

**ANÁLISIS DEL CAMBIO DE LA COBERTURA ENTRE 1999 Y 2015 DEL
PÁRAMO DE CHILES - CUMBAL A TRAVÉS DE LA UTILIZACIÓN DE
HERRAMIENTAS SIG**



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2015**

**ANÁLISIS DEL CAMBIO DE LA COBERTURA ENTRE 1999 Y 2015 DEL
PÁRAMO DE CHILES - CUMBAL A TRAVÉS DE LA UTILIZACIÓN DE
HERRAMIENTAS DE SIG**

**Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar
al título de Especialista en Sistemas de Información Geográfica**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2015**

CONTENIDO

GLOSARIO	7
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11
1. ÁREA PROBLEMÁTICA	12
1.1 DESCRIPCIÓN.....	12
1.2 FORMULACIÓN	12
2. OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GENERAL	13
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	13
3. JUSTIFICACIÓN	14
4. MARCO TEÓRICO	16
4.1 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	17
4.2 ESTUDIOS MULTITEMPORALES	19
4.3 MARCO LEGAL.....	22
5. METODOLOGÍA	25
5.1 ÁREA DE ESTUDIO	25
5.2 MÉTODOS	27
5.2.1 ADQUISICIÓN DE INFORMACIÓN.....	28
5.2.2 ELABORACIÓN DEL MAPA TOPOGRÁFICO BASE E IDENTIFICACIÓN DE LAS IMÁGENES SATELITALES.....	29
5.2.3 ADQUISICIÓN DE LAS IMÁGENES SATELITALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.	31
5.2.4 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.	32
6. RESULTADOS	56
6.1 CUANTIFICACIÓN DE LA COBERTURAS VEGETALES.....	56
6.2 MATRIZ DE CAMBIOS COBERTURA VEGETAL ENTRE LOS AÑOS 1999 – 2015.	59
6.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	68
6. CONCLUSIONES	70
7. RECOMENDACIONES	71
8. BIBLIOGRAFÍA	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del páramo de Cumbal.....	26
Figura 2. Proceso utilizado para establecer los cambios en la cobertura vegetal (Guerrera, 2006).....	27
Figura 3. Proceso utilizado para la adquisición de la información.	28
Figura 4. Mapa topográfico del área objeto del estudio.....	30
Figura 5. A).Imagen original sin realizar el proceso de realce B3; B)Histograma original de la imagen sin realizar la expansión lineal B3.....	33
Figura 6. A) Imagen original sin realizar el proceso de realce B4; B) Histograma original de la imagen sin realizar la expansión lineal B4.....	34
Figura 7. A). Imagen original sin realizar el proceso de realce B5; B) Histograma original de la imagen sin realizar la expansión lineal B5.....	34
Figura 8. A) Realce de las imágenes utilizando la expansión lineal de B3; B)Resultado del histograma utilizando la expansión lineal de B3.....	35
Figura 9. A) Realce de las imágenes utilizando la expansión lineal de B4; B)Resultado del histograma utilizando la expansión lineal de B4.....	35
Figura 10. A) Realce de las imágenes utilizando la expansión lineal de B5; B)Resultado del histograma utilizando la expansión lineal de B5.....	36
Figura 11. A)Imagen LE70100592015122EDC00 original. B) Imagen LE70100592015122EDC00 después de la corrección Phase 2 Gap-Fill.	37
Figura 12. Composición falso color A) Periodo 1999; B) Periodo 2015.....	43
Figura 13. Cociente Índice de vegetación.	44
Figura 14. Clasificación supervisada de las imágenes. A) Periodo 1999; B) Periodo 2015.	45
Figura 15. Clasificación método máxima probabilidad A) Periodo 1999; B). Periodo 2015.....	46
Figura 16. Vectorización. A) Periodo 1999; B)Periodo 2015.	47
Figura 17. Recorte área de estudio. A) Periodo 1999; B) Periodo 2015.....	48
Figura 18. Imagen procesada. A) Periodo 1999; B) Periodo 2015.....	49
Figura 19. Trabajo de campo para la verificación de la información.....	50
Figura 20. Imagen Normalizada. A) Periodo 1999; B) Periodo 2015.....	52
Figura 21. Mapas de coberturas para el complejo de páramo Chiles Cumbal. A) Periodo 1999; B) Periodo 2015.	55
Figura 22. Histograma del cambio de cobertura vegetal para los dos periodos de tiempo.....	56
Figura 23. Mapa de cambio de la cobertura vegetal para el complejo páramo de Chiles-Cumbal entre los años de 1999 y 2015.....	61
Figura 24. Cambio de cobertura de papa entre los años 1999 y 2015.....	62
Figura 25. Cambio de cobertura de mosaico de pastos y cultivos entre los años 1999 y 2015.....	63
Figura 26. Cambio de cobertura de bosque fragmentado entre los años 1999 y 2015.	64
Figura 27. Cambio de cobertura de vegetación de páramo y subpáramo entre los años 1999 y 2015.....	65

Figura 28. Cambio de cobertura de afloramientos rocosos entre los años 1999 y 2015.66

Figura 29. Cambio de cobertura de zonas glaciares y nivales entre los años 1999 y 201567

Figura 30. Cambio de cobertura de lagunas, lagos y ciénagas naturales entre los años 1999 y 2015.....68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Fuente y adquisición de la información utilizada para el desarrollo del proyecto.	28
Tabla 2. Sistema de referencia espacial para la zona objeto del estudio.	29
Tabla 3. Información de la imagen satelital para el año 1999.	31
Tabla 4. Información de la imagen satelital para el año 2015.	32
Tabla 5. Codificación de las unidades de las coberturas de la tierra de acuerdo con la metodología Corine Land Cover adoptada para Colombia.	37
Tabla 6. Adaptación Leyenda Corine Land Cover para las coberturas vegetales presentes en el páramo de Cumbal.	39
Tabla 7. Cuantificación de la cobertura vegetal para el periodo 1999	53
Tabla 8. Cuantificación de la cobertura vegetal para el periodo 2015	53
Tabla 9. Cambios de la cobertura vegetal entre los años 1999 – 2015	59
Tabla 10. Matriz de cambios cobertura vegetal entre los años 1999 – 2015	60

GLOSARIO

Acuífero: Unidad geológica o unidad de roca con capacidad de almacenar y transmitir el flujo de agua.

Cobertura de suelo: El término cobertura comprende los atributos de la tierra, los cuales por estar localizados sobre esta ocupan una porción de su superficie; la cobertura puede originarse de ambientes naturales producto de la evolución ecológica (bosques, sabanas, lagunas, etc.) o a partir de ambientes artificiales creados y mantenidos por el hombre (cultivos, represas, ciudades, etc.).

Frontera Agrícola: Limite visible entre el establecimiento de dos coberturas de tipo natural y uno antrópico (Cultivos-Bosque), realizada principalmente por campesinos y agricultores desde la época de la colonia.

Humedal paramuno: Extensiones de pantanos y turberas o superficies cubiertas de aguas, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes.

Imagen Satelital: Una imagen satelital es una representación visual de los datos, reflejados por la superficie de la tierra que captura un sensor montado en un satélite artificial. Los datos son enviados a una estación terrena en donde se procesan y se convierten en imágenes, enriqueciendo nuestro conocimiento de las características de la tierra en diferentes escalas espaciales.

Páramo: Ecosistema de alta montaña, ubicado entre el límite superior del bosque andino y, si se da el caso, con el límite inferior de los glaciares o nieves perpetuas, en el cual domina una vegetación herbácea y de pajonales, frecuentemente frailejones y pueden haber formaciones de bosques bajos y arbustivos y presentar humedales como los ríos, quebradas, arroyos, turberas, pantanos, lagos y lagunas.

Comprende tres franjas en orden ascendente: El subpáramo, el páramo propiamente dicho y el superpáramo. Los límites altitudinales en que se ubican estos ecosistemas varían entre las cordilleras, debido a factores orográficos y climáticos locales. La intervención antrópica también ha sido un factor de alteración en la distribución altitudinal del páramo, por lo cual se incluyen en esta definición los páramos alterados por el hombre.

Páramo propiamente dicho: Franja intermedia del páramo caracterizada principalmente por vegetación dominante de pajonales y diferentes especies de frailejones.

Páramo azonal: Páramos ubicados en zonas atípicas según condiciones edáficas y climáticas extremas y locales, caracterizándose por vegetación de tipo paramuno.

Recarga: Volumen o lámina de agua de precipitación que se infiltra a través de la superficie del terreno alcanzando el nivel freático.

Subpáramo o páramo bajo: Franja inferior del páramo que sigue a la ocupada por la vegetación arbórea del bosque andino de la región. Se caracteriza por el predominio de chuscales, vegetación arbustiva y de bosques bajos altoandinos.

Superpáramo o páramo alto: Franja superior del páramo caracterizada por poca cobertura vegetal y diferentes grados de superficie de suelo desnudo.

Sensores Remotos: Sistemas o instrumentos para captar información de un objeto a distancia. La teledetección o percepción remota se refiere a la adquisición de datos de la superficie terrestre con un sensor remoto, y al procesamiento e interpretación de esos datos.

Sistemas de Información Geográfica (SIG): se definen como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos.

Turbera: Tipo de humedal del ecosistema de páramo estrechamente relacionado con los pantanos e innumerables lagunas allí presentes, caracterizado por la presencia de plantas formadoras de cojines, superficies extensas de musgos y un sustrato con alto contenido de materia orgánica.

Zona de recarga de acuíferos: Zona permeable donde se infiltra el agua proveniente de la lluvia al subsuelo y se convierte en agua subterránea.

RESUMEN

Para la determinación y análisis del cambio de cobertura vegetal entre los periodos 1999-2015, se utilizaron herramientas y métodos que nos proporciona actualmente la teledetección. Se realizó la clasificación supervisada por máxima probabilidad de las imágenes satelitales para dos periodos de tiempo, con el fin de cuantificar la cobertura vegetal, compararla, contrastarla y observar cómo ha sido la dinámica espacial en este tipo de ecosistema.

Se utilizaron imágenes satelitales correspondientes a los periodos 1999 y 2015, obtenidas a través del satélite Landsat. De las cuales se seleccionó el área objeto de estudio y se les realizó correcciones de tipo geométrico y realces de la información, con el fin de depurar y estandarizar la información. Y posteriormente se realizó el proceso de clasificación de las diferentes coberturas.

Para la homogenización de las coberturas vegetales producto de la clasificación de las imágenes satelitales se utilizó la metodología Corine Land Cover adaptada nivel tres para Colombia por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM).

Como resultado se obtuvo la mapeación de las coberturas vegetales para los dos periodos de tiempo anteriormente mencionados, los cuales fueron comparados a través de una matriz de cambio para determinar la variación de las coberturas vegetales durante los 15 años. Los resultados obtenidos pueden ser insumo para los procesos de planificación y uso racional de los recursos naturales, así como para establecer procesos de conservación en este tipo de ecosistemas.

PALABRAS CLAVE: cobertura vegetal, mapas, imágenes satelitales, tiempo, conservación.

ABSTRACT

For the determination and analysis of land cover change between the periods 1999-2015, tools and methods currently it provides remote sensing is used. Supervised classification of satellite images for two periods was performed in order to quantify the vegetation cover, compare and contrast it has been observed how the spatial dynamics in this type of ecosystem.

For the periods 1999 and 2015 satellite images obtained through Landsat satellite were used. Of which the study area was selected and underwent geometrical corrections and enhancements of information, in order to refine and standardize information. And then the process of classification of different toppings was performed.

For the homogenization of plant covers product classification methodology satellite images Corine Land Coveradaptada level three for Colombia was used by the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies of Colombia (IDEAM).

As a result the mapping of the vegetation cover for the two time periods mentioned above, which were compared through a matrix switch to determine the change in vegetation cover over the 15 years was obtained. The results can be input for the planning and rational use of natural resources and to establish conservation processes in these ecosystems.

KEY WORDS: vegetation cover, maps, satellite images , weather, conservation

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de alta montaña han sido espacios importantes a través de los años y han venido siendo humanizados por diferentes tipos de comunidades, las cuales desde su propia visión le han dado a través del tiempo un ordenamiento social, político y cultural (Macizo Colombiano, 2004). Los páramos están en estrecha relación con las comunidades que habitan en ellos y en las áreas circundantes, además cumplen diversas funciones y prestan múltiples servicios ambientales y naturales, entre ellos el más importante el de interceptar, almacenar, y regular los flujos hídricos superficiales y subterráneos de ahí que lo convierte en un ecosistema sumamente estratégico (Ministerio de Medio Ambiente, 2001). Pese a esta importancia, este tipo de ecosistemas han sido deteriorados ambientalmente tanto por factores globales como los cambios climáticos en la atmósfera, como también por factores antrópicos entre los que se destacan la deforestación, tala, quema y ampliación de la frontera agrícola.

Nariño posee un alto porcentaje de los páramos de Colombia, uno de estos ecosistemas se encuentra ubicado en el sur del departamento entre los municipios de Cumbal, Mallama y Guachucal (IDEAM, 2002). El páramo de Chiles - Cumbal se encuentra deteriorado ambientalmente, a causa de diversos factores, como lo es principalmente la expansión de la frontera agrícola que ha reducido la cobertura vegetal natural acelerando cada vez más la intervención antrópica, haciendo que la zona limítrofe entre la vegetación arbórea y la herbácea desaparezca por lo que muchas de las áreas originales se están dedicando al pastoreo, cultivo de papa, extracción de madera, tala, quema entre otras. Todas estas actividades han reducido la cobertura vegetal natural haciendo que la zona limítrofe entre la vegetación arbórea y la herbácea desaparezca. Lo que ha generado que las áreas originales se modifiquen ocasionando un daño irreparable al ecosistema, lo cual repercute en el desarrollo normal de las especies de fauna y flora del páramo (Macizo Colombiano, 2004).

La identificación de cambios a nivel de la cobertura vegetal en un entorno determinado se ha convertido en un ámbito de aplicación importante dentro del estudio de los sistemas de información geográfica (IGAC, 1998). Gracias al avance tecnológico y la existencia de información satelital proveniente de sensores remotos. El objetivo de este trabajo fue utilizar las herramientas que ofrecen los sistemas de información geográfica para analizar el cambio de la cobertura vegetal en el páramo de Chiles - Cumbal en el departamento de Nariño durante el periodo 1999- 2015.

1. ÁREA PROBLEMÁTICA

1.1 DESCRIPCIÓN

Los ecosistemas de alta montaña han sido espacios importantes a través de los años y han venido siendo humanizados por diferentes tipos de comunidades, las cuales desde su propia visión le han dado a través del tiempo un ordenamiento social, político y cultural.

Los páramos están en estrecha relación con las comunidades que habitan en ellos y en las áreas circundantes, además cumplen diversas funciones y prestan múltiples servicios ambientales y naturales. Entre ellos el más importante el de interceptar, almacenar y regular los flujos hídricos superficiales y subterráneos, de ahí que lo convierte en un ecosistema sumamente estratégico.

Pese a la importancia que tienen estos ecosistemas han sido deteriorados ambientalmente tanto por factores globales como por los cambios climáticos en la atmósfera, y por factores antrópicos entre los que se destacan la deforestación, tala, quema y ampliación de la frontera agrícola.

En este contexto, se puede establecer que el páramo de Chiles - Cumbal se constituye en un ecosistema altamente importante para la región, porque de éste nacen muchos ríos y quebradas que abastecen a la población. Así mismo alberga un sin número de especies de flora y fauna con un alto valor científico. De ahí radica la importancia de reconocer el páramo de Chiles - Cumbal como un ambiente humanizado el cual se transforma y se dinamiza según la percepción de las comunidades asentadas en este entorno, encontrando mecanismos para su buena conservación y manejo.

1.2 FORMULACIÓN

Como las herramientas que ofrecen los sistemas de información geográfica son aplicables para analizar el cambio de la cobertura vegetal en el páramo de Chiles - Cumbal en el departamento de Nariño durante el periodo 1999- 2015.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar el cambio de la cobertura del páramo de Chiles - Cumbal entre los años 1999-2015 a través de imágenes satelitales.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Identificar y clasificar las coberturas con base en la metodología Corine Land Cover del páramo de Chiles - Cumbal para los años 1999 y 2015.
- Cuantificar la cobertura del área de estudio para cada imagen usando el método de clasificación supervisada por máxima probabilidad.

3. JUSTIFICACIÓN

A nivel mundial se ha reconocido que Colombia es uno de los países con mayor biodiversidad, ocupando lugares privilegiados en riqueza de especies (Acosta-Galvis, 2000; Castaño-Uribe *et al.*, 2002; Parrado-Rosselli *et al.*, 2009), donde la composición de la flora y la fauna altoandina dependen claramente de la localidad geográfica y están estrechamente relacionadas con la expresión de factores como el clima, el suelo, el subsuelo, la inclinación y la exposición a la radiación solar, además de los efectos biogeográficos históricos y la influencia antropogénica (Rangel, 2000). La combinación de esta variedad de factores provoca una gran complejidad ambiental, dando como resultado la enorme diversidad biológica de los Andes, acompañada de altos niveles de endemismo producto del rápido reemplazo de especies a lo largo del gradiente altitudinal (Kattan *et al.*, 2004). A pesar de ser considerado uno de los países con mayor diversidad biológica del planeta (Myers, 1988), también enfrenta acelerados procesos de destrucción y degradación del hábitat. Forma parte de los Andes Tropicales, uno de los ecosistemas biológicamente más diversos y más amenazados del mundo (Mittermeier *et al.*, 2000). Los cambios en el uso del suelo han generado el reemplazo progresivo de ecosistemas biológicamente complejos y diversos por agroecosistemas ecológicamente simplificados (pasturas ganaderas, cultivos a libre exposición y plantaciones monoespecíficas, entre otros) (Etter *et al.*, 2006). En consecuencia, actualmente predominan en el país paisajes en los cuales los bosques han desaparecido por completo o están confinados en matrices de origen antrópico (Armenteras *et al.*, 2003; Rodríguez, 2011).

Los páramos actualmente, son ecosistemas estratégicos dotados de una gran cantidad de cualidades ambientales y los principales productores de los recursos hídricos del país que abastecen a gran parte de la población (Mountain, 2000). Estos ecosistemas en la actualidad presentan un elevado deterioro ambiental, a causa de factores antrópicos que poco a poco han ido destruyendo el entorno natural, ocasionando daños irreversibles (Vargas y Rivera, 1990). Un ejemplo es el ecosistema de páramo de Chiles - Cumbal, el cual se encuentra deteriorado a causa de diversos factores, como lo es la expansión de la frontera agrícola, el pastoreo, los cultivos de papa, la extracción de madera, la tala y quema, entre otras. Todas estas actividades han reducido la cobertura vegetal natural haciendo que la zona limítrofe entre la vegetación arbórea y la herbácea desaparezca. Lo que ha generado que las áreas originales se modifiquen ocasionando un daño irreparable al ecosistema, lo cual repercute en el desarrollo normal de las especies de fauna y flora del páramo (Hosftede, 1999).

La identificación de cambios a nivel de la cobertura vegetal en un entorno determinado se ha convertido en un ámbito de aplicación importante dentro del estudio de los sistemas de información geográfica gracias al avance tecnológico y la existencia de información satelital proveniente de los sensores remotos (Rodríguez y Arredondo, 2005).

Con la obtención de imágenes en diferentes periodos de tiempo ha sido posible identificar los cambios que se dan en los ecosistemas. Para llevar a cabo éste proceso se ha

utilizado algunas técnicas digitales para detección de cambios, tales como: sobreposición de imágenes, diferencia entre imágenes y análisis de componentes principales.

El objetivo de esta investigación fue utilizar sensores remotos con el fin de establecer los cambios que se han presentado a nivel de la cobertura vegetal entre los años 1999 y 2015 en el área del páramo de Chiles - Cumbal. Mediante imágenes provenientes de sensores remotos de diferentes épocas que suministran gran cantidad de información, que permiten identificar los cambios que han sufrido las diferentes coberturas. De este modo se muestra como las herramientas que ofrecen los sistemas de información geográfica permiten manipular la información, procesarla y establecer los cambios en de la cobertura vegetal que se han presentado en uno de los ecosistemas más importantes del país.

4. MARCO TEÓRICO

La ecorregión de Los Andes tropicales constituye una de las zonas de mayor biodiversidad del planeta (Sarmiento, 2001). Colombia es uno de los cinco países con mayor biodiversidad a nivel mundial, gracias a su ubicación estratégica posee el 60% de los páramos del mundo, compartiendo al norte con Venezuela y al sur con Ecuador (Benavidez & Hermida, 2008). Las condiciones propias de la región son finalmente las que determinan el límite de los páramos tales como la topografía, la posición geográfica, la altitud, la humedad, la temperatura y precipitación, siendo factores claves para su localización; en Colombia, idealmente tienen un punto de iniciación en los 3.000 m de altitud y va hasta las nieves permanentes a los 4.700 m (Alzate, 2010). Estos ecosistemas son de gran importancia como reservorio de agua presentándose así como centros de endemismo a nivel de flora y fauna, manifestándose principalmente en la cordillera oriental (Ministerio del medio ambiente, 2002; Mena & Hofstede, 2006).

Colombia cuenta con una amplia diversidad vegetal, producto de la actividad conjunta de variables físico-climáticas y edáficas, la cual se refleja en trabajos y estudios florísticos que presentan estimativos sobre la riqueza de especies (Morales *et al.*, 2012). La vegetación de páramo presenta flora endémica determinante por el clima y muchas de ellas se encuentran en peligro por intervención antrópica (Díaz *et al.*, 2005). El clima y las características de vegetación y suelos del páramo hacen que funcionen como reguladores naturales de escorrentía mostrando su importancia en épocas de estiaje; en Colombia los páramos regulan el 70% de los ríos en sus cabeceras y aporta el 4% de la oferta hídrica superficial Colombiana (Díaz *et al.*, 2005). Estos ecosistemas se encuentran ubicados dentro de la Región Andina del país, la cual presenta el mayor desarrollo humano, incluyendo la minería, la industria maderera, la ganadería extensiva, las represas hidroeléctricas, la presencia de cultivos de manejo extensivo como la papa (en bosque altoandino y prepáramo), entre otros (Armenteras *et al.*, 2007). Dando lugar a grandes y crecientes amenazas a la biodiversidad en todo el mundo (Dudgeon *et al.*, 2006). En la actualidad, las extinciones de fauna y flora por actividades humanas, han incrementado a un ritmo acelerado (Rueda, 1999). La pérdida y degradación de los bosques tropicales por cambio en el uso del suelo para agricultura o ganadería es la principal causa de extinción de especies en el mundo (Mace *et al.*, 2005; Parrotta *et al.*, 1997) y con ellas una serie de procesos de los cuales podríamos obtener información para plantear soluciones a muchos de los problemas que tiene la humanidad en la actualidad. Se estima que anualmente se destruyen aproximadamente 15 millones de hectáreas de bosques (FAO, 2001) y este deterioro podría tener importantes implicaciones a largo plazo en la conservación de la biodiversidad (Wright & Muller-Landau, 2006). Como consecuencia de este manejo, el paisaje de los países tropicales está dominado por bosques primarios intervenidos en diferente grado, en sucesión secundaria y plantaciones forestales.

Los ecosistemas de alta montaña han sido espacios importantes a través de los años y han venido siendo humanizados por diferentes tipos de comunidades, las cuales desde

su propia visión le han dado a través del tiempo un ordenamiento social, político y cultural. Los páramos están en estrecha relación con las comunidades que habitan en ellos y en las áreas circundantes, además cumplen diversas funciones y prestan múltiples servicios ambientales y naturales, entre ellos el de interceptar, almacenar, y regular los flujos hídricos superficiales y subterráneos y son hábitat de una biota extraordinariamente rica en especies endémicas y sensibles (Dudgeon *et al.*, 2006), que aún no ha sido completamente inventariada (Strayer *et al.*, 2010), lo que los convierte en un ecosistema sumamente estratégico. Pese a esta importancia, este tipo de ecosistemas han sido deteriorados ambientalmente tanto por factores globales como el cambio climático en la atmósfera, como también por factores antrópicos entre los que se destacan la deforestación, tala, quema y ampliación de la frontera agrícola.

En este contexto, el páramo de Chiles - Cumbal, se constituye en un ecosistema altamente importante para la región, ya que es un área estratégica del cual nacen muchos ríos y quebradas que abastecen a la población, así mismo alberga un sin número de especies de flora y fauna con un alto valor científico. De ahí radica la importancia de reconocer el páramo de Chiles - Cumbal como un ambiente humanizado el cual se transforma y se dinamiza según la percepción de las comunidades asentadas en este entorno, encontrando mecanismos para su buena conservación y manejo. El páramo de Cumbal se ha visto en los últimos años sometido a un deterioro ambiental elevado, a causa de diversos factores, muchos de ellos de carácter antrópico, conllevando a una reducción de sus recursos naturales.

