

Eje Temático de Prevención de la Contaminación

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA DE LA TIERRA DEL  
PÁRAMO RABANAL – RÍO BOGOTÁ Y SU CONDICIÓN FRENTE A LOS  
ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO, UTILIZANDO SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

LAURA MERCEDES JIMENEZ BALLESTEROS

CODIGO: 68171010

Proyecto de Grado para Optar por el título de Especialista en Gerencia Ambiental

Director: Gabriel Arturo Sánchez Puig

M.Sc Geografía

Universidad Libre

Departamento de Posgrados Bogotá

2018

### **Declaratoria de originalidad:**

“La presente propuesta de trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental de la Universidad Libre no ha sido aceptado o empleado para el otorgamiento de calificación alguna, ni de título, o grado diferente o adicional al actual. La propuesta de trabajo de grado de especialización en Gerencia Ambiental es resultado de las investigaciones de la autora, excepto donde se indican las fuentes de Información consultadas”.

Laura Mercedes Jiménez Ballesteros

---

Código: 68171010

### **Recomendación:**

Realice una búsqueda bibliográfica rigurosa con respecto al tema a tratar en la propuesta de tal manera que se verifique con dicha actualización que el problema planteado no haya sido resuelto con anterioridad por otro grupo de investigación.

## Tabla de Contenido

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	5
2. JUSTIFICACIÓN.....	7
3. OBJETIVO.....	8
3.1 OBJETIVO GENERAL .....	8
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	8
4. ANTECEDENTES.....	9
4.1 Estado del arte a nivel internacional .....	9
4.2 Estado del arte a nivel nacional .....	9
5. MARCO REFERENCIAL .....	11
5.1 MARCO GEOGRÁFICO .....	11
5.1.1 Descripción general de la zona de estudio .....	11
5.2 MARCO TEORICO .....	17
5.2.1 Cambio climático.....	17
5.2.2 Páramo .....	18
5.2.3 Metodología CORINE Land Cover.....	19
5.3 MARCO CONCEPTUAL .....	19
5.4 MARCO NORMATIVO .....	25
6. MATERIALES Y MÉTODOS .....	28
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	31
6.1 Coberturas de la tierra del páramo Rabanal – río Bogotá de los periodos 2000 a 2002, 2005 a 2009 y 2010 a 2012.....	31
6.2 Cambios de cobertura de la tierra del páramo Rabanal-río Bogotá, para el periodo de 2000 al 2012. ....	38
6.3 Superposición de escenarios de cambio climático en el área de estudio ....	43
7. CONCLUSIONES .....	45
8. RECOMENDACIONES.....	46
9. BIBLIOGRAFÍA.....	47

## Lista de tablas

Tabla 1. Conceptos relacionados con la investigación .....	20
Tabla 2. Normatividad relacionada con la investigación.....	26
Tabla 3. Coberturas de tierra páramo Rabanal-río Bogotá, periodo 2000-2002 ...	33
Tabla 4. Coberturas de tierra páramo Rabanal-río Bogotá, periodo 2005-2009 ...	34
Tabla 5. Coberturas de tierra páramo Rabanal-río Bogotá, periodo 2010-2012 ...	37
Tabla 6. Cambios de cobertura periodo 2000 a 2005 .....	40
Tabla 7. Cambios de cobertura .....	41

## Lista de figuras

Figura 1. Delimitación páramo Rabanal - río Bogotá.....	12
Figura 2. Mapa de localización de estaciones meteorológicas ubicadas en el área de influencia de Rabanal .....	14
Figura 3. Mapa de coberturas de la tierra a escala 1:100.000 Corine Land Cover .....	17
Figura 4. Cobertura de tierra páramo Rabanal-río Bogotá, periodo 2000 a 2002 .	32
Figura 6. Coberturas de la Tierra periodo 20005-2009 del páramo Rabanal-río Bogotá .....	34
Figura 7. Coberturas de la tierra periodo 2010-2012 del páramo Rabanal-río Bogotá .....	36
Figura 8. Cambios en las coberturas de la tierra del páramo, para el periodo 2000 a 2005 .....	40

Figura 9. Cambios en las coberturas de la tierra del páramo, para el periodo 2005 a 2010 .....	41
Figura 10. Páramo Rabanal-río Bogotá frente a escenario de precipitación 2011-2040 .....	44
Figura 11. Páramo Rabanal-río Bogotá frente a escenario de temperatura 2011-2040 .....	45

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad el cambio climático es uno de los mayores problemas que enfrenta la humanidad, la evidencia de sus impactos se ha observado con el incremento de la temperatura a nivel global acelerando el derretimiento de los glaciales, del permafrost y el deshielo en las regiones de altas latitudes y en las regiones elevadas, alterando así el ciclo hidrológico y la disponibilidad de este recurso para la vida en la Tierra (IPCC, 2007).

Las regiones montañosas más elevadas del planeta se ubican en la región de los Himalaya, Andes y Alpes, estas regiones son importantes porque ofrecen gran variedad de servicios ecosistémicos, pero a su vez son los más vulnerables a ser afectados por los incrementos de la temperatura a nivel global (Beniston, 2003).

Colombia posee más del 33% del territorio en ecosistemas de montaña y geográficamente cuenta con la división de la cordillera de los Andes. Allí se encuentran coberturas de tierra propias de la región andina colombiana, como la cobertura de páramo herbazal, la cual constituye una fuente de agua que alimenta

los ríos de las principales cuencas hidrográficas colombianas (Morales M., 2007). No es exagerado decir que prácticamente todos los sistemas fluviales de los países andinos septentrionales nacen en los páramos y que los sistemas de riego, agua potable y generación de energía por hidroeléctricas dependen, en gran medida, de la capacidad del ecosistema de páramo para regular los flujos hídricos (Hofstede, 2002, p. 21 como se citó en Sarmiento, et al., 2013).

Los páramos se ubican como un corredor interrumpido entre la cordillera de Mérida en Venezuela hasta la depresión de Huancabamba al norte de Perú, con dos complejos más separados, que son los páramos en Costa Rica y la Sierra Nevada de Santa Marta (Hofstede, 2003). A nivel mundial los ecosistemas de páramo se encuentran en los siguientes países: Ecuador, Perú, Venezuela, Costa Rica y Colombia (Hofstede, et al., 2014). Las condiciones climáticas propias de los ecosistemas de páramo se caracterizan por presentar temperaturas promedio debajo de 10 °C, fuerte rango de temperatura diurna, cielos nublados, días de niebla, altas cantidades de radiación UV, fuertes vientos y lluvia ligera (Ruiz D., et al., 2008). En nuestro país ocupan una superficie cercana al 3% del área continental del territorio nacional; no obstante, este porcentaje representa el 50% de los páramos del mundo (Hofstede, et al., 2014).

Uno de los complejos de páramo más importantes del país es el de páramo de Rabanal – Río Bogotá delimitado de esa forma por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS en 2016, el cual constituye el origen de dos cuencas principales, la primera es la cuenca del Orinoco a través del río Garagoa, que drena hacia el oriente en el departamento de Boyacá y la segunda es la cuenca del río

Magdalena a través del río Ubaté – Suarez, el páramo de Rabanal adquiere mayor relevancia regional por el servicio de oferta del recurso hídrico que presta a más de catorce (14) municipios y a la ciudad de Tunja con 191.800 habitantes (CAR, et al., 2014).

Debido a la importancia ecosistémica del páramo Rabanal-Río Bogotá y a los posibles cambios que pueden presentarse a futuro en las coberturas de la tierra del páramo, como consecuencias de los efectos del cambio climático es relevante generar mayor información sobre esta zona de estudio y las relaciones y afectaciones que pueda sufrir en el futuro.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Los efectos de la variabilidad climática y el cambio climático en Colombia ya están siendo evidentes durante el año 2010, el país tuvo que afrontar pérdidas de cerca del 2.2% del PIB debido al fenómeno de La Niña más intenso registrado y en los años 2015 a 2016 se evidenció una sequía intensa y prolongada que dejó 318 municipios vulnerables al desabastecimiento de agua, atribuido al fenómeno del Niño (García Arbelaez, 2016), así mismo los ecosistemas estratégicos, la fauna y flora del país se vieron directamente afectadas.

La creciente preocupación e incertidumbre sobre los efectos que tiene el cambio climático en los ecosistemas de alta montaña, entre estos los páramos ha generado la necesidad de realizar investigaciones enfocadas en este tema, en la actualidad para Colombia, que es el país con mayor porcentaje de ecosistemas de páramo en el mundo, no existen investigaciones relacionadas con el tema.

Esta investigación busca generar mayor información para aquellas entidades encargadas de las políticas y toma de decisiones ambientales, centren sus esfuerzos en generar nuevas acciones que contribuyan a la disminución de la vulnerabilidad de los ecosistemas de alta montaña ante los efectos del cambio climático.

