

## ESTUDIO MULTITEMPORAL PARA LA DETERMINACIÓN DE CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO EN EL COMPLEJO DE PÁRAMOS TOTA - BIJAGUAL - MAMAPACHA PARA EL PERIODO 1992 – 2012.

MULTITEMPORAL STUDY FOR THE DETERMINATION OF CHANGES IN LAND USE IN THE AREA OF MOORS TOTA - BIJAGUAL - MAMAPACHA FOR THE PERIOD 1992 – 2012

Maria Elena Rebollo Barrios  
Ingeniera Forestal. Profesional de proyectos  
Bogotá, Colombia.  
mariae3112@gmail.com

### RESUMEN

Debido al alto grado de intervención presentado en el complejo de páramos Tota – Bijagual –Mamapacha y en respuesta a la necesidad de desarrollar herramientas que permitan el adecuado monitoreo de esta situación, fue ejecutado el presente estudio multitemporal utilizando técnicas de Teledetección, con el objetivo de determinar las tendencias de cambio en el uso del suelo en dicha región para el periodo comprendido entre 1992 y 2012. Para esta labor fueron utilizadas imágenes Landsat 4 TM y Landsat 7 ETM tomadas en el rango temporal definido, las cuales fueron tratadas a partir diversas técnicas de procesamiento digital de imágenes, para ser posteriormente interpretadas siguiendo la metodología de clasificación de coberturas CORINE LAND COVER adaptada para Colombia.

Como resultado final se obtuvieron los respectivos mapas temáticos con la identificación de las coberturas presentes en cada periodo estudiado. Adicionalmente, la información resultante del producto anterior fue analizada a nivel de pérdidas, ganancias y grado de estabilidad para cada cobertura, proceso que permitió determinar en términos de áreas y porcentajes las tendencias evolutivas del uso del suelo en la región.

**Palabras claves:** Estudio multitemporal, Procesamiento digital, CORINE LAND COVER, Mapa temático, Landsat.

## ABSTRACT

Due to the high level of intervention existing in the area of moors Tota – Bijagual – Mamapacha and in response of the necessity to develop tools that allow adequate monitoring of this situation, the present multitemporal study was executed using remote sensing techniques, with the aim of determine changing trends in land use in the region for the period between 1992 and 2012. For this work were used images Landsat 4 TM and Landsat 7 ETM taken at the defined temporal range, which were treated with different techniques of digital image processing, to subsequently be interpreted by following the method of coverage classification CORINE LAND COVER adapted to Colombia.

As a final result, the respective thematic maps with the identification of the coverage in each period were obtained. Additionally, the resulting information of the previous product was analyzed at the level of gains, losses and level of stability for each coverage, the process allowed determination in terms of area and percentages the evolutionary tendencies of the land use in that region.

**Keywords:** multitemporal study, digital processing, CORINE LAND COVER, Thematic Map, Landsat.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la necesidad de implementar herramientas para la adecuada gestión de los páramos, ha mostrado un aumento progresivo proporcional al grado de intervención evidenciado en dichas áreas. En efecto, factores como la expansión de la frontera agropecuaria, procesos de urbanización, la concesión de numerosos títulos mineros, entre otros, han deteriorado de forma continua el estado natural de estos ecosistemas, limitando los servicios ambientales generados por los mismos y poniendo en peligro la biodiversidad única de estas zonas.

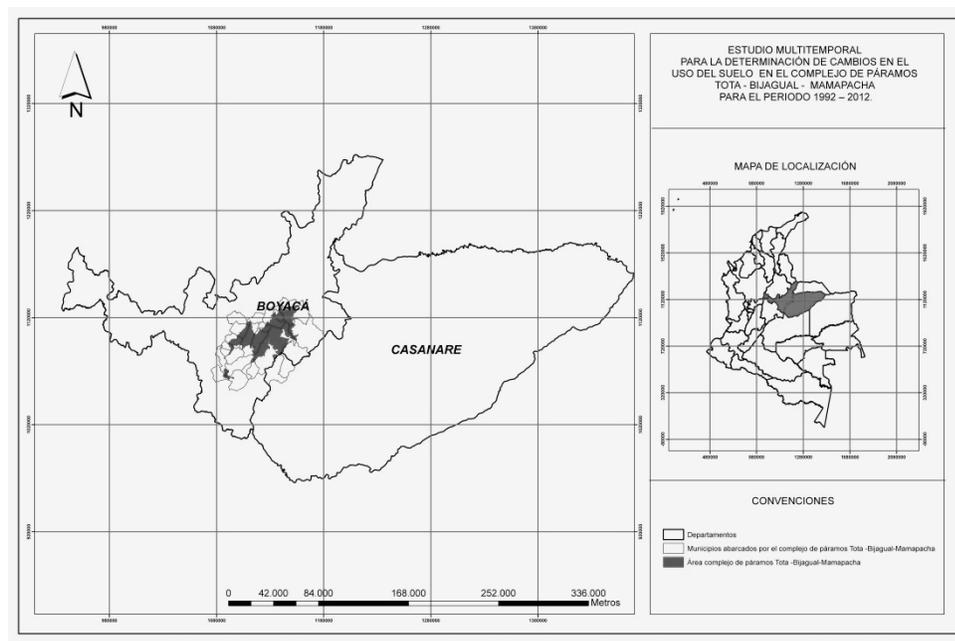
De esta forma, ante la inminente necesidad de contar con información veraz y oportuna que refleje las condiciones evolutivas de los páramos, se destaca el uso de imágenes satelitales y el desarrollo de estudios multitemporales utilizando técnicas de Teledetección como las herramientas propicias para monitorear, analizar y de ser posible cuantificar los cambios ocurridos en determinado periodo de tiempo, dada la posibilidad de obtener información de forma sistemática y continua de grandes extensiones de terreno imposibles de cubrir con otra clase de metodología. De este modo, la información generada de la realización de este tipo de estudios resulta de vital importancia en la gestión de estos ecosistemas,

permitiendo localizar las áreas con mayor grado de afectación en el tiempo e identificar las posibles causas que lo generan, aspectos que eventualmente servirán de insumo en el desarrollo de planes de ordenamiento y políticas de conservación encaminadas a la protección y el manejo sostenible de estas sensibles áreas.

Dicho lo anterior, el presente documento expone el desarrollo de un estudio multitemporal utilizando imágenes Landsat y con un alcance de análisis de 20 años (1992-2012), para determinar y evidenciar la tendencia de cambios en el uso y cobertura del suelo sucedida sobre el complejo de páramos Tota – Bijagual - Mamapacha catalogado como uno de los más afectados por la acción antrópica y por las dinámicas propias de los ecosistemas de este tipo.

