



Clasificación y análisis histórico de los cambios en los tipos de cobertura vegetal en la cuenca del río Toribio, Sierra Nevada de Santa Marta

ALBERTO MARIO RODRÍGUEZ MORENO

**Universidad Magdalena
Facultad de Ciencias Básicas
Programa de Biología
Santa Marta, Colombia
2018**



Clasificación y análisis histórico de los cambios en los tipos de cobertura vegetal en la

cuenca del rio Toribio, Sierra Nevada de Santa Marta.

Alberto Mario Rodríguez Moreno

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de:
Biólogo

Director (a):

Pilar Vásquez

Msc Gerencia Ambiental, DESS Ecología y Ordenamiento Territorial

Línea de Investigación:

Sistemas de Información Geográfica (SIG), Biogeografía y
Conservación de Suelo, Agua y Biota.

Universidad del Magdalena
Facultad de Ciencias Básicas
Programa de Biología
Santa Marta, Colombia

2018

Nota de aceptación:

Aprobado por el Consejo de Programa en cumplimiento de los requisitos exigidos por el Acuerdo Superior N° 11 de 2017 y Acuerdo Académico N° 41 de 2017 para optar al título de Biólogo

Jurado

Jurado

Santa Marta, 21 de enero de 2019

Contenido

| | Pág. |
|---|-------------|
| 1. Introducción | 7 |
| 2. Objetivos | 10 |
| 3. Justificación..... | 12 |
| 4. Generalidades de la empresa | 14 |
| 5. Diagnostico | 16 |
| 6. Desarrollo de la propuesta | 18 |
| 7. Resultados..... | 26 |
| 8. Discusión | 46 |
| 9. Conclusión | 50 |
| Referencias bibliográficas | 52 |

Lista de figuras

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Mapa del área de estudio..... | 18 |
| Figura 2. Modelo general de la metodología Corine Land Cover en Colombia (CLC)..... | 19 |

Lista de gráficas

| | Pág. |
|---|-------------|
| Gráfica 1. Tipos de coberturas vegetales, sumatoria de áreas en hectáreas de cada cobertura y suma del número de parches para el año 1984. | 27 |
| Gráfica 2. Tipos de coberturas vegetales, sumatoria de áreas en hectáreas de cada cobertura y suma del número de parches para el año 1988. | 29 |
| Gráfica 3. Tipos de coberturas vegetales, sumatoria de áreas en hectáreas de cada cobertura y suma del número de parches para el año 1991. | 31 |
| Gráfica 4. Tipos de coberturas vegetales, sumatoria de áreas en hectáreas de cada cobertura y suma del número de parches para el año 1998. | 33 |
| Gráfica 5. Tipos de coberturas vegetales, sumatoria de áreas en hectáreas de cada cobertura y suma del número de parches para el año 2003. | 35 |
| Gráfica 6. Tipos de coberturas vegetales, sumatoria de áreas en hectáreas de cada cobertura y suma del número de parches para el año 2008. | 38 |
| Gráfica 7. Tipos de coberturas vegetales, sumatoria de áreas en hectáreas de cada cobertura y suma del número de parches para el año 2013. | 40 |
| Gráfica 8. Tipos de coberturas vegetales, sumatoria de áreas en hectáreas de cada cobertura y suma del número de parches para el año 2018. | 42 |

Lista de tablas

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 1. Análisis de los tipos de coberturas vegetales, los números de parches de estas coberturas, el tamaño en hectáreas por cobertura y la suma total de hectáreas de la cuenca del río Toribio para el año 1984..... | 27 |
| Tabla 2. Tipos de coberturas vegetales, los números de parches de estas coberturas, el tamaño en hectáreas por cobertura y la suma total de hectáreas de la cuenca del río Toribio para el año 1988..... | 29 |
| Tabla 3. Análisis de los tipos de coberturas vegetales, los números de parches de estas coberturas, el tamaño en hectáreas por cobertura y la suma total de hectáreas de la cuenca del río Toribio para el año 1991..... | 31 |
| Tabla 4. Análisis de los tipos de coberturas vegetales, los números de parches de estas coberturas, el tamaño en hectáreas por cobertura y la suma total de hectáreas de la cuenca del río Toribio para el año 1998..... | 33 |
| Tabla 5. Tipos de coberturas vegetales, los números de parches de estas coberturas, el tamaño en hectáreas por cobertura y la suma total de hectáreas de la cuenca del río Toribio para el año 2003..... | 35 |
| Tabla 6. Análisis de los tipos de coberturas vegetales, los números de parches de estas coberturas, el tamaño en hectáreas por cobertura y la suma total de hectáreas de la cuenca del río Toribio para el año 2008..... | 37 |
| Tabla 7. Análisis de los tipos de coberturas vegetales, los números de parches de estas coberturas, el tamaño en hectáreas por cobertura y la suma total de hectáreas de la cuenca del río Toribio para el año 2013..... | 39 |
| Tabla 8. Análisis de los tipos de coberturas vegetales, los números de parches de estas coberturas, el tamaño en hectáreas por cobertura y la suma total de hectáreas de la cuenca del río Toribio para el año 2018..... | 42 |

1. Introducción

Los bosques ocupan una posición ambigua en la relación del ser humano, los sistemas sociales y la naturaleza, motivo que ha llevado a cambios históricos en sus formaciones y en cómo la sociedad se relaciona con la conservación de estos (Environment and Natural Resources Series, 2005). Colombia se encuentra en la lista de los 12 países con mayor diversidad biológica del mundo, situación que es evidenciable en la alta variedad ecosistémica del país (ROMERO M. et al, 2008). Bosques, paramos, arrecifes de coral, son unos de los sistemas ecológicos que hacen parte de dicha diversidad. Según el ministerio de ambiente, 59.9 millones de hectáreas de bosque natural, equivalen al 52.2% por ciento del territorio colombiano, los cuales aportan un amplio rango de servicios medio ambientales, sociales y económicos; servicios ecosistémicos que proporcionan las estrategias naturales contra la desertificación, protección de cuencas hidrográficas, regulación del clima, conservación de la biodiversidad y que cumplen un papel funcional importante en el desarrollo de la sociedad y la cultura (FAO, Evaluación de los recursos forestales mundiales, 2010). Los bosques ocupan el 30% de la superficie del planeta, son considerados los ecosistemas terrestres con mayor extensión (FAO, Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales. Hacia la ordenación forestal sostenible, 2006), razón de su importancia espacial y de la relación entre la diversidad biológica y estos ecosistemas tropicales (GROOMBRIDGE, 1992).