### 3. OBJETIVO

#### 3.1 OBJETIVO GENERAL

- Analizar multi-temporalmente las coberturas de la tierra del páramo Rabanal-río Bogotá y su condición frente a los escenarios de cambio climático utilizando sistemas de información geográfica – SIG.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la cobertura del suelo predominante en el complejo del páramo Rabanal – río Bogotá, para los periodos 2000-2002, 2005-2009 y 2010-2012.
- Analizar los cambios de las coberturas de la tierra del páramo Rabanal – río Bogotá en el periodo 2000 a 2012.
- Analizar la condición del páramo Rabanal – río Bogotá frente a los escenarios de cambio climático en temperatura y precipitación del periodo 2011 a 2040.



#### 4. ANTECEDENTES

Para la presente investigación se tomaron como referencia estudios a nivel internacional y nacional que tienen información significativa de las posibles relaciones entre el cambio climático y los cambios de las coberturas de la tierra en los ecosistemas de alta montaña, además se recopiló información técnica, económica, ambiental, social y normativa detallada sobre la zona de estudio del Páramo Rabanal.

##### 4.1 Estado del arte a nivel internacional

Un estudio reciente de la Universidad de Washington Bothell (Lopez, Wright, & Costanza, 2016), sobre el cambio ambiental de los Andes ecuatoriales con relación a los usos del suelo y las transformaciones de la cobertura de la tierra que se desarrolló basado en la teledetección y sensores remotos, obtuvo resultados que evidencian que la reducción de pastizales nativos (páramo), pérdida de la extensión del glaciar en el volcán Cotopaxi, desplazamientos altitudinales de la vegetación herbácea, suelos desnudos y los cambios de área de las principales coberturas del suelo pueden estar asociadas a los cambios de precipitación y temperatura para un periodo de tiempo comprendido entre 1976 a 2013.

##### 4.2 Estado del arte a nivel nacional

El ecosistema Páramo Rabanal cuenta con varios estudios, que se han realizado en conjunto con diferentes entidades como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS, IDEAM, Humboldt, la Corporación Autónoma Regional de

Cundinamarca – CAR, CORPOCHIVOR, CORPOBOYACÁ e instituciones académicas.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible recientemente publicó la Resolución 1768 del 2016, por medio de la cual se delimita el Páramo Rabanal – Río Bogotá y se adoptan otras determinaciones entre estas la del páramo como Determinante Ambiental en la planificación territorial.

Por otro lado, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales realizó un estudio denominado: “Aproximación a un modelo para evaluación de la vulnerabilidad de las coberturas vegetales de Colombia ante un posible cambio climático utilizando SIG con énfasis en coberturas nival y paramos”.

Otro proyectos del área de estudio es la “Formulación e Implementación Participativa del Plan de Manejo y Uso Sostenible del Páramo de Rabanal” del año 2000 al 2001, el cual se desarrolló en conjunto con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS, FONADE, CORPOBOYACÁ, CORPOCHIVOR, mediante crédito con el Banco Interamericano de Desarrollo –BID, como resultado se obtuvo la caracterización de la línea base y la generación de programas y estrategias para el manejo y uso sostenible del páramo, otro de los estudios se desarrolló en el 2008.

## 5. MARCO REFERENCIAL

### 5.1 MARCO GEOGRÁFICO

#### 5.1.1 Descripción general de la zona de estudio

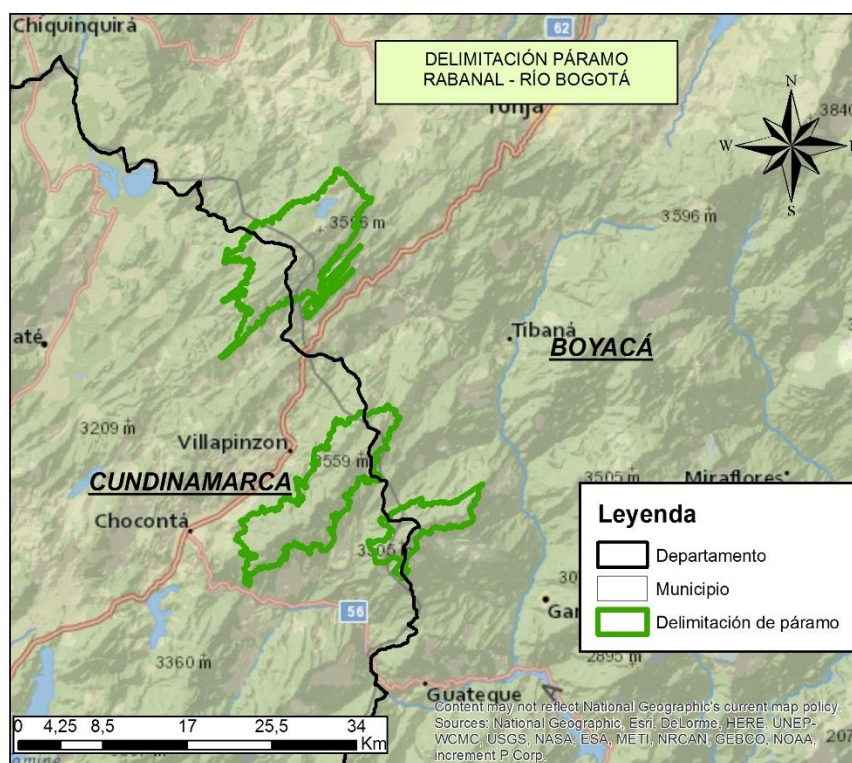
##### 5.1.1.1 Localización del Páramo Rabanal

El páramo Rabanal está ubicado en el Sector de la Cordillera Oriental, Distrito de Páramos de Cundinamarca, Complejo Rabanal –Nacimiento del Río Bogotá, en límites entre los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, de acuerdo con los límites planteados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt – IAvH, en el Atlas de Páramos de Colombia (Morales, y otros, 2007).

El páramo de Rabanal puede considerarse como un macizo aislado ya que, por lo menos en la actualidad se encuentra muy distanciado de sus complejos vecinos (12 km del Nacimiento del Río Bogotá; 15 km del SFF Iguaque y 18 km del Complejo del Páramo de Guerrero), por lo cual no hace parte integral de un corredor biológico o complejo como tal. Este carácter insular del páramo de Rabanal le confiere importancia ecosistémica, si se tiene en cuenta el grado de endemismo biológico que eventualmente pueda alojar, pero su mayor importancia, considerando su ubicación estratégica se manifiesta en la gran riqueza hídrica para la región que se beneficia de sus servicios ambientales (CAR, y otros, 2014).

La delimitación oficial del páramo Rabanal – río Bogotá. Con un área total aproximada de 24.646 Ha, se encuentra ubicado en los límites de los departamentos

de Cundinamarca y Boyacá, en la jurisdicción de los municipios: La Capilla, Pachavita, Ráquira, Samacá, Turmequé, Úmbita, Ventaquemada, Chocontá, Guachetá, Lenguazaque, Machetá, Tibirita y Villapinzón. Adicionalmente el páramo, se encuentra en la jurisdicción de tres corporaciones autónomas regionales que son: la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CORPOCHIVOR y CORPOBOYACÁ.



**Figura 1.** Delimitación páramo Rabanal - río Bogotá.

Fuente: Autor, procesamiento de la capa de delimitación del páramo año 2016, tomada de la Corporación Autónoma de Cundinamarca-CAR

### 5.1.1.2 Climatológica general

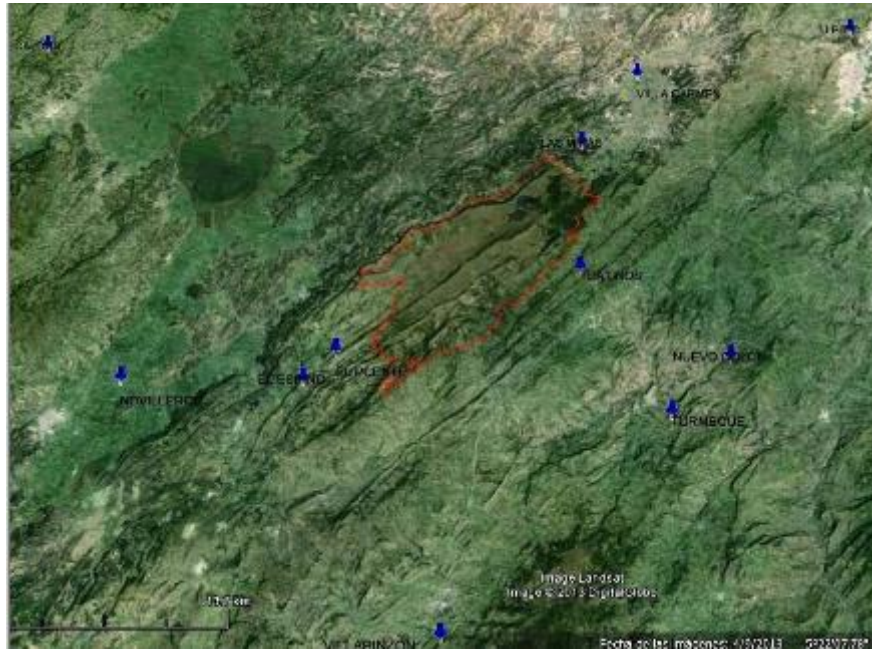
Según el Atlas de Páramos (Morales, y otros, 2007), las condiciones climáticas de la región de Rabanal están dadas por las diferencias de humedad en las vertientes

donde hay mayor humedad en la oriental y menor la occidental. La precipitación de la zona varía entre 650 y 950 mm (promedio multianual), y se clasifica, según el sistema de Caldas-Lang, en semihúmedo a seco, aunque las diferencias no son muy considerables.