## **1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

El análisis multitemporal desarrollado se ejecutó sobre el área correspondiente al complejo de páramos Tota – Bijagual – Mamapacha, el cual comprende las zonas altas de 27 municipios ubicados en los departamentos de Boyacá y Casanare, abarcando los páramos de Toquilla, Sarna, Suse y los Curíes, además del macizo de Mamapacha, las cuchillas de Mamapacha y Pategallo y el macizo de Bijagual. Este complejo de páramos cuenta con un área de 127.310 Hectáreas en un rango altitudinal comprendido entre los 3100 y 3970 msnm, con temperaturas promedio que oscilan entre los 6 y 12 °C y precipitaciones que varían entre los 500 y 1000 mm por año, presentando una clasificación climática de muy frío húmedo a muy húmedo. Morales et al [1]. A nivel regional, esta zona es considerada de máxima importancia en función de los servicios ambientales que ofrece a los municipios circundantes, cumpliendo con el abastecimiento de agua hacia acueductos locales, centros poblados y áreas rurales.



**Figura 1.** Localización del área de estudio

**Fuente:** Elaboración propia

## 2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para el estudio multitemporal fue dividida en 5 fases principales explicadas en los apartados posteriores. Es importante destacar que para el desarrollo del estudio fue tomada como referencia el área correspondiente al complejo de páramos Tota – Bijagual – Mamapacha definida por el Instituto Alexander Von Humboldt a través del proyecto Páramo Andino IAvH [2]. Esta delimitación fue ampliada de tal forma que la laguna de Tota y las áreas próximas a esta fueran incluidas, dada la relevancia e influencia de este cuerpo de agua para el área estudiada

### 2.1 FASE 1: PREPARACIÓN

En esta fase fueron adquiridos los insumos necesarios para el desarrollo total del estudio, para este fin, fueron ejecutadas dos sub fases relacionadas con la recopilación de información secundaria y la selección y descarga de las imágenes satelitales Landsat a utilizar.

#### 2.1.1 Búsqueda de información secundaria

Debido a que para el desarrollo del presente estudio no se contó con información primaria derivada de una fase previa de reconocimiento en campo, se recurrió a la búsqueda de información secundaria complementaria que facilitara la

familiarización con el área de estudio y por tanto el conocimiento de las principales características físicas, bióticas y sociales de la región. En este contexto, fue recopilada información bibliográfica clasificada en dos categorías: a) Información relativa al complejo de páramos Tota – Bijagual – Mamapacha, y b) Estado del arte referente al desarrollo de estudios multitemporales apoyados en técnicas de Teledetección.

### **2.1.2 Selección y descarga de imágenes satelitales Landsat**

Las imágenes satelitales Landsat utilizadas para el proceso fueron descargadas a partir del portal web de la U.S Geological survey (USGS), el cual dispone de una amplia base de datos histórica de imágenes obtenidas de los diferentes satélites Landsat con registros que llegan hasta la fecha actual. Para el caso particular del complejo de páramos Tota – Bijagual – Mamapacha las imágenes descargadas corresponden al PATH 7 y ROW 56, cuya escena cubre totalmente el área de interés. En este sentido, teniendo en cuenta la anterior característica, y dado el periodo de tiempo analizado, fueron seleccionadas como insumo dos imágenes Landsat correspondientes a los satélites Landsat 4 TM y Landsat 7 ETM tomadas en septiembre de 1992 y octubre de 2012 respectivamente.

Estas imágenes fueron escogidas en función de ciertos parámetros de selección enfocados en la evaluación de la calidad visual de cada una, de esta forma, se destaca la valoración del porcentaje máximo de cobertura de nubes el cual fue establecido en un 15 %, valor que constituye un límite máximo aceptable para la zona teniendo en cuenta las condiciones climáticas de la región y la influencia de estas en la obtención de imágenes satelitales completamente despejadas

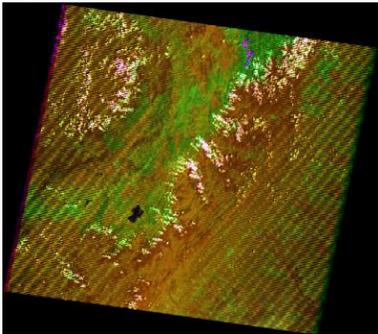
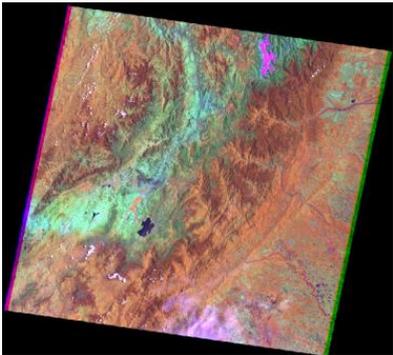
Otro parámetro de selección considerado fue la presencia significativa de bandas sin información en la zona de estudio; en este caso, cabe resaltar que para la imagen de 1992 no se presentó restricción alguna para este parámetro, no obstante, debido a las características del satélite Landsat 7 la imagen de 2012 si exhibe esta problemática, sin embargo, el área a interpretar se localiza en la sección de la imagen donde el bandeamiento se presenta en menor grado, permitiendo la adecuada delimitación de las coberturas.

### **2.1.3 Composición de las imágenes descargadas**

Las imágenes seleccionadas fueron descargadas del portal web de la U.S Geological survey (USGS) en un formato comprimido en el cual las bandas que componen a cada imagen se encuentran separadas. De este modo, fue necesario realizar el respectivo proceso de composición del cual se adquirieron 2 imágenes multispectrales compuestas por 6 bandas correspondientes al espectro visible y al infrarrojo cercano, medio y lejano.

Teniendo en cuenta las anteriores consideraciones, en la Tabla 1 se resumen las principales características de cada una de las imágenes seleccionadas.