4.1 Sistemas de Información Geográfica

Se han dado diversas definiciones a cerca de lo que es un sistema de información Geográfica y cómo se concibe este concepto para diferentes autores. La primera definición si se podría llamar así aparece en 1967 en la cual se dice que “es una aplicación informática cuyo objetivo era desarrollar un conjunto de tareas con información geográfica digitalizada. Se trataba del Sistema de Información Geográfica de Canadá (CGIS)” (Tomlinson). Para Berry (1987) un Sistema de Información Geográfica es “un sistema informático diseñado para el manejo, análisis y cartografía de información espacial”. En cambio para Burrough (1988), se trata de “un conjunto de herramientas para reunir, introducir, almacenar, recuperar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real para un conjunto particular de objetivos”. El Nacional Center for Geographic Information and Análisis de USA los define como “Sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados para resolver problemas complejos de planificación y gestión” (NCGIA, 1990). Como se observa, estas definiciones no sólo son consecutivas en el tiempo, sino que además cada una supone un mayor nivel de complejidad sobre la anterior, pero en general se puede decir que un Sistema de Información Geográfica es una combinación de recursos humanos y técnicos que operan coordinada y sistemáticamente para recolectar, almacenar, validar, manipular, integrar, extraer y desplegar información espacial y alfanumérica que servirá de soporte técnico para la planificación, gestión y monitoreo de variados aspectos.

En un sistema de información Geográfica el componente humano es el más significativo y relevante ya que éste debe ser idóneo y competente para garantizar el adecuado funcionamiento del sistema (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1998). Hay que poner en consideración y aclaración respecto a lo que NO es un Sistema de Información Geográfica ya que mucha personas tiene un concepto erróneo acerca de lo que es un SIG ya sea por ignorancia o simplemente por desconocimiento de éste (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1998). Un programa o software cualquiera no es un SIG, tan sólo es una herramienta que se dispone para implementarlo o aplicarlo. No existe un SIG cuando en el computador se ha obtenido una serie de mapas mediante digitalización o rasterización, utilizando un software de SIG en particular ya que en realidad el programa “está siendo subutilizado pues la información se está manipulando bajo el esquema de los C.A.D.(diseño asistido por computador), o C.A.M. (mapas asistidos por computador), programas que antecieron a los actuales SIG y de los que diferencian porque estos últimos poseen capacidades de análisis espacial de la que no disponen los primeros” (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1998).

El componente más importante para un SIG es la información. Se requieren de buenos datos de soporte para que el SIG pueda resolver los problemas y contestar a preguntas de la forma más acertada posible. La consecución de buenos datos generalmente absorbe entre un 60 y 80 % del presupuesto de implementación del SIG, y la recolección de los datos es un proceso largo que frecuentemente demora el desarrollo de productos que son de utilidad (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1998).

Tampoco existe un SIG cuando en el computador se encuentran almacenados un conjunto de entidades ya sean reales o no reales en el espacio como por ejemplo ríos, calles, unidades biogeográficas o unidades de paisaje en forma de capas de información independiente con sus respectivos atributos ya que en los SIG “estos elementos requieren de una conceptualización, definición y estructuración previa a su captura o digitalización, esta definición y estructuración de las entidades corresponde al denominado modelo de datos” (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1998).

Una de las funciones básicas y quizás la principal de procesamiento de un SIG es la del análisis y modelamiento espacial, que se realiza con información de datos espaciales y no espaciales previamente almacenados y estructurados en el sistema para generar nueva información que permita dar solución a problemas específicos mediante ciertas operaciones de cálculo sencillas sobre las entidades espaciales como: longitud de una línea, perímetros, áreas y volúmenes, hasta análisis de redes, intersección de polígonos y modelos digitales del terreno (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1998).

Los sistemas de información geográfica han sido utilizados a través del tiempo por un sin número de instituciones gubernamentales y no gubernamentales, como herramienta a la hora de generar procesos de planificación física y ambiental, de su buena implementación y funcionamiento depende la toma acertada de decisiones (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1998).

Los sistemas de información geográfica permiten construir modelos y escenarios de la realidad, en la cual se pueden representar e integrar las diferentes variables y características que en conjunto describen la dinámica que se genera en ciertos espacios conociendo el estado actual, así como la evolución y la interrelación de los diferentes elementos que conforman la realidad. De este modo los SIG han hallado un campo amplio de aplicación y han servido como instrumento fundamental en la toma de decisiones en el ordenamiento territorial y planificación ambiental (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1998).

4.2 Estudios multitemporales

Los estudios multitemporales son el análisis de tipo espacial que se realiza mediante la comparación de las coberturas interpretadas en dos imágenes de satélite o mapas de un mismo lugar en diferentes fechas. Permite evaluar los cambios en la situación de las coberturas que han sido clasificadas, como los meses del año y los años entre sí. Un análisis multitemporal es mucho más abarcativo que el análisis de una sola imagen. El análisis multitemporal permite detectar cambios entre dos fechas de referencia, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre ese medio (Chuvieco, 1990). Y constituye uno de los métodos más eficaces para la comparación y determinación de cambios (e.g. vegetación) que acontecen en un lapso de tiempo (Silva, 1999).

Uno de los aportes más destacados de la percepción remota al estudio del medio ambiente es su capacidad para seguir procesos dinámicos. La información adquirida por un sensor situado en una órbita estable y repetitiva, como lo son las imágenes de satélite, constituyen una fuente muy valiosa para estudiar los cambios que se producen en la superficie terrestre, ya sean debidos al ciclo estacional de las cubiertas, a catástrofes naturales o a alteraciones de origen humano. El ritmo máximo de observación dependen de la resolución temporal del sensor -aunque en términos prácticos ese período se amplía, si consideramos la cobertura nubosa o posibles problemas generados por el sensor-, variando con los sistemas disponibles entre 30 minutos, para los satélites geo-estacionarios y varias semanas para los de estudios de recursos naturales con órbita polar (Riaño, 2002).

Así, la frecuencia de observación puede adaptarse al estudio de diversos problemas, desde la dinámica atmosférica, que requiere una observación continua, hasta los cambios urbanos o agrícolas, que sólo precisan actualización en el orden de varios meses o años. En los comienzos de la percepción remota, la resolución espacial del sensor se consideraba el elemento más crítico para valorar su potencialidad, actualmente la resolución temporal se califica como un criterio más protagonista, al acentuarse la necesidad de contar con información suficientemente actualizada (Riaño, 2002). Por ejemplo, para evaluar las condiciones vegetales a corto plazo, con el propósito de predecir el rendimiento de un cultivo o el peligro de incendios- por poner dos ejemplos de gran interés-, de nada serviría una alta precisión espacial sin el adecuado ciclo de

cobertura. Un buen detalle espacial no es suficiente para estimar operativamente el riesgo de incendio si sólo contamos con una imagen de cada 16 días. Será preferible, en este contexto, emplear imágenes con menos detalle, siempre que proporcionen información con mayor frecuencia. Para que puedan abordarse estudios multitemporales con percepción remota es preciso que el sistema sensor proporcione una cobertura periódica, en las mismas bandas espectrales y bajo condiciones de observación similares (altura, hora, ángulo de adquisición). La mayor parte de los satélites de recursos naturales cumplen estos requisitos, excepción hecha de los instalados sobre aeronaves espaciales que no ofrecen una cadencia y homogeneidad adecuada, aunque permiten comparaciones visuales-cualitativas de gran interés (Riaño, 2002)

Otra de las características importantes de este tipo de estudios radica en que el análisis multitemporal es fundamental para la planificación ambiental y procesos de decisión tanto de autoridades locales como regionales ya que permite evidenciar los impactos generados por la acción antropogénica y de esta forma identificar aquellas zonas más vulnerables y que necesitan de mayor control y protección en lo sé que refiere a protección del ambiente (Silva, 1998).

Durante los últimos años han sido numerosos los trabajos desarrollados bajo esta concepción gracias a los avances de las herramientas tecnológicas, que cada vez más han servido para analizar las dinámicas en cuanto a cambios paisajísticos y de uso del suelo que suceden a través del tiempo. Existen numerosos estudios adelantados en otras regiones del planeta, donde gracias a la utilización de los sensores remotos, en este caso imágenes satelitales, han ayudado para identificar cambios en las cobertura, clasificación de unidades de paisaje, y a determinar los cambios a nivel general que sufren los ecosistemas como consecuencia de factores naturales o antrópicos (IDR, 1999; Medina, 2001).

En el estudio de la dinámica de los diferentes recursos, es posible distinguir dos aspectos relacionados con el cambio del tiempo: 1. La rapidez con la que el cambio se produce, hace referencia a la duración en el tiempo de cambio. En este sentido, los cambios ambientales estudiados por la teledetección pueden ir desde unas pocas horas (ciclones tropicales, terremotos, erupciones volcánicas), hasta varios años, o incluso ser permanentes (deslizamientos, terremotos). 2. La duración en el tiempo de las consecuencias del cambio producido, hace referencia a la permanencia de los efectos de esa perturbación, que también puede variar desde unos pocos días (inundaciones leves) hasta varios años, o incluso ser permanentes (deslizamientos, terremotos) (Quintano & Fernandez-Manzano, 2012).

Los estudios temporales a partir de imágenes de satélite tienen un gran número de aplicaciones sobre todo en el ámbito medioambiental por ejemplo: El monitoreo del crecimiento de las urbanizaciones que rodean las grandes ciudades, lo que disminuye una gran parte del territorio verde, tanto la cuantificación del mismo como su dirección puede ser monitoreada mediante la aplicación de estas técnicas. Actualización de la cartografía y el uso del territorio. El empleo de las diferentes parcelas del territorio puede

variar, modificándose el tipo de cultivos existentes, así como el tamaño y la estructura de las parcelas (quizás por la aparición de máquinas que eliminan el trabajo manual). El seguimiento de la deforestación en los bosques tropicales, es posible cuantificar la deforestación y la velocidad a la que se extiende, lo que permite hacer predicciones sobre deforestaciones futuras y tomar las medidas adecuadas para evitarla. Y los estudios acerca del calentamiento global, concepto medioambiental de plena actualidad. La teledetección permite captar los cambios en las temperaturas de la superficie terrestre, y analizar el estado de los glaciares. Por ejemplo las imágenes Landsat desde 1973 hasta 1998 han permitido observar como el glaciar Muir se ha retirado 7 km (Quintano & Fernandez-Manzano, 2012).

En Colombia han sido muchas las entidades tanto oficiales como académicas que se han interesado por abordar el tema y desarrollar proyectos de investigación o casos de estudio particulares utilizando este tipo de herramientas. Entre estos estudios podemos destacar:

La Universidad del Valle realizó en 1998 un estudio demostrativo sobre coberturas y cambios de uso del suelo en la región de Buenaventura-Colombia, mediante un análisis multitemporal con imágenes Landsat TM de 1986 y 1997, el proyecto permitió identificar dinámicas de intervención de la cobertura vegetal y patrones de expansión urbana en la zona (Universidad del Valle, 1998).

En la Universidad Distrital Francisco José de Caldas se realizó el trabajo de postgrado titulado Evaluación y Análisis Multitemporal de la Deforestación de la Amazonia Colombiana, el cual cuantificó la deforestación en la región (Arciniegas & Serrano, 1999).

Otras instituciones como el Instituto Colombiano de Estudios Ambientales (IDEAM), realizó la investigación titulada "Metodología para estimar cambios de biomasa área boscosa para el periodo 1970-1990 y su relación con la emisión de captura de dióxido de carbono (CO₂) en los bosques de la ecorregión de la serranía de San Lucas y su área de influencia", el estudio empleó imágenes Landsat MSS y TM (Alarcón & Cardona, 2001).

De esta manera podemos ver como el ámbito de aplicación de los sistemas de información geográfica así como la información obtenida a través de los sensores remotos han sido ampliamente utilizados en diferentes áreas del conocimiento. El análisis multitemporal se basa en la aplicación de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (Rao *et al.*, 1998). La aplicación de metodologías para este tipo de estudios son diversas pero siempre enfocadas a lograr una precisión en la información y en los resultados, este proyecto pretende de alguna manera aplicar conocimientos y métodos formulados desde los SIG para llevarlos a un ejercicio práctico.

Una ventaja significativa de los sistemas de teledetección sobre los sistemas convencionales de seguimiento de recursos es la recopilación repetitiva en tiempo de información sobre las cubiertas objeto de estudio (Quintano & Fernandez-Manzano, 2012).

Gracias a las ventajas que nos ofrecen los sistemas de teledetección y sensores remotos es posible tener información a diferentes escalas de espacios determinados y de diferentes periodos de tiempo, la comparación entre dos imágenes satelitales y el uso de un software especializado necesario para realizar el análisis multitemporal entre las dos imágenes (Ghribi, 2005), se constituyen en elementos claves a la hora de confrontar diferentes escenarios y analizar las variables ambientales involucradas en los mismos.

Los sistemas de teledetección, particularmente aquellos ubicados sobre satélites, proporcionan una visión repetitiva y sinóptica de la tierra de inestimable valor en su monitorización y en el análisis del efecto de las actividades humanas sobre la misma como puede ser la evaluación y monitorización del entorno (crecimiento urbano, residuos peligrosos), detección y monitorización de cambios globales (reducción del ozono atmosférico, deforestación, calentamiento global), exploración, tanto de recursos no-renovables (minerales, petróleo, gas natural) como de recursos naturales renovables (océanos, bosques, terrenos), meteorología (predicción meteorológica, procesos dinámicos atmosféricos), mapeado (topografía, utilización de tierras, ingeniería civil), etc (Schowengerdt, 1997).

En este contexto la comparación de múltiples imágenes requiere o su registro espacial o su georreferenciación. El registro de imágenes es el proceso que determina la mejor adaptación de dos o más imágenes, de forma que las coordenadas en ambas imágenes correspondan con la misma región física de la escena observada (Brown 1992; Zitová & Flusser, 2003).

Por lo tanto el ejercicio de aplicación que se llevó a cabo en este proyecto pretende de alguna manera involucra procesos y procedimientos que han sido implementados en otra serie de estudios afines y que se encuentran enmarcados dentro de las teorías de teledetección, sensores remotos y sistemas de información geográfica. Teniendo como pieza clave el grado interpretativo que se pueda otorgar al producto obtenido, identificando cada variable en particular y encontrando las causas reales que propician la dinámica y los cambios que en el tiempo se van observando y que en últimas determinan un escenario particular.

4.3 Marco legal

El marco legal aplicable a los ecosistemas de páramo se puede resumir en:

Ley 79 de 1986 (hoy en día inexecutable) En su artículo primero determina las área de reserva forestal protectora para la conservación y preservación de las aguas, así "(...) Todos los bosques y la vegetación natural, existentes en el territorio nacional, que se encuentren sobre la cota de los tres mil (3.000) metros sobre el nivel del mar (...)"

Ley 99 de 1993 Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se organiza el Sistema Nacional Ambiental - SINA y en su artículo primero se establecen los principios ambientales generales, entre ellos: "(...) 4. Las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial. (...)"

Decreto 1728 de 2002 El cual reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre las Licencia Ambientales, en cuyo artículo 32 menciona la prohibición de otorgar licencias ambientales en zonas de páramo "(...) e) Los proyectos, obras y actividades que se pretendan ejecutar en áreas de páramos y nacimientos de aguas.(...)"

Resolución 769 de 2002 MMA. En el cual se establecen las disposiciones para contribuir a la protección, conservación y sostenibilidad de páramos. Adicionalmente se indica que se debe elaborar un estudio sobre su estado actual - EEAP, elaboración e implementación de los planes de manejo ambiental - PMA y su régimen de usos.

Resolución 839 de 2003 Establece los términos de referencia para la elaboración EEAP y PMA de los páramos.

Ley 1128 de 2006 Establece las competencias para la aprobación de los Estudios de Estado Actual de Páramos - EEAP y Planes de Manejo Ambiental - PMA de páramos.

Decreto 3600 de 2007 Reglamenta las disposiciones de las Leyes 99 de 1993 y 388 de 1997 relativas a las determinantes de ordenamiento del suelo rural, en cuyo artículo cuarto se establecen las categorías de protección de suelo rural, así: "(...) 1. Áreas de conservación y protección ambiental. Incluye las áreas que deben ser objeto de especial protección ambiental de acuerdo con la legislación vigente y las que hacen parte de la estructura ecológica principal, para lo cual en el componente rural del plan de ordenamiento se deben señalar las medidas para garantizar su conservación y protección. Dentro de esta categoría, se incluyen las establecidas por la legislación vigente, tales como: 1.1. Las áreas del sistema nacional de áreas protegidas. 1.2. Las áreas de reserva forestal. 1.3. Las áreas de manejo especial. 1.4. Las áreas de especial importancia ecosistémica, tales como páramos y subpáramos, nacimientos de agua, zonas de recarga de acuíferos, rondas hidráulicas de los cuerpos de agua, humedales, pantanos, lagos, lagunas, ciénagas, manglares y reservas de flora y fauna (...)"

Ley 1382 de 2010 (hoy en día inexecutable) En cuyo artículo 34 se establecen las zonas excluibles de la minería, así: "No podrán ejecutarse trabajos y obras de exploración y explotación mineras en zonas declaradas y delimitadas (...), ecosistemas de páramo (...). Los ecosistemas de páramo se identificarán de conformidad con la información cartográfica proporcionada por el Instituto de Investigación Alexander Von Humboldt".

Ley 1450 de 2011 Corresponde al Plan Nacional de Desarrollo 2010 – 2014, en el cual se establece entre otras cosas la delimitación de páramos en su artículo 202, así: "...los páramos deben ser delimitados a escala 1:25.000 con base en estudios técnicos,

económicos, sociales y ambientales, los cuales deben ser realizados por las autoridades ambientales (...). En los ecosistemas de páramos no se podrán adelantar actividades agropecuarias, ni de exploración o explotación de hidrocarburos y minerales, ni construcción de refinerías de hidrocarburos. Para tales efectos se considera como referencia mínima la cartografía contenida en el Atlas de Páramos de Colombia del Instituto de Investigación Alexander von Humboldt, hasta tanto se cuente con cartografía a escala más detallada. (...)"

Decreto Ley 3570 de 2011 En el cual se modifican los objetivos y estructura del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y en su artículo segundo se determinan sus funciones, entre ellas: "(...) 15. Elaborar los términos de referencia para la realización de los estudios (...) para la delimitación de los ecosistemas de páramo (...) 16. Expedir los actos administrativos para la delimitación de los páramos (...)"

Resolución 937 de 2011 A través de la cual se adopta la cartografía elaborada a escala 1:250.000, proporcionada por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt para la identificación y delimitación de los Ecosistemas de Páramos.

Ley 1707 de 2014 En el cual se establece la cuota del fomento de la papa y en su artículo 10 párrafo 3 se indica que *"no se incentivará el cultivo de papa en áreas de especial importancia estratégica como los páramos y humedales"*.

5. METODOLOGÍA

5.1 Área de Estudio

El complejo de páramos Chiles – Cumbal delimitado por el Instituto Alexander Von Humboldt en el 2012, se encuentra conformado por seis (6) áreas distribuidas en 11 municipios del departamento de Nariño, con una superficie total de 63.223 hectáreas.

El estudio se desarrolló sobre una parte del área correspondiente al complejo de páramo Chiles – Cumbal (Codificado NP-NP-CHC-02), el cual se encuentra localizado en los municipios de Cumbal, Mallama y Guachucal del departamento de Nariño. Este complejo de páramos cuenta con un área de 40.275 hectáreas en un rango altitudinal comprendido entre los 3.200 y 4.700 msnm, con temperaturas promedio anual de 11 °C y precipitaciones que varían entre los 898 mm por año, presentando una clasificación climática de muy frío húmedo a muy húmedo.

Geográficamente el páramo de Chiles - Cumbal se encuentra localizado entre las coordenadas extremas:

COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
LATITUD	LONGITUD
1°5'13,292"N	77°50'44,553"W
1°0'1,355"N	77°45'16,415"W
0°48'3,915"N	77°51'55,544"W
0°56'2,862"N	77°59'34,816"W

El área de estudio limita al norte con el municipio de Mallama, al sur con la república de Ecuador, al oriente con el casco urbano del municipio de Cumbal y al occidente con el piedemonte pacífico (Fig. 1).

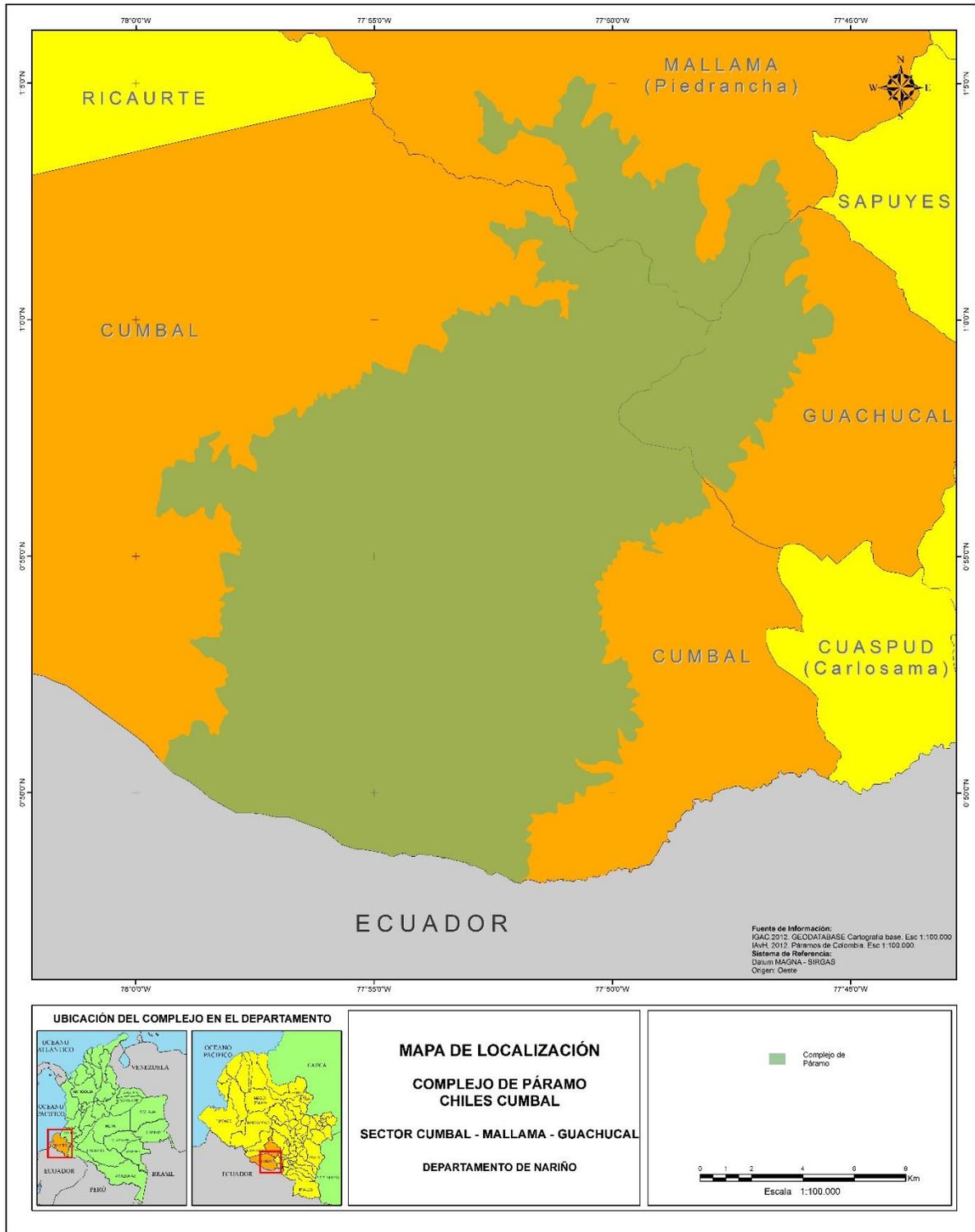


Figura 1. Localización del páramo de Cumbal.

5.2 Métodos

Los métodos utilizados para el desarrollo de esta investigación fueron llevados a cabo teniendo en cuenta las características particulares del área de estudio, considerando la integralidad y relación existente entre los diferentes elementos asociados que coexisten y generan la dinámica de este tipo de ecosistemas (Fig. 2).