- Precipitación

El promedio de precipitación para las estaciones ubicadas en la vertiente oriental (Ventaquemada, Turmequé, Nuevo Colón) alcanza los 887,3 mm es ligeramente mayor al de la vertiente occidental (Lenguazaque, Guachetá, Ubaté, Ráquira, Samacá) que alcanza los 765,5 mm pero la diferencia no es lo suficientemente significativa para una factible zonificación climática de la región. Por su parte, las estaciones de Tunja y Villapinzón ubicadas al norte y sur del macizo de Rabanal, por fuera de sus cuencas principales presentan menor precipitación promedio anual (606,1 y 613,4 mm respectivamente) promedio que resulta mucho menor incluso que el de la vertiente más seca (occidental) (CAR, y otros, 2014).

El mayor promedio de precipitación multianual se registra para la estación Ráquira ubicada paradójicamente sobre la vertiente seca, pero esto podría ser también atribuible a su mayor altitud (2.970 m.s.n.m.), lo cual sugiere que la diferencia altitudinal probablemente refleje mayores diferencias sobre la precipitación que la ubicación sobre una cuenca determinada. Posteriormente al período analizado (1974-1999) se implementaron nuevas estaciones climáticas en el páramo propiamente dicho (Teatinos, Rabanal Automática, El Puente) cuyo análisis en el marco de entorno local podrán dar mayores luces al respecto (CAR, y otros, 2014).



**Figura 2.** Mapa de localización de estaciones meteorológicas ubicadas en el área de influencia de Rabanal  
Fuente: CAR, 2014

- Temperatura

De acuerdo con los últimos estudios técnicos a escala 1:25000 de (CAR, y otros, 2014), se obtuvieron los siguientes resultados que brindar información actualizada sobre el comportamiento de la temperatura en el complejo Rabanal.

Para la vertiente oriental del páramo de Rabanal (cuenca del Garagoa), de acuerdo con los datos de la estación climática Nuevo Colon la temperatura fluctúa entre una mínima mensual (promedio multianual) de 12,0 °C y una máxima mensual (promedio multianual) de 16,5 °C, con un valor promedio multianual de 14,4 °C; los meses que registran mayor incremento en la temperatura son: febrero, marzo, abril, octubre, noviembre y diciembre, mientras que los meses que registran bajas

temperaturas son mayo, junio, julio, agosto y septiembre, coincidiendo con la época de lluvias.

Con relación a la variación multianual de la temperatura se registra información para las estaciones de Turmequé–Nuevo Colón, correspondiente al período 1980–1998; se observa una variación en los promedios anuales de 1,6 grados centígrados, con un mínimo de 13,8 grados centígrados para el año 1986 y un máximo de 15,4 grados para el año 1982. Aun cuando se registran notables variaciones de un año a otro particularmente entre los períodos 1980–1985 y 1993–1998, no se observa una tendencia con indicios de cambio climático, por lo menos para el período analizado.

#### 5.1.1.3 Hidrología

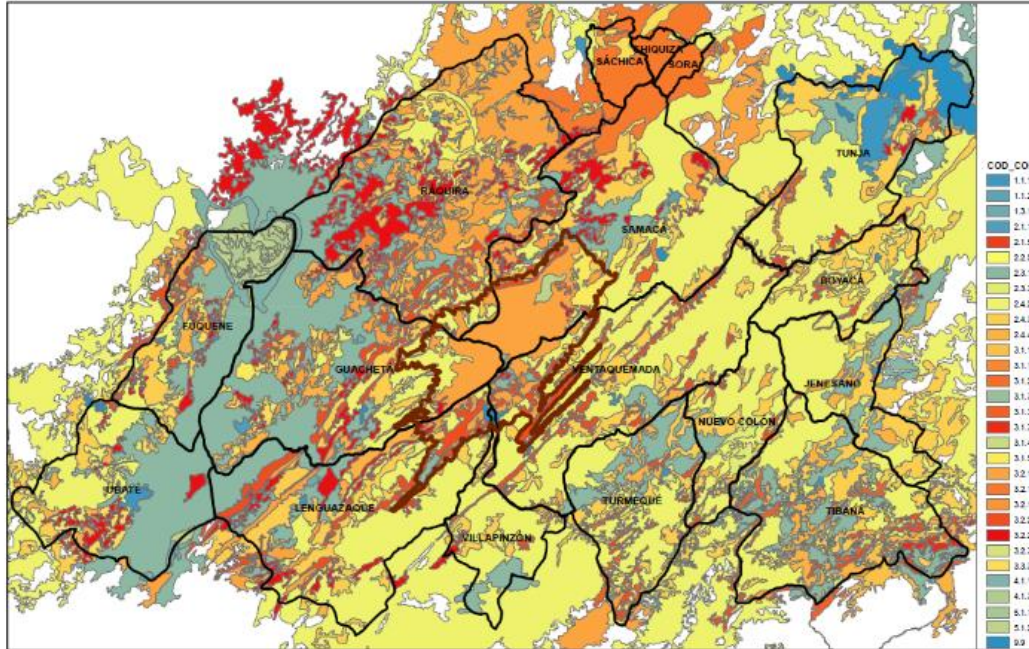
El páramo de Rabanal constituye una importante estrella hidrográfica regional ya que aloja los nacimientos de los mayores tributarios de la cuenca alta de los ríos Garagoa o Chivor (perteneciente a la gran cuenca del Orinoco) y Ubaté–Suárez (tributarios de la gran cuenca del Magdalena). De acuerdo con la clasificación hidrográfica del IDEAM (2013), la mayor área del entorno regional está ocupada por las cuencas de los ríos Suárez, sobre la vertiente occidental y Garagoa o Chivor, sobre la vertiente oriental. No obstante también se incluyen pequeñas porciones de la cuenca del río Chicamocha, al norte, en el municipio de Tunja y de la cuenca del río Bogotá, al sur, en el municipio de Villapinzón, ya que estos sectores dependen del abastecimiento hídrico del páramo de Rabanal (CAR, y otros, 2014).

#### 5.1.1.4 Coberturas de la tierra

De acuerdo con el estudio técnico, económico, social y ambiental para la delimitación del páramo Rabanal a escala 1:25.000, realizado por la CAR en 2014, se pueden observar una predominancia de áreas intervenidas o agrosistemas andinos, que invadieron las áreas correspondientes a vegetación característica de páramo, particularmente en las vertientes oriental y suroriental del páramo de Rabanal (cuencas de los ríos Teatinos, Ventaquemada y Albarracín), sur y suroccidental (cuencas de los ríos Lenguazaque y Ubaté) (CAR, y otros, 2014).

En el estudio se adopta el mapa de coberturas de la tierra a escala 1:100.000 del IDEAM en nomenclatura Corine Land Cover, en el que se observa que las coberturas de agrosistemas como el Mosaico de Pastos y Cultivos (código 2.4.2.) y Pastos Limpios (código 2.3.1.) y los ecosistemas naturales como el Herbazal Denso de Tierra Firme (código 3.2.1.), que corresponde a vegetación característica de páramo, son predominantes en el área de estudio.





**Figura 3.** Mapa de coberturas de la tierra a escala 1:100.000 Corine Land Cover

Fuente: IDEAM 2013 adoptado por CAR 2014.

## 5.2 MARCO TEORICO

### 5.2.1 Cambio climático

El cambio climático se define como la variación del estado del clima, identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima

observada durante períodos de tiempo comparables”. La CMNUCC diferencia, pues, entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales.

### 5.2.2 Páramo

Según (Hofstede, y otros, 2014), el páramo es un concepto europeo que dieron nombre nuevo a las altas montañas ecuatoriales. No sólo fueron «bautizadas» con una voz celta acogida por el latín y transmitida a las lenguas romances donde páramo significa meseta desértica y árida batida por el viento; sino que su nueva definición, procurando conceptualizar los biomas ecuatoriales de alta montaña, estuvo condicionada por las características de las montañas mediterráneas, principalmente los Alpes. Este origen europeo del concepto “páramo” se mezcló con el concepto “urku” (Ecuador) o “jalca” (Perú) que los pueblos americanos manejan para sus cerros.

El páramo es un ecosistema, un bioma, un paisaje, un área geográfica, una zona de vida, un espacio de producción e inclusive un estado del clima. Esta complejidad de sentidos y de visiones refleja la gran importancia del páramo pero a la vez es el origen de muchos malentendidos y hasta de malas intenciones por parte de ciertos grupos de interés.

El concepto general de páramo es claro (ecosistema de alta montaña del trópico húmedo, dominado por vegetación abierta y ubicado entre el límite del bosque cerrado y las nieves perpetuas), su definición exacta varía, lo cual dificulta saber exactamente lo que se considera páramo en algún lugar determinado.

