

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN EL  
PARAMO DE PISBA JURISDICCION DEL MUNICIPIO DE TASCO PARA EL  
PERIODO 1990 - 2015**

**MABEL GIOVANA PIMIENTO ORTEGA**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE PORGRADOS  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
TUNJA  
2019**

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN EL  
PARAMO DE PISBA JURISDICCION DEL MUNICIPIO DE TASCO PARA EL  
PERIODO 1990 - 2015**

**MABEL GIOVANA PIMIENTO ORTEGA**

**Trabajo de grado para optar por el título de:  
Magíster en Ingeniería Ambiental**

**Director  
JAVIER CUERVO  
Ingeniero Sanitario y Ambiental  
Magíster en Ingeniería de Sistemas**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE PORGRADOS  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
TUNJA  
2019**

## **DEDICATORIA**

A mis 2 grandes amores, mi hijo Juan Diego quien llena de felicidad cada día de mi vida y a mi madre por ser el apoyo incondicional, y por creer siempre en mí, porque su fuerza y tenacidad en cada momento de la vida me han guiado para alcanzar grandes logros.

## **AGRADECIMIENTOS**

A continuación, manifiesto mis más sinceros agradecimientos a las personas que hicieron posible culminar este proceso.

En primer lugar, quiero agradecer al Ingeniero Javier Cuervo, director de mi trabajo de grado, por su contribución, apoyo y paciencia a lo largo de este proceso.

A la Corporación Autónoma Regional de Boyacá, por permitirme acceder a la información necesaria para la realización de este trabajo.

A los Ingenieros Diego Moreno y Harricson Penagos, por su orientación y apoyo durante este proceso.

Por otra parte, quiero agradecer al grupo de Investigación Xiuâ, en cabeza del profesor Yimy Herrera, a Isabella, Yesid, Nayibe, Yessica, Melanie, Sandra y Camila, quienes me han apoyado y brindado su amistad. Al profesor Pablo Emilio Rodríguez, quien en vida me guío para seguir este hermoso camino.

A quienes me motivan para alcanzar mis metas: mi madre, mi hijo, Vonny y Mi tía Paola, por último, quiero agradecer a mis compañeros, Lina, Camilo, John, Dalia y Oscar por seguir el camino juntos, por su apoyo incondicional y por su valiosa amistad.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	13
1. JUSTIFICACIÓN.....	14
2. OBJETIVOS .....	16
2.1 GENERAL	16
2.2 ESPECÍFICOS	16
3. MARCO REFERENCIAL .....	17
3.1 MARCO TEÓRICO	17
3.1.1 Páramo	17
3.1.2 Cobertura y uso del suelo	17
3.1.3 Cambio de uso de suelo	19
3.1.4 Sistemas de Información Geográfica	20
3.1.5. Teledetección	21
3.1.6 Corrección de las imágenes.	26
3.1.7 Clasificación de Imágenes	27
3.1.8 Metodología CORINE LAND COVER (Colombia)	28
3.1.9 Análisis Multitemporal	29
3.1.10 Modelación de los cambios de cobertura y uso de suelo	29
3.1.11 Vulnerabilidad	30
3.2 ESTADO DEL ARTE	31
4. DISEÑO METODOLÓGICO.....	34
4.1 Área de Estudio	34
4.1.1 Población	37
4.1.2 Economía	37
4.1.3 Uso actual del suelo	37
4.2 Adquisición de información secundaria	39
4.3 Adquisición de Imágenes Landsat	40
4.3.1 Procesamiento digital de imágenes	42
4.3.2 Recorte del área	42
4.3.3 Composición de bandas	43
4.3.4 Clasificación supervisada	44
4.4 Usos de suelo	48
4.5 Análisis Multitemporal	48
4.4.1 Calculo de las Pérdidas y Ganancias	48
4.6 Modelación de la tendencia de uso de suelo	48
4.7 Mapa de vulnerabilidad	49
5. RESULTADOS .....	51

5.1 Post procesamiento digital de imágenes	51
5.1.1 Clasificación supervisada	51
5.1.2 Validación de la clasificación año 2015:	51
5.1.3 Imágenes obtenidas a partir del procesamiento digital	53
5.2 Análisis Multitemporal	56
5.2.1 Cambio de uso de suelo periodo 1990 – 2000	56
5.2.3 Cambio de uso de suelo periodo 2008 - 2015	60
5.2.4 Cambio de uso de suelo en 25 años	62
5.3 Modelación de la tendencia de uso de suelo para el año 2022	75
6. CONCLUSIONES .....	81
7. BIBLIOGRAFIA.....	83
8. ANEXOS.....	91

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Componentes de un sistema de teledetección .....	22
<b>Figura 2.</b> Modelo conceptual .....	34
<b>Figura 3.</b> Zona de estudio .....	35
<b>Figura 4.</b> Mapa de las veredas del municipio dentro del área de PNN Pisba. ....	36
<b>Figura 5.</b> Mapa del uso actual del suelo en el área de PNN Pisba .....	
<b>Figura 6.</b> Portal USGS para descarga de imágenes Landsat. ....	40
<b>Figura 7.</b> Recorte de la zona de estudio sobre la imagen Landsat .....	42
<b>Figura 8.</b> Combinación de falso color 453 de las imágenes Landsat adquiridas...	43
<b>Figura 9.</b> Clasificación mínima distancia .....	45
<b>Figura 10.</b> Verificación coberturas, salida de campo .....	46
<b>Figura 11.</b> Mapa de la zona con los puntos de muestreo .....	47
<b>Figura 12.</b> Diagrama de procesos para la modelación de uso de suelo 2022 .....	49
<b>Figura 13.</b> Diagrama de procesos para la generación del mapa de vulnerabilidad. .....	50
<b>Figura 14.</b> Visualización de archivo en polígono en el software ArcGis.....	53
<b>Figura 15.</b> Mapa de uso de suelo para el año 1990 .....	54
<b>Figura 16.</b> Mapa de uso de suelo para el año 2015 .....	55
<b>Figura 17.</b> Mapa de cambio de uso de suelo periodo 1990 - 2000 .....	57
<b>Figura 18.</b> Verificación en campo, vereda Hormezaque. Coordenadas 5.955819 X, -72.738526 Y.....	58
<b>Figura 19.</b> Mapa de cambio de uso de suelo 2000 - 2008.....	59
<b>Figura 20.</b> Mapa de cambio de uso de suelo periodo 2008 - 2015 .....	60
<b>Figura 21.</b> Retroceso de páramo para el periodo 2008-2015 .....	61
<b>Figura 22.</b> Mapa de cambio de uso de suelo periodo 1990 - 2015.....	64
<b>Figura 23.</b> Variación de uso de suelo en las 4 imágenes analizadas. ....	65
<b>Figura 24.</b> Gráfico de pérdida y ganancia de uso de suelo durante 25 años (1990 – 2015).....	66
<b>Figura 25.</b> Áreas con mayor cambio en el periodo de 25 años.....	69
<b>Figura 26.</b> Mapa de títulos mineros otorgados dentro de la zona de estudio Pisba. .....	72
<b>Figura 27.</b> Mapa de uso de suelo de 2015 y títulos mineros otorgados dentro de la zona de estudio.....	74
<b>Figura 28.</b> Mapa de simulación de uso de suelo para el año 2022.....	76
<b>Figura 29.</b> Mapa de áreas sensibles frente al cambio de uso de suelo .....	79

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tipos de satélites Landsat y sus características .....	26
<b>Tabla 2:</b> Metadata de las imágenes obtenidas .....	40
<b>Tabla 3.</b> Previsualización y resumen de las principales características de las imágenes adquiridas. ....	41
<b>Tabla 4.</b> Coberturas reconocidas en la zona de estudio según la metodología CLC/Col. ....	44
<b>Tabla 5.</b> Usos de suelo en la zona de estudio. ....	48
<b>Tabla 6.</b> Valoración de la vulnerabilidad frente al cambio de uso de suelo .....	50
<b>Tabla 7.</b> Validación de la clasificación con matriz de confusión y coeficiente Kappa.....	52
<b>Tabla 8.</b> Categoría de concordancias de validación para el coeficiente Kappa.....	53
<b>Tabla 9.</b> Relación de áreas de uso de suelo periodo 1990 - 2000 .....	57
<b>Tabla 10.</b> Relación de áreas de uso de suelo años 2000 -2008 .....	60
<b>Tabla 11.</b> Relación de áreas de uso de suelo años 2008 -2015 .....	62
<b>Tabla 12.</b> Relación de áreas de uso de suelo durante 25 años (1990 - 2015) .....	63
<b>Tabla 13.</b> Listado de títulos mineros otorgados en la zona de estudio y su estado actual .....	70
<b>Tabla 14.</b> Actividades económicas que conllevan al cambio de uso de suelo en el municipio.....	73
<b>Tabla 15.</b> Relación de áreas de uso de suelo 2015 - 2022 .....	77
<b>Tabla 16.</b> Matriz consolidada de las imágenes. ....	77
<b>Tabla 17.</b> Clasificación de sensibilidad ambiental.....	78



## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Puntos de trabajo de campo con su respectiva georreferenciación.....	91
<b>Anexo 2.</b> Registro fotográfico.....	94
<b>Anexo 3.</b> Listado de títulos mineros en la zona de estudio “información de Corpoboyaca”.....	97
<b>Anexo 4:</b> Metada de cada una de las imágenes .....	100

## RESUMEN

Los cambios de uso de suelo y la degradación del paisaje, constituyen un factor importante dentro de la alteración de las características de los ecosistemas de páramo; el Parque Nacional Natural de Pisba en la jurisdicción del municipio de Tasco, presenta un sistema de producción característico de este tipo de zona, con actividades específicas agropecuarias, monocultivo de papa, ganadería extensiva bovina y desarrollo de actividades de explotación minera, que en conjunto pueden afectar las condiciones naturales del ecosistema; por ello, se propuso un estudio multitemporal de cambio de uso de suelo, en un período comprendido entre 1990 y 2015 utilizando técnicas de teledetección, con métodos de procesamiento digital de imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 7; se empleó la metodología Corine Land Cover/ Colombia y se homologó a los tipos de uso de suelo actual según el EOT del municipio, en cada imagen obtenida, se aplicó la técnica de clasificación supervisada, con verificación en campo para validar este proceso, se aplicó un índice Kappa que generó un valor de 0,86 y muestra una excelente clasificación; posterior a esto, cada imagen fue tratada a partir diversas técnicas de procesamiento digital de imágenes en el software ArcGis, y se realizó una sobreposición de imágenes, lo que permitió conocer los cambios o persistencia de los usos de suelo, es decir las pérdidas y ganancias en hectáreas (Ha) por cada uso. A partir de los datos obtenidos se aplicó un modelo de simulación para el año 2020 en el software QGIS, que permitió representar un escenario futuro del uso de suelo en la zona de estudio. Los resultados obtenidos, demuestran que para el periodo 1990–2000 el arbustal se redujo, pasando de 4363,3 a 3529,44 Ha, patrón que continua en los periodos posteriores, y para el año 2015 presenta una extensión de 2836,98 Ha. Las tierras agropecuarias presentan un aumento significativo en extensión, para el periodo 1990-2000 pasan de 803,09 a 1103,04 Ha, y continua en ascenso con 811,8 Ha entre 2000-2008, sin embargo, se reduce su extensión (130,23 ha) en el 2015. Así mismo el páramo se redujo ya que pasó de 5295,89 a 4887,18 Ha durante el transcurso de 25 años. La reducción periódica de arbustos, bosques y páramo, y el crecimiento gradual de las tierras agrícolas muestran una influencia directa por el cambio de uso de suelo en el área protegida, esta pérdida de extensión de ecosistemas vulnerables (páramo), no sólo están vinculados con la ampliación de la frontera agrícola, sino que también enfrentan la minería de carbón y el conflicto existente por la tenencia de la tierra dentro de la zona del PNN Pisba.

**Palabras clave:** Teledetección, Paisaje, imágenes satelitales.

## INTRODUCCIÓN

El hombre es el principal causante de la modificación de los ecosistemas, la creciente demanda de recursos, la expansión agrícola y ganadera, y las diferentes formas de ocupar los espacios geográficos han ocasionado con el tiempo, la modificación de los paisajes. Durante el siglo XX los procesos de deterioro de los ecosistemas han crecido más rápido, principalmente por el desarrollo socioeconómico en las diferentes partes del planeta, durante los últimos 50 años, el crecimiento acelerado de la población mundial ha generado una mayor demanda de recursos y en consecuencia una mayor impacto sobre la disponibilidad de los mismos<sup>1</sup>. Los cambios ocurridos en las últimas décadas han producido alteraciones ambientales a diferentes escalas espaciotemporales que en consecuencia modifican y deterioran de forma continua la estructura y funcionamiento de los ecosistemas.

La presión sobre los ecosistemas a partir de actividades humanas, ha puesto en riesgo los beneficios de las próximas generaciones y el bienestar humano en general<sup>2</sup>. Los impactos generados dentro de los ecosistemas a causa de las diferentes actividades humanas, afectan los servicios ambientales (agua, energía, alimento, ciclo de nutrientes entre otros); en nuestro territorio, los Andes Colombianos son considerados en la actualidad, como ecosistemas prioritarios, debido a sus altos niveles de biodiversidad, endemismo, por sus servicios ambientales como la regulación hidrológica y conservación del suelo y en especial por sus grandes tasas de destrucción<sup>3,4,5</sup>.

Los cambios de uso del suelo y cobertura del suelo ocasionados por la creciente demanda de recursos, influyen de igual manera en los atributos del paisaje, la función del ecosistema y su biodiversidad<sup>6</sup>. En términos generales la forma más común del uso a la tierra está relacionado con la ganadería (intensiva y extensiva) y la agricultura, ésta actividades han modificado los paisajes debido a su expansión hacia los bosques y la creciente demanda de recursos alimenticios,

---

<sup>1</sup> CORVALÁN, C., HALES, S. and McMICHAEI, A. Ecosistemas y bienestar humano: Síntesis sobre Salud. Un informe de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, Organización Mundial de la Salud. 2005. [en línea], disponible en <http://www.maweb.org/documents/MA-Health-Spanish.pdf>. Recuperado el 11 de junio de 2019

<sup>2</sup> Ibid., p. 18

<sup>3</sup> GENTRY A. El significado de la biodiversidad. In: Cárdenas S and Correa HD, editors. *Nuestra Diversidad Biológica*. Bogotá: Cerec y Fund A. Angel Escobar. 1993. p 13–24.

<sup>4</sup> ANDRADE G. Paisaje y Biodiversidad en las Selvas de los Andes. In: Andrade G, editor. *Carpanta: Selva Nublada y Páramo*. Bogotá: Fundación Natura-Colombia. 1993. p 31–48.

<sup>5</sup> ETTER, Andrés and VAN WYNGAARDEN, Willem. Patterns of landscape transformation in Colombia, with emphasis in the Andean region. *Ambio: A journal of the Human Environment*, 2000, vol. 29, no 7, p. 432-440.

<sup>6</sup> LAMBIN, E. F., ROUNSEVELL, M. D. A., and GEIST, H. J. Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity?. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2000, 82(1-3), 321-331.

ocupando grandes extensiones de terreno para la producción cada vez mayor debido a la creciente población a nivel urbano y rural.

Los sistemas de información geográfica (SIG), se han convertido en herramientas fundamentales y prácticas para la evaluación y modelización de los cambios que ocurren dentro de los ecosistemas; las crecientes aplicaciones de la teledetección desde el punto de vista de la dimensión temporal con el fin de evaluar una amplia variedad de contextos se han convertido en una de las técnicas más conocidas para extraer información a partir de imágenes de satélite<sup>7</sup>. “La teledetección ayuda a conocer y administrar mejor los recursos naturales, y aporta valiosa información para solucionar problemas medioambientales”<sup>8</sup>.

El uso de imágenes de satélite y la aplicación de ellas en estudios multitemporales utilizando SIG, han logrado cuantificar los cambios antrópicos ocurridos en un determinado espacio y en un periodo de tiempo definido, de ésta manera y gracias a este tipo de herramientas los cambios de uso de suelo y cobertura de suelo han tenido una mayor atención los últimos años; éste tipo de estudios aportan una valiosa información en la toma de decisiones de tipo ambiental y son de gran ayuda como herramientas para monitorear y cuantificar los cambios ocurridos en un área de interés con un periodo de tiempo establecido.

En función de lo antes mencionado, el presente documento expone el desarrollo de un estudio multitemporal de cambio de uso de suelo, utilizando imágenes Landsat, y busca dar respuesta al interrogante ¿Cómo las diferentes actividades económicas en el Páramo de Pisba en jurisdicción del municipio de Tasco, han transformado el uso de suelo en los últimos 25 años?; para esto se hará un análisis de imágenes Landsat en un intervalo desde 1990 a 2015, con el fin de evidenciar los cambios por influencia de actividad humana, mediante herramientas de SIG y software especializados, que permiten brindar información sobre los cambios ocurridos en el Páramo de Pisba durante este periodo de tiempo.

---

<sup>7</sup> CHUVIECO, Emilio. El factor temporal en teledetección: evolución fenomenológica y análisis de cambios. *Revista de teledetección*, vol. 10. 1998, p. 1-9.

<sup>8</sup> CHUVIECO, Emilio. Fundamentos de teledetección espacial. Madrid: Ediciones Rialp. 1990. p. 5

## DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La intervención del hombre en el Páramo de Pisba, trae consigo procesos de transformación del ecosistema; la contaminación generada por la actividad minera, el abandono de las minas, la ampliación de la frontera agrícola, y las actividades ganaderas, son responsables de la degradación del suelo, agua y los cambios en el paisaje, la destrucción del hábitat e incluso problemas para la salud humana.

Los cambios de uso de suelo y la degradación del paisaje, constituyen un factor importante dentro de la alteración de las características de los ecosistemas de páramo, los impactos generados por actividades agropecuarias y mineras, pueden persistir durante décadas; el páramo de Pisba se encuentra dentro del sistema de áreas protegidas (Parque Nacional Natural Pisba) que tienen por objeto la conservación, el manejo racional, la restauración ecológica, la fauna silvestre, la biodiversidad, la biósfera, fenómenos geomorfológicos, sitios de importancia histórica, arqueológica y cultural, sin embargo, estas áreas de conservación como el páramo de Pisba, han sido modificadas por el hombre a pesar de que existen diversos entes de control y legislación que protege este tipo de biomas debido a su importancia ecológica y como fuente de servicios ecosistémicos .

En Colombia existe una relación entre la cantidad y la intensidad de los conflictos ambientales y las crecientes industrias extractivas, el 42% de los problemas ambientales reportados en nuestro país están relacionados con actividades mineras y el 19% a la exploración y extracción de combustibles fósiles; en particular, la extracción de carbón representa el 15% de los conflictos ambientales<sup>9</sup>; este tipo de situaciones pueden ser evaluadas con Sistemas de Información Geográfica (SIG) e imágenes de satélite, que pueden armar un conjunto de escenarios a nivel, geológico, hidrológico, y de cambio de ocupación de suelo entre otros; de esta manera muestra una mejor perspectiva de los impactos generados a lo largo de un periodo de tiempo por las diferentes usos del suelo, por lo anterior esta investigación pretende responder ¿Cómo las diferentes actividades económicas en el Páramo de Pisba en jurisdicción del municipio de Tasco, han transformado el uso de suelo en los últimos 25 años?

---

<sup>9</sup> PÉREZ RINCÓN, Mario Alejandro. Conflictos ambientales en Colombia: inventario, caracterización y análisis. *Estrategia de manejo ambiental de la zona media y baja de la subcuenca del Río Pance*. 2014. p. 37

## 1. JUSTIFICACIÓN

El páramo es considerado un ecosistema estratégico, debido a su rol en la recarga hídrica; Armenteras & Villareal<sup>10</sup> indican, que el “páramo es un ecosistema amenazado por las actividades de tipo antrópico y uno de los hábitats menos estudiados a nivel del neotrópico”; el páramo de Pisba cuenta con existencias de carbón, que quizás es la única opción de empleo, (minería de subsistencia), y que ocasiona grandes impactos ambientales<sup>11</sup>; de acuerdo con estudios realizados por Corpoboyacá<sup>12</sup>, el total de títulos mineros en zona de páramo es de 270 con y sin licencia de intervención, los cuales ocupan un área de 42.238 hectáreas por área de cobertura, el municipio de Tasco tiene el mayor porcentaje de área (52,14%) en relación al área total municipal, con la vereda Santa Bárbara como la zona de mayor afectación.

De esta manera, existe la necesidad de obtener un mejor conocimiento acerca de los impactos generados por diferente tipo de actividades, no sólo desde el punto de vista de pérdida de cobertura vegetal, también cómo el aumento de frentes de explotación minera, abandono de los mismos, ganadería y ampliación de la frontera agrícola, han modificado el paisaje en el Páramo de Pisba en los últimos años, para así tener un amplio espectro de los efectos del cambio de uso del suelo, y un mejor análisis de los aspectos ambientales; ya que, “gran parte de los estudios ambientales realizados con el fin de responder a las preguntas relacionadas con los impactos ambientales, incluyen métodos convencionales, por ejemplo, los estudios de suelo, aire y agua; este tipo de métodos consumen mucho tiempo, sin embargo, los continuos progresos en el SIG y teledetección (RS–Sensores Remotos) han mejorado las oportunidades para el análisis de datos ambientales”<sup>13</sup>.

Por lo anterior se hace necesario un estudio multitemporal, en un intervalo de tiempo de los últimos 25 años basado en imágenes Satelitales, con el fin de comprender y analizar los procesos de transformación mediante un análisis integrado de los cambios de uso de suelo; esto permite generar conocimiento en relación a los cambios ocurridos por actividades humanas; así mismo los resultados de ésta investigación proporcionarán una mejor visión del cambio del

---

<sup>10</sup> ARMENTERAS, D., GAST, F., and VILLAREAL, H. Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. *Biological conservation*. 2003. Vol. 113(2), 245-256.

<sup>11</sup> MENESE, L., *et al.* Plan de manejo parque Nacional Natural de Pisba. Socha (Boyacá). 2006. p. 24

<sup>12</sup> CORPOBOYACA. Estudios Técnicos, Económicos, Sociales y Ambientales para la identificación y delimitación del complejo paramos Pisba a escala 1:25.000. Tunja 2016. p. 274

<sup>13</sup>KHALIL, A., *et al.* GIS-based environmental database for assessing the mine pollution: a case study of an abandoned mine site in Morocco. *Journal of Geochemical Exploration*. 2014. Vol. 144, p. 468-477.

uso del suelo en el páramo, además, busca una inclusión de este tipo de entornos en los planes de ordenamiento ambiental del municipio de Tasco, en términos de protección de este tipo de ecosistemas de recarga hídrica y de gran importancia a nivel ambiental; por tal motivo este estudio es necesario para aportar al conocimiento sobre la modificación del uso del suelo en Colombia en tiempo y espacio.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 GENERAL**

Analizar de manera multitemporal el cambio de uso de suelo por medio de imágenes satelitales (Landsat) del Páramo de Pisba en el municipio de Tasco, durante los últimos 25 años.

### **2.2 ESPECÍFICOS**

- Determinar la tendencia de cambio de uso del suelo por las diferentes actividades económicas en el Páramo de Pisba en jurisdicción del municipio de Tasco los últimos 25 años.
- Identificar las zonas de afectación o impacto por actividades humanas en el páramo de Pisba en los últimos 25 años.
- Generar una base de datos geográficos de la zona, a partir de información cartográfica resultado de las imágenes generadas.
- Elaborar un mapa de vulnerabilidad ambiental como herramienta para la planificación territorial.



### 3. MARCO REFERENCIAL

#### 3.1 MARCO TEÓRICO

##### 3.1.1 Páramo

El páramo es uno de los ecosistemas naturales de gran altitud en el mundo, es el ecosistema con mayor irradiación solar del planeta, tiene la flora más rica en relación con los ecosistemas de montaña en el mundo. Tiene diferencias térmicas entre día y noche de hasta 20°C, pero a la vez la diferencia entre “invierno” y “verano” prácticamente no existe. Seis de cada diez especies de plantas no crecen en ningún otro bioma, lo que es un valor muy alto para ecosistemas continentales<sup>14</sup>. Es considerado un ecosistema restringido a las cumbres de algunas regiones tropicales de Centro y Sudamérica, Asia, África y Oceanía. Sus límites pueden variar dependiendo de diversas condiciones propias de la región donde se localice. Así, la posición geográfica, la topografía, la historia geológica y evolutiva del lugar y la latitud, son factores determinantes en la localización altitudinal de los páramos alrededor del mundo. Su límite inferior puede oscilar entre 3000 y 4000 m, de acuerdo con la precipitación, la humedad y la temperatura media anual local<sup>15</sup>.

El páramo es un ecosistema estratégico gracias a las funciones primordiales para la sociedad que posee este tipo de ecosistema: es el principal regulador del sistema hídrico del país (incluyendo agua potable, agua para riego y agua para generación de electricidad), es de suma importancia ecológica por su biodiversidad especial y además brinda espacio para ejercer actividades agrícolas, en éste aspecto forma el nexo por excelencia de la gente con el ecosistema, y es la causa de que el páramo hoy en día contenga una gran diversidad de paisajes que va más allá de su ya notable diversidad natural<sup>16</sup>.

##### 3.1.2 Cobertura y uso del suelo

En algunos estudios existe una gran confusión entre cobertura y uso del suelo, sin embargo de manera conceptual se ha logrado la separación entre cobertura y uso del suelo de la siguiente manera:

---

<sup>14</sup> HOFSTEDE, Robert; SEGARRA, Pool; VÁSCONEZ, Patricio Mena. *Los páramos del mundo: Proyecto Atlas Mundial de los Páramos*. UICN; Global Peatland Initiative; Ecociencia, 2003. p. 16

<sup>15</sup> VAN DER HAMMEN, T. 1995. La dinámica del medio ambiente en la alta montaña colombiana: historia, cambio global y biodiversidad. En: Lozano, J.A., J.D. Pabón. (Eds.). *Memorias del Seminario Taller sobre alta montaña colombiana*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Memorias No 3. Santafé de Bogotá, 13-15 de octubre de 1993. pp. 11-15.

<sup>16</sup> HOFSTEDE, R. El impacto de las actividades humanas sobre el páramo. *Los Páramos del Ecuador. Particularidades, Problemas y Perspectivas*; Mena, P., Medina, G., Hofstede, R., Eds, 2001. p. 161-185.

### 3.1.2.1 Cobertura de suelo

La cobertura del suelo se puede definir como la "cobertura (bio) física observada de la superficie de la tierra"<sup>17</sup>. En términos puntuales para la delimitación de las coberturas de la tierra el IDEAM (1997) describe la cobertura como la unidad delimitable que surge a partir de un análisis de respuestas espectrales determinadas por sus características fisionómicas y ambientales diferenciables con respecto a una unidad próxima<sup>18</sup>.

La cobertura de suelo refleja la ocupación del terreno (y su transformación) por varios sistemas naturales, modificados o artificiales y, en cierta medida, cómo estos sistemas afectan la tierra; también es considerada como uno de los indicadores más fácilmente detectables de intervención humana, debido a que puede cambiar rápidamente con el tiempo, además es un buen indicador de la dinámica de la superficie de la tierra como resultado de una variedad de factores<sup>19</sup>.

Los datos sobre la cobertura de suelo y los cambios de cobertura de suelo son importantes para satisfacer la demanda cada vez mayor de datos confiables para respaldar los estudios e investigaciones a escala regional y mundial, de esta manera se puede considerar como una característica geográfica explícita que se puede usar en diferentes disciplinas (geografía, ecología, geología, silvicultura, política y planificación del suelo, etc.) como referencia geográfica (por ejemplo, para estudios de uso del suelo, climáticos o ecológicos)<sup>20</sup>.

### 3.1.2.2 Uso de suelo

El término "uso del suelo" se ha utilizado tradicionalmente para denotar una clasificación de las actividades humanas que ocupan superficie de suelo; en diferentes campos de estudio, de igual manera, ha sido utilizado para designar los impactos medioambientales referidos a ocupación y transformación física de áreas de terreno<sup>21</sup>.

El uso de suelo se refiere a la ocupación de una superficie determinada en función de su capacidad agrológica y por tanto de su potencial de desarrollo, se clasifica

---

<sup>17</sup> DI GREGORIO Antonio. Land Cover Classification System Classification concepts and user manual Software version (2). In: 8 EaNRS (ed). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 2005. p. 3.

<sup>18</sup> (<http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-tierra>) Recuperado el 9 de noviembre de 2018.

<sup>19</sup> DI GREGORIO, Antonio. Land Cover Classification System: Classification concepts. Software version 3. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 2016. p. 9.

<sup>20</sup> Ibid., p. 3.

<sup>21</sup> GARRAÍN, D., VIDAL, R., FRANCO, V. Ocupación y transformación del suelo de las carreteras españolas. 2008. p. 937

de acuerdo con su ubicación como urbano o rural, representa un elemento fundamental para el desarrollo de la ciudad y sus habitantes ya que es a partir de éstos que se conforma su estructura urbana y por tanto se define su funcionalidad. Recio<sup>22</sup>, lo define como “un criterio socioeconómico que hace referencia a la actividad dominante que se da en un determinado lugar, e incluye usos como residencial, comercial, industrial, agrícola, etc., pudiendo estar estas categorías divididas en niveles más específicos”. Así mismo determinado uso de suelo puede conllevar a impactos medioambientales sustanciales, particularmente los que afectan a la biodiversidad y a la calidad del mismo<sup>23</sup>. En Colombia el uso de suelo se refiere al instrumento de carácter técnico normativo que determina el uso en función de sus limitantes, potencialidades y según las posibilidades y costumbres de los habitantes del territorio, que se termina evaluándose con su ubicación cartográfica, llevando a la clasificación de una serie de categorías como suelo urbano, urbanizable y no urbanizable y suelo rural, con subcategorías como agrícola, forestal, conservación, silvopastoril, agrosilvopastoril, silvoagrícola, entre otros<sup>24</sup>.

### 3.1.3 Cambio de uso de suelo

El concepto del “cambio de uso del suelo”, traducción literal de land use change, es uno de los más ampliamente recurrentes en la literatura científica. Dicho concepto se acuñó a finales del siglo XIX en el ámbito de las ciencias sociales (geografía humana, principalmente) y en agronomía, dado que el “uso del suelo” es resultado de la actividad del hombre sobre la cubierta del suelo, es decir, se trata de patrones primordialmente culturales<sup>25</sup>.

El análisis del cambio de uso de suelo puede utilizarse para ayudar a orientar los programas de manejo y la restauración de ecosistemas degradados del área protegida. Por otra parte, los resultados obtenidos mediante este tipo de análisis pueden mostrar el grado de fragmentación del área, referidos por atributos (número de fragmentos, tamaño, forma, abundancia, riqueza y grado de aislamiento de los fragmentos)<sup>26</sup>.

---

<sup>22</sup> RECIO RECIO, Jorge Abel. Técnicas de extracción de características y clasificación de imágenes orientada a objetos aplicadas a la actualización de bases de datos de ocupación del suelo. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. 2010. 310 p

<sup>23</sup> GARRAÍN, D., et al. Op. cit. p. 938

<sup>24</sup> INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI-IGAC. Estudio semidetallado de suelos para fines agrícolas del sector plano del municipio de Valledupar. En: Revista Instituto Geográfico Agustín Codazzi 5(13). Subdirección Agrológica. Bogotá, Colombia. 2007. p. 221

<sup>25</sup> VELÁZQUEZ, Alejandro; BOCCO, Gerardo; SIEBE, Christina. Cambio de uso del suelo. *ResearchGate, publication*, 2014. p. 1-5

<sup>26</sup> RUIZ, Verónica; SAVÉ, Robert; HERRERA, Alejandrina. Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993-2011. En: Revista ecosistemas. 2013. p. 117-123.

### 3.1.3.1 Cambio del paisaje

El cambio del paisaje o proceso de cambio de uso y cobertura del suelo es un proceso que puede ser tanto natural como influenciado por actividades humanas. Es de resaltar que el proceso natural es gradual, en cambio el proceso de cambio de paisaje influenciado o inducido por actividades humanas ocurre a una mayor velocidad, como resultado de una interacción de factores socioeconómicos, culturales y biofísicos en diferentes escalas tanto espaciales como temporales<sup>27</sup>.

### 3.1.4 Sistemas de Información Geográfica

Los SIG (Sistemas de Información Geográfica), son definidos un “conjunto de software y hardware, diseñados para la adquisición, mantenimiento y uso de datos cartográficos”<sup>28</sup>. Así, los SIG son la herramienta más utilizada en la construcción de mapas de cobertura de la superficie terrestre, y en el proceso de ordenación, procesamiento y análisis de datos temáticos de correlación. Proveen al usuario la capacidad de guardar, manipular y visualizar la información de una región; también permiten ver, entender, cuestionar, interpretar y visualizar los datos de muchas maneras que revelan las relaciones, patrones y tendencias en forma de mapas, informes y gráficos<sup>29</sup>. Los datos SIG pueden obtenerse de varias fuentes, ser manipulados y analizados de diferentes maneras<sup>30</sup>.

Existen cinco elementos básicos que componen un SIG:

- ✓ **Datos.** Los datos son la materia prima necesaria para el trabajo en un SIG
- ✓ **Métodos.** Un conjunto de formulaciones y metodologías a aplicar sobre los datos.
- ✓ **Software.** Es necesaria una aplicación informática que pueda trabajar con los datos e implemente los métodos anteriores.
- ✓ **Hardware.** El equipo necesario para ejecutar el software.
- ✓ **Personas.** Las personas son las encargadas de diseñar y utilizar el software, siendo el motor del sistema SIG<sup>31</sup>.

En las últimas décadas las tecnologías de información y comunicación (tics) han ido revolucionando el desarrollo, implementación, almacenamiento y distribución de la información mediante la utilización de diferentes medios. Los sistemas de información geográfica SIG han revolucionado rápidamente, ligados al crecimiento de las tecnologías, ofreciendo e integrando cada vez más aplicaciones técnicas

---

<sup>27</sup> GUHL, A. E. Café y cambio de paisaje en la zona cafetera colombiana entre 1970 y 1997. E revista, *Cenicafe* 55 (1). 2004. p. 29-44.

<sup>28</sup> TOMLIN, C. Dana. *Geographic information systems and cartographic modelling*. New Jersey, US: Prentice-Hall, 1990.

<sup>29</sup> MORIDI, M, *et al.* Development of underground mine monitoring and communication system integrated ZigBee and GIS. *International Journal of Mining Science and Technology*, 25(5), 2015. 811-818.

<sup>30</sup> GREENBERG, J., LOGSDON, M., FRANKLIN, J. *Introducción to Geographic Information System (GIS)*. In *Learning landscape ecology: A practical guide to concepts and techniques*. Springer- Verlag, New York, United States of America. 2003. p. 17-31.

<sup>31</sup> OLAYA, Víctor. *Sistemas de Información Geográfica Tomo I. España: Creative Commons*, 2014. p. 15.

para la gestión y procesamiento de los datos espaciales en el software. Los SIG ofrecen una gran variedad de utilidades y aplicaciones relacionadas con los trabajos específicos de ordenamiento y planeación urbana y territorial<sup>32</sup>, también cuentan con datos provenientes de estudios socioeconómicos, ambientales y topográficos que sirven para aplicaciones diversas, desde la arqueología y la oceanografía hasta aplicaciones de índole económica como la comercialización o las actividades inmobiliarias, los servicios públicos como una compañía telefónica o un sistema bancario que administran o manejan su infraestructura física con una base de datos de SIG, como los registros catastrales de los sistemas de tenencia de la tierra, o en disciplinas aplicadas como la ordenación de los recursos o la comercialización y, en lo más conocido, que es la utilización de mapas digitales para los censos y la divulgación de los datos estadísticos de la ONU<sup>33</sup>.

### 3.1.5. Teledetección

Es la técnica que permite obtener información sobre un objeto, área o fenómeno a través del análisis de los datos adquiridos por un instrumento (sensor) que no está en contacto con el objeto, área o fenómeno bajo investigación<sup>34</sup>. Para que ello sea posible es necesario que, aunque sin contacto material, exista algún tipo de interacción entre los objetos observados; situados sobre la superficie terrestre, marina o en la atmósfera; y un sensor situado en una plataforma (satélite, avión, etc.)<sup>35</sup>. En el caso la teledetección la interacción que se produce va a ser un flujo de radiación que parte de los objetos y se dirige hacia el sensor.

