA_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}^c \left( \frac{1}{10.000} \right)$$

Donde:

TCA<sub>i</sub>: área núcleo total de la unidad espacial natural i.

a<sup>c</sup><sub>ij</sub> : área núcleo (m<sup>2</sup>) del fragmento ij con base en distancias específicas desde el borde.

n: número total de fragmentos pertenecientes a la misma unidad espacial natural i

El cálculo de la variación porcentual se efectuó siguiendo aplicando la formula que se describe a continuación.

$$\Delta TCA_i = \frac{TCA_{ia} - TCA_{ir}}{TCA_{ir}} * 100$$

ΔTCA<sub>i</sub>: Variación porcentual de área núcleo para la unidad espacial natural i

TCA<sub>ir</sub>: Área núcleo total de la línea de información de referencia para la unidad espacial natural i

TCA<sub>ia</sub>: Área núcleo total de la línea de información de referencia para la unidad espacial natural i

**Tamaño del Fragmento mas Grande de la Unidad Espacial Natural (Índice del parche más grande):** Los procesos de fragmentación de un objeto de conservación del nivel ecosistema o paisajes, implican variaciones en el tamaño de los fragmentos en que se divide la matriz, proceso que puede ser evaluado para detallar hasta donde el grado de fragmentación implica una alta transformación de las características originales del área protegida.

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

Con base en esta información, se calculará el porcentaje del fragmento más grande con respecto al total del área protegida o el sector en evaluación y se comparará su variación en cada tiempo que se tomen los datos.

El cálculo de la variación porcentual del tamaño del fragmento más grande de la unidad espacial natural se basa en el indicador de estado que proporciona el tamaño del fragmento más grande en hectáreas. Indicador adaptado del índice del fragmento más grande, propuesto por McGarigal y Marks (1995), la fórmula del indicador se nota a continuación.

$$EF \max_i = \max_{j=1}^n (Ef_j)$$

Donde:

$Ef_{\max_i}$ : Tamaño o extensión en hectáreas del fragmento más grande de la unidad espacial natural i

$Ef_j$ : Tamaño o extensión en hectáreas del fragmento j

Una vez obtenido el valor del fragmento más grande de la unidad espacial natural i para la línea de información de referencia r y la línea de información actual a, se procede a calcular la variación entre ellas en unidades de porcentaje. Este cálculo, está dado por la división entre la diferencia en el tamaño del fragmento más grande de la línea de información de referencia y la línea de información actual, con relación al tamaño del fragmento más grande de la línea de información de referencia y el resultado multiplicado por cien, aplicando la fórmula que se presenta a continuación

$$\Delta PEF_i = \frac{EF \max_{ia} - EF \max_{ir}}{EF \max_{ir}} * 100$$

Donde:

$\Delta PEF_i$ : cambios en porcentaje del fragmento mayor  $Ef_j$  de la unidad espacial natural  $i$ , con respecto a la línea de información de referencia y la línea de información actual.

$Ef_{\max_{ir}}$ : extensión del fragmento mayor  $Ef_j$  con respecto a la línea de información de referencia.

$Ef_{\max_{ia}}$ : extensión del fragmento mayor  $Ef_j$  con respecto a la línea de información de actual

***Número de Fragmentos de una Unidad Espacial Natural o Número de parches naturales:***

Lograr valorar el aumento o disminución en el número de fragmentos en que se divide o recompone cada valor objeto de conservación del nivel ecosistema o paisaje, será crucial como aporte a la valoración de la integridad ecológica de un área protegida, en la medida de saber si la composición y estructura original se mantiene o si por el contrario existen cambios que modifican el arreglo original que caracterizó el área protegida.

Al igual que los indicadores de heterogeneidad, la variación porcentual en el número de fragmentos de una unidad espacial natural  $i$  está precedida por un indicador de estado, que representa el número de subdivisiones que posee la unidad espacial natural. Indicador adaptado por Romero et al., (2008), la fórmula del indicador se nota a continuación.

$$Fue_i = \sum_{c=1}^n f_c$$

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

Donde:

$Fue_i$ : Número de fragmentos de la unidad espacial natural  $i$ .

$f_c$ : Cada uno de los fragmentos en que se encuentra dividida la unidad espacial natural  $i$ .

$n$ : Es el número total de fragmentos  $f$  en que se encuentra dividida la unidad espacial natural  $i$ .

Una vez calculado el número de fragmentos de la unidad espacial natural en la línea de información de referencia ( $Fue_{ir}$ ) y en la línea de información actual ( $Fue_{ia}$ ), se procede a calcular la variación entre ellas en unidades de porcentaje, mediante la aplicación de la fórmula que se presenta a continuación.

$$\Delta PFue_i = \frac{Fue_{ir} - Fue_{ia}}{Fue_{ir}} * 100$$

Donde:

$\Delta PFue_i$ : variación porcentual entre el número de fragmentos de una unidad espacial natural  $i$  de la línea de información de referencia  $r$  y la línea de información actual  $a$ .

$Fue_{ir}$ : Número total de fragmentos de la unidad espacial natural  $i$  en la línea de información de referencia  $r$ .

$Fue_{ia}$ : Número total de fragmentos de la unidad espacial natural  $i$  en la línea de información actual  $a$ .

### 3.3.1.3 Indicadores de Función

***Conectividad entre Fragmentos de las Unidades Espaciales Naturales:*** Este indicador se considera pertinente para evaluar la integridad ecológica de un área protegida, en la medida que permite conocer acerca de la cercanía o vecindad en que se disponen físicamente, los

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

fragmentos que forman parte de la cobertura de un valor objeto de conservación asociado al nivel de paisajes o ecosistemas. Su análisis nos permite comprender las perturbaciones estructurales que limitan o promueven los flujos ecológicos que ocurren en condiciones normales (Zambrano et al., 2003).

El cálculo del indicador se basa en la identificación inicial para cada fragmento de su vecino más cercano y el cálculo de la distancia más corta entre los perímetros de éstos. Para cada unidad espacial natural, se propone tener un valor de conectividad, dado por el promedio de la distancia euclidiana al vecino más cercano de todos los fragmentos pertenecientes a esta clase. También denominado aislamiento o proximidad entre fragmentos de la misma clase de hábitat, este indicador se considera factor crítico en las dinámicas poblacionales con respecto a su estructura espacial (MacGarigal y Marks 1995). La conectividad de las unidades espaciales natural se puede evaluar en función del aislamiento / proximidad física de todo el paisaje. La métrica que se utilizará es la distancia euclidiana al vecino más cercano (Euclidean Nearest-Neighbor Distance (ENN)), la fórmula del indicador se nota a continuación.

$$ENN\_MN_j = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n}$$

Donde:

ENN\_MN<sub>j</sub>: Es la media de la distancia euclidiana del vecino más cercano de los fragmentos n, de la unidad espacial natural j analizada.

h<sub>i</sub>: Es la distancia en metros del fragmento h<sub>i</sub> al vecino más cercano de la misma unidad espacial natural, basado en la distancia de perímetro a perímetro.

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

n: Es el número total de fragmentos de la unidad espacial natural j

**Continuidad Longitudinal de las Unidades Espaciales Naturales:** Hace referencia grado en que la matriz original de la capa de cobertura natural mantiene su estado en términos de promover o impedir flujos ecológicos; responde al atributo ecológico de conectividad y analiza las conexiones físicas entre unidades espaciales similares o complementarias. La utilización de este indicador en un área protegida permite a través de los cambios estructurales de la matriz original y la discontinuidad de las coberturas vegetales, inferir cambios funcionales en las unidades espaciales a nivel de ecosistema y paisaje (Zambrano et al., 2003).

Para su cálculo, se propone adaptar el índice de COHESION, que fue propuesto por Schumaker (1996), para cuantificar la conectividad de hábitats según lo percibido por organismos dispersos en un paisaje. El índice de COHESION equivale a 1 menos la suma del perímetro de cada fragmento (en términos de número de celdas), dividido por la suma del perímetro y la raíz cuadrada del área de cada fragmento, dividido por el área media de los fragmentos con relación al índice de forma y finalmente multiplicado por 100 para convertir a porcentaje, la fórmula del indicador se nota a continuación.

$$COHESION = \left[ 1 - \frac{\sum_{j=1}^n P_{ij}^*}{\sum_{j=1}^n P_{ij}^* \sqrt{a_{ij}^*}} \right] \cdot \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{Z}} \right]^{-1} \cdot (100)$$

Donde:

Z: Número total de celdas en el paisaje.

$a_{ij}$ : es el área (m<sup>2</sup>) del fragmento i,j.

$p_{ij}^*$ : perímetro del fragmento/parche ij en términos del número de celdas

**Continuidad Altitudinal entre Unidades Espaciales Naturales:** Este indicador es una medida asociada a la extensión de coberturas y número de fragmentos, cuya variación es relativa dependiendo de la desaparición o aumento en área y número de fragmentos. Se refiere al grado en el cual un fragmento/parche perteneciente a la matriz o fragmento más grande de una unidad espacial natural, se encuentra físicamente conectado a lo largo de un perfil altitudinal; responde al atributo ecológico de conectividad, el cual analiza las conexiones físicas existentes entre unidades espaciales similares o complementarias (Zambrano et. al 2003).

El indicador de estado utilizado es la adaptación de la amplitud del rango altitudinal, Washburger et al.,(2006). Dado por la diferencia entre la altura máxima y mínima sobre el nivel del mar. la fórmula del indicador se nota a continuación.

$$ARA_j = \frac{\sum_{i=1}^n (H \max_i - H \min_i)}{n}$$

Donde:

ARA<sub>j</sub>: Amplitud de rango altitudinal para la unidad espacial natural j

Hmax<sub>i</sub>: Altura máxima del fragmento i

Hmin<sub>i</sub>: Altura mínima del fragmento i

n: Número total de fragmentos perteneciente a la unidad espacial natural j

Metodológicamente se realizó el cálculo a partir del modelo de elevación de la cota máxima y la cota mínima presentes para cada uno de los fragmentos pertenecientes a la misma unidad espacial natural, seguidamente se realizó el cálculo de la media de estos valores. Los cálculos

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

se efectuaron utilizando ArcView, y la extensión Spatial Análisis, siguiendo la siguiente ruta Para valorar el indicador se compararán los datos del indicador amplitud del rango altitudinal de la línea de información de referencia, con respecto al resultado de aplicar el indicador sobre la línea de información actual, mediante resta, los resultado de esta operación se dividirá por el valor de la línea de información de referencia y se multiplicará por cien para convertir a porcentaje.