### 5.2.3 Metodología CORINE LAND COVER

Una de las metodologías para abordar la identificación de coberturas de la tierra y trabajar los sistemas de información geográfica es la metodología CORINE land Cover, En Colombia se realizó la adaptación de la metodología a escala 1:100000 en el proyecto de identificación de Mapas de cobertura de la tierra para la cuenca Magdalena Cauca, la investigación estuvo liderada por el Instituto de investigación Alexander von Humbolt, CORMAGDALENA y el Instituto Geográfico Agustí Codazzi.

Según (IDEAM, IGAC, & CORMAGDALENA, 2008) las principales ventajas de la metodología CORINE Land Cover son las siguientes:

- Permite obtener una capa de cobertura de la tierra de una manera relativamente rápida y sencilla, teniendo una de las mejores relaciones calidad-costo existente.
- Su aplicación permite la comparación de datos y porcentajes de uso y ocupación del territorio entre los países europeos y aquellos de América del Sur que lo adopten.
- Permite hacer análisis multitemporales de ocupación del territorio de una manera relativamente sencilla y rápida (en Europa este análisis se realiza cada 5 años).

### 5.3 MARCO CONCEPTUAL

A continuación se describen los conceptos claves para el desarrollo de la presente investigación con referencia en el (IPCC, 2007).

**Tabla 1.** Conceptos relacionados con la investigación

CONCEPTO	DESCRIPCIÓN
Biodiversidad	Toda la diversidad de organismos y de ecosistemas existentes en diferentes escalas espaciales (desde el tamaño de un gen hasta la escala de un bioma).
Bioma	Uno de los principales elementos regionales de la biosfera, claramente diferenciado, generalmente constituido por varios ecosistemas (por ejemplo: bosques, ríos, estanques, o pantanos de una misma región con condiciones climáticas similares). Los biomas están caracterizados por determinadas comunidades vegetales y animales típicas.
Clima	El clima se suele definir en sentido restringido como el estado promedio del tiempo y, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante períodos que pueden abarcar desde meses hasta millares o millones de años. El período de promediación habitual es de 30 años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial. Las magnitudes correspondientes son casi siempre variables de superficie (por ejemplo, temperatura, precipitación o viento). En un sentido

	<p>más amplio, el clima es el estado del sistema climático en términos tanto clásicos como estadísticos. En varios capítulos del presente informe se utilizan también diferentes períodos de promediación, por ejemplo de 20 años.</p>
<p>El Niño- Oscilación Austral (ENOA)</p>	<p>El término El Niño denotaba inicialmente una corriente de aguas cálidas que discurre periódicamente a lo largo de la costa de Ecuador y Perú, alterando la pesquería local. Posteriormente se ha identificado como un calentamiento del agua en toda la cuenca del Océano Pacífico tropical al este de la línea horaria. Este fenómeno está asociado a cierta fluctuación de una pauta mundial de presiones en la superficie tropical y subtropical, denominada ‘Oscilación Austral’. Este fenómeno atmósfera-océano acoplado, cuya escala de tiempo más habitual abarca entre dos y aproximadamente siete años, es conocido como El Niño-Oscilación Austral (ENOA). Su presencia suele determinarse en función de la anomalía de presión en superficie entre Darwin y Tahití y de las temperaturas de la superficie del mar en la parte central y oriental del Pacífico ecuatorial. Durante un episodio de ENOA, los vientos alisios habituales se debilitan, reduciendo el flujo ascendente y alterando las corrientes oceánicas, con lo que aumenta la temperatura superficial del mar, lo cual debilita, a su vez, los vientos alisios. Este fenómeno afecta</p>

	<p>considerablemente a las pautas de viento, de temperatura superficial del mar y de precipitación en el Pacífico tropical. Sus efectos influyen en el clima de toda la región del Pacífico y de muchas otras partes del mundo mediante tele conexiones en toda la extensión del planeta. La fase fría de ENOA se denomina La Niña.</p>
<p>Gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH)</p>	<p>Planteamiento más extendido en el ámbito de la gestión de recursos hídricos, que, sin embargo, no ha sido definido inequívocamente. La GIRH está basada en cuatro principios formulados por la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente, celebrada en Dublín en 1992: 1) el agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para el sostenimiento de la vida, del desarrollo y del medio ambiente; 2) el desarrollo y gestión del agua deben estar planteados en términos participativos, incorporando de ese modo a usuarios, planificadores y responsables de políticas en todos los niveles; 3) las mujeres desempeñan un papel esencial en el abastecimiento, gestión y protección de los recursos hídricos; 4) el agua tiene un valor económico allí donde su uso suscite competencia y ha de reconocerse como un bien económico.</p>
<p>Mitigación</p>	<p>Cambios y reemplazos tecnológicos que reducen el insumo de recursos y las emisiones por unidad de producción. Aunque hay varias políticas sociales, económicas y tecnológicas que</p>

	<p>reducirían las emisiones, la mitigación, referida al cambio climático, es la aplicación de políticas destinadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y a potenciar los sumideros.</p>
<p>Sequía</p>	<p>En términos generales, la sequía es una “ausencia prolongada o insuficiencia acentuada de precipitación”, o bien una “insuficiencia que origina escasez de agua para alguna actividad o grupo de personas”, o también “un período de condiciones meteorológicas anormalmente secas suficientemente prolongado para que la ausencia de precipitación ocasione un importante desequilibrio hidrológico”.</p> <p>La sequía se ha definido de distintas maneras. La sequía agrícola denota un déficit de humedad en el metro más externo de espesor del suelo (la zona radicular), que afecta los cultivos; la sequía meteorológica se identifica principalmente mediante un déficit prolongado de precipitación; y la sequía hidrológica se caracteriza por un caudal fluvial o por un nivel lacustre y freático inferior a los valores normales. Las mega sequías son sequías prolongadas y extensas que duran mucho más de lo normal, generalmente un decenio como mínimo</p>
<p>Sistema climático</p>	<p>El sistema climático es un sistema muy complejo que consta de cinco componentes principales (atmósfera, hidrosfera, criosfera, superficie terrestre y biosfera) y de las interacciones</p>

	<p>entre ellos. El sistema climático evoluciona en el tiempo bajo la influencia de su propia dinámica interna y por efecto de forzamientos externos, como las erupciones volcánicas o las variaciones solares, y de forzamientos antropógenos, como el cambio de composición de la atmósfera o el cambio de uso de la tierra.</p>
<p>Uso de la tierra y cambio de uso de la tierra</p>	<p>El uso de la tierra es el conjunto de disposiciones, actividades y aportes en relación con cierto tipo de cubierta terrestre (es decir, un conjunto de acciones humanas). Designa también los fines sociales y económicos que guían la gestión de la tierra (por ejemplo, el pastoreo, la extracción de madera, o la conservación). El cambio de uso de la tierra es un cambio del uso o gestión de la tierra por los seres humanos, que puede inducir un cambio de la cubierta terrestre. Los cambios de la cubierta terrestre y de uso de la tierra pueden influir en el albedo superficial, en la evapotranspiración, en las fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero, o en otras propiedades del sistema climático, por lo que pueden ejercer un forzamiento radiativo y/o otros impactos sobre el clima, a nivel mundial y local.</p>
<p>Variabilidad climática</p>	<p>El concepto de variabilidad climática denota las variaciones del estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del clima en todas las escalas</p>



	<p>espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropógenos (variabilidad externa).</p>
Vulnerabilidad	<p>Grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático y, en particular, la variabilidad del clima y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático a que esté expuesto un sistema, y de su sensibilidad y capacidad de adaptación</p>

#### 5.4 MARCO NORMATIVO

A continuación se describen los principales instrumentos normativos sobre cambio climático a nivel Internacional, nacional y otras acciones.