Este flujo puede ser, en cuanto a su origen, de tres tipos:

1. Radiación solar reflejada por los objetos (luz visible e infrarrojo reflejado).
2. Radiación terrestre emitida por los objetos (infrarrojo térmico).
3. Radiación emitida por el sensor y reflejada por los objetos (radar).

Las técnicas basadas en los dos primeros tipos se conocen como teledetección pasiva y la última como teledetección activa, la radiación (solar reflejada, terrestre o emitida por el sensor y reflejada) que llega de la superficie terrestre y que ha atravesado la atmósfera, es almacenada en formato digital; una vez recuperados los datos en el centro de control del satélite, permitirán obtener información acerca de la superficie terrestre y de la atmósfera (figura 1). El tipo de información que se obtiene dependerá de la longitud de onda en la que el sensor capte radiación; el

---

<sup>32</sup> ORDOÑEZ, A., y SERNA, J. Análisis superficial y multitemporal de imágenes Landsat 7 ETM+ Y Landsat 8 OLI TIRS en el proyecto carbonífero la luna entre los años 2001 y 2015. Trabajo de grado Especialista en Información Geográfica. Manizales. Universidad de Manizales. Facultad de Ingeniería. 2015. 85 p.

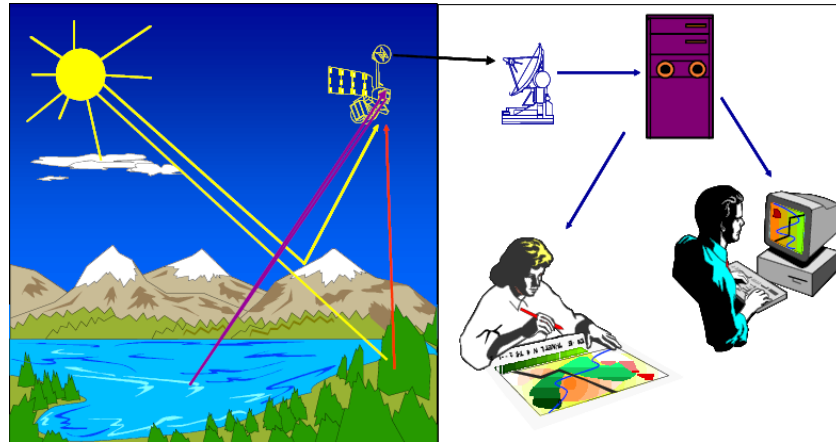
<sup>33</sup> Organización de las Naciones Unidas (ONU). Manual de sistemas de información geográfica y cartografía digital. Estados Unidos. ONU. 2000. p. 24

<sup>34</sup> CHUVIECO, Emilio. *Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio*. 3ª edición revisada. Barcelona, Editorial Ariel, 2010. p. 245

<sup>35</sup> CHUVIECO, Emilio. El factor temporal en teledetección: evolución fenomenológica y análisis de cambios. Op. cit. p. 3.

análisis de esta información permite el reconocimiento de las características de los objetos observados y de los fenómenos que se producen en la superficie terrestre y oceánica y en la atmósfera; por tanto, son muchas las ciencias, tanto naturales como sociales, interesadas en su uso (Geografía, Geología, Meteorología, Agronomía, etc.)<sup>36</sup>.

**Figura 1.** Componentes de un sistema de teledetección



**Fuente:** (Chuvieco, 2010)

Un sistema de teledetección espacial incluye elementos como fuente de energía, cubierta terrestre, sistema sensor, sistema de recepción-comercialización, intérprete y usuario final<sup>37</sup>.

- **Fuente de energía:** supone el origen del flujo energético detectado por el sensor. Puede tratarse de un foco externo al sensor, en cuyo caso se hable de teledetección pasiva, o de un haz energético emitido por éste, esto en el caso de la teledetección activa. La energía más importante, lógicamente, es la energía solar.
- **Cubierta terrestre:** está formada por distintas masas de vegetación, suelos, agua o construcciones humanas, que reciben la señal energética precedente de la fuente de energía, y la reflejan o emiten de acuerdo con sus características físicas.
- **Sistema sensor:** está compuesto por el sensor y la plataforma que lo sustenta. Tiene como misión captar la energía procedente de las cubiertas

<sup>36</sup> SOBRINO, José. *Teledetección*. Eds. Servicio de publicaciones, Universidad de Valencia, España. 2001. 447 p.

<sup>37</sup> CHUVIECO, Emilio. *Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio*. Op. cit., p. 586.

terrestres, codificarla y grabarla o enviarla directamente al sistema de recepción.

- **Sistema de recepción:** es en donde se recibe la información transmitida por la plataforma, se graba en un formato apropiado, y, tras las oportunas correcciones, se distribuye a los intérpretes.
- **Interprete:** es quien analiza esa información, normalmente en forma de imágenes análogas o digitales, convirtiéndola en una clave temática o cuantitativa, orientada a facilitar la evaluación del problema de estudio.
- **Usuario final:** encargado de analizar el documento fruto de la interpretación, así como de dictaminar sobre las consecuencias que de él se deriven<sup>38</sup>.

Tradicionalmente, la teledetección se ha estudiado como una materia complementaria pero en cierto modo separada de los Sistemas de Información Geográfica, no obstante, a medida que ambos campos se han ido desarrollando, la convergencia entre SIG y teledetección se ha ido haciendo cada vez más evidente; la teledetección es hoy en día un elemento clave para la formación en SIG, los bloques tradicionales en los que se divide el temario fundamental de la teledetección no incorporan únicamente el registro de la información y la creación de los datos, sino también su proceso posterior, interpretación y tratamiento; en conclusión la teledetección es, una fuente de datos primordial en los SIG, y el verdadero aprovechamiento de los productos actuales de la teledetección solo se da con el concurso de los SIG y sus capacidades de análisis y manejo de datos<sup>39</sup>.

### 3.1.5.1 Imagen satelital

Las Imágenes Satelitales están confeccionadas por matrices, en las que cada celda representa un píxel, las dimensiones de este píxel dependerá de la Resolución espacial del sensor. Los sensores registran la radiación electromagnética que proviene de las distintas coberturas y las almacena en cada píxel, de acuerdo a los intervalos de longitudes de onda, en las que este programado el sensor para captar; ésta energía electromagnética es representada en cada píxel por un valor digital al cual se le agrega una tonalidad, este valor es llamado Nivel Digital (ND), la cantidad de niveles digitales que se podrá representar dependerá de la Resolución Radiométrica del sensor, para un sensor con Resolución Radiométrica de 8 bit los niveles digitales varían entre 0 y 255,

---

<sup>38</sup> *ibid.*, p. 587

<sup>39</sup> OLAYA, V. Op. it., p. 123

siendo en la escala de grises el cero igual al color negro y el 255 igual al color blanco<sup>40</sup>.

La información que se obtiene de las distintas bandas de las imágenes satelitales, son de gran ayuda en diversos ámbitos o análisis tales como: en la Agricultura y recursos forestales, Uso de suelo, Geología, Recurso de agua y Medio ambiente<sup>41</sup>.

Según RS/GIS Quick Start Guides<sup>42</sup> se definen cada una de las bandas y la información que representa cada una de ellas:

- **Banda 1 (0.45-0.52  $\mu\text{m}$ , azul-verde):** Esta longitud de onda corta de luz penetra mejor que las otras bandas, y a menudo es la banda de elección para monitorear ecosistemas acuáticos (mapeo de sedimentos en agua, hábitats de arrecifes de coral, etc.). Desafortunadamente esta es la "más ruidosa" de las bandas de Landsat ya que es más susceptible a la dispersión atmosférica.
- **Banda 2(0.52-0.60  $\mu\text{m}$ , verde):** La banda fue seleccionada porque coincide con la longitud de onda del verde que vemos cuando miramos la vegetación.
- **Banda 3(0.63-0.69  $\mu\text{m}$ , rojo):** Como la vegetación absorbe casi toda la luz roja (a veces se denomina banda de absorción de clorofila), esta banda puede ser útil para distinguir entre vegetación y suelo y para controlar la salud de la vegetación.
- **Banda 4(0.76-0.90  $\mu\text{m}$ , infrarrojo cercano):** Como el agua absorbe casi toda la luz en esta longitud de onda, los cuerpos de agua aparecen muy oscuros. Esta banda es una buena banda para definir la interfaz agua / tierra.
- **Banda 5(1.55-1.75  $\mu\text{m}$ , infrarrojo medio):** Esta banda es muy sensible a la humedad y, por lo tanto, se usa para controlar la vegetación y la humedad del suelo. También es bueno para diferenciar entre nubes y nieve.
- **Banda 6(10.40-12.50  $\mu\text{m}$ , infrarrojo térmico):** Esta es una banda térmica, lo que significa que puede usarse para medir la temperatura de la

---

<sup>40</sup> PUERTA R, RENGIFO J, BRAVO N. Manual de ArcGis 10 Nivel Intermedio: Departamento de Ciencias de los Recursos Naturales Renovables. Perú. 2013. p. 13

<sup>41</sup> Ibid., p. 20

<sup>42</sup> RS/GIS Quick Start Guides. Landsat Spectral Band Information. 2008. [En línea]. Consultado 12 de octubre 2018. Disponible en <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/us/>.



superficie. Se usa para medir el estrés térmico de la vegetación. También se usa para diferenciar las nubes de los suelos brillantes ya que las nubes tienden a ser muy frías. La resolución de la banda 6 (60 m) es la mitad de las otras bandas.

- **Banda 7(2.08-2.35  $\mu\text{m}$  infrarrojo medio):** Esta banda también se usa para la humedad de la vegetación, así como para el mapeo geológico y del suelo.

### 3.1.5.1.1 Imágenes Landsat

Landsat es un proyecto que ha proporcionado más de 45 años de datos calibrados de resolución espacial moderada de alta calidad de la superficie de la Tierra, este proyecto representa la única fuente de mediciones globales, calibradas, de resolución espacial moderada de la superficie de la Tierra que se conservan en un archivo nacional y están disponibles gratuitamente para el público<sup>43</sup>. Las imágenes de Landsat proporcionan información que satisface las necesidades amplias y diversas de la seguridad empresarial, científica, educativa, gubernamental y nacional. Cuatro décadas de imágenes proporciona un recurso único para los que trabajan en la agricultura, la geología, la silvicultura, la ordenación del territorio, la educación, la cartografía, y la investigación del cambio global. Las imágenes Landsat también son de gran valor para la respuesta de emergencia y operaciones de socorro<sup>44</sup>.

Los datos detallados y fiables espaciotemporales no están fácilmente disponibles en la mayoría de los países en desarrollo, aunque las imágenes de satélite LANDSAT, por ejemplo, son accesibles; los datos espacialmente explícitos sobre el uso del suelo y el cambio del uso del suelo constituyen una parte importante para el desarrollo y la planificación rural<sup>45</sup>.

“Las imágenes LANDSAT permiten realizar un análisis de cada una de las coberturas presentes en la zona de estudio, tales como formaciones geológicas, áreas de interés forestal, cuerpos de agua, centros urbanos, entre otros. Al realizar un análisis multitemporal de una zona, podemos determinar las coberturas que se han perdido o que pueden haber aumentado, se pueden analizar los cambios

---

<sup>43</sup>USGS. Descripciones proyecto Landsat. Servicio Geológico de los Estados Unidos. Actualización de Landsat 2017 Edición especial 4. . [En línea], Consultado el 20 de Octubre de 2019. Disponible en <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-update-2017-special-issue-4>

<sup>44</sup> USGS. Descripciones proyecto Landsat. Servicio Geológico de los Estados Unidos. 2016. [En línea], Consultado el 14 de junio de 2016. Disponible en [http://landsat.usgs.gov/about\\_project\\_descriptions.php](http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php).

<sup>45</sup> KIBRET, K., MAROHN, C., CADISCH, G. Assessment of land use and land cover change in South Central Ethiopia during four decades based on integrated analysis of multi-temporal images and geospatial vector data. Remote Sens. Appl. Soc. Environ. 3. 2016. p. 1–19.

geomorfológicos como cambios en los cursos de los ríos, zonas afectadas por erosión natural etc. Otros aspectos que se pueden analizar son los impactos ambientales debido a actividades antropogénicas (operaciones mineras, actividades agropecuarias, etc.)<sup>46</sup>.

En la Tabla 1 se observan las características de los 2 tipos de satélites Landsat utilizados.

**Tabla 1.** Tipos de satélites Landsat y sus características

Satélite	Sensor	Bandas	Resolución Espectral	Tamaño escena (Km)	Resolución Pixel (Metros)
L 4 – 5	TM multiespectral	1	0,45 - 0,52 $\mu\text{m}$ (visible-azul)	185 x 170	30 m
		2	0,52 - 0,60 $\mu\text{m}$ (visible-verde)		
		3	0,63 - 0,69 $\mu\text{m}$ (visible-rojo)		
		4	0,76 - 0,90 $\mu\text{m}$ (IR-cercano)		
		5	1,55 - 1,75 $\mu\text{m}$ (IR-medio)		
	7	2,09 - 2,35 $\mu\text{m}$ (IR-medio)			
	TM termal	6	10,40 - 12,50 $\mu\text{m}$ (IR-térmico)		120 m
L 7	ETM+multiespectral	1	0,45 - 0,51 $\mu\text{m}$ (visible-azul)	185 x 185	30 m
		2	0,52 - 0,60 $\mu\text{m}$ (visible-verde)		
		3	0,63 - 0,69 $\mu\text{m}$ (visible-rojo)		
		4	0,77 - 0,90 $\mu\text{m}$ (IR-cercano)		
		5	1,55 - 1,75 $\mu\text{m}$ (IR-medio)		
		7	2,09 - 2,35 $\mu\text{m}$ (IR-medio)		
		6.1 - 6.2	10,40 - 12,50 $\mu\text{m}$ (IR-térmico)		60 m
8	0,52 - 0,90 $\mu\text{m}$ (Pancromática)	15 m			

**Fuente:** U.S. Geological Survey & NASA Global Land Cover Facility, Universidad de Maryland. <http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>

### 3.1.6 Corrección de las imágenes.

Las correcciones que se deben realizar sobre las imágenes tienden a eliminar los ruidos causados a la señal que llega al satélite luego de haber atravesado la atmósfera, el efecto de la distorsión de la señal produce errores en la localización como en los ND (niveles digitales) de los píxeles, que pueden presentar

<sup>46</sup> ORDOÑES y SERNA. Op. cit., 85 p.

alteraciones geométricas y radiométricas de forma que no coincida con el tono, posición y tamaño de los objetos<sup>47</sup>.

- **Correcciones geométricas**: son transformaciones puntuales, que posibilitan el cambio de la posición de los píxeles originales de la imagen sin alterar los niveles digitales; las transformaciones que relacionan las nuevas posiciones de los píxeles se pueden basar en funciones numéricas, que facilitan modificar la geometría de la imagen, alteración de la posición del píxel en la imagen sin llevar implícito una georreferenciación<sup>48</sup>.
- **Correcciones radiométricas**: Éstas corresponden al conjunto de operaciones utilizadas para modificar los ND (Niveles digitales) originales de una imagen, para aproximarse a valores obtenidos en condiciones ideales, manteniendo invariable la posición de los píxeles; debido a las condiciones atmosféricas y a posibles fallas dentro de los sensores<sup>49</sup>.

### 3.1.7 Clasificación de Imágenes

Las técnicas de clasificación de imágenes posibilitan la transformación de imágenes crudas (fotografías aéreas, imágenes de Satélite, etc.) en datos temáticos o mapas que mostraran información con un significado evidente. Existen diferentes técnicas para poder llevar a cabo estas clasificaciones<sup>50</sup>.

#### 3.1.7.1 Técnicas de clasificación de imágenes

Por técnicas de clasificación de imágenes debemos de entender un conjunto de métodos automáticos que podemos clasificar o agrupar en dos técnicas:

- **Clasificación Supervisada**: Método en el cual se requiere la participación activa del analista que esté realizando la clasificación de la imagen de satélite, este tipo de clasificación se realiza por un operador que define las características espectrales de las clases, mediante la identificación de áreas de muestreo (áreas de entrenamiento, además este método parte de un conocimiento previo del terreno, a partir del cual se seleccionan las muestras para cada una de las categorías<sup>51</sup>.

---

<sup>47</sup> BRIZUELA, A., AGUIRRE, C., y VELASCO, I. Aplicación de métodos de corrección atmosférica de datos Landsat 5 para análisis multitemporal. Memorias. Teledetección. Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional. Madrid, España, 2007, vol. 21. p. 208.

<sup>48</sup> BERNAL, Hector, y MONTES, Patricia. Análisis multitemporal de la dinámica en el cambio de uso de la tierra en Manizales durante el período 1969 – 2015 estudio de caso: comuna Ciudadela del Norte, Manizales. 2016. p. 98

<sup>49</sup> *ibid.*, p. 100

<sup>50</sup> MONTERROSO, M. Guía Práctica: Clasificación de imágenes satelitales. 2013. [En línea], Consultado el 30 de octubre de 2018. Disponible en <http://geoportail.inigemmm.gob.ec/?wpdmact=process&did=OS5ob3RsaW5r>.

<sup>51</sup> CHUVIECO, Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio. Op, cit., p. 345.

- **Clasificación no Supervisada:** Las clasificaciones no supervisadas guardan relación con el valor relativo al color, al tono o al clúster (grupo o agrupamientos), para identificar entidades. En esta técnica de clasificación, la influencia que puede ejercer el operador es prácticamente nula, mas allá de seleccionar el algoritmo de clasificación que va a utilizarse<sup>52</sup>.

### 3.1.8 Metodología CORINE LAND COVER (Colombia)

El proyecto “Corine Land Cover” 1990 (CLC90) desarrollado en Europa, define una metodología específica elaborada para realizar el inventario de la cobertura de la tierra, la cual consiste en un inventario de la cobertura terrestre y la ocupación del suelo, realizado en el marco de la constitución de una base de datos única, que constituya una herramienta de la política del ambiente y de la ordenación territorial para la toma de decisiones, la base de datos de la cobertura de la tierra (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar características de las coberturas, interpretadas a partir de imágenes satelitales de resolución media (Landsat) para la construcción de mapas de cobertura a escala 1:100 000<sup>53</sup>.

La metodología CORINE Land Cover, adaptada a las condiciones del territorio Colombiano, se convierte en una herramienta para avanzar en el conocimiento de las coberturas de la tierra en otras cuencas y para la actualización permanente de la información, con lo cual se espera que se faciliten los procesos de seguimiento y evaluación de la dinámica de los cambios de las coberturas terrestres<sup>54</sup>.

En Colombia existen actualmente múltiples metodologías y sistemas de clasificación para levantar información de las coberturas de la tierra. El proyecto “CORINE Land Cover Colombia” se propuso estandarizar un sistema de clasificación, con categorías jerárquicas definidas de acuerdo con la información que pueden proporcionar las imágenes de satélite Landsat TM, conforme con las condiciones locales del territorio nacional. La adaptación y validación de la metodología CLC permite comparar estadísticas de ocupación de la tierra, crear líneas de comunicación entre las diferentes instituciones que adopten el sistema, y, además, facilitar la homologación de información<sup>55</sup>.

---

<sup>52</sup> MONTERROSO. Op. cit., p. 3

<sup>53</sup> IDEAM, IGAC & CORMAGDALENA. Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Autónoma Regional del río Grande de La Magdalena. Bogotá, D.C. 2008. p. 29

<sup>54</sup> MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra- Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia Escala 1:100.000 Bogotá. 2010. 72 p.

<sup>55</sup> Ibid., p. 53

### 3.1.9 Análisis Multitemporal

Es una técnica que permite obtener conclusiones diferenciadas relacionadas con las transformaciones espaciales de una región. El procesamiento multitemporal implica que las series de datos provenientes de diferentes fechas, tienen que convertirse en un conjunto único de datos<sup>56</sup>. El análisis multitemporal, consiste en evaluar comparativamente dos o más imágenes de la misma zona pero de fechas diferentes deduciendo la evolución del medio natural y las repercusiones de la acción humana sobre el entorno<sup>57</sup>.

La información que se obtiene de un análisis multitemporal permite evaluar la magnitud de los cambios, encontrar los actores principales en los procesos de cambios y suministrar información para corregir los problemas oportunamente, en caso de ser posible<sup>58</sup>. Este tipo de análisis permite un monitoreo de la intervención humana en determinada área y una interpretación de los posibles conflictos de uso de suelo en determinados ecosistemas.

La topología temporal se hace necesaria en un sistema en el que no solo se identifiquen y representen los cambios, sino que también posibilite una serie de funciones que nos permitan aprender y manipular los datos temporales y convertirlos en información<sup>59</sup>.

### 3.1.10 Modelación de los cambios de cobertura y uso de suelo

Los modelos de cambios de cobertura y uso de suelo (CCUS), son proyecciones donde se analizan las transformaciones del paisaje en el pasado, con el fin de generar un modelo matemático que estima la probabilidad de cambio futuro en función de una serie de variables para estimar los patrones o procesos de cambio<sup>60</sup>.

---

<sup>56</sup> MEHL, Harald; PEINADO, Osvaldo. Fundamentos del procesamiento digital de imágenes. Aplicación de la teledetección y de los sistemas de información geográfica en la gestión de recursos naturales. Parte I: Fundamentos teóricos y prácticos, 1997. p. 317

<sup>57</sup> CHUVIECO, Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio. Op, cit., p. 328.

<sup>58</sup> CORDOBA C., y REVELO L. Análisis multitemporal para la identificación y cambio de la cobertura vegetal y uso de la tierra en la Microcuenca Dolores, Municipio de Pasto, departamento de Nariño, en el periodo comprendido entre 1985 a 2007. Tesis Especialista en Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Facultad de Ciencias y Tecnologías, Universidad Santo Tomas. Colombia. 2012. 94 p.

<sup>59</sup> PALACIOS-MORERA, Marino. Cambio ambiental, teledetección y sistemas de información geográfica temporal. Actas del V Coloquio de Geografía Cuantitativa. Universidad de Zaragoza, España. 1992. p. 291-304.

<sup>60</sup> MAS, J. F., KOLB, M., PAEGELOW, M., OLMEDO, M. T. C., & HOUET, T.. Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. Environmental Modelling & Software, 2014, vol. 51, p. 94-111.

En la actualidad existen diferentes paquetes de modelación para SIG, los cuales presentan diferentes herramientas y algoritmos, algunos de estos modelos son: CA\_MARKOV (IDRISI Taiga), Clue-S (Conversion of Land Use and its Effects), Land Change Modeler – LCM (IDRISI y como extensión de ArcGIS) y Molusce; este último en el software QGIS.

### 3.1.10.1 Molusce

Este es un plugin del software QGIS, enfocado en la modelación de usos de la tierra, sus siglas en inglés (*Modules for Land Use Change Evaluation*), este es un plugin desarrollado para analizar, modelar y simular los cambios de uso de suelo en un área determinada<sup>61</sup>.

### 3.1.11 Vulnerabilidad

Es el factor interno de una comunidad o sistema expuesto a una amenaza; la vulnerabilidad comprende a su predisposición intrínseca a ser afectado de ser susceptible a sufrir un daño, y de encontrar dificultades en recuperarse posteriormente<sup>62</sup>.

**Vulnerabilidad ambiental:** Está relacionada con la susceptibilidad o predisposición intrínseca del medio y los recursos naturales a sufrir daños o pérdidas, ya sea por eventos naturales o actividades socioeconómicas; esta vulnerabilidad ambiental, implica comprender la susceptibilidad o resistencia del área en particular respecto su problemática ambiental y cómo se manifiesta<sup>63</sup>.

#### 3.1.11.1 Matriz de comparación en pares

La matriz de comparación por pares, es una matriz cuadrada que contiene comparaciones pareadas de alternativas o criterios, donde se registran los pesos de los criterios evaluados, con el fin de obtener el índice de consistencia promedio para cada una de los elementos que se está evaluando<sup>64</sup>.

---

<sup>61</sup> Asia Air Survey Co. (2012). *MOLUSCE: An open source land use change analyst for QGIS*. Japón. Consultado el 6 de julio de 2019. Disponible en [http://www.ajiko.co.jp/dl/pdf\\_tf2014/p62-63.pdf](http://www.ajiko.co.jp/dl/pdf_tf2014/p62-63.pdf)

<sup>62</sup> LAVELL, Allan. Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición. Biblioteca Virtual en Salud de Desastres-OPS, 2001, vol. 4, p. 1-22.

<sup>63</sup> CARDONA, Omar Darío. La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. International Work-Conference on Vulnerability in Disaster Theory and Practice. Holanda. 2002. p.10.

<sup>64</sup> QUISPE LOYOLA, César Raúl. Aplicación del proceso analítico jerárquico (AHP) en la selección de un marco de referencia para gestionar los proyectos de una empresa consultora. 2017. p. 34

### 3.2 ESTADO DEL ARTE

Desde diferentes áreas del conocimiento, han surgido diversos estudios de los cambios en el uso del suelo a lo largo del tiempo por medio de la utilización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), con el apoyo de imágenes de satélite y software especializados. Estudios como los realizados por Rebollo<sup>65</sup>, quien evaluó el grado de intervención en el complejo de páramos Tota – Bijagual – Mamapacha, de manera multitemporal, utilizando técnicas de teledetección por medio de imágenes Landsat; Cárdenas<sup>66</sup>, estimó la pérdida de glaciar de la Sierra Nevada del Cocuy entre los años 1992, 2003 y 2014 a partir de imágenes Landsat; Peña<sup>67</sup>, analizó el comportamiento glaciar de la Sierra Nevada del Cocuy, con el fin de determinar una estimación de la pérdida glaciar a partir de imágenes satelitales Landsat obtenidas para los años 1992, 2003 y 2014 y determinar el porcentaje de área de pérdida del glaciar en un periodo de 22 años; Gil<sup>68</sup>, identificó los cambios espaciotemporales de las formaciones vegetales en el Macizo de Bijagual.

A nivel nacional, Mendoza y Etter<sup>69</sup>, analizaron el proceso de cambio del paisaje en la transformación de vegetación local durante 56 años en el altiplano de sureste de Bogotá; Atencia *et al.*<sup>70</sup>, realizaron un estudio multitemporal de imágenes satelitales con el fin de delimitar el complejo del bajo San Jorge y realizar un diagnóstico de las zonas intervenidas de manera antrópica (agricultura y ganadería); Bohórquez *et al.*<sup>71</sup>, analizaron zonas afectadas por incendios forestales en el Vichada mediante imágenes de satélite, análisis multitemporales y estadística espacial; Riaño y Blanco<sup>72</sup>, realizaron un estudio para evaluar, monitorear y modelar el estado de los recursos naturales en el municipio de Manaure –Guajira, por medio de procesamiento digital de imágenes Landsat;

---

<sup>65</sup> REBOLLO, María Elena. Estudio multitemporal para la determinación de cambios en el uso del suelo en el complejo de páramos Tota-Bijagual-Mamapacha para el periodo 1992-2012. 2014. [En línea] Consultado el 30 de octubre de 2018. Disponible en <https://repository.unimilitar.edu.co>.

<sup>66</sup> CÁRDENAS, E. Análisis multitemporal del retroceso glaciar de la Sierra Nevada del Cocuy ubicada en los departamentos de Boyacá y Arauca entre los años 1992, 2003 y 2014. 2015. 23 p.

<sup>67</sup> PEÑA, S. Jeimy. *Análisis multitemporal del retroceso glaciar de la Sierra Nevada del Cocuy ubicada en los departamentos de Boyacá y Arauca entre los años 1992, 2003 y 2014*. Bogotá D.C. 2015. 26 p.

<sup>68</sup> GIL-LEGUIZAMÓN, Pablo. Análisis multitemporal de la vegetación del macizo de Bijagual-Boyacá. Tesis de grado para optar por el título de Magister en Ingeniería Ambiental. UPTC – Tunja. 2016. 118 p.

<sup>69</sup> MENDOZA S., Javier. y ETTER, Andrés. Multitemporal analysis (1940–1996) of land cover changes in the southwestern Bogota highplain (Colombia). *Landscape and urban planning*, 2002, vol. 59, no 3, p. 147-158.

<sup>70</sup> ATENCIA, Andrés; CONTRERAS, John Jairo; VERGARA, David. Estudio multitemporal de imágenes satelitales con fines de delimitación del complejo Bajo San Jorge izquierdo (B13) y diagnóstico de zonas intervenidas antropicamente (Agricultura y Ganadería). 2010. 117 p.

<sup>71</sup> BOHÓRQUEZ, Ludy., GÓMEZ, Ivonne., SANTA, Fernando. Methodology for the discrimination of areas affected by forest fires using satellite images and spatial statistics. *Procedia Environ*. 2011. Sci. 7, 389–394.

<sup>72</sup> RIAÑO, Gonzalo y BLANCO, Karen Paola. Análisis multitemporal de uso y cobertura del suelo en el Municipio de Manaure–Guajira-Colombia, Implementando imágenes landsat. 2011. En: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE. p.6442

Romero *et al.*<sup>73</sup>, muestran una evaluación cuantitativa de los cambios de uso de suelo y coberturas en los llanos orientales de Colombia entre 1987 y 2007; Ordoñez y Serna<sup>74</sup>, realizaron un análisis multitemporal sobre un proyecto carbonífero del departamento del Cesar entre los años 2001 y 2015; Bernal y Montes<sup>75</sup>, evaluaron la dinámica en el cambio de uso de la tierra en Manizales durante un periodo de 46 años, con el fin de ofrecer alternativas para uso planificado del territorio, estudio de caso comuna Ciudadela del Norte, Manizales; Páez y García<sup>76</sup>, compararon algunas técnicas de procesamiento digital de imágenes Landsat 5 y Landsat 8, con el fin de determinar la pérdida en área del glaciar de la Sierra Nevada de Santa Marta y evaluar el comportamiento futuro del glaciar; Arango *et al.*<sup>77</sup>, realizó un análisis de la expansión urbana de la ciudad de Popayán, mediante el uso de imágenes satelitales Landsat de los años 1989, 2002 y 2014, efectuando composiciones y análisis de imágenes multiespectrales Landsat que determinan las modificaciones ocurridas en un periodo de 25 años; Capote<sup>78</sup>, comparó 2 imágenes de satélite Landsat 7 y 8 de los años 1999 y 2015 respectivamente, con el fin de realizar un análisis multitemporal por medio de clasificación supervisada de imágenes landsat del parque entre nubes de la ciudad de Bogotá para identificar corredores ecológicos y determinar las coberturas de importancia ecológica y ambiental debido a los procesos de re naturalización.

A nivel internacional, varios autores han realizado estudios donde utilizan imágenes de satélite (Landsat), para evaluar largos periodos de tiempo (análisis multitemporales), en relación con los cambios de uso de suelo Trabajos como los realizados por Ahmad<sup>79</sup>; Seif and Mokarram<sup>80</sup>; Zoran and Anderson<sup>81</sup>, muestran el uso de SIG para determinar los diferentes cambios de uso de suelo en un área geográfica determinada. Sin embargo también existen sin número de trabajos en su gran mayoría enfocados en el NDVI (índice de vegetación normalizada), los cuales utilizan datos de teledetección para establecer cambios de la cobertura

---

<sup>73</sup> ROMERO-RUIZ, *et al.* Landscape transformations in savannas of northern South America: Land use/cover changes since 1987 in the Llanos Orientales of Colombia. *Appl. Geogr.* 32. 2012. p. 766–776.

<sup>74</sup> ORDOÑEZ y SERNA. *Op. cit.*, 85 p.

<sup>75</sup> BERNAL, Hector, y MONTES, Patricia. Análisis multitemporal de la dinámica en el cambio de uso de la tierra en Manizales durante el período 1969 – 2015 estudio de caso: comuna Ciudadela del Norte, Manizales. 2016. 89 p.

<sup>76</sup> PÁEZ, GONZALEZ. Blanca, y GÁRCIA, Carlos Andrés. Análisis multitemporal del retroceso glaciar en la Sierra Nevada de Santa Marta-Colombia-para los periodos 1986,1996,2007 y 2014. Bogotá D.C. 2016. 66 p.

<sup>77</sup> ARANGO, Román; CHILITO, Juan Carlos; CIFUENTES, Alejandra. Análisis multitemporal de la expansión urbana de la ciudad de Popayán, Cauca entre los años 1989, 2002 y 2014. 2016. 61 p.

<sup>78</sup> CAPOTE MOSQUERA, Richard Mauricio. Análisis multitemporal por medio de clasificación supervisada de imágenes landsat del parque entre nubes de la ciudad de Bogotá para identificar corredores ecológicos. 2016. 10 p.

<sup>79</sup> AHMAD, Farooq. Detection of change in vegetation cover using multi-spectral and multi-temporal information for District Sargodha, Pakistan. *Sociedade & Natureza*, 2012, vol. 24, no 3, p. 557-571.

<sup>80</sup> SEIF, A.; MOKARRAM, M. Change detection of Gil Playa in the northeast of Fars Province, Iran. *Am J Sci Res*, 2012, vol. 86, p. 122-130.

<sup>81</sup> ZORAN, M.; ANDERSON, E. The use of multi-temporal and multispectral satellite data for change detection analysis of the Romanian Black Sea coastal zone. *Journal of optoelectronics and advanced materials*, 2006, vol. 8, no 1, p. 252.



vegetal, que de igual manera están basados en estudios multitemporales; algunos autores como Lambin y Ehrlich<sup>82</sup>; Lunetta *et al.*<sup>83</sup>, implementan técnicas de SIG y de esta manera obtienen mejores visiones de cómo han cambiado los usos de la cobertura de la tierra respecto a la vegetación en un intervalo de tiempo determinado; este tipo de resultados, pueden influir en la toma de decisiones en países donde la base de su economía es la agricultura.

Estudios realizados en relación al cambio de uso de los suelo por medio de SIG incluyen un arduo trabajo de campo, no solamente los software que se pueden implementar únicamente con imágenes de satélite y recopilación de datos que proporcionan la cartografía de un lugar determinado, sino que también se puede incluir trabajo de campo, apoyado en la toma de puntos específicos, observaciones de determinadas áreas y en algunas ocasiones trabajo con la comunidad, estudios como los realizados por Pullanikkatil *et al.*<sup>84</sup>, muestran una combinación entre el uso de SIG y trabajo comunitario, en relación al aprovechamiento de los servicios que les prestan los ecosistemas en Malawi.

Existe una inclinación en el cambio de uso de suelo, centrados de manera exclusiva en cambios forestales, en especial en la deforestación tropical, la intensificación y/o expansión de la agricultura y la urbanización. Pocos son los trabajos realizados enfocados a la acción minera; estudios realizados con SIG como los de Khalil *et al.*<sup>85</sup>, muestran la relevancia de la integración de una gran cantidad de datos multidisciplinarios relacionados con los diferentes componentes del ecosistema para revelar el origen y la extensión de los contaminantes en zonas de minería. Otros resultados demuestran que la dinámica de uso del suelo en una región transfronteriza pueden ser modelados de manera adecuada mediante la combinación de métodos de SIG, CA (Autómatas Celulares) y DLT (árbol de aprendizaje de decisión)<sup>86</sup>.

---

<sup>82</sup> LAMBIN, E. F.; EHRLICH, D. The surface temperature-vegetation index space for land cover and land-cover change analysis. *International journal of remote sensing*, 1996, vol. 17, no 3, p. 463-487.

<sup>83</sup> LUNETTA, Ross S., et al. Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. *Remote sensing of environment*, 2006, vol. 105, no 2, p. 142-154.

<sup>84</sup> PULLANIKKATIL, Deepa; PALAMULENI, Lobina; RUHIGA, Tabukeli. Assessment of land use change in Likangala River catchment, Malawi: a remote sensing and DPSIR approach. *Applied Geography*, 2016, vol. 71, p. 9-23.