### 3.4 Estimación de Índices

Para El cálculo de las métricas integridad ecológica propuestos se utilizó el software libre FRAGSTATS ® versión 3.3 (McGarigal et al., 2015), con excepción de índice continuidad altitudinal el cual se obtuvo mediante el uso de la herramienta Spatial Análisis (Zonal statistics a table) del software ArcGis 10.5 ®.

Para el análisis de estado del bioma de páramo en la RFPBOB, se utilizó coberturas de la tierra clasificada bajo el sistema Corine Land Cover Colombia (CLC) adaptada para el bioma de páramo efectuados por Rodríguez (2014). Un total de 29 diferentes coberturas fueron analizada (tabla 2).

La información de unidades de las coberturas de la tierra se encontraba en modelos tipo vector, ya que esta información corresponde a datos discretos que se representan mejor con este tipo archivo, como la información de entrada al software FRAGSTATS ® se requiere en modelos raster, se hizo necesario realizar el proceso de rasterización mediante la herramienta “*Conversion tool – To Taster - Poligon to raster*” del software ArcGis 10.5 ®,

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

Tabla 2

Código del nivel y nomenclatura de clasificación de coberturas de la tierra (Corine Land Cover)

definidas para el bioma de páramo de la RFPBOB.

<b>Código y Nomenclatura de Clasificación de Coberturas</b>
1.1.3.2 Vivienda rural nucleada
1.1.2.2 Zona suburbana
1.1.3.1.1 Vivienda rural dispersa
1.2.1. Zonas industriales o comerciales
1.2.2. Red vial ferroviarias y terrenos
1.3.1.5 Explotacion de materiales de construcción
1.4.2.1.2 Zonas religiosas
2.1.5.1 Cultivo de papa
2.3.2 Pastos arbolados
2.3.1 Pastos limpios
3.2.3.2 Vegetacion secundaria baja
2.3.3. Pastos enmalezados
2.4.1 Mosaico de cultivos
2.4.2 Mosaico de pasto y cultivos
3.1.1.2.1 Bosque denso bajo de tierra firme
3.1.4. Bosque de galeria y ripario
3.1.5.1. Plantación de coníferas
3.1.5.2. Plantación de latifoliadas
3.1.5.3. Plantación mixta
3.2.1.1.1.1 Herbazal denso de tierra firme no arbolado
3.3.3.1. Tierras erosionadas
3.2.1.1.1.3 Herbazal denso de tierra firme con arbustos
3.2.1.1.1.4. Frailejonal
3.2.1.2.2 Herbazal abierto rocoso
3.2.2.1.1 Arbustal denso alto
3.2.2.2 Arbustal abierto
3.2.3.1 Vegetación secundaria alta
3.3.2. Afloramientos rocosos
5.1.2 Lagunas, lagos y ciénagas natural

Debido a la limitación de incompatibilidad entre los archivos ArcGrid de producidos en las versiones ArcGis 10.X y el software FRAGSTATS ®, se hizo necesario transformar el producto de la rasterización a formato de **ASCII** (American Standard Code for Information Interchange), mediante el uso de la herramienta “*Conversion tool – From Raster – Raster to ASCII*”, del software ArcGis 10.5. El archivo de salida debió ser editado eliminando la información del

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

encabezado que define las propiedades del ráster como el tamaño de celda, el número de filas y columnas, y las coordenadas del origen y dejando exclusivamente la información correspondiente a los del valor de celda.

Con el fin de efectuar la corrida de parámetros en el software FRAGSTATS®, fue necesario efectuar inicialmente el cargue del producto del proceso de rasterización, definiendo las características de la información de entrada tal como tipo de dato de entrada (input data type), tamaño de celda (Cellsize), valores de datos sin información (background value), numero de filas (number of rows) y números de columnas (number of columns), igualmente se debió establecer el tipo de estadísticas que se buscaba calcular que para el casos correspondían a las métricas a nivel de clase (Class Metrics) (Figura 4).

Figura 4. Ventana de ingreso de información de las coberturas de la tierra en el software FRAGSTATS (fuente propia).

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

Una vez se efectuó correctamente el cargue de la información se procedió dentro de menú “Class Metrics” a seleccionar las métricas que se deseaban calcular para las distintas clases que componen el paisaje, la cuales se describen a continuación.

Area/Density/Edge: Este grupo de indicadores representa un conjunto disperso de las métricas que tienen que ver con el número, tamaño de los parches y la cantidad de borde creado por estos parches. A pesar de estas métricas podrían estar en grupos separados ya reconocidos, existe una similitud suficiente en los patrones básicos evaluados por estos indicadores para incluirlos bajo una misma categoría (Ciontescu et al., 2014) (figura 5).

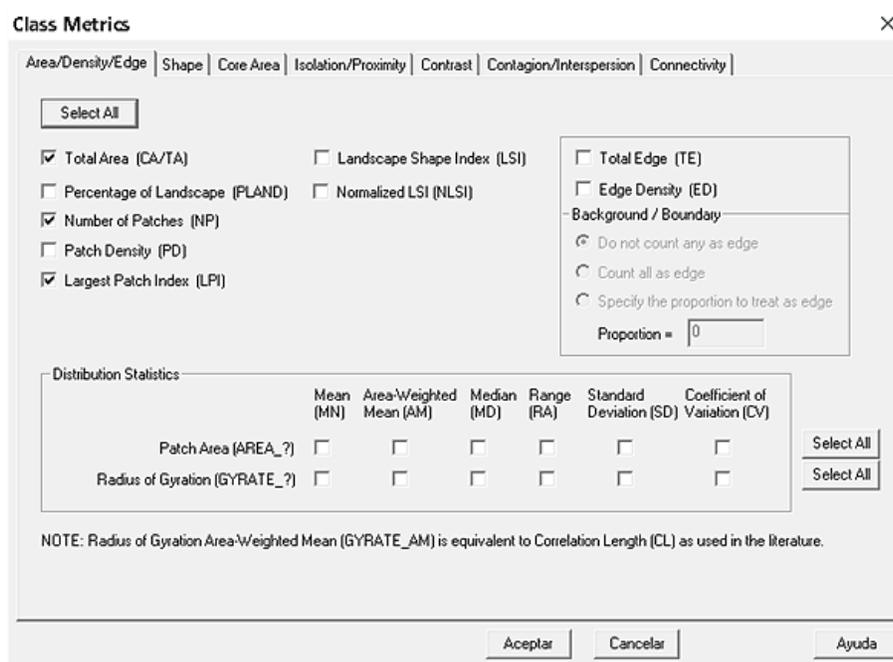


Figura 5. Ventana de selección de índices del componente Area/Density/Edge del menú de métricas del software FRAGSTATS (fuente propia).

Core Area: El área núcleo se define como el área dentro de un parche más allá de cierta profundidad o influencia de borde (es decir, la distancia al borde). El efecto de borde es el

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

resultado de la combinación de factores bióticos y abióticos que alteran las condiciones ambientales a lo largo de los bordes de los parches en comparación con los interiores de estos (Ciontescu et al., 2014) (figura 6).

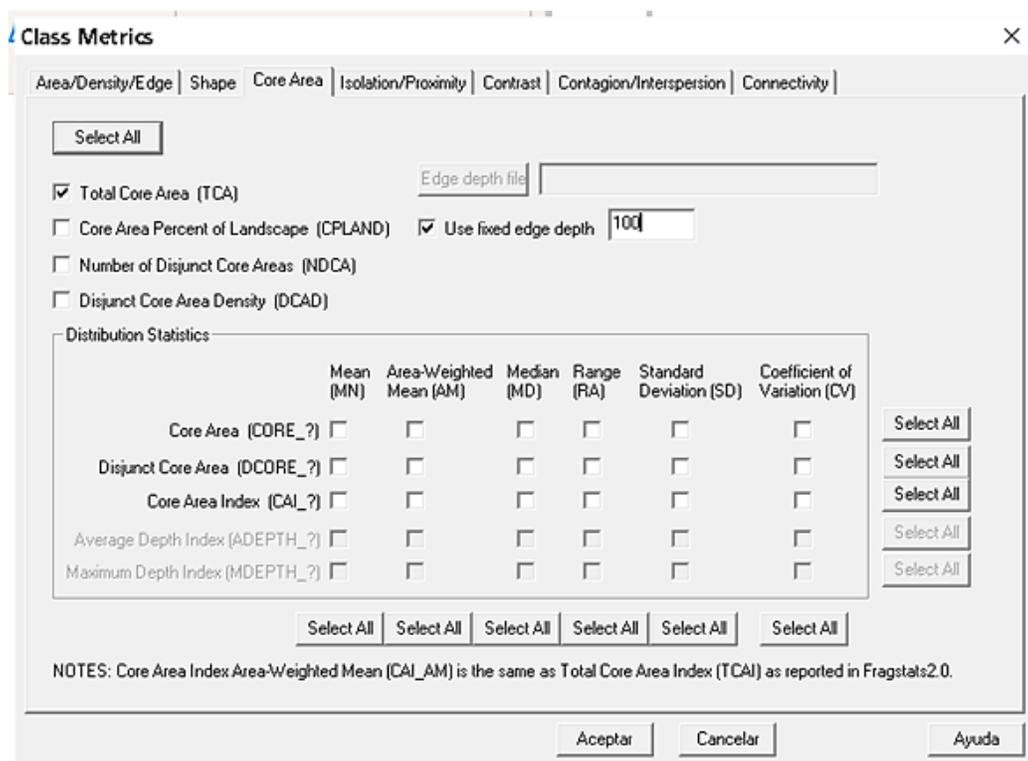


Figura 6. Ventana de selección de índices del componente core area del menú de métricas del software FRAGSTATS (fuente propia)

**Isolation/Proximity** El aislamiento se refiere expresamente al contexto espacial y temporal de los parches de hábitat, más que el carácter espacial de los propios parches. El aislamiento de los parches de hábitat es un factor crítico en la dinámica de poblaciones espacialmente estructuradas (Ciontescu et al., 2014) (figura 7).

