

**ANALISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA EN LA MICROCUENCA
MIJITAYO, MUNICIPIO DE PASTO, DEPARTAMENTO DE NARIÑO.**

**VANESSA MONCAYO CALVACHE
DANIELA MARCELA CHAVEZ CASTRO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL
SAN JUAN DE PASTO**

2016

**ANALISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA EN LA MICROCUENCA
MIJITAYO, MUNICIPIO DE PASTO, DEPARTAMENTO DE NARIÑO.**

**Vanessa Moncayo Calvache
Daniela Marcela Chávez Castro**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Ingeniero Agroforestal**

**Asesor de proyecto:
I.A.f David Andres Calvache Muñoz**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL
SAN JUAN DE PASTO**

2016

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en este Trabajo de Grado son Responsabilidad de los autores.

Artículo 1 del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado por el Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

“La Universidad de Nariño no se hace responsable de las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor”.

Artículo 13, Acuerdo N. 005 de 2010 emanado del Honorable Consejo Académico.

Nota de Aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, Abril de 2016.

TABA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	7
METODOLOGÍA.....	8
LOCALIZACIÓN	8
MATERIALES	10
MÉTODOS.....	14
PÁRAMO.....	20
BOSQUE.....	22
CULTIVOS.....	24
CONCLUSIONES	26
BIBLIOGRAFÍA.....	27

RESUMEN

Uno de los efectos derivados de las actividades antrópicas en la generación de productos agrícolas, forestales y pecuarios es el deterioro de la cobertura vegetal, por esta razón, es necesario analizar la dinámica espacial y cómo los cambios identificados pueden afectar a los ecosistemas de importancia en la zona de estudio. El análisis multitemporal permite detectar cambios entre diferentes años de referencia, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre el medio. El objetivo de esta investigación fue analizar los cambios detectados en la cobertura de la microcuenca Mijitayo, municipio de Pasto, durante el período 2000-2015, mediante un análisis multitemporal empleando diferentes herramientas y procesos cartográficos digitales como fotointerpretación, clasificación y edición de imágenes satelitales Landsat y fotografías aéreas. Se utilizó el programa ERDAS Imagine para la corrección y clasificación de las imágenes y el programa ArcGis 10.1 para la elaboración de los mapas de coberturas; además se realizó una adaptación de la metodología Corine Land Cover que permitió generar una nueva clasificación de coberturas para la zona alto-andina del departamento de Nariño.

El estudio arrojó resultados de pérdida en las coberturas de pastos con 197,16 has y páramo con 102,99 has, debido a acciones antrópicas y el acelerado cambio en el clima, por otra parte la cobertura boscosa aumentó su área en 170.07 has, incentivado en gran medida por la acción del Sistema de Parques Nacionales Naturales que ha permitido la conservación de ecosistemas presentes en la zona, por otro lado, los cultivos presentaron variaciones debido a la rotación de estos en la microcuenca, y la zona urbana aumentó sustancialmente puesto que va ligado al crecimiento de la población en los últimos años en la ciudad de Pasto.

Palabras clave: Cambios; Conservación; Fotointerpretación; Teledetección; Vegetación.

ABSTRACT

One of the effects of human activities in the generation of agricultural, forestry and livestock products is the deterioration of plant cover, for this reason, it is necessary to analyze the spatial dynamics and how the identified changes may affect important ecosystems in the study area. The multi-temporal analysis to detect changes between different reference years, deducing the evolution of the natural environment or the impact of human action on the environment. The objective of this research was to analyze the changes detected in the coverage of the Mijitayo, municipality of Pasto, during the period 2000-2015 microbasin through a multitemporal analysis using different tools and digital cartographic processes such as photo interpretation, sorting and editing Landsat satellite images and aerial photographs. ERDAS Imagine the program for correction and classification of images and ArcGis 10.1 program for the development of coverage maps used; also adapted from Corine Land Cover methodology that allowed generate a new cover classification for high-Andean zone of Nariño was performed.

The study yielded results in loss pasture with hedges moor with 197.16 hectares and 102.99 hectares, due to human actions and the rapid change in climate, on the other hand increased its forest cover area 170.07 hectares, incentivized largely by the action of the System of National Parks has allowed the conservation of ecosystems in the area, on the other hand, the crops showed variations due to the rotation of these in the watershed, and the urban area increased substantially since it is linked to population growth in recent years in the city of Pasto.

Keywords: Change; Conservation; Fotointepretación; Remote sensing; Vegetation.

INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas han transformado la mayor parte de los ecosistemas del planeta (Sánchez *et al.*, 2009), dicho proceso se relaciona con la deforestación y la fragmentación de los mismos, la desertización, la alteración del ciclo hidrológico e incremento de la

vulnerabilidad de grupos humanos (Reyes *et al.*, 2006) asociados con impactos ecológicos a prácticamente todas las escalas (Bocco *et al.*, 2001; Rosete *et al.* 2009). A nivel de cuenca provoca cambios en el ciclo hidrológico, alteraciones en los regímenes de temperatura y precipitación, favoreciendo con ello, el calentamiento global, la disminución en el secuestro de bióxido de carbono, pérdida de hábitats y biodiversidad (FAO, 2005).

El río Mijitayo cumple un papel importante en el abastecimiento del recurso hídrico para gran parte de la ciudad de Pasto, además de los servicios ambientales que presta y su potencial ecosistémico ofreciendo beneficios a la comunidad como producción de oxígeno, captación de CO² y belleza escénica (Madroñero y Jiménez, 2006).

Por lo anterior un análisis multitemporal asume no sólo una importancia relevante en la valoración del contexto urbanístico, paisajístico y estructural de un territorio, sino también, un instrumento de monitorización en el tiempo (Ferrari *et al.*, 2010), deduciendo de ahí la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre el medio (Trejos, 2004).

El presente estudio de análisis multitemporal tiene como objetivo identificar y analizar los cambios en la cobertura del suelo sucedidos en la microcuenca Mijitayo en los últimos 15 años, aportando a la comunidad académica e investigativa información para generar alternativas que conlleven a orientar las condiciones de manejo de los recursos y a la creación de programas que fomenten un desarrollo sostenible para el municipio.

METODOLOGÍA

LOCALIZACIÓN

La microcuenca Mijitayo se encuentra ubicada al occidente de la ciudad de Pasto, departamento de Nariño, Colombia, en las estribaciones del Volcán Galeras, con coordenadas geográficas N 1° 13' 27,2" y W 77°17'09" formando parte de la Subcuenca hidrográfica del río Pasto. La microcuenca del río Mijitayo limita por el norte con la vereda

de Anganoy, al sur con los corregimientos de Obonuco, Jongovito, El Rosal y Las Malvas, al oriente, con la ciudad de San Juan de Pasto, como se muestra en la Figura 1.