**Tabla 1.** Características y vista previa de las imágenes Landsat seleccionadas

Imagen Landsat 7 ETM 2012		Imagen Landsat 4 TM 1992	
Identificador USGS	LE70070562012301ASN00	Identificador USGS	LT40070561992246XXX02
Satélite	LANDSAT 7	Satélite	LANDSAT 4
Sensor	ETM	Sensor	TM
Numero de bandas	6	Numero de bandas	6
Fecha de toma	2012/10/27	Fecha de toma	1992/09/02
Cobertura de nubes %	12.03	Cobertura de nubes %	0
Observaciones	Bandeamiento	Observaciones	No aplica
<b>Vista previa</b>		<b>Vista previa</b>	
			

**Fuente:** Elaboración propia

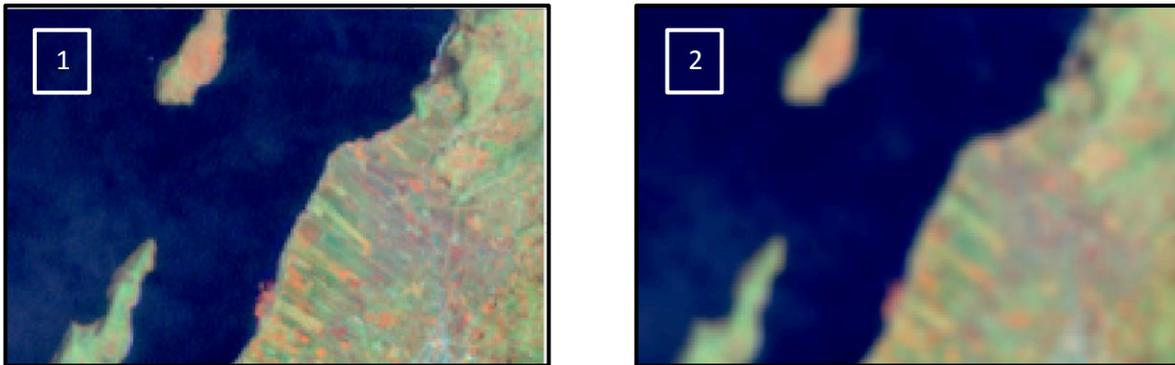
## 2.2 FASE 2: PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

### 2.2.1 Mejoramiento visual y espacial

Sobre cada imagen fueron aplicadas ciertas funciones de mejoramiento con el fin de facilitar el proceso de delimitación de las coberturas de la tierra presentes en la zona de estudio. De esta forma, a nivel visual y utilizando las diversas funciones disponibles en el software de procesamiento digital de imágenes ERDAS IMAGINE 2010, fue realizado el respectivo ajuste de contraste de manera que las coberturas con mayor representatividad y extensión fueran destacadas y por tanto diferenciables en términos de tono e intensidad del color. Para este proceso se seleccionó la combinación en falso color 453, (considerada adecuada en la distinción de las coberturas de interés), para posteriormente modificar de forma

manual los niveles de brillo, intensidad y contraste hasta encontrar el nivel óptimo según los requerimientos del intérprete.

Por otro lado, para el mejoramiento espacial fue aplicado en cada caso un filtro de paso bajo con tamaño de Kernel de 3\*3 seguido de uno de tamaño 5\*5 aplicado sobre la imagen resultante del filtro anterior, proceso que atendiendo a las bases teóricas permitió suavizar los contrastes espaciales, generando una imagen menos nítida pero que homogeniza las zonas heterogéneas evidenciando una mayor diferenciación entre algunas coberturas. Chuvieco [3].



**Figura 2.** Mejoramiento espacial de la imagen Landsat 4 TM 1992. (1) Imagen sin filtro, (2) Imagen con filtro de paso bajo tamaño de Kernel 5\*5

**Fuente:** Elaboración propia

### 2.2.2 Clasificación supervisada

En apoyo al proceso de interpretación y generación de los mapas temáticos, fue desarrollada sobre la imagen del año 1992 el proceso de clasificación supervisada siguiendo la secuencia metodológica expuesta a continuación. Es importante resaltar que este proceso se desarrolló sobre la imagen original sin la aplicación del filtro de paso bajo, el cual fue utilizado como paso previo de análisis para resaltar determinados rasgos de la imagen.

- Reconocimiento previo del área de estudio y definición de la leyenda preliminar de coberturas

El proceso de clasificación supervisada implica el conocimiento previo de la zona de estudio con el objetivo de determinar las coberturas de la tierra predominantes en la región, sin embargo, puesto que para el presente proyecto no se contó con la fase inicial de reconociendo en campo, este proceso se desarrolló tomando como fundamento la información secundaria recopilada en la fase de preparación. Como resultado y con base en la documentación recolectada, fueron identificadas características biofísicas, geográficas, ambientales, socioeconómicas,

sociopolíticas, etc., que facilitaron determinar la presencia dominante de las coberturas mencionadas en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Coberturas preliminares identificadas en el área de estudio codificadas según la metodología CORINE LAND COVER adaptada para Colombia.

Nombre de la cobertura	Nomenclatura	Código CORINE LAND COVER
Arbustal	Arb	3.2.2
Bosque denso	Bd	3.1.1
Cultivos transitorios	Ct	2.1.4
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	Llcn	5.1.2
Mosaico de pastos y cultivos	Mpyc	2.4.2
Pastos enmalezados	Pe	2.3.3
Pastos limpios	Pl	2.3.1
Río	R	5.1.1
Tejido urbano	Tu	1.1.1
Tierras desnudas y degradadas	Tdd	3.3.3
Vegetación de páramo (*)	Vp	3.2.1.1.1.1
Vegetación secundaria alta	Vsa	3.2.3.1
Sin información(**)	Si	N/A

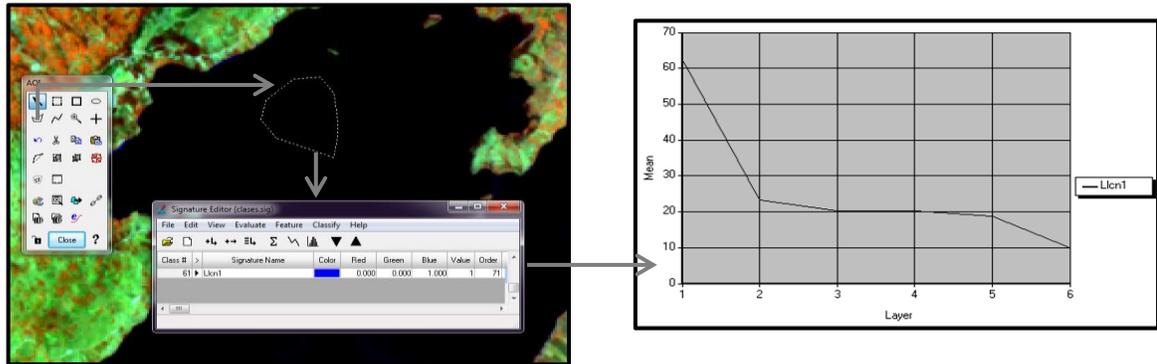
**Fuente:** Elaboración propia

(\*)Nombre de cobertura ajustado según el estudio, (\*\*) Cobertura no incluida en la leyenda CORINE LAND COVER.