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

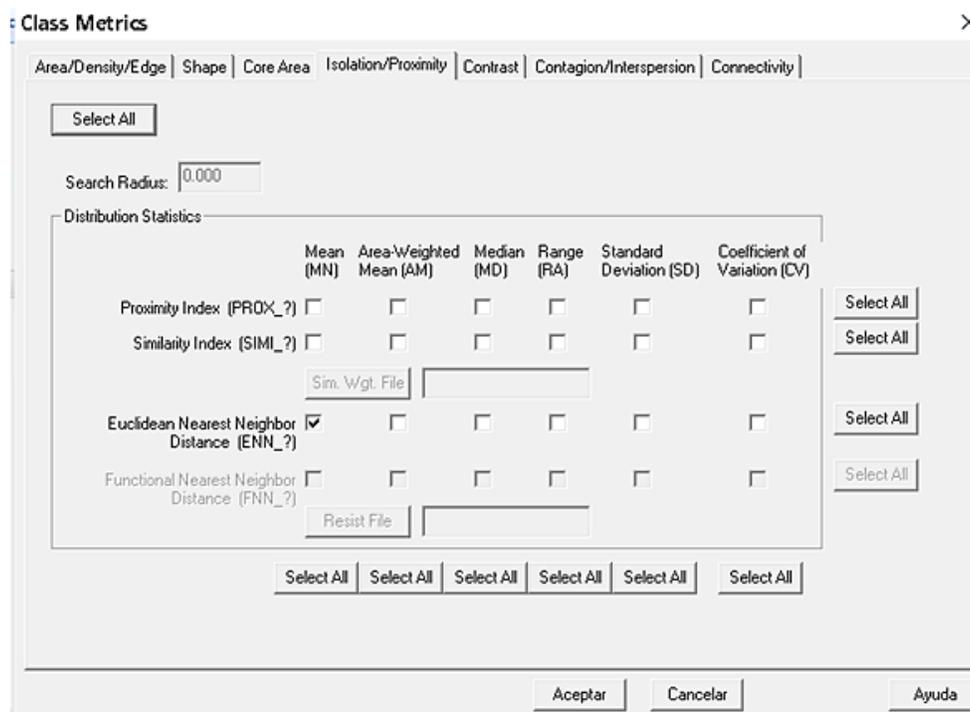


Figura 7. Ventana de selección de índices del componente Isolation/Proximity del menú de métricas del software FRAGSTATS (fuente propia)

Connectivity: La conectividad se refiere al grado en que un paisaje facilita o impide los flujos ecológicos. Un cambio brusco en la conectividad del paisaje, causado por la pérdida y fragmentación del hábitat, pueden interferir con el éxito de dispersión, de tal manera que algunas poblaciones pronto serán más pequeñas y aisladas (Ciontescu et al., 2014) (figura 8).

De los indicadores propuestos la continuidad altitudinal no fue posible ejecutar a través del software FRAGSTATS®, por lo cual para este indicador se utilizó el software ArcGis. Tomando como insumos el modelo digital de elevación (DEM por sus siglas en inglés Digital Elevation Model) y el archivo ráster de las coberturas de la tierra, se utilizó la herramienta Spatial Análisis-Zonal- Zonal statistics a table.

INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

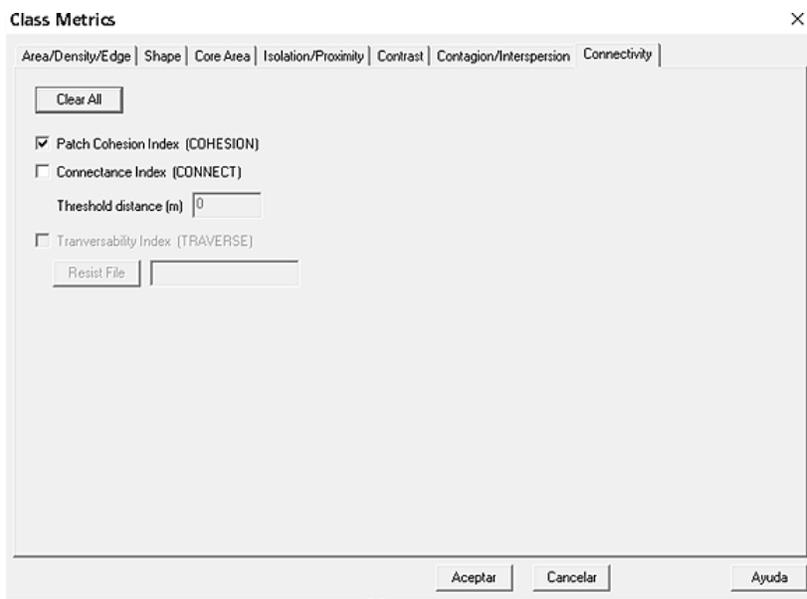


Figura 8. Ventana de selección de índices del componente Connectivity del menú de métricas del software FRAGSTATS (fuente propia)

Después de ejecutar esta operación, ArcGis arroja una tabla que contiene información relacionada con la variación altitudinal para cada una de las unidades de análisis, como altura mínima y máxima, desviación estándar y el promedio entre otros, no obstante, el campo que se usó dentro del atributo de función es el de rango altitudinal “RANGE” (figura 9).

GID	NIVEL	ZONE_CODE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
01.1.2.2	ZONA SUBURBANA	1	84	75620	2879.518111	3148.978807	269.458696	3112.423996	38.6269	26.144.544039
10.4.1	MOSAICO DE CULTIVOS	2	131	117950	3205.721024	3390	93.276076	3259.561412	36.621612	427002.544922
2.0.2.1	PASTOS LIMPIOS	3	6497	5847300	2900	3392.25	492.25	3252.495414	47.341998	21131462.7026
3.0.2.3	PASTOS ENMALHEZADOS	4	805	724500	2895.687158	3305.320313	409.733154	3222.47804	85.132903	2602719.62589
4.0.2.2	MOSAICO DE PASTO Y CULTIVOS	5	9	8100	3200	3225.633301	25.633301	3211.003925	9.631985	28889.034454
5.0.2.2	VEGETACION SECUNDARIA BAJA	6	609	548100	3000	3387.052979	387.052979	3240.56484	64.444632	1973503.9873
6.1.1.3.1.1	VIVIENDA RURAL DISPERSA	7	39	35100	3100	3357.020508	257.020508	3276.106383	70.848945	127768.148926
7.1.1.3.2	VIVIENDA RURAL NUCLEADA	8	16	14400	3015.649661	3309.089766	293.440105	3137.333921	132.3979	60187.342773
8.1.3.1.5	EXPLORACION DE MATERIALES DE CONSTRUCCION	9	332	298800	3194.871826	3406.295654	211.423828	3277.51713	50.618326	1088135.68726
9.2.1.1.1	CULTIVO DE PAPA	10	528	475200	3189.996966	3377.636811	187.639845	3270.843902	38.632515	1727005.34008
10.0.1.4	BOSQUE DE GALERA Y RIPARIO	11	1425	1282500	3200	3558.911113	358.911113	3354.579995	85.209309	4780189.11021
11.0.1.5.1	PLANTACION DE CONIFERAS	12	3734	3360600	2983.481934	3406.472168	422.990234	3200.144505	90.455075	11949339.5818
12.0.1.5.3	PLANTACION MITA	13	422	379800	2834.331787	3309.348633	466.016846	3167.753448	100.008963	1136791.95588
13.0.2.2.1.1	ARBUSTAL DENSO ALTO	14	5955	5359500	2800	3500	700	3199.341736	130.082647	19052880.0405
14.0.2.2.2	ARBUSTAL ABIERTO	15	6073	5465700	2978.939897	3600	621.060303	3281.019483	105.312234	18926576.6543
15.0.3.2	AFLORAMENTOS ROCOSOS	16	311	279900	3100	3600	500	3427.866473	135.780779	1056877.6721
16.1.2	ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES	17	21	18900	3197.693359	3600	482.306641	3380.342657	159.259748	70987.195801
17.1.4.2.1.2	ZONAS RELIGIOSAS	18	109	98100	3020.342295	3200	179.657715	3135.158622	40.1358	341732.289795
18.0.1.1.2.1	BOSQUE DENSO BAJO DE TIERRA FIRME	19	2855	266500	2991.726143	3401.268846	409.470703	3187.625413	94.208291	9100670.55322
19.0.1.5.2	PLANTACION DE LATEJOLADAS	20	1621	1458900	2865.86732	3255.680908	389.812988	3046.778844	68.833902	4938828.50537
20.0.2.1.2	HERBAZAL ABIERTO ROCOSO	21	2018	1816200	2900	3600	700	3113.651918	148.277491	6886949.5708
21.1.2.2	RED MAL FERROVIARIAS Y TERRENO	22	252	228800	2884.240977	3600	715.759033	3265.765895	129.170792	802917.708111
22.0.2.1.1.1.1	Herbazal denso de tierra firme no arbolada	23	19957	17961300	2800	3600	800	3363.818856	125.830633	67131752.8684
23.0.2.1.1.1.3	HERBAZAL DENSO DE TIERRA FIRME CON ARBUSTOS	24	9266	8339400	2893.555098	3600	706.444092	3267.89912	123.725999	30280351.3278
24.0.2.1.1	VEGETACION SECUNDARIA ALTA	25	40	36000	3200	3300	100	3286.80819	22.34571	114410.07244
25.0.2.1.1.1.4	Frutigeron	26	4713	4241700	3244.835893	3600	355.164307	3397.816045	61.890538	16013907.019
26.0.3.3.1	TIERRAS EROSIONADAS	27	41	36900	3169.321502	3314.794189	144.863037	3249.522668	50.59697	133248.404785
27.0.2.2	PASTOS ARBOLEADOS	28	41	28900	3227.166746	3300	72.833262	3262.221168	19.81178	133241.839027
28.0.1.9	LAGUNAS, LAGOS Y CIENAGAS NATURAL	29	17	15300	3208.742432	3471.688965	262.946533	3403.270192	107.001465	57855.593282

Figura 9. Ventana de resultados obtenidos con el uso de la herramienta Spatial Analysis- Zonal- Zonal statistics a table del software ArcGis (fuente: propia).