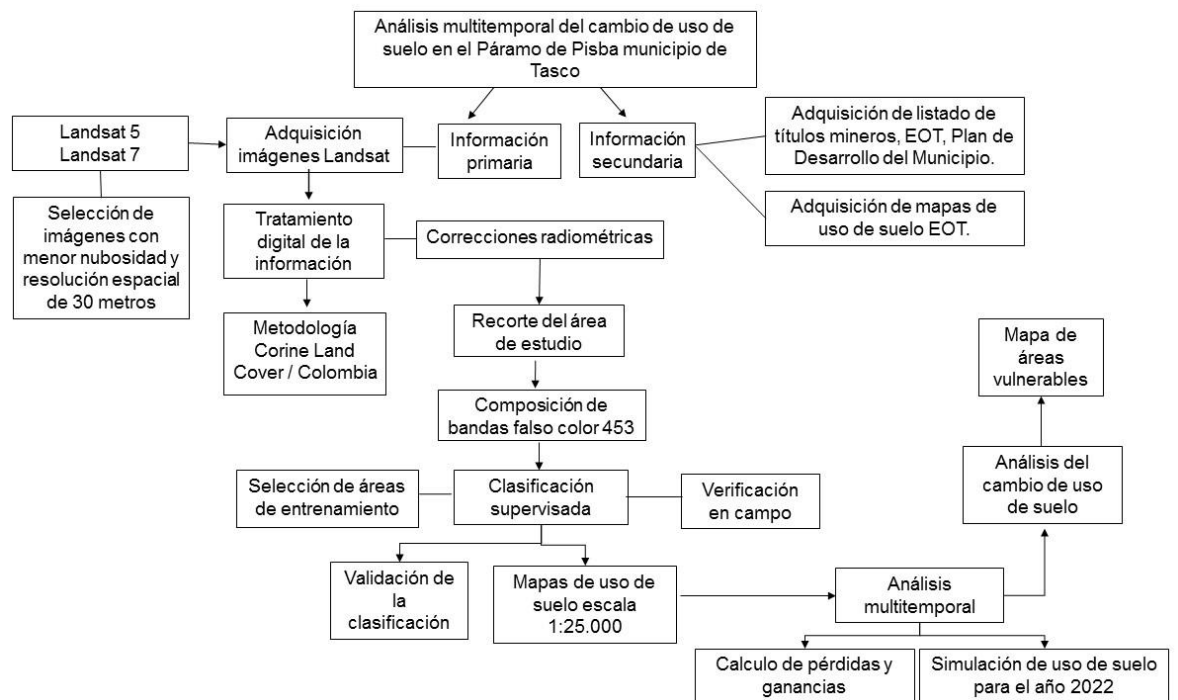
<sup>85</sup> KHALIL. *Op. cit.*, p. 470.

<sup>86</sup> BASSE, Reine Maria; CHARIF, Omar; BODIS, Katalin. Spatial and temporal dimensions of land use change in cross border region of Luxembourg. Development of a hybrid approach integrating GIS, cellular automata and decision learning tree models. *Applied geography*, 2016, vol. 67, p. 94-108.

## 4. DISEÑO METODOLÓGICO

En este capítulo, se detallan las actividades que hacen parte del proceso, para dar cumplimiento a los objetivos planteados dentro del presente proyecto. La Figura 2, muestra el modelo conceptual, aplicado durante el desarrollo de la investigación en base a imágenes satelitales a escala 1:100.000, que permitirán una visión amplia y detallada del terreno a estudiar.

**Figura 2.** Modelo conceptual



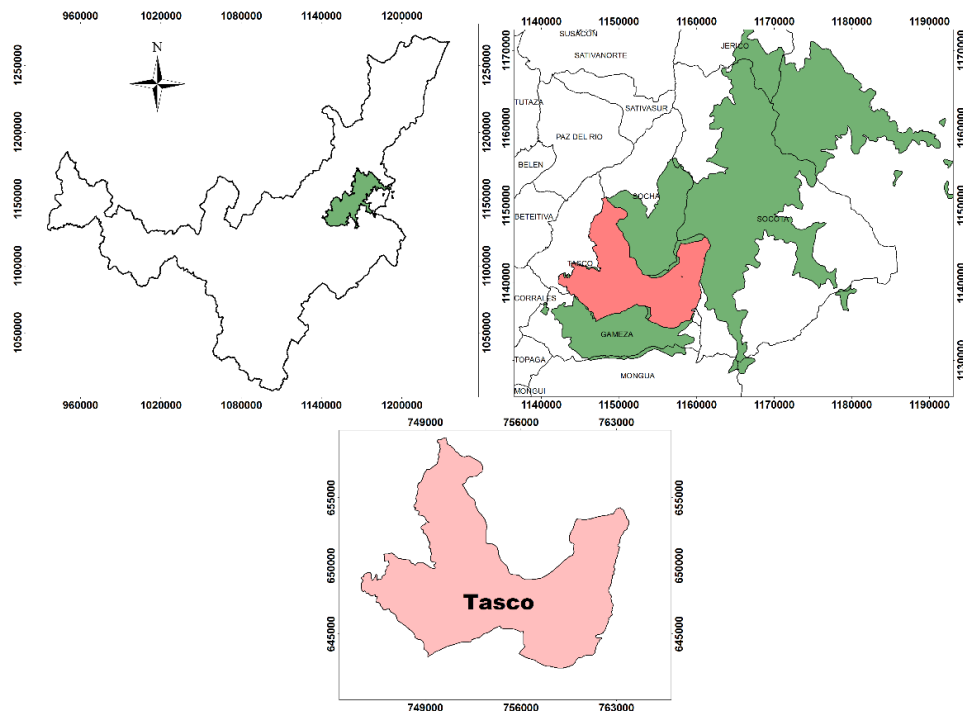
**Fuente:** La autora

### 4.1 Área de Estudio

El análisis multitemporal desarrollado se llevó a cabo en el área correspondiente al páramo de Pisba en jurisdicción del municipio de Tasco, departamento de Boyacá, Colombia (figura 3). Tasco es un Municipio Colombiano ubicado en la provincia de Valderrama en la Región Centro Oriente del Departamento de Boyacá, a una distancia de 115 km de su capital Tunja. La cabecera del municipio se halla a una altura 2530 msnm y tiene una temperatura promedio de 15°C. Tiene una extensión

de 234 km<sup>2</sup> de los cuales, pertenecen 85 Km<sup>2</sup> a clima frío y 149 km<sup>2</sup> pertenecen a la zona de páramo. Su territorio es montañoso, tiene una altitud que va desde los 2.400 msnm en la parte más baja, hasta los 3.800 msnm aproximadamente en la parte más alta, donde gran parte del territorio hace parte del Parque Nacional Natural Pisba<sup>87</sup>.

**Figura 3. Zona de estudio**



**Fuente:** La autora

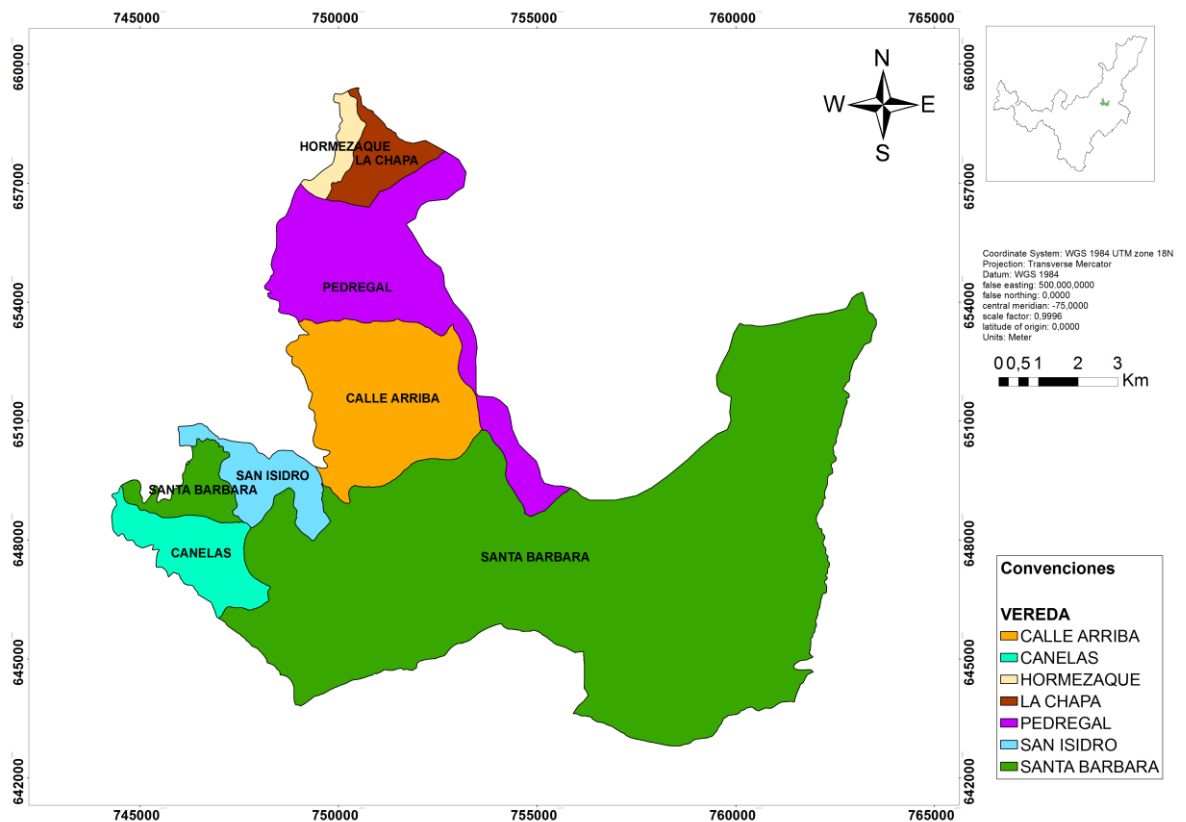
El municipio limita por el norte, con los municipios de Socha y Paz de Río; por el sur con los municipios de Gámeza y Corrales; por el oriente con el municipio de Socotá y por el occidente con los municipios de Paz del Río, Betétiva. Tasco está dividido políticamente de la siguiente manera:

<sup>87</sup> ACUERDO N° 006, por el cuál se adopta el Plan De Desarrollo Municipal del municipio de Tasco- Boyacá. "Como debe ser... unidos por un Tasco". Para el periodo constitucional 2012-2015. [En línea], disponible en: <http://cdim.esap.edu.co/bancomedios/documentos%20pdf/tascoboyac%C3%A1pd20122015.pdf>. Recuperado el 16 de junio de 2016.

La cabecera municipal (Zona urbana) denominada el “CENTRO” y siete veredas así:

- La Chapa
- Hormezaque
- Pedregal
- Calle Arriba
- San Isidro
- Santa Bárbara
- Canelas

**Figura 4.** Mapa de las veredas del municipio dentro del área de PNN Pisba.



**Fuente:** ACUERDO N° 006, por el cuál se adopta el Plan De Desarrollo Municipal del municipio de Tasco- Boyacá.

Las siete veredas tienen áreas dentro de la zona del PNN Pisba, de ellas la vereda Santa Bárbara representa la mayor extensión con 61,6% respecto al área total de la zona objeto de estudio (Figura 4).

Las tierras del Municipio en su extensión rural se encuentran dedicadas a ganadería de doble propósito, minería subterránea (carbón) y agricultura en una menor proporción, dentro de las cuales se destacan los cultivos de papa, hortalizas y cebolla cabezona<sup>88</sup>.

#### **4.1.1 Población**

La población total para el 2015 en el Municipio de Tasco es de 6.296 personas de las cuales 1.797 (28.55%) residen en la cabecera municipal y las restantes 4.499 (71.45 %) en el área rural. Sin embargo, según cifras de SISBEN a 31 de diciembre de 2015 en el Municipio hay 6.032 personas de las cuales 4.321(71.64%) residen en el área rural y las restantes 1.711 (28.36%) en el área urbana, es importante tener en cuenta que en la base de datos del SISBEN se encuentran las personas con niveles I y II, justificando así la diferencia de población<sup>89</sup>.

#### **4.1.2 Economía**

Basados en los recursos naturales que posee Tasco, la economía se estructura en los sectores agropecuarios, mineros, turísticos, artesanales, así como actividades de comercio y de servicio, de estos sectores el sector agropecuario es identificado como el generador de mayores ingresos. El uso actual del suelo en el municipio según el EOT se encuentra distribuido en tres sectores de acuerdo con su importancia en agricultura 20% con productos tradicionales, 40% a la ganadería, con ganado criollo y cruzado y el 40% restante se dedica a otros usos como minería, bosque, páramo y zonas escarpadas<sup>90</sup>.

#### **4.1.3 Uso actual del suelo**

El 80% del municipio presenta actividades agropecuarias, también se encuentra explotación minera (extracción de carbón bajo tierra), algunas canteras, receberas, explotación de arena, esto en la parte baja. la cantidad de agua y el clima determinan la cobertura vegetal y condicionan el uso del suelo así: las áreas húmedas abajo del páramo denominado pastizales; en áreas semihúmedas los cultivos y algo de pastos y zonas semiáridas son destinadas a un uso agropecuario de subsistencia<sup>91</sup>. El uso actual del suelo en la zona que corresponde al área protegida se visualiza en la Figura 5 (Anexo 5 versión digital).

---

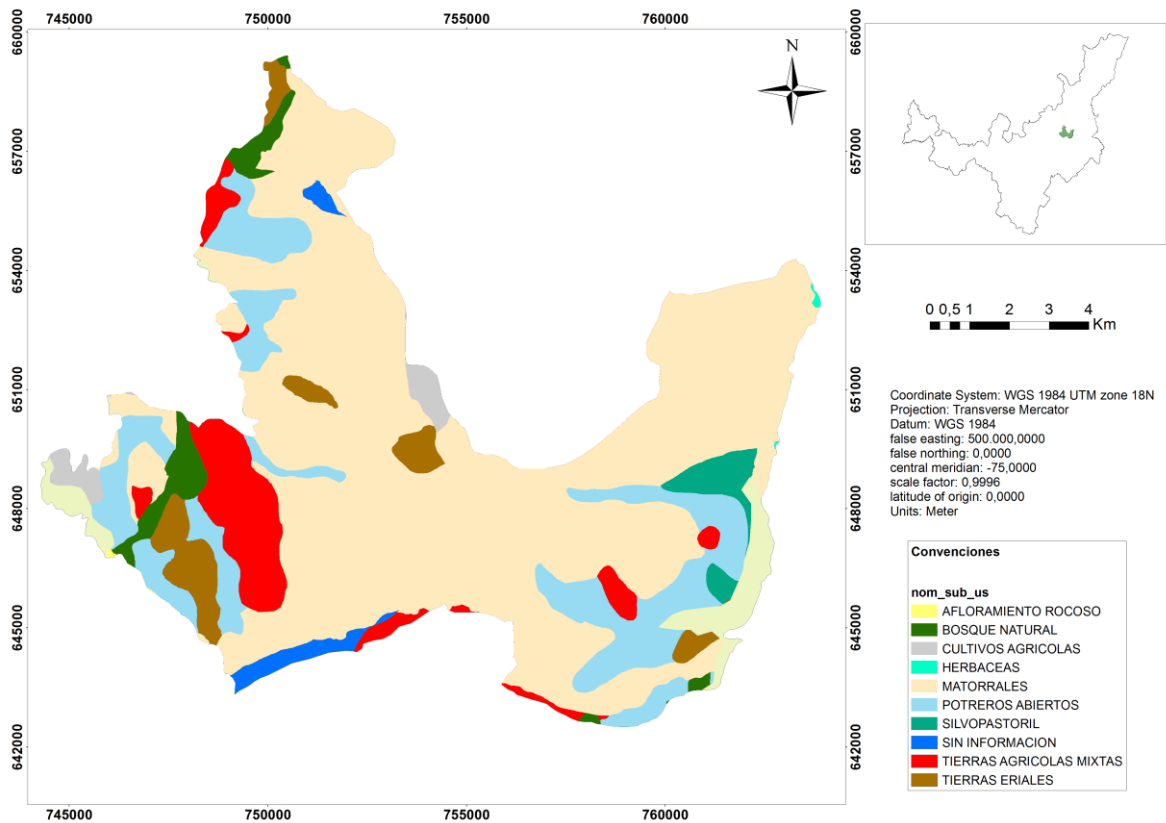
<sup>88</sup> ACUERDO N° 006 Op cit., p.86

<sup>89</sup> Ibid., p 90

<sup>90</sup> Ibid., p 95

<sup>91</sup> Acuerdo EOT, Tasco (2000) pag\_234

**Figura 5.** Mapa del uso actual del suelo en el área de PNN Pisba



**Fuente:** La autora a partir de shapefiles Corpoboyacá y EOT

- **Praderas o pastos:** Entre los pastos existentes están: Kikuyo, desde los 2.200m.s.n.m. hasta prácticamente los 2.900m.s.n.m.
- **Ganadería:** El número total de cabezas de ganado en el municipio es de aproximadamente 7.000 cabezas, las razas predominantes son el criollo, algunas mejoradas con normando, la explotación ganadera es tradicional, ganado amarrado en su mayoría. Por encima de los 2.900 metros de altura se cuida el ganado suelto, lo que se denomina Sabana de Páramo.
- **Minería:** La mayor dedicación de esta actividad está en el carbón y en menor escala la explotación de arena, en los sectores de Peña Blanca, en la vereda de Santa Bárbara, vereda Hormezaque y la Chapa. En Tasco existen 133 títulos mineros de carbón, de los cuales 98 se encuentran legalmente constituidos y 35 ilegales, 80 bocaminas con licencia ambiental y 53 sin licencia ambiental; 21 bocaminas están en zona de páramo. Se han

suspendido 14 bocaminas ilegales y se han suspendido por licencia ambiental 23 bocaminas<sup>92</sup>

- **Agricultura:** La mayor actividad agrícola del Municipio de Tasco, después de la ganadería es la agrícola y minera, los cultivos más sobresalientes son: papa, maíz frijol, trigo, cebada, arveja, cebolla cabezona y haba, en menor escala. También se encuentra algunos frutales como curuba, mora, tomate de árbol, ciruela, durazno entre otros.
- **Agricultura mixta:** Gran parte de las actividades agrícolas del municipio presentan cultivos con áreas de matorrales y arbustos principalmente en la Vereda Santa Bárbara y en algunas zonas de Parque Nacional Natural de Pisba.
- **Tierras eriales:** A este tipo de uso pertenecen zonas secas, sujetas a erosión, así como zonas con ausencia de algún tipo de vegetación.
- **Bosques:** La mayor parte de reserva de bosque nativo se encuentra en los sectores de Tasajeras, Culebriada, Cadillal, estos dos últimos sitios pertenecen al Parque Nacional Natural de Pisba.
- **Suelos de protección:** Aquellos suelos dedicados a zona de páramo la vegetación está conformada por pequeños matorrales y en su gran mayoría por frailejón y vegetación de páramo donde nacen los recursos hídricos que abastecen a todo el municipio<sup>93</sup>.

#### 4.2 Adquisición de información secundaria

Para la adquisición de información secundaria se realizó una gestión con actores estratégicos para el desarrollo de este proyecto, como lo son: Corpoboyacá y la Alcaldía de Tasco, con el fin de obtener documentos e información cartográfica de la zona de estudio. Así mismo, se realizó la búsqueda en bases de datos del Catastro Minero y Corpoboyacá para obtener información del estado actual de los títulos mineros y las licencias solicitadas en el área. Adicionalmente se recopiló información bibliográfica de artículos científicos, revistas indexadas, web y libros relacionados con el cambio de uso de suelo, estudios multitemporales y teledetección.

---

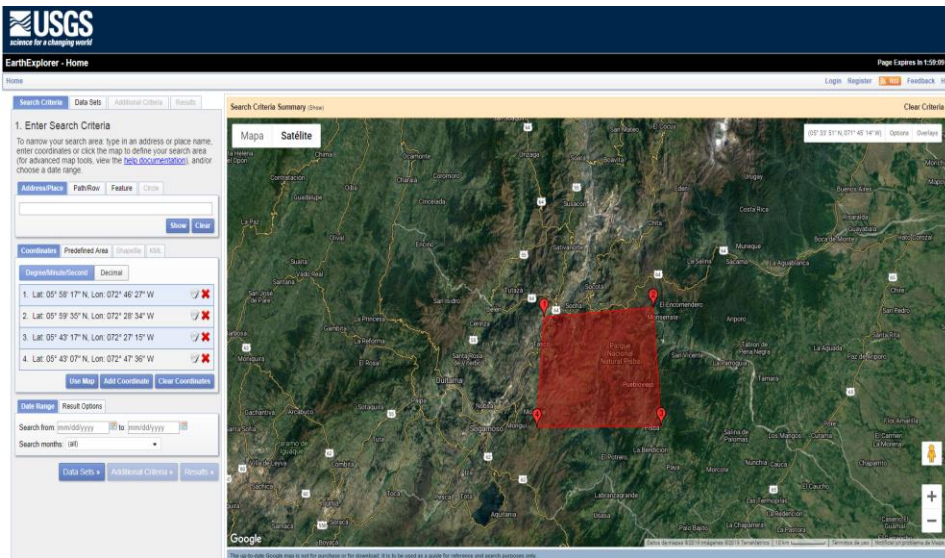
<sup>92</sup> ACUERDO N° 006, Op. cit., p. 96

<sup>93</sup> Acuerdo EOT, Tasco (2000) Op. cit., p 238

### 4.3 Adquisición de Imágenes Landsat

Con el fin de abordar el periodo de 25 años para efectuar el análisis multitemporal, se descargaron 4 imágenes de la base de datos de USGS de los satélites Landsat 5 y 7 (figura 6).

**Figura 6.** Portal USGS para descarga de imágenes Landsat.



**Fuente:** La autora, a partir del portal de la USGS

**Tabla 2:** Metadata de las imágenes obtenidas

METADATA_FILE_NAME	Fecha de cáptura	Hora	Azimuth	Angulo de elevación del sol
LT05_L1TP_007056_19900108_20170201_01_T1_MTL	8_Ene_1990	14:28:49	128,8882469	44,11283393
LE07_L1TP_007056_20001213_20170208_01_T1_MTL	13_Dic_2000	14:56:33	138,5482203	50,74485271
LE07_L1TP_007056_20080102_20161231_01_T1_MTL	2_Ene_2008	14:56:31	135,8308747	49,21930588
LE07_L1TP_007056_20150105_20161030_01_T1_MTL	5_Ene_2015	15:04:43	137,2031492	50,7145081

**Fuente:** La autora, a partir del archivo MTL de cada imagen adquirida del portal USGS.

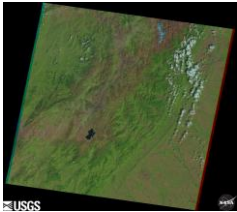
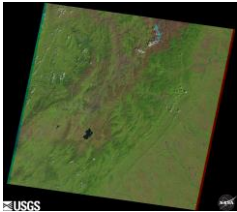

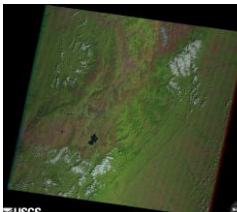
Cada imagen obtenida presenta una resolución espacial de 30 m, para la descarga de las imágenes se tuvo en cuenta el porcentaje de nubosidad, este no debe pasar del 15%, de esta manera se evita la pérdida de detalle en la zona objeto de estudio; de igual forma las imágenes descargadas son del mismo



periodo climático (seco), para apreciar de manera más eficiente los cambios en los usos del terreno (Tabla 2). Los intervalos de tiempo están dados de acuerdo a la disponibilidad y calidad de las imágenes a disposición en la base de datos del portal Web de la U.S Geological survey (USGS.), este portal cuenta con una amplia base de datos de los diferentes satélites Landsat.

Las imágenes descargadas para la zona de estudio corresponden al Path/Row 7/56, cuya escena cubre el área de interés. La pre visualización de las imágenes y sus principales características se exponen en la Tabla 3 (Anexo 6 versión digital).

**Tabla 3.** Previsualización y resumen de las principales características de las imágenes adquiridas.

PRE VISUALIZACION	DATOS DE LA IMAGEN
	<p><b>Origen de la Imagen:</b> Earth Explorer del USGS  <b>Código USGS :</b> LT50070561990008CPE03  <b>Fecha de captura:</b> 08/01/1990  <b>Satélite:</b> Landsat 5  <b>Orientación:</b> Hemisferio Norte  <b>DATUM:</b> WGS84  <b>Zona UTM:</b> 18</p>
	<p><b>Origen de la Imagen:</b> Earth Explorer del USGS  <b>Código USGS :</b> LE70070562000348EDC00  <b>Fecha de captura:</b> 13/12/2000  <b>Satélite:</b> Landsat 7  <b>Orientación:</b> Hemisferio Norte  <b>DATUM:</b> WGS84  <b>Zona UTM:</b> 18</p>
	<p><b>Origen de la Imagen:</b> Earth Explorer del USGS  <b>Código USGS :</b> LE70070562008002EDC00  <b>Fecha de captura:</b> 02/01/2008  <b>Satélite:</b> Landsat 7  <b>Orientación:</b> Hemisferio Norte  <b>DATUM:</b> WGS84  <b>Zona UTM:</b> 18</p>
	<p><b>Origen de la Imagen:</b> Earth Explorer del USGS  <b>Código USGS :</b> LE70070562015357EDC00  <b>Fecha de captura:</b> 23/12/2015  <b>Satélite:</b> Landsat 7  <b>Orientación:</b> Hemisferio Norte  <b>DATUM:</b> WGS84  <b>Zona UTM:</b> 18</p>

**Fuente:** La autora.

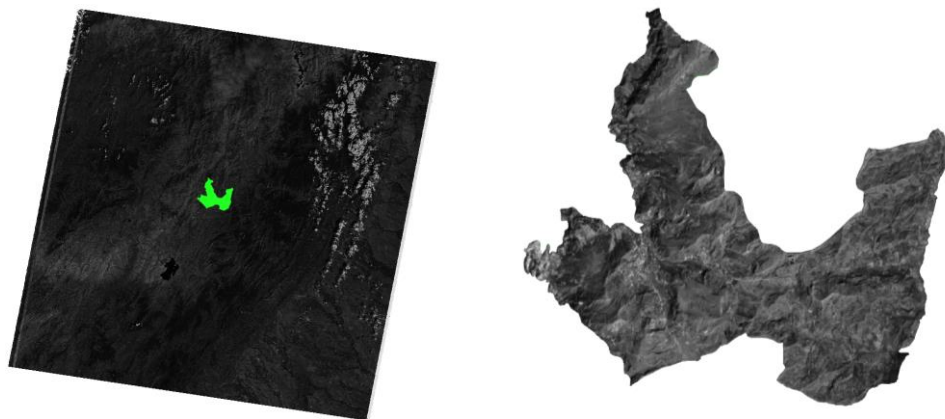
### 4.3.1 Procesamiento digital de imágenes

A cada una de las imágenes adquiridas del portal Earth Explorer del USGS, se les realizó la corrección radiométrica “DOS” modelo de sustracción de objetos oscuros, que corrige el componente de dispersión aditivo atmosférico atribuido a la radiación de la trayectoria, de igual forma, este tipo de corrección permite convertir la información de la imagen original de cada pixel, de ND (Niveles digitales) a Niveles de reflectancia, con el fin de mejorar la calidad de las mismas por medio del software libre QGIS (Anexo 7 versión digital).

Debido a un fallo en el sensor del Landsat 7, las imágenes 2008 y 2015 presentan vacíos de información (gaps), para suplir esta problemática, fue necesario realizar un tratamiento especial de cada una de las imágenes con este error, por medio del “Método de llenado de vacíos” (Gap Filled Method)<sup>94</sup>, y una aplicación de libre acceso (Gapfill), la cual es compatible con el software ArcGis. El algoritmo de ajuste de llenado de vacíos (Gapfill), proporciona de forma automática valores de reemplazo, según los píxeles espectrales similares más próximos<sup>95</sup>. Sin embargo, este proceso automático no es 100% satisfactorio, en especial en regiones poco homogéneas, para nuestro caso de estudio, los vacíos o bandeamiento de la imagen se presentan en menor grado, permitiendo así un adecuado procesamiento de las imágenes.

### 4.3.2 Recorte del área

**Figura 7.** Recorte de la zona de estudio sobre la imagen Landsat



**Fuente:** La autora

<sup>94</sup> SCARAMUZZA, Pasquale; BARSÌ, Julia. Landsat 7 scan line corrector-off gap-filled product development. En Proceeding of Pecora. 2005. p. 23-27.

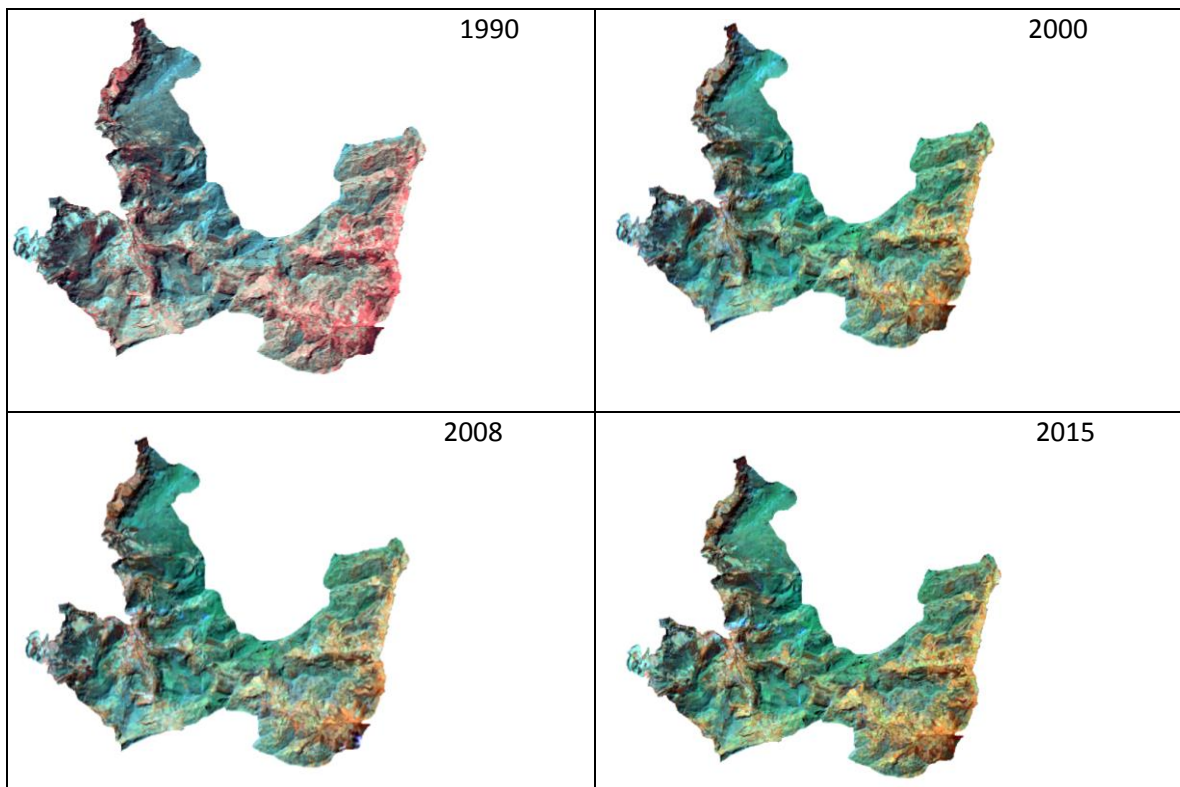
<sup>95</sup> Ibid., p 25.

El área de cobertura de las imágenes Landsat presentan una mayor superficie en relación a la zona objeto de estudio, por esta razón fue necesario realizar un recorte de la imagen adquirida con el fin de obtener el área de trabajo (14.432 Ha), este proceso se realizó según los límites del área de interés teniendo en cuenta el shape de Parques Nacionales Naturales. Para este procedimiento se utilizó el mismo sistema de coordenadas de la imagen previamente descargada WGS84 (figura 7).

#### 4.3.3 Composición de bandas

Existen varios tipos de combinaciones de bandas comúnmente utilizadas, las generaciones de estas composiciones son de suma importancia y dependen del tipo de estudio a realizar. Determinada combinación de bandas, muestra una gama de colores y tonos empleados para la interpretación visual de la imagen.

**Figura 8.** Combinación de falso color 453 de las Imágenes Landsat adquiridas



**Fuente:** La autora

Para el análisis de la zona objeto de estudio se empleó la combinación de falso color de las bandas 4,5,3 esta combinación es la más común para las imágenes Landsat, y permite visualizar los diferentes usos de suelo (vegetación, cultivos,

pastizales, zonas urbanas, entre otros.)<sup>96</sup>; dicha combinación de bandas fue aplicada a cada una de las imágenes descargadas (figura 8) (Anexo 7 versión digital). Después de realizar la combinación de bandas en cada una de las imágenes Landsat 5 y Landsat 7 mediante el software ArcGIS se procedió a realizar el proceso de Clasificación Supervisada.

#### 4.3.4 Clasificación supervisada

Este proceso implica un conocimiento previo de la zona (fase inicial de campo) por medio de recorridos, con el fin de determinar las coberturas predominantes en el área objeto de estudio, sin embargo la resolución espacial de los sensores Landsat correspondientes a las 4 imágenes descargadas es de 30 metros, lo que dificulta la discriminación detallada de coberturas; así se seleccionaron las coberturas más predominantes en la zona, en cada una de las imágenes obtenidas se realizó una respectiva clasificación según los tipos de cubiertas definidos en la metodología CORINE LAND COVER Colombia, (1) Bosque Natural, (2) Arbustal, (3) Herbazal, (4) Pastos Arbolados, (5) Pastos Limpios, (6) Pastos enmalezados y (7) Áreas abiertas (tabla 4). La aplicación de esta metodología proporciona información fundamental para evaluación de coberturas y para conflictos de uso de suelo, entre otras aplicaciones.

Este proceso sirvió como insumo para realizar el análisis visual de las imágenes para los diferentes periodos.

**Tabla 4.** Coberturas reconocidas en la zona de estudio según la metodología CLC/Col.

Cobertura	Nomenclatura	Código CORINE Land Cover/Col
Arbustal	Arb	3.2.2
Bosque Denso	Bd	3.1.1
Herbazal	Her	3,2,1
Pastos Limpios	Pl	2.3.1
Pastos arbolados	Pa	2.3.2
Pastos enmalezados	Pe	2.3.3
Áreas abiertas	Ar	3.3

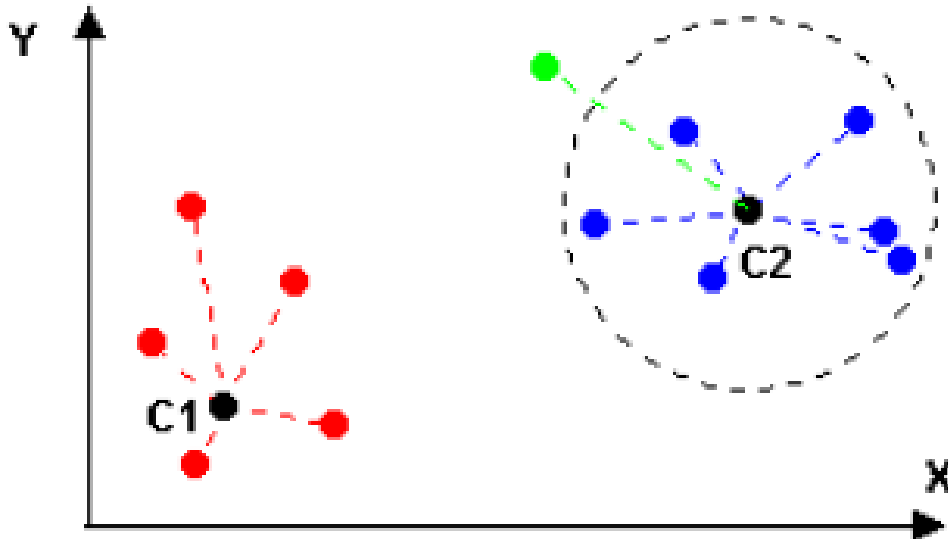
**Fuente:** Tomado de Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia (Ideam, 2010).

<sup>96</sup> COPPEL, Ignacio Alonso; LLORENTE, Eliecer Herrero. *El Satélite Landsat: análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ Satélite Landsat*. Universidad de Valladolid, 2001.