La temperatura media de la zona de estudio es de $12,8^{\circ}$, la humedad relativa presenta una máxima 91,5% y un mínimo de 63% para los meses agosto y septiembre (IDEAM, 2014); el comportamiento de las lluvias es de tipo bimodal, con periodos de precipitación entre los meses de marzo a junio y de noviembre a diciembre, la precipitación promedio es de 1300mm/año (IDEAM, 2014). De acuerdo al sistema de clasificación de Holdridge (1967), la microcuenca Mijitayo pertenece a las zonas de vida: Páramo subandino (P-SA), Bosque húmedo montano (bh-M), Bosque muy húmedo montano (bmh-M) y Bosque seco montano bajo (bs-MB) (IGAC, 2004).

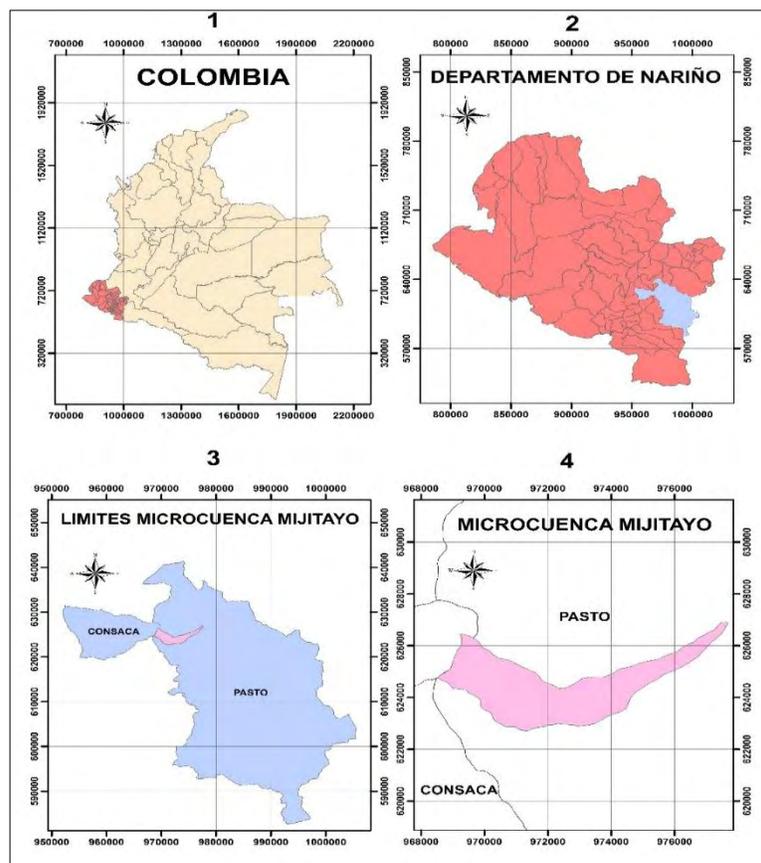


Figura 1. Mapa localización Microcuenca Mijitayo.

MATERIALES

Revisión de información primaria y secundaria

Gran parte de la información se adquirió mediante revisión de fuentes secundarias como el Plan de manejo de santuario de flora y fauna Galeras, (2015), Portafolio de proyectos de investigación santuario de flora y fauna Galeras, (2015), Programa de monitoreo santuario de flora y fauna Galeras (2015), POMCH río Pasto (2010) y EOT del municipio, así como de investigaciones previamente elaboradas que hacen parte de la zona de estudio, de la misma manera se utilizó cartografía digital: planchas cartográficas del año 2014 (429ID, 429IIC), imágenes satelitales LANDSAT TM y ETM+ 5,7 y 8 (2000, 2005, 2010 y 2015) y un ortofotomosaico del año 2005, debido a la alta nubosidad presentada en ese año. Paralelamente se realizaron visitas de campo con el fin de reconocer el área de estudio e identificar las coberturas existentes. Con ayuda del receptor de navegación GPS se capturaron coordenadas para rectificar y actualizar algunas imágenes; además se aplicaron entrevistas abiertas para las cuales se seleccionaron 30 personas al azar tanto en la zona rural como en la zona urbana de la microcuenca las cuales permitieron establecer la cobertura del suelo actual y de años anteriores.

Datos digitales

Como primera fase se obtuvieron cuatro imágenes satelitales de la plataforma Landsat, identificadas con número de *path 009* y *row 59*, provistas y descargadas por medio del portal web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Para la selección básica de los datos ráster se tuvo en cuenta la disponibilidad, una buena visibilidad y semejanzas en las fechas de adquisición para evadir condiciones meteorológicas atípicas. Las imágenes Landsat se caracterizan por ser imágenes multiespectrales (con seis bandas ópticas y una térmica) de mediana resolución espacial, propicias para estudiar fenómenos naturales y coberturas del suelo.

Entre los conjuntos de datos disponibles en esta base, se solicitaron los productos originales con su correspondiente archivo de metadato, la reflectancia superficial de cada una de las bandas ópticas y la temperatura de brillo en la banda térmica, corregida atmosféricamente por el modelo de código de transferencia radiativa 6S (Segunda Simulación de una Señal

del Satélite en el Espectro Solar); éste método de corrección tiene como entradas el vapor de agua, el ozono, la altura geopotencial, el espesor óptico de aerosol y un modelo de elevación digital (USGS). Las fechas de adquisición se indican en la Tabla (1), en tanto las características del sensor TM se presentan en las Tablas (2,3 y 4).

Tabla 1. Características de las imágenes Landsat TM.

ID DE LA ESCENA	FECHAS DE ADQUISICIÓN	SENSOR
LT50090592000191XXX06	07/10/2000	TM
LE70090592005287EDC00	14/10/2005	ETM+ L1T
LE70090592010261ASN00	18/09/2010	ETM+ L1T
LC80090592015024LGN00	24/01/2015	L1 T

Tabla 2. Características de las imágenes Landsat TM 5.

MODO ESPECTRAL	RESOLUCIÓN ESPACIAL(m)	BANDAS ESPECTRALES (micras μm)		RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA	RESOLUCIÓN TEMPORAL	
		Banda	Región			
Multiespectral	30	Banda 1	Visible Azul	0.45 - 0.52	8 BITS	16 Días
		Banda 2	Visible Verde	0.52 - 0.60		
		Banda 3	Visible Rojo	0.63 - 0.69		
		Banda 4	Infrarrojo Cercano	0.76 - 0.90		
		Banda 5	Infrarrojo Onda Corta	1.55 - 1.75		
		Banda 7	Infrarrojo Onda Corta	2.08 - 2.35		

Termal	120	Banda 6	<i>Infrarrojo Térmico</i>	10.4 - 12.5		
--------	-----	------------	-------------------------------	----------------	--	--

Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (2016).

Tabla 3. Características de las imágenes Landsat 7.