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

Una vez generados los datos desde Fragstast ® y ArgGis ®, se hizo necesaria la organización de cada uno de los indicadores según los atributos ecológicos clave a los que responde, igualmente se requirió incorporar manualmente la codificación de presencia - ausencia representado con 1 y 0, respectivamente, las unidades espaciales naturales y las unidades espaciales transformadas, así como el porcentaje de cada una de las unidades, calculada en la relación del área total de cada cobertura y el área total de estudio (tabla 3).

Tabla 3

*Incorporación manual de codificación presencia - ausencia (1 y 0) y porcentaje de las unidades espaciales.*

Cobertura	Área total	Unidades espaciales naturales	Proporcion (%)	Unidades espaciales transformadas
1.1.2.2 ZONA SUBURBANA	7,56	0	0,12	1
2.4.1 MOSAICO DE CULTIVOS	11,79	0	0,19	1
2.3.1 PASTOS LIMPIOS	584,73	0	9,57	1
2.3.3. PASTOS ENMALEZADOS	72,45	0	1,19	1
2.4.2 MOSAICO DE PASTO Y CULTIVOS	0,81	0	0,01	1
3.2.3.2 VEGETACION SECUNDARIA BAJA	54,81	1	0,90	0
1.1.3.1.1 VIVIENDA RURAL DISPERSA	3,51	0	0,06	1
1.1.3.2 VIVIENDA RURAL NUCLEADA	1,44	0	0,02	1
1.3.1.5 EXPLOTACION DE MATERIALES DE CONSTRUCCION	29,88	0	0,49	1
2.1.5.1 CULTIVO DE PAPA	47,52	0	0,78	1
3.1.4. BOSQUE DE GALERÍA Y RIPARIO	128,25	1	2,10	0
3.1.5.1. PLANTACIÓN DE CONÍFERAS	336,06	0	5,50	1
3.1.5.3. PLANTACIÓN MIXTA	37,98	0	0,62	1
3.2.2.1.1 ARBUSTAL DENSO ALTO	535,95	1	8,77	0
3.2.2.2 ARBUSTAL ABIERTO	546,57	1	8,94	0
3.3.2. AFLORAMIENTOS ROCOSOS	27,99	1	0,46	0
1.2.1. ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES	1,89	0	0,03	1
1.4.2.1.2 ZONAS RELIGIOSAS	9,81	0	0,16	1
3.1.1.2.1 BOSQUE DENSO BAJO DE TIERRA FIRME	256,95	1	4,20	0
3.1.5.2. PLANTACIÓN DE LATIFOLIADAS	145,89	0	2,39	1
3.2.1.2.2 HERBAZAL ABIERTO ROCOSO	181,62	1	2,97	0
1.2.2. RED VIAL FERROVIARIAS Y TERRENO	22,68	1	0,37	0
3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	1796,4	1	29,39	0
3.2.1.1.1.3 HERBAZAL DENSO DE TIERRA FIRME CON ARBUSTOS	833,94	1	13,64	0
3.2.3.1 VEGETACION SECUNDARIA ALTA	3,6	1	0,06	0
3.2.1.1.1.4. Frailejónal	424,17	1	6,94	0
3.3.3.1. TIERRAS EROSIONADAS	3,69	0	0,06	1
2.3.2 PASTOS ARBOLADOS	3,69	0	0,06	1
5.1.2 LAGUNAS, LAGOS Y CIÉNAGAS NATURAL	1,53	1	0,03	0
	6113,16		100	

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

Cada uno de los pasos nombrados anteriormente, se realizó para los dos periodos contemplados en el estudio año 2010 y 2015, ya que como se planteó el análisis de integridad, este se elabora con base en la variabilidad de los indicadores y atributos en el tiempo.

### 3.5 Criterios para la Interpretación

#### 3.5.1 Calificación de estado.

Con el fin de obtener una idea del estado de conservación de cada valor objeto de conservación se efectuó una valoración de estos siguiendo los criterios establecidos por Ciontescu et al., (2014) (tabla 4), igualmente se siguió lo parámetro establecidos por este autor para la interpretación de la direccionalidad como cambios (aumentos o disminuciones) en el indicador de acuerdo a la línea de referencia (tabla 5).

*Tabla 4*

*Valoración y Descripción Propuesta para Indicadores (Ciontescu et al., 2014).*

Calificación	Descripción
Deseable	El indicador muestra que los valores se encuentran constantes, aumenta o disminuyen con respecto a la línea de referencia y se considera que esta condición o cambio no implica riesgo para la presencia de valor objeto de conservación o de otros elementos de la biodiversidad asociados a este.
No deseable	El indicador muestra que los valores se encuentran constantes, aumenta o disminuyen con respecto a la línea de referencia y se considera que esta condición o cambio implica riesgo para la presencia de valor objeto de conservación o de otros elementos de la biodiversidad asociados a este.

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

Tabla 5

*Criterios de Direccionalidad para la Interpretación de Índices Seleccionados para la Evaluación de Integralidad Ecológica del Bioma de Paramo en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá, (Ciontescu et al., 2014).*

Atributo ecológico	Categoría	Índice	Interpretación	Direccionalidad	
				> 0 % (+)	≤ 0 % (0)
Heterogeneidad	Composición	Número de Unidades Espaciales Naturales	Si $\Delta Nue$ es igual a cero (0) se asume que las unidades espaciales naturales se están conservando, lo cual puede implicar un estado de conservación adecuado para el área protegida. Si $\Delta Nue$ es mayor a cero el número de unidades espaciales naturales de la línea de información actual están aumentando, con respecto a la línea de referencia, indicando un proceso de restauración positivo o de dinámicas antrópicas indeseables al menos con respecto a condiciones originales deseables. Si $\Delta Nue$ es menor a cero, el número de unidades espaciales naturales actuales están disminuyendo, si este hecho ocurre por dinámicas antrópicas aumenta la posibilidad de generarse estados de conservación no deseados, para el área protegida.	Deseable	No deseable
		Estabilidad en la Extensión de Unidades Espaciales Naturales	Si la estabilidad tiene valores positivos muy leves se asume que las unidades espaciales naturales se están conservando, si el indicador es significativamente mayor a 0 se asume que las unidades espaciales naturales se están recuperando o conservando, lo cual puede implicar un estado de conservación adecuado para el área protegida, al menos si este hecho ocurre por dinámicas naturales y no por causa de amenazas antrópicas. Si el indicador es negativo muy significativamente, hay decremento en la extensión original y por tanto aumenta la posibilidad de generarse estados de conservación no deseados, para algunas de las unidades espaciales originales.	Deseable	No deseable
Configuración espacial	Composición y estructura	Variación en La Proporción de Unidades espaciales Naturales	Si $\Delta P_{uei}$ se mantiene cercano a cero o positivo se asume que las unidades espaciales naturales se están conservando o restaurando, lo cual puede implicar un estado de conservación adecuado para el área protegida. Si $\Delta P_{uei}$ es negativo y este hecho ocurre por dinámicas antrópicas aumenta la posibilidad de generarse estados de conservación no deseados, para el área protegida. Revisar valoración con el árbol decisiones para valorar estado de los valores objeto de conservación.	Deseable	No deseable
		Número de Fragmentos de una Unidad Espacial Natural	Si $\Delta P_{Fuei}$ es negativa se asume una mayor fragmentación y se pueden estar interrumpiendo flujos ecológicos determinantes para la conservación del área protegida. Si $\Delta P_{Fuei}$ es positiva o igual, el proceso de fragmentación se mantiene o se reduce y por tanto podría inferirse que aumenta la posibilidad de que los flujos ecológicos se mantengan es mayor. Es importante asociar este indicador a otros, como área total, proporción y tamaño promedio, pues al	Deseable	No deseable

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

			interpretarse los indicadores en conjunto, se puede llegar a la conclusión que el aumento en el número de fragmentos es el resultado de procesos de restauración o recuperación de áreas transformadas.		
		Tamaño del Fragmento mas Grande de la Unidad Espacial Natural	Si $\Delta PEFi$ se mantiene en cero (0) o aumenta (> 0) se asume que el fragmento mayor aumenta y por ende la unidad espacial natural podría estarse conservando o recuperando, lo cual puede implicar un estado de conservación adecuado para el área protegida. Si $\Delta PEFi$ disminuye (< 0) hay decremento en la extensión del fragmento mayor y por tanto puede ser un indicativo de degradación aun mayor de la unidad espacial natural. Revisar valoración con el árbol decisiones para valorar estado de los valores objeto de conservación.	Deseable	No deseable
		Área núcleo efectiva	Si $\Delta TCA$ se mantiene en cero o es mayor a cero, se asume que el área núcleo aumenta y por ende la unidad espacial natural podría estarse conservando o recuperando, lo cual puede implicar un estado de conservación adecuado para el área protegida. Si $\Delta TCA$ es negativa o menor a cero, hay decremento en la extensión del área núcleo y por tanto puede ser un indicativo de degradación en el área protegida. Revisar valoración con el árbol decisiones para valorar estado de los valores objeto de conservación.	Deseable	No deseable
		Número de Áreas Transformadas	Si entre el año de la referencia y los subsiguientes $\Delta At$ es mayor a cero (>0) el número de áreas transformadas no aumenta, se deduce que el estado de conservación del área protegida se mantiene o mejora. Si por el contrario $\Delta At$ es menor a cero (<0) aumentando las áreas transformadas, el estado de conservación del área protegida podría presentar estados de conservación no deseados, suponiendo que se están transformando las unidades naturales originales. Revisar valoración con el árbol decisiones para valorar estado de los valores objeto de conservación.	Deseable	No deseable
Continuidad	Función	Conectividad entre fragmentos	La distancia euclidiana varia entre la distancia de la diagonal mayor del limite del área protegida y cero (0), en el caso de que solo exista un solo fragmento. A mayor variación porcentual de la distancia euclidiana entre fragmentos, es mas favorable que se pierda la condición inicial de la línea de información de referencia y se vea afectada la integridad del ecosistema. El indicador será negativo cuando la distancia media euclidiana de la línea de información de referencia es menor que la medida posterior o actual. Y positivo cuando la medida posterior/actual es menor que la medida de la línea de información de referencia. Revisar valoración con el árbol decisiones para valorar estado de los valores objeto de conservación.	Deseable	No deseable
		Continuidad longitudinal	Si la variación es positiva se asume una menor continuidad del área protegida y se pueden estar interrumpiendo flujos ecológicos determinantes. Si la variación es negativa hay incremento de la continuidad en la cobertura natural y por tanto aumenta la posibilidad de que los flujos ecológicos se mantengan. Revisar valoración con el árbol decisiones para valorar estado de los valores objeto de conservación.	No deseable	Deseable