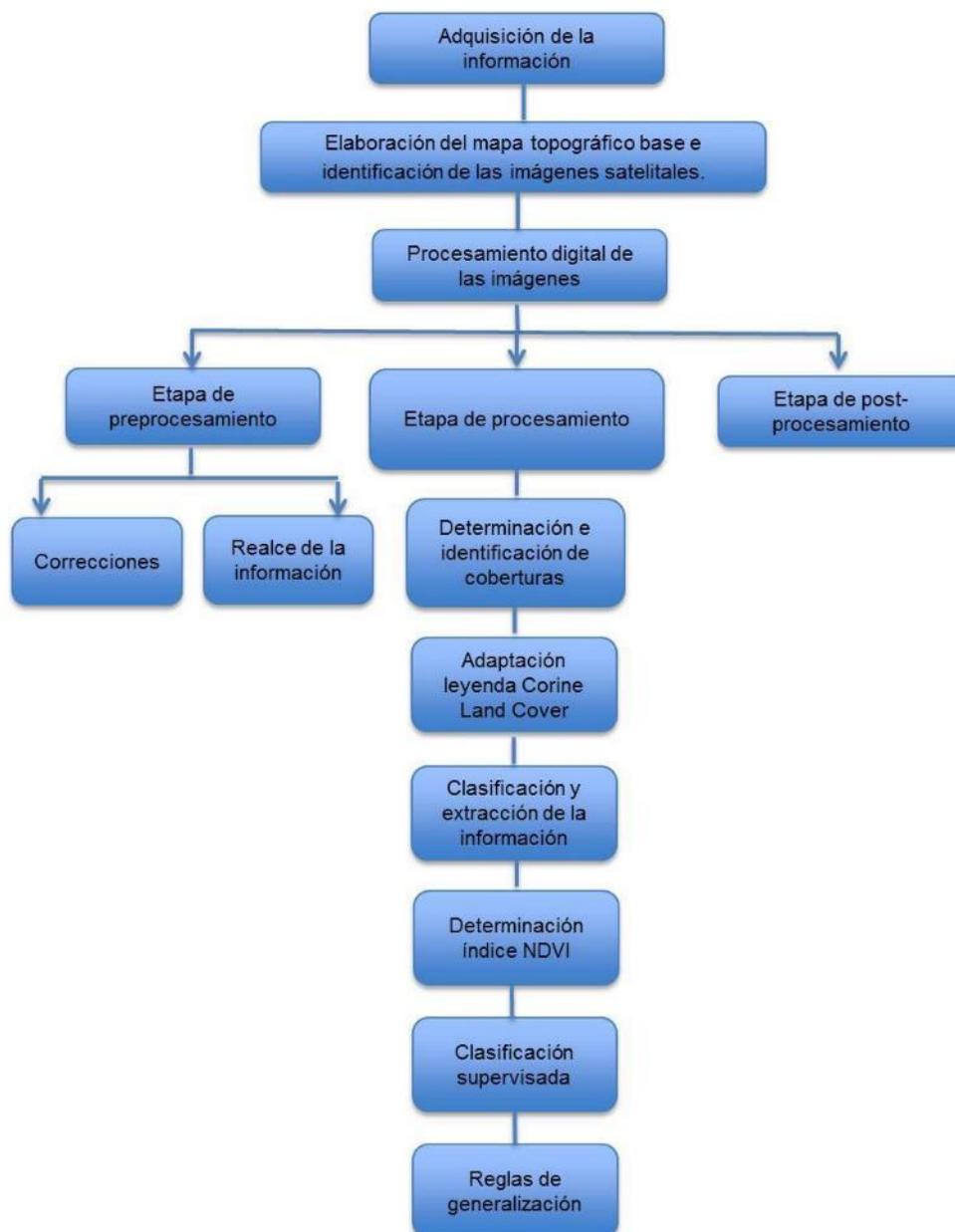


Figura 2. Proceso utilizado para establecer los cambios en la cobertura vegetal (Guerrera, 2006).

5.2.1 Adquisición de información.

Para la realización de este proyecto fue necesario contar con información de cartografía básica, sensores remotos e información secundaria (normatividad, estudios previos en el área de estudio, etc.) (Fig. 3).

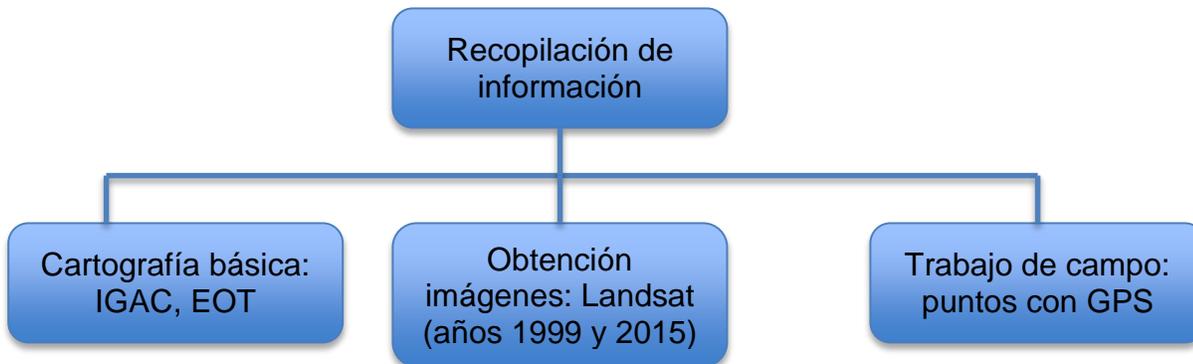


Figura 3. Proceso utilizado para la adquisición de la información.

La cartografía básica fue consultada y adquirida a través de los portales institucionales de las diferentes entidades territoriales encargadas de almacenar y manejar este tipo de datos, para este caso del IGAC por ser la entidad encargada de administrar esta información digital (Tabla 1). Adicionalmente se recurrió a la página del geoportal, la página del SIGOT y se utilizaron los servicios web geográficos de tipo WMF y WMS incluidos en la página de la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales.

Tabla 1. Fuente y adquisición de la información utilizada para el desarrollo del proyecto.

VARIABLE	FUENTE	FORMATO Y ESCALA
Cartografía básica	IGAC	Formato shp, WMS Escala 1:100.000
Cartografía de Páramos	IAvH	Formato shp, WMS Escala 1:100.000
Corine Land Cover	IGAC	Formato WMS Escala 1:100.000
DEM	NASA	90 metros
Imágenes Satelitales Landsat	USGS	
Software para el procesamiento de la información	Ilwis 3.2, Argis 10.1, Erdas 8.2	

5.2.2 Elaboración del mapa topográfico base e identificación de las imágenes satelitales.

Después de reunir la información cartográfica procedente de las fuentes secundarias se procedió a la elaboración de un mapa base con el cual se pudiera identificar espacialmente la ubicación geográfica del área de estudio utilizando los parámetros cartográficos determinados por el IGAC, así como el sistema de coordenadas y proyección para la zona (Fig. 4, Tabla 2).

Tabla 2. Sistema de referencia espacial para la zona objeto del estudio.

Sistema de Referencia	
Datum	MAGNA – SIRGAS
Elipsoide	WGS 84
Proyección	Transversa Mercator
Falso Norte	1.000.000
Falso Este	1.000.000
Meridiano Central	-77,077507916666
Latitud de Origen	4,59620041666666
Origen	Oeste
Unidad Lineal	Metros

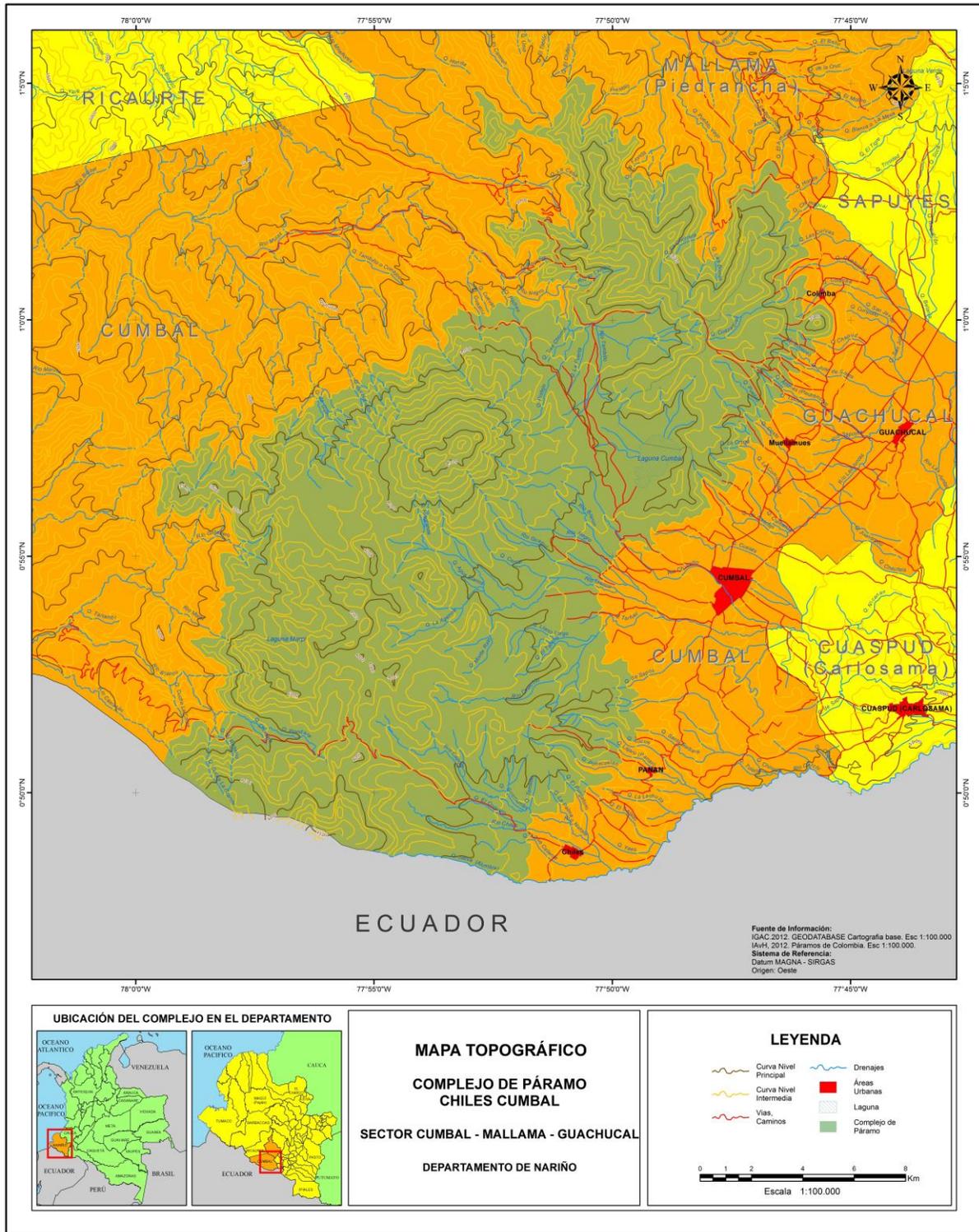


Figura 4. Mapa topográfico del área objeto del estudio.

5.2.3 Adquisición de las imágenes satelitales del área de estudio.

Las imágenes satelitales Landsat utilizadas para el estudio fueron descargadas de la página web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) el cual dispone de una gran cantidad de información espacial, destacándose el repositorio de imágenes Landsat de todas sus misiones. Los parámetros para las descargas de las imágenes corresponden al Path 010 y Row 059, cuya escena cubre totalmente el área de interés. Teniendo en cuenta la anterior característica, el periodo de tiempo analizado y la baja presencia de nubes lo cual permite realizar la interpretación de las coberturas, fueron seleccionadas dos imágenes Landsat 7 ETM para la identificación de coberturas. Cabe anotar que se utilizaron otras imágenes de apoyo para eliminar la presencia de nubes y sombras al momento de hacer la interpretación. (Tablas 3 y 4).

Tabla 3. Información de la imagen satelital para el año 1999.

IMAGEN 1999	
Identificador Imagen	LE70100591999318EDC00
Satélite	Landsat 7
Sensor	ETM +
Número de Bandas	8
Fecha de Toma	1999/11/14
Cobertura de Nubes	67.03
Observaciones	Ninguna

Vista Previa

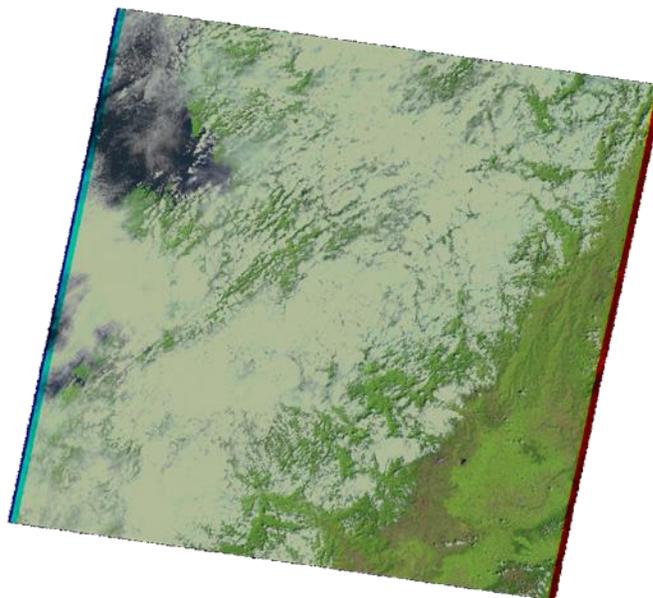
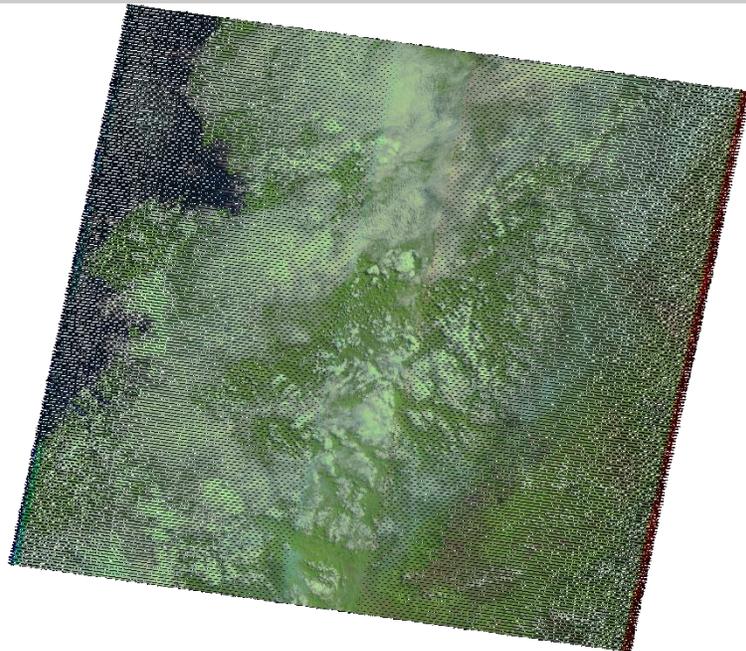


Tabla 4. Información de la imagen satelital para el año 2015.

IMAGEN 2015	
Identificador Imagen	LE70100592015122EDC00
Satélite	Landsat 7
Sensor	ETM +
Número de Bandas	8
Fecha de Toma	2015/05/02
Cobertura de Nubes	71.48
Observaciones	Bandeo

Vista Previa



Cabe anotar, que las imágenes anteriores fueron seleccionadas a pesar de contar con una alta presencia de nubes, ya que el área de interés corresponde al 10% del tamaño total de la escena, lo cual permite seleccionar un área con baja nubosidad.

5.2.4 Procesamiento digital de imágenes.

Para el procesamiento, clasificación e interpretación de las imágenes satelitales se tuvieron en cuenta las siguientes tres fases fundamentales que son el pre-procesamiento, procesamiento y el post procesamiento.

- **Etapas de pre-procesamiento.**

a. Correcciones Geométricas de la información: El procedimiento a utilizar para lograr la corrección de la información satelital es la georreferenciación, utilizando las herramientas propias de los programas SIG para este caso elErdas 9.2.

Este proceso pretende incluir parámetros geográficos a la imagen (Latitud, Longitud), el cual se lleva acabo identificando puntos de control en la cartografía base georeferenciada y en las imágenes satelitales del área de estudio tomando la mayor cantidad de puntos comunes con el fin de reducir los errores al mínimo. Este procedimiento se realizó con el programa Erdas Imagine 9.2, a partir de la técnica de identificación de puntos referenciales coincidentes.

b. Realce de la información digital: Con el fin de lograr un mejor efecto visual de las imágenes y de la información digital, se trabajó con algoritmos de realce, con el fin de aumentar la capacidad de salida y visualización de la imagen, para esto se aplicó la expansión lineal y la ecualización del histograma, así como una serie de filtros que permiten una mayor diferenciación de los elementos contenidos en la imagen.

A las imágenes originales se les realizó el realce de la información digital utilizando la expansión lineal de banda 3, 4 y 5(Figs. 5-7).

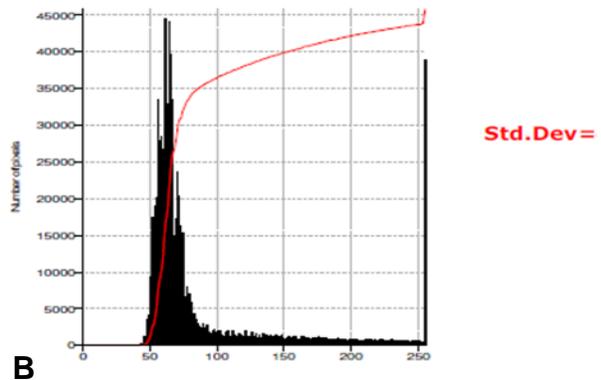
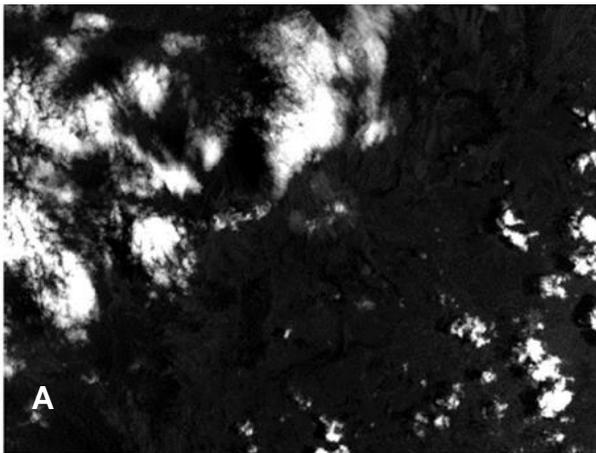


Figura 5.A).Imagen original sin realizar el proceso de realce B3; **B)**Histograma original de la imagen sin realizar la expansión lineal B3

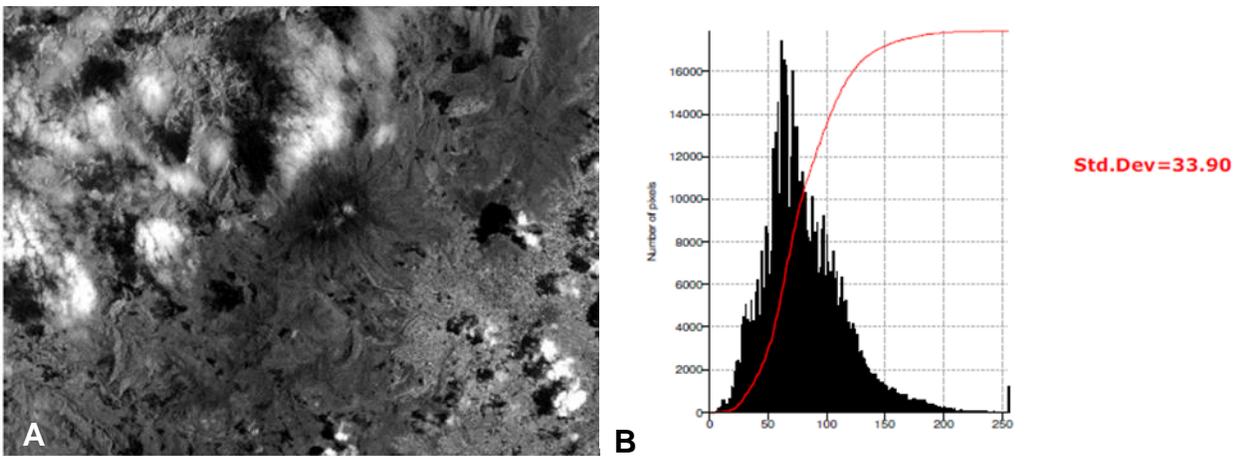


Figura 6. A) Imagen original sin realizar el proceso de realce B4; B) Histograma original de la imagen sin realizar la expansión lineal B4.

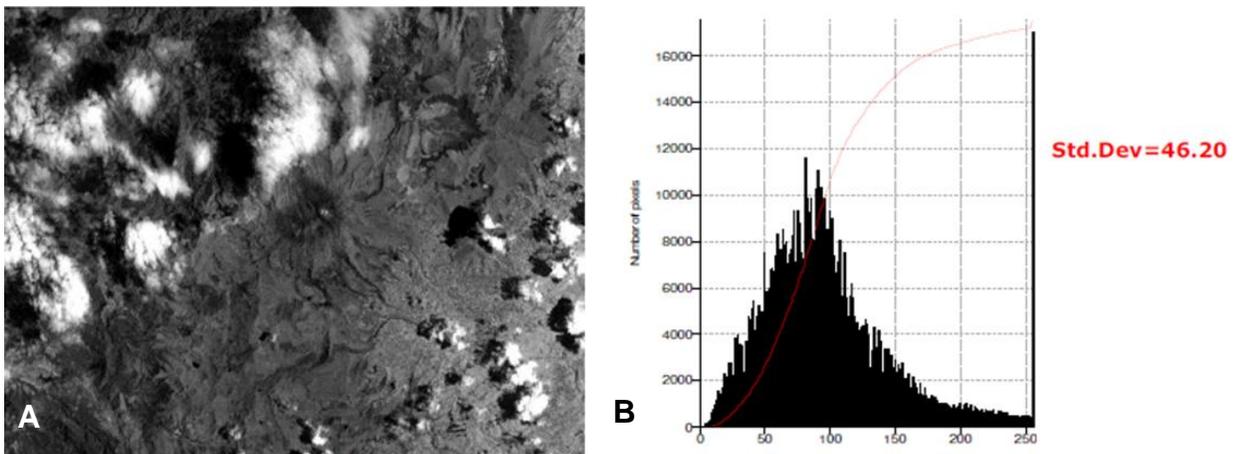


Figura 7. A). Imagen original sin realizar el proceso de realce B5; B) Histograma original de la imagen sin realizar la expansión lineal B5.

Como podemos ver en los histogramas de las correspondientes bandas el número de píxeles se distribuye de manera irregular en comparación con el número digital, lo que disminuye la capacidad de salida y visualización de la imagen, cabe destacar que las bandas que se utilizaron para este trabajo fueron la 5, 4 y 3 ya que son las que presentan mejor correlación.

Es necesaria la aplicación de un algoritmo de realce *expansión lineal* (Figs. 9-10), con el fin de mejorar la calidad y resolución de cada una de las bandas para posteriormente elaborar la composición en falso color.

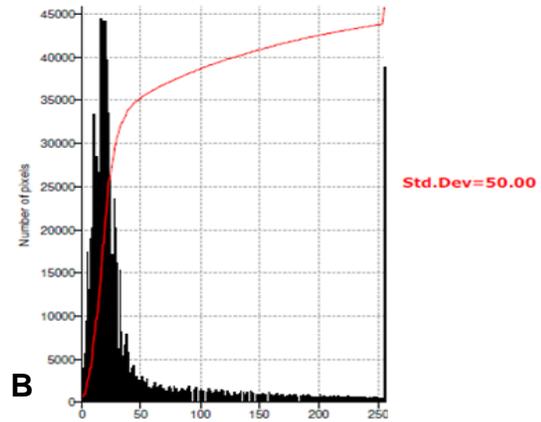
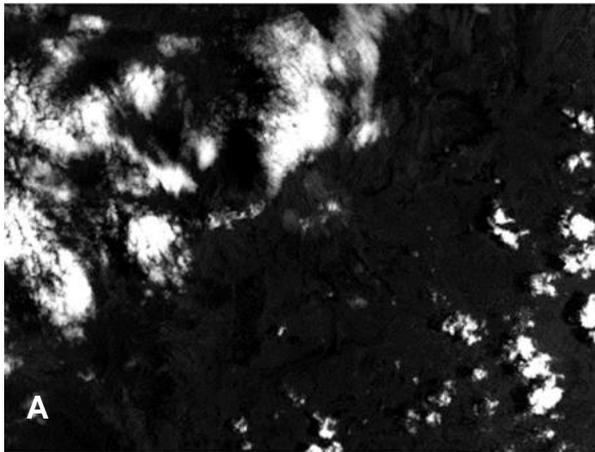


Figura 8.A) Realce de las imágenes utilizando la expansión lineal de B3; **B)** Resultado del histograma utilizando la expansión lineal de B3

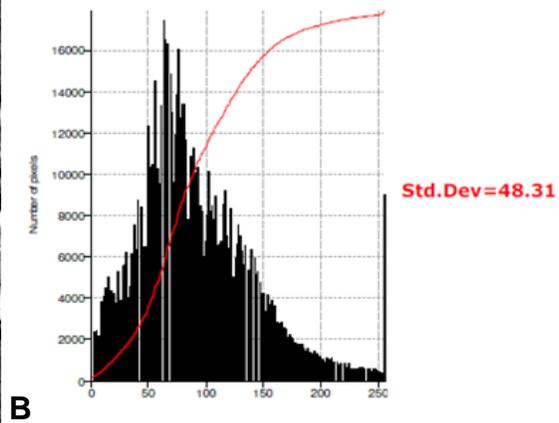
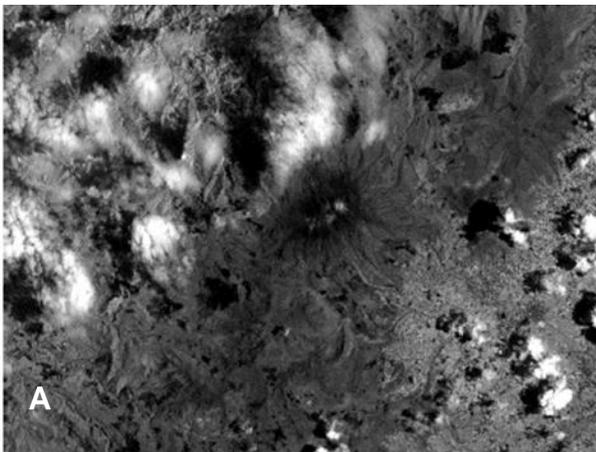


Figura 9.A) Realce de las imágenes utilizando la expansión lineal de B4; **B)** Resultado del histograma utilizando la expansión lineal de B4.