- Selección y evaluación de áreas de entrenamiento

Para cada cobertura definida, fueron capturadas una serie de áreas de entrenamiento, que como lo indica su nombre, entrenan al software para la posterior delimitación automática de cada clase sobre la imagen. Chuvieco [3]. El número de áreas de entrenamiento por cobertura fue variante en función del grado de homogeneidad de la misma, por tanto, coberturas homogéneas como “Lagunas, lagos y ciénagas naturales”, “Bosque denso” o “Vegetación de páramo” requirieron un número menor de áreas de entrenamiento, ya que existe mayor probabilidad de seleccionar muestras “puras” en estas clases y en consecuencia lograr una definición acertada de las mismas sobre la imagen. Por otra parte, coberturas con mayor grado de heterogeneidad como el “Tejido urbano” o los “Mosaicos de pastos y cultivos” presentaron mayor confusión, por ende, el número de áreas de entrenamiento fue mayor para de esta manera lograr una mejor separabilidad de estas durante la clasificación.

Finalmente, las áreas de entrenamiento definidas para cada cobertura fueron evaluadas estadísticamente a partir del análisis de histogramas y del grado de correlación entre coberturas. En función de los resultados obtenidos, estas fueron eliminadas fusionadas o redefinidas según el caso, hasta finalmente obtener la cantidad propicia de áreas para ejecutar el algoritmo de clasificación seleccionado.

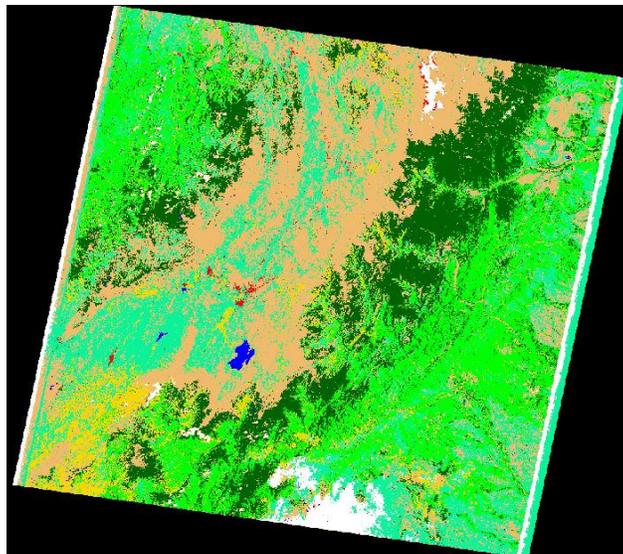


**Figura 3.** Selección y evaluación de áreas de entrenamiento en el software de procesamiento ERDAS IMAGINE 2010

**Fuente:** Elaboración propia

- Aplicación del algoritmo de clasificación y edición de resultados

Para el desarrollo de la fase final del proceso de clasificación fue seleccionado el algoritmo de máxima verosimilitud, cuyo resultado fue considerado satisfactorio al demostrar una clasificación temática similar a la realidad de las dos imágenes implementadas.

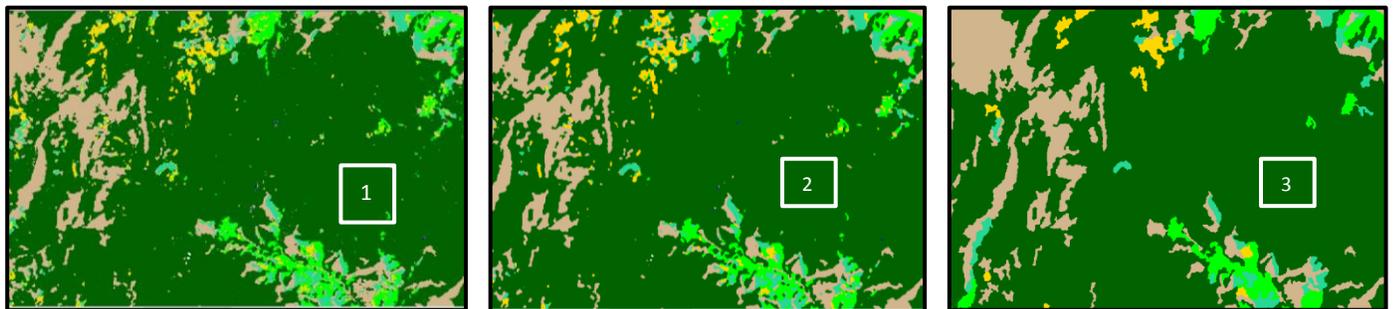


**Figura 4.** Resultado de la clasificación supervisada aplicada a toda la imagen

**Fuente:** Elaboración propia

No obstante, es común en los procesos de clasificación encontrar en la imagen resultante agrupaciones de píxeles o píxeles individuales clasificados de forma errónea o no agrupados durante el proceso. Esta situación fue disminuida con la aplicación de dos filtros de generalización de 3\*3 y la posterior aplicación de los filtros Clump y Eliminate disponibles en el software de procesamiento ERDAS IMAGINE 2010.

En complemento a las funciones de filtrado fue desarrollado el proceso de recodificación local, con el cual fueron reasignados de forma manual aquellos píxeles o conglomerados de estos que cumplieran con la condición mencionada inicialmente y que no hayan sido tomados por el software durante la aplicación de los filtros anteriores. Posada [4].

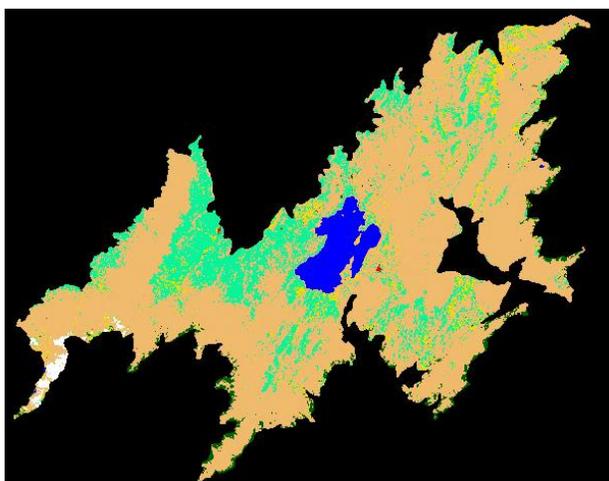


**Figura 5.** Diferencias en la imagen clasificada con la aplicación de filtros (1) imagen sin filtro, (2) Aplicación de segunda generalización, (3) Aplicación de filtro ELIMINATE