La correlación social con el bosque y su perspectiva, ha sido víctima de modificaciones en diversos momentos de la historia, considerando aún la variabilidad entre las diferentes culturas (PERLIN, 1999). Por ende, los bosques o la cobertura vegetal, también han sufrido cambios; estas transformaciones han sido objeto de estudios en los últimos años en las ciencias biológicas, a medida del avance tecnológico (IDEAM, Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000). En Colombia son pocas las investigaciones que se han llevado a cabo en este campo del estudio, sin embargo viene en aumento el ejercicio.

El uso de datos procedentes de sensores remotos para estimar la cobertura vegetal, representa un avance para el estudio de la biomasa aérea en los bosques. Los sistemas de información

geográfica y metodologías como la de Corine Land Cover, resultan una base fundamental para el cálculo de mediciones del paisaje y patrones de cambios, las cuales aportan resultados visuales que son relacionables con el uso y condición del suelo (IDEAM, 2008).

La metodología Corine Land Cover viene siendo utilizada en Colombia desde el 2004, cuando inició el proyecto de adaptación a las condiciones del país donde participaron el IDEAM, IGAC y CORMAGDALENA en el área del departamento del Magdalena (CORREDOR *et al.*, 2011).

Investigaciones sobre la pérdida de áreas de bosque a lo largo del tiempo, se han venido realizando (CONDE, 2016), sin embargo, en la actualidad son pocos los estudios que utilizan imágenes provenientes de satélites, para analizar cambios en las formaciones vegetales (GARCIA, 2012). Una investigación a resaltar, es el caso particular del estudio realizado por Corredor, L. *et al.*, (2011), en el Santuario de Flora y Fauna Los flamencos, en el departamento de la Guajira, en la cual, se aplicó la metodología Corine Land Cover y que como resultado se evaluó las transformaciones de las coberturas vegetales, brindando un panorama de los cambios históricos del parque natural.

La teledetección ha jugado un papel importante en estos estudios medioambientales, en Combita (Boyacá, Colombia), en el 2017, en la microcuenca de la quebrada la Mecha, en la cuenca del río de la Vega, se desarrolló una evaluación multitemporal de coberturas de tierra, investigación que mostró que la vegetación del páramo está altamente fragmentada, con tendencia a la total desaparición por el aumento de áreas de cultivo y explotaciones mineras (SUAREZ, *et al.*, 2017).

Estos proyectos, son antecedentes claros de como la metodología Corine Land Cover se convierten en una herramienta altamente eficaz y confiable para el análisis de cambios espacio temporales, que sirvan de base para la protección y conservación de los sistemas naturales (MELO, 2005).

Este tipo de estudios han sido fundamental no solo para sentar bases para la toma de decisiones sobre el uso del suelo y los recursos naturales, sino también es muy útil en el ordenamiento territorial; como se observa en la investigación desarrollada por Ferdy Lamprea en el 2017, en el municipio de Zipaquirá (Colombia) que llevó a cabo una zonificación de las

coberturas de la Tierra mediante la aplicación de herramientas de información geográfica, la cual permitió la revisión y el ajuste del P.O.T en el marco del crecimiento urbano (LAMPREA, 2017).

Ejercicios científicos como estos, que permiten realizar análisis multitemporales, nos brindan un horizonte hacia la historia de los sistemas naturales, las relaciones con el crecimiento demográfico y las variaciones que se presentan en las áreas de estudio determinadas (CHUVIECO, 2008).

Es importante tener presente, que las coberturas vegetales resultan ser un componente fundamental en los sistemas ecológicos que tienen lugar en la Tierra, en el reciclaje y absorción de nutrientes por parte de las plantas; como parte base de la cadena alimenticia que mantiene la vida (MOZO, 1999), de igual manera la expansión económica de las poblaciones, la tala continua de los bosques en todo el mundo, sigue siendo considerada como un mecanismo de desarrollo, para el uso del suelo y la tierra para diversas actividades como el pastoreo, agricultura, etc. (IDEAM, 2016).

La deforestación en regiones tropicales, resulta una de las principales amenazas a la diversidad biológica de un sistema, debido a que estos cambios tienen una alta influencia en muchos procesos biofísicos, ecológicos, en las redes tróficas, en la riqueza de especies, en la dispersión de las mismas, en la estabilidad hídrica, entre otras (HECKADON, 1999). Los cambios en la estructura del ambiente pueden tener diversos orígenes, dentro de los cuales encontramos procesos de sucesión ecológica, cambios climáticos, procesos de vulcanismo, huracanes, acción antrópica o de tipo natural, recalcando aspectos demográficos, económicos, sociales y políticos; generándose así cambios en la cobertura vegetal y efectos negativos en el acervo biológico; impactos que podrían ser causales de modificaciones en el suministro de servicios ecosistémicos por parte de los bosques (LAMBIN, 2001). Consideramos relevantes, las investigaciones orientadas a atender estos temas y que contextualizado a lo regional, es una responsabilidad científica el adelantar proyectos en la Sierra Nevada de Santa Marta, territorio con una invaluable diversidad biológica y con aras de fortalecimiento en las estrategias para la conservación y protección del macizo. Actualmente la Sierra Nevada de Santa Marta, es considerada uno de las áreas o sistemas ecológicos con mayor diversidad biológica e importancia de los Andes tropicales (MITTERMEIER, *et al.*, 2004), el río Toribio se encuentra

ubicado en la parte occidental del macizo montañoso SNSM (HERNÁNDEZ, *et al.*, 1992).