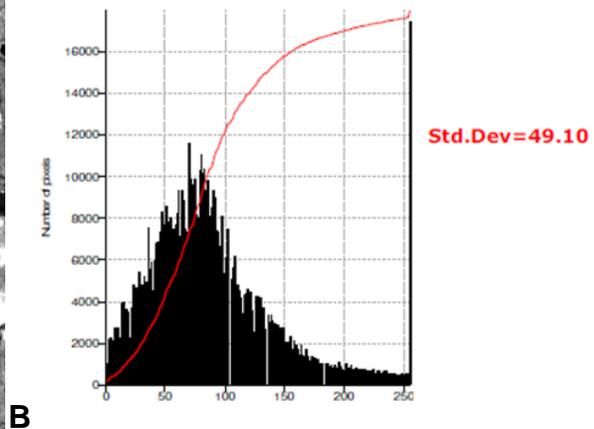
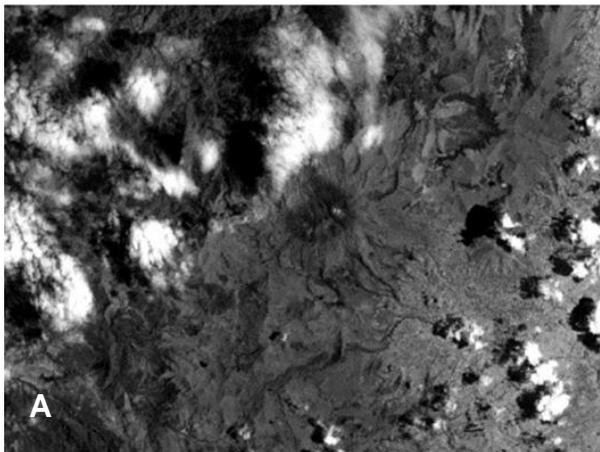


Figura 10. A) Realce de las imágenes utilizando la expansión lineal de B5; **B)** Resultado del histograma utilizando la expansión lineal de B5

Como se puede observar gracias a la aplicación de la expansión lineal en cada una de las bandas a trabajar se da una mejor distribución de los píxeles en relación con los valores digitales, mejorando la calidad de la imagen.

De igual manera las imágenes fueron sujetas a otro tipo de pre procesos antes de ser clasificadas, entre estos podemos destacar la corrección de nubes y sombras así como correcciones de tipo atmosféricas.

Cabe destacar que dicho proceso fue aplicado a cada una de las bandas y para cada uno de los periodos analizados en el proceso de clasificación y muestreo para lograr un mejor contraste de los objetos y por consiguiente un mejor grado de exactitud en la información obtenida.

c) Corrección por presencia de gaps o bandeo: Teniendo que cuenta que la imagen LE70100592015122EDC00 del año 2015 presenta bandeo por la falla que presento el Scan Line Corrector (SLC-off) en las imágenes Landsat 7 ETM+ adquiridas desde el 14 de Julio de 2003 (Fig 11A).

El SLC es la parte del sensor ETM+ que compensa el movimiento hacia adelante del satélite durante la adquisición de las imágenes. Sin el SLC, el área escaneada por el sensor delinea un patrón de zigzag, causando que parte de los datos registrados estén duplicados y, la parte correspondiente al terreno bajo el satélite, no sea registrada en absoluto, quedando las regiones duplicadas y las no registradas de la imagen con el valor 0. Esto significa que dichas imágenes contienen datos reales intercalados con franjas negras (el equivalente al valor 0 en todos los canales) (Rodríguez, 2009).

Por lo anterior fue necesario realizar la corrección mediante un algoritmo que implementa la metodología Phase 2 Gap-FillAlgorithm para corregir los valores perdidos en las escenas del Landsat 7 (Storey *et al.*, 2005) (Fig 11B).

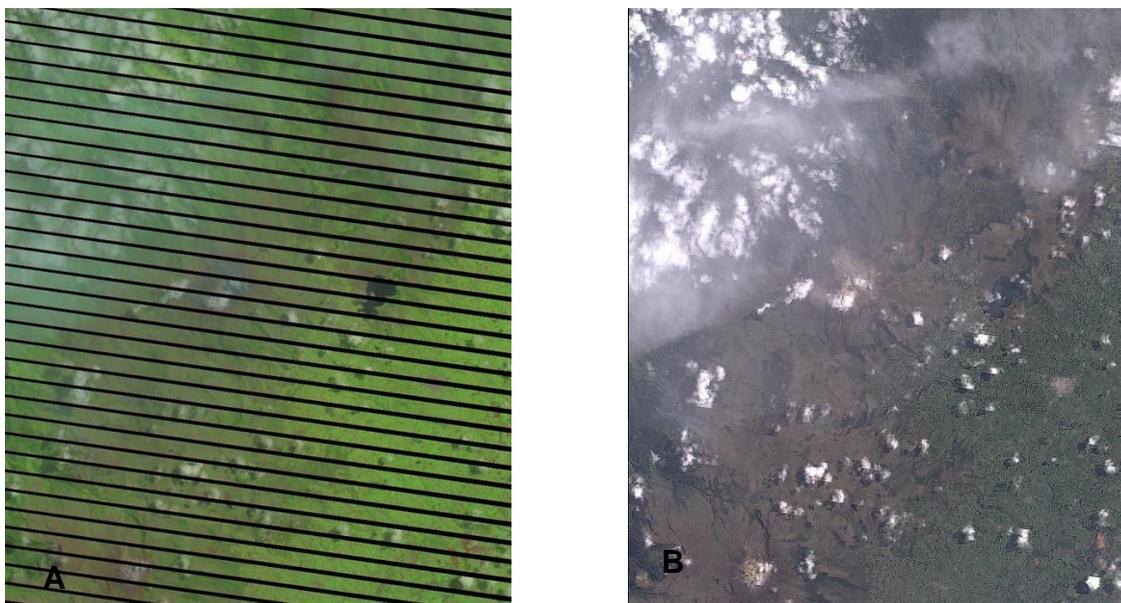


Figura 11. A) Imagen LE70100592015122EDC00 original. B) Imagen LE70100592015122EDC00 después de la corrección Phase 2 Gap-Fill.

- **Etapas de procesamiento digital de las imágenes.**

a) Determinación e identificación de las coberturas vegetales presentes en el páramo de Chiles - Cumbal: Para el desarrollo de esta actividad se hizo necesario la manipulación del software ERDAS Imagine 2011 y ArcGIS, como herramientas para el procesamiento digital de la imagen Landsat 7 para cada uno de los periodos.

Para este fin se realizó una adaptación de las coberturas establecidas en la metodología Corín Land Cover establecida para Colombia por el Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales del IDEAM, por lo tanto el resultado obtenido es una clasificación basada en una homologación (equivalencias- unificación) de la metodología mencionada (Tabla 5).

Esta leyenda Nacional de Coberturas de la tierra describe y contiene cada una de las unidades de coberturas de la tierra presentes en el territorio nacional y que además son cartográficas a escala 1:100.000.

Tabla 5. Codificación de las unidades de las coberturas de la tierra de acuerdo con la metodología Corine Land Cover adoptada para Colombia.

1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS
1.1 Zonas urbanizadas
1.1.1 Tejido urbano continuo
1.1.2 Tejido urbano discontinuo
1.2 Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación

-
- 1.2.1 Zonas industriales comerciales
 - 1.2.2 Red vial, ferroviarias y terrenos asociados
 - 1.2.3 Zonas portuarias
 - 1.2.4 Aeropuertos
 - 1.2.5 Obras hidráulicas
-

1.3 Zonas de extracción minera y escombreras

- 1.3.1 Zonas de extracción minera
 - 1.3.2 Escombreras y vertederos
-

1.4 Zonas verdes artificializadas, no agrícolas

- 1.4.1 Zonas verdes urbanas
 - 1.4.2 Instalaciones recreativas
-

2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS

2.1 Cultivos anuales o transitorios

- 2.1.1 Otros cultivos anuales o transitorios
 - 2.1.2 Algodón
 - 2.1.3 Arroz
 - 2.1.4 Papa
-

2.2 Cultivos permanentes

- 2.2.1 Otros cultivos permanentes
 - 2.2.2 Caña azúcar
 - 2.2.3 Caña panelera
 - 2.2.4 Banano y plátano
 - 2.2.5 Café
 - 2.2.6 Cacao
 - 2.2.7 Palma africana
 - 2.2.8 Frutales
 - 2.2.9 Cultivos confinados
-

2.3 Pastos

- 2.3.1 Pastos limpios
 - 2.3.2 Pastos arbolados
 - 2.3.3 Pastos enmalezados o enrastrados
-

2.4 Áreas agrícolas heterogéneas

- 2.4.1 Mosaico de cultivos
 - 2.4.2 Mosaico de pastos y cultivos
 - 2.4.3 Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
 - 2.4.4 Mosaico de pastos con espacios naturales
-

3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES

3.1 Bosques

- 3.1.1 Bosque natural denso
 - 3.1.2 Bosque natural fragmentado
 - 3.1.3 Bosque de galería y/o ripario
 - 3.1.4 Bosque de mangle
 - 3.1.5 Bosque plantado
-

3.2 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva

- 3.2.1 Pastos naturales y sabanas
- 3.2.2 Arbustos y matorrales

- 3.2.3 Vegetación esclerófila y/o espinosa
- 3.2.4 Vegetación de páramo y subpáramo
- 3.2.5 Vegetación rupícola

3.3 Áreas abiertas, sin o con poca vegetación

- 3.3.1 Playas, arenales y dunas
- 3.3.2 Afloramientos rocosos
- 3.3.3 Tierras desnudas o degradadas
- 3.3.4 Zonas quemadas
- 3.3.5 Zonas glaciares y nivales

4. ÁREAS HÚMEDAS

4.1 Áreas húmedas continentales

- 4.1.1 Zonas pantanosas
- 4.1.2 Turberas
- 4.1.3 Esteros
- 4.1.4 Vegetación acuática sobre cuerpos de agua

4.2 Áreas húmedas costeras

- 4.2.1 Marismas costeras
- 4.2.2 Salinas
- 4.2.3 Zonas intermareales

5. SUPERFICIES DE AGUA

5.1 Aguas continentales

- 5.1.1 Ríos (50m)
- 5.1.2 Lagunas, lagos y ciénagas naturales
- 5.1.3 Canales
- 5.1.4 Embalses y cuerpos de agua

5.2 Aguas marítimas

- 5.2.1 lagunas costeras
 - 5.2.2 Estuarios
 - 5.2.3 Mares y océanos
 - 5.2.4 Estanques para acuicultura
-

b) Adaptación de la leyenda Corín Land Cover para las coberturas vegetales presentes en el páramo de Chiles - Cumbal: En el área de estudio se identificaron las siguientes coberturas vegetales categorizadas según la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia y su codificación (Tabla 6).

Tabla 6. Adaptación Leyenda Corine Land Cover para las coberturas vegetales presentes en el páramo de Cumbal.

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL3
2.Territorios Agrícolas	2.1. Cultivos anuales o transitorios	2.1.4. Papa
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos

3. Bosques y Áreas Seminaturales	3.1. Bosques	3.1.3. Bosque Natural Fragmentado
	3.2. Áreas con vegetación herbácea y o arbustiva	3.2.4. Vegetación de páramo y subpáramo
	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	3.3.2. Afloramientos Rocosos 3.3.5. Zonas Glaciares y Nivales
5. Superficies de Agua	5.1. Aguas Continentales	5.1.2. Lagunas Lagos y Ciénegas naturales

Territorios Agrícolas: son los terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho. Comprende las áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas (IDEAM, 2010).

Tienen como característica fundamental, que después de la cosecha es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo. Comprende las áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo es generalmente corto (hasta 2 años). Llegando incluso a ser de sólo unos pocos meses, como por ejemplo los cereales (maíz, trigo, cebada y arroz), los tubérculos (papa y yuca), las oleaginosas (el ajonjolí y el algodón), la mayor parte de las hortalizas, algunas especies de flores a cielo abierto (Alcantara, 2014) (IGAC, 1999).

Cultivos Transitorios: Comprende las áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo es menor a un año, llegando incluso a ser de sólo unos pocos meses, como por ejemplo los cereales (maíz, trigo, cebada y arroz), los tubérculos (papa y yuca), las oleaginosas (el ajonjolí y el algodón), la mayor parte de las hortalizas y algunas especies de flores a cielo abierto. Tienen como característica fundamental, que después de la cosecha es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo (IGAC, 1999).

Tubérculos: Cobertura compuesta principalmente por cultivos transitorios de diferentes tipos de plantas que poseen tubérculos. Un tubérculo es un tallo subterráneo modificado y engrosado donde se acumulan los nutrientes de reserva para la planta. Esta cobertura la componen principalmente cultivos de papa y yuca. En la región andina, los cultivos de papa se presentan por encima de los 2.000 msnm (IGAC, 1999).

Papa: Cobertura terrestre propia de las zonas de montaña de clima frío, situadas entre los 2.000 y 3.000 msnm. La papa (*Solanum tuberosum L.*) es una especie de planta herbácea, tuberosa, perenne, perteneciente a la familia de las solanáceas, de tallo erecto o semidecumbente, que puede medir hasta un metro de altura (IGAC, 1999).

Áreas Agrícolas heterogéneas: Son unidades que reúnen dos o más clases de coberturas agrícolas y naturales, dispuestas en un patrón intrincado de mosaicos geométricos que hace difícil su separación en coberturas individuales; los arreglos geométricos están relacionados con el tamaño reducido de los predios, las condiciones

locales de los suelos, las prácticas de manejo utilizadas y las formas locales de tenencia de la tierra (IGAC, 1999).

Mosaico de pastos y cultivos: Comprende las tierras ocupadas por pastos y cultivos, en los cuales el tamaño de las parcelas es muy pequeño (inferior a 25 ha) y el patrón de distribución de los lotes es demasiado intrincado para representarlos cartográficamente de manera individual (IGAC, 1999).

Bosques y áreas seminaturales: Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales que son el resultado de procesos climáticos. También por aquellos territorios constituidos por suelos desnudos y afloramientos rocosos y arenosos, resultantes de la ocurrencia de procesos naturales o inducidos de degradación. Para la leyenda de coberturas de la tierra de Colombia, en esta categoría se incluyen otras coberturas que son el resultado de un fuerte manejo antrópico, como son las plantaciones forestales y la vegetación secundaria o en transición (IGAC, 1999).

Bosques: Comprende las áreas naturales o seminaturales, constituidas principalmente por elementos arbóreos de especies nativas o exóticas. Los árboles son plantas leñosas perennes con un solo tronco principal, que tiene una copa más o menos definida. De acuerdo con FAO (2001), esta cobertura comprende los bosques naturales y las plantaciones. Para la leyenda de coberturas de la tierra de Colombia, en esta categoría se incluyen otras formas biológicas naturales, tales como la palma y la guadua. Para efectos de clasificación de unidades de esta leyenda, los bosques son determinados por la presencia de árboles que deben alcanzar una altura del dosel superior a los cinco metros (IGAC, 1999).

Bosque Fragmentado: Comprende los territorios cubiertos por bosques naturales densos o abiertos cuya continuidad horizontal está afectada por la inclusión de otros tipos de coberturas como pasto, cultivos o vegetación en transición, las cuales deben representar entre 5% y 30% del área total de la unidad de bosque natural. La distancia entre fragmentos de intervención no debe ser mayor a 250 metros (IGAC, 1999).

Áreas con vegetación herbácea y o arbustiva: Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo natural y producto de la sucesión natural, cuyo hábito de crecimiento es arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales, con poca o ninguna intervención antrópica. Para la leyenda de CORINE Land Cover adaptada para Colombia, en esta clase se incluyen otros tipos de cobertura tales como las áreas cubiertas por vegetación principalmente arbustiva con dosel irregular y presencia de arbustos, palmas, enredaderas y vegetación de bajo porte (IGAC, 1999).

Vegetación de Paramo y subpáramo: Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente herbáceos desarrollados en forma natural en diferentes sustratos, los cuales forman una cobertura densa. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original ni sus características funcionales (IGAC, 1999).

Áreas abiertas sin o con poca vegetación: Comprende aquellos territorios en los cuales la cobertura vegetal no existe o es escasa, compuesta principalmente por suelos desnudos y quemados, así como por coberturas arenosas y afloramientos rocosos, algunos de los cuales pueden estar cubiertos por hielo y nieve (IGAC, 1999).

Afloramientos Rocosos: Son áreas en las cuales la superficie del terreno está constituida por capas de rocas expuestas, sin desarrollo de vegetación, generalmente dispuestas en laderas abruptas, formando escarpes y acantilados; así como zonas de rocas desnudas relacionadas con la actividad volcánica o glacial. Asociados con los afloramientos rocosos se pueden encontrar depósitos de sedimentos finos y gruesos, de bloques o de cenizas. Se localizan principalmente en las áreas de fuerte pendiente, donde predominan los sustratos de rocas duras y resistentes, asociadas con fallas y deformaciones geológicas, volcanes y glaciares de montaña, localizados en la región andina. Esta unidad también se puede encontrar en la Orinoquía y en la Amazonía asociada con los paisajes de serranías y afloramientos rocosos del Escudo Guayanés.

Zonas Glaciares y nivales: Áreas cubiertas por hielo en forma permanente y por nieve en forma ocasional. La cobertura de hielo se localiza en la cima y las laderas de algunas de las montañas más altas de los Andes colombianos, por encima de la cota de nivel de 4.900 msnm. Se caracteriza por presentar poca variación de su área en el tiempo, con tendencia a la lenta reducción debido al calentamiento de la atmósfera por el cambio climático, aunque eventos extremos como erupciones volcánicas pueden producir grandes pérdidas de las masas glaciares. La cobertura de nieve se puede presentar en la parte alta de las montañas por encima de la cota de nivel de 4.200 msnm, como resultado de la ocurrencia de nevadas, principalmente durante la temporada de lluvia. Aunque las nevadas pueden cubrir grandes extensiones de la alta montaña, su cobertura permanece unos pocos días, período durante el cual puede ser registrada en las imágenes de satélite y las fotografía aéreas (IGAC, 1999).

Superficies de Agua: Son los cuerpos y cauces de aguas permanentes, intermitentes y estacionales, localizados en el interior del continente y los que bordean o se encuentran adyacentes a la línea de costa continental, como los mares. Se incluyen en esta clasificación los fondos asociados con los mares, cuya profundidad no supere los 12 metros (IGAC, 1999).

Aguas Continentales: Son cuerpos de aguas permanentes, intermitentes y estacionales que comprenden lagos, lagunas, ciénagas, depósitos y estanques naturales o artificiales de agua dulce (no salina), embalses y cuerpos de agua en movimiento, como los ríos y canales (IGAC, 1999).

Lagunas, lagos y ciénagas naturales: Superficies o depósitos de agua naturales de carácter abierto o cerrado, dulce o salobre, que pueden estar conectadas o no con un río o con el mar. En la zona andina hay cuerpos de agua (lagos y lagunas) situados en alta montaña que constituyen las áreas de nacimiento de ríos. En las planicies aluviales se forman cuerpos de agua denominados ciénagas, que están asociadas con las áreas de desborde de los grandes ríos. Las ciénagas pueden contener pequeños islotes arenosos y lodosos, de formas irregulares alargadas y fragmentadas, de pequeña área, los cuales

quedan incluidos en el cuerpo de agua siempre que no representen más de 30% del área del cuerpo de agua (IGAC, 1999).

c. Clasificación y extracción de la información: En esta etapa del proceso se determinó la mejor composición de falso color que nos permitiera identificar las diferentes coberturas en el área de estudio (Fig. 12). Esta clasificación se realizó con la ayuda del software Erdas Imagine versión 9.2.

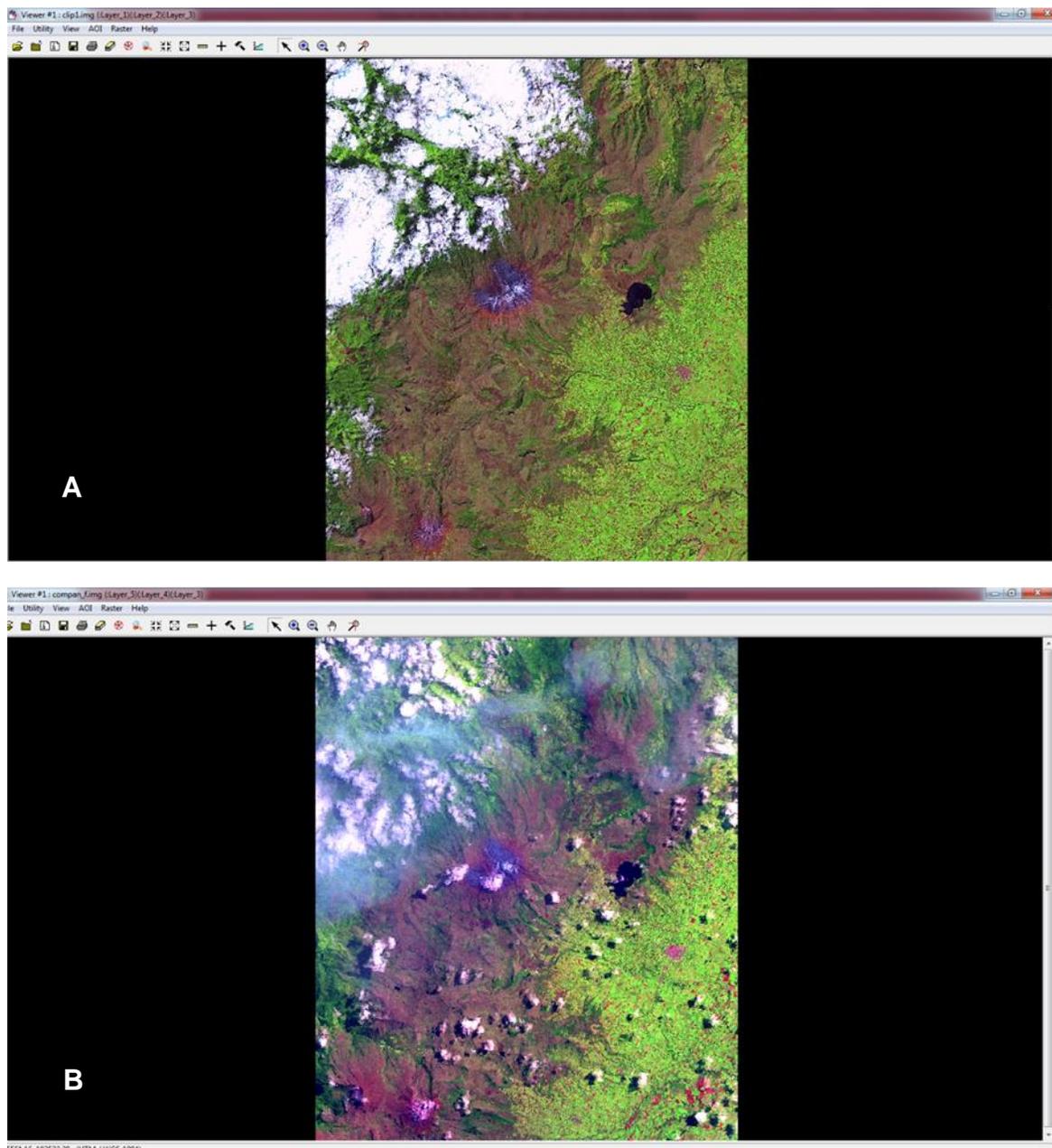


Figura 12. Composición falso color **A)** Periodo 1999; **B)** Periodo 2015.

d. Determinación del índice de vegetación (NDVI): El cálculo del índice de vegetación es un cociente que nos permite discriminar las masas vegetales. El resultado de estas operaciones permite obtener una nueva imagen donde se destacan gráficamente determinados píxeles relacionados con parámetros de vegetación.

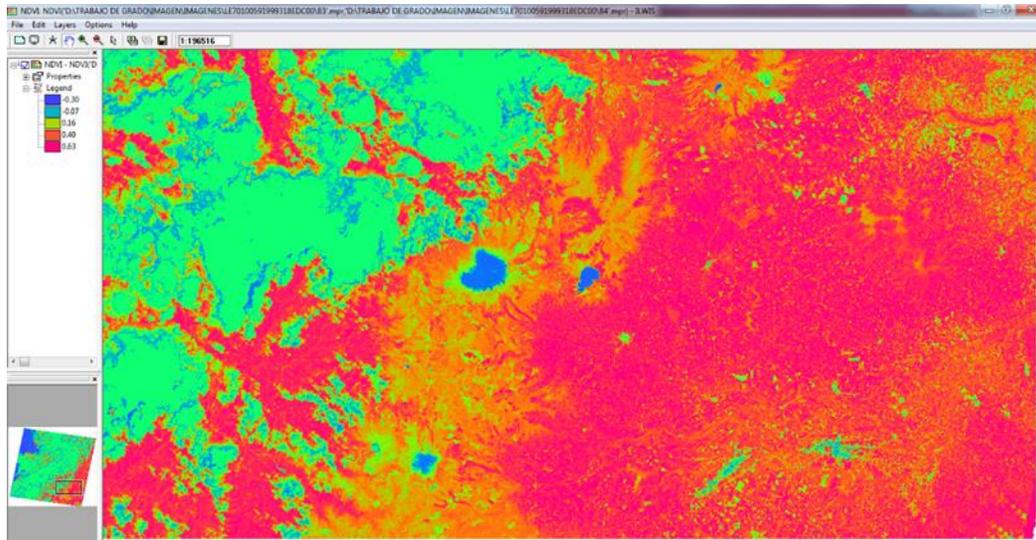


Figura 13.Cociente Índice de vegetación.