**Fuente:** Elaboración propia

### **2.3 FASE 3: POST-PROCESAMIENTO**

La clasificación final obtenida en la fase anterior fue cortada según los límites dados por el área de interés y vectorizada y exportada en formato shapefile compatible con el software ArcGis 10.1 para su posterior edición y ajuste según lo observado en cada una de las imágenes. Finalmente, las coberturas identificadas en cada caso fueron codificadas siguiendo los parámetros establecidos por la metodología CORINE LAND COVER adaptada para Colombia



**Figura 6.** Clasificación supervisada ajustada al área de estudio

**Fuente:** Elaboración propia

## **2.4 FASE 4: CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS**

Con la información generada en las fases previas, fueron desarrollados los mapas temáticos que exponen para el área de estudio las coberturas identificadas según la metodología de clasificación CORINE LAND COVER para cada fecha evaluada. Por otra parte, el área que comprende cada cobertura fue cuantificada en Hectáreas y en términos de porcentajes respecto a la totalidad del área analizada, con el objetivo de determinar de forma cuantitativa los resultados obtenidos.

## **2.5 FASE 5: ANÁLISIS MULTITEMPORAL**

Con base en los mapas temáticos resultantes y las áreas y porcentajes de cobertura calculados en la fase 4, fueron realizados los análisis correspondientes para cada uno de los periodos y las respectivas comparaciones entre periodos, a fin de determinar las tendencias de cambio en el uso del suelo en el área de interés.

### 3. RESULTADOS

Como fue mencionado inicialmente, el complejo de páramos de Tota-Bijagual-Mamapacha es reconocido no solo por su relevancia como ecosistema generador de servicios ambientales y cuna de una importante biodiversidad, si no también, como uno de los complejos de páramos con mayor nivel de transformación, situación atribuida en gran medida a la introducción de actividades de origen antrópico que han deteriorado de forma sustancial las condiciones naturales de dicha área. Bajo el contexto anterior, se presenta a continuación la caracterización de las tendencias en el uso y cobertura del área comprendida por este importante complejo para los años 1992 y 2012, con lo que se busca exponer la evolución del proceso de transformación antes mencionado.

#### 3.1 ANÁLISIS DEL USO Y COBERTURA DE LA TIERRA PARA EL AÑO 1992

Para el año 1992 fueron identificadas las coberturas referidas en la Tabla 3, en donde sobresale como cobertura dominante la “Vegetación de páramo” ocupando el 47.23 % del área total evaluada, seguida por la cobertura “Mosaico de pastos y cultivos” con un porcentaje de ocupación del 25.31 %, y los pastos limpios abarcando un 12.41 %. Las demás coberturas definidas ocupan el 15.05 % restante del área, sin llegar a alcanzar el 5 % de ocupación de forma individual (Figura 7)

**Tabla 3.** Coberturas identificadas y ocupación en Hectáreas y porcentaje, para el Complejo de páramos Tota-Bijagual-Mamapacha. Año 1992

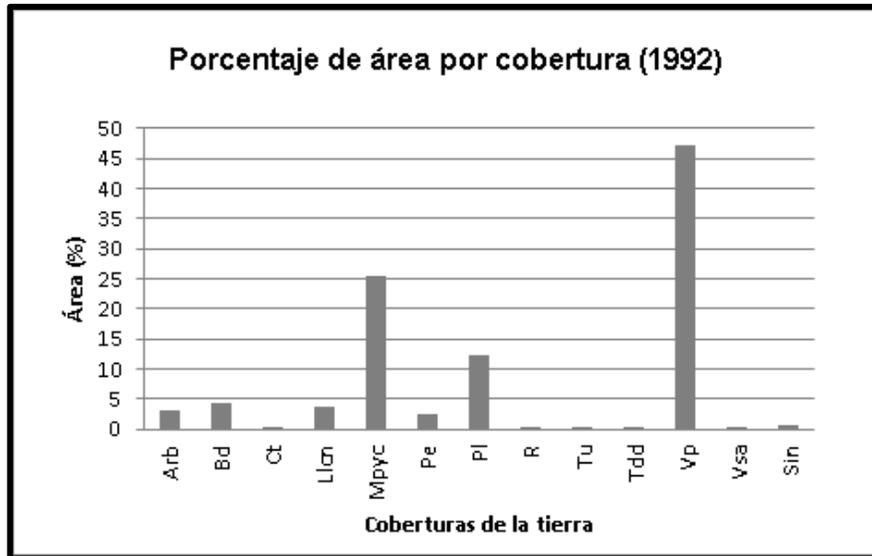
Cobertura	Nomenclatura	Código CORINE Land Cover	Área (Has)	Área (%)
Arbustal	Arb	3.2.2	4428,17	3,036
Bosque denso	Bd	3.1.1	6380,86	4,374
Cultivos transitorios	Ct	2.1.4	627,62	0,430
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	Llcn	5.1.2	5547,31	3,803
Mosaico de pastos y cultivos	Mpyc	2.4.2	36932,77	25,319
Pastos enmalezados	Pe	2.3.3	3540,66	2,427
Pastos limpios	Pl	2.3.1	18112,24	12,417
Río	R	5.1.1	7,68	0,005
Tejido urbano	Tu	1.1.1	68,98	0,047
Tierras desnudas y degradadas	Tdd	3.3.3	6,94	0,005
Vegetación de páramo	Vp	3.2.1.1.1.1	68903,536	47,237
Vegetación secundaria alta	Vsa	3.2.3.1	287,91	0,197
Sin información	Sin	N/A	1022,60	0,701
<b>Área Total</b>			<b>145867,28</b>	<b>100,00</b>

**Fuente:** Elaboración propia

Dadas las anteriores cifras, la cobertura dominante “Vegetación de páramo” exhibe una amplia distribución dentro del área valorada coincidiendo con los límites establecidos para este páramo. De este modo, podría afirmarse que para el año 1992, las zonas demarcadas con esta cobertura se caracterizaban por presentar vegetación herbácea de porte bajo, destacándose la vegetación típica de las zonas de páramo como los frailejones y comunidades de gramíneas como la paja de ratón. Cabe resaltar, que siguiendo la codificación definida por la leyenda CORINE LAND COVER esta cobertura es homologable con la categoría “Herbazal denso de tierra firme no arbolado”, no obstante, para efectos del análisis realizado y dado el enfoque del mismo, fue adoptada la nomenclatura “Vegetación de páramo”.