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

- Generar la clasificación de uso y cobertura del suelo a escala 1:100.000 y evaluar los cambios históricos de las formaciones vegetales en la cuenca del Río Toribio, en un periodo comprendido entre 1984 hasta 2018.

2.2. Objetivos específicos

- Clasificar las coberturas vegetales mediante la metodología *Corine Land Cover* a escala 1:100.000, en la cuenca hidrográfica del Río Toribio, en la Sierra Nevada de Santa Marta.
- Generar los mapas de las formaciones vegetales de 1984 hasta 2018, para el Plan de Compensación ambiental del río Toribio de la Fundación Prosierra Nevada y Prodeco.
- Analizar cartográficamente los cambios históricos en el área de estudio.

3. Justificación

Las coberturas vegetales resultan ser un componente fundamental en los sistemas ecológicos que tienen lugar en la Tierra, en el reciclaje y absorción de nutrientes por parte de las plantas, siendo parte de la base de la cadena alimenticia que mantiene la vida (Mozo, 1999). Según Bennett, 1999., los bosques asumen un papel vital en la conservación del medio ambiente, debido a que confieren características como regulación del clima mundial y local, estabilidad hídrica, evita la erosión del suelo colaborando con su conservación y a su vez sirve de hábitat de un sinnúmero de especies vegetales y animales.

El estado de la cobertura vegetal, es de valiosa importancia, por su servicio en los procesos de regulación de los ciclos hidrológicos y en la protección del suelo contra la erosión (PMMC, 1999). Según Rodríguez, *et al.*, 2004, las coberturas vegetales ayudan a disminuir el esparcimiento de contaminantes, ya que disminuyen las escorrentías. Los cambios de cobertura vegetal específicamente la deforestación en regiones tropicales, resulta una de las principales amenazas a la diversidad biológica de un sistema, debido a que estos cambios tienen una alta influencia en muchos procesos biofísicos, ecológicos, en las redes tróficas, la riqueza de especies, dispersión de las mismas, estabilidad hídrica, entre otras (Heckadon, 1999).

Las variaciones en la cobertura vegetal influidos por la acción antrópica, no solo tienen un impacto negativo en las plantas, sino que también influyen en todos los ciclos en los cuales la vegetación cumple un papel fundamental. Los cambios en la estructura del ambiente pueden tener diversos orígenes dentro de los cuales encontramos procesos de sucesión ecológica, cambios climáticos, procesos de vulcanismo, huracanes, acción antrópica o de tipo natural, recalando aspectos demográficos, económicos, sociales y políticos; como consecuencia de lo anterior, trae como resultado cambios en la cobertura vegetal causando un efecto negativo en el acervo biológico (Lambin *et al.*, 2001). Los impactos mencionados podrían ser causales de modificaciones en el suministro de servicios ecosistémicos por parte de los bosques.

En la actualidad, los sistemas de información geográfica (SIG) son una herramienta fundamental, para este tipo de investigaciones, por su capacidad de procesar información espacial, permitiendo el manejo de datos geográficos de mucho vigor para el apoyo de estudios de conservación y biodiversidad (Muñoz, 1996). A su vez estos procesos suministran numerosas ventajas en relación a la cartografía convencional, debido a que permite el estudio de mayores áreas geográficas (Sendra, 1992).

El incremento demográfico, la intensa competencia por espacios para la agricultura, ganadería y la demanda de madera han sido las causas de un nefasto proceso de deforestación de bosques a nivel mundial, las cuales afectan unas 14 millones de hectáreas al año (FAO, 2006), cifras alarmantes y que incrementan la importancia de este tipo de investigaciones que nos permitan hacer un análisis histórico de los cambios en los tipos de cobertura vegetal, para así realizar una interpretación con mayor vigor sobre tales variaciones a lo largo del tiempo.

4. Generalidades de la empresa

La Fundación Pro – Sierra Nevada de Santa Marta es una organización sin ánimo de lucro que diseña y ejecuta proyectos ambientales, sociales, científicos, y tecnológicos con el fin de proteger y preservar la Sierra Nevada de Santa Marta y sus alrededores. Actualmente desarrolla entre sus proyectos más destacados un Programa de compensación forestal de la empresa DRUMMOND, otro importante proyecto es el desarrollo del centro de operaciones y ejecución del Fondo del agua Santa Marta y Ciénaga y el Plan de compensación ambiental en la cuenca del Río Toribio (PCA) con Prodeco, en la cual desarrolle el ejercicio de las prácticas profesionales, en este proyecto se ejecutan estrategias de acción para la preservación y conservación de la cuenca, en el cual se implementará la creación de un corredor de conservación que incremente la conectividad y la dispersión de especies entre los distintos fragmentos de bosque, busca conectar áreas entre sí, evitando que las poblaciones de animales y plantas que habitan en ellas permanezcan aisladas, como también integrar la gestión del territorio con su entorno socioeconómico y político, crear oportunidades para proyectos de conservación y desarrollo sostenible que beneficien a las comunidades y protejan a la biodiversidad y promover a la integración veredal.

4.1. Descripción detallada del proceso y los subprocesos seleccionados para aplicar el trabajo

ProSierra inicia el 2018 con el diseño del PCA para el río Toribio con Prodeco. Los resultados del diseño se integrarán a las actividades del Fondo de Agua de Santa Marta y Ciénaga. Este proyecto que tiene como área de desarrollo la cuenca del Río Toribio, en el cual se establecerán áreas prioritarias de conservación, análisis históricos de los cambios de la cobertura vegetal, clasificación de los tipos de coberturas, establecimiento de áreas de restauración, estrategias para la protección de la diversidad biológica y las cuencas hidrográficas, mitigación de impacto ambiental por parte de los pobladores y productores asentados en las veredas de la cuenca, aumento del porcentaje de sombra con árboles nativos en cultivos de café, fortalecimiento de sistemas agroforestales o de reconversión productiva, conservación de matorral xerofítico para la parte baja de la cuenca, áreas de conservación en el bosque subandino y andino, incentivo hacia los pobladores para turismo de agricultura y de esta manera fortalecer sus procesos de producción, todas las anteriores con la finalidad de

cumplir los objetivos del desarrollo del plan de compensación ambiental en el área de estudio, conservar y preservar la cuenca del Río Toribio; sus ecosistemas, sus procesos ecológicos, como la flora y fauna de la misma.