MODO ESPECTRAL	RESOLUCIÓN ESPACIAL(m)	BANDAS ESPECTRALES (micras μm)			RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA	RESOLUCIÓN TEMPORAL
Multiespectral	30	Banda	Región		8 BITS	16 Días
		Banda 1	<i>Visible Azul</i>	0.45 - 0.52		
		Banda 2	<i>Visible Verde</i>	0.53 - 0.61		
		Banda 3	<i>Visible Rojo</i>	0.63 - 0.69		
		Banda 4	<i>Infrarrojo Cercano</i>	0.78 - 0.90		
		Banda 5	<i>Infrarrojo Onda Corta</i>	1.55 - 1.75		
		Banda 6	<i>Infrarrojo Onda Corta</i>	2.09 - 2.35		
Pancromática	15	Banda 8	<i>Pancromática</i>	0.52 - 0.90		

Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (2016).

Tabla 4. Características de las imágenes Landsat 8.

MODO ESPECTRAL	RESOLUCIÓN ESPACIAL(m)	BANDAS ESPECTRALES (micras μm)			RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA	RESOLUCIÓN TEMPORAL
Multiespectral (OLI)	30	Banda	Región		12 BITS	16 Días
		Banda 1	<i>Coastal Aerosol</i>	0.433 - 0.453		
		Banda	<i>Visible</i>	0.450 -		

		2	<i>Azul</i>	0.515
		Banda 3	<i>Visible Verde</i>	0.525 - 0.600
		Banda 4	<i>Visible rojo</i>	0.630 - 0.680
		Banda 5	<i>Infrarrojo Cercano</i>	1.845 - 1.885
		Banda 6	<i>Infrarrojo Onda Corta</i>	1.560 - 1.660
		Banda 7	<i>Infrarrojo Onda Corta</i>	2.100 - 2.300
		Banda 9	<i>Nubes</i>	1.360 - 1.390
Pancromática (OLI)	15	Banda 8	<i>Pancromática</i>	0.500 - 0.680
TIRS	100	Banda 10	<i>Infrarrojo Onda Larga</i>	10.30 - 11.30
		Banda 11	<i>Infrarrojo Onda Larga</i>	11.50 - 12.50

Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (2016).

Los productos de reflectancia superficial, así como las temperaturas de brillo, se descargan con una exactitud geométrica por la incorporación de un Modelo Digital de Elevación (DEM) y puntos de control terrestre (GCPs) al tener un nivel de procesamiento L1T. Asimismo, estos productos están reproyectados en el sistema de proyección Datum MAGNA SIRGAS ZONA OESTE, en formato GeoTiff, y cuentan con un tamaño de pixel remuestreado a 30 m usando el método del vecino más cercano (USGS, 2016).

MÉTODOS

Procesamiento de imágenes satelitales

Debido a que las imágenes satelitales poseen errores con respecto a la calidad visual, georreferenciación y distorsiones geométricas, fue necesario aplicar algunos procesos que permitieron generar una información de calidad (Muñoz *et al.*, 2008).

- a. Se identificaron las imágenes con mayor cantidad de errores geométricos y se procedió a georreferenciar con algunos puntos capturados en campo en la primera fase, mediante el programa ERDAS se realizaron dos procesos finales a cada una de las imágenes, dichos procesos permitieron una homogeneidad en las características cartográficas y una mejora en la disposición de datos de cada imagen, los procesos desarrollados fueron:
 - Corrección de corrimiento entre imágenes.
 - Corrección radiométrica y topográfica.

Tratamiento de imágenes

La aplicación de diferentes composiciones de color RGB, es fundamental para el mapeo de la cobertura de la tierra. Se aplicaron diferentes composiciones RGB y realces de la imagen que generaron una información más detallada. Las principales composiciones que se aplicaron fueron: 3-2-1, 4-3-2, 4-5-2 y 7-4-2.

Clasificación de cobertura del suelo

La clasificación de cobertura se realizó a partir de la metodología Corine Land Cover como base, la cual se elaboró a una escala poco detallada (1:100.000) y en zonas con diferentes tipos de cobertura a la zona andina, sin embargo, a partir de varias visitas a campo, y georreferenciación de tipos de coberturas se adaptó dicha metodología identificando especies vegetales pertenecientes a coberturas del trópico alto andino, esto permitió tener una cartografía más detallada, actualizada y adaptada a la zona de estudio.

La identificación y el área de la cobertura del suelo de la microcuenca Mijitayo se realizó para un periodo de 15 años, correspondiente a los años 2000, 2005, 2010 y 2015 teniendo en cuenta el mapa base de toda la zona generado mediante el programa ArcGis 10.1, receptores de navegación GPS, procesos de geoprocésamiento y el manejo de una

geodatabase relacional, esto con la finalidad de evitar errores topológicos y tener una base cartográfica sólida. A partir de esta información y con ayuda de un modelo de elevación digital (DEM), se realizó la delimitación de la figura geométrica (borde), para llegar a esto se generaron curvas de nivel cada 25 metros y sumideros reales y erróneos. A partir del punto de desfogue identificado en la información geográfica recolectada se generó la red de drenaje con el corte del área de estudio (Mask) del DEM y las curvas de nivel, creando archivos de dirección y acumulación de flujos. Cabe destacar que fue necesario rectificar la red de drenaje generada con información secundaria recolectada previamente, debido a que en algunas zonas se pueden generar errores mínimos que deben ser corregidos; de acuerdo a las curvas de nivel y la red de drenaje, finalmente se delimitó el polígono de la microcuenca sobre el cual se trabajó.

La propuesta del diseño, adaptación y clasificación de la Cobertura del suelo se realizó con base al EOT para el municipio de Miranda-Cauca en el año 2001, a partir del análisis de cinco categorías principales (Páramo, Bosque, Pastos, Cultivos y Zona urbana); además se realizó un muestreo de transecto variable Foster *et al.* (1995), el cual tiene como base muestrear un número estándar de individuos en vez de una superficie estándar y no requiere tomar medidas precisas de los datos, para la zona se realizó un transecto de 100m x 5m. Las muestras botánicas recolectadas fueron llevadas al Herbario PSO de la Universidad de Nariño, en el cual se hizo su respectivo reconocimiento y se identificó a qué tipo de cobertura correspondían las especies encontradas.

Para realizar el análisis multitemporal se utilizó la metodología propuesta por Chuvieco, E, (2002), la cual consiste en realizar una clasificación de manera supervisada y no supervisada. En el Software ERDAS se realizó la clasificación de las imágenes satelitales, con el fin de establecer la agrupación de píxeles en un número predeterminado de categorías, con base en los niveles digitales de cada imagen, lo que facilitó una primera interpretación de la imagen, mediante los siguientes procesos:

- a. **Clasificación No Supervisada:** Como primera medida se generó una clasificación automática, dándole libertad al software que mediante patrones estadísticos generara

una capa temática con respecto a los valores por pixel, esto con el fin de establecer una visualización previa de las coberturas encontradas en la zona.