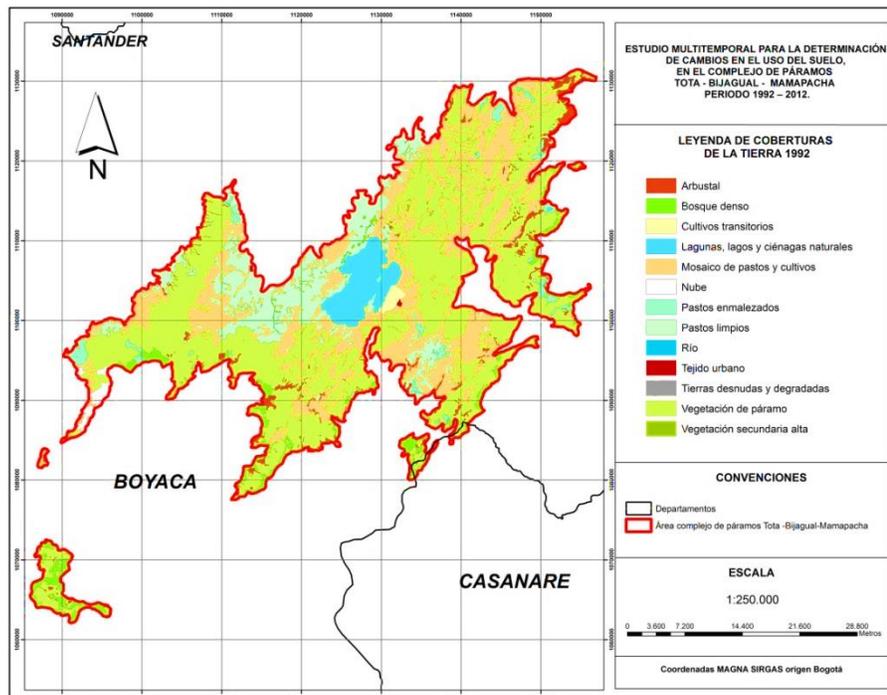
De manera similar aunque en menor magnitud, la cobertura “Mosaico de pastos y cultivos” presenta una importante distribución a lo largo del área, especialmente en las zonas contiguas a centros poblados como Cuitiva, Aquitania y Monga, aspecto que se debe al predominio de la actividad agropecuaria como principal fuente económica de la región. De forma análoga, prevalece la presencia de pastos limpios localizados alrededor de los centros poblados y en zonas aledañas a los mosaicos de pastos y cultivos, de lo que se puede deducir que para el año 1992 constituían áreas destinadas al pastoreo intensivo o áreas en preparación para ser convertidas en cultivos.

Otras coberturas de menor amplitud como los “Bosques densos” y “Arbustales” fueron identificadas como pequeñas masas ubicadas en los límites del área, aun así, fuera de este límite estas coberturas representan unidades vegetales de importancia formadas por especies nativas características de este tipo de ecosistemas y piso altitudinal



**Figura 7.** Distribución de las Coberturas identificadas para el complejo de páramos Tota-Bijagual-Mamapacha. Año 1992.

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 8.** Mapa de coberturas complejo de páramos Tota-Bijagual-Mamapacha. Año 1992

**Fuente:** Elaboración propia

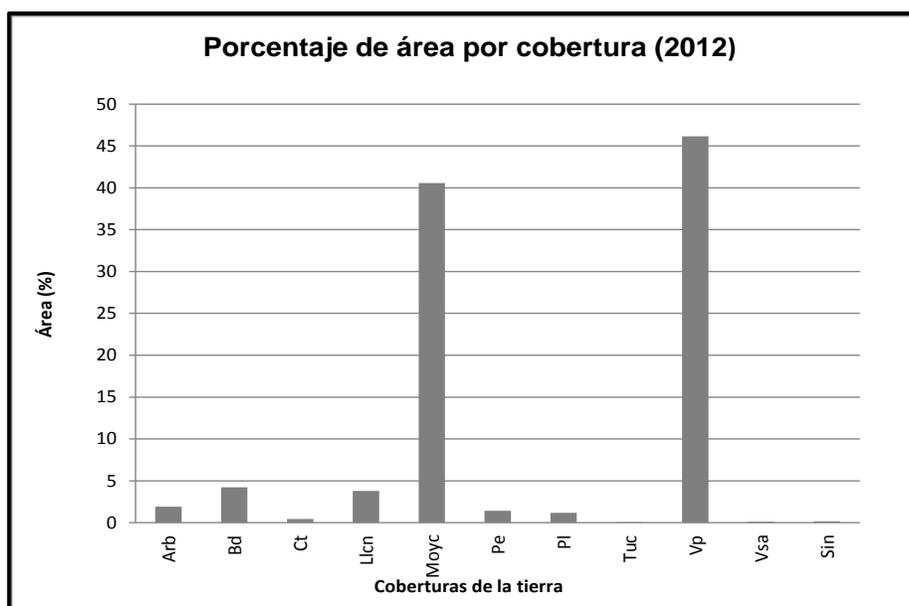
### 3.2 ANÁLISIS DEL USO Y COBERTURA DE LA TIERRA PARA EL AÑO 2012

Al igual que en el año 1992, en el 2012 las coberturas “Vegetación de páramo” y “Mosaico de pastos y cultivos” se distinguieron como coberturas dominantes, abarcando el 47.78 % y 38.74 % respectivamente. Las demás coberturas identificadas presentan algunas variaciones respecto a la fecha anterior exhibiendo disminuciones en su extensión, de igual forma sin llegar a comprender áreas superiores al 5% respecto al área total (Tabla 4).

**Tabla 4.** Coberturas identificadas y ocupación en Hectáreas y porcentaje, para el Complejo de páramos Tota-Bijagual-Mamapacha. Año 2012

Cobertura	Nomenclatura	Código CORINE Land Cover	Área (Has)	Área (%)
Arbustal	Arb	3.2.2	2777,48	1,90
Bosque denso	Bd	3.1.1	6179,33	4,24
Cultivos transitorios	Ct	2.1.4	640,85	0,44
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	Llcn	5.1.2	5521,01	3,78
Mosaico de pastos y cultivos	Moyc	2.4.2	59185,88	40,58
Pastos enmalezados	Pe	2.3.3	2054,51	1,41
Pastos limpios	Pl	2.3.1	1701,22	1,17
Tejido urbano	Tuc	1.1.1	68,98	0,05
Vegetación de páramo	Vp	3.2.1.1.1.1	67328,68	46,16
Vegetación secundaria alta	Vsa	3.2.3.1	179,70	0,12
Sin información	Sin	N/A	229,63	0,16
Área total			145867,28	100,00

Fuente: Elaboración propia



**Figura 9.** Distribución de las Coberturas identificadas para el complejo de páramos Tota-Bijagual-Mamapacha. Año 2012.