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

Continuidad altitudinal	Si la variación es negativa se asume una menor continuidad del área protegida y se pueden estar interrumpiendo flujos ecológicos determinantes. Si la variación es positiva hay incremento de la continuidad en la cobertura natural y por tanto aumenta la probabilidad flujos ecológicos.	Deseable	No deseable
-------------------------	---	----------	-------------

### 3.5.2 Valoración numérica a cada valor objeto de conservación

Siguiendo lo establecidos por Ciontescu et al., (2014), una vez efectuada la calificación cualitativa de estado deseado o no deseado, se procedió asignar un criterio cuantitativo a estos, asignando un valor de 5 y 1, respectivamente (tabla 6). Partiendo de los valores obtenidos se procedió a la obtención de un promedio simple para cada atributo ecológico, e igualmente para cada valor objeto de conservación siguiendo lo establecido por Zambrano et al., (2007).

Tabla 6

*Calificación del Estado Según los Valores Asignados a Cada Indicador (Zambrano et al., 2007).*

Calificación	Valor	Descripción
Muy alto	> 4	El indicador se encuentra en un estado ecológicamente deseable, debiendo perdurar las acciones de manejo para su mantenimiento.
Alto	3,5	El indicador se encuentra en un estado ecológicamente deseable, pero se requiere mejorar las acciones para su mantenimiento.
Medio	2.5	El indicador se encuentra en un estado no deseable y requiere de mejores y mayores acciones de manejo para su mantenimiento. Si no se da seguimiento, hay riesgo de perder el objeto de conservación.
Bajo	1.0	Si se permite que el indicador se mantenga en esta categoría, en el largo plazo hará la restauración o prevención de desaparición del objeto de conservación prácticamente imposible (Ejemplo: complicado, costoso y con poca certeza de revertir el proceso de alteración).

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

**3.5.3 Calificación de integridad**

Finalmente, siguiendo los planteamientos realizados por Zambrano et al., (2007) se efectuó el cálculo de integridad ecológica de filtro grueso, como promedio simple de los valores obtenidos para cada uno de los valores objeto de conservación, para la interpretación de este índice se adoptó la escala numérica propuesta por Herrera y Corrales (2005) (tabla 7).

Tabla 7

*Propuesta de Calificación de integridad ecológica según escala numérica propuesta por Herrera y Corrales (2005).*

<b>Rango</b>	<b>Valor indicador</b>	<b>Descripción</b>
=> 3.75	5	La integridad ecológica del área protegida se encuentra en estado deseable, requiriéndose mantener el tipo de manejo que se ha llevado a cabo los ultimo años.
3.0 -3.74	4	La integridad ecológica del área protegida se encuentra en estado deseable, pero se requiere mejora los esquemas de manejo para evitar que algunos valores objeto de conservación se mantengan en alto riesgo.
1.75 -2.99	3	La integridad ecológica del área protegida se encuentra en estado no deseable y requiere intervención humana para su mejoramiento. Si no se da seguimiento, la persistencia del objeto de conservación está en alto
< 1.75	2	Si se permite que la integridad ecológica se mantenga en esta categoría, la restauración o preservación de desaparición del objeto de conservación será prácticamente imposible Ejemplo: complicado, costoso y con poca certeza de revertir el proceso de alteración).
0 -1	1	La evaluación no se ha realizado.

#### 4 Resultados y discusión

Tomando las salidas obtenidas al efectuar las corridas en los programas FRAGSTATS ® versión 3.3 y ArcGis 10.5 ®, se establecieron los indicadores de cada atributo ecológicos seleccionados para las veintinueve coberturas identificadas en el bioma de páramo de la RFPBOB, tanto para el año 2010 y 2015 (talas 8 y 9).

De los datos obtenidos se determinó un área total de 6.113 hectáreas para el bioma de páramo, observado que las coberturas naturales sufrieron una reducción, pasando de cubrir una proporción del 78 % en el año 2010 a un 74 % en el 2015, se evidencio un incremento del número de parches en un 72,87 %; pasando de 1607 en el año 2010 a 2778 en el año 2015, lo que permite generar una idea global del nivel de fragmentación que sufrió el páramo de la RFPBOB en este periodo.

Las coberturas vegetales que presentaron mayor reducción de superficie en el periodo 2010-2015 fueron herbazal denso de tierra firme no arbolado, arbustal denso alto, pastos limpios y arbustal abierto, los cuales redujeron su proporcionalidad del área total de estudio en 27.8, 8.4, 5.6 y 4.6 puntos porcentuales, respectivamente. Por el contrario, el herbazal denso de tierra firme con arbustos, vegetación secundaria baja, bosque de galería y ripario, bosque denso bajo de tierra firme y cultivo de papa fueron las coberturas que incrementaron su proporcionalidad en el área de estudio en 9.7, 9.2, 7.2, 5.2 y 2.0 puntos porcentuales, respectivamente.

De las coberturas vegetales analizadas a excepción del arbustal denso alto, arbustal abierto, herbazal denso de tierra firme no arbolado y pastos arbolados, las demás incrementaron su número de parches siendo esto un indicio variación a un mayor grado de fragmentación que se

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

presentó en el bioma de páramo de la RFPBOB durante el periodo de tiempo analizado (2010-2015).

En el bioma de páramo de la RFPBOB se identificaron como valores objeto de conservación de filtro grueso diez unidades de coberturas vegetales naturales, para los cuales se procedió a establecer el valor de cada indicador, el estado, asignación de valor, siguiendo los planteamientos Ciontescu et al., (2014). De igual forma, acogiendo la propuesta de Zambrano et al., (2007) se estableció el promedio simple para cada atributo ecológico, así como para cada valor objeto de conservación (tabla 10).

Los indicadores de continuidad longitudinal y número de parches naturales de los atributos continuidad y configuración espacial fueron categorizados como no deseables en 7 de los 10 VOC. De igual modo, los indicadores de conectividad entre fragmentos y Índice del parche más grande se clasificaron como no deseables en 5 de los 10 VOC.

Los indicadores de área núcleo efectiva, área unidades naturales y Proporción unidades naturales de los atributos configuración espacial y heterogeneidad fueron categorizados como deseables en 7 de los 10 VOC. Asimismo, los indicadores Continuidad altitudinal y índice del parche más grande, de los atributos continuidad y configuración espacial fueron categorizados como deseables en 6 y 7 de los 10 VOC, respectivamente.

Usando el promedio de los valores obtenido para cada objeto de conservación se estableció la evaluación de la integridad ecológica del bioma de páramo de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá (tabla 11).

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

Tabla 8 Resultados de los Índices de Cada Atributo Atributos Ecológicos Obtenido para las Cobertura de la Tierra del Año 2010.

Atributo Ecológico Categoría	Heterogeneidad Composición			Configuración Espacial Composición y estructura				Continuidad Función		
	Métricas	Área total	Unidades espaciales naturales	Proporción	Número de parches	Índice parche más grande	Área núcleo efectiva	Áreas transformadas	Conectividad entre fragmentos	Continuidad longitudinal
Cobertura	(ha)	UN	%	NP	LPI	TCA	AT	ENN	Cohesión	Rango
1.1.2.2 zona suburbana	7,56	0	0,1	3	0,096	7,6	1	693,6	85,4	269,5
1.1.3.1.1 vivienda rural dispersa	3,51	0	0,1	21	0,009	3,5	1	268,0	31,9	257,0
1.1.3.2 vivienda rural nucleada	1,44	0	0,0	3	0,013	1,4	1	4322,3	61,8	293,5
1.2.1. zonas industriales o comerciales	1,89	0	0,0	6	0,012	1,9	1	3793,0	55,1	402,3
1.2.2. red vial ferroviarias y terreno	22,68	0	0,4	197	0,006	22,7	1	160,8	15,9	715,8
1.3.1.5 explotación de materiales de construcción	29,88	0	0,5	15	0,143	29,9	1	198,2	84,4	211,4
1.4.2.1.2 zonas religiosas	9,81	0	0,2	5	0,138	9,8	1	110,3	87,1	179,7
2.1.5.1 cultivo de papa	47,52	0	0,8	28	0,103	47,5	1	321,6	79,9	187,7
2.3.1 pastos limpios	584,73	0	9,6	80	4,084	584,7	1	196,4	96,9	492,3
2.3.3. pastos enmalezados	72,45	0	1,2	52	0,268	72,5	1	161,2	82,9	409,7
2.3.2 pastos arbolados	3,69	0	0,1	5	0,037	3,7	1	336,9	69,6	72,8
2.4.1 mosaico de cultivos	11,79	0	0,2	4	0,060	11,8	1	387,0	83,1	93,3
2.4.2 mosaico de pasto y cultivos	0,81	0	0,0	1	0,013	0,8	1	< 0	66,9	25,6
3.1.1.2.1 bosque denso bajo de tierra firme	256,95	1	4,2	40	1,257	257,0	0	158,5	94,5	409,5
3.1.4. bosque de galería y ripario	128,25	1	2,1	80	0,536	128,3	0	78,2	88,6	398,4
3.1.5.1. plantación de coníferas	336,06	0	5,5	122	0,543	336,1	1	140,3	89,1	423,0
3.1.5.3. plantación mixta	37,98	0	0,6	27	0,060	38,0	1	601,0	77,7	466,0
3.1.5.2. plantación de latifoliadas	145,89	0	2,4	41	0,664	145,9	1	210,4	90,8	389,8
3.2.1.1.1.1. herbazal denso de tierra firme no arbolado	1796,4	1	29,4	134	17,858	1796,4	0	104,6	98,7	800,0
3.2.1.1.1.3 herbazal denso de tierra firme con arbustos	833,94	1	13,6	229	1,190	833,9	0	121,7	92,5	706,4
3.2.1.1.1.4. frailejonal	424,17	1	6,9	22	5,941	424,2	0	294,7	98,3	355,2
3.2.1.2.2 herbazal abierto rocoso	181,62	1	3,0	39	0,630	181,6	0	159,0	91,2	700,0
3.2.2.1.1 arbustal denso alto	535,95	1	8,8	155	0,855	536,0	0	139,3	90,4	700,0
3.2.2.2 arbustal abierto	546,57	1	8,9	247	1,726	546,6	0	108,1	89,7	621,1
3.2.3.1 vegetación secundaria alta	3,6	1	0,1	3	0,041	3,6	0	1223,0	77,4	100,0
3.2.3.2 vegetación secundaria baja	54,81	1	0,9	18	0,412	54,8	0	735,3	90,3	387,1
3.3.2. afloramientos rocosos	27,99	1	0,5	18	0,143	28,0	0	286,9	81,1	500,0
3.3.3.1. tierras erosionadas	3,69	0	0,1	10	0,018	3,7	1	1199,3	57,7	144,9
5.1.2 lagunas, lagos y ciénagas natural	1,53	1	0,0	2	0,019	1,5	0	3301,2	68,1	262,9
Sumatorias	6.113	12	100,0	1607			17			