**Tabla 2.** Normatividad relacionada con la investigación

NORMA	AÑO	DESCRIPCIÓN
1er Informe de Evaluación IPCC	1990	Consta de tres informes sobre aspectos científicos, los impactos y estrategias de respuesta.
Adopción de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático CMNUCC	1992	El objetivo fundamental de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) es impedir la interferencia «peligrosa» del ser humano en el sistema climático.
2do Informe de evaluación IPCC	1995	Publicación del documento síntesis del segundo informe del IPCC sobre la información técnica de cambio climático
Adopción del Protocolo de Kioto	1997	El protocolo compromete a los países industrializados a estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero. La Convención por su parte solo alienta a los países a hacerlo.
3er Informe de Evaluación IPCC	2001	Impactos, adaptación y vulnerabilidad al cambio climático a nivel mundial.
4 to Informe de evaluación del IPCC	2007	Ofrece una panorámica integrada del cambio climático a nivel mundial.
Cop 20	2014	Se establece la agenda Lima-Paris

5 to Informe del IPCC	2014	El IPCC publica el quinto informe sobre cambio Climatico
Fondo Verde del Clima	2015	Aprobación de primeros proyectos financiados a través del Fondo Verde del Clima
Cop 21	2015	Adopción del acuerdo parís.
Ley 99	1993	Ley General Ambiental de Colombia
Ley 164	1994	Aprobación de la CMNUCC
Ley 629	2000	Aprobación Protocolo de Kioto
1ra comunicación Nacional	2001	IDEAM publica Primera Comunicación Nacional sobre cambio climático.
CONPES 3242	2003	Estrategia institucional para venta de servicios ambientales de mitigación
Decreto 291	2004	Designación IDEAM coordinador elaboración Comunicaciones Nacionales.
Resolución 0453	2004	Aprobación proyectos de reducción de emisiones GEI que optan al MDL
2da comunicación Nacional	2010	IDEAM publica Segunda Comunicación Nacional sobre cambio climático.
CONPES 3700	2011	Estrategia de articulación de políticas y acciones en cambio climático
Creación Fondo de Adaptación	2011	De acuerdo con el lineamiento de la estrategia de Adaptación al cambio climático

		que establece el CONPES 3700, se crea el Fondo de Adaptación.
PACC y ECDBC	2012	Inicia Plan Nacional de Adaptación y Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono.
1er reporte bienal de GEI	2015	IDEAM publica el BUR, primer informe sobre el inventario de gases efecto invernadero de Colombia
3era Comunicación	2016	IDEAM publica 3era comunicación de Cambio climático en Colombia
Decreto 298	2016	Se crea el SISCLIMA
Política Nacional de Cambio Climático	2017	El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible lanza la política nacional de cambio climático con líneas de acción y estrategias claras para hacerle frente al cambio climático desde lo local, regional y nacional.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

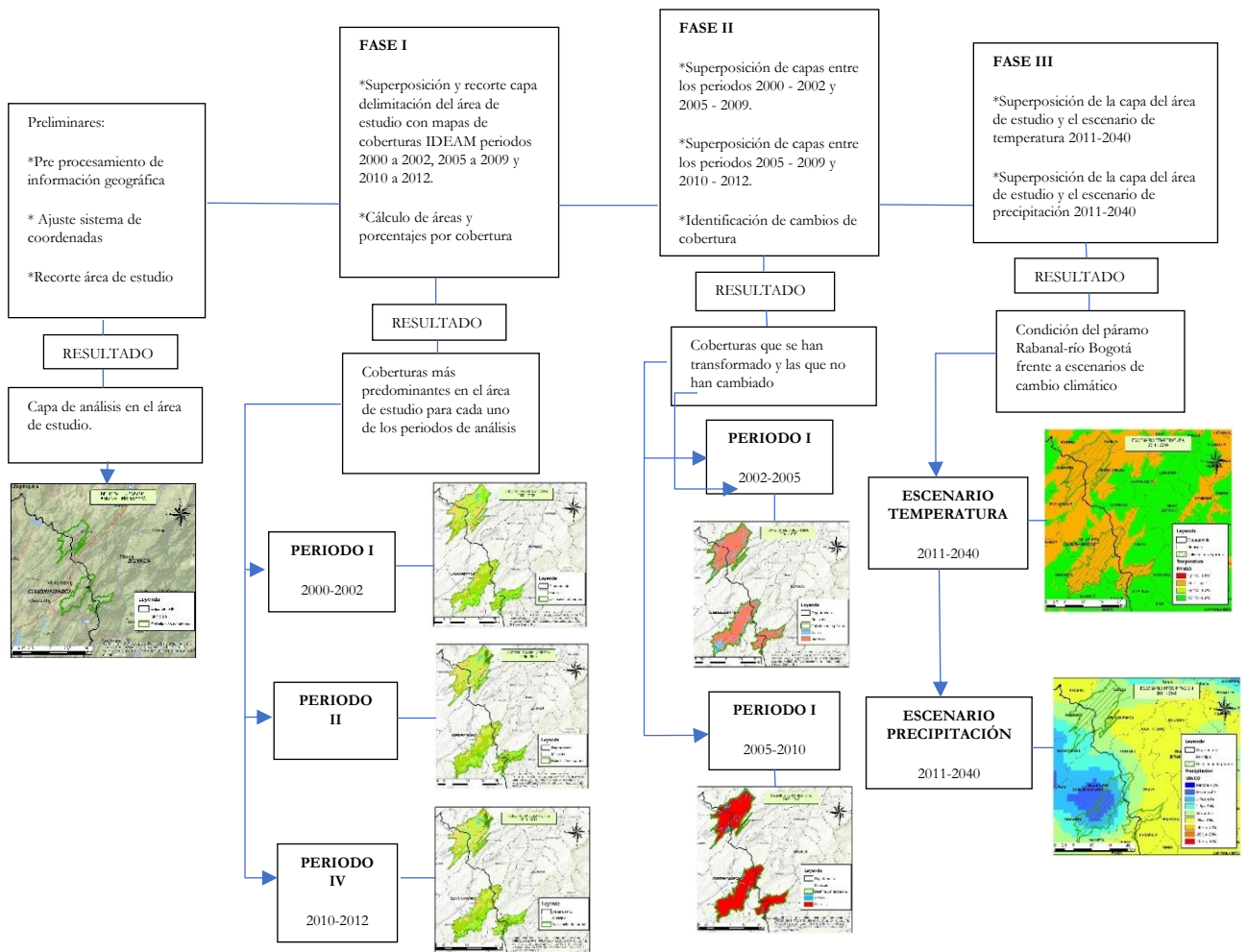
La investigación se desarrolló en cuatro fases en las que se utilizó Software ARGIS en español versión 10.4.1. El preprocesamiento y procesamiento de la información cartográfica se desarrolló tomando como referencia los métodos descritos en (Mancebo Quintana, 2008), para la clasificación de coberturas de la tierra se manejó

la metodología del sistema LCCS Land Cover Classifications Systems de la FAO/UNEP adaptada por Colombia (IDEAM., 2008), que permitió obtener información estandarizada de mapas de coberturas con los que cuenta el país a escala 1:100.000 para los periodos 2000 a 2002, 2005 a 2009 y 2010 a 2012, en lo relacionado a la interpretación de coberturas de la tierra y el análisis multitemporal se tomó como referente el trabajo de (Franco, 2016) adaptado a la presente investigación.

A continuación se describe detalladamente el procedimiento desarrollado para cada una de las fases del estudio:

- Preliminares: en esta fase se realizó un pre procesamiento de la información cartográfica, que consistió en ajustar el sistema de coordenadas y realizar el recorte de la capa de delimitación del páramo Rabanal-río Bogotá año 2016, proporcionada por la Corporación Autónoma de Cundinamarca-CAR.
- Fase I: para el desarrollo de esta fase se utilizó la información disponible en el IDEAM sobre los mapas de coberturas de la tierra de Colombia de los periodos 2000 a 2002, 2005 a 2009 y 2010 a 2012. Se procedió a superponer y recortar el mapa de delimitación del área de estudio con cada uno de los mapas de coberturas del IDEAM y como resultado se obtuvieron las coberturas de la tierra predominantes en el páramo Rabanal-río Bogotá para los periodos 2000 a 2002 (periodo I), 2005 a 2009 (periodo II) y 2010 a 2012 (periodo III). Mediante Excel se realizó el cálculo de áreas y porcentajes de las coberturas de la tierra para los III periodos antes mencionados.

- Fase II: en esta fase se analizaron los cambios en las coberturas de la tierra del páramo a través de la superposición y recorte entre las capas de los periodos a) 2000 a 2002 y 2005 a 2009 y b) 2005 a 2009 y 2010 a 2012, como resultado se obtuvieron dos (2) mapas: cambios de cobertura 2000 a 2005 (periodo I) y cambios de cobertura 2005 a 2010 (periodo II). Mediante Excel se realizó el cálculo de áreas de cambio de las coberturas de la tierra para el alcance del estudio se analizaron los cambios en la cobertura de Herbazal Denso de Tierra Firme propia del ecosistema de páramo.
- Fase III: en esta fase se utilizaron los mapas de escenarios de cambio climático proporcionados por el IDEAM para las variables de precipitación y temperatura en el periodo 2011 a 2040, se realizó superposición y recorte de la capa de delimitación del páramo Rabanal –río Bogotá con el escenario de precipitación y el de temperatura.



**Figura 4.** Modelo cartográfico de investigación

## 7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

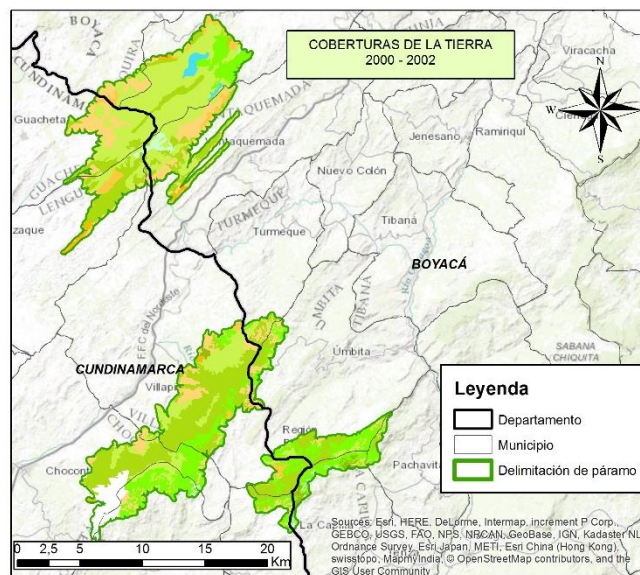
### 7.1 Resultados

7.1.2 Coberturas de la tierra del páramo Rabanal – río Bogotá de los periodos 2000 a 2002, 2005 a 2009 y 2010 a 2012.

A continuación se presentan los mapas y tablas de las coberturas de suelo predominantes del páramo Rabanal-río Bogotá, como resultado del análisis multitemporal de los periodos 2000 a 2002, 2005 a 2009 y 2010 a 2012.