#### 4.3.4.1 Selección de áreas de entrenamiento

Para cada cobertura, se seleccionaron una serie de áreas de entrenamiento, las cuales variaron en función de la homogeneidad, de esta manera coberturas como "Herbazal" y "Arbustal" se suplieron con una cantidad menor de áreas de entrenamiento, mientras que coberturas como "pastizal limpio", "pastizal enmalezado", presentaron una mayor confusión, en consecuencia, un número mayor de áreas de entrenamiento con el fin de hacer más eficiente la clasificación. Luego de definir las áreas de entrenamiento, se evaluó el grado de correlación entre coberturas, a partir de los resultados obtenidos algunas áreas fueron fusionadas o redefinidas, con los resultados propicios se aplicó el algoritmo de clasificación de mínima distancia; donde "El pixel se asigna a aquella clase que minimice la diferencia entre el valor de su ND y el centro de clase (para todas las bandas). Este algoritmo es el más rápido y no deja lugar a pixeles sin clasificar"<sup>97</sup>, esto se debe a que si no existe alguna clasificación para un pixel, éste será clasificado según la mínima distancia euclidiana entre el pixel y el centroide de la clase más próxima (figura 9).

**Figura 9.** Clasificación mínima distancia



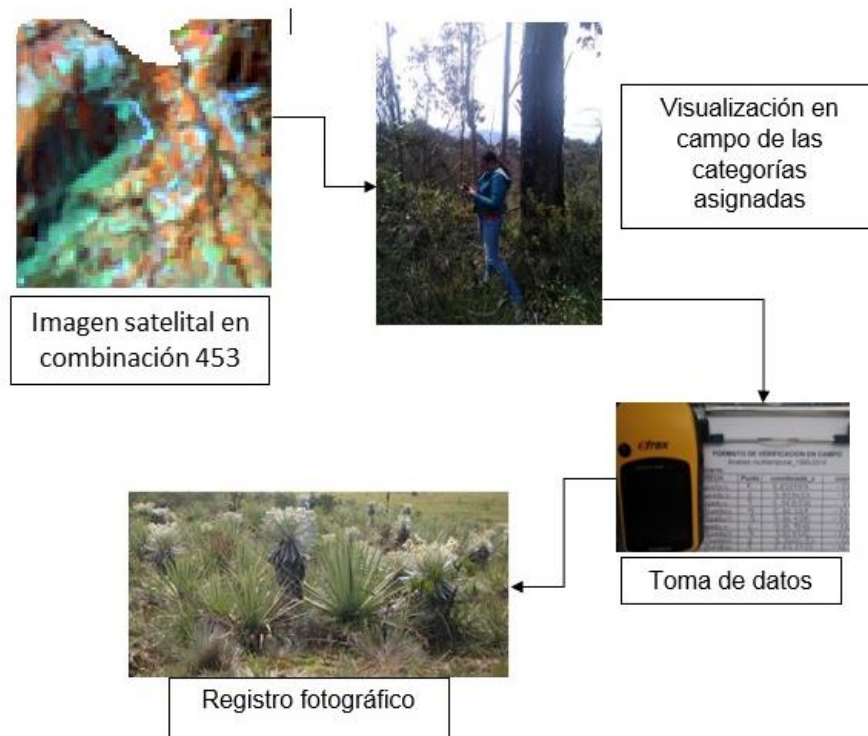
**Fuente:** (Cure López, 2012).

<sup>97</sup> JENSEN, John R. *Remote sensing of the environment: An earth resource perspective 2/e*. Pearson Education India, 2009. p. 133

#### 4.3.4.2 Verificación en campo

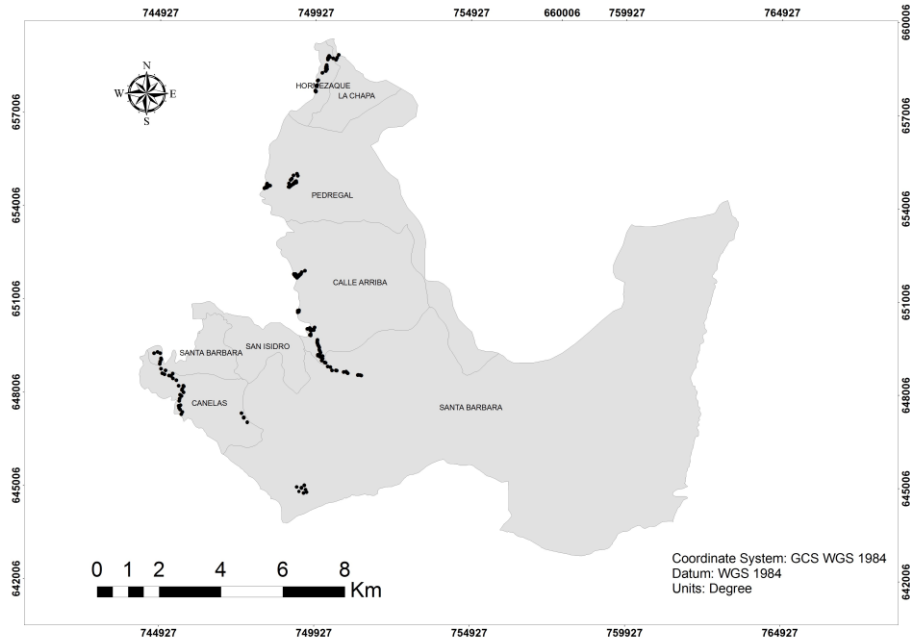
A partir de la clasificación digital de las imágenes de 1990, 2000, 2008 y 2015, se realizaron visitas a la zona de estudio (figura 10), con el fin de obtener un control en campo y asegurar que las coberturas observadas en el terreno corresponden a las que se encuentran en la imagen según las categorías definidas por Corine Land Cover adaptada para Colombia, para la confirmación de los resultados, se tomaron 180 puntos (Anexo 2) con ayuda de un geoposicionador, en un recorrido previamente programado con ayuda de imágenes de Google Earth, el criterio de muestreo fue basado en el complejo acceso a la zona, donde sólo fue posible tomar puntos de georreferenciación en zonas de fácil acceso en moto. Se registraron un promedio de 27 puntos por cada cobertura analizada, Figura 11 (Anexo 8 versión digital), muestra los puntos tomados en campo.

**Figura 10.** Verificación coberturas, salida de campo



**Fuente:** La autora

**Figura 11.** Mapa de la zona con los puntos de Muestreo



**Fuente:** La autora

#### 4.3.4.3 Validación de la clasificación

Para evaluar la fiabilidad de la clasificación supervisada de las imágenes satelitales obtenidas, se elaboró una matriz de confusión y de acuerdo a una escala entre 0 y 1 donde 0 corresponde a una correlación no acertada y 1 siendo una relación acertada, se determinó la precisión de la clasificación realizada para cada imagen mediante la siguiente ecuación:

$$\hat{K} = \frac{n \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}$$

Donde:

$n_{ii}$  = Número de clasificaciones correctas

$n_{i+}$  = Es la suma de las clasificaciones pertenecientes a la clase i (sumatoria filas)

$n_{+i}$  = Es la suma de las clasificaciones pertenecientes a la clase ii (sumatoria columnas)

$n$  = total de las clasificaciones

#### 4.4 Usos de suelo

Basados en el EOT del municipio de Tasco se definieron los usos de suelo para el respectivo análisis objeto del presente estudio (tabla 5).

**Tabla 5.** Usos de suelo en la zona de estudio.

Uso de suelo según EOT/Tasco	Nomenclatura
Arbustos densos con vegetación	Arb
Tierras eriales	Ti_er
Bosque protector	Bos
Suelos de conservación - Páramo	Par
Potreros abiertos	Po_A
Agricultura mixta	Agri_mix
Tierras agropecuarias	Tie_agro

**Fuente:** La autora, a partir de Información del EOT (Acuerdo EOT-Tasco, 2000).

#### 4.5 Análisis Multitemporal

A partir de las imágenes clasificadas para la zona del PNN de Pisba en jurisdicción del Municipio de Tasco para los 4 años de referencia, se buscó la detección de los posibles cambios de uso de suelo, mediante la sobre posición de imágenes por medio del software ARCGIS. Se realizó la evaluación del cambio de uso de suelo de cada 2 imágenes para generar una nueva imagen en formato Raster.

##### 4.4.1 Calculo de las Pérdidas y Ganancias

Para reconocer los cambios de uso de suelo a partir de la sobreposición de imágenes se realizó una tabulación que permitió obtener la cantidad total de uso de suelo con o sin cambios en términos de pérdida o ganancia en 25 años, representados en hectáreas por cada uno de los usos reconocidos.

#### 4.6 Modelación de la tendencia de uso de suelo

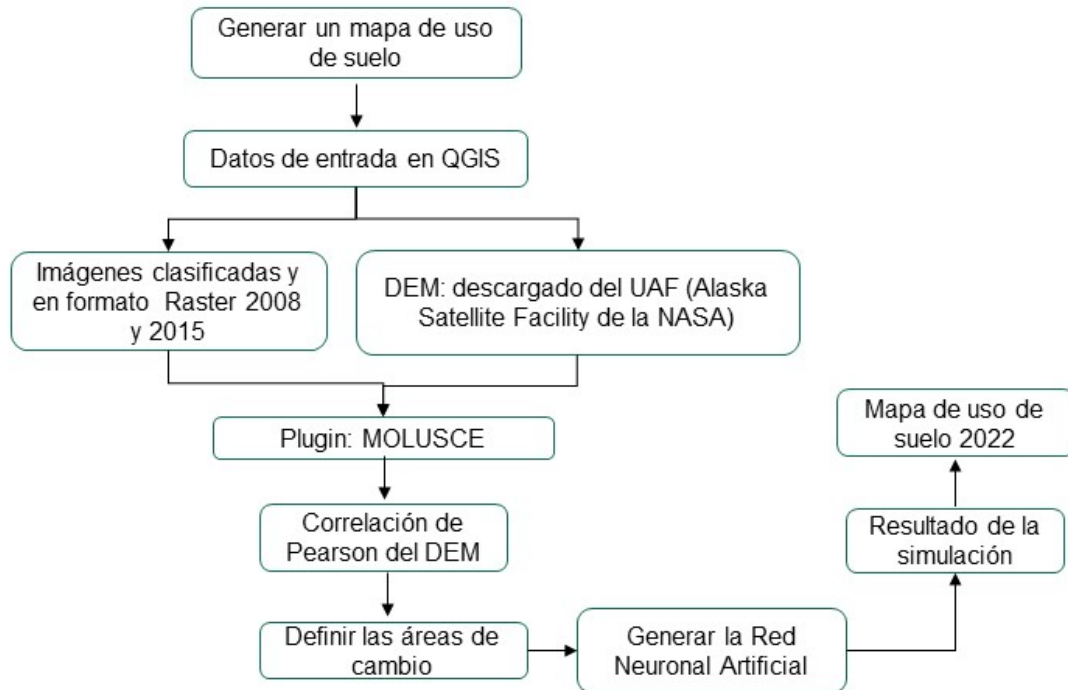
Para modelar el cambio de uso de suelo se realizó una simulación mediante el Plugin Molusce de QGIS con 2 imágenes de entrada 2008 y 2015; este Plugin incorpora algoritmos para modelar y simular futuros cambios de uso de la tierra (figura 12)<sup>98</sup>. Este Plugin presenta un enfoque de tipo celular, si ser un autómata celular, en cambio utiliza modelos de ANN (Red Neural Artificial), los cuales

<sup>98</sup> Asia Air Survey Co. (2012). *MOLUSCE: An open source land use change analyst for QGIS*. Japón. Consultado el 6 de julio de 2019. Disponible en [http://www.ajiko.co.jp/dl/pdf\\_tf2014/p62-63.pdf](http://www.ajiko.co.jp/dl/pdf_tf2014/p62-63.pdf)



predicen las probabilidades de cambio, el algoritmo que utiliza este plugin analiza la precisión en los conjuntos de muestras de forma automática y almacena la mejor red neuronal.

**Figura 12.** Diagrama de procesos para la modelación de uso de suelo 2022



**Fuente:** La autora

#### 4.7 Mapa de vulnerabilidad

A partir de los análisis de uso de suelo realizados durante el presente estudio, y con el fin de obtener un shapefile con las zonas de sensibilidad ambiental (áreas vulnerables frente al cambio de uso de suelo), se tomaron las 4 imágenes previamente clasificadas y procesadas, se realizó un análisis jerárquico donde, la valoración se hace en función de la sensibilidad ambiental de cada variable ante el cambio de uso de suelo (tabla 6).

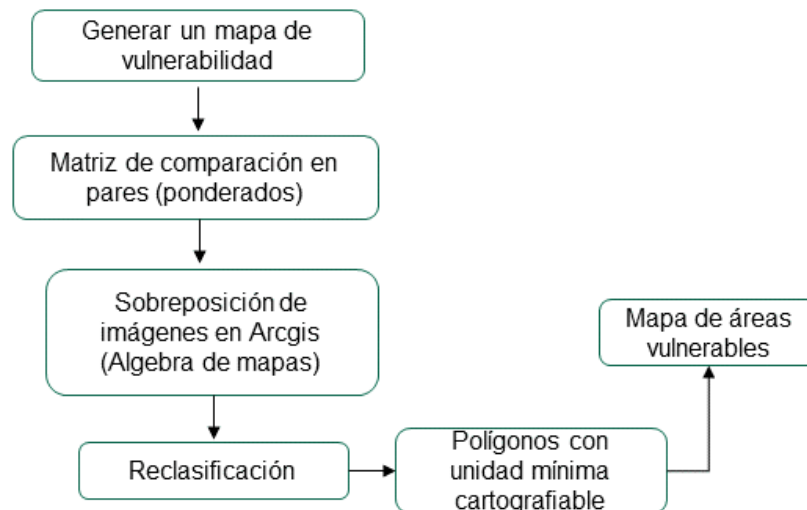
**Tabla 6.** Valoración de la vulnerabilidad frente al cambio de uso de suelo

Escala	Definición	Explicación
1	Muy baja	Indica que no existe afectación sobre el medio.
3	Baja	Se refiere a una afectación mínima poco significativa.
5	Media	Grado de incidencia moderado del efecto sobre el medio.
7	Media Alta	Grado de incidencia fuerte que actúa sobre el medio.
9	Alta	Grado de incidencia muy fuerte, con posible destrucción del componente en el área que se produce el impacto.

**Fuente:** La autora, modificado de escala de valoración de Satty 2008.

A partir de este análisis se obtuvo los ponderados, siendo la imagen más actual de mayor peso para los datos de entrada en el Algebra de mapas del programa ArcGis. Posterior a esto se aplicó una reclasificación, se asignaron los valores de sensibilidad y se obtuvo un mapa que identifica las áreas más sensibles frente al cambio de uso de suelo (figura 13).

**Figura 13.** Diagrama de procesos para la generación del mapa de vulnerabilidad.



**Fuente:** La autora

## 5. RESULTADOS

Según la metodología aplicada a las imágenes de satélite, se obtuvieron mapas de uso de suelo del Páramo de Pisba, en jurisdicción del municipio de Tasco (Boy); así mismo, se realizó una sobreposición de imágenes, que permitió conocer los cambios y/o persistencias de cada uso de suelo. Al finalizar este capítulo se presenta una proyección de uso de suelo para el año 2022, y el mapa de áreas vulnerables frente al cambio de uso.

### 5.1 Post procesamiento digital de imágenes

A partir de imágenes combinadas se inició el post procesamiento de la información.

#### 5.1.1 Clasificación supervisada

Con cada una de las imágenes pre-procesadas, se procedió a implementar el método de clasificación supervisada en el software ArcGis, éste método requiere un conocimiento o verificación en la zona de estudio, con el fin de corroborar la información captada por las imágenes y brindar una clasificación confiable.

Para la selección de las áreas de entrenamiento se ubicaron diferentes puntos en la zona que fueran representativos para cada categoría, en función de la similitud de los niveles de reflectancia, en la imagen del 2015 se contó con Google Earth, para apoyar e identificar de manera más precisa las diferentes áreas, además de los puntos de muestreo en el área de estudio, para las imágenes anteriores fue necesario obtener información consignada en los EOT'S como referencia de la tendencia de uso de suelo en esos momentos.

#### 5.1.2 Validación de la clasificación año 2015:

La validación de la clasificación supervisada en términos de exactitud se realizó por medio de una matriz de confusión y el coeficiente Kappa el cuál arroja valores entre 0 y 1; para determinar el coeficiente Kappa se utilizó la siguiente ecuación:

$$\hat{K} = \frac{n \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}$$

Donde:

$n_{ij}$  = Número de clasificaciones correctas

$n_{i+}$  = Es la suma de las clasificaciones pertenecientes a la clase i

$n_{+i}$  = Es la suma de las clasificaciones pertenecientes a la clase ii

$n$  = total de las clasificaciones

**Tabla 7.** Validación de la clasificación con matriz de confusión y coeficiente kappa.

Clasificación	Puntos de control							total
	Arbustal	Tierras eriales	Bosque	Paramo	Potreros abiertos	Agricultura mixta	Tierras agropec.	
Arbustal	24	0	2	2	0	0	1	29
Tierras eriales	0	17	0	0	0	0	0	17
Bosque	0	0	16	0	0	0	0	16
Paramo	0	1	0	25	0	0	0	26
Potreros abiertos	0	0	0	0	28	0	0	28
Agricultura mixta	2	1	2	1	2	22	0	30
Tierras agropec.	1	1	0	0	1	3	28	34
TOTAL								
COLUMNA	27	20	20	28	31	25	29	180
PRECISION %	88,9	85	80	89,3	90,3	88	96,6	
error %	11,1	15	20	10,7	9,7	12	3,4	
<b>Precisión global</b>			<b>0,88</b>					
<b>Precisión general de clasificación KAPPA</b>			<b>0,86</b>					

**Fuente:** La autora

La Tabla 7, muestra la exactitud de la clasificación obtenida para la imagen 2015 y el trabajo de campo (180 puntos de verificación), la diagonal en amarillo, representa los valores de asignaciones correctas (clasificación vs observaciones en campo); los valores sin sombreado indican las fugas o errores. La relación de los puntos asignados en forma correcta expresan una fiabilidad global del 88%; la precisión de la clasificación para cada uno de los usos de suelo determina un valor confiable, el mayor porcentaje de precisión, se obtuvo para el uso “tierras agropecuarias” (96,6%) y “potreros abiertos” (90,3), los 5 usos restantes representan valores de precisión por encima del 80%, que les confiere una clasificación confiable.

Para aceptar o rechazar la clasificación en el área de estudio, se utilizaron los rangos del coeficiente kappa (tabla 8), los cuales varían entre 0 y 1.

**Tabla 8.** Categoría de concordancias de validación para el coeficiente Kappa

<b>Rango</b>	<b>Concordancia</b>
0	Nula
0,01 - 0,20	Leve
0,21 - 0,40	Aceptable
0,41 - 0,60	Moderada
0,61 - 0,80	Considerable
0,81 - 1,00	Casi perfecta

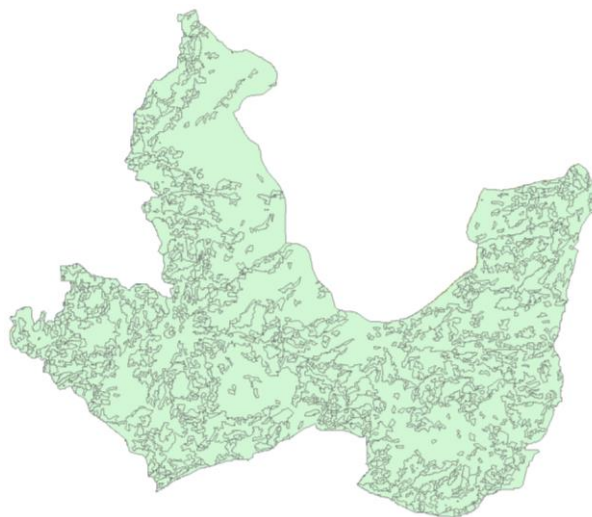
**Fuente:** Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices (Congalton & Green. 2002)

El valor de Coeficiente Kappa de 0,86 muestra un 86% de fiabilidad de la clasificación, este resultado se ajusta a lo expresado en la Tabla 8, que le confiere un buen valor en términos de concordancia y calidad cartográfica.

### **5.1.3 Imágenes obtenidas a partir del procesamiento digital**

Posterior a la validación, los mapas en formato raster fueron convertidos a polígono (figura 14), para realizar el cálculo de las áreas en cada uso de suelo.

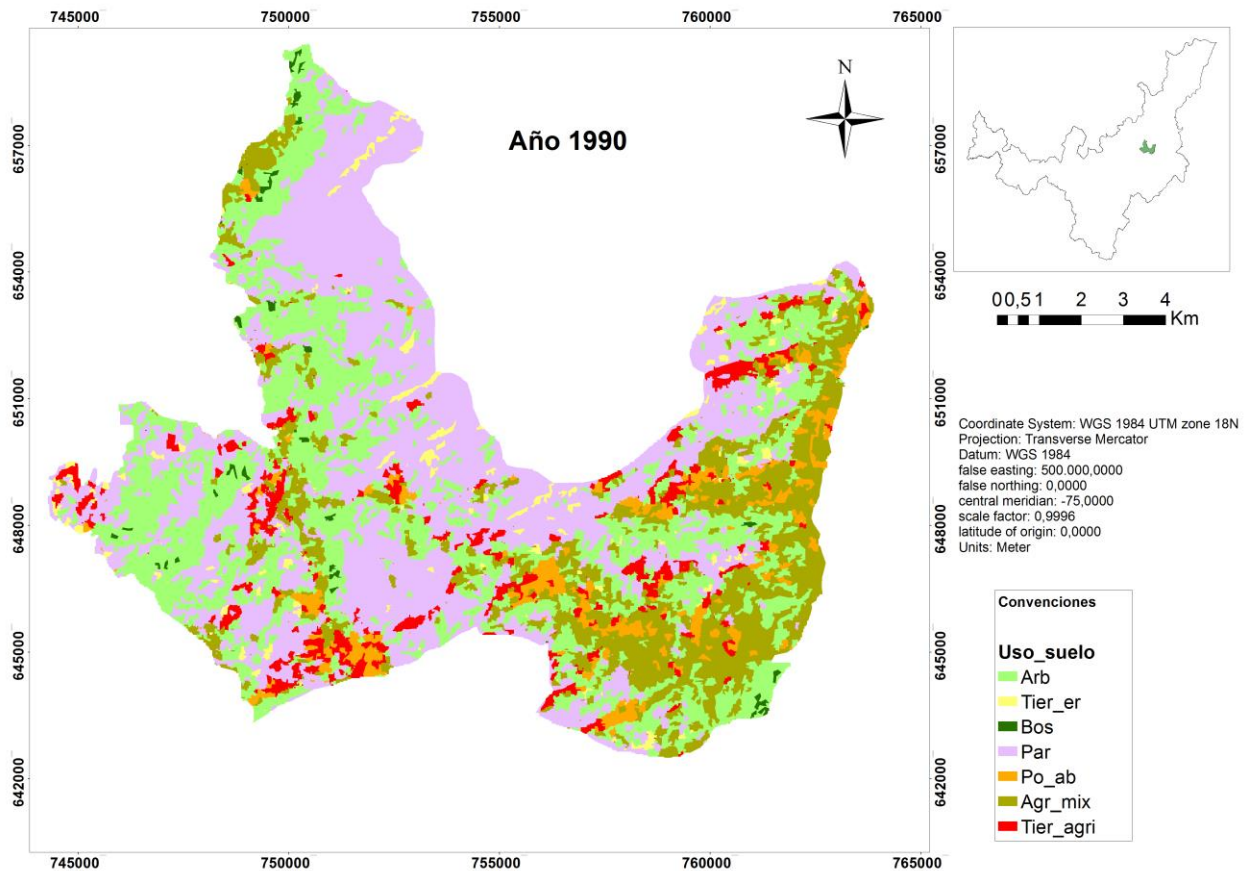
**Figura 14.** Visualización de archivo en polígono en el software Arcgis.



**Fuente:** La autora

Con base en los usos de suelo definidos, se generaron mapas a escala 1:25.000 para las imágenes 1990 y 2015 estas 2 imágenes representan el intervalo de tiempo de 25 años. La producción cartográfica a escala 1:25.000 utiliza como unidad mínima cartografiada 1 hectárea<sup>99</sup>.

**Figura 15.** Mapa de uso de suelo para el año 1990



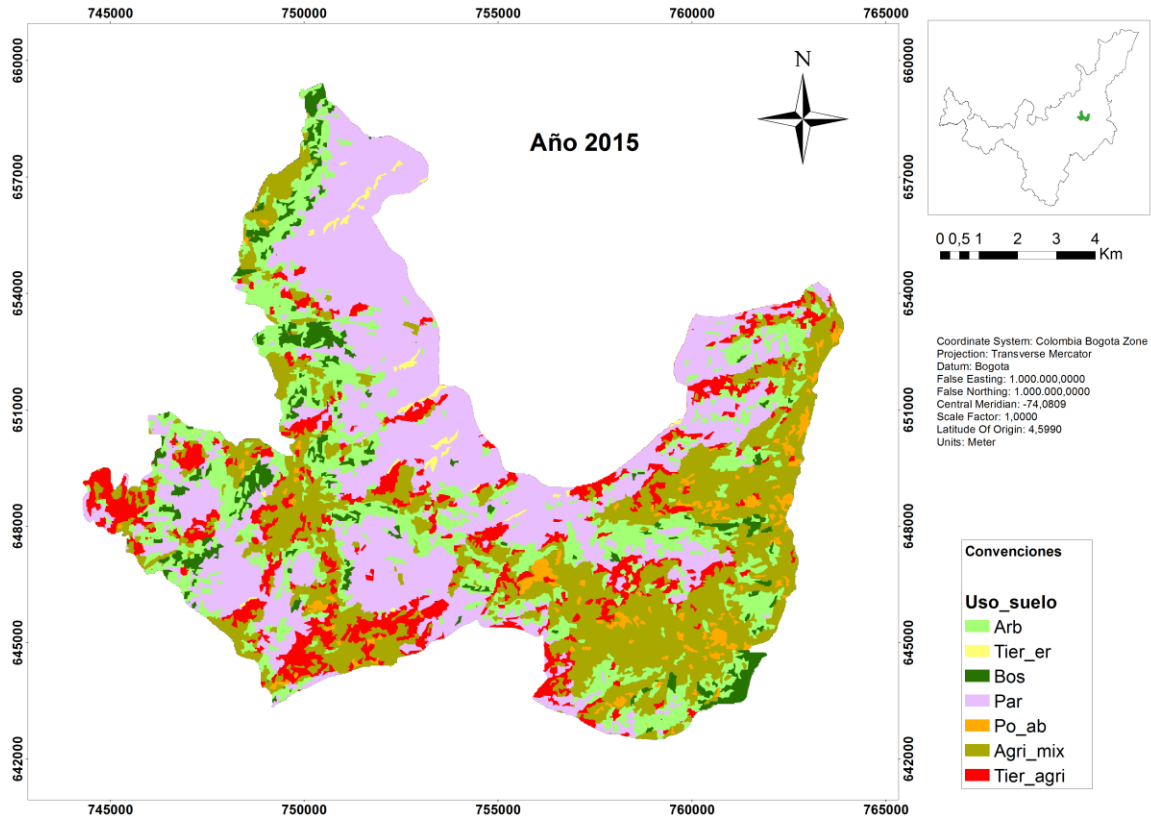
**Fuente:** La autora

Las Figuras 15 y 16 (Anexo 9 versión digital), muestran el resultado obtenido del post procesamiento, las imágenes corresponden a un periodo de 25 años, en una combinación de falso color 453, siendo esta combinación de color, la que permitió visualizar e identificar de mejor forma las diferentes categorías presentes en la

<sup>99</sup> INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI-IGAC. Estudio semidetallado de suelos para fines agrícolas del sector plano del municipio de Valledupar. En: Revista Instituto Geográfico Agustín Codazzi 5(13). Subdirección Agrológica. Bogotá, Colombia. 2007. p. 221

zona. En total se identificaron 7 usos de suelo, en cada imagen se utilizó la misma gama de colores con el fin de reconocer de manera visual los patrones de cambios de uso de suelo.

**Figura 16.** Mapa de uso de suelo para el año 2015



**Fuente:** La autora

El PNN Pisba en jurisdicción del municipio de Tasco, presenta zonas intervenidas, debido a las diferentes actividades económicas desarrolladas en el área protegida a lo largo de 25 años; de acuerdo con el mapa obtenido para 2015 (figura 16), se visualiza en color rojo el aumento de la agricultura en la zona, y la disminución de las áreas arbustivas (verde) principalmente en las veredas Santa Bárbara, San Isidro y Canelas; durante el intervalo de tiempo 1990 – 2015, actividades como la agricultura y ganadería constituyen un factor económico que conlleva al cambio de uso de suelo, esta dinámica de cambio negativo, interfiere en los procesos ecológicos del ecosistema que pierde coberturas vegetales importantes para la preservación de especies de plantas y animales. El incremento de actividades como la agricultura, se practican en áreas de la zona protegida debido a que son suelos muy fértiles; en la actualidad existen problemas presentados por tenencia de la tierra frente a la delimitación de las Áreas protegidas en Colombia por parte del Instituto Alexander Von Humbolt, sin embargo cabe aclarar que el PNN Pisba

es la única área protegida que falta por demarcar en Colombia según la nueva delimitación que amplió en casi tres millones de hectáreas protegidas en estos ecosistemas, según la Corte Constitucional en el caso del páramo de Pisba, el proceso de delimitación se debe concertar con las casi 65000 familias que lo habitan.

## **5.2 Análisis Multitemporal**

Para determinar el cambio de uso de suelo en el PNN Pisba (jurisdicción de Tasco), se tomaron las 4 imágenes obtenidas del USGS y procesadas digitalmente; posterior a esto se realizó la evaluación de cambio de uso cada dos imágenes por medio del software ArcGis, módulo Map Algebra, que permitió el traslape de ambas imágenes. Como resultado se generó una imagen en formato Raster y se observan los diferentes cambios en los usos de suelo; cada combinación de imagen se analiza a continuación:

### **5.2.1 Cambio de uso de suelo periodo 1990 – 2000**

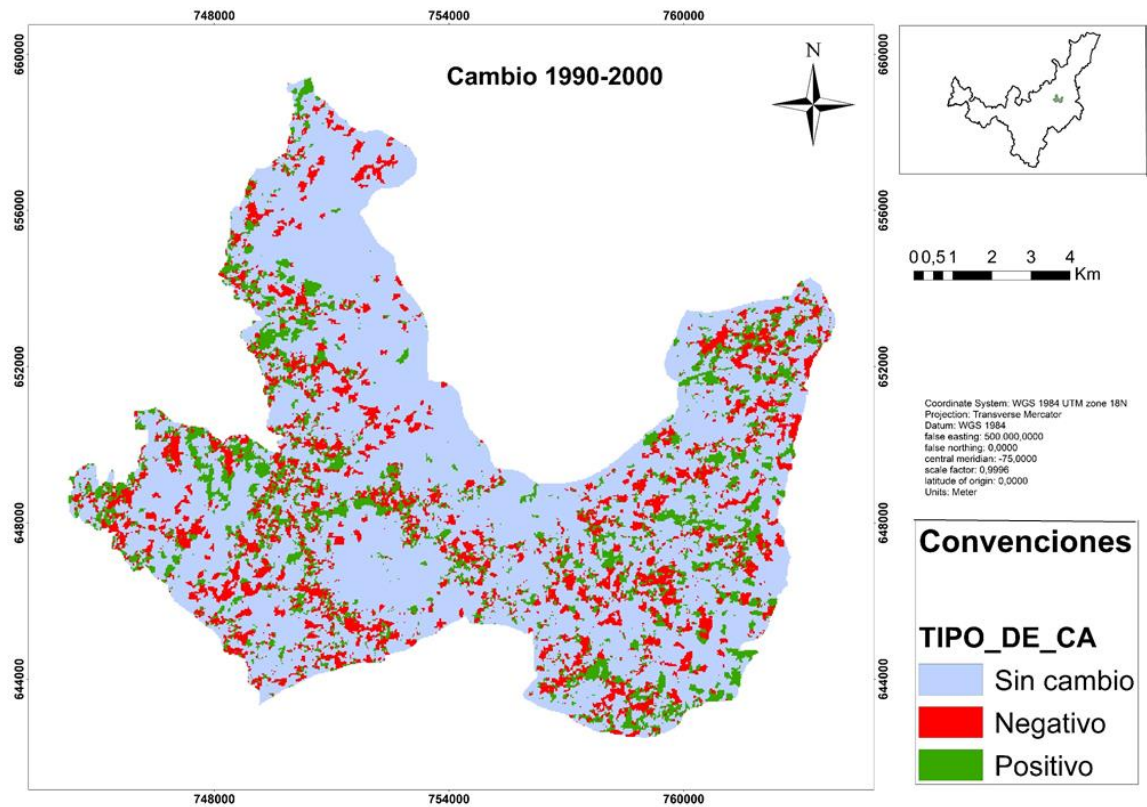
Como resultado del análisis multitemporal de imágenes de 1990 y 2000, se registraron 43 cambios correspondientes a los 7 usos de suelo, los cuales fueron agrupados en 3 categorías (figura 17) (Anexo 10 versión digital), el 73% corresponde al área sin cambio, el 8% presentó un cambio negativo frente uso de suelo, principalmente por la conversión de tierras de protección (Arbustos, bosques y páramo) a tierras agrícolas y potreros abiertos.

El aumento de la frontera agrícola en el transcurso de 10 años pudo generar impactos sobre el área protegida, este tipo de actividades económicas alteran el estado natural de los ecosistemas y ponen en peligro la diversidad única de los páramos.

La Tabla 9, referencia el cambio de extensión de cada uso en el intervalo de tiempo 1990-2000, las tierras agropecuarias aumentan en un (2,1 %), mostrando de esta manera una ampliación de la frontera agrícola y pecuaria hacia las zonas de fragilidad ambiental protegidas por el SINAP (Sistema Nacional de Áreas Protegidas). De igual manera se aprecia una disminución del (5,8 %), en el uso de Protección (Arbustal); la disminución de la capa vegetal por ampliación de la frontera agropecuaria, y para subsistencia en labores del área rural ha sido una constante a lo largo del tiempo en todo el territorio; en general el aumento de las zonas de cultivo y en contraste la reducción de la cobertura vegetal, implican efectos erosivos del suelo a causa del viento y el agua.



**Figura 17.** Mapa de cambio de uso de suelo periodo 1990 - 2000



**Fuente:** La autora

**Tabla 9.** Relación de áreas de uso de suelo periodo 1990 - 2000

USO_SUELO	1990 (Ha)	2000 (Ha)	Diferencia	1990%	2000%	Difer. %
Arbustos	4363,3	3529,44	-833,86	30,2	24,5	-5,8
Tierras eriales	765,91	225,81	-540,1	5,3	1,6	-3,7
Bosque	173,07	470,88	297,81	1,2	3,3	2,1
Paramo	5295,89	5774,04	478,15	36,7	40,0	3,3
Potrerros abiertos	754,76	816,75	61,99	5,2	5,7	0,4
Tierras Agríc. Mixtas	2276,47	2512,53	236,06	15,8	17,4	1,6
Tierras agropecuarias	803,09	1103,04	299,95	5,6	7,6	2,1
	14432,49	14432,49		100	100	

**Fuente:** La autora

El aumento considerable de 297,81 Ha del uso de protección (Bosque), indica una regeneración de bosque, sin embargo en la verificación en campo se evidenció que la zona presenta pinos y eucaliptos plantados (figura 18), este tipo de plantas requieren menos tiempo de crecimiento que un árbol nativo como el roble que toma un tiempo

de más de 40 años; así mismo, se observa una disminución en otro estrato de vegetación (arbustos), que indica que se transformaron en otros usos, y puede que parte de esta pérdida de uso se haya transformado en bosque.