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

Tabla 9

Resultados de los Índices de Cada Atributo Atributos Ecológicos Obtenido para las Cobertura de la Tierra del Año 2015.

Atributo Ecológico Categoría	Heterogeneidad Composición			Configuración Espacial Composición y estructura				Continuidad Función		
	Métricas	Área total	Unidades espaciales naturales	Proporción	Número de parches	Índice parche más grande	Área núcleo efectiva	Áreas transformadas	Conectividad entre fragmentos	Continuidad longitudinal
Cobertura	(ha)	UN	%	NP	LPI	TCA	AT	ENN	Cohesión	Rango
1.1.2.2 zona suburbana	4,14	0	0,1	2	0,062	4,1	1	67,1	82,4	51,2
1.1.3.1.1 vivienda rural dispersa	17,82	0	0,3	88	0,029	17,8	1	267,1	42,5	600,0
1.1.3.2 vivienda rural nucleada	3,33	0	0,1	5,0	0,024	3,3	1	680,4	68,9	349,1
1.2.1. zonas industriales o comerciales	3,33	0	0,1	12	0,013	3,3	1	606,9	47,3	508,8
1.2.2. red vial ferroviarias y terrenos	33,12	0	0,5	286	0,007	33,1	1	119,3	15,8	715,8
1.3.1.5 explotación de materiales de construcción	20,52	0	0,3	17	0,074	20,5	1	766,2	78,2	325,5
1.4.2.1.2 zonas religiosas	6,03	0	0,1	9	0,068	6,0	1	79,2	78,0	117,2
2.1.5.1 cultivo de papa	168,39	0	2,8	72	0,493	168,4	1	244,6	88,6	161,3
2.3.1 pastos limpios	246,24	0	4,0	131	0,568	246,2	1	133,6	88,6	478,2
2.3.2 pastos arbolados	25,2	0	0,4	33	0,141	25,2	1	294,2	75,4	100,0
2.3.3. pastos enmalezados	18,9	0	0,3	38	0,025	18,9	1	551,4	63,7	280,2
2.4.1 mosaico de cultivos	66,24	0	1,1	9	0,562	66,2	1	448,5	92,6	112,1
2.4.2 mosaico de pasto y cultivos	32,76	0	0,5	11	0,153	32,8	1	964,8	87,3	118,4
3.1.1.2.1 bosque denso bajo de tierra firme	581,49	1	9,5	94	1,486	581,5	0	127,4	94,4	615,4
3.1.4. bosque de galería y ripario	569,7	1	9,3	407	0,415	569,7	0	81,0	87,4	688,5
3.1.5.1. plantación de coníferas	397,89	0	6,5	99	1,250	397,9	1	187,5	91,6	482,6
3.1.5.2. plantación de latifoliadas	124,47	0	2,0	41	0,461	124,5	1	210,0	90,4	519,8
3.1.5.3. plantación mixta	155,97	0	2,6	67	0,403	156,0	1	367,8	87,6	525,7
3.2.1.1.1.1 herbazal denso de tierra firme no arbolado	95,85	1	1,6	76	0,434	95,9	0	329,6	84,4	519,6
3.2.1.1.1.3 herbazal denso de tierra firme con arbustos	1426,05	1	23,3	359	1,637	1426,1	0	88,2	94,0	799,5
3.2.1.1.1.4. frailejonal	745,56	1	12,2	167	2,568	745,6	0	81,6	95,6	500,0
3.2.1.2.2 herbazal abierto rocoso	270	1	4,4	41	1,524	270,0	0	273,3	93,3	653,5
3.2.2.1.1 arbustal denso alto (retamo)	21,69	1	0,4	28	0,053	21,7	0	531,7	72,2	145,6
3.2.2.2 arbustal abierto	265,59	1	4,3	170	0,322	265,6	0	155,4	86,8	569,3
3.2.3.1 vegetación secundaria alta	99,09	1	1,6	57	0,294	99,1	0	228,1	84,9	690,3
3.2.3.2 vegetación secundaria baja	616,77	1	10,1	339	0,960	616,8	0	101,1	89,6	700,0
3.3.2. afloramientos rocosos	79,92	1	1,3	60	0,218	79,9	0	202,8	81,9	500,0
3.3.3.1. tierras erosionadas	14,49	0	0,2	47	0,056	14,5	1	417,2	61,6	661,4
5.1.2 lagunas, lagos y ciénagas natural	2,61	1	0,0	13	0,018	2,6	0	1364,6	45,6	313,0
sumatorias	6.113	12	100,0	2778,0			17			

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

Tabla 10

*Calificación del Valor Promedio de Cada Valor Objeto de Conservación del Bioma de Páramo de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá.*

Valor objeto de Conservación (VOC)	Índice (métrica)	Indicador	Estado	Calificación indicador	Promedio por atributo	Valor promedio VOC	Calificación del VOC
3.1.1.2.1 bosque denso bajo de tierra firme	Área unidades naturales (ha)	126,30	Deseable	5,0	5,0	4,11	Muy alto, Deseable
	Proporción unidades naturales (%)	5,30	Deseable	5,0			
	Número de parches naturales	-135,00	No deseable	1,0	3,7		
	Índice del parche más grande	18,22	Deseable	5,0			
	Área núcleo efectiva	126,26	Deseable	5,0	3,7		
	Conectividad entre fragmentos	19,62	Deseable	5,0			
	Continuidad longitudinal	0,11	No deseable	1,0			
	Continuidad altitudinal	50,28	Deseable	5,0			
3.1.4. bosque de galería y ripario	Área unidades naturales (ha)	344,21	Deseable	5,0	5,0	3,22	Medio, No deseable
	Proporción unidades naturales (%)	7,20	Deseable	5,0			
	Número de parches naturales	-408,75	No deseable	1,0	2,3		
	índice del parche más grande	-22,57	No deseable	1,0			
	Área núcleo efectiva	939,60	Deseable	5,0	2,3		
	Conectividad entre fragmentos	-3,58	No deseable	1,0			
	Continuidad longitudinal	1,35	No deseable	1,0			
3.2.1.1.1.1 herbazal denso de tierra firme no arbolado	Área unidades naturales (ha)	-94,66	No deseable	1,0	1,0	1,44	Bajo, No deseable
	Proporción unidades naturales (%)	-27,80	No deseable	1,0			
	Número de parches naturales	43,28	Deseable	5,0	2,3		
	índice del parche más grande	-97,57	No deseable	1,0			
	Área núcleo efectiva	-94,66	No deseable	1,0	1,0		
	Conectividad entre fragmentos	-215,11	No deseable	1,0			
	Continuidad longitudinal	14,49	No deseable	1,0			

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

Valor objeto de Conservación (VOC)	Índice (métrica)	Indicador	Estado	Calificación indicador	Promedio por atributo	Valor promedio VOC	Calificación del VOC
3.2.1.1.1.3 herbazal denso de tierra firme con arbustos	Continuidad altitudinal	-35,05	No deseable	1,0	5,0	4,56	Muy alto, Deseable
	Área unidades naturales (ha)	71,00	Deseable	5,0			
	Proporción unidades naturales (%)	9,70	Deseable	5,0			
	Número de parches naturales	-56,77	No deseable	1,0	3,7		
	índice del parche más grande	37,56	Deseable	5,0			
	Área núcleo efectiva	71,02	Deseable	5,0			
	Conectividad entre fragmentos	27,53	Deseable	5,0	5,0		
	Continuidad longitudinal	-1,62	Deseable	5,0			
	Continuidad altitudinal	13,18	Deseable	5,0			
	3.2.1.1.1.4. frailejonal	Área unidades naturales (ha)	75,77	Deseable	5,0		
Proporción unidades naturales (%)		5,30	Deseable	5,0			
Número de parches naturales		-659,09	No deseable	1,0			
índice del parche más grande		-56,77	No deseable	1,0	3,7		
Área núcleo efectiva		75,77	Deseable	5,0			
Conectividad entre fragmentos		72,31	Deseable	5,0			
Continuidad longitudinal		2,75	No deseable	1,0	5,0		
Continuidad altitudinal	40,77	Deseable	5,0				
3.2.1.2.2 herbazal abierto rocoso	Área unidades naturales (ha)	48,66	Deseable	5,0	3,7	3,67	Alto, Deseable
	Proporción unidades naturales (%)	1,40	Deseable	5,0			
	Número de parches naturales	-5,13	No deseable	1,0			
	índice del parche más grande	141,90	Deseable	5,0	2,3		
	Área núcleo efectiva	48,68	Deseable	5,0			
	Conectividad entre fragmentos	-71,89	No deseable	1,0			
	Continuidad longitudinal	-2,30	Deseable	5,0	1,0		
Continuidad altitudinal	-6,64	No deseable	1,0				
3.2.2.1.1 arbustal denso alto	Área unidades naturales (ha)	-95,95	No deseable	1,0	1,0	1,44	Bajo, No deseable
	Proporción unidades naturales (%)	-8,40	No deseable	1,0			
	Número de parches naturales	81,94	Deseable	5,0	2,3		
	índice del parche más grande	-93,80	No deseable	1,0			