El desarrollo del ejercicio de las prácticas profesionales se llevó a cabo en el departamento del Plan de Compensación ambiental en la cuenca del Río Toribio y el Fondo del Agua para Ciénaga y Santa Marta, se realizaron salidas de campo en la parte alta, media y baja de la cuenca, en todas las veredas que conforman el área de estudio, como un recorrido de toda la cuenca para observaciones fundamentales para el desarrollo, la toma de datos generales, geográficos, ambientales y sociales, por último el análisis histórico de los cambios de la cobertura vegetal en la cuenca, el ejercicio cartográfico y la elaboración de los mapas se llevó a cabo, en el departamento de Sistemas de información geográfica (SIG) de la empresa.

5. Diagnostico

5.1. Planteamiento del problema

El macizo montañoso costero Sierra Nevada de Santa Marta, ocupa el 1,48% de la superficie de Colombia, área geográfica considerada como la región ecológica más diversa del mundo y como el centro de endemismo continental más importante del neotrópico (Rangel y Garzón, 1995). A pesar de ser un área relativamente pequeña en relación a la superficie del país, alberga una diversidad biológica que la caracteriza a nivel mundial, sin embargo existen muchos vacíos en el conocimiento sobre la estructura y la función de los sistemas ecológicos que la conforman, aspectos que son bases al momento de generar estrategias para su preservación y conservación. La Sierra Nevada de Santa Marta, a lo largo del tiempo ha sufrido problemas debido a la destrucción de la cobertura vegetal a través de procesos como la ganadería, agricultura, la colonización, la tala indiscriminada y a fenómenos asociados al desarrollo de cultivos ilícitos en algunas áreas. Históricamente por los procesos mencionados y por los cambios del uso del suelo, el área de estudio ha sufrido variaciones en sus formaciones vegetales. El análisis, caracterización, identificación y clasificación del área de estudio, proporcionan herramientas fundamentales para la creación de estrategias cuyos objetivos sean la conservación.

La perspectiva otorgada al manejo de áreas naturales, es vital en la contribución de un cambio en las actitudes de los pobladores hacia la naturaleza y la conservación (Tilsey, 1997). Hay poca información y ciencia básica generada en la vertiente occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, estado que nos lleva a desconocer la estructura y el funcionamiento de los sistemas ecológicos que la conforman, además de las variaciones que el área ha sufrido a lo largo del tiempo, por lo que resulta pertinente en materia de investigación conocer los tipos de formaciones vegetales en la cuenca y los cambios que estas han presentado, esto permitirá estimar el estado de conservación de los bosques en la cuenca. Teniendo en cuenta la importancia de los bosques para las sociedades, para los sistemas ecológicos, la fauna, economía, política y cultura en determinadas áreas geográficas, por su papel en la conectividad entre fauna y flora, y considerando a la cobertura vegetal como un indicador del estado del bosque, surge la siguiente pregunta de investigación: **¿Cuáles son los tipos de formaciones**

vegetales en la cuenca del Río Toribio y cuáles son los cambios que ha sufrido históricamente?

6. Desarrollo de la propuesta

6.1. Metodología

6.1.1. Área de estudio

La cuenca hidrográfica del río Toribio se ubica en la provincia biogeográfica – Macizo montañoso de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) – que incluye un amplio segmento de toda la parte occidental de la Sierra Nevada (HERNÁNDEZ, 1992). En la actualidad, la SNSM es considerada uno de las áreas o sistemas ecológicos con mayor diversidad biológica e importancia de los Andes tropicales (MITTERMEIER, *et al.*, 2004). Esta cuenca geográficamente se encuentra ubicada en la vertiente noroccidental del macizo montañoso costero Sierra Nevada de Santa Marta, en el departamento del Magdalena entre el municipio de Ciénaga y el distrito de Santa Marta (11°05'N,74°04'W), abarca un gradiente altitudinal que varía desde el nivel del mar hasta los 2600 msnm (STREWE, *et al.*, 2009).

El río Toribio presenta su nacimiento en la estrella hídrica de San Lorenzo a un gradiente altitudinal de 2849 msnm, presentando un área de 108.32 km² (CIACUA, 2014).

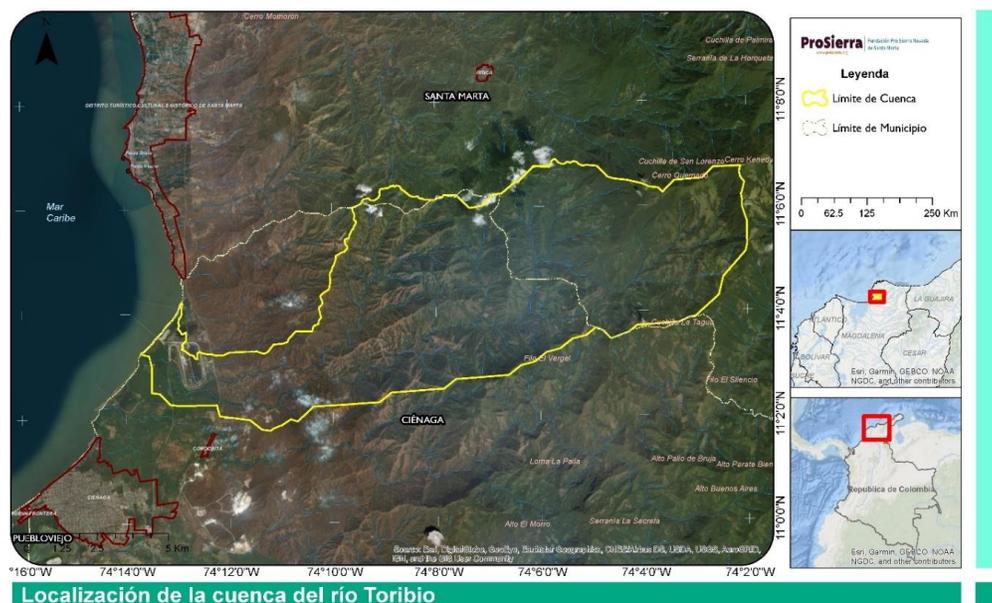


Figura 1. Mapa del área de estudio.