- Periodo I: 2000 a 2002

La figura 4, es el mapa que resulto de la consulta y el procesamiento de información secundaria de las coberturas de la tierra para el periodo 2000 a 2002 del IDEAM, en el mapa se evidencia que las coberturas predominantes para el periodo en mención son: la cobertura de Herbazal denso de tierra firme con un área de 7.379 Ha, que representan un 29% del área de estudio y la cobertura Arbustal denso con un área de 6.651 Ha, que representan el 27% del total del área del páramo Rabanal-río Bogotá.



**Figura 5.** Cobertura de tierra páramo Rabanal-río Bogotá, periodo 2000 a 2002  
Fuente: Autor, procesamiento de capas de cobertura de la tierra del periodo 2000-2002 a escala 1:100.000, proporcionado por el IDEAM.



La tabla 3, describe todas las coberturas de tierra del Páramo Rabanal-río Bogotá para el periodo 2000-2002, con su respectivo código y su nombre según la metodología Corine Land Cover, área y porcentaje de cada una de las coberturas sobre el área total.

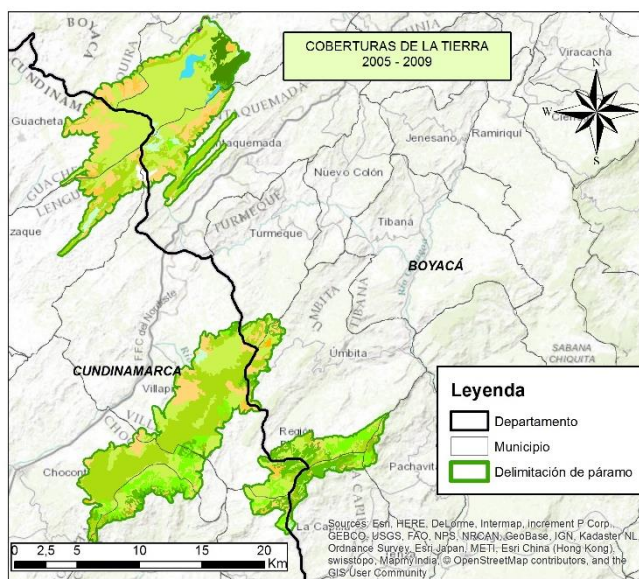
**Tabla 3.** Coberturas de tierra páramo Rabanal-río Bogotá, periodo 2000-2002

<b>CÓDIGO</b>	<b>COBERTURA</b>	<b>Ha</b>	<b>%</b>
32111	Herbazal denso de tierra firme	7.379	29,9
231	Pastos limpios	346	1,4
242	Mosaicos de pastos y cultivos	3.386	13,7
243	Mosaicos cultivos, pastos y espacios naturales	662	2,7
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	201	0,8
323	Vegetación secundaria o de transición	183	0,7
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	211	0,9
3221	Arbustal denso	6.651	27
3222	Arbustal abierto	652	2,6
31111	Bosque denso alto de tierra firme	829	3,4
31121	Bosque denso bajo de tierra firme	3.394	13,8
99	Nubes	752	3,1
<b>Total general</b>		<b>24.646</b>	<b>100</b>

Fuente: Autor a partir de procesamiento de capas de cobertura de la tierra del periodo 2000-2002 a escala 1:100.000, proporcionado por el IDEAM.

- Periodo II: 2005 a 2009

En la figura , se observa que las coberturas predominantes para el periodo en mención son: Herbazal denso de tierra firme con un área de 9.050 Ha, que representan el 36,7% del área de estudio y la cobertura de Arbustal denso con un área de 5.819 Ha, que representan el 23% del área total del páramo, además en este periodo se evidencia una nueva cobertura denominada Zonas de extracción minera que si bien no representa un porcentaje significativo de la área total del páramo, es una problemática que afecta directamente los servicios ecosistémicos que presta el páramo y que están prohibidas en áreas de importancia ambiental como los páramos.



**Figura 6.** Coberturas de la Tierra periodo 2005-2009 del páramo Rabanal-río Bogotá  
Fuente: Autor, a partir de procesamiento de capas de cobertura de la tierra del periodo 2005-2009 a escala 1:100.000, proporcionado por el IDEAM.

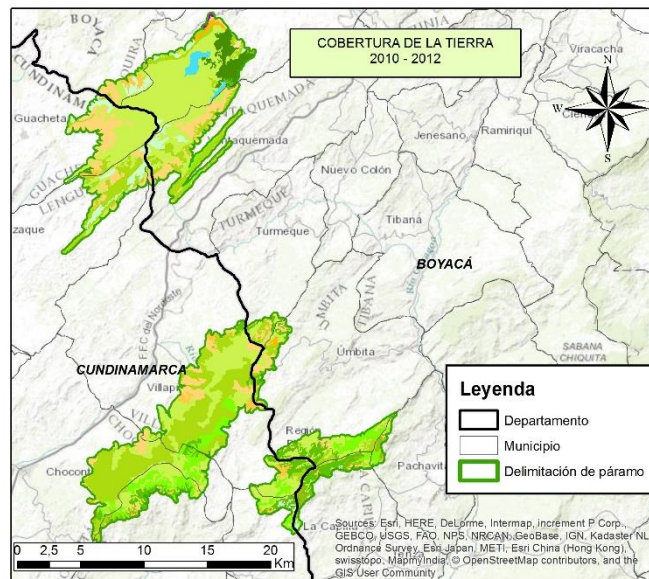
**Tabla 4.** Coberturas de tierra páramo Rabanal-río Bogotá, periodo 2005-2009

<b>CÓDIGO</b>	<b>COBERTURA</b>	<b>Ha</b>	<b>%</b>
32121	Herbazal abierto arenoso	24	0,1
131	Zonas de extracción minera	12	0
231	Pastos limpios	438	1,8
242	Mosaicos de pastos y cultivos	3.528	14,3
243	Mosaicos cultivos, pastos y espacios naturales	679	2,8
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	49	0,2
313	Bosque fragmentado	73	0,3
314	Bosque de galería y ripario	5	0
315	Plantación forestal	580	2,4
323	Vegetación secundaria o en transición	296	1,2
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	222	0,9
2151	Papa	13	0,1
3131	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	207	0,8
3132	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	1.270	5,2
3221	Arbustal denso	5.819	23,6
3222	Arbustal abierto	375	1,5
31111	Bosque denso alto de tierra firme	58	0,2
31121	Bosque denso bajo de tierra firme	1.769	7,2
31221	Bosque abierto bajo de tierra firme	40	0,2
32111	Herbazal denso de tierra firme	9.050	36,7
99	Nubes	138	0,6
<b>Total general</b>		<b>24.646</b>	<b>100</b>

Fuente: Autor a partir de procesamiento de capas de cobertura de la tierra del periodo 2005-2009 a escala 1:100.000, proporcionado por el IDEAM.

- **PERIODO III: 2010 a 2012**

En la figura 5, se observa que las coberturas predominantes para el periodo en mención, al igual que para los periodos 2000-2002 y 2005-2009, son Herbazal denso de tierra firme con un área de 9.287 Ha que representa el 37,7% del área total y la cobertura de Arbustal denso con un área de 5.419 Ha que representan el 22% del área total del páramo, además se evidencia que la cobertura de Zonas de extracción minera tuvo un aumento de 4 Ha con respecto al periodo 2005-2009.



**Figura 7.** Coberturas de la tierra periodo 2010-2012 del páramo Rabanal-río Bogotá  
Fuente: Autor, a partir de procesamiento de capas de cobertura de la tierra del periodo 2010-2012 a escala 1:100.000, proporcionado por el IDEAM.

**Tabla 5.** Coberturas de tierra páramo Rabanal-río Bogotá, periodo 2010-2012

<b>CÓDIGO</b>	<b>COBERTURA</b>	<b>Ha</b>	<b>%</b>
131	Zonas de extracción minera	18	0,1
231	Pastos limpios	972	3,9
233	Pastos enmalezados	4	0
241	Mosaico de cultivos	33	0,1
242	Mosaicos de pastos y cultivos	3.114	12,6
243	Mosaicos cultivos, pastos y espacios naturales	463	1,9
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	147	0,6
313	Bosque fragmentado	73	0,3
314	Bosque de galería y ripario	3	0
315	Plantación forestal	621	2,5
323	Vegetación secundaria o en transición	207	0,8
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	229	0,9
2151	Papa	13	0,1
3131	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	190	0,8
3132	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	1.271	5,2
3221	Arbustal denso	5.419	22
3222	Arbustal abierto	559	2,3
3232	Vegetación secundaria o en transición	88	0,4
31111	Bosque denso alto de tierra firme	38	0,2
31121	Bosque denso bajo de tierra firme	1870	7,6

32111	Herbazal denso de tierra firme	9.287	37,7
32222	Arbustal	27	0,1
<b>Total general</b>		<b>24.646</b>	<b>100</b>

Fuente: Autor, a partir de procesamiento de capas de cobertura de la tierra del periodo 2010-2012 a escala 1:100.000, proporcionado por el IDEAM.