- b. Clasificación Supervisada:** Este tipo de clasificación fue definitiva para el estudio y solo se aplicó en la imagen del 2015; se realizó un recorrido de campo el cual permitió corregir y corroborar datos generados en la clasificación no supervisada igualmente completar información de zonas en las cuales nubes o sombra impidieron la captura.

Análisis multitemporal

Con los resultados preliminares se procedió a superponer y analizar geoméricamente capas conformadas por imágenes satelitales de los años 2000, 2005, 2010 y 2015, con el fin de detectar y analizar los cambios de cobertura sucedidos a través del tiempo. Finalmente se vectorizaron áreas de conflictos encontradas en el proceso y se realizó la identificación de la cobertura de acuerdo a la leyenda perteneciente a la nueva clasificación generando atributos como áreas y perímetros para cada uno lo cual conllevó al despliegue de porcentajes de ganancia o pérdida de las coberturas.

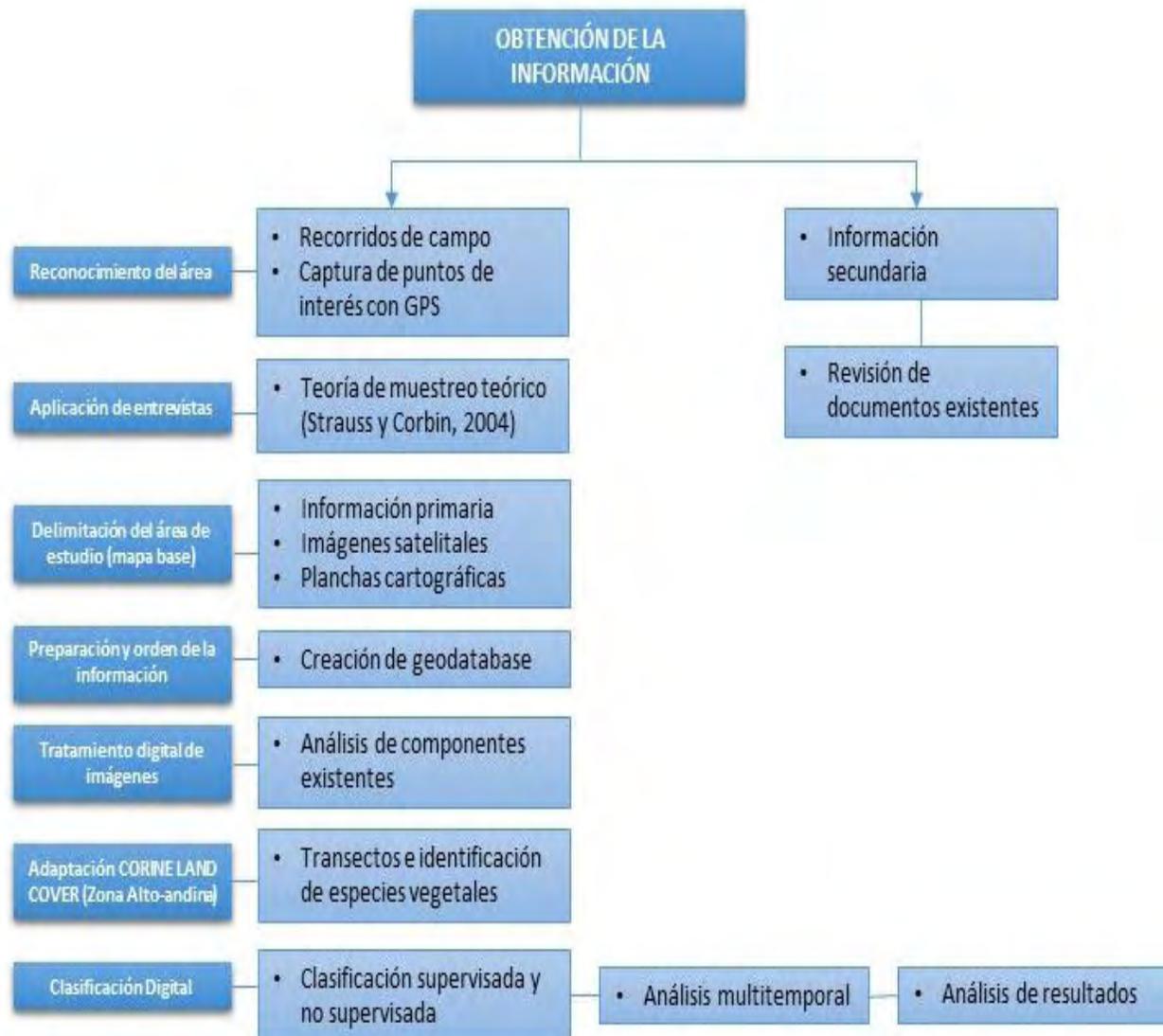


Figura 2. Esquema metodológico general.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la identificación de cambios de la cobertura realizado en la microcuenca Mijitayo se seleccionaron aquellas con mayor área. Páramo, Bosque, Pastos, Cultivos y Zona urbana fueron las coberturas cartografiadas y analizadas en este estudio. Los productos cartográficos se muestran para los años 2000, 2005, 2010 y 2015. La Tabla 5

muestra el cambio que se ha presentado en la cobertura teniendo en cuenta el mapa base a escala 1:5.000 realizado anteriormente.