Fuente: Fundación Pro Sierra Nevada de Santa Marta

6.1.2. Diseño experimental

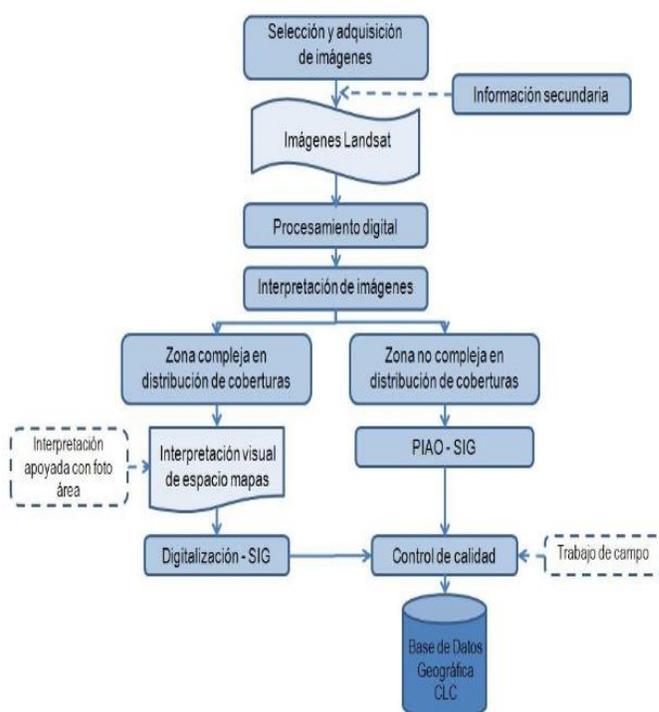


Figura 2. Modelo general de la metodología Corine Land Cover en Colombia (CLC).

Fuente: Melo y Camacho, 2005, en Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena – Cauca, Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia, escala 1:100.000, IDEAM, IGAC, CORMAGDALENA (2007).

En el anterior diagrama de flujo sintetiza y sistematiza la técnica de muestreo y el proceso de selección de la muestra, utilizada en esta investigación; selección y adquisición de imágenes, procesamiento digital, interpretación de imágenes, verificación en campo y control de calidad, son unos de los técnicas y procedimientos en este diseño experimental.

Antes de profundizar en lo anterior, a continuación se detallarán los materiales usados.

6.1.3. Materiales

La investigación fue realizada mediante cartografía digital de 1984 hasta el 2018, imágenes satelitales obtenidas del instituto Agustín Codazzi (IGAC), *software* para el procesamiento de imágenes satelitales y cartografía digital; también se utilizaron otras dotaciones tecnológicas como computadores, GPS, cámara fotográfica digital, vehículo (para verificación en campo) y fichas de campo. Ahora bien, ya nombradas las técnicas, procedimientos y materiales utilizados para el desarrollo de esta investigación, procedemos a describir el proceso metodológico, que se llevó a cabo, a través de estas herramientas científicas y a profundizar conceptos sobre algunas de ellas.

6.1.4. Desarrollo de la metodología

El método de este trabajo consiste en el análisis multitemporal, mediante aerofotografías, información proveniente de sistemas remotos y cartografías de diferentes épocas, con procesos digitales y software de SIG; para estudiar las variaciones de las formaciones vegetales en la cuenca del Río Toribio, Sierra Nevada de Santa Marta. Trabajo que se fundamenta metodológicamente en la interpretación y análisis de imágenes provenientes de sensores; información que permite analizar los cambios históricos de la cobertura vegetal desde 1984 hasta el 2018. Este sensor remoto posee ocho bandas espectrales que pueden ser combinadas de múltiples formas para la obtención variada de composiciones de color u opciones de procesamiento; posee una banda pancromática con resolución de 15 metros. Este satélite genera imágenes con aplicaciones directas hasta una escala de 1:100.000, lo que resulta fundamentalmente útil para el estudio de grandes extensiones de territorio o áreas rurales, permitiendo estimar datos a mayor escala geográfica (USGS, 2005). Los ocho canales espectrales mencionados poseen un rango de longitudes de onda en el espectro electromagnético, que varía entre los 0.45 hasta los 12.5 μm . Este satélite posee una resolución espacial de 30 m en las bandas del visible e infrarrojo cercano y medio; 60 m en el infrarrojo lejano o térmico y 15 m en la banda pancromática. Las imágenes poseen un nivel de procesamiento L1G (nivel 1 corregido geoméricamente), las cuales son proyectadas en el sistema UTM (Universal Transverse Mercator) y elipsoide WDS 84 (USGS, 2005).

Las técnicas de pre-procesamiento y clasificación usadas en esta investigación, se desarrollaron con el software especializado ArcGIS (versión 10.5), y posteriormente calibrados y comprobados mediante una valoración *In situ*.

Primeramente se realizó un análisis visual para una posterior clasificación digital, con el objetivo de disminuir confusiones, entre coberturas que presenten similitud espectral, pero con

distinto significado temático. Se usó imágenes desde el año 1984 hasta el 2018, para los primeros meses del año, correspondiente a la época seca y con una velocidad de vientos mayor, con el fin de analizar las variaciones de la cobertura vegetal y estado de conservación de la cuenca del río Toribio en el tiempo.

Se emplearon las composiciones 312 (rojo, verde y azul) y 453 (infrarrojo cercano, infrarrojo medio – bajo y rojo, respectivamente); para realizar una delimitación de las coberturas en las diferentes zonas del área de estudio.