## 7.2 Análisis de Resultados

### 7.2.1 Cambios de cobertura de la tierra del páramo Rabanal-río Bogotá, para el periodo de 2000 al 2012.

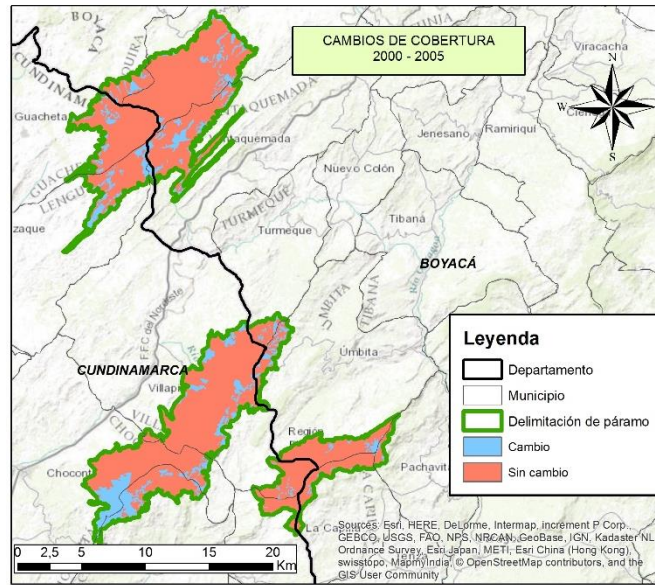
A continuación se muestran los mapas generados como resultados del procesamiento de la información cartográfica de:

- Comparar los mapas de coberturas del suelo de los periodos 2000-2002 y 2005-2009, con los que se generó un nuevo mapa de cambios de coberturas de la tierra para el periodo 2000 a 2005.
- Comparar los mapas de coberturas del suelo de los periodos 2005-2009 y 2010-2012, con los que se generó un nuevo mapa de cambios de coberturas de la tierra para el periodo 2005 a 2010.
- Cambios Coberturas en Periodo 2000 a 2005

El análisis de los cambios de las coberturas del suelo del periodo 2000 a 2005, se realizó con superposición de mapas de los periodos 2000 a 2002 y 2005 a 2009, y como resultado se obtuvo el mapa representado en la Figura 7, en donde las áreas de color rosa evidencian las coberturas del páramo Rabanal-río Bogotá, que para

dicho periodo no presentaron cambios y las zonas del mapa en menor proporción, de color azul evidencian las coberturas que han tenido cambios en las coberturas de la tierra.

Dando alcance a la presente investigación, se realizó la comparación de una de las coberturas de la tierra propias del ecosistema de páramo denominado Herbazal denso de tierra firme con los mayores cambios asociados al periodo 2000 a 2005. En la tabla 4, los valores de las columnas están relacionados con las hectáreas de las coberturas de la tierra para el periodo 2000 – 2002, y la segunda fila de la tabla relaciona las hectáreas de coberturas del periodo 2005 a 2009, como resultado se puede determinar que la cobertura Herbazal denso de tierra firme con código 32111, presento una disminución pasando 7379,4 Ha en 2000 a 6578,1 en 2005, sin embargo el valor total general de la cobertura 32111, aumento a 9049,52 Ha en el 2005, lo anterior porque se produjeron cambios en otras coberturas como la 3221 (Arbustal denso) y la 31121 (Bosque denso bajo de tierra firme), que disminuyeron su área y se convirtieron en Herbazal denso de tierra firme.



**Figura 8.** Cambios en las coberturas de la tierra del páramo, para el periodo 2000 a 2005  
Fuente: Autor, a partir de procesamiento de capas de cobertura de la tierra del periodo 2000-2005 a escala 1:100.000, proporcionado por el IDEAM.

**Tabla 6.** Cambios de cobertura periodo 2000 a 2005

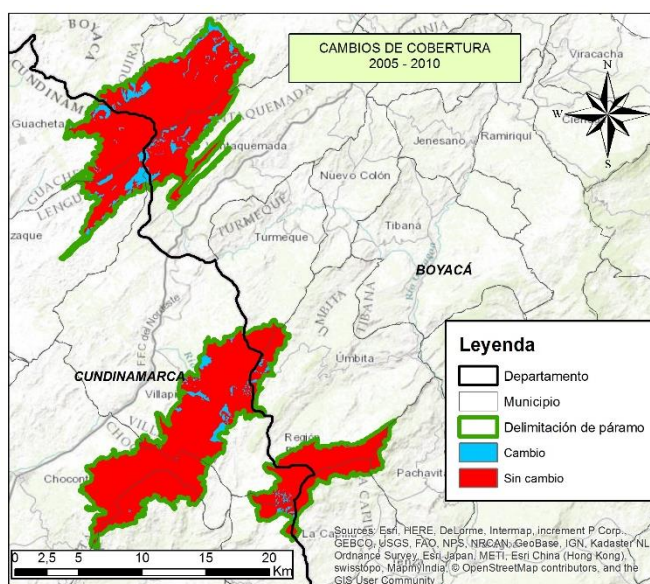
Ha COBERTURAS 2000					
	CÓDIGO	3221	31121	32111	Total general
Ha COBERTURAS 2005	32111	1522,12	306,12	6578,1	9049,52
	Total general	6651,12	3393,92	7379,4	

- **Cambios Coberturas en Periodo 2005 a 2010**

Para determinar los cambios de las cobertura de tierra del periodo 2005 a 2010, se realizó la superposición de mapas de los periodos 2000 a 2005 y 2010 a 2012, y como resultado se obtuvo el mapa representado en la Figura 6, en donde las áreas de color rojo evidencian las coberturas del páramo Rabanal-río Bogotá, que para dicho periodo no presentaron cambios y las zonas del mapa en menor proporción, de color azul evidencian las coberturas que han sufrido cambios.



En la tabla 5, los valores de las columnas están relacionados con las hectáreas de las coberturas de la tierra para el periodo 2005 – 2009, y la segunda fila de la tabla relaciona las hectáreas de coberturas del periodo 2010 a 2012, como resultado se puede determinar que la cobertura Herbazal denso de tierra firme con código 32111, presentó una disminución pasando de 9049,52 Ha en 2005 a 8414,88 Ha en 2010, sin embargo el valor total general de la cobertura 32111, aumentó a 9286,96 Ha, porque se produjeron cambios en otras coberturas como la 242 (Mosaicos de pastos y cultivos) y la 3221 (Arbustal denso) que con el tiempo pasaron a ser cobertura de Herbazal denso de tierra firme.



**Figura 9.** Cambios en las coberturas de la tierra del páramo, para el periodo 2005 a 2010  
 Fuente: Autor, a partir de procesamiento de capas de cobertura de la tierra del periodo 2005-2010 a escala 1:100.000, proporcionado por el IDEAM.

**Tabla 7. Cambios de cobertura**

Ha COBERTURAS 2005				
CÓDIGO	242	3221	32111	Total general

<b>Ha COBERTURAS 2010</b>	<b>32111</b>	<b>79,12</b>	<b>573,08</b>	<b>8414,88</b>	<b>9286,96</b>
<b>Total general</b>	<b>3528,08</b>	<b>5819,44</b>	<b>9049,52</b>		

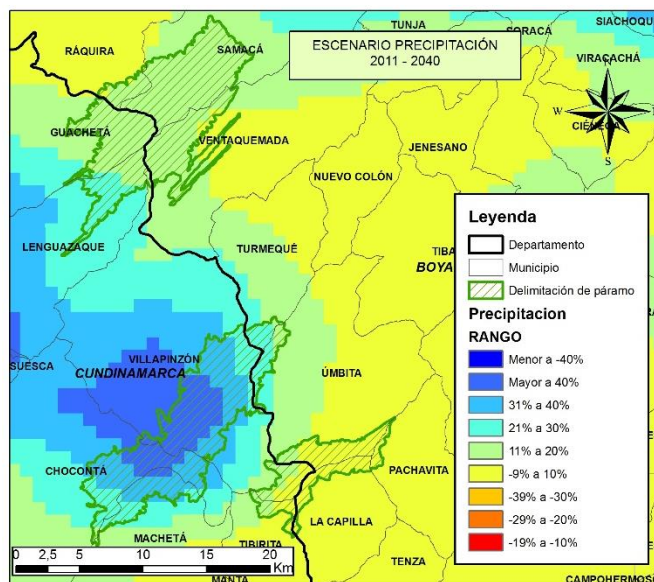
Los resultados anteriores concuerdan con lo obtenido en el estudio técnico, económico, social y ambiental del complejo páramo Rabanal a escala 1:25.000 (CAR, et al., 2014), en lo relacionado con la predominancia de la cobertura de Herbazal denso de tierra firme con un mayor porcentaje frente a las demás coberturas a lo largo del tiempo, este estudio también reporta una disminución de la cobertura de Herbazal denso de Tierra firme de 1,4 Ha en un periodo desde 1984 a 2011, que no coinciden con los resultados obtenidos en el presente estudio, sin embargo es de resaltar que en el estudio antes mencionado no se tomó la última delimitación del páramo Rabanal – río Bogotá hecha por el Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible en 2016, lo que conlleva a una dificultad en la comparación con de las áreas de cambio en las coberturas estudiadas en la presente investigación.