**Figura 18.** Verificación en campo, vereda Hormezaque. Coordenadas 5.955819 x, -72.738526 y.



**Fuente:** La autora

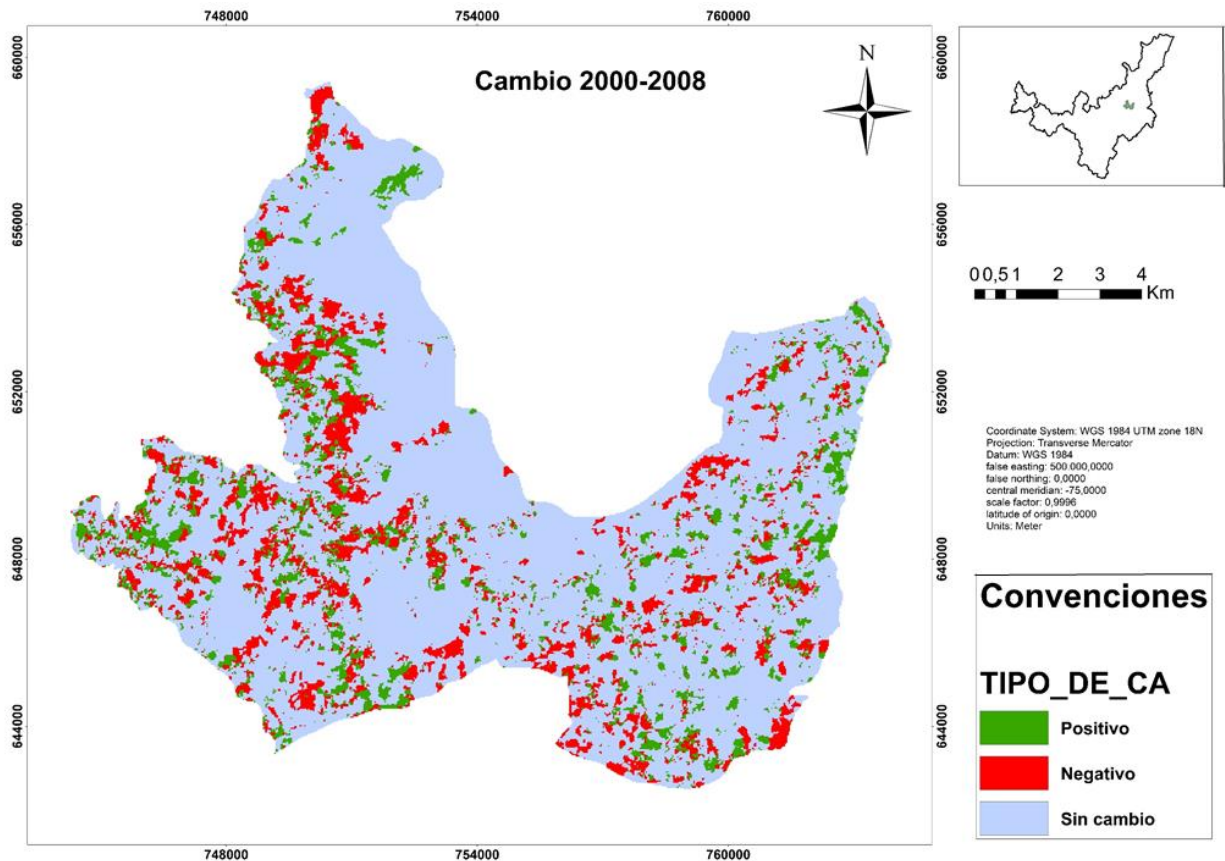
### **5.2.2 Cambio de uso de suelo periodo 2000 - 2008**

En el análisis multitemporal para el periodo 2000 y 2008, se registraron 44 cambios correspondientes a los 7 usos de suelo (figura 19) (Anexo 10 versión digital), estos cambios fueron agrupados en 3 categorías; en este intervalo de tiempo aumentan los impactos negativos, estos representan un 12% del área total, el 9.1% corresponde a cambios positivos como: cambio de potreros abiertos a arbustos, de arbustos a bosques, de tierras agrícolas a arbustos entre otros; de igual forma sigue la tendencia de aumento de actividades agrícolas, y los potreros abiertos principalmente para actividades ganaderas. El aumento de la frontera agrícola ha sido tipificado como impacto negativo, principalmente sobre los recursos naturales; sin embargo todos los impactos no son negativos, ya que muchas formas de cambio de usos de la tierra están asociadas con aumentos continuos en la producción de alimentos y en la eficiencia del uso de recursos<sup>100</sup>; la producción está ligada a la seguridad alimentaria de una región, así existe un dilema constante entre el desarrollo económico y la protección de los recursos naturales; el uso eficiente y responsable de los recursos garantiza el equilibrio entre lo económico, ambiental y social (3 ejes del desarrollo sostenible).

---

<sup>100</sup> LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J.; LEPEERS, E. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. Annual review of environment and resources, 2003, vol. 28, no 1, p. 205-241

**Figura 19.** Mapa de cambio de uso de suelo 2000 - 2008



**Fuente:** La autora

Las síntesis de los usos de suelo de los años 2000 y 2008 se referencian en la Tabla 10, de igual manera se muestra un retroceso en el área de páramo de 406,08 Ha, representadas en un 2,8% del total de área de estudio. La disminución de las áreas de páramo generan grandes implicaciones y efectos sobre los servicios ecosistémicos que nos brindan; a pesar de su abrupta topografía, las condiciones climáticas en estas zonas han propiciado el establecimiento de campesinos, situación que genera una disminución progresiva de este escenario natural debido a la adecuación de tierras para sistemas agrícolas y ganadería por subsistencia <sup>101</sup>

<sup>101</sup> MORALES-BETANCOURT, J.; ESTÉVEZ-VARÓN, J. V. El páramo: ¿ ecosistema en vía de extinción?. Revista Luna Azul, 2006, no 22, p. 39-51

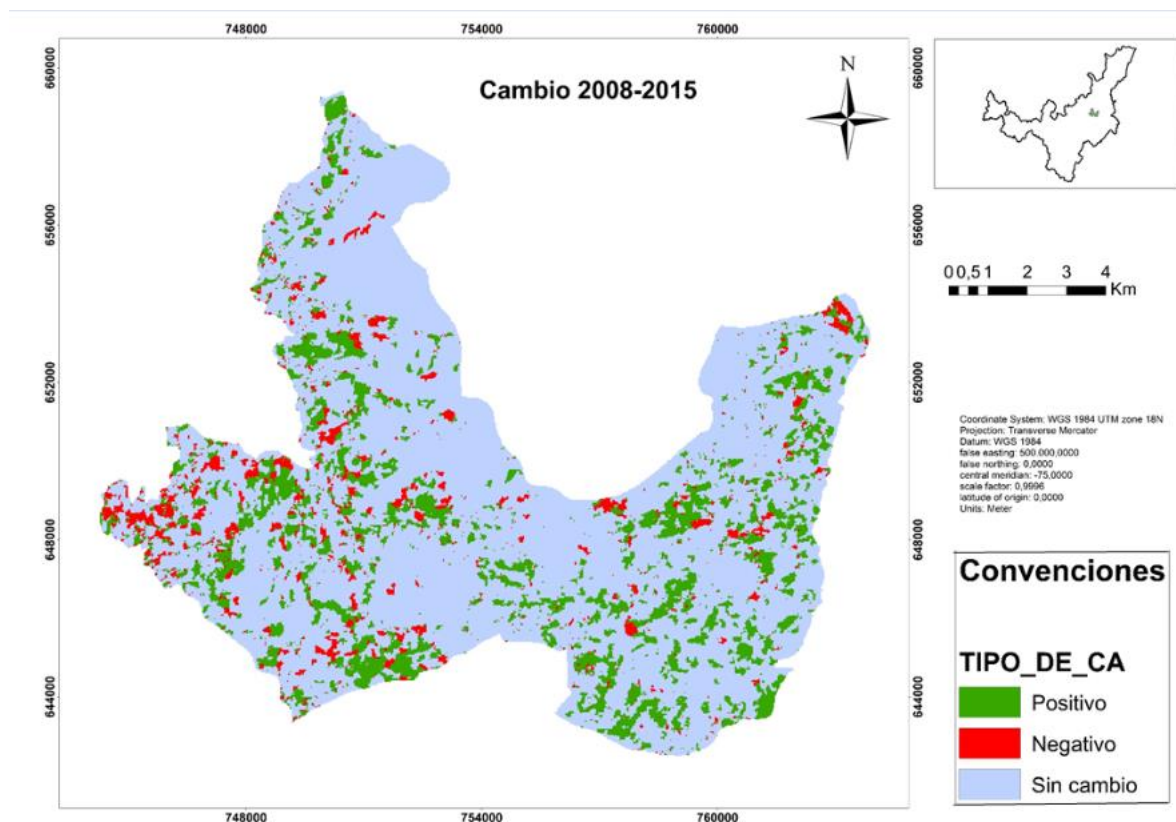
**Tabla 10.** Relación de áreas de uso de suelo años 2000 -2008

USO_SUELO	2000 (Ha)	2008 (Ha)	Diferencia	2000%	2008%	Difer. %
Arbustos	3529,44	2965,05	-564,39	24,5	20,5	-3,9
Tierras eriales	225,81	105,21	-120,6	1,6	0,7	-0,8
Bosque	470,88	551,52	80,64	3,3	3,8	0,6
Paramo	5774,04	5367,96	-406,08	40,0	37,2	-2,8
Potreros abiertos	816,75	970,83	154,08	5,7	6,7	1,1
Tierras Agríc. Mixtas	2512,53	2557,08	44,55	17,4	17,7	0,3
Tierras agropecuarias	1103,04	1914,84	811,8	7,6	13,3	5,6
	14432,49	14432,49		100	100	

**Fuente:** La autora

### 5.2.3 Cambio de uso de suelo periodo 2008 - 2015

**Figura 20.** Mapa de cambio de uso de suelo periodo 2008 - 2015

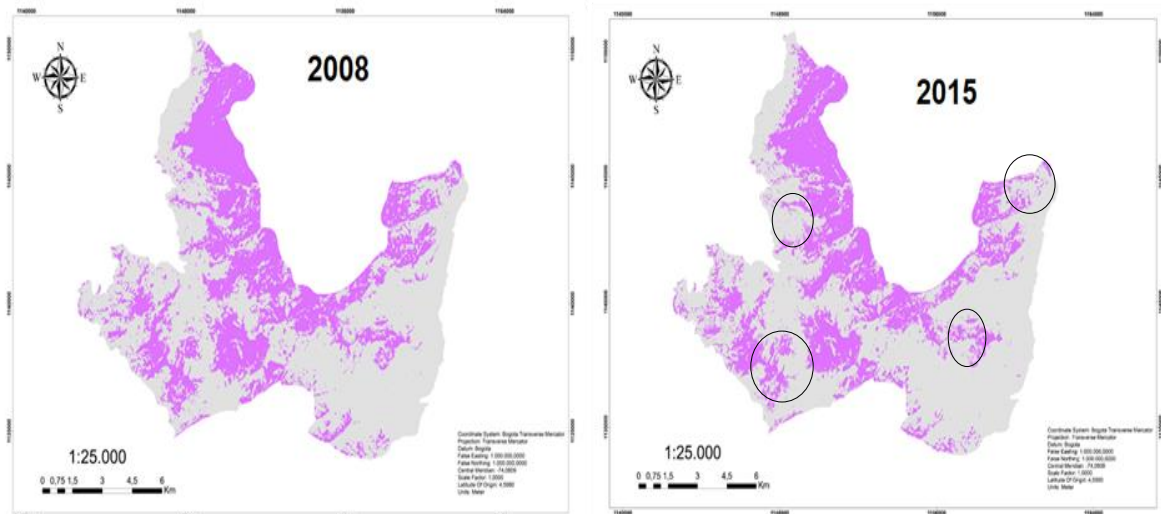


**Fuente:** La autora

En el análisis multitemporal de imágenes de 2008 y 2015, se registraron 45 cambios correspondientes a los 7 usos de suelo, estos cambios fueron agrupados en 3 categorías; (figura 20) (Anexo 10 versión digital), este intervalo de tiempo presenta un panorama alentador frente a los periodos previos, el intervalo 2008 y 2015 muestra un avance en cambios positivos, representados en un 16.4% del área total, sin embargo, persisten los cambios negativos y continúa la disminución en el área de páramo y arbustos. En la actualidad, varios estudios han definido que el mayor impacto sobre los ecosistemas de páramo no sólo es generado por la agricultura y ganadería sino también por las quemas asociadas a este tipo de actividades, la práctica continua de éstas 3 acciones, genera una pérdida gradual en las formaciones no sólo de frailejonales (vegetación propia de páramo), sino también sobre las formaciones arbustivas<sup>102</sup>;

Los usos de suelo de los años 2008 y 2015 (tabla 11), evidencian un retroceso en las tierras agropecuarias (0,9 %); según datos de Plan de Desarrollo<sup>103</sup>, la producción agrícola disminuyó, y la población del área rural se dedicó a actividades mineras debido a los bajos ingresos en el sector agrícola. De igual manera, cabe destacar la importancia que ha retomado para el país la delimitación de las áreas protegidas y la preservación y conservación de las zonas de amortiguación de las mismas. Desde otro punto, es continua la pérdida de páramo en el PNN Pisba; para éste intervalo de tiempo ésta pérdida representa el 3,3 % del área total de la zona (figura 21).

**Figura 21.** Retroceso de páramo para el periodo 2008-2015



**Fuente:** La autora

<sup>102</sup> Ibid., p. 41

<sup>103</sup> ACUERDO N° 006, por el cual se adopta el Plan De Desarrollo Municipal del municipio de Tasco. Op. cit., p 98.

Las áreas señaladas en la Figura 21 (Anexo 10 versión digital), muestran la pérdida de Páramo en la zona para el periodo 2008-2015, es importante destacar, la presencia de minería en la zona de protección por parte del SINAP. La minería de carbón bajo tierra, genera grandes impactos a mediano y largo plazo sobre los ecosistemas, principalmente con títulos mineros otorgados en áreas de páramo, debido a la disposición de estériles, modificación de la topografía del paisaje y principalmente por el paso de contaminantes a través del agua en consecuencia del drenaje ácido minero, que ocasiona grandes impactos sobre las zonas de recarga hídrica, que son fuente de agua para los acueductos de la zona.

De acuerdo con los resultados, existe un aumento en Tierras eriales (tierras desnudas sin vegetación), que corresponde a 151,11 Ha (0,3 %); pese a las políticas de protección y conservación por parte del SINAP, y las contempladas en el EOT del municipio, Ingeominas en su momento, continuó otorgando títulos mineros por encima del área permitida según las disposiciones de los entes de control para la minería en áreas de páramo. Este tipo de decisiones, así como la minería ilegal, afectan directamente la zona del PNN Pisba y se ven reflejadas en la disminución de las zonas de páramo y el aumento de las tierras desnudas o sin vegetación alguna.

**Tabla 11.** Relación de áreas de uso de suelo años 2008 -2015

<b>USO_SUELO</b>	<b>2008 (Ha)</b>	<b>2015 (Ha)</b>	<b>Diferencia</b>	<b>2008%</b>	<b>2015%</b>	<b>Difer. %</b>
<b>Arbustos</b>	2965,05	2836,98	-128,07	20,5	19,7	-0,9
<b>Tierras eriales</b>	105,21	151,11	45,9	0,7	1,0	0,3
<b>Bosque</b>	551,52	807,84	256,32	3,8	5,6	1,8
<b>Paramo</b>	5367,96	4887,18	-480,78	37,2	33,9	-3,3
<b>Potrereros abiertos</b>	970,83	569,43	-401,4	6,7	3,9	-2,8
<b>Tierras Agríc. Mixtas</b>	2557,08	3395,34	838,26	17,7	23,5	5,8
<b>Tierras agropecuarias</b>	1914,84	1784,61	-130,23	13,3	12,4	-0,9
<b>Total</b>	14432,49	14432,49		100	100	

**Fuente:** La autora

#### **5.2.4 Cambio de uso de suelo en 25 años**

El análisis temporal de 25 años, de la dinámica de cambio de uso de suelo, se llevó a cabo mediante la sobreposición de imágenes de 1990 y 2015, los resultados obtenidos se sintetizan en la Tabla 12; en el transcurso de 25 años el cambio de uso de la tierra es más evidente, la mayor representatividad para 1990 está dada por el páramo con 5295,89 Ha, que representan el 36,7 % del área total

de la zona de estudio; para el año 2015, se presenta el mismo patrón donde el páramo tiene una mayor representatividad con 4887,18 Ha que corresponden a un 33,9 %, sin embargo se aprecia una disminución del 2,8 % en relación al área total, debido al aumento de tierras agropecuarias principalmente en la zonas de amortiguación y límites del área protegida.

**Tabla 12.** Relación de áreas de uso de suelo durante 25 años (1990 - 2015)

<b>USO_SUELO</b>	<b>1990 (Ha)</b>	<b>2015 (Ha)</b>	<b>Diferencia</b>	<b>1990%</b>	<b>2015%</b>	<b>Difer. %</b>
<b>Arbustos</b>	4363,3	2836,98	-1526,32	30,2	19,7	-10,6
<b>Tierras eriales</b>	765,91	151,11	-614,8	5,3	1,0	-4,3
<b>Bosque</b>	173,07	807,84	634,77	1,2	5,6	4,4
<b>Paramo</b>	5295,89	4887,18	-408,71	36,7	33,9	-2,8
<b>Potrereros abiertos</b>	754,76	569,43	-185,33	5,2	3,9	-1,3
<b>Tierras Agríc. Mixtas</b>	2276,47	3395,34	1118,87	15,8	23,5	7,8
<b>Tierras agropecuarias</b>	803,09	1784,61	981,52	5,6	12,4	6,8
	14432,49	14432,49		100	100	

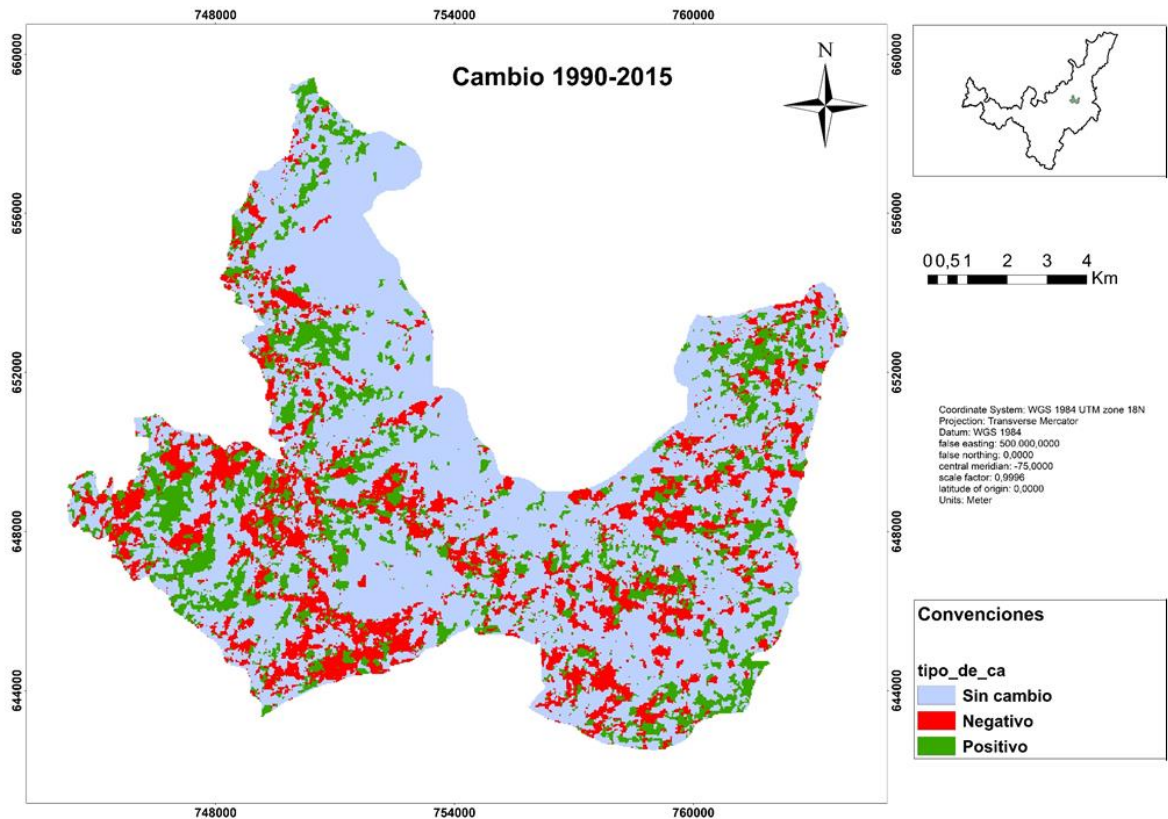
**Fuente:** La autora

En el transcurso de 25 años los suelos de uso protector (Arbustal), han disminuido en 1526,32 Ha con un porcentaje de pérdida de 10,6 %. Dentro de los resultados encontrados, los Bosques presentan una tasa gradual de cambio positivo en 25 años, pasó de tener 173,07 Ha en 1990 a estar representado por 807,84 Ha en 2015, esto debido a la presencia de actividades de reforestación contempladas en los Planes de Desarrollo del Municipio y como medidas de restauración de la minería de carbón extraída en la zona, acción que coayudó al incremento de la superficie de bosque.

Los resultados derivados del proceso de análisis multitemporal de imágenes de 1990 y 2015 se visualizan en la Figura 22 (Anexo 10 versión digital), el mapa cambio de uso de suelo, evidencia 3 categorías (sin cambio, positivo y negativo): la primera categoría abarca una mayor extensión en la zona de estudio 9344,67 Ha; los resultados observados, muestran que este territorio ha sufrido un proceso de cambio de uso de suelo a lo largo de 25 años, los cambios de tipo negativo representan un 18% del área total; este tipo de procesos de modificación que experimentan las coberturas vegetales y los usos de suelo de una región, son

considerados como una de las principales causas que coayudan al deterioro ambiental<sup>104</sup>.

**Figura 22.** Mapa de cambio de uso de suelo periodo 1990 - 2015



**Fuente:** La autora

Gran parte de la zona de estudio está representada por área de páramo (4887,18 Ha en el año 2015), el cual es considerado un ecosistema estratégico, que presenta una escasa vegetación arbustiva, y cumple funciones primordiales para la sociedad, una de ellas es la regulación del sistema hídrico de la región; a pesar de sus condiciones climáticas extremas, este ecosistema de alta montaña ha llevado a adaptaciones morfológicas, fisiológicas y comportamentales por parte de los organismos que en él habitan<sup>105</sup>. Estudios multitemporales como éste, permiten reconocer la trayectoria del páramo y los procesos de agricultura y deforestación asociados a estos ecosistemas a causa de las actividades económicas de la región.

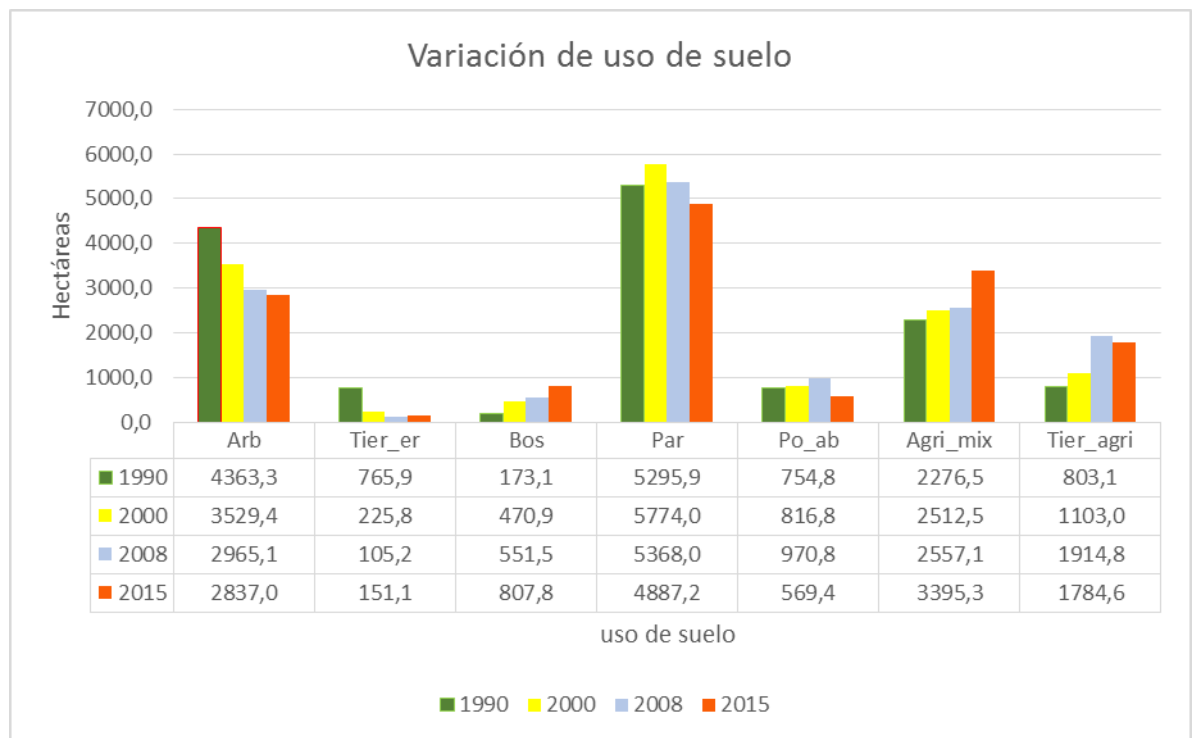
<sup>104</sup> NÁJERA, O., J. BOJÓRQUEZ, J. CIFUENTES y S. MARCELEÑO. Cambio de cobertura y uso del suelo en la Cuenca del Río Mololoa, Nayarit. *Biociencias*. 2010. 1 (1):19-29.

<sup>105</sup> LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J.; LEPERS, E. Op. cit., p 238.



La tendencia del cambio de uso de suelo que se evidencia en las 4 imágenes analizadas (figura 23), muestra un aumento de las tierras agrícolas en el transcurso los 25 años, así mismo presenta una disminución gradual del uso arbustal. Este tipo de situaciones reflejan el impacto de las actividades económicas sobre las áreas protegidas y denotan la importancia de la preservación de los ecosistemas estratégicos y la nueva delimitación del páramo, que amplía las áreas de amortiguación de la zona.

**Figura 23.** Variación de uso de suelo en las 4 imágenes analizadas.



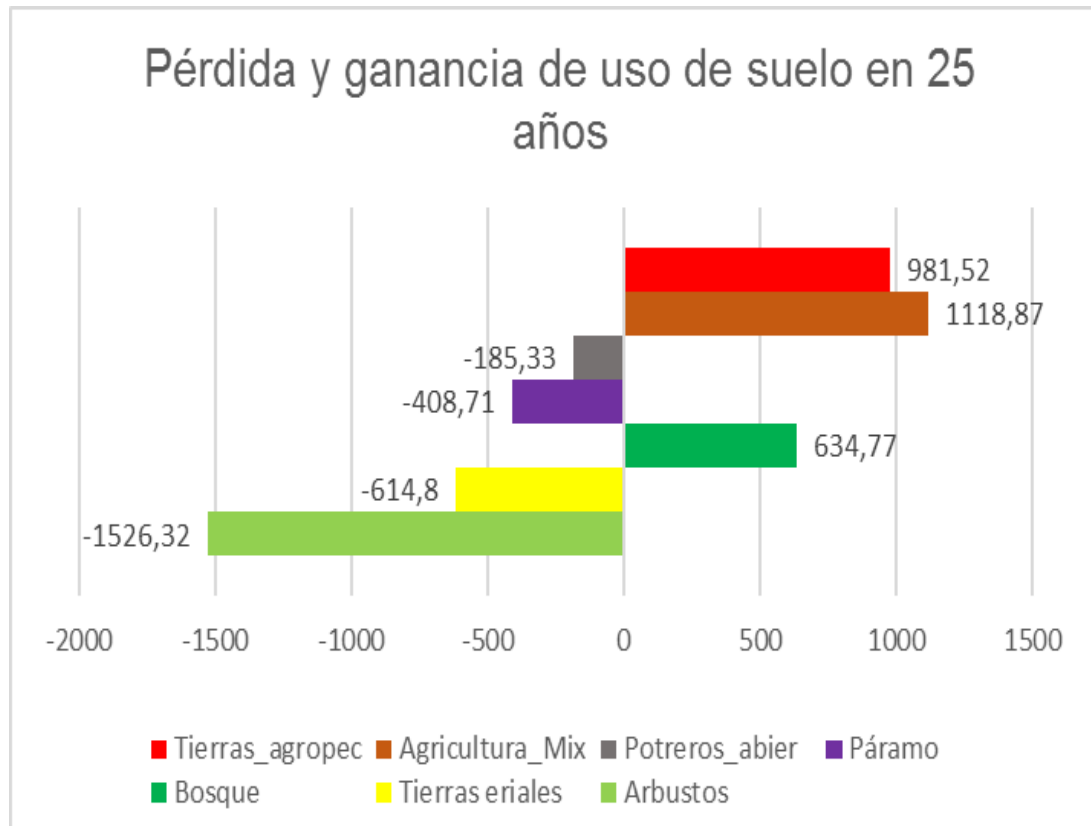
**Fuente:** La autora

#### 5.2.4.1 Cálculo de pérdida y ganancia

El análisis multitemporal de cambio de uso de suelo en el PNN Pisba (Tasco), permitió identificar la pérdida y ganancia de cada uno de los usos interpretados para la temporalidad 1990 – 2015 objeto del presente estudio; para los 25 años analizados los usos con mayor cambio son las tierras agrícolas y agricultura mixta en términos de ganancia; así mismo cabe resaltar que los Bosques han aumentado su superficie como se mencionó previamente. El uso de protección (Arbustal), presentó la mayor pérdida a lo largo de los 25 años, con un valor negativo de 1526,32 Ha, representando el mayor cambio en la zona. Las zonas de gran importancia ecológica como el páramo también sufrieron una disminución en su cobertura con 408,71 Ha de pérdida.

La interpretación de la dinámica del cambio de uso, demostró que los usos de protección (páramo y arbustos), perdieron cobertura vegetal en el transcurso de 25 años, por el contrario, los usos agrícolas han aumentado su extensión; la deforestación, el ascenso del límite de la agricultura y las quemas, son los problemas más graves que enfrentan los ecosistemas de alta montaña en Colombia<sup>106</sup>. Otras actividades la minería ilegal, contribuyen a la degradación del ecosistema del PNN Pisba; la Figura 24, muestra la pérdida y ganancia de cada uno de los usos interpretados.

**Figura 24.** Gráfico de pérdida y ganancia de uso de suelo durante 25 años (1990 – 2015).



**Fuente:** La autora

<sup>106</sup> MORALES-BETANCOURT, J.; ESTÉVEZ-VARÓN, J. V. Op. Cit., p 40

#### 5.2.4.2 Análisis del cambio de uso del suelo

La información derivada del análisis multitemporal, donde se utilizaron imágenes Landsat 5 y Landsat 7 en un periodo de 25 años, permitió obtener un estimado del cambio de uso de suelo en un intervalo de tiempo. De acuerdo con información secundaria previa, la economía del municipio está basada en 3 actividades minería, agricultura y ganadería, situación que genera un nivel de transformación en los ecosistemas; los datos obtenidos para el periodo de 25 años reflejan cambios en el uso del suelo, que se atribuyen en gran medida a las actividades de origen antrópico que deterioran de manera sustancial las áreas protegidas y las especies que allí habitan.

Dentro de los cambios de uso de suelo más notables en el presente estudio, encontramos el aumento en el uso de tierras agropecuarias (981,5 Ha), que representan el 6,8% del área total, y la disminución de uso de suelo de Protección (Arbustal) (1526,3 Ha) que representan el 10,5%; estudios similares realizados en complejo Tota-Bijagual-Mamapacha, mostraron el mismo patrón de reducción en los suelos de protección (arbustal), debido a la eliminación de la cobertura vegetal para actividades de subsistencia de la región<sup>107</sup>. En el PNN Pisba una de las actividades económicas que afectan los suelos de protección es la ganadería; dentro del municipio de Tasco se registran para el año 2000 un total de 7000 cabezas de ganado; la explotación ganadera se practica con ganado amarrado en su mayoría, sin embargo el ganado presente en zonas de protección por el SINAP se practica con ganado suelto en la comúnmente llamada sabana de páramo<sup>108</sup>.

La agricultura afecta de cierta manera el área de protección (PNN Pisba), las prácticas agrícolas en áreas protegidas, áreas de amortiguación o áreas de páramo, producen alteraciones como la disminución de la cobertura vegetal; luego del análisis multitemporal, se puede identificar una disminución del uso de suelo protector (arbustal), como se mencionó previamente, este uso de suelo disminuyó de manera drástica en el lapso de 25 años pasó de representar 4363,3 Ha en 1990 a 2836,98 Ha en 2015; situación que se asemeja a estudios realizados en áreas protegidas en Nicaragua, donde actividades como la agricultura, principalmente cultivo de papa, generan grandes presiones sobre las áreas protegidas, y muestran un alto grado de intervención antrópica por cambio de uso de suelo<sup>109</sup>. Esta dinámica de cambio de uso de suelo por agricultura y ganadería producen alteraciones en los ecosistemas, debido a las prácticas de monocultivos, a la incorporación de agroquímicos al suelo, e incluso a la formación de suelos desnudos y la disminución de la capacidad de retención de agua de los mismos<sup>110</sup>.

---

<sup>107</sup> REBOLLO, Op, cit., p. 18

<sup>108</sup> Acuerdo EOT, Tasco (2000) Op. cit., p 240

<sup>109</sup> RUIZ, Verónica; SAVÉ, Robert; HERRERA, Alejandrina. Op, cit., p. 119

<sup>110</sup> LAMBIN, ERIC F.; GEIST, HELMUT J.; LEPERS. Op. cit., p. 212

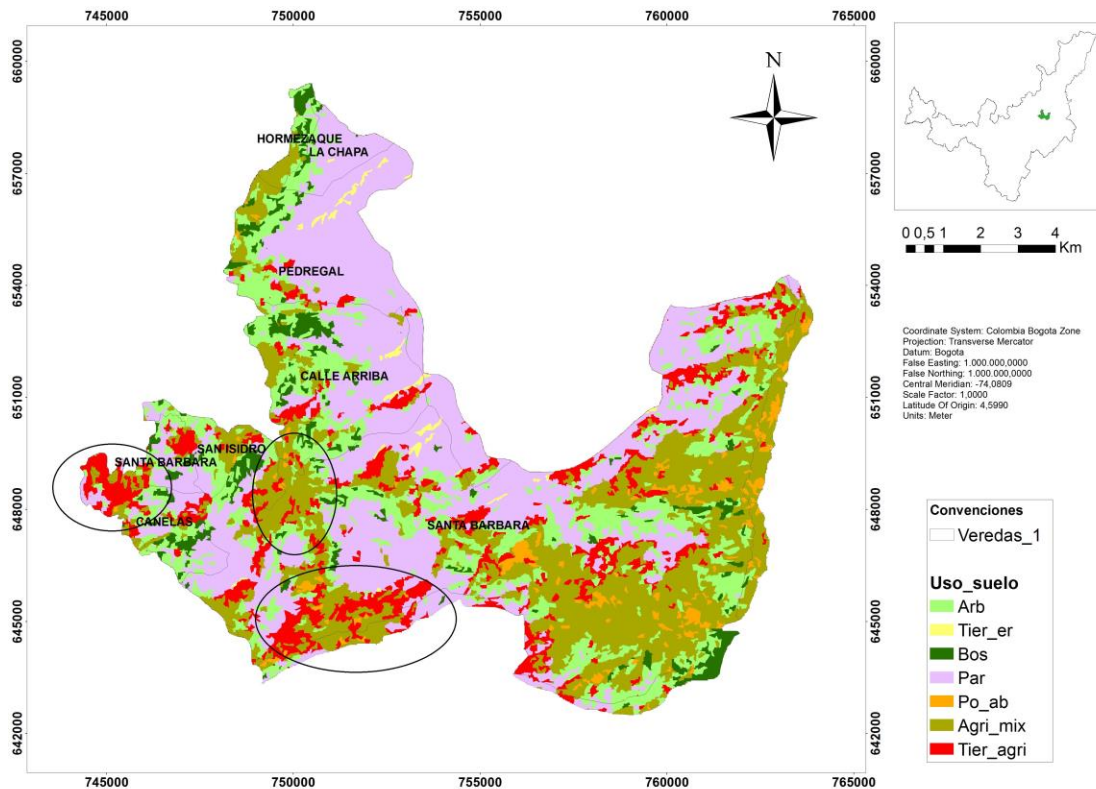
El incremento de agricultura y ganadería principalmente en la vereda San Isidro y Santa Bárbara, conllevan a una modificación en el ecosistema y las zonas de amortiguación; para el año 1990 la agricultura y la ganadería representaban en conjunto el 21% de la zona protegida, y en 2015 el 36%, en conclusión, en el intervalo de 25 años se refleja un crecimiento del 15% en estas 2 actividades. Según reportes del 2012<sup>111</sup>, en los últimos años se ha incrementado la actividad ganadera, por efecto de las bajas productividades en la agricultura. Las actividades agropecuarias en zonas de amortiguación de áreas de páramo, producen grandes alteraciones por ejemplo, el pisoteo por el ganado altera los procesos hídricos, debido a la compactación del suelo, además actividades como la comúnmente llamada ganadería en sabana de páramo que se practica en el Páramo de Pisba, destruye la vegetación arbustiva y en consecuencia la notable disminución a lo largo de los 25 años según el presente estudio; estas actividades no sólo impactan las coberturas vegetales, sino también afectan de manera directa la permanencia de especies herbívoras como el venado de cola blanca (*Odocoileus virginianus*), el cual se ve afectado por la disminución de recursos para su alimentación.