El programa CORINE (Coordination of information on the environment) llevado a cabo por la Comisión de la Comunidad Europea, en cual fue desarrollado el proyecto de cobertura de la tierra CORINE Land Cover, que estableció una metodología específica, la cual permite realizar inventarios de la cobertura de la tierra (MELO, 2005); fue el instrumento vertebral en este proyecto investigativo.

La base de datos Corine Land Cover en Colombia (CLC), permite la clasificación, caracterización, comparación, descripción y análisis de las características de la cobertura de la tierra, interpretadas mediante el uso de imágenes satelitales (Landsat) que sirven para la elaboración de mapas de cobertura a diferentes escalas. El esquema metodológico Corine Land Cover, que orienta este ejercicio, está basado en las siguientes etapas: Adquisición y preparación de la información, análisis e interpretación de las coberturas, verificación en campo, control de calidad y generación de la capa temática escala 1:100.000 (MELO, 2005). A continuación mencionaremos a detalle cada uno de estos procedimientos utilizados.

En el primer paso; la adquisición y preparación de la información, las imágenes Landsat TM, se obtuvieron a través del Banco Nacional de Imágenes del Instituto Agustín Codazzi (IGAC). Para la aplicación de la metodología Corine Land Cover, es importante apoyarse de otro tipo de información para complementar y validar la información de las imágenes de referencia (MELO, 2005). Este complemento de información comprenden: imágenes satelitales de sensores remotos con mayor resolución espacial, mapas temáticos de cobertura del área de estudio, cartografía básica, censos o inventarios de los tipos de uso y ocupación del territorio (IDEAM, Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para

Colombia Escala 1:100.000).

Posterior a la adquisición de las imágenes satelitales, se procede a orto-rectificarlas, lo cual consiste en la transformación de la imagen satelital en una proyección ortogonal, con el objetivo de eliminar la inclinación de elementos por efecto del relieve. Como resultado de este proceso se obtuvieron las ortoimágenes que fueron utilizadas para la captura de los elementos planimétricos (IDEAM, *et al.*, 2008).

La segunda etapa, en el análisis e interpretación de coberturas, se realiza por medio del software ArcGis 10.5, con una configuración que permita delinear las diferentes unidades del mapeo. Para el procesamiento digital de las imágenes (mejoramientos espectrales, proyección, corte) se utilizó el software ERDAS 8.5 (MELO, 2005).

Posteriormente se pasa a la verificación de campo, en este paso se seleccionan zonas pilotos en el área de estudio, teniendo en cuenta la diversidad de coberturas de la Tierra y la toma representativa de zonas del área. Para la selección de zonas piloto, la metodología Corine Land Cover propone las siguientes características: contar con buenas posibilidades de acceso y que a su vez se garantice la seguridad de los intérpretes y acompañantes del control en campo, ser representativos de la región biogeográfica en la que se encuentra la zona piloto y si es posible que se encuentren todas las unidades de paisaje de la región biogeográfica (IDEAM, Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000).

Esta fase del diseño metodológico tiene como principal objeto, la aclaración de dudas en el proceso de interpretación de coberturas que se realiza en computador.

Como cuarto paso se realizó el control de calidad, el cual se refiere a la revisión y corrección continua y al seguimiento sistemático del avance de las diferentes actividades que se adelantan en cada etapa, con el fin de garantizar la calidad geométrica, temática y topográfica de la base de datos del proyecto (MELO, 2005).

El desarrollo de este proceso dentro de la metodología del estudio, comprende dos pasos que se utilizan para la revisión y corrección de las planchas interpretadas. El primero consta de la revisión de la plancha interpretada en formato análogo, mediante la observación de la imagen Landsat con apoyo de fotografías aéreas recientes para el área de estudio. Como resultado de este proceso se obtienen unas planchas impresas con las observaciones y correcciones sugeridas por el responsable de control de calidad. Posterior a esto, el segundo procedimiento comprende la revisión de la plancha interpretada en formato digital sobre la pantalla, sobrepuesta a la imagen Landsat. Producto de esta revisión, se elabora una capa de información de puntos (en formato shape), que contiene los comentarios y observaciones a la interpretación, como también los ajustes solicitados para las unidades interpretadas incorrectamente (IDEAM, Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000; MELO, 2005).

Por último se realiza la generación de la capa temática escala 1:100.000, en donde con la información previa, se obtienen coberturas o shapefiles, que contienen los atributos y códigos definidos en la nomenclatura de la metodología. Las coberturas se acoplan a una base de datos geográfica (geodatabase), que permite estandarizar los objetos bajo un único esquema, que garantice la portabilidad, interoperabilidad y la generación de reportes informativos (IDEAM, Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000).

Cada uno de los anteriores pasos mencionados y decretos, fueron lo que se llevaron a cabo para cumplir los objetivos de esta investigación.

6.1.5. Recursos financieros de la empresa

Los recursos manejados por la Fundación Pro Sierra Nevada de Santa Marta, para la ejecución de los proyectos en curso, provienen de las empresas DRUMMOND LTD, PRODECO, CORPOCESAR y el FONDO DEL AGUA. En donde la empresa tiene a cargo el plan operativo de los proyectos de compensación ambiental requeridos por ley a las empresas mineras y otras entidades. Para lograr los objetivos de compensación ambiental las empresas mineras deben

invertir por ley, el 1% de su producción interna bruta (PIB), que para el plan de compensación ambiental de la cuenca del Río Toribio (PCA) es de 5.000.000.000 millones de pesos para un proyecto ejecutado en 5 años.