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

Valor objeto de Conservación (VOC)	Índice (métrica)	Indicador	Estado	Calificación indicador	Promedio por atributo	Valor promedio VOC	Calificación del VOC
	Área núcleo efectiva	-95,95	No deseable	1,0	1,0		
	Conectividad entre fragmentos	-281,69	No deseable	1,0			
	Continuidad longitudinal	20,13	No deseable	1,0			
	Continuidad altitudinal	-79,20	No deseable	1,0			
3.2.2.2 arbustal abierto	Área unidades naturales (ha)	-51,41	No deseable	1,0	1,0	1,44	Bajo, No deseable
	Proporción unidades naturales (%)	-4,60	No deseable	1,0			
	Número de parches naturales	31,17	Deseable	5,0	2,3		
	índice del parche más grande	-81,34	No deseable	1,0			
	Área núcleo efectiva	-51,41	No deseable	1,0	1,0		
	Conectividad entre fragmentos	-43,76	No deseable	1,0			
	Continuidad longitudinal	3,23	No deseable	1,0			
	Continuidad altitudinal	-8,34	No deseable	1,0			
3.2.3.1 vegetación secundaria alta.	Área unidades naturales (ha)	2652,50	Deseable	5,0	5,0	4,56	Muy alto, Deseable
	Proporción unidades naturales (%)	1,50	Deseable	5,0			
	Número de parches naturales	-1800,00	No deseable	1,0	3,7		
	índice del parche más grande	617,07	Deseable	5,0			
	Área núcleo efectiva	2652,78	Deseable	5,0	5,0		
	Conectividad entre fragmentos	81,35	Deseable	5,0			
	Continuidad longitudinal	-9,69	Deseable	5,0			
	Continuidad altitudinal	590,30	Deseable	5,0			
3.2.3.2 vegetación secundaria baja.	Área unidades naturales (ha)	1025,29	Deseable	5,0	5	4,11	Muy alto, Deseable
	Proporción unidades naturales (%)	9,20	Deseable	5,0			
	Número de parches naturales	-1783,33	No deseable	1,0	3,7		
	índice del parche más grande	133,01	Deseable	5,0			
	Área núcleo efectiva	1025,55	Deseable	5,0	3,7		
	Conectividad entre fragmentos	86,25	Deseable	5,0			
	Continuidad longitudinal	0,78	No deseable	1,0			
	Continuidad altitudinal	80,83	Deseable	5,0			

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

Tabla 11

*Resultado de la Evaluación de la Integridad Ecología del Bioma de Páramo de la Reserva Forestal Protectora Bosque Orienta de Bogotá.*

Valor objeto de conservación (VOC)	Valor promedio VOC	Calificación del VOC
3.1.1.2.1 Bosque denso bajo de tierra firme	4,11	Muy alto, Deseable
3.1.4. Bosque de galería y ripario	3,22	Medio, No deseable
3.2.1.1.1.1 Herbazal denso de tierra firme no arbolado	1,44	Bajo, No deseable
3.2.1.1.1.3 Herbazal denso de tierra firme con arbustos	4,56	Muy alto, Deseable
3.2.1.1.1.4. Frailejonal	3,67	Alto, Deseable
3.2.1.2.2 Herbazal abierto rocoso	3,67	Alto, Deseable
3.2.2.1.1 Arbustal denso alto	1,44	Bajo, No deseable
3.2.2.2 Arbustal abierto	1,44	Bajo, No deseable
3.2.3.1 Vegetación secundaria alta	4,56	Muy alto, Deseable
3.2.3.2 Vegetación secundaria baja	4,11	Muy alto, Deseable
Promedio (Indicé de integridad ecológica del filtro grueso)	3,22	Calificación 4: La integridad ecológica se encuentra en estado deseable, requiriéndose mejora los esquemas de manejo.

El valor de integridad ecológica de 3.22 obtenido en este estudio para el bioma de paramo de la Reserva Forestal Protectora Bosque Orienta de Bogotá, es inferior a lo reportado por Avella et al., (2015) quien obtuvo un índice de 3,75 para páramo del pantano de Monquentiva ubicado en municipio de Guatavita del departamento de Cundinamarca.

Dentro de los resultados obtenidos cabe resaltar la condición no deseable y nivel medio de conservación de los bosque riparios, debido a que estas áreas son ambientalmente estratégicas para la conservación, por presentan alta biodiversidad de plantas, animales y brindar nichos ecológicos en la ronda de los ríos, lo que los hace de gran importancia ecológica en territorio ya que funcionan como corredores biológicos, así como ser considerados vitales para la protección de los ecosistemas acuáticos (Torres , 2005), por esta razones de mantenerse la tendencia observada, estos puede conllevar a un alto riesgo de procesos de deterioro de la reserva.

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

De manera general los resultados obtenidos permiten afirmar que una de las problemáticas del bioma de paramo está en la fuerte discontinuidad de las coberturas vegetales naturales, esta aseveración se fundamenta en los datos de indicador que continuidad longitudinal, el cual presento una evaluación no deseable casi todas las unidades espaciales analizadas, con excepción de la vegetación secundaria alta y lo herbazales abierto rocoso y denso de tierra firme con arbustos. Tomando en cuenta que este indicador posibilita inferir alteraciones funcionales en valores objeto de conservación, a partir de las variaciones estructurales que la matriz inicial por el incremento interrupciones en la cobertura, sumado al indicador del índice del parche más grande del atributo de configuración espacial, conllevan a que coberturas de importancia para la prestación de servicios ecosistémicos como los bosque riparios, pese a haber incrementado en la proporción de área dentro del bioma, en las condiciones de este análisis se evalúe en una categoría no deseable.

Dentro de los valores objeto de conservación clasificado en bajo estados de conservación y con tendencia no deseables se encuentra herbazal denso de tierra firme no arbolado (cobertura con código 3.2.1.1.1.1), debido a que con excepción del indicador número de parche, los restantes índices presentaron para el periodo de tiempo (2010-2015) un variación no deseable, esta situación puede atribuirse a la alta intervención y modificación del paisaje por uso del suelo en cultivos activos de papa (*Solanum tuberosum*) y pastos implementados en ganadería, como los identifico (Parra, 2013) y (Jaimes, 2002) quienes concluyeron que esta cobertura es producto de fuerte disturbios de tipo agropecuarios, que implica la destrucción de ecosistemas nativo de páramo y para el momento del análisis de coberturas el herbazal denso de tierra firme sin arbustos se encuentra dominado por especies de frailejones pionera o generalistas como *Espeletia argentea* (familia *Asteraceae*), planta que crece en zonas de fuerte disturbio antrópico, la cual presenta una alta dominancia en parcelas de descanso después de agricultura de 8 a 12

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

años y 12 a 15 años de abandono, y al cabo de este tiempo de residencia comienza su disminución natural dando paso al establecimiento de otras especies del género *Espeletia*.

Otro de los valores objeto de conservación clasificado en bajo estados de conservación y con tendencia no deseables son los asociados a los arbustales, en los estudios adelantados por (Parra, 2013) esta se caracteriza por tener una vegetación altura promedio de 7 m y una vegetación no mayor a 15 m, con dominancia de las especies de la especie *Weinmania tomentosa*, comúnmente llamada encenillo y con presencia de otras especies de tipo arbustivo. La dramática reducción de este tipo de cobertura vegetal original en los ambientes de alta montaña de Colombia ha sido reportada por (Rangel, 2002), quien afirma que la zona limítrofe entre la vegetación arbórea (cerrada) y la herbácea (abierta) prácticamente desapareció en la mayoría de localidades de todos los páramos porque las áreas originales se dedicaron al pastoreo o al cultivo de la papa, un hecho que se repite y se ha acelerado por la intervención antrópica, especialmente en los páramos bajo jurisdicción CAR, en donde se encuentra ubicada la RFPBOB. Sumado a lo anterior este mismo autor refiere como otro factor negativo en la diversidad florística del páramo los fenómenos de quemas continuas, que conllevan a que las especies lábiles desaparecen del lugar; las de hábito leñoso difícilmente superan el efecto del fuego y con esta práctica lentamente se va homogenizando la vegetación, en el contexto de presente estudio esta podría ser una de las causa de la condición de establecida en este estudios a los objetos de conservación asociados a coberturas de arbustos, los cuales posterior disturbios asociados a combustión han sido remplazadas por cobertura más homogéneas como el frailejónal o herbazales que no presentan especies de porte abusivo.

Lo anteriormente expuesto, presenta bases que permiten inferir que lo procesos succiónale de franja ubicada entre 3200 y 3600 m.s.n.m correspondiente al áreas de paramo bajo o subpáramo son ampliamente interrumpidos o nuevamente disturbados y requieren de una mayor

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

vigilancia y priorización de intervención con procesos de restauración ecológica activa que permitan la consolidación de vegetación dominante de arbustos y matorrales propios de estadio tardíos de la sucesión vegetal y a así cumplir el fin de preservación de la reserva forestal protectora de Bosque Oriental de Bogotá.

### 5 Conclusiones

Mediante la estimación de indicadores basados en las relaciones de las métricas de paisaje obtenidas para las coberturas del año 2010 y 2015, se pudo determinar explícitamente en un contexto de deseabilidad las variaciones positivas o negativas observadas, lo cual permitió establecer una base cualitativa para precisar el estado de conservación o recuperación de las unidades espaciales naturales evaluadas. Del total de análisis de variación realizados, se determinó que 47 presentaron un cambio con direccionalidad favorable y 37 de forma no propicia, para conservación de las áreas con cobertura vegetal nativa del bioma de paramo de la reserva forestal protectora Bosque Oriental de Bogotá.