El análisis multitemporal, muestra una reducción del uso de suelo de protección (Páramo), el cual también se ve afectado por actividades como el pastoreo de ganado y la agricultura; la zona de páramo dentro del área protegida, pasó de 5295,9 Ha en 1990 a 4887,1 Ha en 2015, y denotan un descenso de 408,7 Ha en 25 años; la transformación de la zona en base a las actividades económicas del sector rural aledaño al área protegida, ha influido principalmente en áreas que están sobre el límite de la zona, especialmente en la vereda Canelas, Santa Bárbara y San Isidro, donde se presentan los mayores cambios en el periodo de 25 años (figura 25). La conservación del área de páramo y otras formaciones vegetales que constituyen suelos de protección debido a la importancia ecológica y ambiental que representan garantizan la biodiversidad de diferentes organismos como aves, anfibios, mamíferos, insectos entre otros. Estos ecosistemas proveen el recurso hídrico debido a su capacidad de almacenamiento de agua, de la cual se sirven los habitantes de las partes bajas del municipio.

---

<sup>111</sup> ACUERDO N° 006, por el cual se adopta el Plan De Desarrollo Municipal del municipio de Tasco. Op. cit., p 95.

**Figura 25.** Áreas con mayor cambio en el periodo de 25 años



**Fuente:** La autora

En el municipio de Tasco, existe la tendencia al cultivo de pastos que están definidos en 3 clases pasto natural con 3000 Ha, pasto de corte con 25 Ha y pasto de rastrojo con 3500 Ha según datos del Plan de Desarrollo<sup>112</sup>. Este tipo de actividades se incorporan de igual manera en el área protegida, como se evidencia en el presente estudio, el uso Tierras agrícolas mixtas, representan 2276,47 Ha para 1990 y 3395,34 Ha para el año 2015, con un crecimiento del 7,8 % en relación al área total objeto de estudio; el cultivo de pastos ha constituido un factor de cambio, ésta actividad influye en la disminución de coberturas vegetales de uso de protección y generan impactos negativos sobre la zona debido a la poca capacidad de retención de agua por parte de estos cultivos.

Otra Actividad que representa un renglón importante dentro de la economía del municipio, un conflicto por el uso de suelo y además un gran impacto ambiental, es la minería principalmente la extracción de carbón bajo tierra. El municipio de

<sup>112</sup> ACUERDO N° 006, por el cual se adopta el Plan De Desarrollo Municipal del municipio de Tasco. Op. cit., p 100.

Tasco, existen 133 títulos mineros de los cuales sólo 98 están legalmente constituidos, 21 bocaminas se encuentran en la zona de páramo, y se han suspendido 23 bocaminas por Licencia Ambiental según datos de Plan de Desarrollo<sup>113</sup>.

La Tabla 13, muestra los expedientes ambientales de los títulos otorgados en la zona de páramo, según datos reportados por CORPOBOYACA (anexo 5) y registros del Catastro Minero.

**Tabla 13.** Listado de títulos mineros otorgados en la zona de estudio y su estado actual

Expediente Ambiental	Titular	Título Minero	Área del polígono (Ha)	Fecha de Expedición del Título Minero	Estado Actual (Catastro Minero)	Estado Actual (CorpoBoyacá)
OOLA-0073/09	Sanoha Ltda	FIM-102	105,7607	20-abr-06	Título Vigente	Lic. Negada en 2010
OOLA-0031/05	Eduardo Heli Pasachoa	BKS-091	106,25	07-abr-03	Título terminado	Lic. Negada en 2009
OOLA-0067/03	Diógenes Cardenas Verdugo	CB1-111	Sin info.	24-abr-03	Título terminado	En espera de cumplimiento de requerimientos
OOLA-0011/05	Evaristo Mendivelso García	JDU-14241	106,134	18-dic-09	Título terminado	Lic. Negada en 2012_presenta proceso sancionatorio.
OOLA-0010/06	Olga Estupiñán y Alirio Lara Joya	DIK-161	69,92	04-nov-03	Título Vigente	Lic. Negada en 2012
OOLA-0020/10	Sanoha Ltda	FFU-152	104,8959	27-jul-05	Título Vigente	Lic. Negada en 2011
OOLA-0010/11	María Mesa y Armando Eslava	EGT-112	58,0499	18-nov-05	Título Vigente	Lic. Negada en 2013
Continuación Tabla 12.						
OOLA-0091/09	José Manuel Cely Rodríguez	HI6-08001	268,263	17-abr-09	Título Vigente	En espera de cumplimiento de requerimientos

<sup>113</sup> ACUERDO N° 006, por el cual se adopta el Plan De Desarrollo Municipal del municipio de Tasco. Op. cit., p 96.

OOLA-0092/09	Hunza Coal Ltda	HDH-151	255,3266	21-jul-07	Título Vigente	En espera de cumplimiento de requerimientos
OOLA-0028/05	María Elisa Gomez	BKS-081	114,4994	02-dic-04	Título Vigente	En espera de cumplimiento de requerimientos
OOLA-0017/05	José Manuel Marquez Acero	DEN-142	59,4	04-jun-03	Título Vigente	Con proceso sancionatorio y medida preventiva
OOLA-0010/05	Olga Estupiñán y Alirio Lara Joya	EKB-101	35,8225	18-nov-03	Título Vigente	Con sanción de cierre temporal
OOLA-0028/96	Mineros de Canelas	01-080-96	306,5456	30-may-02	Título Vigente	Suspendidos con proceso sancionatorio
OOLA-00331/98	José Antonio Ríos Silva	1845T	47,9987	25-ene-02	Título Vigente	Con proceso sancionatorio y medida preventiva

**Fuente:** La autora, basado en datos solicitados a la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (CORPOBOYACÁ).

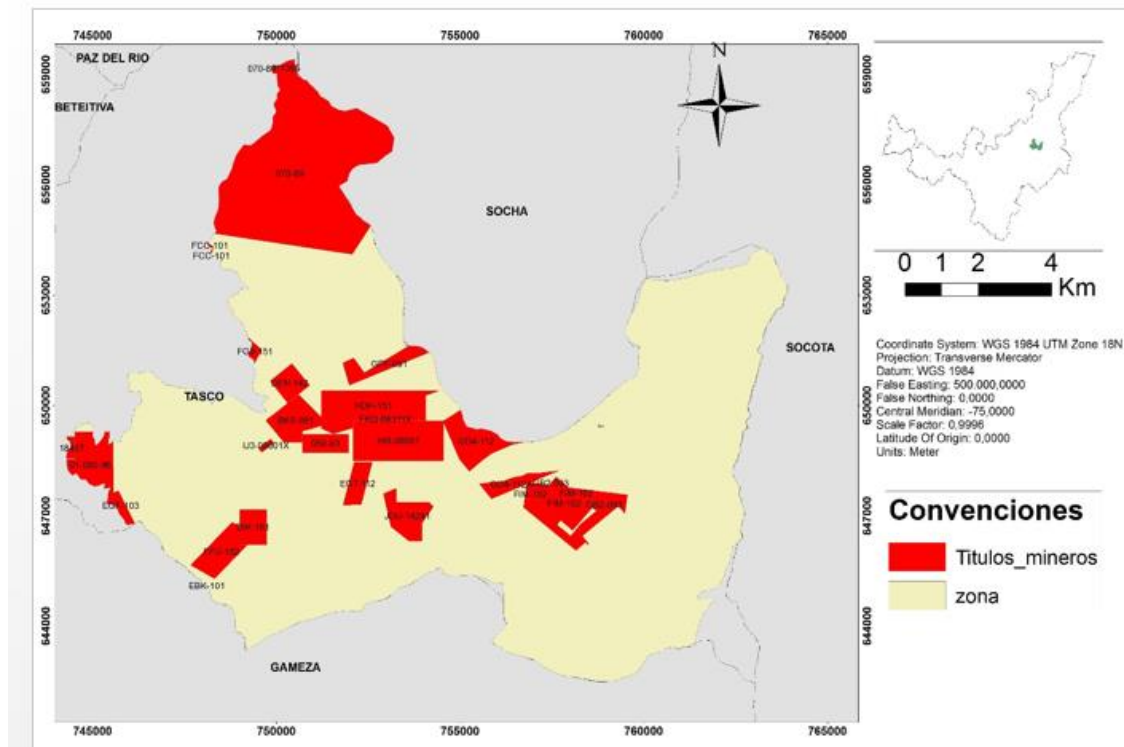
Los 14 títulos mineros con expediente ambiental fueron otorgados entre los años 2002 y 2009, en varios de estos títulos mineros se realizaron actividades de extracción de carbón previos a la solicitud de la licencia ambiental; en gran parte del municipio de Tasco se observan afectaciones ambientales por la minería ilegal de carbón en áreas de páramo<sup>114</sup>.

En la vereda Santa Bárbara existe explotación ilegal de carbón en las áreas de protección<sup>115</sup>, que en conjunto con los títulos otorgados constituyen 46 bocaminas donde se realizaba extracción de este mineral. La delimitación de áreas protegidas realizada por el Instituto Alexander Von Humboldt, con el fin de resguardar y prohibir actividades mineras en zonas de páramo por encima de los 2800 m.s.n.m, ha constituido un problema radical para los títulos mineros otorgados en estas áreas.

<sup>114</sup> YAGUE, S. El páramo de Pisba en Tasco Resistencia campesina frente a la gran minería. Instituto Latinoamericano para una Sociedad y un Derecho Alternativos, Bogotá Colombia, 2014. p. 35.

<sup>115</sup> ACUERDO N° 006, por el cual se adopta el Plan De Desarrollo Municipal del municipio de Tasco. Op. cit., p 100

**Figura 26.** Mapa de títulos mineros otorgados dentro de la zona de estudio Pisba.



**Fuente:** La autora, a partir de información obtenida en shapefile aportada por CorpoBoyacá.

La Figura 26 (Anexo 11 versión digital), muestra los polígonos de los títulos mineros otorgados y tramitados para las licencias ambientales las cuales fueron negadas por CORPOBOYACA, cabe resaltar que este shapefile, sólo muestra la minería legal. El área total que representan estos títulos es de 1638,866 Ha que corresponden al 11,3 % del área total de la zona de estudio. La minería de carbón genera grandes impactos, principalmente sobre el recurso hídrico, de igual manera debido a su tipo de extracción bajo tierra, conlleva a futuros deslizamientos y aludes de tierra; el área de estudio presenta una disminución en las zonas de páramo principalmente en la vereda Santa Bárbara, donde se ubica gran parte de la minería legal e ilegal, el drenaje ácido minero afecta de manera drástica la vegetación de páramo debido a su gran sensibilidad frente a este tipo de acciones antrópicas; luego del análisis multitemporal, se expone que se han perdido 408,71 Ha de páramo en 25 años, las cuales han sido reemplazadas por áreas de pastos, sistemas agrícolas y tierras eriales. Las modificaciones de las áreas de páramo representan grandes repercusiones, debido a la gran capacidad de captación de agua de este tipo de ecosistemas y en consecuencia una disminución de la disponibilidad del recurso hídrico para las generaciones futuras.



La Tabla 14, muestra las diferentes actividades en cada una de las veredas que conforman el área del PNN Pisba jurisdicción de Tasco, cabe resaltar que los principales yacimientos de Carbón se ubican en la vereda Santa Bárbara; de igual forma a partir del año 2015 no se otorgaron más títulos en la zona SINAP; las áreas de mayor afectación se encuentran hacia el costado occidental, donde se ubican gran parte de comunidades del sector rural; existen grandes incomodidades por parte de los habitantes, los cuales se han visto afectados de manera directa por la nueva delimitación de áreas protegidas, debido a que parte de sus predios quedaron dentro de la zona delimitada. Actividades como la agricultura y la ganadería principalmente, han modificado el paisaje a lo largo de 25 años, con la ampliación de la frontera agrícola y la pérdida de áreas de uso protector (arbustal y páramo), se evidencia en cambio de uso de suelo a lo largo de la temporalidad desde 1990 hasta 2015.

**Tabla 14.** Actividades económicas que conllevan al cambio de uso de suelo en el municipio.

Actividad / problemática de uso de suelo	Vereda
Agricultura	La Chapa
Actividad agropecuaria y minera	Hormezaque
Ganadería y Minería	Santa Bárbara
Minería	Calle arriba
Minería	Canelas
Ganadería y Minería	Pedregal
Ganadería y Actividad agropecuaria	San Isidro

**Fuente:** La autora

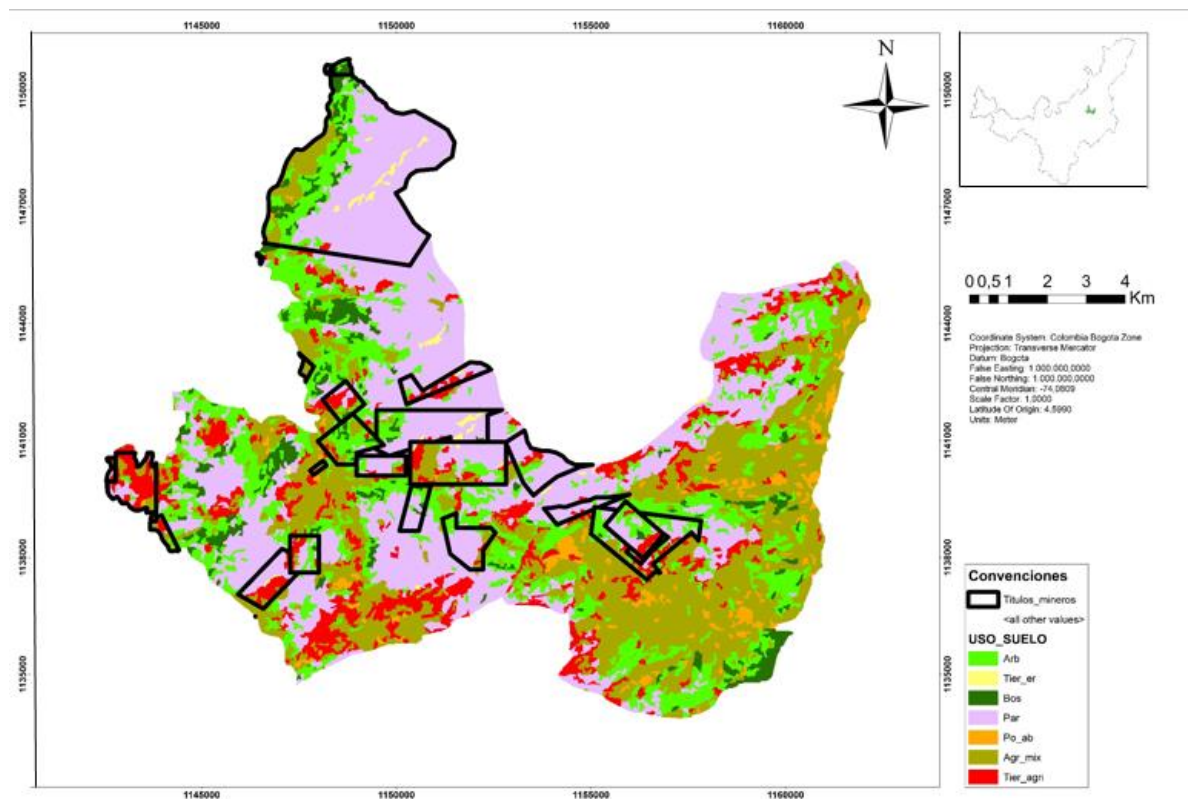
Los habitantes del sector rural, presentan bajos ingresos provenientes de actividades agropecuarias, según datos del Plan de Desarrollo<sup>116</sup>, este tipo de situaciones incentivan la actividad minera, que está apoyada por capitales externos y por la existencia de grandes depósitos de carbón con demanda permanente que ofrecen una posibilidad de empleo para los habitantes del sector.

La minería bajo tierra puede representar varias modificaciones en el paisaje, desde la apertura de vías para la extracción de carbón, hasta obtención de

<sup>116</sup> ACUERDO N° 006, por el cual se adopta el Plan De Desarrollo Municipal del municipio de Tasco. Op. cit., p 98.

grandes cantidades de madera para operaciones subterráneas; la minería por subsistencia principalmente de tipo ilegal genera grandes impactos a nivel ambiental, debido a su desarrollo antitécnico y promueven el aprovechamiento intensivo de los recursos naturales, alterando los ecosistemas adyacentes a este tipo de actividad.

**Figura 27.** Mapa de uso de suelo de 2015 y títulos mineros otorgados dentro de la zona de estudio.



**Fuente:** La autora

La Figura 27 (Anexo 11 versión digital), muestra los usos de suelo identificados para 2015 y los polígonos mineros dentro de la zona de estudio; se puede apreciar en amarillo las tierras desprovistas de vegetación de coinciden con el área de algunos polígonos; de igual manera los títulos otorgados se ubican en las áreas más sensibles de la zona protegida (páramo), situación de gran preocupación en su momento debido a las implicaciones de tipo ambiental a mediano y largo plazo por el posible desarrollo de la actividad minera dentro del páramo en el municipio de Tasco.

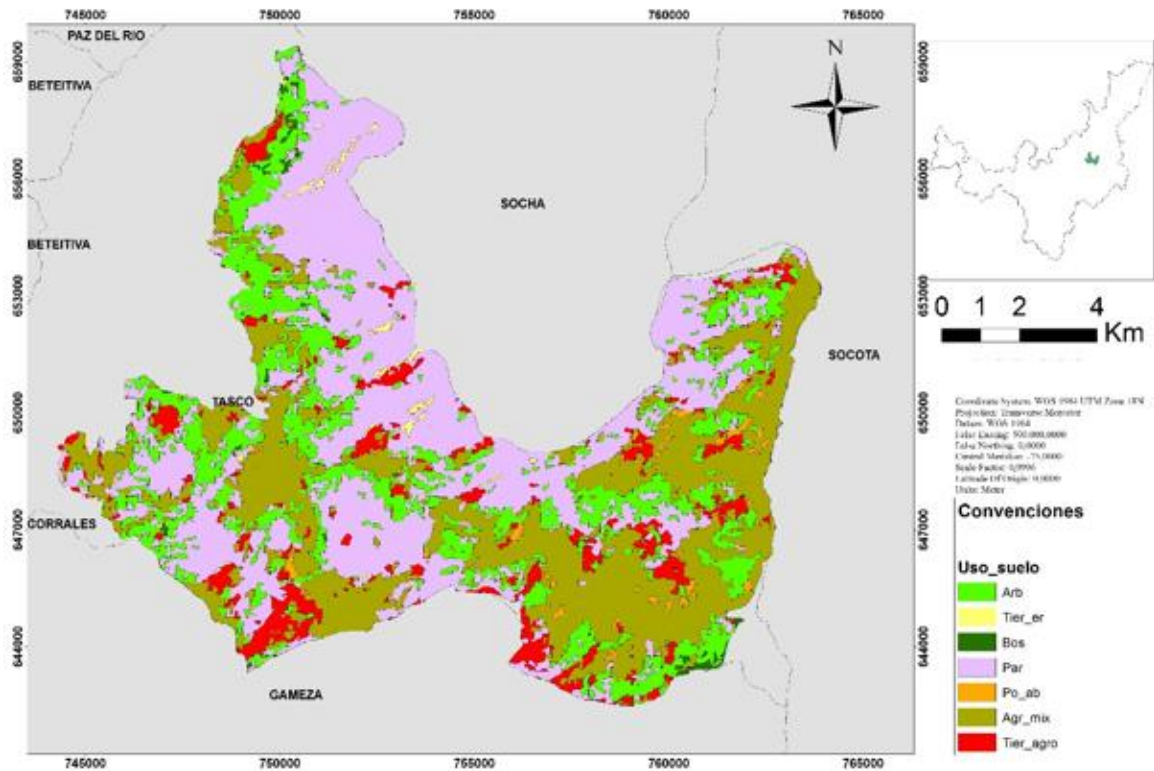
Según algunos registros antes de 2015 se desarrollaron actividades mineras dentro del área protegida, principalmente minería ilegal; en la actualidad esta actividad no se desarrolla dentro del PNN Pisba, pero si dentro de su área de influencia incluso dentro de la zona de amortiguación; a partir del años 2015 no se otorgaron más títulos mineros dentro del área protegida, sin embargo algunos de los títulos existentes generaron modificaciones en el paisaje y alteraron los ecosistemas, principalmente el páramo, esta situación generó gran presión social por parte de la comunidad en pro de la protección del recurso hídrico.

### **5.3 Modelación de la tendencia de uso de suelo para el año 2022**

Para realizar la modelación se tomaron como datos de entrada las imágenes de 2008 y 2015 con los usos definidos (variables impulsoras de cambio), cada imagen contenía información raster homologada (igual número de filas, columnas e igual sistema de proyección); de igual forma para realizar la modelación se obtuvo el DEM de la zona de estudio (Modelo de elevación digital), descargado de la forma gratuita del portal UAF (Alaska Satellite Facility de la NASA). Con los datos de entrada en el software QGIS, se calcularon las áreas de las coberturas en Ha para los 2 años de referencia, se estableció una tasa de aprendizaje de 0,1 y 1000 iteraciones máximo para obtener la curva de aprendizaje y calibrar el modelo. Luego de calibrar el modelo se obtuvo un mapa de simulación de uso de suelo para el año 2022 (figura 28), y los datos de las respectivas áreas (Ha) se relacionan en la Tabla 15.

La Figura 28 (Anexo 12 versión digital), representa un escenario predictivo del uso de suelo, donde se asume que la zona y el clima se comportan de manera similar a la del último shapefile de los datos de entrada (2015). Como se aprecia en la figura 25, en el año 2022 aún se mantienen actividades agrícolas dentro del área protegida, la tenencia de la tierra y la intervención por parte de los entes de control en áreas tan extensas se convierten en un problema de difícil solución frente a la protección de los ecosistemas. Las necesidades básicas y la ganadería por subsistencia dentro de las áreas protegidas implican acciones eficientes enmarcadas dentro del Plan de Desarrollo del Municipio, con el fin mejorar las condiciones de la economía local y reducir los impactos y la presión sobre las áreas protegidas del municipio.

**Figura 28.** Mapa de simulación de uso de suelo para el año 2022



**Fuente:** La autora

La Tabla 15, muestra que en el año 2022 el área de páramo tendrá una representación del 33,9 % dentro del área protegida, con un aumento de 732,386 Ha si lo comparamos con el año 2015, los datos del mapa proyectado muestran una disminución en el área de potreros abiertos y tierras agropecuarias con 418,085 y 737,6 Ha respectivamente; de esta manera se visualiza un futuro alentador para las áreas protegidas y la progresiva recuperación de los ecosistemas de páramo. Así mismo los resultados de la simulación demuestran una tendencia razonable del probable uso de suelo, el comportamiento de la tendencia de uso de suelo para el año 2022 denota un paulatino reemplazo de las tierras agrícolas y potreros abiertos, y un aumento de las áreas de páramo que coinciden con los fundamentos para la delimitación de las zonas de gran valor ambiental.

**Tabla 15.** Relación de áreas de uso de suelo 2015 - 2022

<b>USO_SUELO</b>	<b>2015 (Ha)</b>	<b>2022 (Ha)</b>	<b>Diferencia</b>	<b>2015%</b>	<b>2022%</b>	<b>Difer. %</b>
<b>Arbustos</b>	2836,98	2962,034	125,054	19,7	20,5	0,9
<b>Tierras eriales</b>	151,11	91,396	-59,714	1,0	0,6	-0,4
<b>Bosque</b>	807,84	87,698	-720,142	5,6	0,6	-5,0
<b>Paramo</b>	4887,18	5619,566	732,386	33,9	38,9	5,1
<b>Potreros abiertos</b>	569,43	151,345	-418,085	3,9	1,0	-2,9
<b>Tierras Agrícolas Mix</b>	3395,34	4473,57	1078,23	23,5	31,0	7,5
<b>Tierras agropecuarias</b>	1784,61	1047,008	-737,602	12,4	7,3	-5,1

**Fuente:** La autora

#### 5.4 Mapa de vulnerabilidad ambiental

A partir de las imágenes de uso de suelo, se aplicó una matriz de comparación en pares, con juicio propio, en base a las pérdidas en hectáreas del uso de protección, con juicios comparativos en parejas de los 4 años (1990, 2000, 2008 y 2015), y se obtuvo una matriz consolidada (tabla 16).

**Tabla 16.** Matriz consolidada de las imágenes.

<b>Matriz de Comparación de Pares</b>									
	<b>1990</b>	<b>2000</b>	<b>2008</b>	<b>2015</b>	<b>Matriz Normalizada</b>				<b>Vector Promedio (Ponderador)</b>
<b>1990</b>	1	0	0	0	0,050	0,000	0,000	0,000	0,0125
<b>2000</b>	5	1	0	0	0,250	0,067	0,000	0,000	0,0792
<b>2008</b>	5	7	1	0	0,250	0,467	0,250	0,000	0,2417
<b>2015</b>	9	7	3	1	0,450	0,467	0,750	1,000	0,6667
<b>Suma</b>	20	15	4	1					

**Fuente:** La autora

En la Tabla 16, se presentan los ponderados, según criterio propio basado en la importancia ecológica de los usos de suelo de tipo protector en la zona de estudio. Los valores de 1 a 9 fueron asignados según el tipo de sensibilidad representado en la Tabla 17. De esta manera se obtuvo un valor superior de ponderación para el año 2015 (0.66), que representa una mayor pérdida de áreas de páramo en relación a los años anteriores, así el cambio de uso de suelo dentro de las áreas de páramo, puede ocasionar grandes impactos a nivel ecológico y ambiental. El

año 2008 muestra una ponderación de 0.24, éste valor se fundamenta en un marcado cambio de uso a tierras agrícolas, mostrando el 2008 como el año donde este tipo de uso tuvo su mayor extensión en hectáreas; las actividades de la economía local influyen en las áreas de protección, generan grandes impactos y disminuyen la disponibilidad de recurso para las futuras generaciones.

Las ponderaciones para el año 1990 y 2000 fueron bajas (0.01 y 0.07 respectivamente), el año 1990 representa el año inicial del estudio y en consecuencia es el referente de inicio de la extensión en cada uno de los usos de suelo; en el caso del 2000, los cambios en las áreas de uso de suelo protector, fueron inferiores frente a los 2 años siguientes.

**Tabla 17.** Clasificación de sensibilidad ambiental

<b>Valor</b>	<b>Tipo de sensibilidad</b>
1	<b>Muy Baja:</b> Afectación poco significativa
3	<b>Baja:</b> Una afectación mínima o pequeña
5	<b>Media:</b> se refiere a un grado de incidencia moderado del efecto sobre el medio
7	<b>Media Alta:</b> Grado de incidencia fuerte que actúa sobre el medio
9	<b>Alta:</b> Grado de incidencia muy fuerte que actúa sobre el medio

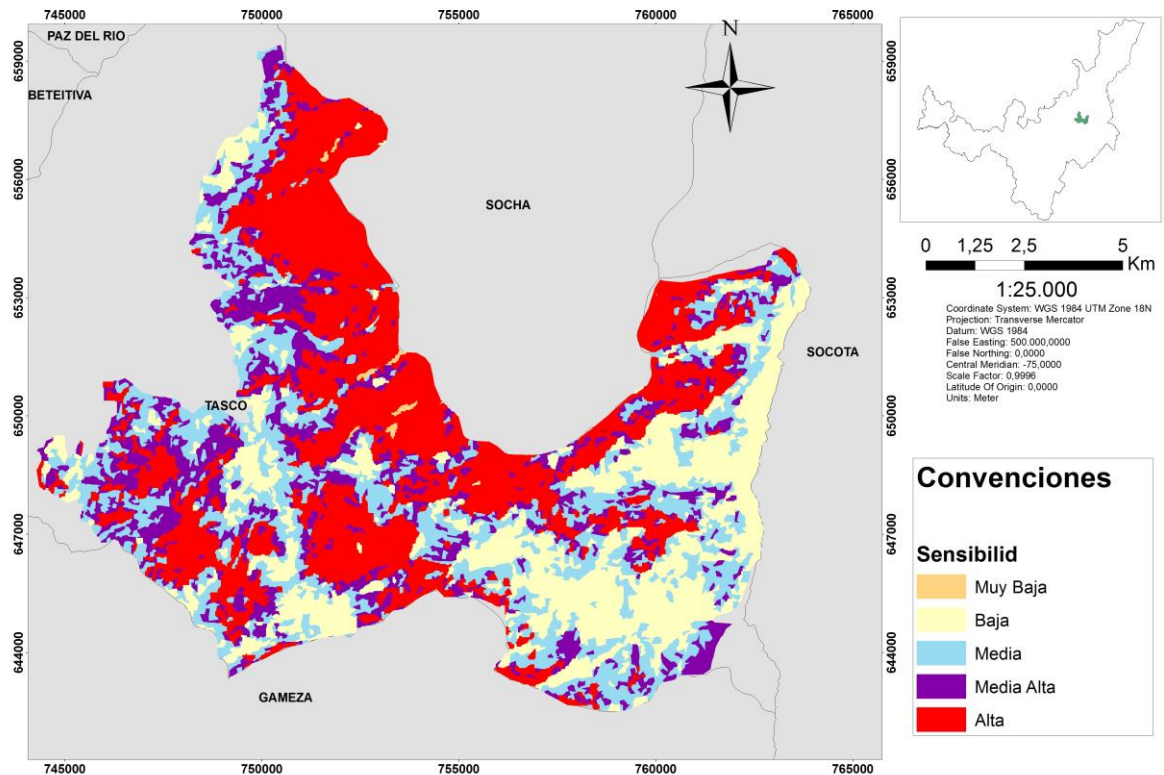
**Fuente:** La autora, modificado de Conesa, 1993

El análisis realizado para la generación del mapa de áreas más sensibles frente al cambio de uso de suelo por actividades de tipo económico en el municipio de Tasco, muestra una visión espacial de las áreas más sensibles dentro de la zona protegida por el SINAP.

La Figura 29, denota las áreas sensibles frente al cambio de uso de suelo, en rojo se muestra la sensibilidad más alta que corresponde a las áreas de uso protector (páramo), el cuál es uno de los ecosistemas más importantes, al ser fuentes de agua y ecosistemas reguladores del clima; los páramos han sido considerados como los biomas más vulnerables del neotrópico, con altos grados de

biodiversidad y endemismos con factores críticos de amenaza<sup>117</sup>. Esta calificación de ecosistemas altamente vulnerables, concuerda con la clasificación realizada en el presente estudio donde los cataloga como las áreas más sensibles frente a un cambio de uso.

**Figura 29.** Mapa de áreas sensibles frente al cambio de uso de suelo



**Fuente:** La autora

Otros sistemas de uso protector (Arbustos y Bosques), presentan una sensibilidad media y media alta respectivamente; este tipo de ecosistemas albergan gran diversidad de especies animales y vegetales, que constituyen en conjunto excelentes biomas de conservación y protección de los recursos naturales.

Los usos de expansión agrícola y ganadera se convierten en las zonas menos sensibles frente al cambio de uso de suelo, debido a que son terrenos ya desgastados, incluso si en estas áreas menos sensibles, se tomaran decisiones

<sup>117</sup> MORALES-BETANCOURT, et al., Op. cit., p 39

conjuntas para reemplazar este tipo de actividades e implementar zonas de reforestación con especies nativas, se aseguraría la recuperación y estabilidad del área protegida.

La visión espacial de las áreas y su clasificación a nivel de sensibilidad frente al cambio de uso de suelo, ofrecen una herramienta para la toma de decisiones por parte de los entes municipales y los organismos de control del área ambiental, en caso de presentar cualquier actividad y su área de influencia. El cambio de uso de suelo influye en la conservación de los ecosistemas y genera impactos sobre el territorio, principalmente en áreas protegidas que proveen de servicios ecosistémicos a la comunidad.



## 6. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede llegar a concluir lo siguiente:

- Los resultados obtenidos a partir del análisis multitemporal de 25 años, muestran una tendencia de cambio de uso hacia actividades agropecuarias y agrícolas mixtas, con un aumento de 981,5 Ha y 1118,8 Ha respectivamente, y una disminución de las áreas de uso de protección (Páramo y arbustal), representadas en 408,7 Ha y 1526,3 Ha, las disminuciones de estos usos de protección están íntimamente ligados a la dinámica de las actividades económicas de la zona.
- La economía del municipio basada principalmente en ganadería, agricultura y minería, influyen directamente en los cambios de uso de suelo en el área protegida, y constituyen un factor importante de evaluación dentro de los lineamientos de planeación del territorio, donde se deben implementar estrategias de producción que no alteren los ecosistemas de las áreas protegidas.
- Para el período comprendido entre 1990 y 2015 la zona del PNN Pisba en jurisdicción de Tasco, muestra las veredas de San Isidro y Santa Bárbara como los lugares de mayor afectación en términos de cambio de uso de suelo, principalmente por actividades agropecuarias y por la minería de carbón; la vereda Santa Bárbara representa la mayor área dentro de la zona de estudio y a su vez en ella se ubica la mayor parte de los títulos mineros otorgados para explotación de carbón y la principal zona de protección “El Páramo”.
- El análisis multitemporal realizado por medio de Sistemas de Información Geográfica, permite visualizar la dinámica de los cambios ocurridos en un intervalo de tiempo, además de generar información de las áreas vulnerables, que brindan un insumo fundamental de información actualizada para la toma de decisiones en el municipio.
- El mapa de vulnerabilidad frente a los cambios de uso de suelo, muestra las formaciones vegetales o uso de protección como los escenarios que pueden ser más impactados debido al cambio de uso; las modificaciones en el paisaje especialmente dentro de las áreas protegidas, ocasionan grandes pérdidas de biodiversidad, y dificultan el movimiento de especies y la conexión con otros corredores biológicos.

- La pérdida de áreas de protección por cambios de uso de suelo, principalmente por tierras agrícolas, constituyen un problema a gran escala frente a la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad, este tipo de cambios enfrentan al desarrollo económico y la preservación del medio ambiente, de esta manera estudios basados en imágenes satelitales en un periodo de tiempo generan una visión más amplia de la manera en que el hombre está transformando su entorno.

## 7. BIBLIOGRAFIA

AHMAD, Farooq. Detection of change in vegetation cover using multi-spectral and multi-temporal information for District Sargodha, Pakistan. *Sociedade & Natureza*, 2012, vol. 24, no 3, p. 557-571.

ANDRADE G. Paisaje y Biodiversidad en las Selvas de los Andes. *In: Andrade G, editor. Carpanta: Selva Nublada y Páramo*. Bogotá: Fundación Natura-Colombia. 1993. p 31–48.

ARANGO, Román; CHILITO, Juan Carlos; CIFUENTES, Alejandra. Análisis multitemporal de la expansión urbana de la ciudad de Popayán, Cauca entre los años 1989, 2002 y 2014. 2016. 61 p.

ARDILA, Néstor Javier Martínez; GARCÍA, Uriel Gonzalo Murcia (ed.). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra: metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia: Escala 1: 100.000*. Ideam, 2010.

ARMENTERAS, D., GAST, F., and VILLAREAL, H. Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. *Biological conservation*. 2003. Vol. 113(2), 245-256.

ASIA AIR SURVEY CO. MOLUSCE: An open source land use change analyst for QGIS. Japón. 2012. Consultado el 6 de julio de 2019. Disponible en [http://www.ajiko.co.jp/dl/pdf\\_tf2014/p62-63.pdf](http://www.ajiko.co.jp/dl/pdf_tf2014/p62-63.pdf).