Como podemos observar en la imagen anterior gracias al cálculo del coeficiente de vegetación podemos distinguir que los cuerpos de agua se despliegan en color azul, los suelos desnudos y las zonas construidas con verde y la vegetación con rojo, esto sirve de ayuda como complementación y un insumo más para adelantar el correspondiente muestreo de las imágenes

e. Clasificación Supervisada. Imagen periodo 1999: El proceso mediante el cual se realiza la extracción de la información a nivel de coberturas en el área de estudio se llevó a cabo mediante la aplicación de una clasificación supervisada por el método de máxima probabilidad. En la cual se definen una serie de clases o categorías para posteriormente continuar con el muestreo e identificación de las áreas de entrenamiento. Para este propósito se tuvo en cuenta las características espectrales particulares para cada rango clase (Fig. 14).

El método seleccionado para realizar la clasificación de las coberturas vegetales fue el método de clasificación supervisada debido a que existe un cierto conocimiento previo del área de estudio y de los tipos de coberturas. Con base en este conocimiento se definieron y delimitaron sobre la imagen áreas de entrenamiento.

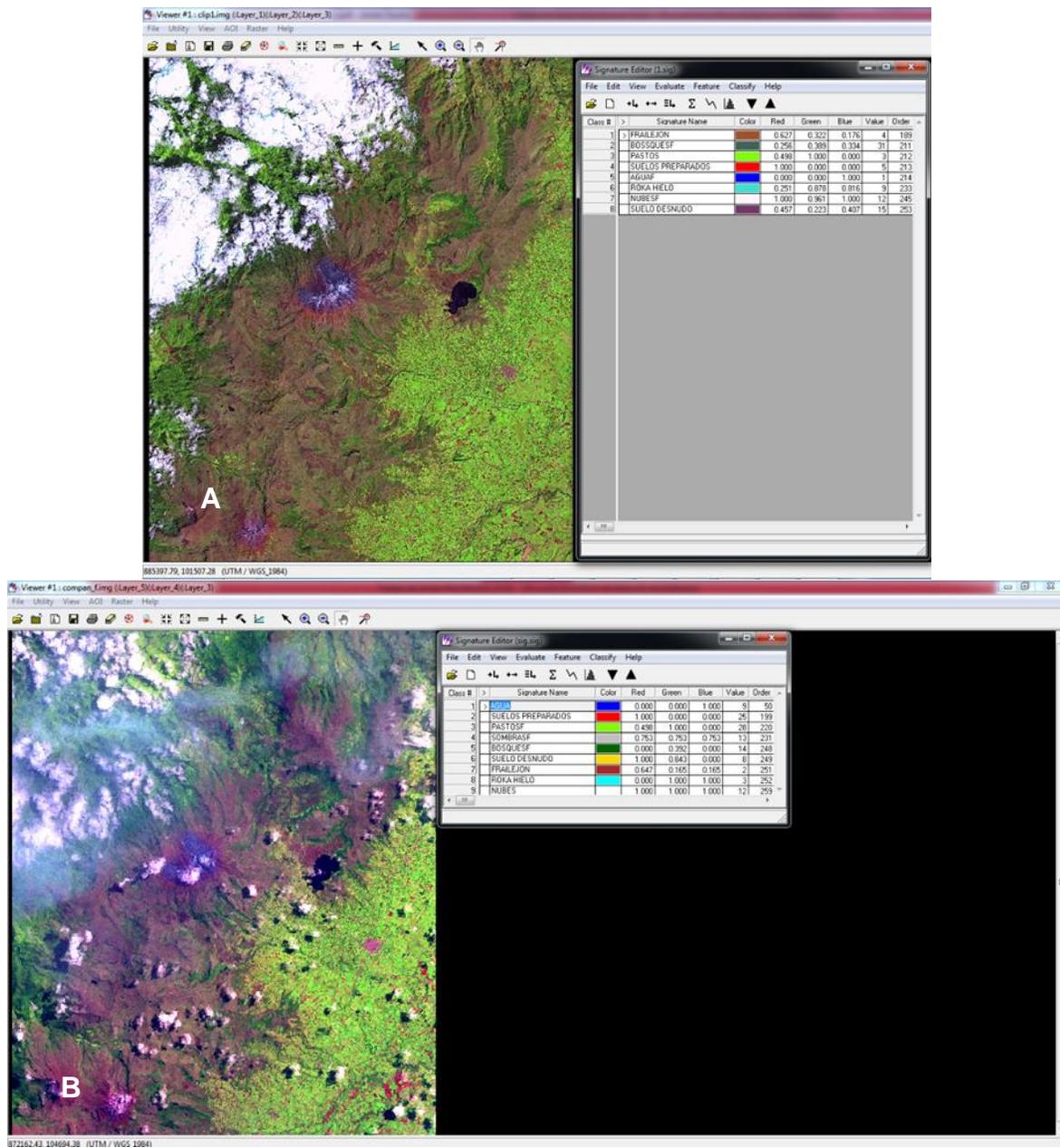


Figura 14. Clasificación supervisada de las imágenes. **A)** Periodo 1999; **B)** Periodo 2015.

Con el análisis de las clases individuales de las capas temáticas se procedió a la realización de la clasificación de la cobertura vegetal definitiva, teniendo en cuenta el método de clasificación supervisada. Se eligió el método de máxima probabilidad, el cual asume que los datos siguen una función de distribución normal para asignar la probabilidad de que un pixel cualquiera pertenezca a cada una de las clases. El pixel se asigna de este modo a la clase a la que es más probable que pertenezca. Este método puede usarse de forma automática, o puede establecerse algún criterio que permita asignar pixeles a una clase sólo si la probabilidad correspondiente es superior a determinado umbral (Universidad de Murcia, s.f.) (Figs. 15-18).

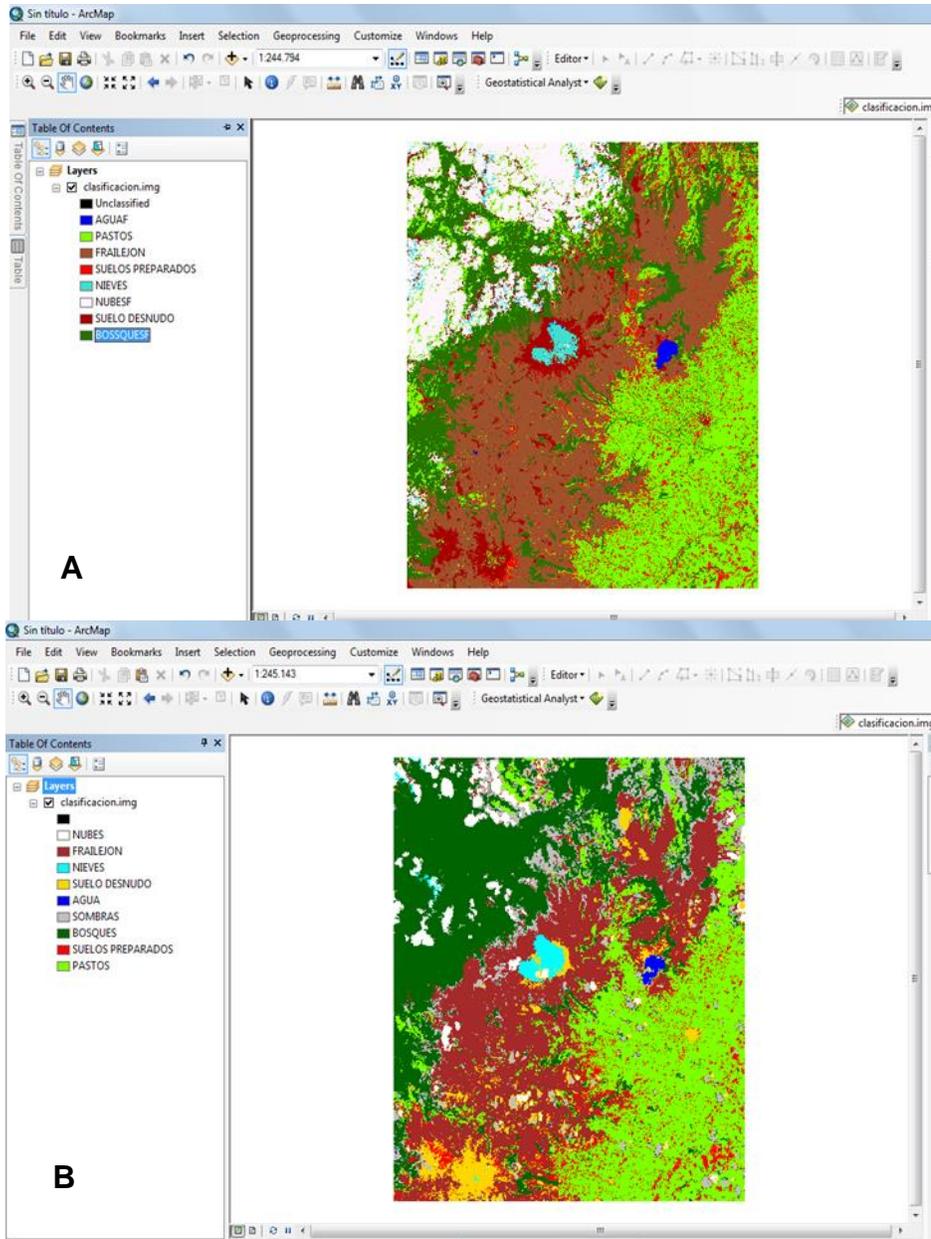


Figura 15. Clasificación método máxima probabilidad **A)** Periodo 1999; **B).**Periodo 2015

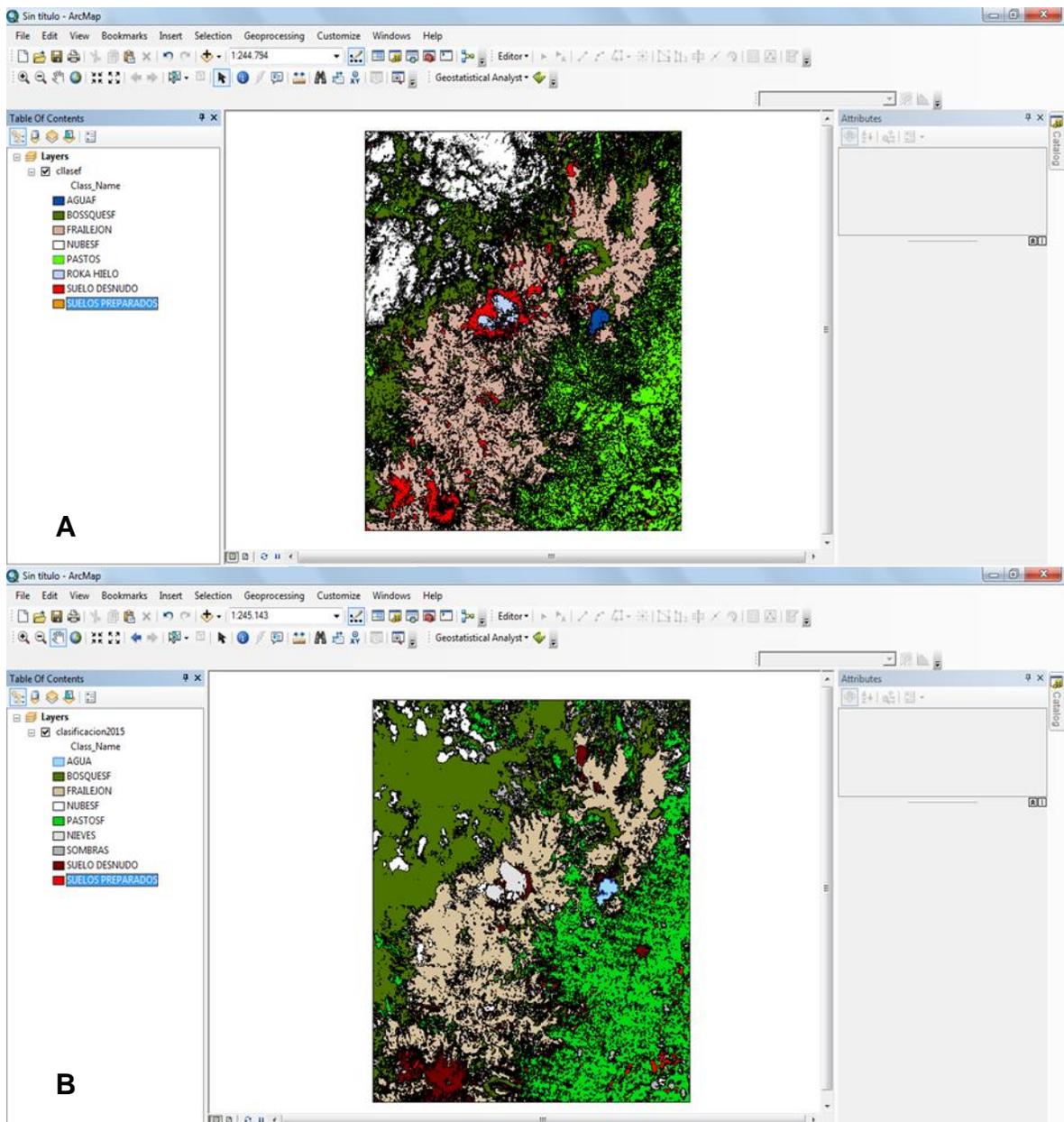


Figura 16. Vectorización. **A)** Periodo 1999; **B)** Periodo 2015.

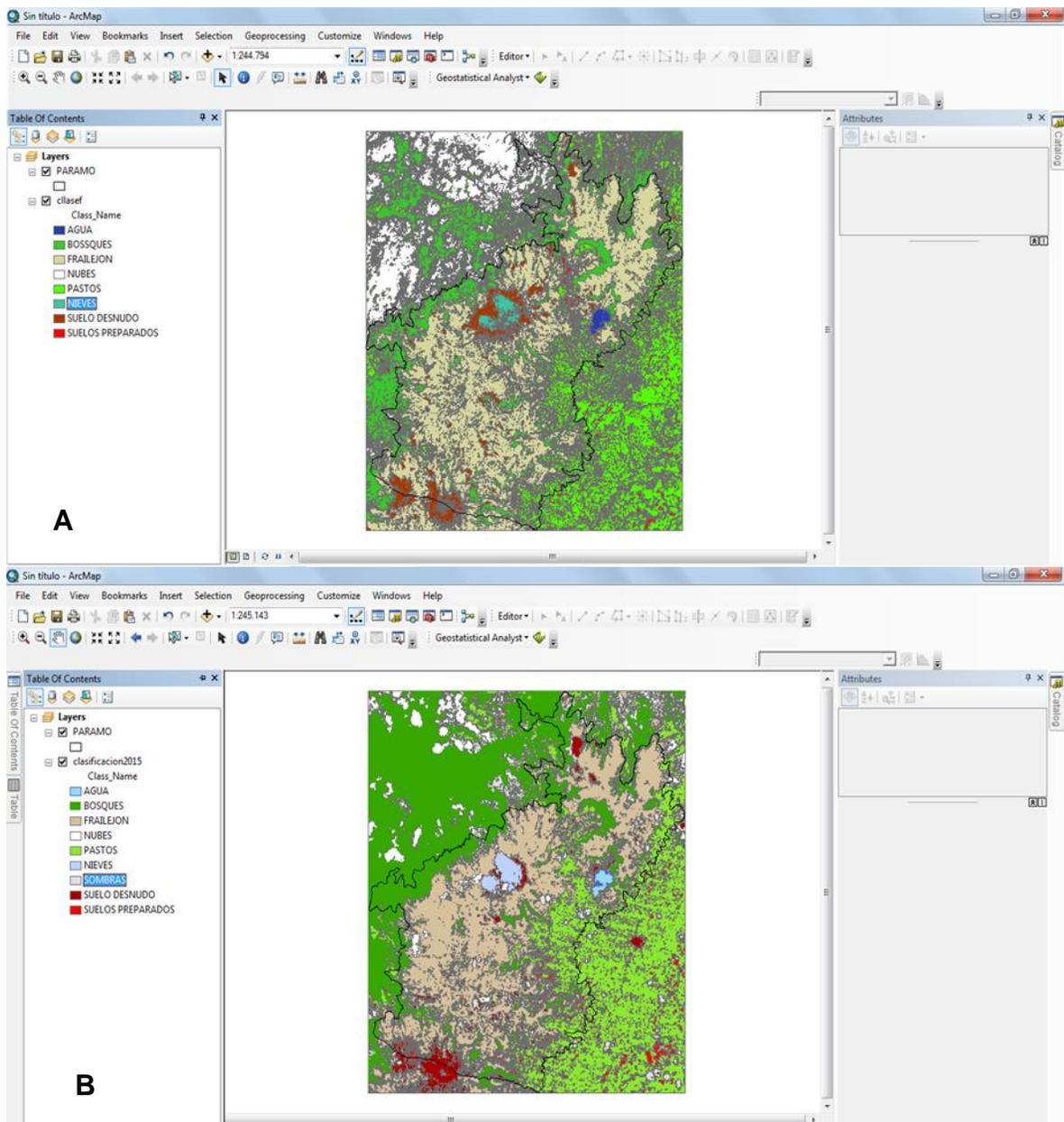


Figura 17. Recorte área de estudio. **A)** Periodo 1999; **B)** Periodo 2015.

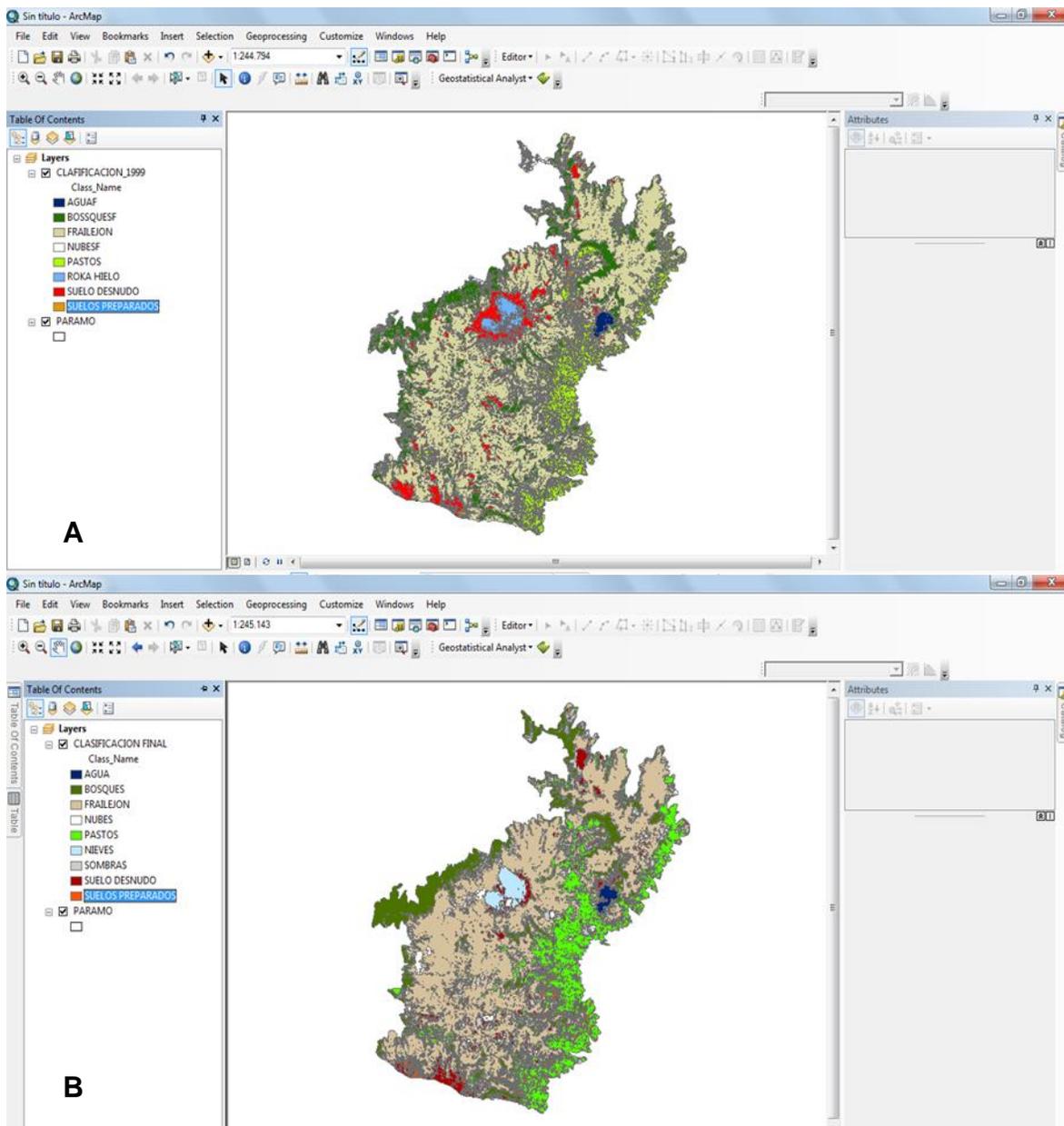


Figura 18. Imagen procesada. **A)** Periodo 1999; **B)** Periodo 2015

Por último y dentro de esta etapa de post-procesamiento se realizó el correspondiente trabajo de campo con el fin de realizar una verificación de lo interpretado en la imagen con lo que existe en terreno (Fig. 19), para ello se tomaron puntos de control con GPS en sitios puntuales y estratégicos, observando en ellos el tipo de cobertura predominante y validándolos con la cartografía producto de la interpretación de las imágenes satelitales. Es importante hacer este reconocimiento en campo porque nos ayuda a tener una visión más particular de la dinámica del cambio de tipo de cobertura en el páramo y observar las consecuencias que de ellos se deriva.

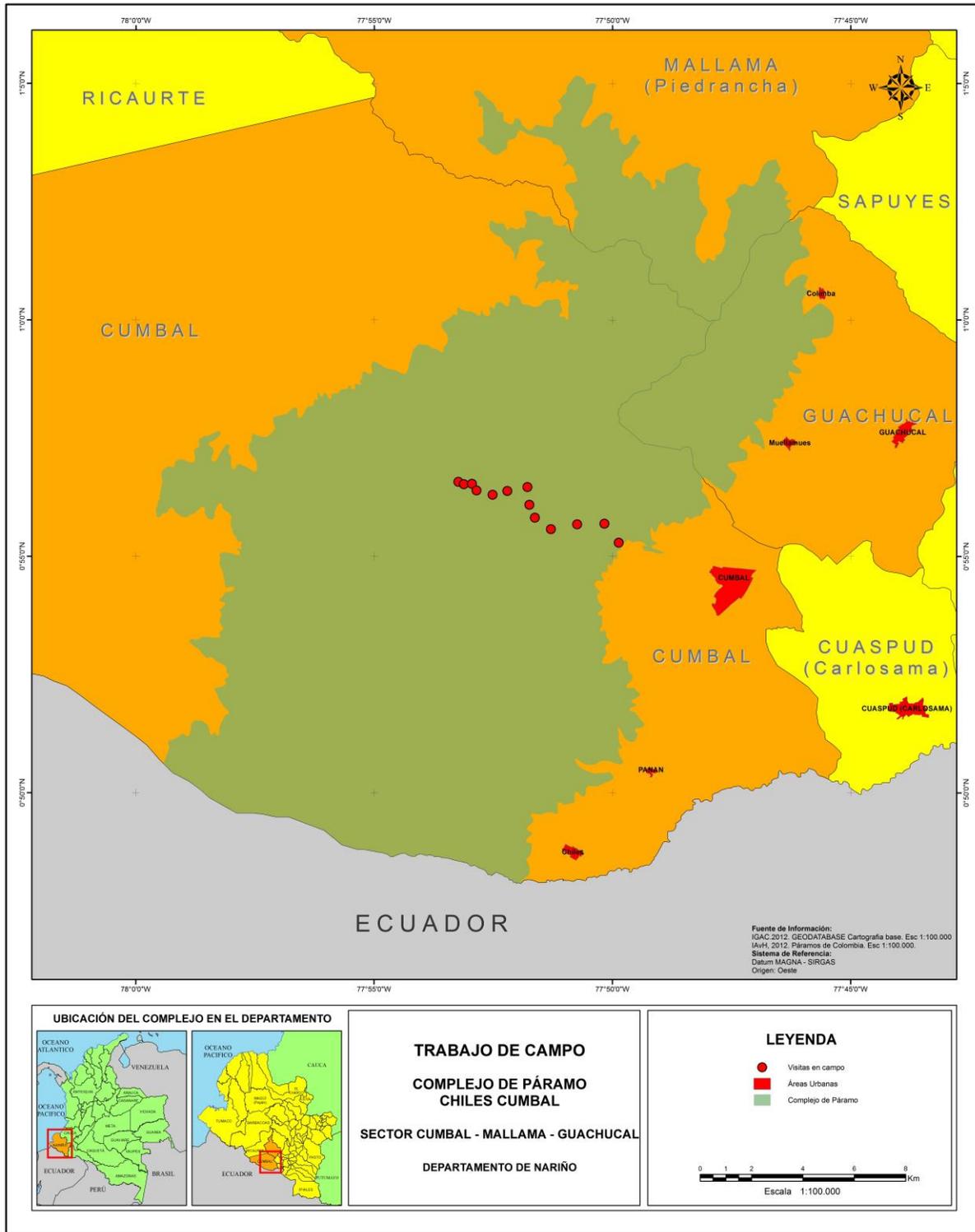


Figura 19. Trabajo de campo para la verificación de la información.