Se establecieron diez valores objeto de conservación asociados a las coberturas vegetales naturales del bioma de paramo de la reserva forestal protectora Bosque Oriental de Bogotá; de estos se determinó que seis se encuentran en estado deseable, dos en alto y cuatro en muy alto grado de conservación, con un valor promedio de los tres atributos ecológicos evaluados, que oscilan entre 3,67 y 4,56, lo que supone que los cambios observados para el periodo de análisis en la vegetación secundaria alta y baja, los herbazal denso de tierra firme con arbustos y abiertos rocosos, los bosque denso bajo de tierra firme y el frailejónal, no implican riesgo para la presencia de elementos de la biodiversidad asociados a estos VOC. Por el contrario, se definió que cuatro se encuentra en una condición no deseada por presentar bajos nivel de conservación, como el

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

herbazal denso de tierra firme no arbolado, arbustal denso alto y arbustal abierto, para los cuales se obtuvo un valor promedio de 1,44 y el bosque ripario, con una valoración de 3,22, dictaminando un grado medio de conservación.

Bajo las condiciones de este estudio se determinó un índice de 3,22 para la integridad ecológica del bioma de páramo al interior de la Reserva Forestal protectora Bosque oriental de Bogotá, que según los criterios adoptados corresponde a una calificación de 4 sobre 5. Se estableció que el bioma de páramo se encuentra en un estado de conservación deseable, sin embargo, se pudo dictaminar la necesidad de ajustar las medidas de manejo del área protegida, así como la gestión sobre la misma, con el fin de prevenir que por lo menos cuatro objetos de conservación prosigan en procesos que conlleven a un alto riesgo de deterioro.

### Referencias

- Andrade, G. I., & Corzo, G. A. (2011). *¿Que y Donde Conservar?*. Bogotá D.C: Parque Nacionales Naturales de Colombia .
- Andreasen, J., O'Neill, R., Noss, R., & Slosser, N. (2001). Considerations for the development of a terrestrial index of ecological integrity. *Ecological Indicators*, 1(1), 21-35. doi:[https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(01)00007-3)
- Avella, A., Torres, S., Gómez, W., & Pardo, M. (2014). Los páramos y bosques altoandinos del pantano de Monquentiva o pantano de Martos (Guatavita, Cundinamarca, Colombia): caracterización ecológica y estado de conservación. *Biota Colombiana*, 15(1), 3-39. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49140739002>
- Bermudez, H. (2005). *Marco conceptual y metodología para la zonificación ecológica por unidades de paisaje* . Bogotá, D.C.: Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales.
- Ciontescu, N., Zabala, N. H., & Jarro, E. C. (2017). *Instructivo metodológico para evaluación de atributos ecológicos e integridad ecológica en áreas protegidas*. Bogotá D.C: Parques Nacionales Naturales.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR. (2016). *Modificación al plan de manejo reserva forestal protectora bosque oriental de bogotá*. Bogotá, D.C.: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. Obtenido de <https://www.car.gov.co/vercontenido/172>
- Corzo, G. (2004). *información para la planeación y seguimiento de la gestión de la conservación de la biodiversidadn situ*. Bogotá, D.C.: Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales.

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

- Ervin , J. (2003). Protected Area Assessments in Perspective. *BioScience*, 53(9), 8199-822. doi:[https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2003\)053\[0819:PAAIP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[0819:PAAIP]2.0.CO;2)
- Etter , A. (1994). *Consideraciones generales para el Estudio de la Cobertura Vegetal*. Bogotá D.C: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Fahrig, L., & Fahrig, G. (1994). Conservation of fragmented populations. *Conservation Biology*, 8(1), 50-59. Obtenido de <http://www.jstor.org/stable/2386720>
- Falla, P., Martinez, M., & Tellez, P. (2014). evidencias de la aplicación del enfoque ecosistémico en la zona núcleo de la Reserva de Biosfera El Tuparro. (P. n. Colombia, Ed.) *In situ*(2), 102-113.
- Fleming, M., DeAngeli, D., & Wolff, W. (1995). The Importance of Landscape in Ecosystem Integrity: The Example of Everglades Restoration Efforts. En L. Westra, & J. Lemons , *Perspectives on Ecological Integrity* (págs. 202-217). Dordrecht: Springer.
- Forman, R. (1995). *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Nueva York: Cambridge University Press.
- Gardner, R., Milne, B., Turnei , M., & O'Neill, R. (1987). Neutral models for the analysis of broad-scale landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1, pages19–28. doi:<https://doi.org/10.1007/BF02275262>
- Giraldo, A., Bolívar, W., Murillo, O., & Ospina, O. (2016). *Implementación de indicadores biológicos como herramienta para evaluar cambios en la integridad ecológica de los fragmentos de bosque seco tropical presentes en Victoria - la Dorada, Caldas*. Santiago de Cali,: CORPOCALDAS.
- Giraldo, A., Diazgranados, M., & Gutiérrez, C. (2014). Isla Gorgona, enclave estratégico para los esfuerzos de conservación Isla Gorgona, enclave estratégico para los esfuerzos de conservación. *Revista de Biología Tropical*, 62(1), 1-12. Obtenido de [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442014000500001](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442014000500001)

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

- Gómez, A. (1997). El paisaje agrario desde la perspectiva de la ecología. *Ciclo de Agricultura y Ecología* (págs. 45-182.). Valencia: Fundación Bancaixa.
- Herrera, B., & Corrale, L. (2004). *Manual para la evaluación y monitoreo de la integridad ecológica en áreas protegidas*. Guatemala de la Asuncion: POARCA/APM.
- Jaimes, V. (2002). *Estudio ecológico de una sucesión secundaria y recuperación de la fertilidad en un ecosistema de páramo [Tesis Magister Scientiae en Ecología Tropical, Universidad de Los Andes, Venezuela]*. Merida: Repositorio Institucional Universidad de Los Andes <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/35302>.
- McGarigal, K., & Marks, B. (1995). *Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. Portland: Department of Agriculture, Forest Service.
- McGarigal, K., Cushman, S., Neel, C., & Ene, E. (2015). *FRAGSTATS Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps (version 3) [software]*. USA: University of Massachusetts. Obtenido de <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- Median, M. (2005). *Análisis de Efectividad del Manejo de Areas Protegidas con Participación Social*. Cali: WWF Colombia.
- Montenegro, I. (2005). *Hacia el análisis de integridad ecológicas de los Parques Nacionales Naturales de Colombia*. Bogotá, D.C.: Parques nacionales naturales de colombia.
- Montenegro, I. (2005). *Imágenes de marco conceptual sobre criterio biológicos y ecológicos para la priorización eareas del sistema de parque nacionale natuarales*. Bogotá, D.C.: Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales.
- Parra, S. L. (2013). *Caracterización de coberturas vegetales Páramo de Rabanal Cundinamarca-Boyaca*. Bogotá, D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.11761/31206>
- Parrish, J., Braun, D., & Unnasch, R. (2003). Are We Conserving What We. *BioScience*, 53(9), 851-860. doi:[https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2003\)053\[0851:AWCWWS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[0851:AWCWWS]2.0.CO;2)

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

- Rangel, O. (2000). La región paramuna y franja aledaña en Colombia. En O. Rangel, *Colombia: diversidad biótica III* (págs. 1-23). Bogotá, D.C.: Universidad nacional de Colombia.
- Rappor, D., Costanza, R., Epsteln, P., Gaudet, C., & Levins, R. (1998). *Ecosystem Health*. New York: Blackwell Science.
- Restrepo, A., & Gómez, A. (2008). Un marco conceptual analítico para estimar la integridad ecológica a escala de paisaje. *ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura*, 184(729), 31-44. doi:<https://doi.org/10.3989/arbor.2008.i729.159>
- Rodríguez, J. (2014). *Informe final componente coberturas de la tierra en los páramos priorizados a escala 1:25.000 (metodología corine land cover adaptada para Colombia)*. Bogotá, D.C: Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Obtenido de <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9580/13-13-014-093CE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Romero, H., Cabrera, E., & Ortiz, N. (2008). *Informe sobre el estado de la biodiversidad en Colombia 2006- 2007*. Bogotá D. C: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.11761/34293>
- Sarmiento, C., Cortés, J., & Suárez, A. (2013). *Aportes a la conservación estratégica de los páramos de Colombia: actualización de la cartografía de los complejos de páramo a escala 1:100.000*. (I. d. Humboldt, Ed.) Bogotá, D.C: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.11761/31406>
- Schumaker, N. (1996). Using landscape indices to predict habitat connectivity. *Ecology*, 77(4), 1210-1225. Obtenido de <https://www.jstor.org/stable/2265590>
- Steiner, N. C., & Köhler, W. (2003). Effects of landscape patterns on species richness—a modelling approach. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98(1), 353-361. doi:[https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00095-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00095-1)

## INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA RESERVA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

- Torres, I. (2005). *Efecto del ancho los ecosistemas riparios en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras [Tesis de maestría Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza -CATIE]*.  
Turrialba: Repositorio Institucional  
<http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/4888>.
- Turner, I., & Corlett, R. (1996). Species Loss in Fragments of Tropical Rain Forest: A Review of the Evidence. *Journal of Applied Ecology*, 33(2), 200-209.  
doi:<https://doi.org/10.2307/2404743>
- Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales. (2011). *Lineamientos Técnicos Para La Formulación De Objetivos De Conservación Y Valores Objeto De Conservación*. Bogotá, D.C: Parques Nacionales Naturales de Colombia.
- Walschburger, T., Romero, M., Rosas, M., & Hurtado, A. (2006). *Análisis Ecorregional Chocó*. Bogotá, D.C.: World Wildlife Foundation Colombia.
- Westra, L. (1995). Ecosystem integrity and sustainability: The foundational value of the wild. En L. Westra, & J. Lemons, *Perspectives on ecological integrity* (págs. 12-33). Netherlands: Kluwer academic publishers.
- Zambrano, H., Pardo, M., & Naranjo, L. G. (2007). *Evaluación de integridad ecológica, propuesta metodológica. Herramienta para el análisis de efectividad en el largo plazo en el área del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia*. Bogotá, D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, WWF Colombia, Parques Nacionales Naturales de Colombia.
- Zonneveld, I., & Forman, R. (1990). *Changing Landscapes: An Ecological Perspective*. New York: Springer-Verlag .