6.1.6. Cronograma

| ACTIVIDAD | FUNCIONES/Descripción actividad | DISTRIBUCIÓN TEMPORAL (MESES) | | | | |
|---|---|-------------------------------|-------|--------|------------|---------|
| | | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre |
| Búsqueda, compilación y análisis de información | Levantamiento de información sobre aspectos biológicos, ecológicos, agroecológicos y sociales. | x | | | | |
| Elaboración estadística | Tablas y gráficas sobre aspectos ambientales en la cuenca. | | x | | | |
| Caracterización ambiental de la cuenca | Revisión bibliográfica y del estado del arte del área de estudio. | | x | x | | |
| Adquisición y preparación de la información | Adquisición y preparación de las imágenes Landsat | | | x | | |
| Preprocesamiento y procesamiento digital | Análisis de las imágenes seleccionadas, aplicación de filtros, realces y otros aspectos digitales para facilitar la interpretación. | | | x | x | |
| Fase de campo | Recorrido de reconocimiento del área de estudio y de selección de áreas prioritarias de conservación en la cuenca. | | x | x | x | |
| Fase de campo | Verificación de coberturas vegetales en campo e | | | x | x | x |

| | | | | | | |
|---|---|--|--|---|---|---|
| | identificación según CORINE de los tipos de coberturas. | | | | | |
| Ajuste, control de calidad y producción de la capa temática | Proceso de revisión y corrección continuo, conformidad temática, topológica, de empalmes de la información. | | | | x | x |
| Redacción del documento | Informe final prácticas profesionales cumpliendo con los objetivos establecidos en la investigación. | | | x | x | x |

7. Resultados

Los resultados del trabajo investigativo realizado en las prácticas profesionales, en concordancia con los objetivos y metodología propuesta (los procedimientos de la información obtenida de los datos satelitales, de las fotografías aéreas, del procesamiento de imágenes e interpretación de estas, de su verificación y corrección en campo), fueron los siguientes:

Se analizaron las coberturas vegetales en la cuenca del río Toribio, en la Sierra Nevada de Santa Marta desde el año 1984 hasta el 2018. Se analizaron los datos e imágenes de los años 1984, 1988, 1991, 1998, 2003, 2008, 2013 y 2018, para los primeros meses del año, en época seca y con mayor velocidad en los vientos, lo que permitió la toma de imágenes de mayor calidad, menos sesgo por nubosidad, humedad y otros factores ambientales que puedan afectar en la toma de las imágenes satelitales, con el fin de analizando las variaciones de la cobertura vegetal y estado de conservación de la cuenca del río Toribio. Se escogieron estos años como un periodo de muestra, ya que con los años seleccionados para el análisis nos permite hacer un análisis histórico claro de los cambios de las formaciones vegetales en el área de estudio a lo largo del tiempo.

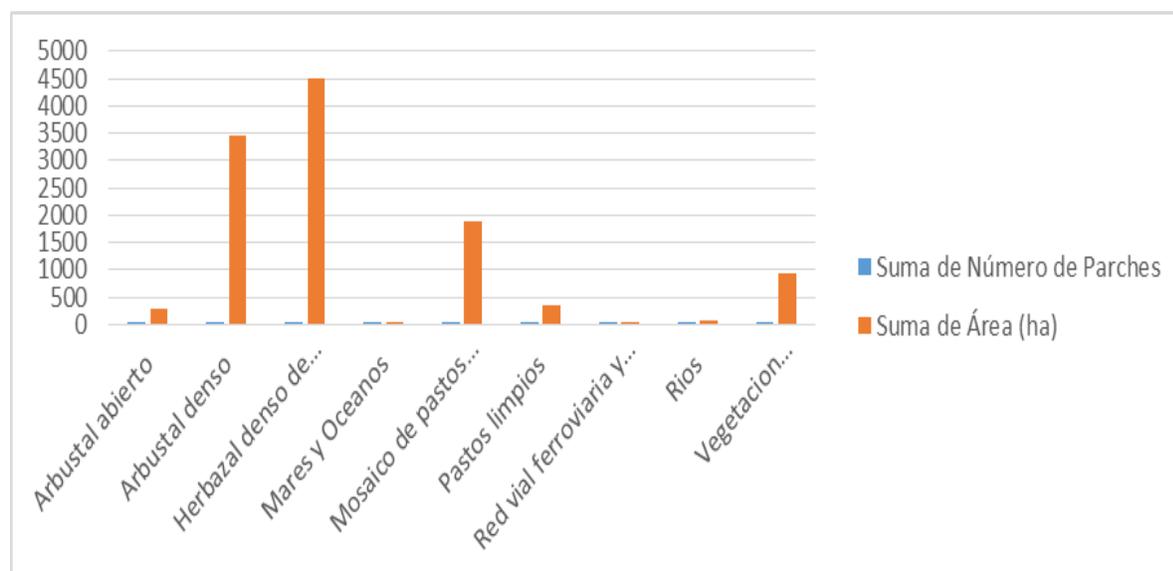
Los resultados obtenidos del análisis multitemporal son:

7.1. Análisis para las coberturas vegetales para el año 1984

| Año | 1984 | |
|--|---------------------------|-------------------|
| Tipo de Cobertura | Suma de Número de Parches | Suma de Área (ha) |
| Arbustal abierto | 9 | 291,5140775 |
| Arbustal denso | 18 | 3466,17892 |
| Herbazal denso de tierra firme | 1 | 4495,728311 |
| Mares y Océanos | 2 | 57,94255001 |
| Mosaico de pastos con espacios naturales | 24 | 1900,727494 |
| Pastos limpios | 5 | 345,5618422 |

| | | |
|---|-----------|--------------------|
| Red vial ferroviaria y terrenos asociados | 1 | 25,6841678 |
| Ríos | 1 | 61,74102757 |
| Vegetación secundaria alta | 13 | 943,8853191 |
| Total general | 74 | 11588,96371 |