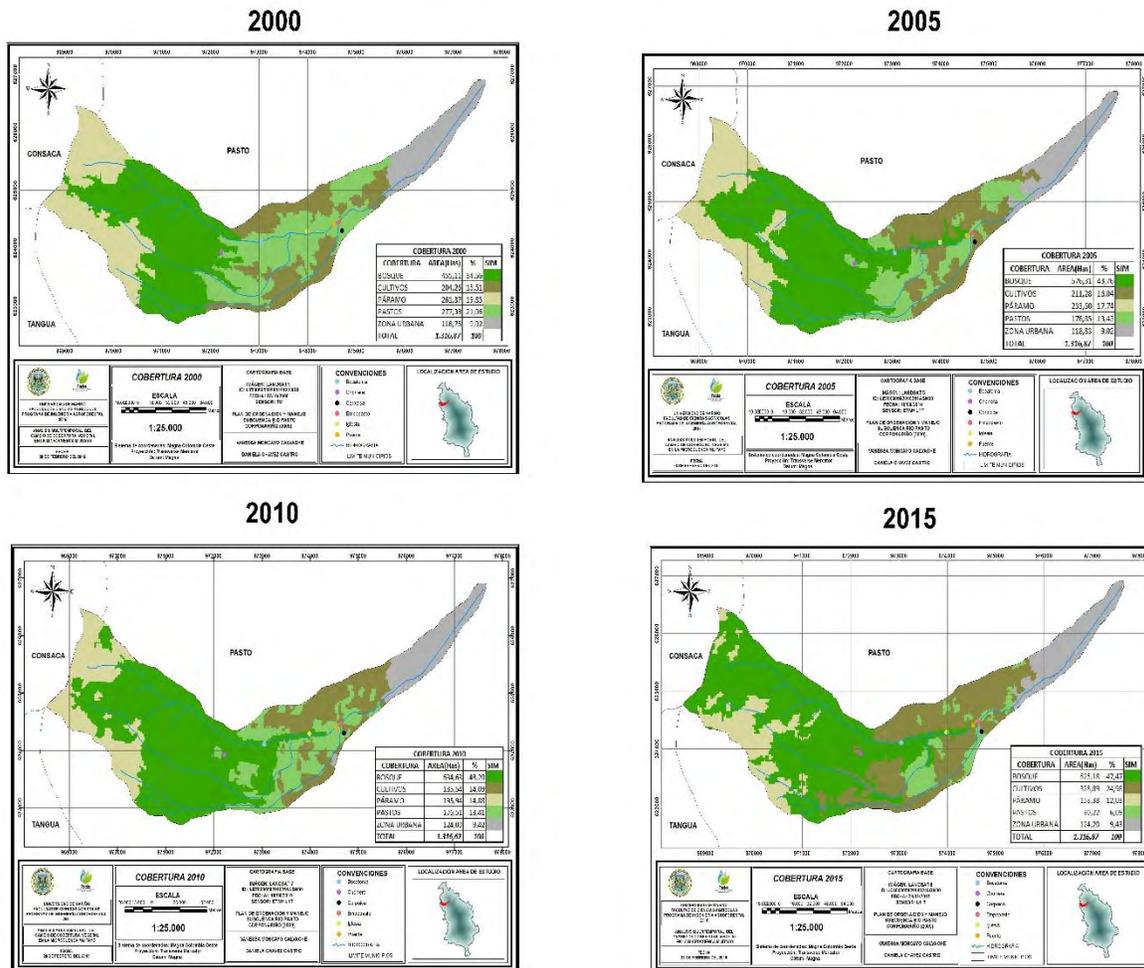


Figura 3. Mapas de cobertura del suelo 2000, 2005, 2010, 2015, microcuenca Mijitayo.

Tabla 5. Cambios de la cobertura en los últimos 15 años.

COBERTURA	AÑO	%	AÑO	%	AÑO	%	AÑO	%
	2000	del	2005	del	2010	del	2015	del
	Has	Área	Has	Área	Has	Área	Has	Área

PÁRAMO	261,37	19,85	233,60	17,74	195,94	14,88	158,38	12,03
BOSQUE	455,11	34,56	576,31	43,76	634,63	48,19	625,18	47,47
CULTIVOS	204,26	15,51	211,28	16,04	185,54	15,56	328,89	24,98
PASTOS	277,38	21,06	176,85	13,43	176,51	13,4	80,22	6,09
ZONA URBANA	118,75	9,02	118,83	9,02	124,00	7,97	124,20	9,43

Con respecto a la cobertura de Páramo, la Tabla 5 muestra que para el año 2000 el área correspondiente es de 261,37 has es decir el 19,85% del área total, sin embargo, para los siguientes años se observó que el área disminuyó, por ejemplo para el año 2015 se registró un área de 158,38 has, con una pérdida del 7,82% del área ocupada. Para la cobertura boscosa el análisis mostró que en el año 2000 este cubría un área de 455,11 has, 34,56% de su extensión total, además el área aumentó progresivamente para los años 2005, 2010 y 2015 con 170,07 has tal como se demuestra en la Tabla 5.

La cobertura de cultivos en la microcuenca Mijitayo ha presentado variaciones a lo largo de los años estudiados. Para el año 2000 muestra un área 204,26 has; sin embargo, para el 2015 el área presento un aumento evidenciando un área de 124,63 has, siendo el cambio más considerable, esto debido a la constante rotación que se presenta en la zona de estudio. La superposición de imágenes indicó que la cobertura de pastos ha disminuido a lo largo de los años, por ejemplo en el año 2000 se observaron valores de área de 277,38 has ocupando el 21,06% del área total de la microcuenca; para los años 2005 y 2010 el área disminuyó encontrando valores de 176,85 y 176,50 has respectivamente, por último para el año 2015 se evidencia el menor valor con 80,22 has es decir el 6,09% del área de la microcuenca.

Finalmente la Zona Urbana ha mostrado un aumento progresivo puesto que va ligado con el aumento en la población, lo cual se puede demostrar en la Tabla 5, en la que se observa que el área para el año 2000 es de 118,75 has y para el año 2015 aumentó sustancialmente con un área de 124,20 has. La mayor evidencia de cambio se vio reflejada entre los años 2005 y 2010 con 5,17 has.

Para un análisis más detallado, es necesario contar con una escala mayor. El mapa de cobertura actual (2016) a escala 1:5.000 (Figura 4), permite identificar la ubicación de las especies vegetales encontradas en campo y correlacionar los valores de las coberturas anteriormente mencionados corroborando la clasificación de cobertura y aumentando el detalle del análisis.