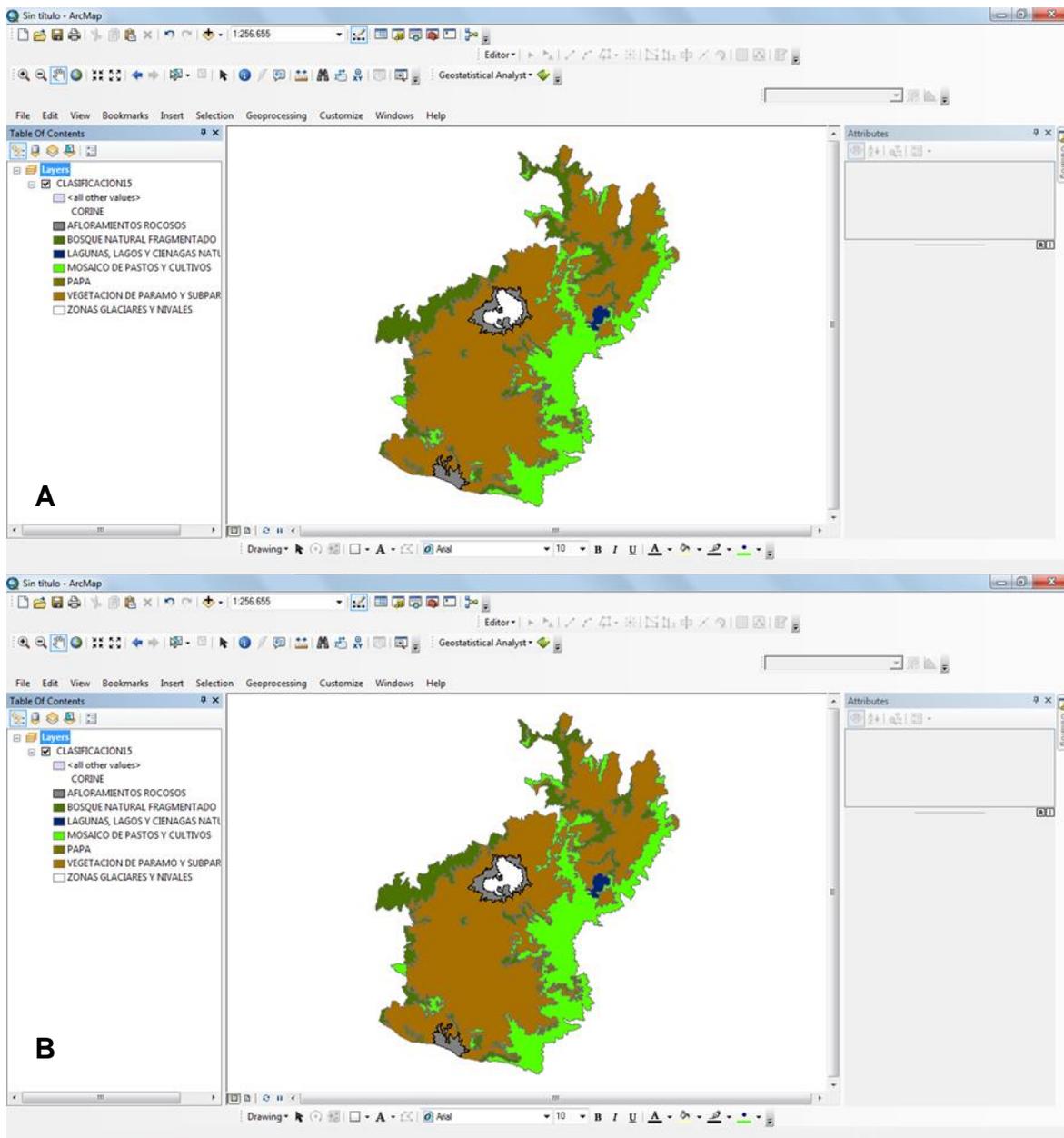


Figura 20.Imagen Normalizada. **A)** Periodo 1999; **B)** Periodo 2015

- **Etapas de post-procesamiento de las imágenes satelitales.**

Después de haber realizado la correspondiente clasificación de las imágenes para cada año objeto de estudio, se procedió a cuantificar cada una de las coberturas para cada periodo, para este fin se elaboraron los respectivos mapas y leyendas estableciendo una generalización de la cartografía (Tablas 7 y 8).

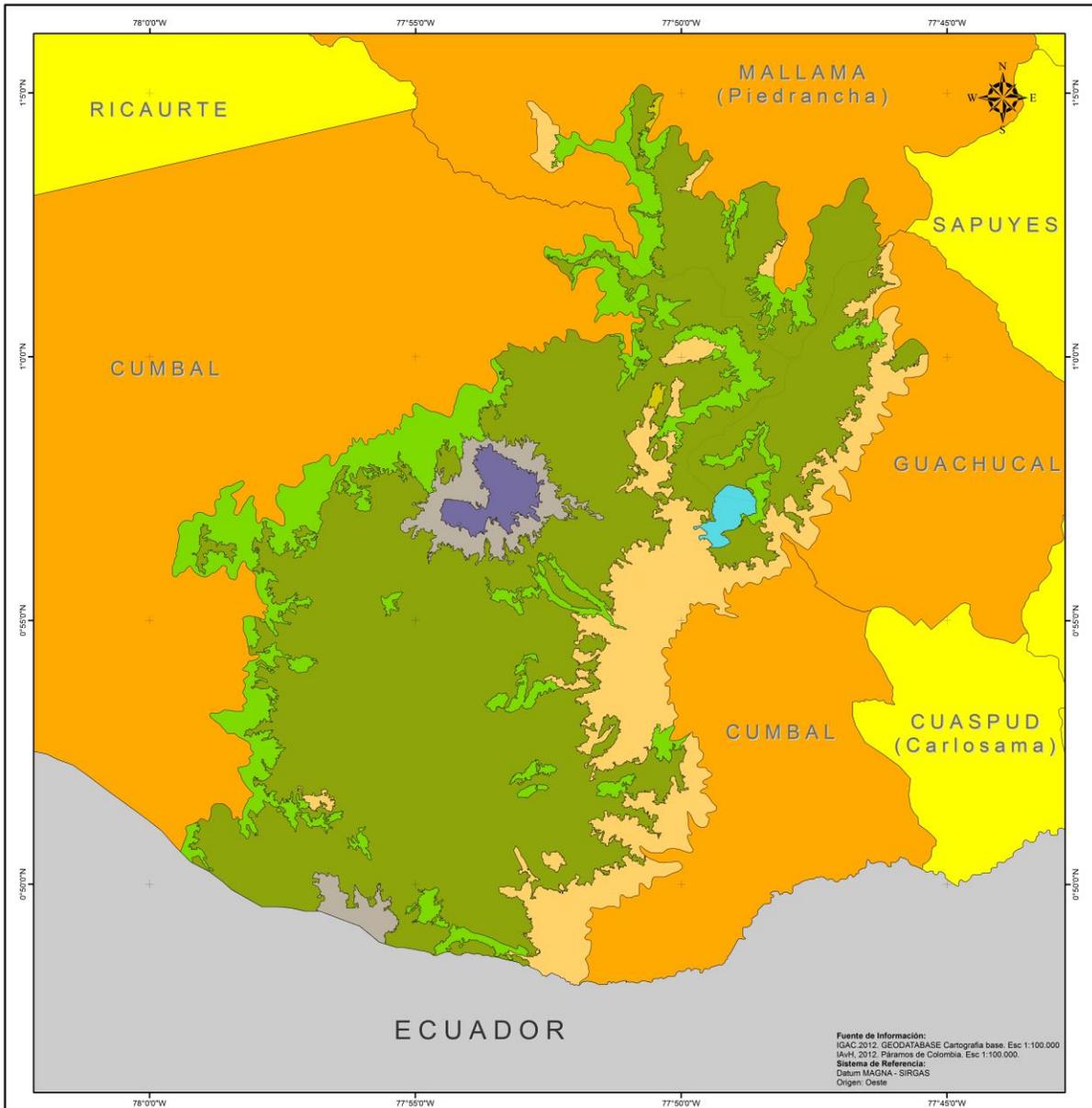
Tabla 7.Cuantificación de la cobertura vegetal para el periodo 1999

COBERTURA	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
2.1.4. Papa	63	0,2
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	6.305	15,7
3.1.3. Bosque Natural Fragmentado	5.883	14,7
3.2.4. Vegetación de páramo y subpáramo	25.775	64,3
3.3.2. Afloramientos Rocosos	1.290	3,2
3.3.5. Zonas Glaciares y Nivales	556	1,4
5.1.2. Lagunas Lagos y Ciénegas naturales	233	0,8

Tabla 8.Cuantificación de la cobertura vegetal para el periodo 2015

COBERTURA	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
2.1.4. Papa	515	1,3
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	8.659	21,6
3.1.3. Bosque Natural Fragmentado	5.076	12,7
3.2.4. Vegetación de páramo y subpáramo	23.298	59,7
3.3.2. Afloramientos Rocosos	1.060	2,6
3.3.5. Zonas Glaciares y Nivales	634	1,6
5.1.2. Lagunas Lagos y Ciénegas naturales	233	0,5

Después de realizado este procedimiento y con la ayuda del software especializado se realizó el cruce de información espacial y tabulación entre los dos productos cartográficos resultado de las clasificaciones anteriormente mencionadas, estableciendo un comparativo y analizando los resultados encontrados (Fig. 21).



**MAPA DE COBERTURA DEL SUELO
1999**

**COMPLEJO DE PÁRAMO
CHILES CUMBAL**

SECTOR CUMBAL - MALLAMA - GUACHUCAL

DEPARTAMENTO DE NARIÑO



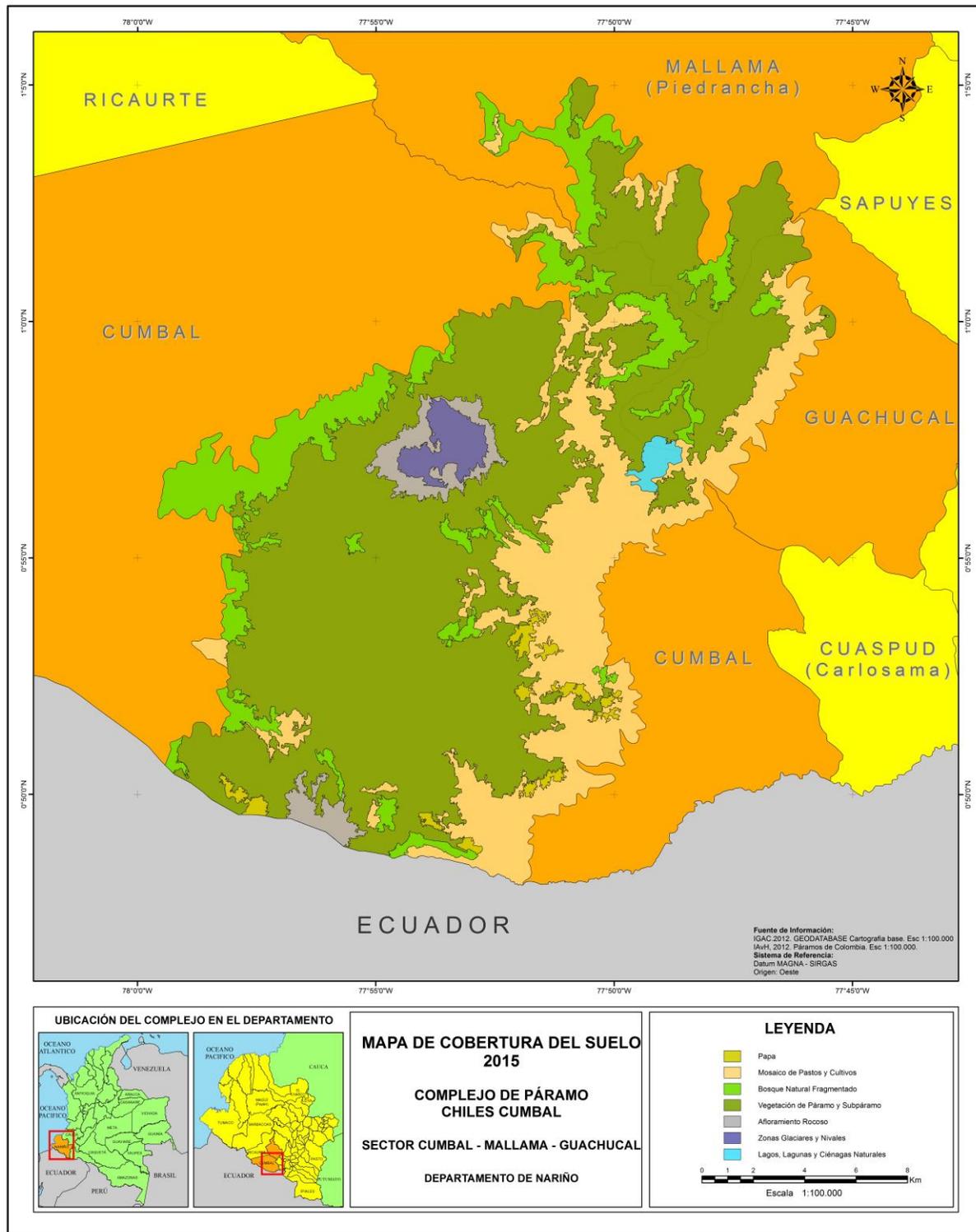


Figura 21. Mapas de coberturas para el complejo de páramo Chiles Cumbal. **A)** Periodo 1999; **B)** Periodo 2015.

6. RESULTADOS

6.1 CUANTIFICACIÓN DE LA COBERTURAS VEGETALES

En la siguiente figura se puede observar el cambio de cobertura vegetal en los periodos de tiempo evaluados.

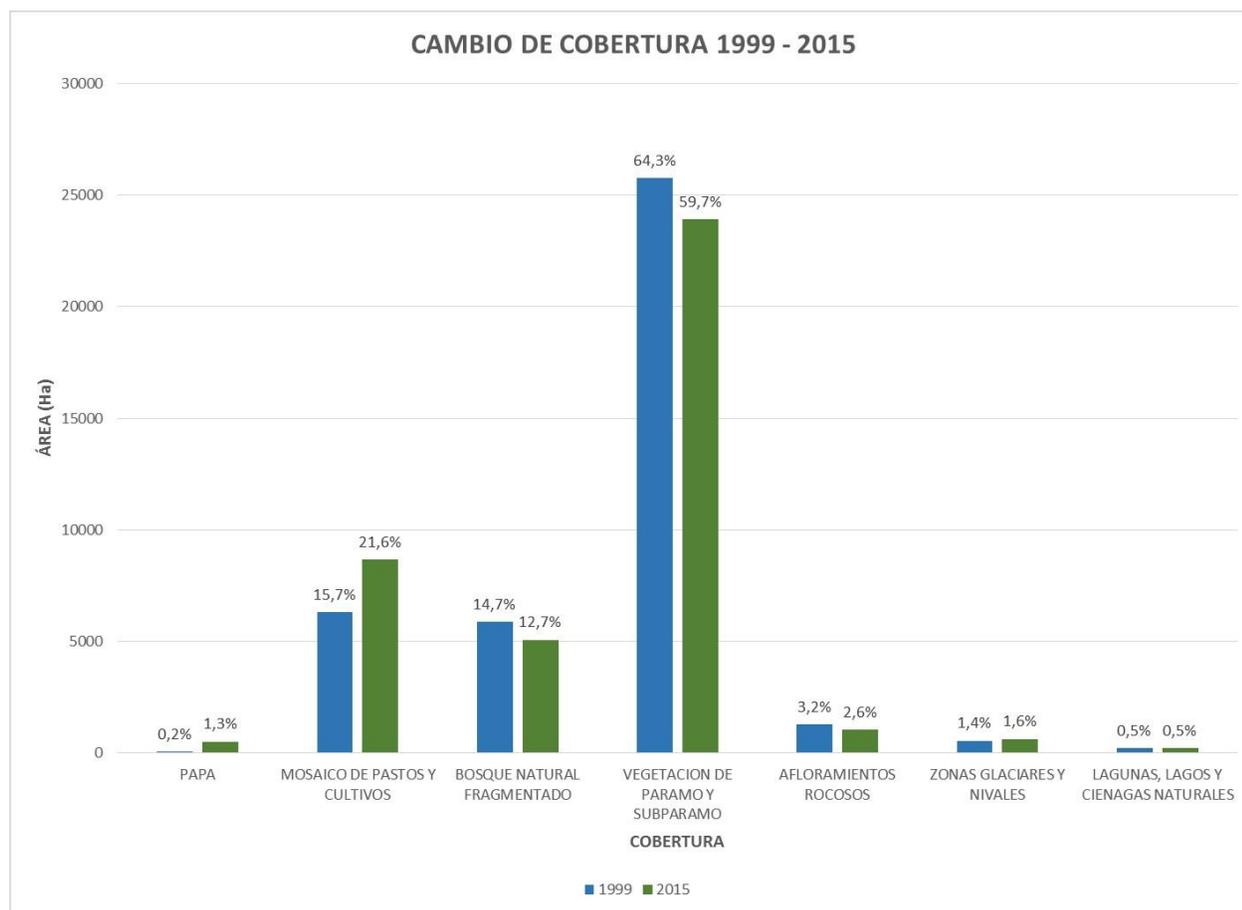


Figura 22. Histograma del cambio de cobertura vegetal para los dos periodos de tiempo

Papa. Se puede observar que la cobertura de cultivos de papa representa el 0,2% para el año 1999 y el 1,3% para el año 2015. Lo cual indica que se presentó un incremento de 452 hectáreas equivalentes al 1,1% de 63 (Ver Figura 22). Resultado que determina un proceso de ampliación de la frontera agrícola en este ecosistema de paramo. Este tipo de prácticas agrícolas para el cultivo de este tubérculo resultan ser bastante nocivas para el suelo, actividades que van desde la tala y quema de la vegetación nativa, hasta el arado, lo cual acelera los procesos de erosión. De igual manera hay que destacar que el cultivo de papa es uno de los que mayor necesita el uso de pesticidas, herbicidas y otro tipo de fertilizantes, y peor aún es que el uso de estos químicos se hace por parte de los

campesinos sin tener el apoyo técnico suficiente, lo que ocasiona mayor degradación del suelo y del ecosistema en general.

Mosaico de Pastos y Cultivos. Para el año 1999 representa el 15.7% del total de la cobertura vegetal, mientras que para el periodo 2015 un 21.6%. Presentando un incremento en este periodo de tiempo de 2.354 hectáreas equivalente al 5.9% (Ver Figura 22). Esta zona se encuentra localizada en la parte oriental del páramo de Cumbal, representada principalmente por pastos naturales y cultivos misceláneos, entre los que se destacan el kikuyo, la avena forrajera, el trébol blanco, entre otras. De igual manera en esta zona los suelos son dedicados al desarrollo de las actividades pecuarias principalmente de explotación extensiva con algún grado de intervención humana.

Hay que destacar que el aumento en este tipo de cobertura para los dos periodos de tiempo, demuestra el deterioro del ecosistema por ampliación de la frontera agrícola. Y muchos de los terrenos que se encuentran identificados como pastos corresponden a extensiones de terreno que de igual forma pueden estar siendo usados para el cultivo de la papa, pero al momento de la captura de la imagen satelital, pueden ser suelos que se encuentran en descanso. Ya que es una práctica agrícola que comúnmente se practica para que la tierra no pierda su fertilidad, normalmente después del cultivo el terreno se utiliza para el pastoreo con el fin de recuperar de nuevo sus propiedades químicas y físicas. Pero cuando los suelos son dedicados al pastoreo, el pisoteo del ganado acelera los procesos de erosión, lo que conlleva a un impedimento en la regeneración y recuperación de la vegetación nativa de paramo.

Bosque Fragmentado. Esta cobertura representa el 14.7% de la cobertura vegetal de paramo para el periodo 1999, mientras que para el periodo 2015 el 12.7%. Para este periodo de tiempo se presentó un decrecimiento del 2.01% con una pérdida de 807 hectáreas (Ver Figura 22), principalmente por el aumento de las actividades humanas sobre la parte alta de la montaña y el crecimiento poblacional.

Vegetación de Paramo y Subpáramo. Esta cobertura representa el 64.3% del total para el año 1999, mientras que para el año 2015 encontramos un 59.7%. Es decir que se presentó una disminución del 4.6%, para un total de 1.847 hectáreas (Ver Figura 22). Hay que tener en cuenta que esta cobertura es la que mayor predominancia tiene en cada uno de los periodos de tiempo y representa gran parte del área de la zona de estudio. Desde el punto de vista ambiental y ecológico su importancia es muy relevante ya que es en esta zona donde encontramos la vegetación característica de este tipo de ecosistema, que se caracteriza por presentar rasgos particulares que le ayudan adaptarse a este tipo de condiciones, y sirve además como condensadoras de la humedad presente en el aire, que se convierte en gotas de agua, para posteriormente formar espejos de agua, lagunas,

Ciénegas ríos y quebradas. Razón por la cual son los páramos considerados acumuladores y reguladores de agua.

La pérdida de 1847 hectáreas de paramo durante este periodo de tiempo analizado refleja el drástico cambio que se está generando sobre dicho ecosistema, a pesar de que se ha hecho un esfuerzo por su conservación, la intervención humana no permite recuperar la vegetación nativa. Grandes zonas de paramo están siendo destruidas para cultivarlas, deteriorando el paisaje y la diversidad de flora y fauna existente en la zona.

Afloramientos Rocosos. Esta cobertura representa el 3.2% para el año 1999 mientras que para año 2015 constituye un 2.6%, lo que muestra una disminución del 0.6% que corresponde a 230 hectáreas (Ver Figura 22). Hay que destacar que la diferencia de esta categoría no es muy significativa y se ha mantenido relativamente estable. La diferencia de esta área está directamente relacionada con la categoría de Zonas Glaciales y Nivales, es decir que cuando en un periodo de tiempo disminuye la zona cubierta por nieve aumenta la categoría de afloramientos rocosos, ya que se observa mayor superficie descubierta y viceversa.

Zonas Glaciares y Nivales. Esta cobertura representa el 1.4% del área total en el periodo 1999 mientras que en el año 2015 es de un 1.6%. Teniendo como resultado un incremento del 0.2% correspondiente a un total de 78 hectáreas (Ver Figura 22). Podemos afirmar que este tipo de cobertura se mantiene estable para los dos periodos de tiempo.

Cabe aclararla influencia que tiene la fecha en que se tomaron las imágenes, ya que en épocas de invierno la capa de hielo suele aumentar con respecto a las épocas de verano. Sin embargo para este análisis en general podemos afirmar que el cambio no es significativo y no se debe a factores de tipo antrópico.

Lagunas, lagos y Ciénagas Naturales. Esta cobertura para ambos periodos de tiempo analizados presenta un 0.5% del total del área de estudio (Ver Figura 22). Lo que indica que se ha mantenido estable durante el periodo de tiempo estudiado. Aunque, se debe tener en cuenta que es muy probable que en los cuerpos de agua existente en la zona se hayan dado procesos de sedimentación y eutrofización, que estén generando pérdida del espejo de agua en los lagos y lagunas, los cuales no se evidencian debido a la resolución espacial de la imagen clasificada, ya que el nivel de detalle es muy general para evidenciar estos cambios.

6.2 MATRIZ DE CAMBIOS COBERTURA VEGETAL ENTRE LOS AÑOS 1999 – 2015.

En la Tabla 9 se presentan los cambios de la cobertura vegetal, la cual permite dar una visión más clara de los procesos que la cobertura ha presentado durante un periodo de tiempo.

Tabla 9. Cambios de la cobertura vegetal entre los años 1999 – 2015

Coberturas		2015 (Área Ha)						
		Papa	Mosaico de Pastos y Cultivos	Bosque Fragmentado	Vegetación de Paramo y Subpáramo	Afloramiento Rocosos	Zonas Glaciares y Nivales	Lagunas lagos y Ciénagas Naturales
1999 (Área Ha)	Papa		24		39			
	Mosaico de Pastos y Cultivos	108	5733	131	330			3
	Bosque Fragmentado	1	822	4081	975	2		2
	Vegetación de Paramo y Subpáramo	407	2072	864	22291	132	1	8
	Afloramientos Rocosos			0	287	890	114	

Para los cambios de la cobertura vegetal encontrados en la zona del páramo de Cumbal, se realizó la matriz de cambio de cobertura, en donde se establece la dinámica, de cambio en cada periodo de este estudio entre 1999 – 2015 (Tabla 10). Para ello se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

a. Sin Cambio. Áreas de las diferentes coberturas que no han sufrido cambios en el periodo determinado en este estudio.

b. Recuperación: Áreas de cobertura que por procesos naturales y/o antrópicos han permitido la recuperación del material vegetal, pasando de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, y bosque fragmentado a bosque denso. Y de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales a bosque fragmentado. A partir de intervención natural y antrópica, como con procesos de reforestación y buenas prácticas agropecuarias, estas con mínima incidencia en el territorio.

c. Deforestación: Áreas que han sufrido tala o pérdida de coberturas forestales, en el bosque denso y en herbazal denso.

d. Intervención Actividad agrícola: Está asociada al cambio de cobertura de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, bosque denso, bosque fragmentado a mosaico

de cultivos, donde generalmente se encuentran cultivos de papa y/o producción de vegetal.

e. Intervención Actividad Pecuaria: Esta intervención esta direccionada a actividades ganaderas, principalmente la producción lechera, este cambio se da entre mosaico de cultivos, bosque denso, bosque fragmentado a mosaico de, pastos con espacios naturales.