ATENCIA, Andrés; CONTRERAS, John Jairo; VERGARA, David. Estudio multitemporal de imagenes satelitales con fines de delimitación del complejo Bajo San Jorge izquierdo (B13) y diagnóstico de zonas intervenidas antropicamente (Agricultura y Ganadería). 2010. 117 p.

BASSE, Reine Maria; CHARIF, Omar; BODIS, Katalin. Spatial and temporal dimensions of land use change in cross border region of Luxembourg. Development of a hybrid approach integrating GIS, cellular automata and decision learning tree models. *Applied geography*, 2016, vol. 67, p. 94-108.

BERNAL, Hector, y MONTES, Patricia. Análisis multitemporal de la dinámica en el cambio de uso de la tierra en Manizales durante el período 1969 – 2015 estudio de caso: comuna Ciudadela del Norte, Manizales. 2016. 89 p.

BOHÓRQUEZ, Ludy., GÓMEZ, Ivonne., SANTA, Fernando. Methodology for the discrimination of areas affected by forest fires using satellite images and spatial statistics. *Procedia Environ*. 2011. Sci. 7, 389–394.

BRIZUELA, A., AGUIRRE, C., y VELASCO, I. Aplicación de métodos de corrección atmosférica de datos Landsat 5 para análisis multitemporal. Memorias. Teledetección. Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional. Madrid, España, 2007, vol. 21. p. 208.

CAPOTE MOSQUERA, Richard Mauricio. Análisis multitemporal por medio de clasificación supervisada de imágenes landsat del parque entre nubes de la ciudad de Bogotá para identificar corredores ecológicos. 2016. 10 p.

CÁRDENAS, E. Análisis multitemporal del retroceso glaciar de la Sierra Nevada del Cocuy ubicada en los departamentos de Boyacá y Arauca entre los años 1992, 2003 y 2014. 2015. 23 p.

CHUVIECO, Emilio. El factor temporal en teledetección: evolución fenomenológica y análisis de cambios. *Revista de teledetección*, vol. 10. 1998, p. 1-9.

CHUVIECO, Emilio. Fundamentos de teledetección espacial. Madrid: Ediciones Rialp. 1990. p. 5.

CHUVIECO, Emilio. *Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio*. 3ª edición revisada. Barcelona, Editorial Ariel, 2010. p. 245.

CONGALTON, Russell G.; GREEN, Kass. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. CRC press, 2002. 210 p.

COPPEL, Ignacio Alonso; LLORENTE, Eliecer Herrero. *El Satélite Landsat: análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ Satélite Landsat*. Universidad de Valladolid, 2001.

CÓRDOBA C., y REVELO L. Análisis multitemporal para la identificación y cambio de la cobertura vegetal y uso de la tierra en la Microcuenca Dolores, Municipio de Pasto, departamento de Nariño, en el periodo comprendido entre 1985 a 2007. Tesis Especialista en Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Facultad de Ciencias y Tecnologías, Universidad Santo Tomas. Colombia. 2012. 94 p.

CORPOBOYACA. Estudios Técnicos, Económicos, Sociales y Ambientales para la identificación y delimitación del complejo paramos Pisba a escala 1:25.000. Tunja 2016. p. 274.

CORVALÁN, C., HALES, S. and McMICHAEI, A. Ecosistemas y bienestar humano: Síntesis sobre Salud. Un informe de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, Organización Mundial de la Salud. 2005. [en línea], disponible en

<http://www.maweb.org/documents/MA-Health-Spanish.pdf>. Recuperado el 11 de junio de 2019.

CURE LÓPEZ, Lisseth María. Determinación de la influencia del cambio de uso de suelo en la calidad ambiental de la cuenca de río Déleg. 2012. p. 50.

DI GREGORIO Antonio. Land Cover Classification System Classification concepts and user manual Software version (2). In: 8 EaNRS (ed). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 2005. p. 3.

DI GREGORIO, Antonio. Land Cover Classification System: Classification concepts. Software version 3. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 2016. p. 9.

ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL. Acuerdo EOT, Tasco (2000).

ETTER, Andrés and VAN WYNGAARDEN, Willem. Patterns of landscape transformation in Colombia, with emphasis in the Andean region. *Ambio: A Journal of the Human Environment*, 2000, vol. 29, no 7, p. 432-440.

GARRAÍN, D., VIDAL, R., FRANCO, V. Ocupación y transformación del suelo de las carreteras españolas. 2008. p. 937.

GENTRY A. El significado de la biodiversidad. In: Cárdenas S and Correa HD, editors. *Nuestra Diversidad Biológica*. Bogotá: Cerec y Fund A. Angel Escobar. 1993. p 13–24.

GIL-LEGUIZAMÓN, Pablo. Análisis multitemporal de la vegetación del macizo de Bijagual-Boyacá. Tesis de grado para optar por el título de Magister en Ingeniería Ambiental. UPTC – Tunja. 2016. 118 p.

GUHL, A. E. Café y cambio de paisaje en la zona cafetera colombiana entre 1970 y 1997. E revista, *Cenicafe* 55 (1). 2004. p. 29-44.

HOFSTEDE, R. El impacto de las actividades humanas sobre el páramo. *Los Páramos del Ecuador. Particularidades, Problemas y Perspectivas*; Mena, P., Medina, G., Hofstede, R., Eds, 2001. p. 161-185.

HOFSTEDE, Robert; SEGARRA, Pool; VÁSCONEZ, Patricio Mena. *Los páramos del mundo: Proyecto Atlas Mundial de los Páramos*. UICN; Global Peatland Initiative; Ecociencia, 2003. p. 16 .

IDEAM, IGAC & CORMAGDALENA. Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales,

Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Autónoma Regional del río Grande de La Magdalena. Bogotá, D.C. 2008. p. 29.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI–IGAC. Estudio semidetallado de suelos para fines agrícolas del sector plano del municipio de Valledupar. En: Revista Instituto Geográfico Agustín Codazzi 5(13). Subdirección Agrológica. Bogotá, Colombia. 2007. p. 221.

JENSEN, John R. Remote sensing of the environment: An earth resource perspective 2/e. Pearson Education India, 2009.

KHALIL, A., HANICH, L., HAKKOU, R., & LEPAGE, M. GIS-based environmental database for assessing the mine pollution: a case study of an abandoned mine site in Morocco. *Journal of Geochemical Exploration*. 2014. Vol. 144, p. 468-477.

KIBRET, K., MAROHN, C., CADISCH, G. Assessment of land use and land cover change in South Central Ethiopia during four decades based on integrated analysis of multi-temporal images and geospatial vector data. *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.* 3. 2016. p. 1–19.

LAMBIN, E. F.; EHRLICH, D. The surface temperature-vegetation index space for land cover and land-cover change analysis. *International journal of remote sensing*, 1996, vol. 17, no 3, p. 463-487.

LAMBIN, E. F., ROUNSEVELL, M. D. A., and Geist, H. J. Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity?. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2000, 82(1-3), 321-331.

LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J.; LEPERS, E. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual review of environment and resources*, 2003, vol. 28, no 1, p. 205-241.

LAVELL, Allan. Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición. *Biblioteca Virtual en Salud de Desastres-OPS*, 2001, vol. 4, p. 1-22.

LUNETTA, Ross S., KNIGHT, Joseph., EDIRIWICKREMA, Jayantha., LYON, John., and WORTHY, Dorsey. Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. *Remote sensing of environment*, 2006, vol. 105, no 2, p. 142-154.

MAS, J. F., KOLB, M., PAEGELOW, M., OLMEDO, M. T. C., & HOUET, T.. Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. *Environmental Modelling & Software*, 2014, vol. 51, p. 94-111.

MEHL, Harald; PEINADO, Osvaldo. Fundamentos del procesamiento digital de imágenes. *Aplicación de la teledetección y de los sistemas de información geográfica en la gestión de recursos naturales. Parte I: Fundamentos teóricos y prácticos*, 1997. p. 317.

MENDOZA S., Javier. y ETTER, Andrés. Multitemporal analysis (1940–1996) of land cover changes in the southwestern Bogota highplain (Colombia). *Landscape and urban planning*, 2002, vol. 59, no 3, p. 147-158.

MENESE, L., VELASCO, L., VELASCO, P., RIVERA, H. Plan de manejo parque Nacional Natural de Pisba. Socha (Boyacá). 2006. p. 24.

MONTERROSO, M. Guia Práctica: Clasificación de imágenes satelitales. 2013. [En línea], Consultado el 30 de octubre de 2018. Disponible en <http://geoportal.inigemm.gob.ec/?wpdmact=process&did=OS5ob3RsaW5r>.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra- Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia Escala 1:100.000 Bogotá. 2010. 72 p.

MORALES-BETANCOURT, J.; ESTÉVEZ-VARÓN, J. V. El páramo: ¿ ecosistema en vía de extinción?. *Revista Luna Azul*, 2006, no 22, p. 39-51.

MORIDI, M., KAWAMURA, Y., SHARIFZADEH, M., CHANDA, E., WAGNER, M., JANG, H., & OKAWA, H. Development of underground mine monitoring and communication system integrated ZigBee and GIS. *International Journal of Mining Science and Technology*, 25(5), 2015. 811-818.

OLAYA, Víctor. *Sistemas de Información Geográfica Tomo I. España: Creative Commons*, 2014. p. 123.

NÁJERA, O., J. BOJÓRQUEZ, J. CIFUENTES y S. MARCELEÑO. Cambio de cobertura y uso del suelo en la Cuenca del Río Mololoa, Nayarit. *Biociencias*. 2010. 1 (1):19-29.

ORDOÑEZ, A., y SERNA, J. Análisis superficial y multitemporal de imágenes Landsat 7 ETM+ Y Landsat 8 OLI TIRS en el proyecto carbonífero la luna entre los años 2001 y 2015. Trabajo de grado Especialista en Información Geográfica. Manizales. Universidad de Manizales. Facultad de Ingeniería. 2015. 85 p.

Organización de las Naciones Unidas (ONU). *Manual de sistemas de información geográfica y cartografía digital*. Estados Unidos. ONU. 2000. p. 24.

PÁEZ, GONZALEZ. Blanca, y GÁRCIA, Carlos Andrés. Análisis multitemporal del retroceso glaciar en la Sierra Nevada de Santa Marta-Colombia-para los periodos 1986,1996,2007 y 2014. Bogotá D,C. 2016. 66 p.

PALACIOS-MORERA, Marino. Cambio ambiental, teledetección y sistemas de información geográfica temporal. Actas del V Coloquio de Geografía Cuantitativa. Universidad de Zaragoza, España. 1992. p. 291-304.

PEÑA, S. Jeimy. *Análisis multitemporal del retroceso glaciar de la Sierra Nevada del Cocuy ubicada en los departamentos de Boyacá y Arauca entre los años 1992, 2003 y 2014*. Bogotá D.C. 2015. 26 p.

PÉREZ RINCÓN, Mario Alejandro. Conflictos ambientales en Colombia: inventario, caracterización y análisis. *Estrategia de manejo ambiental de la zona media y baja de la subcuenca del Río Pance*. 2014. p. 37.

PUERTA R, RENGIFO J, BRAVO N. Manual de ArcGis 10 Nivel Intermedio: Departamento de Ciencias de los Recursos Naturales Renovables. Perú. 2013. p. 13.

PULLANIKKATIL, Deepa; PALAMULENI, Lobina; RUHIGA, Tabukeli. Assessment of land use change in Likangala River catchment, Malawi: a remote sensing and DPSIR approach. *Applied Geography*, 2016, vol. 71, p. 9-23.

QUISPE LOYOLA, César Raúl. Aplicación del proceso analítico jerárquico (AHP) en la selección de un marco de referencia para gestionar los proyectos de una empresa consultora. 2017. p. 34

REBOLLO, María Elena. Estudio multitemporal para la determinación de cambios en el uso del suelo en el complejo de páramos Tota-Bijagual-Mamapacha para el periodo 1992-2012. 2014. [En línea] Consultado el 30 de octubre de 2018. Disponible en <https://repository.unimilitar.edu.co>.

RECIO RECIO, Jorge Abel. Técnicas de extracción de características y clasificación de imágenes orientada a objetos aplicadas a la actualización de bases de datos de ocupación del suelo. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. 2010. 310 p.

RIAÑO, Gonzalo y BLANCO, Karen Paola. Análisis multitemporal de uso y cobertura del suelo en el Municipio de Manaure–Guajira-Colombia, Implementando imágenes landsat. 2011. En: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE. p.6442



ROMERO-RUIZ, M., FLANTUA, S., TANSEY, K., & BERRIO, J. Landscape transformations in savannas of northern South America: Land use/cover changes since 1987 in the Llanos Orientales of Colombia. *Appl. Geogr.* 32. 2012. p. 766–776.

RS/GIS Quick Start Guides. Landsat Spectral Band Information. 2008. [En línea]. Consultado 12 de octubre 2018. Disponible en <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/us/>.

RUIZ, Verónica; SAVÉ, Robert; HERRERA, Alejandrina. Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993-2011. En: *Revista ecosistemas*. 2013. p. 117-123.

SAATY, Thomas L. Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 2008, vol. 1, no 1, p. 83-98.

SCARAMUZZA, Pasquale; BARSÌ, Julia. Landsat 7 scan line corrector-off gap-filled product development. En *Proceeding of Pecora*. 2005. p. 23-27.

SEIF, A.; MOKARRAM, M. Change detection of Gil Playa in the northeast of Fars Province, Iran. *Am J Sci Res*, 2012, vol. 86, p. 122-130.

SOBRINO, José. *Teledetección*. Eds. Servicio de publicaciones, Universidad de Valencia, España. 2001. 447 p.

TOMLIN, C. Dana. *Geographic information systems and cartographic modelling*. New Jersey, US: Prentice-Hall, 1990.

USGS. Descripciones proyecto Landsat. Servicio Geológico de los Estados Unidos. 2016. [En línea], Consultado el 14 de junio de 2016. Disponible en [http://landsat.usgs.gov/about/project\\_descriptions.php](http://landsat.usgs.gov/about/project_descriptions.php).

USGS. Descripciones proyecto Landsat. Servicio Geológico de los Estados Unidos. Actualización de Landsat 2017 Edición especial 4. . [En línea], Consultado el 20 de Octubre de 2019. Disponible en <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-update-2017-special-issue-4>

VAN DER HAMMEN, T. 1995. La dinámica del medio ambiente en la alta montaña colombiana: historia, cambio global y biodiversidad. En: Lozano, J.A., J.D. Pabón. (Eds.). *Memorias del Seminario Taller sobre alta montaña colombiana*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Memorias. No 3. Santafé de Bogotá, 13-15 de octubre de 1993. pp. 11-15.

VELÁZQUEZ, Alejandro; BOCCO, Gerardo; SIEBE, Christina. Cambio de uso del suelo. *ResearchGate, publication*, 2014. p. 1-5.

YAGUE, S. El páramo de Pisba en Tasco Resistencia campesina frente a la gran minería. Instituto Latinoamericano para una Sociedad y un Derecho Alternativos, Bogotá Colombia, 2014. Pag. 35.

ZORAN, M.; ANDERSON, E. The use of multi-temporal and multispectral satellite data for change detection analysis of the Romanian Black Sea coastal zone. *Journal of optoelectronics and advanced materials*, 2006, vol. 8, no 1, p. 252.

(<http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-tierra>) Recuperado el 9 de noviembre de 2018.

## 8. ANEXOS

### Anexo 1. Puntos de trabajo de campo con su respectiva georreferenciación.

Punto	coordenada_x	coordenada_y	Vereda	Punto	coordenada_x	coordenada_y	Vereda
1	5.863584°	-72.784047°	Canelas	34	5.891966°	-72.747916°	Calle_arriba
2	5.864555°	-72.786102°	Canelas	35	5.892135°	-72.747458°	Calle_arriba
3	5.869545°	-72.789471°	Canelas	36	5.892183°	-72.747330°	Calle_arriba
4	5.828915°	-72.746062°	Canelas	37	5.892261°	-72.747380°	Calle_arriba
5	5.851799°	-72.781566°	Canelas	38	5.892404°	-72.748765°	Calle_arriba
6	5.857453°	-72.781916°	Canelas	39	5.892576°	-72.748836°	Calle_arriba
7	5.860053°	-72.780964°	Canelas	40	5.892507°	-72.747053°	Calle_arriba
8	5.858854°	-72.781352°	Canelas	41	5.892337°	-72.747072°	Calle_arriba
9	5.856306°	-72.782029°	Canelas	42	5.892578°	-72.746791°	Calle_arriba
10	5.855699°	-72.782125°	Canelas	43	5.893507°	-72.745630°	Calle_arriba
11	5.854400°	-72.781800°	Canelas	44	5.893066°	-72.746593°	Calle_arriba
12	5.854245°	-72.782304°	Canelas	45	5.891987°	-72.747377°	Calle_arriba
13	5.853622°	-72.782183°	Canelas	46	5.891939°	-72.748326°	Calle_arriba
14	5.852465°	-72.781253°	Canelas	47	5.891988°	-72.748455°	Calle_arriba
15	5.853181°	-72.781924°	Canelas	48	5.892574°	-72.748361°	Calle_arriba
16	5.876823°	-72.744166°	Calle_arriba	49	5.956255°	-72.735808°	La_Chapa
17	5.876611°	-72.744888°	Calle_arriba	50	5.955416°	-72.736272°	La_Chapa
18	5.877015°	-72.742830°	Calle_arriba	51	5.955276°	-72.737419°	La_Chapa
19	5.875059°	-72.743967°	Calle_arriba	52	5.954811°	-72.736582°	La_Chapa
20	5.874811°	-72.744175°	Calle_arriba	53	5.917886°	-72.750371°	Pedregal
21	5.874720°	-72.743969°	Calle_arriba	54	5.917848°	-72.750163°	Pedregal
22	5.876297°	-72.743646°	Calle_arriba	55	5.918062°	-72.750205°	Pedregal
23	5.876212°	-72.744071°	Calle_arriba	56	5.918175°	-72.749969°	Pedregal
24	5.876229°	-72.743086°	Calle_arriba	57	5.918184°	-72.749798°	Pedregal
25	5.876433°	-72.743292°	Calle_arriba	58	5.918299°	-72.749609°	Pedregal
26	5.876097°	-72.743817°	Calle_arriba	59	5.921718°	-72.747953°	Pedregal
27	5.881429°	-72.747682°	Calle_arriba	60	5.921108°	-72.747718°	Pedregal
28	5.881599°	-72.747373°	Calle_arriba	61	5.921227°	-72.748969°	Pedregal
29	5.881881°	-72.747709°	Calle_arriba	62	5.920274°	-72.749412°	Pedregal
30	5.882004°	-72.747355°	Calle_arriba	63	5.919894°	-72.749787°	Pedregal
31	5.891658°	-72.748056°	Calle_arriba	64	5.918913°	-72.750243°	Pedregal
32	5.891501°	-72.747980°	Calle_arriba	65	5.918595°	-72.749202°	Pedregal
33	5.891476°	-72.747896°	Calle_arriba	66	5.918739°	-72.748961°	Pedregal

## Continuación Anexo 1:

Punto	coordenada_x	coordenada_y	Vereda	Punto	coordenada_x	coordenada_y	Vereda
67	5.918996°	-72.748820°	Pedregal	100	5.863421°	-72.786395°	Santa barbara
68	5.919080°	-72.748335°	Pedregal	101	5.863063°	-72.785120°	Santa barbara
69	5.919155°	-72.748119°	Pedregal	102	5.862927°	-72.784536°	Santa barbara
70	5.919388°	-72.748164°	Pedregal	103	5.862238°	-72.783985°	Santa barbara
71	5.919526°	-72.748329°	Pedregal	104	5.861686°	-72.782978°	Santa barbara
72	5.919544°	-72.748188°	Pedregal	105	5.852133°	-72.764046°	Santa barbara
73	5.917629°	-72.756826°	Pedregal	106	5.868513°	-72.741272°	Santa barbara
74	5.917699°	-72.757116°	Pedregal	107	5.868311°	-72.740780°	Santa barbara
75	5.917623°	-72.757347°	Pedregal	108	5.867919°	-72.740504°	Santa barbara
76	5.917482°	-72.757384°	Pedregal	109	5.867641°	-72.740689°	Santa barbara
77	5.918847°	-72.756621°	Pedregal	110	5.867401°	-72.740765°	Santa barbara
78	5.918597°	-72.756657°	Pedregal	111	5.869060°	-72.741871°	Santa barbara
79	5.918423°	-72.756698°	Pedregal	112	5.868827°	-72.741886°	Santa barbara
80	5.918395°	-72.756446°	Pedregal	113	5.868831°	-72.741129°	Santa barbara
81	5.918252°	-72.756570°	Pedregal	114	5.868705°	-72.740488°	Santa barbara
82	5.918318°	-72.756035°	Pedregal	115	5.866884°	-72.739932°	Santa barbara
83	5.918255°	-72.755754°	Pedregal	116	5.866712°	-72.739615°	Santa barbara
84	5.918176°	-72.756271°	Pedregal	117	5.865691°	-72.738996°	Santa barbara
85	5.917833°	-72.756476°	Pedregal	118	5.865470°	-72.738222°	Santa barbara
86	5.917710°	-72.756719°	Pedregal	119	5.864531°	-72.737777°	Santa barbara
87	5.860064°	-72.782337°	santa Barbara	120	5.864532°	-72.736608°	Santa barbara
88	5.859873°	-72.780847°	santa Barbara	121	5.864505°	-72.736374°	Santa barbara
89	5.858147°	-72.780875°	santa Barbara	122	5.864081°	-72.734385°	Santa barbara
90	5.857103°	-72.781492°	santa Barbara	123	5.864175°	-72.733662°	Santa barbara
91	5.859211°	-72.781226°	santa Barbara	124	5.863964°	-72.733470°	Santa barbara
92	5.869885°	-72.788458°	Santa barbara	125	5.863713°	-72.733166°	Santa barbara
93	5.869552°	-72.787666°	Santa barbara	126	5.863178°	-72.730264°	Santa barbara
94	5.868058°	-72.787409°	Santa barbara	127	5.863227°	-72.730127°	Santa barbara
95	5.867736°	-72.787395°	Santa barbara	128	5.863160°	-72.729635°	Santa barbara
96	5.867072°	-72.787653°	Santa barbara	129	5.863072°	-72.729265°	Santa barbara
97	5.866453°	-72.787798°	Santa barbara	130	5.869691°	-72.741109°	Santa barbara
98	5.865031°	-72.787424°	Santa barbara	131	5.870105°	-72.741255°	Santa barbara
99	5.863727°	-72.787051°	Santa barbara	132	5.870542°	-72.741483°	Santa barbara

## Continuación Anexo 1:

Punto	coordenada_x	coordenada_y	Vereda	Punto	coordenada_x	coordenada_y	Vereda
133	5.871189°	-72.741445°	Santa barbara	157	5.948769°	-72.741953°	Hormezaque
134	5.871627°	-72.741651°	Santa barbara	158	5.951583°	-72.739556°	Hormezaque
135	5.871862°	-72.741811°	Santa barbara	159	5.951559°	-72.739595°	Hormezaque
136	5.872243°	-72.741922°	Santa barbara	160	5.951558°	-72.739557°	Hormezaque
137	5.872582°	-72.742035°	Santa barbara	161	5.952718°	-72.739454°	Hormezaque
138	5.872967°	-72.742071°	Santa barbara	162	5.952721°	-72.739483°	Hormezaque
139	5.873428°	-72.742010°	Santa barbara	163	5.952564°	-72.739319°	Hormezaque
140	5.955829°	-72.738676°	Hormezaque	164	5.952494°	-72.739312°	Hormezaque
141	5.955682°	-72.738655°	Hormezaque	165	5.952457°	-72.739307°	Hormezaque
142	5.955819°	-72.738526°	Hormezaque	166	5.952816°	-72.739235°	Hormezaque
143	5.955453°	-72.738826°	Hormezaque	167	5.952302°	-72.739544°	Hormezaque
144	5.955300°	-72.738924°	Hormezaque	168	5.952119°	-72.739193°	Hormezaque
145	5.955239°	-72.738938°	Hormezaque	169	5.952753°	-72.739479°	Hormezaque
146	5.955126°	-72.738914°	Hormezaque	170	5.951040°	-72.740551°	Hormezaque
147	5.955583°	-72.738333°	Hormezaque	171	5.948855°	-72.741727°	Hormezaque
148	5.955972°	-72.738611°	Hormezaque	172	5.947485°	-72.742141°	Hormezaque
149	5.955444°	-72.738917°	Hormezaque	173	5.947339°	-72.742250°	Hormezaque
150	5.954889°	-72.738944°	Hormezaque	174	5.947238°	-72.742334°	Hormezaque
151	5.952222°	-72.739250°	Hormezaque	175	5.947131°	-72.742215°	Hormezaque
152	5.952583°	-72.739333°	Hormezaque	176	5.947465°	-72.742072°	Hormezaque
153	5.952645°	-72.739321°	Hormezaque	177	5.945913°	-72.742568°	Hormezaque
154	5.952683°	-72.739387°	Hormezaque	178	5.945659°	-72.742417°	Hormezaque
155	5.952645°	-72.739406°	Hormezaque	179	5.945555°	-72.742485°	Hormezaque
156	5.953306°	-72.739333°	Hormezaque	180	5.945726°	-72.742605°	Hormezaque

**Fuente:** La autora

## Anexo 2. Registro fotográfico



Arbustal

Coordenadas: 5°57'9.30"N 72°44'21.60"O



Áreas abiertas

Coordenadas: 5°57'20.10"N 72°44'18.00"O



Potrerros abiertos

Coordenadas: 5°56'55.57"N 72°44'31.03"O

**Continuación Anexo 2:**



Páramo  
Coordenadas: 5°55'4.39"N 72°45'1.34"O



Vegetación de Páramo  
Coordenadas: 5°55'4.25"N 72°45'0.59"O



Tierras eriales  
Coordenadas: 5°57'9.80"N 72°44'22.14"O

**Continuación Anexo 2:**



Vista de la zona

Coordenadas: 5°57'20.95"N 72°44'18.69"O



Registro de punto

Coordenadas: 5°57'22.40"N 72°44'19.70"O



**Anexo 3.** Listado de Títulos mineros en la zona de estudio “Información de CORPOBOYACA”



República de Colombia  
**Corporación Autónoma Regional de Boyacá**  
 Oficina Territorial de Socha

104- 9 8 6 8

Socha, 02 AGO 2019

Señora  
**MABEL GIOVANA PIMIENTO ORTEGA**  
 Carrera 6A # 5-16 Tunja Boyacá  
 Celular: 3115417347  
 E-mail: mabelpimi@hotmail.com

Asunto: Respuesta a oficio Radicado No. 10950 del 11 de junio de 2019

Cordial Saludo:

En atención al radicado del asunto mediante el cual solicita información sobre Títulos Mineros y Licencias Ambientales que han existido en el área del páramo de Pisba en el Municipio de Tasco, me permito informarle, que consultado el Sistema de Información Ambiental Territorial de esta corporación SIAT, se encontraron 15 expedientes asociados a un instrumento ambiental dentro del complejo de Paramo de Pisba, declarado por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH 2007), en jurisdicción del municipio de Tasco los cuales se listan a continuación:

EXPEDIENTE AMBIENTAL	TITULAR	TITULO MINERO	VEREDA	ACTIVIDAD	ESTADO ACTUAL
COLA-0073/09	SANOHA LTDA		SANTA BARBARA	EXPLORACION DE CARBON BAJO TIERRA	LICENCIA NEGADA
COLA-0031/05	EDUARDO HELI PASAOCCHOA	BKS-091	SANTA BARBARA	EXPLORACION DE CARBON BAJO TIERRA	ARCHIVO DEFINITIVO

Antigua vía a Paipa No. 53-70 PBX 7457188 - 7457192 - 7457185 - Fax 7407518 Tunja - Boyacá  
 Oficina Territorial Socha: Carrera 10 No. 3-57-piso 3- Teléfono: 7874009  
 Línea Natural - atención al usuario No. 018000-918027  
 e-mail: corpoboyaca@corpoboyaca.gov.co  
[www.corpoboyaca.gov.co](http://www.corpoboyaca.gov.co)

### Continuación Anexo 3:



República de Colombia  
**Corporación Autónoma Regional de Boyacá**  
 Oficina Territorial de Socha

COLA-0067/03	MURILLO DIOGENES CARDENAS VERDUGO	CB1-111	CALLE ARRIBA	EXPLORACION DE CARBON BAJO TIERRA	EN ESPERA DE CUMPLIMIENTO DE REQUERIMIENTOS
COLA-0011/05	EVARISTO MENDIVELSO GARCIA	JDU-14241	CALLE ARRIBA	EXPLORACION DE CARBON BAJO TIERRA	CON PROCESO SANCIONATORIO
COLA-0010/06	OLGA ESTUPIÑAN ESTUPIÑAN Y ALIRIO LARA JOYA	DIK-161	SANTA BARBARA	EXPLORACION DE CARBON BAJO TIERRA	LICENCIA NEGADA
COLA-0020/10	SANOHA LTDA	FFU-152	SANTA BARBARA	EXPLORACION DE CARBON BAJO TIERRA	LICENCIA NEGADA
COLA-0010/11	MARIA MESA Y ARMANDO ESLAVA	EGT-112	SANTA BARBARA	EXPLORACION DE CARBON BAJO TIERRA	LICENCIA NEGADA
COLA-0091/09	JOSE MANUEL CELY RODRIGUEZ	HI6-08001	CALLE ARRIBA	EXPLORACION DE CARBON BAJO TIERRA	EN ESPERA DE CUMPLIMIENTO DE REQUERIMIENTOS
COLA-0092/09	C.I HUNZA COAL LTDA	HDH-151	SANTA BARBARA	EXPLORACION DE CARBON BAJO TIERRA	EN ESPERA DE CUMPLIMIENTO DE REQUERIMIENTOS
COLA-0029/05	MARIA ELISA GOMEZ	BKS-081	CALLE ARRIBA	EXPLORACION DE CARBON BAJO TIERRA	EN ESPERA DE CUMPLIMIENTO DE REQUERIMIENTOS
COLA-0017/05	JOSE MANUEL MARQUEZ ACERO	DEN-142	CALLE ARRIBA	EXPLORACION DE CARBON BAJO TIERRA	CON PROCESO SANCIONATORIOY MEDIDA PREVENTIVA
COLA-0010/05	OLGA ESTUPIÑAN Y ALIRIO LARA JOYA	EKB-101	SANTA BARBARA	EXPLORACION DE CARBON BAJO TIERRA	CON SANCION DE CIERRE TEMPORAL
PERM-0009/05	ZENON VEGA PASACHOA	050-93	CALLE ARRIBA	EXPLORACION DE CARBON BAJO TIERRA	SE REVOCO INSTRUMENTO AMBIENTAL
COLA-0028/96	MINEROS DE CANELAS	01-080-96	CANELAS	EXPLORACION DE CARBON	SUSPENDIDOS CON PROCESO

Antigua vía a Paipa No. 53-70 PBX 7457188 - 7457192 - 7457186 - Fax 7407518 Tunja - Boyacá  
 Oficina Territorial Socha: Carrera 10 No. 3-57-piso 3- Teléfono: 7874009  
 Línea Natural - atención al usuario No. 018000-918027  
 e-mail: corpoboyaca@corpoboyaca.gov.co  
[www.corpoboyaca.gov.co](http://www.corpoboyaca.gov.co)

**Continuación Anexo 3:**



República de Colombia  
**Corporación Autónoma Regional de Boyacá**  
 Oficina Territorial de Socha

OOLA-0331/98	JOSE ANTONIO RIOS SILVA	1845T	CANELAS	BAJO TIERRA EXPLORACION DE CARBON BAJO TIERRA	SANCIONATORIO CON PROCESO SANCIONATORIO Y MEDIDA PREVENTIVA
--------------	-------------------------	-------	---------	---	--

Si requiere más información en cuanto a títulos mineros su petición la debe remitir a la Agencia Nacional de Minería como entidad competente en la administración de los Recursos Naturales no Renovables.