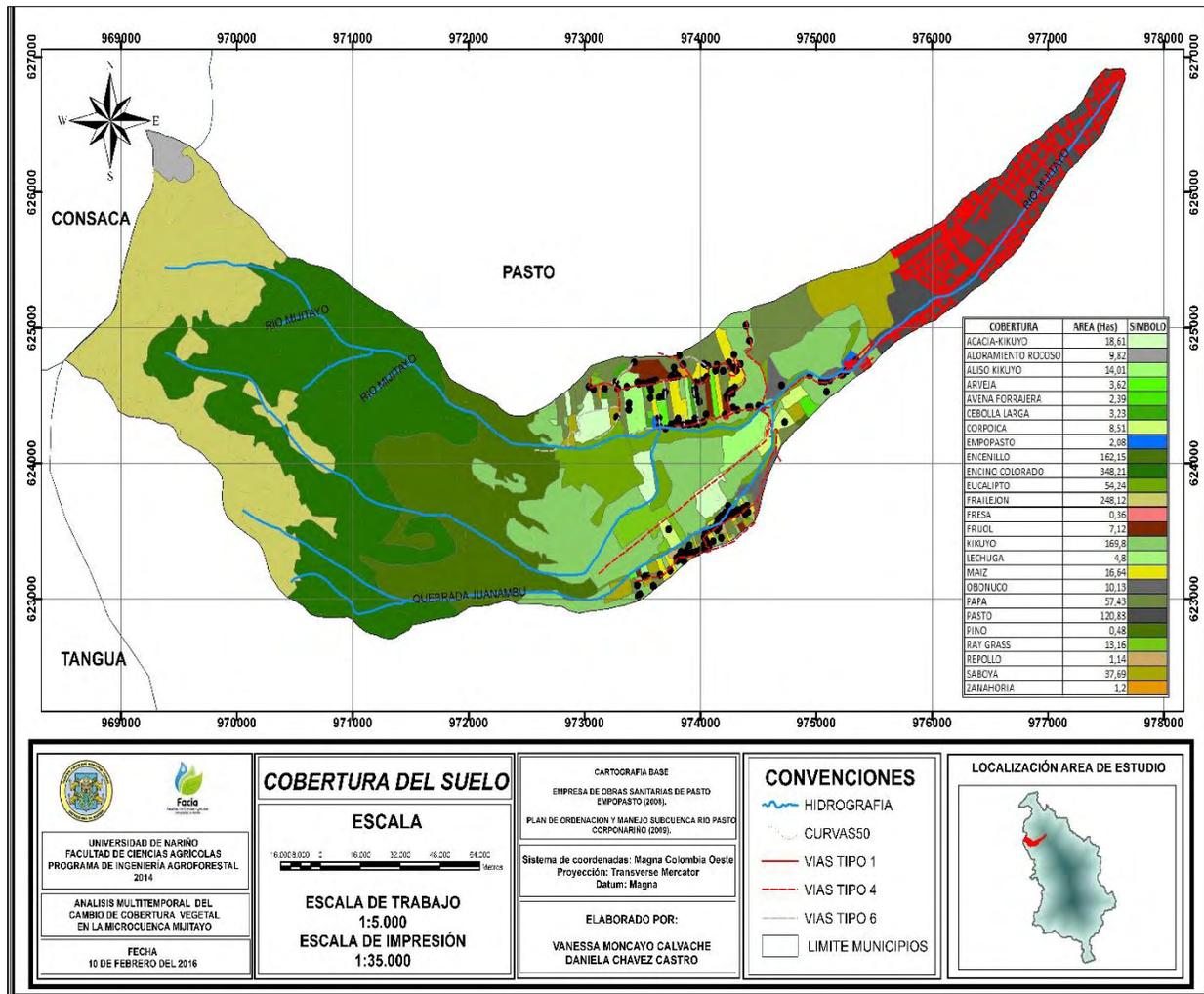


Figura 4. Mapa de cobertura actual de la Microcuenca Mijitayo.

PÁRAMO

Esta zona se extiende entre los 3.500 a 4.100 m., aproximadamente, se encuentra una vegetación predominante de frailejonales (*Espeletia pycnophylla* Cuatrec.), rosetales,

pajonales y cortadera (*Calamagrostis effusa* (Kunth) Steud., *Cortaderia nítida* (Kunth) Pilg), además se encuentra una gran diversidad de especies vegetales de tipo arbustivo de las familias Hypericaceae (*Hypericum laricifolium* Juss., *H. ruscoides* Cuatrec., *H. juniperinum* Kunth), Asteraceae (*Diplostephium hartwegii* Hieron., *D. floribundum* Cuatrec) y Ericaceae (*Pernettya prostrata* (Cav.) DC., *Vaccinium floribundum* Kunth., *Bejaria aestuans* Mutis ex L., *Bejaria mathewsii* Fielding & Gardner) y especies del género *Gaultheria*, las cuales se establecen para generar zonas de ecotonia o de contacto con la vegetación de la región de la media montaña conformando comunidades mixtas (Parques Nacionales Naturales, 2015).

La microcuenca del río Mijitayo cuenta con un área de 158,38 has de páramo, los cuales en argumento de Durán *et al.*, (2003), son ecosistemas estratégicos, debido a su gran poder de captación y regulación de agua, generando gran parte de las fuentes de agua que comprenden la compleja red hidrológica departamental. Prestan servicios ambientales muy importantes para las comunidades rurales y urbanas, siendo el más sobresaliente, su papel en la producción y regulación hídrica.

De acuerdo con el análisis realizado (Figura 4), el ecosistema de páramo ha disminuido su área en 60,59% en los últimos 15 años, este efecto se presenta principalmente a causa del cambio climático; Santander (2003), señala que la actividad humana y el cambio climático global amenazan con extinguir los páramos de Colombia, frailejones, arbustos y bosques enanos desaparecerían junto con ríos, quebradas y lagunas.

Por lo anterior en la microcuenca Mijitayo la actividad antrópica ha modificado la vegetación natural debido a ocupaciones por parte de la comunidad colindante en este caso la vereda San Felipe, quienes años atrás afectaron la población de frailejones (*Espeletia pycnophylla* Cuatrec.), por actividades ilegales como quemas provocadas y uso de recursos sin regulación, situación que afectó a la población y llamó la atención de las autoridades ambientales para disminuir el deterioro de este ecosistema, en este sentido el Sistema de Parques Nacionales Naturales ha realizado una ardua labor en esta zona con el objetivo de protegerla y conservarla, sin embargo, a pesar de los esfuerzos no ha sido posible mantener el ecosistema intacto debido a actividades ajenas a las que realiza el hombre y a la falta de gestión de políticas a nivel regional.

Además de los impactos antrópicos sucedidos en la microcuenca, está el cambio climático por calentamiento global, el cual se presenta como un factor adicional de perturbación que modificando sustancialmente los regímenes naturales y alterados de los ecosistemas (García, 2003). Los resultados de estudios realizados por el IDEAM indican que en un escenario de duplicación de CO₂ en la atmósfera, la temperatura aumentará entre 2.5 y 3°C, reduciéndose la precipitación entre un 10 y 20%, además el principal efecto potencial es el probable ascenso de las zonas bioclimáticas y sus límites hasta unos 400 a 500 metros, en un tiempo relativamente corto. Estas partes de las zonas de vida bioclimáticas según Holdridge que sufrirían la transición a otra zona serían las más vulnerables a los impactos del cambio climático (IDEAM *et al.*, 2002).

Finalmente cabe resaltar que si bien en la microcuenca del río Mijitayo la actividad humana ha modificado la vegetación, tan sólo en el páramo se encuentra flora natural, gracias a la labor realizada por en el Sistema de Parques Nacionales Naturales.

BOSQUE

Para los primeros años (2000-2005) la cobertura boscosa ocupaba una menor área y aumentó paulatinamente para el año 2010, esto puede explicarse teniendo en cuenta que uno de los principales problemas ambientales que afectó la microcuenca fue el uso, la ocupación y la tenencia de la tierra por parte de los habitantes de la vereda San Felipe puesto que el 50 % de los habitantes de la microcuenca expresaron que poseen lotes en la zona boscosa de la microcuenca desde antes que se declarara el área protegida, lo cual afectó la conservación de los ecosistemas estratégicos como bosque andino y bosque alto-andino (Rosero y Narváez, 2005).