Tabla 10.Matriz de cambios cobertura vegetal entre los años 1999 – 2015

		2015						
1999	Coberturas	Papa	Mosaico de Pastos y Cultivos	Bosque Fragmentado	Vegetación de Paramo y Subpáramo	Afloramiento Rocosos	Zonas Glaciares y Nivales	Lagunas lagos y Ciénagas Naturales
	Papa	No aplica	Intervención Pecuaria	No aplica	Recuperación	No aplica	No aplica	No aplica
	Mosaico de Pastos y Cultivos	Intervención Agrícola	Sin Cambio	Recuperación	Recuperación	No aplica	No aplica	Recuperación
	Bosque Fragmentado	Intervención Agrícola	Intervención Pecuaria	Sin Cambio	Recuperación	Deforestación	No aplica	Recuperación
	Vegetación de Paramo y Subpáramo	Intervención Agrícola	Intervención Pecuaria	Intervención Agrícola	Sin Cambio	Deforestación	Deforestación	Recuperación
	Afloramientos Rocosos	No aplica	No aplica	No aplica	Recuperación	Sin Cambio	Recuperación	No aplica
	Zonas Glaciares y Nivales	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Deforestación	Sin Cambio	No aplica
	Lagunas lagos y Ciénagas Naturales	No aplica	Intervención Agrícola	No aplica	Recuperación	No aplica	No aplica	Sin Cambio

De acuerdo al mapa de cambios de cobertura vegetal (Fig. 23), generado en este estudio y la matriz de cambios para el periodo 1999-2015, podemos afirmar:

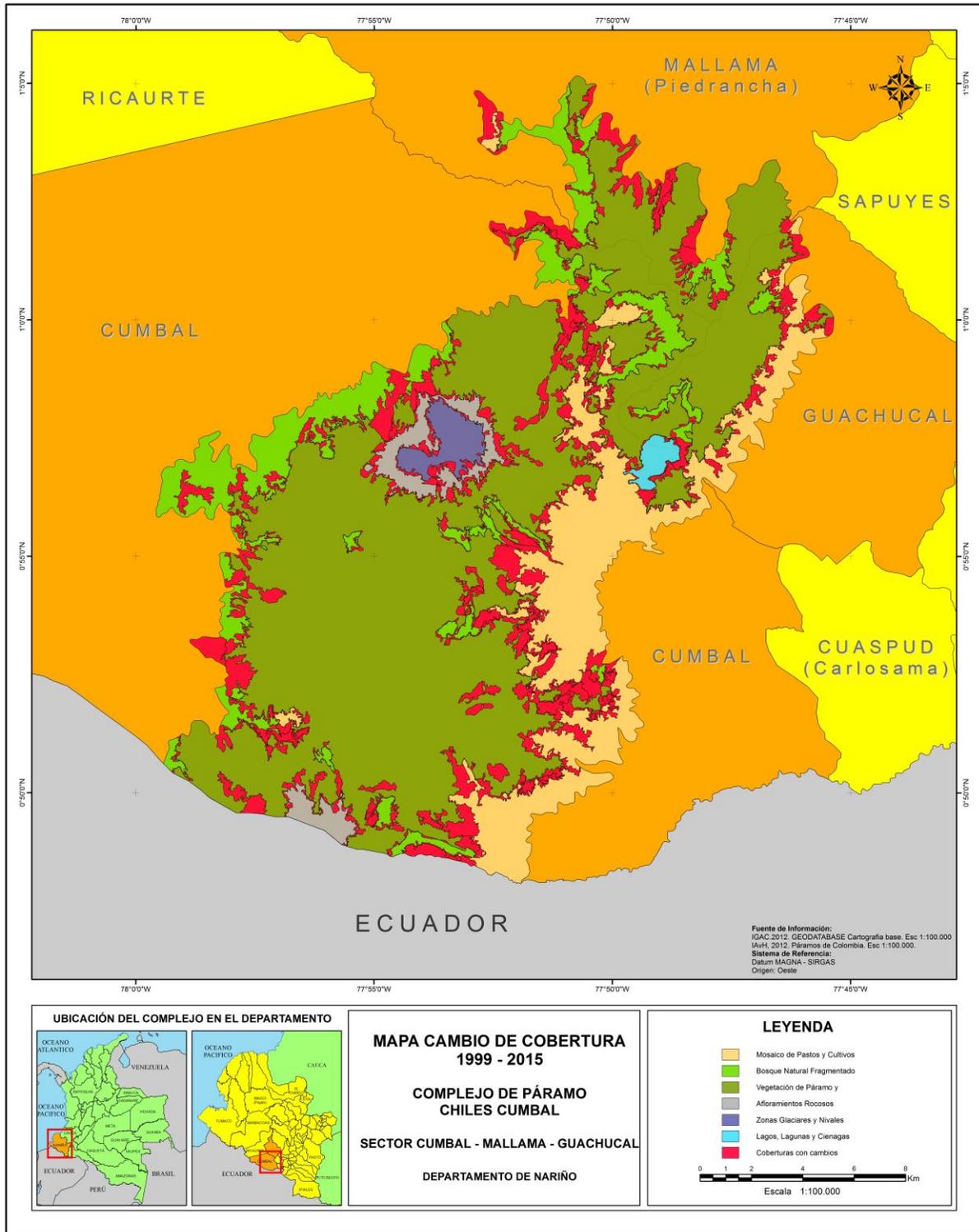


Figura 23. Mapa de cambio de la cobertura vegetal para el complejo páramo de Chiles-Cumbal entre los años de 1999 y 2015.

Papa: Para el año 1999 el área de cultivos de papa era en total de 63 hectáreas, de las cuales para el año 2015, 24 hectáreas pasaron a ser mosaico de pastos y cultivos y 39 hectáreas se convirtieron en vegetación de paramo y subpáramo (Fig. 24). Es decir que se logró una recuperación de cierta parte del ecosistema, sin embargo también se presentó un incremento de la actividad agropecuaria, ya que muchos terrenos que eran ocupados para la siembra de papa, pasaron a rotación y descanso, convirtiéndose en potreros aptos para el pastoreo. Actividad que de igual forma genera efectos negativos para la zona de paramo.

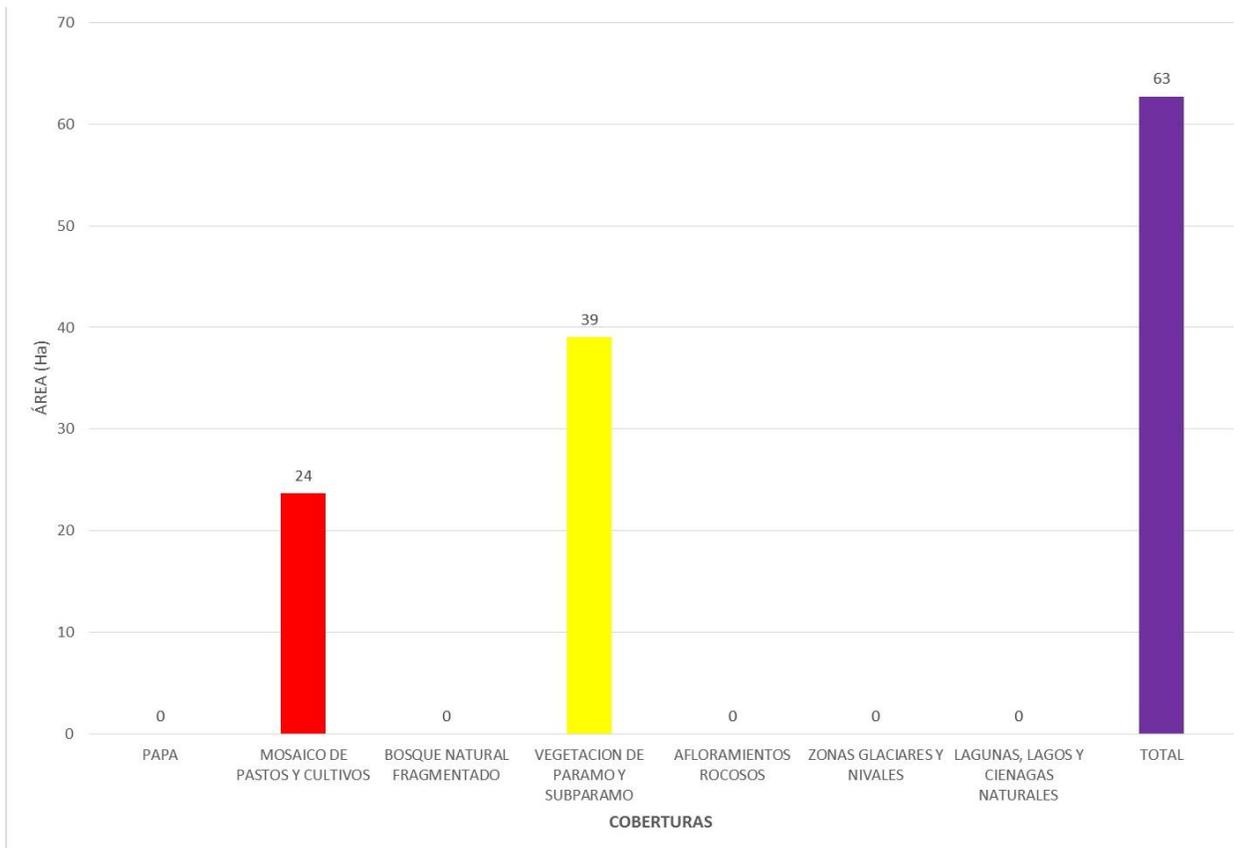


Figura 24. Cambio de cobertura de papa entre los años 1999 y 2015.

Mosaico de pastos y Cultivos: En cuanto a la categoría denominada mosaico de pastos y cultivos podemos observar que para el año 1999 representaban un total de 6305 hectáreas, de las cuales para el año 2015, 108 hectáreas pasaron a ser cultivos de papa; 131 hectáreas se convirtieron en bosques fragmentados; 330 hectáreas pasaron a ser vegetación de paramo y subpáramo y 3 hectáreas se convirtieron en lagos y lagunas (Fig. 25). De acuerdo a lo anterior podemos determinar que a pesar de que existió una intervención agrícola, de igual manera se logró un proceso de recuperación del ecosistema, ya que muchas zonas que se encontraban dedicadas a pastos y cultivos lograron regenerarse. Lo que indica que se recuperó la vegetación nativa de paramo y por ende se disminuyeron las actividades de pastoreo en la zona.

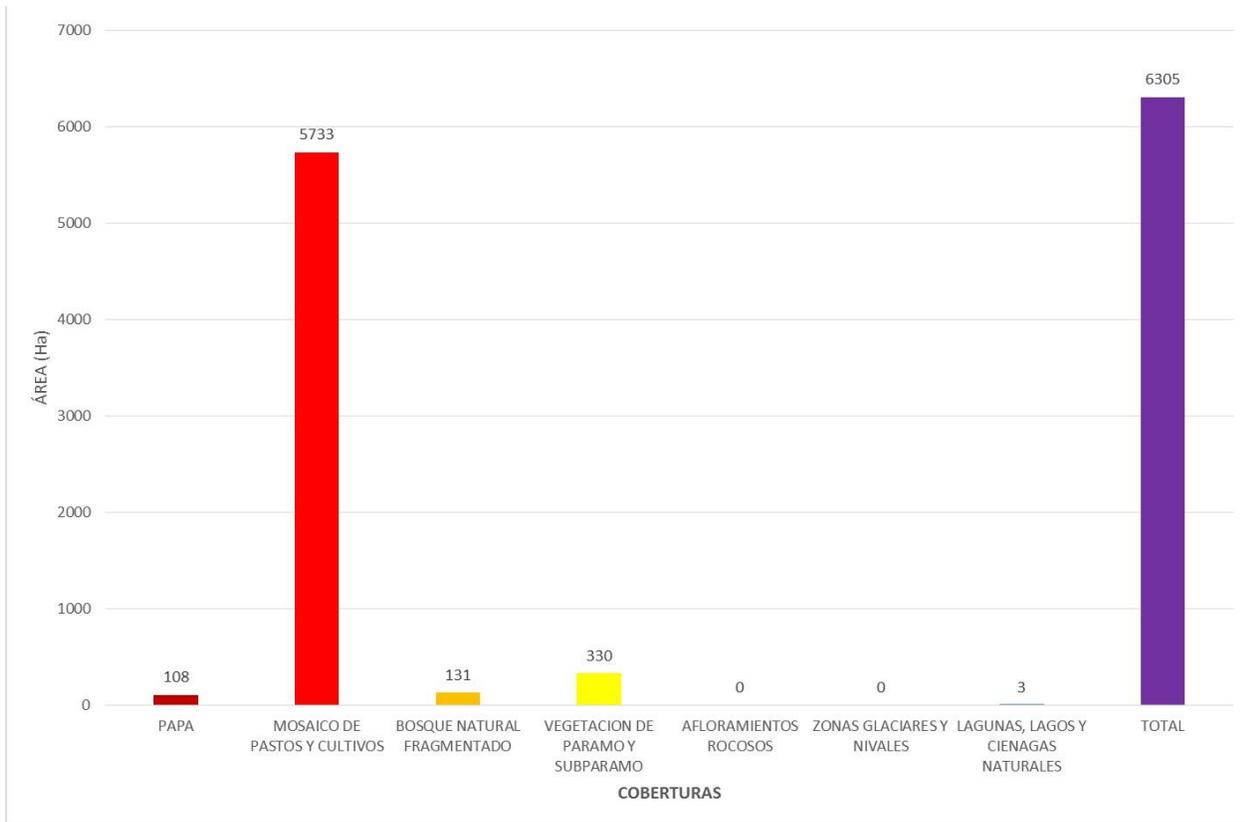


Figura 25. Cambio de cobertura de mosaico de pastos y cultivos entre los años 1999 y 2015.

Bosque Fragmentado: Para esta cobertura podemos observar que en el año 1999 la extensión total era de 5883 hectáreas, de las cuales en el años 2015, 1 hectárea paso a ser cultivo de papa; 822 hectáreas se convirtieron en mosaico de pastos y cultivos; 975 hectáreas pasaron a ser vegetación de paramo y subpáramo y 2 hectáreas pasaron a afloramientos rocosos (Fig. 26). Por lo tanto se puede deducir que a pesar de que se dio una intervención agrícola y pecuaria, en gran medida hubo una recuperación, ya que parte de zonas que se encontraban como bosque fragmentado tendientes a convertirse en pastos o suelos para cultivos lograron regenerarse en zonas de paramo y subpáramo.

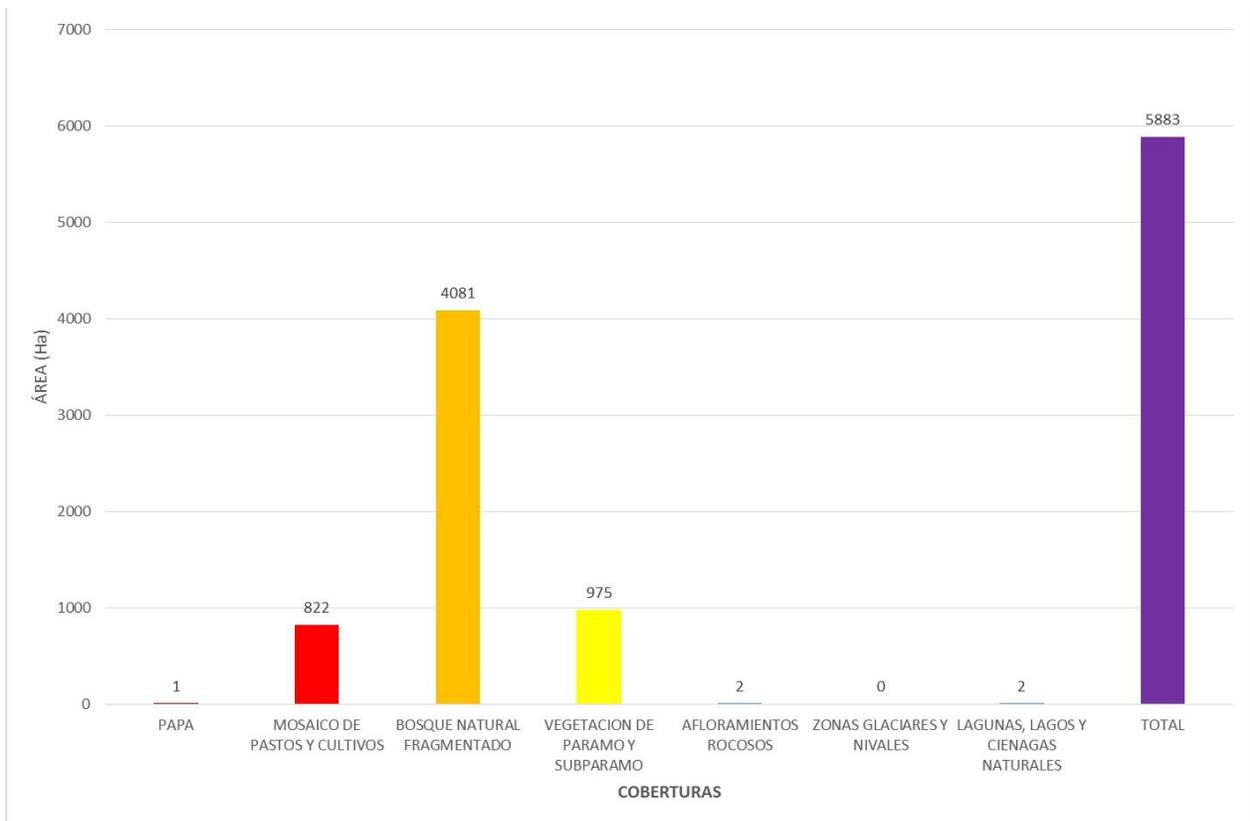


Figura 26. Cambio de cobertura de bosque fragmentado entre los años 1999 y 2015.

Vegetación de paramo y subpáramo: Para el periodo 1999 esta área constituía un total de 25775 hectáreas, siendo la más relevante y de las cuales se pueden evidenciar los cambios más significativos en el año 2015. Cuatrocientas siete (407) hectáreas pasaron a convertirse en cultivos de papa, 2072 hectáreas pasaron a ser mosaico de pastos y cultivos; 864 hectáreas se convirtieron en bosque natural fragmentado; 132 hectáreas en afloramientos rocosos y 8 hectáreas pasaron a ser lagunas, lagos y ciénagas naturales (Fig. 27). Es decir que para esta categoría se presentó una marcada intervención agrícola y pecuaria, así como también un proceso de deforestación del bosque nativo que llevo a la pérdida de la cobertura vegetal en la parte alta de la montaña. En general se observa un detrimento marcado en el cambio de la zona de paramo y subpáramo, producto de la ampliación de la frontera agropecuaria y la presión ejercida sobre el suelo.

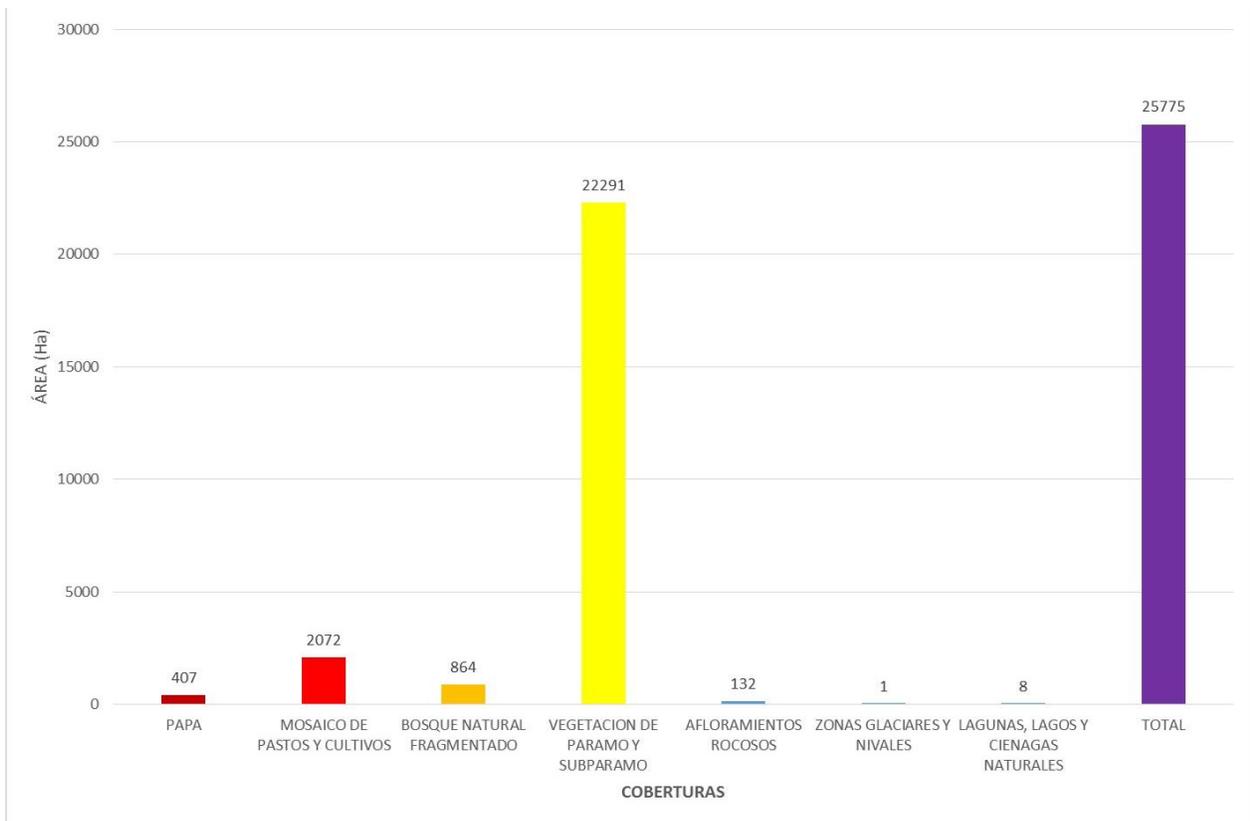


Figura 27. Cambio de cobertura de vegetación de páramo y subpáramo entre los años 1999 y 2015.

Afloramientos Rocosos: Para el año 1999 la extensión total era de 1290 hectáreas, de las cuales para el año 2015, encontramos que 287 hectáreas pasaron a ser vegetación de páramo y subpáramo. Dándose una pequeña recuperación del ecosistema, y 114 hectáreas pasaron a convertirse en zonas glaciares y nivales (Fig. 28). Como podemos ver el cambio no es muy considerable, y en general se puede observar un proceso de recuperación.

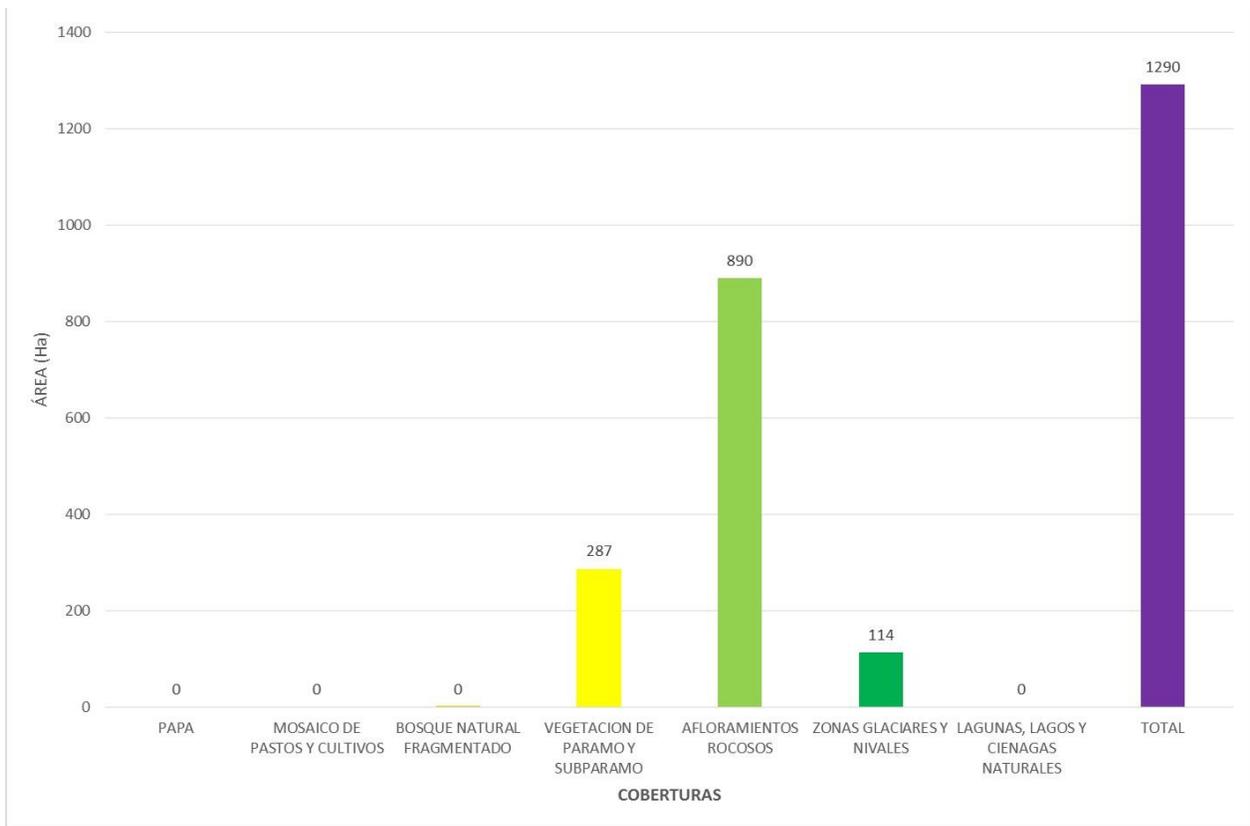


Figura 28. Cambio de cobertura de afloramientos rocosos entre los años 1999 y 2015.