Sin otro particular,



**RAUL ANTONIO TORRES TORRES**  
 Jefe Oficina Territorial Socha

Elaboró: Diana Maribel Barral Barral  
 Revisó: Raul Antonio Torres Torres  
 Archivo: 104-2302

## Anexo 4: Metada de cada una de las imágenes

### IMAGEN AÑO 1990

```
GROUP = L1_METADATA_FILE
  GROUP = METADATA_FILE_INFO
    ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
    REQUEST_ID = "0501701311462_17752"
    LANDSAT_SCENE_ID = "LT50070561990008CPE03"
    LANDSAT_PRODUCT_ID =
"LT05_L1TP_007056_19900108_20170201_01_T1"
    COLLECTION_NUMBER = 01
    FILE_DATE = 2017-02-01T00:40:45Z
    STATION_ID = "CPE"
    PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_12.8.3"
    DATA_CATEGORY = "NOMINAL"
  END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
  GROUP = PRODUCT_METADATA
    DATA_TYPE = "L1TP"
    DATA_TYPE_LORP = "TMR_LORP"
    COLLECTION_CATEGORY = "T1"
    ELEVATION_SOURCE = "GLS2000"
    OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
    EPHEMERIS_TYPE = "DEFINITIVE"
    SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_5"
    SENSOR_ID = "TM"
    SENSOR_MODE = "SAM"
    WRS_PATH = 007
    WRS_ROW = 056
    DATE_ACQUIRED = 1990-01-08
    SCENE_CENTER_TIME = "14:28:49.0190250Z"
    CORNER_UL_LAT_PRODUCT = 6.73187
    CORNER_UL_LON_PRODUCT = -73.69619
    CORNER_UR_LAT_PRODUCT = 6.72176
    CORNER_UR_LON_PRODUCT = -71.59700
    CORNER_LL_LAT_PRODUCT = 4.85704
    CORNER_LL_LON_PRODUCT = -73.70048
    CORNER_LR_LAT_PRODUCT = 4.84976
    CORNER_LR_LON_PRODUCT = -71.60819
    CORNER_UL_PROJECTION_X_PRODUCT = 644100.000
    CORNER_UL_PROJECTION_Y_PRODUCT = 744300.000
    CORNER_UR_PROJECTION_X_PRODUCT = 876300.000
    CORNER_UR_PROJECTION_Y_PRODUCT = 744300.000
    CORNER_LL_PROJECTION_X_PRODUCT = 644100.000
    CORNER_LL_PROJECTION_Y_PRODUCT = 537000.000
    CORNER_LR_PROJECTION_X_PRODUCT = 876300.000
    CORNER_LR_PROJECTION_Y_PRODUCT = 537000.000
    REFLECTIVE_LINES = 6911
```

```

REFLECTIVE_SAMPLES = 7741
THERMAL_LINES = 6911
THERMAL_SAMPLES = 7741
FILE_NAME_BAND_1 =
"LT05_L1TP_007056_19900108_20170201_01_T1_B1.TIF"
FILE_NAME_BAND_2 =
"LT05_L1TP_007056_19900108_20170201_01_T1_B2.TIF"
FILE_NAME_BAND_3 =
"LT05_L1TP_007056_19900108_20170201_01_T1_B3.TIF"
FILE_NAME_BAND_4 =
"LT05_L1TP_007056_19900108_20170201_01_T1_B4.TIF"
FILE_NAME_BAND_5 =
"LT05_L1TP_007056_19900108_20170201_01_T1_B5.TIF"
FILE_NAME_BAND_6 =
"LT05_L1TP_007056_19900108_20170201_01_T1_B6.TIF"
FILE_NAME_BAND_7 =
"LT05_L1TP_007056_19900108_20170201_01_T1_B7.TIF"
FILE_NAME_BAND_QUALITY =
"LT05_L1TP_007056_19900108_20170201_01_T1_BQA.TIF"
GROUND_CONTROL_POINT_FILE_NAME =
"LT05_L1TP_007056_19900108_20170201_01_T1_GCP.txt"
ANGLE_COEFFICIENT_FILE_NAME =
"LT05_L1TP_007056_19900108_20170201_01_T1_ANG.txt"
REPORT_VERIFY_FILE_NAME =
"LT05_L1TP_007056_19900108_20170201_01_T1_VER.txt"
BROWSE_VERIFY_FILE_NAME =
"LT05_L1TP_007056_19900108_20170201_01_T1_VER.jpg"
METADATA_FILE_NAME =
"LT05_L1TP_007056_19900108_20170201_01_T1_MTL.txt"
CPF_NAME = "LT05CPF_19900101_19900331_01.03"
END_GROUP = PRODUCT_METADATA
GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
CLOUD_COVER = 54.00
CLOUD_COVER_LAND = 54.00
IMAGE_QUALITY = 9
SUN_AZIMUTH = 128.88824687
SUN_ELEVATION = 44.11283393
EARTH_SUN_DISTANCE = 0.9833551
SATURATION_BAND_1 = "Y"
SATURATION_BAND_2 = "Y"
SATURATION_BAND_3 = "Y"
SATURATION_BAND_4 = "Y"
SATURATION_BAND_5 = "Y"
SATURATION_BAND_6 = "N"
SATURATION_BAND_7 = "Y"
GROUND_CONTROL_POINTS_VERSION = 4
GROUND_CONTROL_POINTS_MODEL = 46
GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 5.760
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 4.559

```

```

GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 3.520
GROUND_CONTROL_POINTS_VERIFY = 790
GEOMETRIC_RMSE_VERIFY = 0.180
GEOMETRIC_RMSE_VERIFY_QUAD_UL = 0.269
GEOMETRIC_RMSE_VERIFY_QUAD_UR = 0.213
GEOMETRIC_RMSE_VERIFY_QUAD_LL = 0.161
GEOMETRIC_RMSE_VERIFY_QUAD_LR = 0.182
END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 169.000
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -1.520
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 333.000
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -2.840
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 264.000
RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -1.170
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 221.000
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -1.510
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 30.200
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -0.370
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 15.303
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6 = 1.238
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 16.500
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -0.150
END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 0.264096
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_1 = -0.002375
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 0.575107
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_2 = -0.004905
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 0.538255
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_3 = -0.002385
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 0.649924
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_4 = -0.004441
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 0.437710
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_5 = -0.005363
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 0.609497
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_7 = -0.005541
END_GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_1 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_1 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_2 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_2 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_3 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_3 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_4 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_4 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_5 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_5 = 1

```

```

QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_7 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_7 = 1
END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
CORRECTION_GAIN_BAND_1 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_2 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_3 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_4 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_5 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_6 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_GAIN_BAND_7 = "CPF"
CORRECTION_BIAS_BAND_1 = "CPF"
CORRECTION_BIAS_BAND_2 = "CPF"
CORRECTION_BIAS_BAND_3 = "CPF"
CORRECTION_BIAS_BAND_4 = "CPF"
CORRECTION_BIAS_BAND_5 = "CPF"
CORRECTION_BIAS_BAND_6 = "CPF"
CORRECTION_BIAS_BAND_7 = "CPF"
END_GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
RADIANCE_MULT_BAND_1 = 6.7134E-01
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.3222E+00
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.0440E+00
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 8.7602E-01
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 1.2035E-01
RADIANCE_MULT_BAND_6 = 5.5375E-02
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 6.5551E-02
RADIANCE_ADD_BAND_1 = -2.19134
RADIANCE_ADD_BAND_2 = -4.16220
RADIANCE_ADD_BAND_3 = -2.21398
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -2.38602
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -0.49035
RADIANCE_ADD_BAND_6 = 1.18243
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -0.21555
REFLECTANCE_MULT_BAND_1 = 1.0491E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_2 = 2.2835E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_3 = 2.1285E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.5762E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 1.7444E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_7 = 2.4214E-03
REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.003424
REFLECTANCE_ADD_BAND_2 = -0.007188
REFLECTANCE_ADD_BAND_3 = -0.004514
REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.007017
REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.007107
REFLECTANCE_ADD_BAND_7 = -0.007962
END_GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING

```

```

GROUP = THERMAL_CONSTANTS
  K1_CONSTANT_BAND_6 = 607.76
  K2_CONSTANT_BAND_6 = 1260.56
END_GROUP = THERMAL_CONSTANTS
GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
  MAP_PROJECTION = "UTM"
  DATUM = "WGS84"
  ELLIPSOID = "WGS84"
  UTM_ZONE = 18
  GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00
  GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00
  ORIENTATION = "NORTH_UP"
  RESAMPLING_OPTION = "CUBIC_CONVOLUTION"
  MAP_PROJECTION_L0RA = "NA"
END_GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
END_GROUP = L1_METADATA_FILE
END

```

## **IMAGEN AÑO 2000**

```

GROUP = L1_METADATA_FILE
  GROUP = METADATA_FILE_INFO
    ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
    REQUEST_ID = "0501702072448_09943"
    LANDSAT_SCENE_ID = "LE70070562000348EDC00"
    LANDSAT_PRODUCT_ID =
"LE07_L1TP_007056_20001213_20170208_01_T1"
    COLLECTION_NUMBER = 01
    FILE_DATE = 2017-02-08T20:03:50Z
    STATION_ID = "EDC"
    PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_12.8.3"
    DATA_CATEGORY = "NOMINAL"
  END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
  GROUP = PRODUCT_METADATA
    DATA_TYPE = "L1TP"
    COLLECTION_CATEGORY = "T1"
    ELEVATION_SOURCE = "GLS2000"
    OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
    EPHEMERIS_TYPE = "DEFINITIVE"
    SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_7"
    SENSOR_ID = "ETM"
    SENSOR_MODE = "SAM"
    WRS_PATH = 007
    WRS_ROW = 056
    DATE_ACQUIRED = 2000-12-13
    SCENE_CENTER_TIME = "14:56:33.8368932Z"
    CORNER_UL_LAT_PRODUCT = 6.73456
    CORNER_UL_LON_PRODUCT = -73.68804

```



CORNER\_UR\_LAT\_PRODUCT = 6.72434  
CORNER\_UR\_LON\_PRODUCT = -71.57801  
CORNER\_LL\_LAT\_PRODUCT = 4.84888  
CORNER\_LL\_LON\_PRODUCT = -73.69239  
CORNER\_LR\_LAT\_PRODUCT = 4.84154  
CORNER\_LR\_LON\_PRODUCT = -71.58932  
CORNER\_UL\_PROJECTION\_X\_PRODUCT = 645000.000  
CORNER\_UL\_PROJECTION\_Y\_PRODUCT = 744600.000  
CORNER\_UR\_PROJECTION\_X\_PRODUCT = 878400.000  
CORNER\_UR\_PROJECTION\_Y\_PRODUCT = 744600.000  
CORNER\_LL\_PROJECTION\_X\_PRODUCT = 645000.000  
CORNER\_LL\_PROJECTION\_Y\_PRODUCT = 536100.000  
CORNER\_LR\_PROJECTION\_X\_PRODUCT = 878400.000  
CORNER\_LR\_PROJECTION\_Y\_PRODUCT = 536100.000  
PANCHROMATIC\_LINES = 13901  
PANCHROMATIC\_SAMPLES = 15561  
REFLECTIVE\_LINES = 6951  
REFLECTIVE\_SAMPLES = 7781  
THERMAL\_LINES = 6951  
THERMAL\_SAMPLES = 7781  
FILE\_NAME\_BAND\_1 =  
"LE07\_L1TP\_007056\_20001213\_20170208\_01\_T1\_B1.TIF"  
FILE\_NAME\_BAND\_2 =  
"LE07\_L1TP\_007056\_20001213\_20170208\_01\_T1\_B2.TIF"  
FILE\_NAME\_BAND\_3 =  
"LE07\_L1TP\_007056\_20001213\_20170208\_01\_T1\_B3.TIF"  
FILE\_NAME\_BAND\_4 =  
"LE07\_L1TP\_007056\_20001213\_20170208\_01\_T1\_B4.TIF"  
FILE\_NAME\_BAND\_5 =  
"LE07\_L1TP\_007056\_20001213\_20170208\_01\_T1\_B5.TIF"  
FILE\_NAME\_BAND\_6\_VCID\_1 =  
"LE07\_L1TP\_007056\_20001213\_20170208\_01\_T1\_B6\_VCID\_1.TIF"  
FILE\_NAME\_BAND\_6\_VCID\_2 =  
"LE07\_L1TP\_007056\_20001213\_20170208\_01\_T1\_B6\_VCID\_2.TIF"  
FILE\_NAME\_BAND\_7 =  
"LE07\_L1TP\_007056\_20001213\_20170208\_01\_T1\_B7.TIF"  
FILE\_NAME\_BAND\_8 =  
"LE07\_L1TP\_007056\_20001213\_20170208\_01\_T1\_B8.TIF"  
FILE\_NAME\_BAND\_QUALITY =  
"LE07\_L1TP\_007056\_20001213\_20170208\_01\_T1\_BQA.TIF"  
GROUND\_CONTROL\_POINT\_FILE\_NAME =  
"LE07\_L1TP\_007056\_20001213\_20170208\_01\_T1\_GCP.txt"  
ANGLE\_COEFFICIENT\_FILE\_NAME =  
"LE07\_L1TP\_007056\_20001213\_20170208\_01\_T1\_ANG.txt"  
METADATA\_FILE\_NAME =  
"LE07\_L1TP\_007056\_20001213\_20170208\_01\_T1\_MTL.txt"  
CPF\_NAME = "LE07CPF\_20001001\_20001231\_01.02"  
END\_GROUP = PRODUCT\_METADATA  
GROUP = IMAGE\_ATTRIBUTES

```

CLOUD_COVER = 1.00
CLOUD_COVER_LAND = 1.00
IMAGE_QUALITY = 9
SUN_AZIMUTH = 138.54822032
SUN_ELEVATION = 50.74485271
EARTH_SUN_DISTANCE = 0.9843729
SATURATION_BAND_1 = "Y"
SATURATION_BAND_2 = "Y"
SATURATION_BAND_3 = "Y"
SATURATION_BAND_4 = "Y"
SATURATION_BAND_5 = "Y"
SATURATION_BAND_6_VCID_1 = "N"
SATURATION_BAND_6_VCID_2 = "Y"
SATURATION_BAND_7 = "Y"
SATURATION_BAND_8 = "N"
GROUND_CONTROL_POINTS_VERSION = 4
GROUND_CONTROL_POINTS_MODEL = 197
GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 3.653
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 3.373
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 1.403
END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 191.600
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -6.200
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 196.500
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -6.400
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 152.900
RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -5.000
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 241.100
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -5.100
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 31.060
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -1.000
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6_VCID_1 = 17.040
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6_VCID_1 = 0.000
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6_VCID_2 = 12.650
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6_VCID_2 = 3.200
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 10.800
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -0.350
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 243.100
RADIANCE_MINIMUM_BAND_8 = -4.700
END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 0.286475
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_1 = -0.009270
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 0.322295
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_2 = -0.010497
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 0.305216
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_3 = -0.009981
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 0.685294

```

```

REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_4 = -0.014496
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 0.426679
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_5 = -0.013737
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 0.404094
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_7 = -0.013096
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 0.561060
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_8 = -0.010847
END_GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_1 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_1 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_2 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_2 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_3 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_3 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_4 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_4 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_5 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_5 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6_VCID_1 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6_VCID_1 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6_VCID_2 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6_VCID_2 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_7 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_7 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_8 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_8 = 1
END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
CORRECTION_GAIN_BAND_1 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_2 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_3 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_4 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_5 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_6_VCID_1 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_6_VCID_2 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_7 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_8 = "CPF"
CORRECTION_BIAS_BAND_1 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_BIAS_BAND_2 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_BIAS_BAND_3 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_BIAS_BAND_4 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_BIAS_BAND_5 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_BIAS_BAND_6_VCID_1 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_BIAS_BAND_6_VCID_2 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_BIAS_BAND_7 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_BIAS_BAND_8 = "INTERNAL_CALIBRATION"
GAIN_BAND_1 = "H"
GAIN_BAND_2 = "H"

```

```

GAIN_BAND_3 = "H"
GAIN_BAND_4 = "L"
GAIN_BAND_5 = "H"
GAIN_BAND_6_VCID_1 = "L"
GAIN_BAND_6_VCID_2 = "H"
GAIN_BAND_7 = "H"
GAIN_BAND_8 = "L"
GAIN_CHANGE_BAND_1 = "HH"
GAIN_CHANGE_BAND_2 = "HH"
GAIN_CHANGE_BAND_3 = "HH"
GAIN_CHANGE_BAND_4 = "LL"
GAIN_CHANGE_BAND_5 = "HH"
GAIN_CHANGE_BAND_6_VCID_1 = "LL"
GAIN_CHANGE_BAND_6_VCID_2 = "HH"
GAIN_CHANGE_BAND_7 = "HH"
GAIN_CHANGE_BAND_8 = "LL"
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_1 = 0
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_2 = 0
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_3 = 0
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_4 = 0
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_5 = 0
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_6_VCID_1 = 0
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_6_VCID_2 = 0
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_7 = 0
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_8 = 0
END_GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
RADIANCE_MULT_BAND_1 = 7.7874E-01
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 7.9882E-01
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 6.2165E-01
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 9.6929E-01
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 1.2622E-01
RADIANCE_MULT_BAND_6_VCID_1 = 6.7087E-02
RADIANCE_MULT_BAND_6_VCID_2 = 3.7205E-02
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 4.3898E-02
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 9.7559E-01
RADIANCE_ADD_BAND_1 = -6.97874
RADIANCE_ADD_BAND_2 = -7.19882
RADIANCE_ADD_BAND_3 = -5.62165
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -6.06929
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -1.12622
RADIANCE_ADD_BAND_6_VCID_1 = -0.06709
RADIANCE_ADD_BAND_6_VCID_2 = 3.16280
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -0.39390
RADIANCE_ADD_BAND_8 = -5.67559
REFLECTANCE_MULT_BAND_1 = 1.1644E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_2 = 1.3102E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_3 = 1.2409E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.7551E-03

```

```

REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 1.7339E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_7 = 1.6425E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_8 = 2.2516E-03
REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.010434
REFLECTANCE_ADD_BAND_2 = -0.011807
REFLECTANCE_ADD_BAND_3 = -0.011222
REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.017251
REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.015471
REFLECTANCE_ADD_BAND_7 = -0.014738
REFLECTANCE_ADD_BAND_8 = -0.013099
END_GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
GROUP = THERMAL_CONSTANTS
  K1_CONSTANT_BAND_6_VCID_1 = 666.09
  K2_CONSTANT_BAND_6_VCID_1 = 1282.71
  K1_CONSTANT_BAND_6_VCID_2 = 666.09
  K2_CONSTANT_BAND_6_VCID_2 = 1282.71
END_GROUP = THERMAL_CONSTANTS
GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
  MAP_PROJECTION = "UTM"
  DATUM = "WGS84"
  ELLIPSOID = "WGS84"
  UTM_ZONE = 18
  GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00
  GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00
  GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00
  ORIENTATION = "NORTH_UP"
  RESAMPLING_OPTION = "CUBIC_CONVOLUTION"
END_GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
END_GROUP = L1_METADATA_FILE
END

```

## **IMAGEN AÑO 2008**

```

GROUP = L1_METADATA_FILE
  GROUP = METADATA_FILE_INFO
    ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
    REQUEST_ID = "0501612307053_11413"
    LANDSAT_SCENE_ID = "LE70070562008002EDC00"
    LANDSAT_PRODUCT_ID =
"LE07_L1TP_007056_20080102_20161231_01_T1"
    COLLECTION_NUMBER = 01
    FILE_DATE = 2016-12-31T02:09:27Z
    STATION_ID = "EDC"
    PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_12.8.2"
    DATA_CATEGORY = "NOMINAL"
  END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
  GROUP = PRODUCT_METADATA
    DATA_TYPE = "L1TP"

```

COLLECTION\_CATEGORY = "T1"  
 ELEVATION\_SOURCE = "GLS2000"  
 OUTPUT\_FORMAT = "GEOTIFF"  
 EPHEMERIS\_TYPE = "DEFINITIVE"  
 SPACECRAFT\_ID = "LANDSAT\_7"  
 SENSOR\_ID = "ETM"  
 SENSOR\_MODE = "BUMPER"  
 WRS\_PATH = 007  
 WRS\_ROW = 056  
 DATE\_ACQUIRED = 2008-01-02  
 SCENE\_CENTER\_TIME = "14:56:31.1602388Z"  
 CORNER\_UL\_LAT\_PRODUCT = 6.72932  
 CORNER\_UL\_LON\_PRODUCT = -73.75862  
 CORNER\_UR\_LAT\_PRODUCT = 6.71913  
 CORNER\_UR\_LON\_PRODUCT = -71.60786  
 CORNER\_LL\_LAT\_PRODUCT = 4.85444  
 CORNER\_LL\_LON\_PRODUCT = -73.76270  
 CORNER\_LR\_LAT\_PRODUCT = 4.84711  
 CORNER\_LR\_LON\_PRODUCT = -71.61900  
 CORNER\_UL\_PROJECTION\_X\_PRODUCT = 637200.000  
 CORNER\_UL\_PROJECTION\_Y\_PRODUCT = 744000.000  
 CORNER\_UR\_PROJECTION\_X\_PRODUCT = 875100.000  
 CORNER\_UR\_PROJECTION\_Y\_PRODUCT = 744000.000  
 CORNER\_LL\_PROJECTION\_X\_PRODUCT = 637200.000  
 CORNER\_LL\_PROJECTION\_Y\_PRODUCT = 536700.000  
 CORNER\_LR\_PROJECTION\_X\_PRODUCT = 875100.000  
 CORNER\_LR\_PROJECTION\_Y\_PRODUCT = 536700.000  
 PANCHROMATIC\_LINES = 13821  
 PANCHROMATIC\_SAMPLES = 15861  
 REFLECTIVE\_LINES = 6911  
 REFLECTIVE\_SAMPLES = 7931  
 THERMAL\_LINES = 6911  
 THERMAL\_SAMPLES = 7931  
 FILE\_NAME\_BAND\_1 =  
 "LE07\_L1TP\_007056\_20080102\_20161231\_01\_T1\_B1.TIF"  
 FILE\_NAME\_BAND\_2 =  
 "LE07\_L1TP\_007056\_20080102\_20161231\_01\_T1\_B2.TIF"  
 FILE\_NAME\_BAND\_3 =  
 "LE07\_L1TP\_007056\_20080102\_20161231\_01\_T1\_B3.TIF"  
 FILE\_NAME\_BAND\_4 =  
 "LE07\_L1TP\_007056\_20080102\_20161231\_01\_T1\_B4.TIF"  
 FILE\_NAME\_BAND\_5 =  
 "LE07\_L1TP\_007056\_20080102\_20161231\_01\_T1\_B5.TIF"  
 FILE\_NAME\_BAND\_6\_VCID\_1 =  
 "LE07\_L1TP\_007056\_20080102\_20161231\_01\_T1\_B6\_VCID\_1.TIF"  
 FILE\_NAME\_BAND\_6\_VCID\_2 =  
 "LE07\_L1TP\_007056\_20080102\_20161231\_01\_T1\_B6\_VCID\_2.TIF"  
 FILE\_NAME\_BAND\_7 =  
 "LE07\_L1TP\_007056\_20080102\_20161231\_01\_T1\_B7.TIF"

```

FILE_NAME_BAND_8 =
"LE07_L1TP_007056_20080102_20161231_01_T1_B8.TIF"
FILE_NAME_BAND_QUALITY =
"LE07_L1TP_007056_20080102_20161231_01_T1_BQA.TIF"
GROUND_CONTROL_POINT_FILE_NAME =
"LE07_L1TP_007056_20080102_20161231_01_T1_GCP.txt"
ANGLE_COEFFICIENT_FILE_NAME =
"LE07_L1TP_007056_20080102_20161231_01_T1_ANG.txt"
METADATA_FILE_NAME =
"LE07_L1TP_007056_20080102_20161231_01_T1_MTL.txt"
CPF_NAME = "LE07CPF_20080101_20080229_01.02"
END_GROUP = PRODUCT_METADATA
GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
CLOUD_COVER = 10.00
CLOUD_COVER_LAND = 10.00
IMAGE_QUALITY = 9
SUN_AZIMUTH = 135.83087465
SUN_ELEVATION = 49.21930588
EARTH_SUN_DISTANCE = 0.9833002
SATURATION_BAND_1 = "Y"
SATURATION_BAND_2 = "Y"
SATURATION_BAND_3 = "Y"
SATURATION_BAND_4 = "Y"
SATURATION_BAND_5 = "Y"
SATURATION_BAND_6_VCID_1 = "N"
SATURATION_BAND_6_VCID_2 = "N"
SATURATION_BAND_7 = "Y"
SATURATION_BAND_8 = "N"
GROUND_CONTROL_POINTS_VERSION = 4
GROUND_CONTROL_POINTS_MODEL = 132
GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 4.650
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 3.733
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 2.773
END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 191.600
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -6.200
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 196.500
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -6.400
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 152.900
RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -5.000
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 241.100
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -5.100
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 31.060
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -1.000
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6_VCID_1 = 17.040
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6_VCID_1 = 0.000
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6_VCID_2 = 12.650
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6_VCID_2 = 3.200

```

```

RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 10.800
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -0.350
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 243.100
RADIANCE_MINIMUM_BAND_8 = -4.700
END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
  REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 0.285851
  REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_1 = -0.009250
  REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 0.321593
  REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_2 = -0.010474
  REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 0.304551
  REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_3 = -0.009959
  REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 0.683801
  REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_4 = -0.014464
  REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 0.425749
  REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_5 = -0.013707
  REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 0.403213
  REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_7 = -0.013067
  REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 0.559838
  REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_8 = -0.010824
END_GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
  QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_1 = 255
  QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_1 = 1
  QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_2 = 255
  QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_2 = 1
  QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_3 = 255
  QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_3 = 1
  QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_4 = 255
  QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_4 = 1
  QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_5 = 255
  QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_5 = 1
  QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6_VCID_1 = 255
  QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6_VCID_1 = 1
  QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6_VCID_2 = 255
  QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6_VCID_2 = 1
  QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_7 = 255
  QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_7 = 1
  QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_8 = 255
  QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_8 = 1
END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
  CORRECTION_GAIN_BAND_1 = "CPF"
  CORRECTION_GAIN_BAND_2 = "CPF"
  CORRECTION_GAIN_BAND_3 = "CPF"
  CORRECTION_GAIN_BAND_4 = "CPF"
  CORRECTION_GAIN_BAND_5 = "CPF"
  CORRECTION_GAIN_BAND_6_VCID_1 = "CPF"
  CORRECTION_GAIN_BAND_6_VCID_2 = "CPF"

```



```

CORRECTION_GAIN_BAND_7 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_8 = "CPF"
CORRECTION_BIAS_BAND_1 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_BIAS_BAND_2 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_BIAS_BAND_3 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_BIAS_BAND_4 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_BIAS_BAND_5 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_BIAS_BAND_6_VCID_1 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_BIAS_BAND_6_VCID_2 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_BIAS_BAND_7 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_BIAS_BAND_8 = "INTERNAL_CALIBRATION"
GAIN_BAND_1 = "H"
GAIN_BAND_2 = "H"
GAIN_BAND_3 = "H"
GAIN_BAND_4 = "L"
GAIN_BAND_5 = "H"
GAIN_BAND_6_VCID_1 = "L"
GAIN_BAND_6_VCID_2 = "H"
GAIN_BAND_7 = "H"
GAIN_BAND_8 = "L"
GAIN_CHANGE_BAND_1 = "HH"
GAIN_CHANGE_BAND_2 = "HH"
GAIN_CHANGE_BAND_3 = "HH"
GAIN_CHANGE_BAND_4 = "LL"
GAIN_CHANGE_BAND_5 = "HH"
GAIN_CHANGE_BAND_6_VCID_1 = "LL"
GAIN_CHANGE_BAND_6_VCID_2 = "HH"
GAIN_CHANGE_BAND_7 = "HH"
GAIN_CHANGE_BAND_8 = "LL"
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_1 = 0
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_2 = 0
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_3 = 0
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_4 = 0
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_5 = 0
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_6_VCID_1 = 0
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_6_VCID_2 = 0
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_7 = 0
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_8 = 0
END_GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
RADIANCE_MULT_BAND_1 = 7.7874E-01
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 7.9882E-01
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 6.2165E-01
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 9.6929E-01
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 1.2622E-01
RADIANCE_MULT_BAND_6_VCID_1 = 6.7087E-02
RADIANCE_MULT_BAND_6_VCID_2 = 3.7205E-02
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 4.3898E-02
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 9.7559E-01

```

```

RADIANCE_ADD_BAND_1 = -6.97874
RADIANCE_ADD_BAND_2 = -7.19882
RADIANCE_ADD_BAND_3 = -5.62165
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -6.06929
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -1.12622
RADIANCE_ADD_BAND_6_VCID_1 = -0.06709
RADIANCE_ADD_BAND_6_VCID_2 = 3.16280
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -0.39390
RADIANCE_ADD_BAND_8 = -5.67559
REFLECTANCE_MULT_BAND_1 = 1.1618E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_2 = 1.3074E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_3 = 1.2382E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.7491E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 1.7301E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_7 = 1.6389E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_8 = 2.2467E-03
REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.010412
REFLECTANCE_ADD_BAND_2 = -0.011782
REFLECTANCE_ADD_BAND_3 = -0.011197
REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.017214
REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.015437
REFLECTANCE_ADD_BAND_7 = -0.014706
REFLECTANCE_ADD_BAND_8 = -0.013070
END_GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
GROUP = THERMAL_CONSTANTS
  K1_CONSTANT_BAND_6_VCID_1 = 666.09
  K2_CONSTANT_BAND_6_VCID_1 = 1282.71
  K1_CONSTANT_BAND_6_VCID_2 = 666.09
  K2_CONSTANT_BAND_6_VCID_2 = 1282.71
END_GROUP = THERMAL_CONSTANTS
GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
  MAP_PROJECTION = "UTM"
  DATUM = "WGS84"
  ELLIPSOID = "WGS84"
  UTM_ZONE = 18
  GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00
  GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00
  GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00
  ORIENTATION = "NORTH_UP"
  RESAMPLING_OPTION = "CUBIC_CONVOLUTION"
  SCAN_GAP_INTERPOLATION = 2.0
END_GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
END_GROUP = L1_METADATA_FILE
END

```

## IMAGEN AÑO 2015

```
GROUP = L1_METADATA_FILE
GROUP = METADATA_FILE_INFO
  ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
  REQUEST_ID = "0501610298277_18095"
  LANDSAT_SCENE_ID = "LE70070562015005EDC00"
  LANDSAT_PRODUCT_ID =
"LE07_L1TP_007056_20150105_20161030_01_T1"
  COLLECTION_NUMBER = 01
  FILE_DATE = 2016-10-30T04:24:30Z
  STATION_ID = "EDC"
  PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_12.8.2"
  DATA_CATEGORY = "NOMINAL"
END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
GROUP = PRODUCT_METADATA
  DATA_TYPE = "L1TP"
  COLLECTION_CATEGORY = "T1"
  ELEVATION_SOURCE = "GLS2000"
  OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
  EPHEMERIS_TYPE = "DEFINITIVE"
  SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_7"
  SENSOR_ID = "ETM"
  SENSOR_MODE = "BUMPER"
  WRS_PATH = 007
  WRS_ROW = 056
  DATE_ACQUIRED = 2015-01-05
  SCENE_CENTER_TIME = "15:04:43.0069708Z"
  CORNER_UL_LAT_PRODUCT = 6.73188
  CORNER_UL_LON_PRODUCT = -73.70162
  CORNER_UR_LAT_PRODUCT = 6.72131
  CORNER_UR_LON_PRODUCT = -71.53197
  CORNER_LL_LAT_PRODUCT = 4.85434
  CORNER_LL_LON_PRODUCT = -73.70590
  CORNER_LR_LAT_PRODUCT = 4.84673
  CORNER_LR_LON_PRODUCT = -71.54338
  CORNER_UL_PROJECTION_X_PRODUCT = 643500.000
  CORNER_UL_PROJECTION_Y_PRODUCT = 744300.000
  CORNER_UR_PROJECTION_X_PRODUCT = 883500.000
  CORNER_UR_PROJECTION_Y_PRODUCT = 744300.000
  CORNER_LL_PROJECTION_X_PRODUCT = 643500.000
  CORNER_LL_PROJECTION_Y_PRODUCT = 536700.000
  CORNER_LR_PROJECTION_X_PRODUCT = 883500.000
  CORNER_LR_PROJECTION_Y_PRODUCT = 536700.000
  PANCHROMATIC_LINES = 13841
  PANCHROMATIC_SAMPLES = 16001
  REFLECTIVE_LINES = 6921
  REFLECTIVE_SAMPLES = 8001
```

```

THERMAL_LINES = 6921
THERMAL_SAMPLES = 8001
FILE_NAME_BAND_1 =
"LE07_L1TP_007056_20150105_20161030_01_T1_B1.TIF"
FILE_NAME_BAND_2 =
"LE07_L1TP_007056_20150105_20161030_01_T1_B2.TIF"
FILE_NAME_BAND_3 =
"LE07_L1TP_007056_20150105_20161030_01_T1_B3.TIF"
FILE_NAME_BAND_4 =
"LE07_L1TP_007056_20150105_20161030_01_T1_B4.TIF"
FILE_NAME_BAND_5 =
"LE07_L1TP_007056_20150105_20161030_01_T1_B5.TIF"
FILE_NAME_BAND_6_VCID_1 =
"LE07_L1TP_007056_20150105_20161030_01_T1_B6_VCID_1.TIF"
FILE_NAME_BAND_6_VCID_2 =
"LE07_L1TP_007056_20150105_20161030_01_T1_B6_VCID_2.TIF"
FILE_NAME_BAND_7 =
"LE07_L1TP_007056_20150105_20161030_01_T1_B7.TIF"
FILE_NAME_BAND_8 =
"LE07_L1TP_007056_20150105_20161030_01_T1_B8.TIF"
FILE_NAME_BAND_QUALITY =
"LE07_L1TP_007056_20150105_20161030_01_T1_BQA.TIF"
GROUND_CONTROL_POINT_FILE_NAME =
"LE07_L1TP_007056_20150105_20161030_01_T1_GCP.txt"
ANGLE_COEFFICIENT_FILE_NAME =
"LE07_L1TP_007056_20150105_20161030_01_T1_ANG.txt"
METADATA_FILE_NAME =
"LE07_L1TP_007056_20150105_20161030_01_T1_MTL.txt"
CPF_NAME = "LE07CPF_20150101_20150331_01.02"
END_GROUP = PRODUCT_METADATA
GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
CLOUD_COVER = 3.00
CLOUD_COVER_LAND = 3.00
IMAGE_QUALITY = 9
SUN_AZIMUTH = 137.20314924
SUN_ELEVATION = 50.71450810
EARTH_SUN_DISTANCE = 0.9833049
SATURATION_BAND_1 = "Y"
SATURATION_BAND_2 = "Y"
SATURATION_BAND_3 = "Y"
SATURATION_BAND_4 = "Y"
SATURATION_BAND_5 = "Y"
SATURATION_BAND_6_VCID_1 = "N"
SATURATION_BAND_6_VCID_2 = "N"
SATURATION_BAND_7 = "Y"
SATURATION_BAND_8 = "N"
GROUND_CONTROL_POINTS_VERSION = 4
GROUND_CONTROL_POINTS_MODEL = 112
GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 4.533

```

```

GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 3.481
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 2.904
END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
  RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 191.600
  RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -6.200
  RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 196.500
  RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -6.400
  RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 152.900
  RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -5.000
  RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 241.100
  RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -5.100
  RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 31.060
  RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -1.000
  RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6_VCID_1 = 17.040
  RADIANCE_MINIMUM_BAND_6_VCID_1 = 0.000
  RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6_VCID_2 = 12.650
  RADIANCE_MINIMUM_BAND_6_VCID_2 = 3.200
  RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 10.800
  RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -0.350
  RADIANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 243.100
  RADIANCE_MINIMUM_BAND_8 = -4.700
END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
  REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 0.285854
  REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_1 = -0.009250
  REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 0.321596
  REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_2 = -0.010474
  REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 0.304554
  REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_3 = -0.009959
  REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 0.683808
  REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_4 = -0.014465
  REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 0.425753
  REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_5 = -0.013707
  REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 0.403217
  REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_7 = -0.013067
  REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 0.559843
  REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_8 = -0.010824
END_GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
  QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_1 = 255
  QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_1 = 1
  QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_2 = 255
  QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_2 = 1
  QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_3 = 255
  QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_3 = 1
  QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_4 = 255
  QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_4 = 1
  QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_5 = 255

```

```

QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_5 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6_VCID_1 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6_VCID_1 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6_VCID_2 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6_VCID_2 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_7 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_7 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_8 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_8 = 1
END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
CORRECTION_GAIN_BAND_1 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_2 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_3 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_4 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_5 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_6_VCID_1 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_6_VCID_2 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_7 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_8 = "CPF"
CORRECTION_BIAS_BAND_1 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_BIAS_BAND_2 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_BIAS_BAND_3 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_BIAS_BAND_4 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_BIAS_BAND_5 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_BIAS_BAND_6_VCID_1 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_BIAS_BAND_6_VCID_2 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_BIAS_BAND_7 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_BIAS_BAND_8 = "INTERNAL_CALIBRATION"
GAIN_BAND_1 = "H"
GAIN_BAND_2 = "H"
GAIN_BAND_3 = "H"
GAIN_BAND_4 = "L"
GAIN_BAND_5 = "H"
GAIN_BAND_6_VCID_1 = "L"
GAIN_BAND_6_VCID_2 = "H"
GAIN_BAND_7 = "H"
GAIN_BAND_8 = "L"
GAIN_CHANGE_BAND_1 = "HH"
GAIN_CHANGE_BAND_2 = "HH"
GAIN_CHANGE_BAND_3 = "HH"
GAIN_CHANGE_BAND_4 = "LL"
GAIN_CHANGE_BAND_5 = "HH"
GAIN_CHANGE_BAND_6_VCID_1 = "LL"
GAIN_CHANGE_BAND_6_VCID_2 = "HH"
GAIN_CHANGE_BAND_7 = "HH"
GAIN_CHANGE_BAND_8 = "LL"
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_1 = 0
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_2 = 0

```

```

GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_3 = 0
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_4 = 0
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_5 = 0
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_6_VCID_1 = 0
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_6_VCID_2 = 0
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_7 = 0
GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_8 = 0
END_GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
RADIANCE_MULT_BAND_1 = 7.7874E-01
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 7.9882E-01
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 6.2165E-01
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 9.6929E-01
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 1.2622E-01
RADIANCE_MULT_BAND_6_VCID_1 = 6.7087E-02
RADIANCE_MULT_BAND_6_VCID_2 = 3.7205E-02
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 4.3898E-02
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 9.7559E-01
RADIANCE_ADD_BAND_1 = -6.97874
RADIANCE_ADD_BAND_2 = -7.19882
RADIANCE_ADD_BAND_3 = -5.62165
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -6.06929
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -1.12622
RADIANCE_ADD_BAND_6_VCID_1 = -0.06709
RADIANCE_ADD_BAND_6_VCID_2 = 3.16280
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -0.39390
RADIANCE_ADD_BAND_8 = -5.67559
REFLECTANCE_MULT_BAND_1 = 1.1618E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_2 = 1.3074E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_3 = 1.2382E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.7491E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 1.7302E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_7 = 1.6389E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_8 = 2.2467E-03
REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.010412
REFLECTANCE_ADD_BAND_2 = -0.011782
REFLECTANCE_ADD_BAND_3 = -0.011197
REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.017214
REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.015438
REFLECTANCE_ADD_BAND_7 = -0.014706
REFLECTANCE_ADD_BAND_8 = -0.013071
END_GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
GROUP = THERMAL_CONSTANTS
K1_CONSTANT_BAND_6_VCID_1 = 666.09
K2_CONSTANT_BAND_6_VCID_1 = 1282.71
K1_CONSTANT_BAND_6_VCID_2 = 666.09
K2_CONSTANT_BAND_6_VCID_2 = 1282.71
END_GROUP = THERMAL_CONSTANTS
GROUP = PROJECTION_PARAMETERS

```

```
MAP_PROJECTION = "UTM"  
DATUM = "WGS84"  
ELLIPSOID = "WGS84"  
UTM_ZONE = 18  
GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00  
GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00  
GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00  
ORIENTATION = "NORTH_UP"  
RESAMPLING_OPTION = "CUBIC_CONVOLUTION"  
SCAN_GAP_INTERPOLATION = 2.0  
END_GROUP = PROJECTION_PARAMETERS  
END_GROUP = L1_METADATA_FILE  
END
```