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta lo anterior, la Figura 10, expone la distribución de las diferentes coberturas definidas para este año.

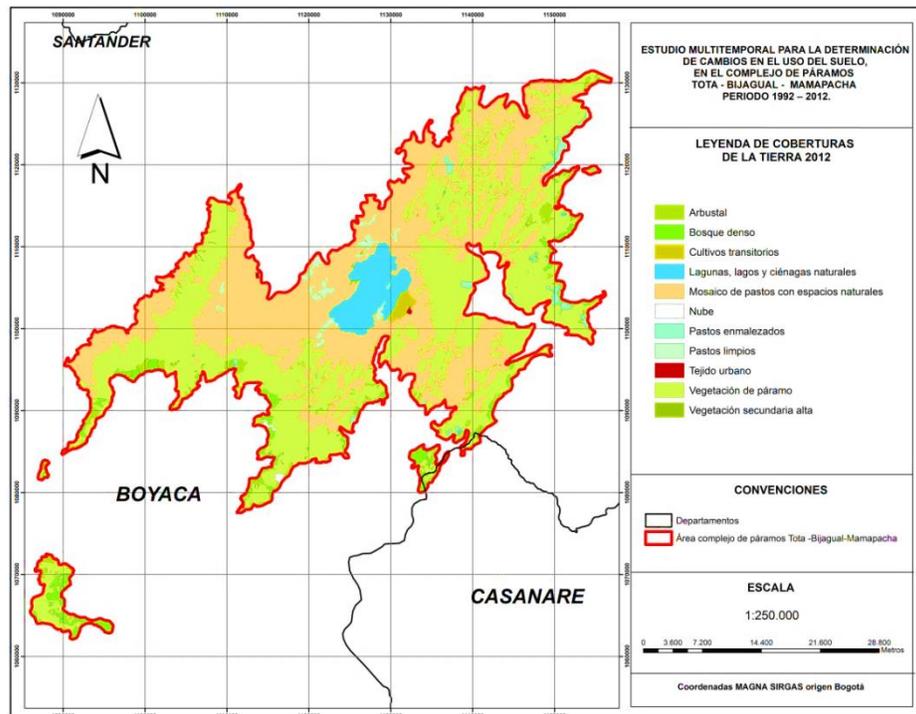


Figura 10. Mapa de coberturas complejo de páramos Tota-Bijagual-Mamapacha. Año 2012

Fuente: Elaboración propia

### 3.3 ANÁLISIS DE GANANCIAS, PÉRDIDAS Y ESTABILIDAD DE COBERTURAS

En la Tabla 5, se presenta la relación de las coberturas determinadas en cada periodo evaluado y las tendencias de cambio expresadas en hectáreas y en términos de ganancia, pérdida y estabilidad según el caso. De esta manera, los valores señalados con el símbolo (-) denotan las coberturas que presentaron disminución de área desde 1992 al 2012; los valores con el símbolo (+) representan las coberturas que exhibieron aumento en su extensión para dicho periodo, y finalmente los valores con el símbolo (\*) corresponden a las coberturas que se mantuvieron de un periodo a otro o a aquellas que solo fueron identificadas para un año en particular.

**Tabla 5.** Pérdida, ganancia y estabilidad de las coberturas identificadas para el Complejo de páramos Tota-Bijagual-Mamapacha. Periodo 1992-2012.

Cobertura	Año evaluado		Ganancia, pérdida, estabilidad (Has)
	1992	2012	
	Área (Has)	Área (Has)	
Arbustal	4428,17	2777,48	(-) 1650,69
Bosque denso	6380,86	6179,33	(-) 201,52
Cultivos transitorios	627,62	640,85	(+) 13,23
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	5547,31	5521,01	(+) 26,30
Mosaico de pastos y cultivos	36932,77	59185,88	(+) 22253,11
Pastos enmalezados	3540,66	2054,51	(-) 1486,15
Pastos limpios	18112,24	1701,22	(-) 16411,03
Río	7,68	N/A	N/A
Tejido urbano	68,98	68,98	(*) 68,98
Tierras desnudas y degradadas	6,94	N/A	N/A
Vegetación de páramo	68903,536	67328,68	(-) 1574,851
Vegetación secundaria alta	287,91	179,70	(-) 108,21
Sin información	1022,60	229,63	(-) 792,97
<b>Área Total</b>	145867,28	145867,28	
<b>Convenciones</b>	Ganancia		(+)
	Pérdida		(-)
	Estabilidad		(*)
	N/A		No aplica

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.1 Análisis de ganancia de coberturas

Comparando los dos periodos analizados, fue posible encontrar la mayor ganancia en extensión para la cobertura “Mosaico de pastos y cultivos” aumentando 22253,11 Hectáreas desde el año 1992 hasta el año 2012. Esta situación se presenta como consecuencia de la consolidación de la actividad agropecuaria como base de la economía de la región, aspecto que ha llevado a la adecuación de pastos y herbazales como parcelas destinadas al establecimiento de cultivos o como pastos manejados dedicados al pastoreo. Este fenómeno, aunque es claramente identificable en las zonas aledañas a los centros poblados comprendiendo el área rural de los municipios involucrados, también ha llegado a extenderse sobre las zonas de páramo aportando al deterioro progresivo de los mismos al eliminar la vegetación nativa a través de las quemas y disponer del suelo para usos no aptos en estos ecosistemas.

La situación anterior es también aplicable para la cobertura “Cultivos transitorios”, la cual exhibe un incremento de 13.23 Hectáreas, valor que aunque considerablemente inferior al anterior es atribuido a la misma causa. Este aspecto puede ejemplificarse sobre las áreas que rodean a la Laguna de Tota donde es posible observar la presencia constante de cultivos de cebolla con tendencia a la expansión sobre el área afectada.

Finalmente, la cobertura “Lagunas, lagos y ciénagas naturales”, evidencia un aumento del 26.30 Hectáreas, situación que puede deberse a la expansión de determinados cuerpos de agua en respuesta a procesos de desbordamiento que llevan a sobrepasar la cota máxima de inundación.