La Microcuenca se encontraba anteriormente cubierta de bosques nativos donde se hallan dos tipos de bosque: bosque primario que corresponde al bosque alto-andino no intervenido ocupando un área de 348,21 has, el cual se encuentra dominado por Encino colorado (*Weinmannia rollottii* Killip.) y representado en menor proporción por otras especies como Cerote (*Hesperomeles glabrata* Kunt.), Flor de mayo (*Miconia ligustrina* (Sm.) Triana), Siete cueros (*Tibouchina mollis* (Bonpl.) Cogn.), Cletráceas (*Clethra ovalifolia* Turcz.),

Amarillo (*Miconia sp.*) y Chaquilulo (*Macleania rupestris* (Kunth) A.C. Sm.), entre otros. El bosque secundario o andino intervenido ocupa un área de 162,15 has, la especie dominante en esta zona es el Encenillo (*Weinmannia tomentosa* L.f.), sin embargo se encuentran diferentes especies como Motilón (*Hyeronima macrocarpa* Müll. Arg.), Zarcillejo (*Palicourea amethystina* (Ruiz & Pav.) DC.), Mano de oso (*Oreopanax floribundus* (Kunth) Decne. & Planch.), Higuérón (*Ficus insípida* Willd.), Moquillo (*Clavija sp.* Ruiz & Pav.), Cucharó (*Myrsine guianensis* (Aubl.) Kuntze.) y Rayo (*Cinchona pubescens* Endl.), los cuales fueron deforestados indiscriminadamente y en consecuencia motivaron la ampliación de la frontera agrícola, situación que se puede evidenciar de acuerdo a los resultados para los años 2000 y 2005 con áreas de 455,11 has y 576,30 has.

En estas zonas instituciones de investigación han desarrollado inventarios florísticos, en pro de acercarse a un estimativo de las comunidades vegetales (Parques Nacionales Naturales, 2015), lo que ha permitido entender el verdadero valor de los ecosistemas andinos en general, tanto para la economía como para la ecología.

De acuerdo a lo anterior, los ecosistemas de las zonas altas de los Andes poseen un importante valor científico y funcionan como reguladores del clima mundial, por su flora endémica y su paisaje único, y son fundamentales para la regulación de la hidrología regional, ya que en estos ecosistemas es donde nacen la mayoría de los ríos. Parques Nacionales ha realizado una ardua labor en la protección y conservación del área de bosque en la microcuenca que hace parte del Santuario de Flora y Fauna Galeras, por medio del cual se logró que sus dos ecosistemas (Bosque Andino y Bosque Alto-andino) se encuentren en un importante estado de conservación y recuperación, donde el bosque alto-andino logra mantener las características bióticas necesarias para que las poblaciones de fauna y flora mantengan su flujo genético y garanticen de cierta manera su permanencia en ciertos ecosistemas (Jiménez, 2012), lo anterior debido a que el sistema de Parques Nacionales Naturales está amparado en el Decreto 2372 de 2010, (el cual reglamenta la Ley 165 de 1994), donde se establece que el uso principal en las áreas protegidas es la conservación, permitiéndose otros usos siempre y cuando no vayan en contravía de los objetivos de conservación (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2014).

Por otra parte, en la zona media de la microcuenca se encuentra una plantación forestal reemplazando al bosque ripario, representado por Eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.) y Pino (*Pinus patula* Schltdl. & Cham.), ocupando un área de 54,72 has. La sustitución del bosque y matorral nativo, la corta de vegetación en las áreas adyacentes a los cursos de agua y quebradas principales, traen como consecuencia la creación de zonas homogéneas con grandes diferencias vegetativas respecto a las especies naturales, un agravamiento de los procesos erosivos y deslizamientos de tierras (CEDRE, 2004).

Finalmente el uso que se da a este tipo de bosque (plntación) es básicamente con fines económicos y comerciales como madera y leña, siendo estas especies asequibles para los pequeños campesinos (CEDRE, 2004).

CULTIVOS

Debido a la resolución espacial de las imágenes es difícil detectar los diferentes tipos de cultivos, por lo tanto para la clasificación estos se agruparon en una sola clase que lleva su misma nomenclatura; sin embargo teniendo en cuenta el levantamiento de la cobertura actual de la microcuenca (2016) se observó que el principal cultivo en la zona es la papa (*Solanum tuberosum* L.) con 57,43 has. Según CORPOICA (2000), Pasto pertenece a una zona alta con ecosistema de montaña donde es común el cultivo de papa en rotación con pastos para alimentación de ganado de leche además los suelos, clima y altura de la zona determinan buenas condiciones básicas para este cultivo.

Otros cultivos de relevancia son las hortalizas como la como zanahoria (*Daucus carota* L.), la cebolla (*Allium fistulosum* L.), la lechuga (*Lactuca sativa* L.) y el repollo (*Brassica oleracea* L.) con 10,37 has sembradas. El cultivo de estos productos se han hecho representativos en la zona en los últimos años gracias a la cercanía con la ciudad y con los mercados, logrando que las huertas caseras se conviertan en cultivos de micro y minifundios (CEDRE, 2004). De igual forma el cultivo del maíz (*Zea mays* L.) es de importancia tanto por su consumo en la región, así como por la relevancia que a nivel cultural posee, teniendo en cuenta las raíces indígenas de esta comunidad; para el año 2016 este producto presenta un área de 16,64 has sembradas.

PASTOS

Según el levantamiento de cobertura de la microcuenca Mijitayo (2016) los principales pastos son el Ray Grass (*Lolium perenne* L.) y el Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.) los cuales se encuentran en sistemas agroforestales asociados con Aliso (*Alnus acuminata* Kunth.) y Acacia (*Acacia mangium* Willd). En la zona de la Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria (CORPOICA) se encuentran los arreglos agroforestales de árboles dispersos de Aliso- Kikuyo con un área de 8,39 has y Acacia-Kikuyo con 4,7 has.

En la microcuenca Mijitayo las zonas de pasto son dedicadas principalmente como forraje para alimentar especies como cuyes y conejos y para ganadería. La actividad ganadera se presenta únicamente en la vereda San Felipe.

ZONA URBANA

Mientras la población aumenta, la cantidad de tierra disponible cada día se ve más reducida. Según el diagnóstico socioeconómico y del mercado de trabajo de la ciudad de Pasto (2012) En el periodo de 2005 – 2012, se observó un crecimiento de la población urbana más acentuada que la rural. Teniendo en cuenta las encuestas realizadas el 70% de las personas expresaron que migran a la ciudad, esto se debe a que la poca disponibilidad de tierras cultivables ha obligado a los habitantes a buscar otras formas de trabajo que les garanticen los recursos necesarios para subsistir. Estas comunidades están dejando su tradicional forma de vida basada en la agricultura, para vincularse al mercado de la fuerza de trabajo en las grandes ciudades que se convierten en pocos receptores de población migrante de estas zonas marginales (Madroñero y Jiménez, 2006).

En otros estudios se detectó que en el departamento de Nariño y en especial en los corregimientos, el desarrollo del sector rural ha sido lento, este se ha convertido en un centro abastecedor de alimentos agropecuarios y de mano de obra barata para los centros urbanos, hecho que ha desatado procesos de migración ante la falta de oportunidades y alternativas rentables que permita a los campesinos asegurar una vida digna para ellos y sus familias (Universidad de Nariño-CEDRE, 2001).