Los resultados obtenidos en la figura 6 y 7, también coinciden con lo reportado en el (IDEAM., 2013), en cuanto a la predominancia de las coberturas naturales específicamente herbazales en los páramos del país, sin embargo genera una dificultad en la comparación de los cambios de coberturas del páramo Rabanal-río Bogotá reportadas en el presente estudio, porque este páramo no fue priorizado por el IDEAM en 2013.

### 7.3 Superposición de escenarios de cambio climático en el área de estudio

En esta fase de la investigación se busca analizar la condición del páramo Rabanal- río Bogotá frente al escenario de precipitación para el periodo 2011 a 2040.

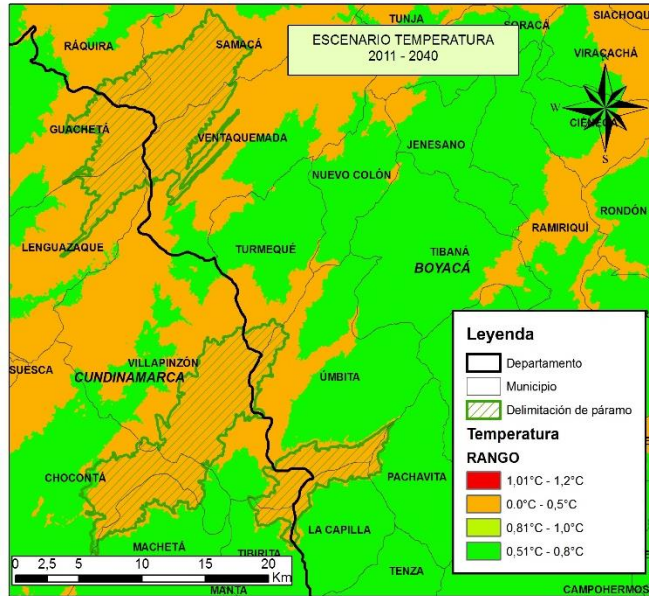
En relación con lo anterior, se realizó la superposición del mapa de delimitación del páramo Rabanal- río Bogotá y el mapa del escenario de precipitación para el periodo 2011 a 2040, como resultado se obtuvo la figura 8, donde se observa que las áreas del páramo ubicadas en los municipios de Ráquira, Guachetá y Ventaquemada presentaran cambios con tendencia al aumento de la precipitación con valores cercanos al 11%, siendo esta condición más fuerte en las áreas del páramo ubicadas en Lenguazaque, Chocontá y Villapinzón con probables aumentos de precipitación entre el 20% al 40%. Esta situación contrasta con el área entre los municipios de la Capilla, Tibirita y Úmbita en donde se tiene previsto tendencia a la disminución de las lluvias hasta en un 10%.



**Figura 10.** Páramo Rabanal-río Bogotá frente a escenario de precipitación 2011-2040

Fuente: Autor, a partir de procesamiento de capas de delimitación páramo Rabanal y escenario de precipitación 2011 a 2040 de la 3ra comunicación de cambio climático del IDEAM.

La figura 9, muestra la condición del páramo Rabanal-río Bogotá frente al escenario de temperatura del periodo 2011 a 2040, se observa que la totalidad del área de páramo podrá presentar elevaciones de temperatura de 0,5 °C adicionales a los valores actuales.



**Figura 11.** Páramo Rabanal-río Bogotá frente a escenario de temperatura 2011-2040

Fuente: Autor, a partir de procesamiento de capas de delimitación páramo Rabanal y escenario de temperatura 2011 a 2040 de la 3ra comunicación de cambio climático del IDEAM.

## 8. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados analizados, se determinó que en los periodos I, II y III la cobertura de la tierra predominante en el área del páramo Rabanal-río Bogotá es la de Herbazal denso de tierra firme, se puede concluir desde el año 2000 al 2012 la cobertura propia de páramo no ha disminuido si no que al contrario ha incrementado con la transformación de otras coberturas en nuevos relictos de cobertura de herbazal denso de tierra firme.

La condición del páramo rabanal- río Bogotá frente a los escenarios de cambio climático para el periodo 2011 a 2040, para las variables de precipitación y temperatura, se pudo determinar que en precipitación la zona del nacimiento del río Bogotá en el municipio de Villapinzón, al presentar un aumento en la de más del 20%, generara un efecto positivo en la disponibilidad del recurso hídrico, en cuanto

a la posibilidad de la presencia de un fenómeno de la niña en el país, deberán tomarse medidas de regulación hídrica en la región para evitar efectos negativos de riesgos asociados a la variabilidad climática.

En temperatura la condición del páramo Rabanal-río Bogotá, que se determinó es un incremento de 0,5 °C en el periodo 2011 a 2040, los efectos de los incrementos de temperatura podrán asociarse a los cambios de cultivos presentes en la zona que podrían generar nuevos cambios de coberturas de la tierra en el periodo 2011 a 2040.

Finalmente se puede concluir que la investigación logro un acercamiento importante sobre los cambios de la cobertura de la tierra que se han generado desde el año 2000 al 2012 y la condición del área de estudio frente a los escenarios de precipitación y temperatura futuros, lo anterior con el fin de conocer el comportamiento pasado del territorio y la preparación ante los posibles efectos del cambio climático a futuro.

## **9. RECOMENDACIONES**

Se recomienda que para futuras investigaciones se genere información primaria sobre las coberturas de la tierra del páramo Rabanal- río Bogotá en donde se utilice información cartográfica una escala más detallada en lo posible 1:25.000 para disminuir la incertidumbre de los resultados y se genere un análisis de información climatológica del área de estudio en un periodo de 30 años que corresponden a la normal climatológica para disminuir la incertidumbre entre las relaciones de los cambios de coberturas y el cambio climático.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

Franco., (2016). *Análisis multitemporal vectorial en ArcGIS. Guía de caso. Bogotá, Colombia.*

Bank, W. (2006). *Colombia-Integrated National Adaptation Program Project. Washington, DC. Obtenido de <http://documents.worldbank.org/curated/en/834701468243250115/Colombia-Integrated-National-Adaptation-Program-Project>*

Beniston. (2003). *Climate Variability and Change in High Elevation Regions: Past, Present & Future. En Beniston, Climatic Change in Mountain Regions: A Review of Possible Impacts. Springer.*

CAR, Instituto de Investigación Alexander von Humbolt, CorpoChivor, Gobernación de Cundinamarca, CorpoBoyacá, & Gobernación de Boyacá. (2014). *Estudios técnicos, económicos, sociales y ambientales para la identificación y delimitación del complejo del páramo Rabanal a escala 1:25000. Bogotá.*

Daniel Ruiz, H. M. (2008). *Changing climate and endangered high mountain ecosystems in Colombia. Science of the Total Environment, 11.*

- Franco, R. (2016). Análisis multitemporal vectorial en Argis. Guía de Caso. Univesidad Distrital Fransisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.*
- Garcia Arbelaez, C. G. (2016). El Acuerdo de París. Así actuará Colombia frente al cambio climático. Cali, Colombia: WWF-Colombia.*
- Hofstede, R. P. (2003). Los páramos del mundo. Quito: Global Peatland Initiative/NC-IUCN/EcoCiencia.*
- Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., . . . Cerra, M. (2014). Los Páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo. Quito, Ecuador: Union Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales.*
- IDEAM., I. (2013). Componente coberturas de la tierra en los páramos priorizados a escala 1:25.000 (metodología Corine Land Cover adaptada a Colombia). Bogotá.*
- IDEAM., I. C. (2008). Mapa de cobertura de la tierra cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover.*
- IPCC. (2007). Informe síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II, III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. Ginebra, Suiza.*



*Lopez, S., Wright, C., & Costanza, P. (2016). Environmental change in equatorial Andes: Linking climate, Land use and land cover transformation. Remote Sensing Applications, 34.*

*Mancebo Quintana, S. O. (2008). LibroSIG: aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental. Madrid, España.*

*MoralesM., O. V. (2007). Atlas de páramos de Colombia. Bogotá, D.C.: Instituto de Recursos Biológicos Alexander von Humbolt.*

*Sarmiento, C. C. (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. Bogotá, D.C.: Instituto de Investigación en Recursos Biológicos Alexander von Humbolt y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.*