### **3.3.2 Análisis de pérdida de coberturas**

Para el año 2012 la mayor parte de las coberturas determinadas presentaron reducción en el área abarcada, suceso del que se puede concluir que el complejo de páramos Tota-Bijagual-Mamapacha ha sido sometido en los 20 años analizados a un intenso proceso de transformación afectando las características naturales del paisaje. En este contexto, sobresale la cobertura “pastos limpios” como aquella con mayor afectación presentando una pérdida de 16411,03 Hectáreas, fenómeno que puede evidenciarse en mayor grado en los alrededores de las cabeceras municipales

En segundo lugar en pérdidas se encuentra la cobertura “Arbustal” presentando una disminución de 1650,69 Hectáreas, situación que pudo originarse como consecuencia de la actividad antrópica, respondiendo a procesos de colonización por parte de las comunidades residentes quienes tienden a eliminar la vegetación nativa para destinar mayor cantidad de terreno a las actividades de subsistencia de la región. En este sentido, las causas de la disminución de área en los arbustales pueden extrapolarse y relacionarse con la tendencia de reducción en área cubierta presentada por los “pastos enmalezados”, la “vegetación secundaria alta” y particularmente el “Bosque denso” el cual paso de 6380,86 Hectáreas en 1992 a 6179,33 en 2012. Finalmente, la cobertura “Vegetación de páramo” reflejó una significativa disminución durante el periodo de análisis, hecho que en resumen acoge como causas principales y al igual que los casos anteriores la ampliación de la frontera agropecuaria, la intensificación de la actividad minera y las dinámicas evolutivas propias de los ecosistemas y coberturas presentes en la región.

### **3.3.2 Análisis de estabilidad de coberturas**

En función de los valores de área obtenidos, la cobertura “Tejido urbano” se mostró estable para los dos años analizados, aun así, esta cobertura que corresponde a los dos municipios con mayor extensión en la zona de estudio (Aquitania y Pesca) si pudo haber presentado incrementos en su área debido a fenómenos de expansión urbana comunes en las últimas décadas, característica que debido a la resolución de las imágenes y específicamente a los limitantes visuales de la imagen del 2012 no fue claramente identificable.

## **4. CONCLUSIONES**

### **4.1 CONCLUSIONES RELACIONADAS CON EL PROCESO**

- La implementación de técnicas de procesamiento digital de imágenes, como la aplicación de filtros de mejoramiento y las correcciones radiométricas y espaciales, constituyen una importante herramienta en el desarrollo de estudios que impliquen el uso de imágenes satelitales como insumo, permitiendo mejorar la calidad visual de las mismas y en consecuencia facilitar el proceso de interpretación, bien sea realizado de forma visual o asistido por herramientas informáticas. Por otra parte, técnicas análogas como la clasificación supervisada, se posicionan como métodos de máxima utilidad en el proceso de análisis de las imágenes estudiadas, logrando generar mapas temáticos con un alto grado de exactitud pero que deben complementarse con la experiencia del intérprete, la cual se considera irremplazable en esta clase procesos.
- El uso de técnicas de Teledetección e imágenes satelitales ópticas en el estudio del complejo de páramos Tota – Bijagual – Mamapacha y en general de todos los páramos, se ve limitado por la complejidad de las condiciones climáticas características de este tipo de zonas, aspecto que en las imágenes se ve reflejado con la presencia de grandes extensiones cubiertas por nubes y bruma que a su vez eliminan gran cantidad de la información involucrada. Dicho lo anterior, el análisis de los páramos mediante imágenes satelitales implica tener en cuenta factores adicionales como los regímenes de precipitación y posibles condiciones climatológicas durante la fecha a evaluar, con la premisa de seleccionar imágenes con el mayor nivel de información disponible, aun cuando no es posible contar con imágenes satelitales completamente despejadas para áreas como estas.

### **4.2 CONCLUSIONES RELACIONADAS CON EL ANÁLISIS MULTITEMPORAL**

- Para el periodo comprendido entre 1992 y 2012, el complejo de páramos Tota-Bijagual – Mamapacha muestra una sustancial transformación en el uso y cobertura del suelo, demostrando pérdidas en la vegetación nativa de los páramos a causa de factores como la ampliación de la frontera agropecuaria y el incremento de la actividad minera. En este contexto, es relevante mencionar el efecto de coberturas como los “Mosaicos de pastos y cultivos”, la cual ha evidenciado un avance trascendental en las últimas décadas reemplazando coberturas propias de los paisajes y ecosistemas paramunos. Ante este fenómeno, información como la generada en este estudio resulta de máxima

utilidad como base en el desarrollo de procesos de gestión, apoyando la toma de decisiones bajo la directriz del manejo sostenible del ecosistema en equilibrio con las actividades económicas desarrolladas por la comunidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Morales Rivas M, et al., (2007). Atlas de Páramos de Colombia. Bogotá, Colombia: Instituto de investigación en recursos biológicos Alexander Von Humboldt . 68-71 P.
- [2] Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Proyecto páramo Andino. En: [http://www.humboldt.org.co/Paramos/reg\\_shapes.php](http://www.humboldt.org.co/Paramos/reg_shapes.php) (septiembre del 2013)
- [3] Chuvieco E.,(1996). Fundamentos de Teledetección espacial. Madrid: Ediciones RIALP. S.A. 312-313 p.
- [4] Posada E.,(2009). Manual de prácticas de Percepción Remota ( Inducción a ERDAS IMAGINE). Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica CIAF.
- [5] IDEAM.,(2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- [6] Parques Nacionales Naturales de Colombia. Instructivo para el levantamiento y actualización de coberturas de la tierra en las áreas de Parques Nacionales Naturales (2010). En: [http://www.parquesnacionales.gov.co/PNN/portel/libreria/pdf/IYM\\_SGC\\_IN\\_0001Instructivoparaellevantamientocoberturas.pdf](http://www.parquesnacionales.gov.co/PNN/portel/libreria/pdf/IYM_SGC_IN_0001Instructivoparaellevantamientocoberturas.pdf) (septiembre del 2013).
- [6] Melo Wilches L., Camacho Chávez M., (2005). Interpretación visual de imágenes de sensores remotos y su aplicación en levantamientos de cobertura y uso de la tierra, Bogotá. Centro de Investigación y Desarrollo de información geográfica - CIAF.
- [7] Muñoz D.,Rodríguez M, Romero M., (2009). Análisis multitemporal de cambios de uso del suelo y cobertura, en la microcuenca Las Minas, corregimiento de la Laguna, municipio de Pasto, departamento de Nariño. En <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/rFACIA/article/viewFile/54/62>. (agosto del 2013)