CONCLUSIONES

Las coberturas correspondientes a bosque y páramo abarcan la mayor extensión del área total de la microcuenca. La preservación de estos ecosistemas cumple un papel fundamental en el mantenimiento del recurso hídrico debido a que este permite el desarrollo de actividades agrícolas y pecuarias en la zona rural.

La microcuenca Mijitayo es una zona de importancia para gran parte de los habitantes de la ciudad de Pasto, por lo tanto su estudio debe ser prioridad para la comunidad académica e investigativa.

Determinar el cambio de la cobertura del suelo en una microcuenca permite conocer registros históricos, sus cambios y posibles causas de impactos negativos, con el fin de mitigarlos mediante sistemas de producción sostenibles como los sistemas agroforestales.

Las imágenes satelitales son una herramienta indispensable para llevar a cabo estudios como análisis multitemporales permitiendo generar alternativas que conlleven a la conservación y uso responsable de los recursos naturales.

La información que se encuentra en las imágenes satelitales es muy escasa al igual que la información cartográfica, por lo tanto este tipo de estudios generan información importante y actualizada de cualquier zona.

BIBLIOGRAFÍA

BOCCO, G.; MENDOZA, M.; VELÁZQUEZ, A. 2001. Geomorfología: Teledetección y la cartografía geomorfológica regional SIG una herramienta para la tierra utiliza la planificación en los países en desarrollo. 139: 211-219.

CEDRE. 2004. Cultura Organizativa y participativa en el ordenamiento y manejo de microcuencas de los corregimientos de Genoy, Obonuco, y Buesaquillo, del municipio de Pasto. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. 150 p.

CHUVIECO, E. 2002. Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio, Barcelona, España: Ariel Ciencia. 586 p.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). 2000. Manejo Integrado del cultivo de la papa. Manual Técnico. C.I. Tibaitatá, Mosquera, Cundinamarca. 196 p.

DURÁN, C.; JARAMILLO, A.; CASTAÑO, C.; y RODRÍGUEZ, J. 2003. Los páramos andinos; su diversidad, sus habitantes, sus problemas y sus perspectivas. Un breve diagnóstico regional del estado de conservación de los páramos. Congreso Mundial de Páramos, Memorias. Tomos II. Gente nueva editorial, Colombia. 1062- 1089.

EOT, Esquema de Ordenamiento Territorial Municipio de Miranda – Cauca Diagnóstico Territorial. 2001. Cobertura y Uso actual de la Tierra. En: <http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/POT/miranda/08%20COBERTURA%20Y%20USO.pdf>. Consulta: diciembre 2015.

FERRARI, V.; Di SOMMA, A.; y RAMOS, N. 2010. El uso del suelo y el análisis multitemporal: Modificaciones del tejido urbano en la Provincia de Roma, Italia. 20p.

FOSTER, B.; HERNÁNDEZ, E.; KAKUDIDI; y BURNHAM R. 1995. Un método de transectos variables para la evaluación rápida de comunidades de plantas en los trópicos. Manuscrito no publicado. Chicago: Programas Ambientales y de Conservación, Museo Field de Historia Natural, Washington, D. C.: Conservat

GARCÍA, J. 2003. Análisis del potencial de emisión de dióxido de carbono del páramo de Chingaza y lineamientos para su conservación en el contexto del Mecanismo de Desarrollo Limpio. Tesis de grado para optar al título de Ecólogo. Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2004. Estudio general de suelos y zonificación de suelos del departamento de Nariño. Tomo 1. 215-249 p.

IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2014. Estación meteorológica Obonuco, Municipio de Pasto, Departamento de Nariño.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Ministerio del Medio Ambiente y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (IDEAM). 2002. El Macizo Colombiano y su área de influencia. Bogotá-Colombia.

JIMÉNEZ, C. 2012. Monitoreo de Comunidades Vegetales – Fenología. Programa de Monitoreo Santuario de Flora y Fauna Galeras. Pasto, Nariño. 57p.

MADROÑERO, S.; JIMÉNEZ, F. 2006. Manejo del recurso hídrico y estrategias de gestión integral en la microcuenca del río Mijitayo (Tesis de pregrado). Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. 8p.

MADS, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2014. Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE). Bogotá, Colombia. 124p.

MUÑOZ, D.; RODRIGUEZ, M.; ROMERO, M. 2008. Análisis Multitemporal de Cambios de Uso del Suelo y Coberturas, en la Microcuenca las Minas, Corregimiento de la Laguna, Municipio de Pasto, Departamento de Nariño (Tesis de pregrado). Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. 10p.

Observatorio del Mercado de Trabajo de Pasto - Universidad de Nariño. 2012. Diagnóstico socioeconómico y del mercado de trabajo de la Ciudad de Pasto. En: file:///C:/Users/DELL_/Downloads/Diagn%C3%B3stico%20socioecon%C3%B3mico%20y%20del%20mercado%20de%20trabajo%20-%20ciudad%20de%20Pasto.pdf. Consulta: marzo 2016.

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2005. Evaluación de recursos forestales. En: <http://www.fao.org>. Consulta: octubre 2015.

PNN, Parques Nacionales Naturales de Colombia. 2015. Plan de Manejo Santuario de Flora y Fauna Galeras. Pasto, Colombia, 216p.

PNN, Parques Nacionales Naturales de Colombia. 2015. Portafolio de Proyectos de Investigación Santuario de Flora y Fauna Galeras. 44p.

PNN, Parques Nacionales Naturales de Colombia. 2015. Programa de Monitoreo SFF Galeras. 73p.

REYES, H.; AGUILAR, R.; AGUIRRE, R.; y TREJO, V. 2006. Investigaciones Geográficas: Cambio en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis potosí, México, 1973-2000. 59: 26-42.

ROSERO, N.; NARVÁEZ, C. 2005. Modelamiento del control topográfico ejercido por el Valle de Atriz sobre los flujos de lodo provenientes de la quebrada Mijitayo (Tesis de pregrado). Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. 141p.

ROSETE, F.; PÉREZ, J.; y BOCCO, G. 2009. Investigación Ambiental: Contribución al análisis del cambio de uso del suelo y vegetación (1978- 2000) en la Península de Baja California, México. 1: 70-82.

SÁNCHEZ, S; FLORES, A; CRUZ, A; VELAZQUEZ, A. 2009. Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas, en Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. pp 75-119.

SANTANDER, N. 2003. Periódico Siglo XXI. Bogotá- Cundinamarca.

TREJOS, N. 2004. Dinámica del uso de la tierra e identificación de las áreas críticas de la región de playa venado, provincia de Los Santos, república de Panamá. (Trabajo de grado).

Universidad De Nariño – CEDRE. 2001. Cultura organizativa para el desarrollo integral del municipio de Pasto. Corregimiento de Genoy. Tesis de Grado. Facultad de Economía. 186 p.