Zonas Glaciares y Nivales: Para esta cobertura podemos ver que de las 556 hectáreas que existían en el año 1999, 37 hectáreas pasaron a ser afloramientos rocosos (Fig. 29). Es decir que hubo un detrimento de la capa de hielo, producto de los procesos de deforestación en el ecosistema y del calentamiento global, producto de la contaminación.

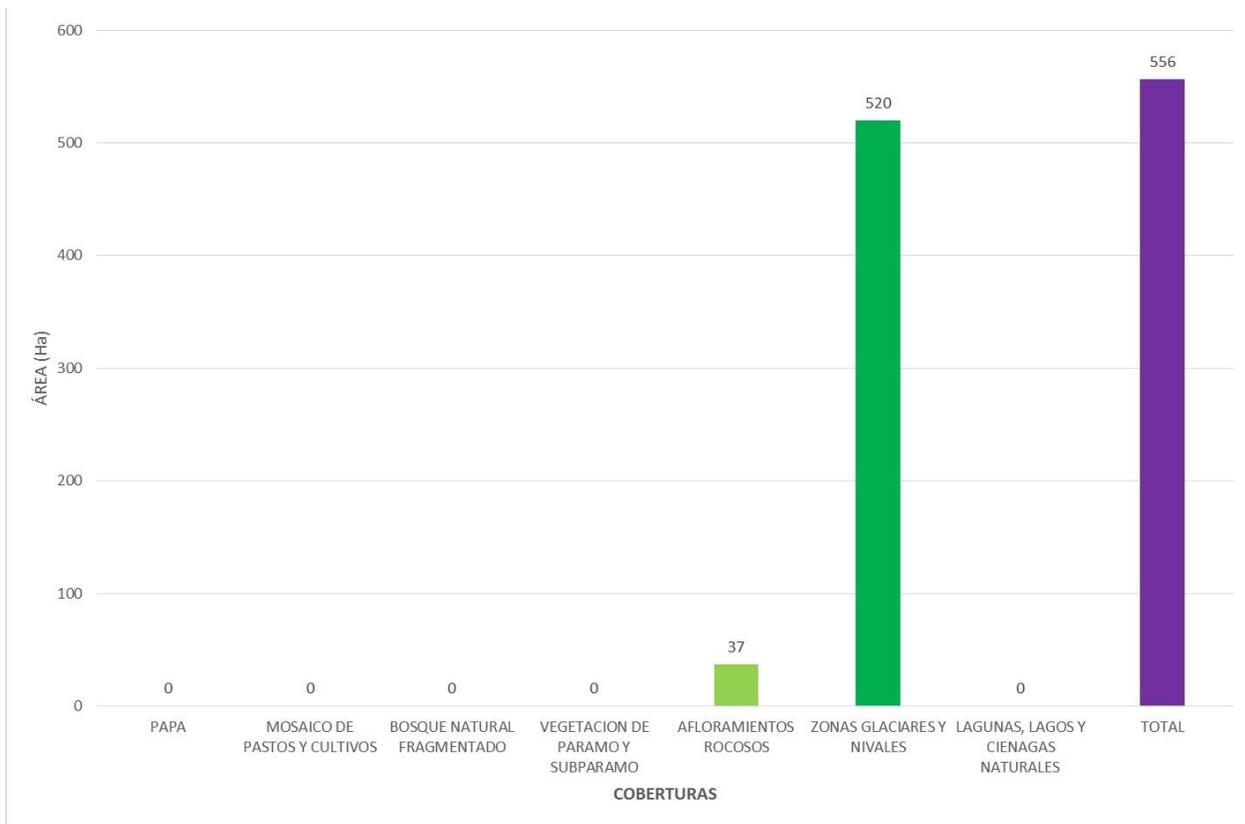


Figura 29. Cambio de cobertura de zonas glaciares y nivales entre los años 1999 y 2015

Lagunas lagos y Ciénegas Naturales: En el año 1999 había un total de 219 hectáreas, de las cuales 8 pasaron a convertirse en mosaico de pastos y cultivos (Fig. 30), producto de la sedimentación de los cuerpos de agua por los procesos de eutrofización, exagerado uso de herbicidas y pesticidas. Que conllevan a la reducción de los espejos de agua existentes en el ecosistema. De igual manera 5 hectáreas pasaron a ser vegetación de paramo y subpáramo, en general el cambio no fue muy significativo y se mantuvo igual.

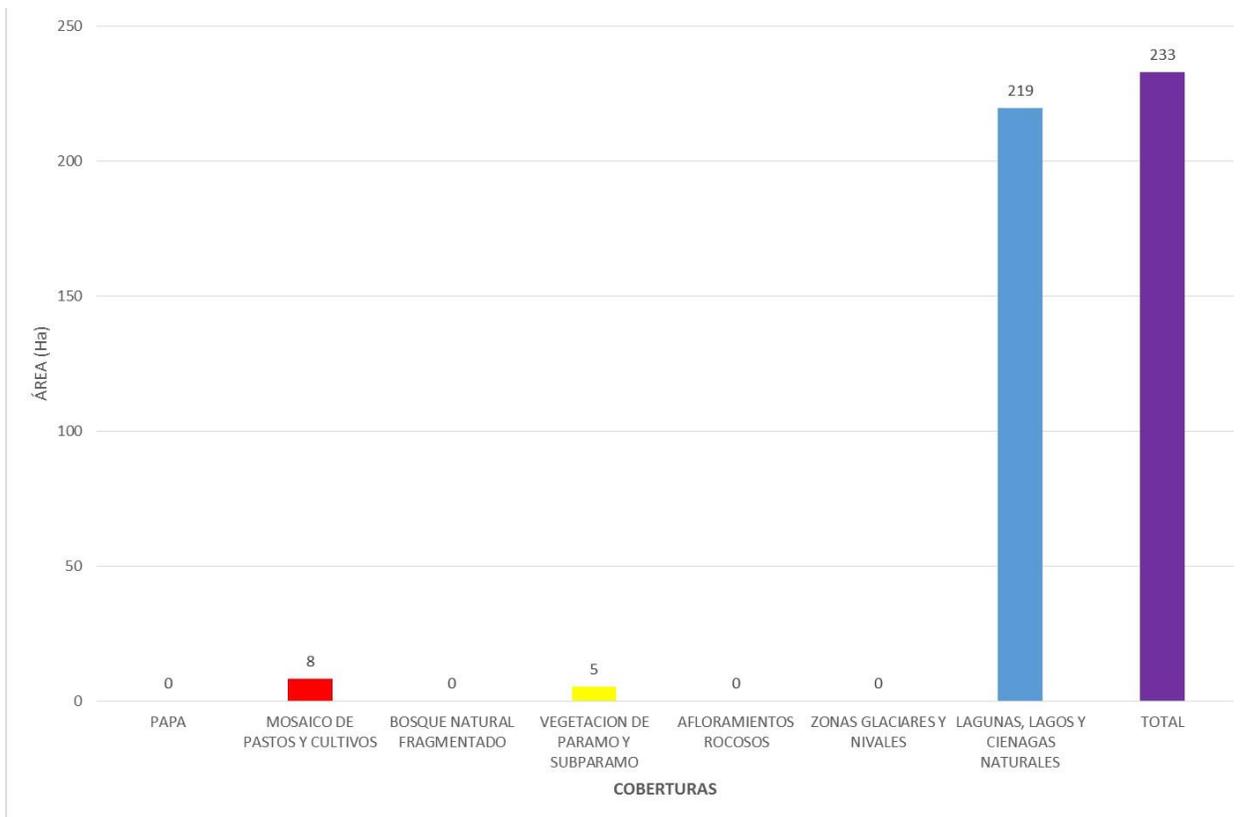


Figura 30. Cambio de cobertura de lagunas, lagos y ciénagas naturales entre los años 1999 y 2015

6.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El Páramo de Cumbal posee en general un tipo de vegetación de paramo y subpáramo el cual ha disminuido su cobertura debido al avance de la frontera agrícola. En los últimos 16 años se han perdido un total de 2072 hectáreas, lo cual evidencia la falta de control ambiental en esta zona de vital importancia para la comunidad, ya que como se mencionó anteriormente es una de los ecosistemas más importantes en la zona. Gran parte de la vegetación de paramo y subpáramo que se ha perdido ha sido por los procesos de adaptación del suelo, con el fin de convertirlos en aptos para el cultivo de en su gran mayoría de papa. Pero al ser uno de los cultivos que más insumos químicos necesita para su siembra, el impacto generado sobre el suelo es mayor, ya que cada vez se hace más difícil la regeneración natural del bosque nativo.

El incremento de la población rural ha hecho que la presión que se ejerza sobre el suelo sea mayor y muchas personas buscan intervenir nuevas áreas de terreno cada vez más cerca de la parte alta de la montaña ocasionando daños irreversibles que afectan la diversidad del ecosistema.

El bosque natural fragmentado, de igual manera se ha ido deteriorando durante estos años debido a que ha sido intervenido con procesos agrícolas, pecuarios y de deforestación, perdiendo un total de 822 hectáreas.

La cobertura de mosaico de pastos y cultivos ha sufrido cambios significativos. Aunque parte de estas zonas han pasado a ser áreas de paramo y subpáramo, su recuperación no es importante, muchas de estas zonas corresponden a áreas dedicadas principalmente a cultivos de papa y muchas veces se encuentran como zonas de pastoreo. Lo anterior ocurre cuando se hace la rotación del suelo con el fin de recuperar sus características, para posteriormente volverlas a cultivar. Ciento ocho (108) hectáreas de pastos se han convertido en efectivos cultivos de papa, mientras que 131 hectáreas han pasado a ser bosque natural fragmentado y solo 330 hectáreas se han logrado recuperar.

El área de recuperación durante este lapso de 16 años representa un total de 1602 hectáreas que comparadas con la pérdida de la cobertura de paramo en 2072 hectáreas es insignificante, lo que demuestra que en general la zona de paramo de Cumbal presenta un gran deterioro ambiental de ahí que es de gran importancia evitar la tala y quema, así como la proliferación de cultivos, dado a que es en esta zona donde nacen la mayoría de ríos y quebradas.

De igual manera se observa que hay un grado de deforestación en la zona del páramo de Cumbal, áreas que antes presentaban vegetación de paramo y subpáramo han pasado a convertirse en zonas carentes de vegetación en las cuales los procesos de revegetalización con especies nativas tardaran décadas y solo será posible si se plantean mejores prácticas en el uso racional de los recursos naturales existentes en la zona.

6. CONCLUSIONES

Con el análisis de la información de las coberturas para los años 1999 y 2015 se pudo determinar que el proceso de la ampliación de la Frontera agrícola en la zona de paramo del Cumbal, presenta un avance continuo debido a las dinámicas de presión ejercidas en el ecosistema por la transformación del uso del suelo por procesos de intervención agrícola, pecuaria y tala de bosque y quemas

La zona de paramo de Cumbal presenta un alto grado de intervención antrópica, lo que ha causado deterioro de las condiciones ambientales naturales, conllevando así a la pérdida de vegetación y de biodiversidad.

Con la ampliación de la frontera agrícola no solo se deteriora el suelo sino que también se afectan otros elementos presentes en este ecosistema como es el recurso hídrico. Las malas prácticas agrícolas y pecuarias, el exagerado uso de insumos químicos para el cultivo de papa y los efectos que sobre el suelo genera el pastoreo ocasionan procesos de erosión y arrastre de sedimentos a los cuerpos de agua. De igual manera la intervención humana cada vez más en la parte alta de la montaña pone en riesgo la disponibilidad del recurso hídrico para consumo humano.

Con la identificación y análisis de las principales dinámicas que influyen en el deterioro ambiental del Páramo de Cumbal a través de herramientas de sistemas de información geográfica SIG, se apoya la toma de decisiones en beneficio del medio ambiente.

El uso de sensores remotos para determinar los cambios de cobertura vegetal son cada vez más utilizados debido a que aportan una mejor calidad de la información, y en la actualidad es más accesible su adquisición.

La cobertura vegetal que más cambio presento durante el periodo evaluado fue la de Páramo con una pérdida total de 1.847 hectáreas.

La cercanía que existe entre el límite del ecosistema de páramo y las áreas urbanas (cabecera municipal de Cumbal y veredas de Colimba y Muellamues), provoco una disminución en la cobertura vegetación de páramo y subpáramo al aumentar la intervención agropecuaria en dichas zonas, generando que la cobertura de mosaico de pastos y cultivos aumente.

Durante el proceso de identificación de las coberturas vegetales en campo, se encontraron pequeños cultivos de papa (una hectárea), y al realizar el proceso de clasificación en las imágenes, se determinó que corresponden a la categoría de mosaico de pastos y cultivos, al ser estas áreas inferiores al área mínima de muestreo en el método de clasificación de Corine Land Cover.

7. RECOMENDACIONES

- Una de las principales acciones que se deben emprender, es la de ordenar adecuadamente las coberturas vegetales de este ecosistema, de manera que se alcance un alto grado de beneficio ambiental a costa del menor deterioro posible. Se debe planificar adecuadamente el uso del suelo y determinar las zonas de protección estricta en este ecosistema.
- Es de gran importancia identificar masas de bosque en las partes superiores de las cuencas y nacimientos de agua, con el fin de definir estrategias de conservación adecuada. Así mismo es pertinente desarrollar programas de reforestación en áreas donde la cobertura vegetal nativa ha sido degradada, esto con el fin de contribuir con la regulación de los caudales y mitigar los procesos de erosión.
- En el caso de algunos cultivos ubicados en la parte alta de la montaña, es aconsejable la siembra en contorno, en donde las plantas puedan formar barreras para que el agua lluvia disminuya su velocidad de arrastre y lavado.
- Debido a la gran proliferación de cultivos de papa en el sector, se recomienda el uso de materia orgánica como abono, con el fin de mejorar las propiedades del suelo. Lo anterior debido a que gran parte del nitrógeno, el azufre y parte del fósforo asimilable, se encuentran en la materia orgánica de la capa superficial del terreno, por consiguiente la restitución al suelo de la materia orgánica que contenga estos tres elementos nutritivos, rehabilitará favorablemente las características del suelo, volviéndolos más porosos y permeables. Con lo cual se evitara la infiltración y se evitan los daños por escorrentía.
- Las autoridades ambientales deberán ejercer actividades de control y vigilancia para que no se adelanten actividades agropecuarias dentro del ecosistema de páramo.
- La administración municipal del municipio de Cumbal debe incorporar en el POT el ecosistema de páramo como un área de preservación estricta y en las zonas en donde se presenta conflicto de uso del suelo, adelantar procesos de concertación.
- Adelantar programas de capacitación a las personas del área de influencia del páramo de Cumbal, con el fin de sensibilizarlas con respecto al papel que cumplen estos ecosistemas como reservorios de agua y centros de biodiversidad de fauna y flora.

8. BIBLIOGRAFÍA

Acosta-Galvis, A. 2000. Ranas Salamandras y Caecilias (Tetrápodos: Amphibia) de Colombia. En: Biota Colombiana. Diciembre, Vol. 1, no. 3, p. 289-319.

Alarcon & Cardona. 2001. Metodología para estimar cambios de biomasa aérea boscosa para el período 1970-1990 y su relación con la emisión de captura de dióxido de carbono (CO₂) en los bosques de la ecorregión de la serranía de San Lucas y su área de influencia. En: Plan de manejo 2007-2011. Parque Nacional Los Katios. Dirección Territorial Noroccidente . Medellín.

Alcántara, G. 2014. Análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra. (http://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/EE_CUT_primera_version_julio_2014.pdf)

Álzate Quintero, N. 2010. Insectos asociados a la necromasa de frailejón (*Espeletia hartwegiana* Cuatrec.), en un páramo de Villamaría. En revista Agronómica. p 59-68 Vol. 18. No 1.

Arciniegas & Serrano. 2007 Evaluación y análisis multitemporal de la deforestación de la amazonia Colombiana. En: Plan de manejo 2007-2011. Parque Nacional Los Katios. Dirección Territorial Noroccidente . Medellín.

Armenteras, D., Gast, F. & Villarreal, H. 2003. Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. *Biological Conservation* 113:245–256.

Benavidez Rodríguez, G., & Hermida Silva, A. 2008. Aislamiento e identificación de flora bacteriana nativa del suelo de los páramos cruz verde y guasca. Cundinamarca,

Bossard, M.; Feranec, J. & Otahel, j. 2000. CORINE Land Cover Technical Guide: Addendum 2000. Technical Report No 40, EEA, Copenhagen, 105 pp.

Brown, L.G. 1992. "A survey of image registration techniques," *ACM Computing Survey*, vol.. 24, pp. 325-376.

Castaño-Uribe, C., Carrillo, R., & Salazar, F. 2002. Perfil del estado de los recursos naturales y el medio ambiente en Colombia 2001. Sistema de información ambiental de Colombia –SIAC-. Colombia.

Chuvieco, E. 1990. "Fundamentos de Teledetección Espacial". Ediciones RIALP. Pág. 148-156.

Díaz Granados, M.; Navarrete Gonzáles, J.; & Suárez López, T. 2005. Páramos: Hidrosistemas Sensibles. *Revista de Ingeniería*, p. 64- 75

Dudgeon DAH, et al., 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews* 81: 163-182.

Etter, A., McAlpine, C., Wilson, K., Phinn, S. y Possingham, H. 2006. Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114:369–386.

FAO. 2001. Situación de los bosques del mundo. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación.

Guerra-Cerezo, E. 2006. Análisis multitemporal de la cobertura y uso de la tierra a través del sistema LCCS en la Cuenca baja del río Grande-Santa Cruz. Tesis de grado. Universidad Mayor de San Simón.

Ghribi, M. 2005. GIS applications for monitoring environmental change and supporting decision making in developing countries. Publicación ICS-UNIDO.

Hofstede, R. 1999. El páramo como espacio para la fijación de carbono atmosférico. Quito: Abya Yala,.6.p.

IAvH. 2012. Cartografía de Páramos de Colombia Esc. 1:100.000. Proyecto: Actualización del Atlas de Páramos de Colombia. Convenio Interadministrativo de Asociación 11-103, Instituto Humboldt y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá D.C. Colombia.

IDEAM. 2002. Páramos y ecosistemas alto andinos de Colombia en condición HotSpot & Global Climatic Tensor.

IDEAM. 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Recuperado de <https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/021521/021521.htm>

IDR (Instituto de Desarrollo Rural). 1999. Determinación de usos del suelo mediante análisis multitemporal de imágenes Landsat en los Oasis de la provincial de Mendoza Argentina.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1998. Guía metodológica para la formulación del plan de ordenamiento territorial urbano. Modelo de datos.

Kattan, G., Franco, P., Rojas, V., & Morales, G. 2004. Biological diversification in a complex region: a spatial analysis of faunistic diversity and biogeography of the Andes of Colombia. En: *Journal of Biogeography*. vol. 31, p. 1829–1839.

Mace, G. M; Masundire, H; Baillie, J; Ricketts, T; Brooks, T; Hoffman, M; Stuart, S; Balmford, A; Purvis, A; Reyers, B; Wang, J; Revenga, C; Kennedy, E; Naeem, S; Alkemade, J; Allnut, T; Bakkar, M; Bond, W; Chanson, J; Cox, N; Fonseca, G; Hilton-

Taylor, C; Loucks, C; Rodrigues, A; Sechrest, W; Statterfields, A; Janse Van Rensburg, B; Whiteman, C; Abell, R; Cokeliss, Z; Lamoreux, J; Pereira, H; Thonell, J; and Williams, P. 2005. Biodiversity in R. Hassan, R. J. Scholes and N. Ash (eds) Ecosystems and Human Well-being: Current state and Trends (Volume 1), Findings of conditions and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, Washington, DC, pp 79-112.

Macizo Colombiano. 2004. Una visión integral de la biodiversidad en Colombia. Bogota. <http://www.macizocolombiano.net.html>.

Medina, J. 2001. Evaluación de metodologías de detección de cambios del uso del suelo a través del análisis digital multitemporal de imágenes satelitales Landsat TM en la IX Región, Chile. Universidad Católica de Temuco, facultad de Ciencias Agropecuarias.

Mena Váscones, P., & Hofstede, R. 2006. Los páramos Ecuatorianos. En revista económica de los Andes Centrales. p. 91-109.

Ministerio del Medio Ambiente 2001. Programa Para el Manejo Sostenible y Restauración de Ecosistemas de la Alta Montaña Colombiana: Paramos. Republica de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente. Bogota –Colombia .62p

Ministerio del Medio Ambiente. 2002. Programas para el manejo sostenible y restauración de ecosistemas de la alta montaña Colombiana. Bogotá.

Mittermeier, R.A., Myers, N., Mittermeier, C.G., De Fonseca, A.B y Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature 403: 853-858.

Morales, P., Gil, L., Días, P., Alvarado, F. 2012. Vida oculta, una muestra de la flora de Boyacá y Casanare, Colombia: Poliducto Andino.

Mountain, F. 2000. Bolletín, volumen III. Francia.88p.

Myers, N. 1988. Threatened biotas: Hotspots in tropical forest. The Environmentalist 3:1-20.

NCGIA,1990.<http://www.geogra.uah.es/gisweb/1modulosespanyol/IntroduccionSIG/GISModule/GISTheory.htm>

Parrado-Rosselli, A., Avella-Muñoz, E., Castillo-Higuera, E., Pulido-Rodriguez, N., López-Camacho, R., Corte-Ballen, R., Ariza-Cortes, W., & Klinger-Braham, W. 2009. Uso y conservación de la diversidad forestal. Grupo de Investigación. Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 38 p.

Parrota, J. Turnbull, J. Jones, N. 1997. Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands. Forest Ecology and Management, 99,1-7.

Parques Nacionales Naturales. 2010. Instructivo para el levantamiento y Actualización de coberturas de la tierra en las áreas de parques Nacionales naturales, 96 p.

Quintano, C. & Fernandez-Manzo A. 2012. RS-Educa Materiales Educativos. Analisis Multitemporal de Imágenes de Satélite.

Rangel, O. 2000. Colombia Diversidad Biótica III: la región de vida paramuna. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Naturales, 902 p.

Rao, L., Kiran, N., Srivastava, N., & Singh, A., 1998. Development of a GIS based application for selection of villages for sodic land reclamation. GIS development.net, Application and Natural Hazard Management. En: <http://www.gisdevelopment.net>).

Rodriguez, O y Arredondo, H. 2005. Manual para el manejo y procesamiento de imágenes satelitales obtenidas del sensor remoto modis de la Nasa, aplicado en estudios de ingeniería civil. Pontificia Universidad Javeriana.

Rodríguez, Ramos Nelsy. 2009. Rellenado de los gaps provocados por la falla del Scan Line Corrector en las imágenes Landsat 7 ETM+. Facultad de Matemática y Computación Universidad de La Habana, 49 pp.

Rodríguez, E. 2011. Deforestación y cambio en la cobertura del suelo en Colombia: dinámica espacial, factores de cambio y modelamiento: Centre de Recerca Ecológica i Aplicacions Forestals y Unidad de Ecología. Departamento de Biología Animal Vegetal y Ecología, Facultad de Ciencias, 135 pp.

Riaño, O. 2002. Consideraciones y métodos para la detección de cambios empleando imágenes de satélite en el municipio de Paipa. Colombia Forestal, Vol. 7 No. 15. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Rueda, 1999. Anfibios y reptiles amenazados de extinción en Colombia. Revista Academica Colombiana Ciencias Exactas Fisicas Naturales. 23(s): 475-498.

Sarmiento, F. 2001. Biodiversidad en los paisajes culturales de la ecorregión Tropandina: 108 En: Primack et al. (eds) Fundamentos de Conservación Biológica. Fondo de Cultura Económica. México D. F

Schowengerdt, R.A. 1997. Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing, 2nd Ed., Academic Press.

Silva, S. 1999. Diagnóstico das restingas do Brasil. In: Fundação Bio Rio (ed.). Workshop Avaliação e Ações Prioritárias Para a Conservação da Biodiversidade da Zona Costeira, Ilhéus.

Silva, J. 1998. Un método para o estabelecimento de áreas prioritarias para la conservación Amazônia Legal. Reporte preparado para WWF-Brasil. 17 pp.

Storey, J., Scaramuzza, P., Schmith, G. 2005. Landsat 7 Scan Line Corrector-Off Gap-Filled Product Development. Global Priorities in Land Remote Sensing.

Strayer, DL & Dudgeon, D. 2010. Freshwater biodiversity conservation: recent progress and future challenges. *J. N. Am. Benthol. Soc* 29(1): 344–358.

Universidad del Valle. 1998. Estudio demostrativo sobre coberturas y cambios en los usos del suelo en la región de Buenaventura.

Vargas y Rivera. 1990 El páramo un ecosistema frágil. En cuadernos de agroindustria y economía rural, Bogota. 185p.

Wright, S.J. & Muller-Landau, H.C. 2006. The future of tropical forest species. *Biotropica*, 38(3):287-301

Zitová, B. & Flusser, J. 2003. "Image registration methods: a survey," *Image and Vision Computing*, vol. 21 pp. 977-1000.).