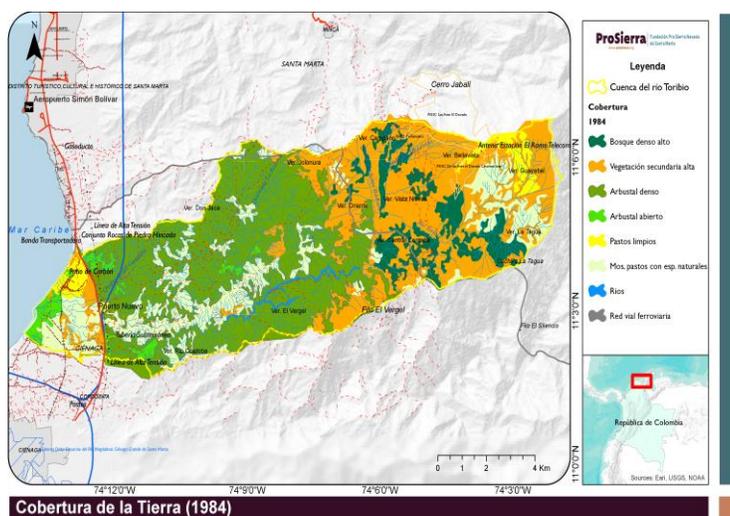
Tabla 1. Análisis de los tipos de coberturas vegetales, los números de parches de estas coberturas, el tamaño en hectáreas por cobertura y la suma total de hectáreas de la cuenca del río Toribio para el año 1984.



Gráfica 1. Tipos de coberturas vegetales, sumatoria de áreas en hectáreas de cada cobertura y suma del número de parches para el año 1984.

Los resultados del análisis para este año mostraron un total de 74 parches totales de coberturas, donde el tipo de cobertura de Mosaico de pastos con espacios naturales con 24 parches, Arbustal denso con 18 parches y vegetación secundaria con 13 parches, fueron las formaciones vegetales con mayor número de parches de coberturas. El herbazal denso de tierra firme fue el tipo de cobertura con mayor número de hectáreas con un total de 4.495, siendo un único parche con esa extensión geográfica.

Como lo soportan la tabla (1) y la gráfica (1), el arbustal denso y la vegetación secundaria alta, fueron las coberturas vegetales que presentaron una mayor extensión geográfica. Esto lo atribuimos a procesos socioeconómicos e históricos relacionados con el área de estudio.



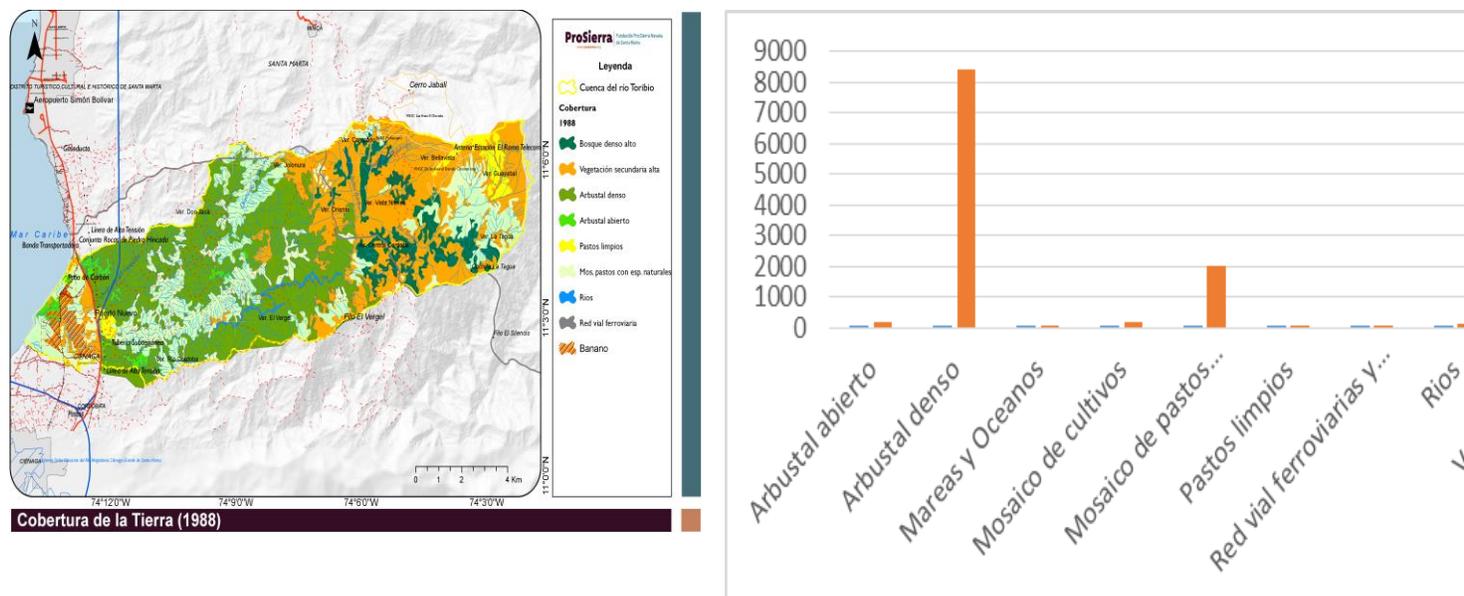
7.2. Análisis para las coberturas vegetales para el año 1988

| Año | 1988 | |
|---------------------|---------------------------|-------------------|
| Etiquetas de fila | Suma de Número de Parches | Suma de Área (ha) |
| Arbustal abierto | 4 | 157,4683804 |
| Arbustal denso | 7 | 8435,418165 |
| Mares y Océanos | 2 | 55,05322587 |
| Mosaico de cultivos | 3 | 193,9966323 |

Mapa 1. Coberturas de la Tierra (1984)

| | | |
|--|-----------|-------------------|
| Mosaico de pastos con espacios naturales | 20 | 2011,358562 |
| Pastos limpios | 1 | 68,03939881 |
| Red vial ferroviarias y terrenos asociados | 1 | 18,45156332 |
| Ríos | 3 | 125,5250287 |
| Vegetación secundaria alta | 21 | 523,6527476 |
| Total general | 62 | 11588,9637 |

Tabla 2. Tipos de coberturas vegetales, los números de parches de estas coberturas, el tamaño en hectáreas por cobertura y la suma total de hectáreas de la cuenca del río Toribio para el año 1988.



Gráfica 2. Tipos de coberturas vegetales, sumatoria de áreas en hectáreas de cada cobertura y suma del número de parches para el año 1988.

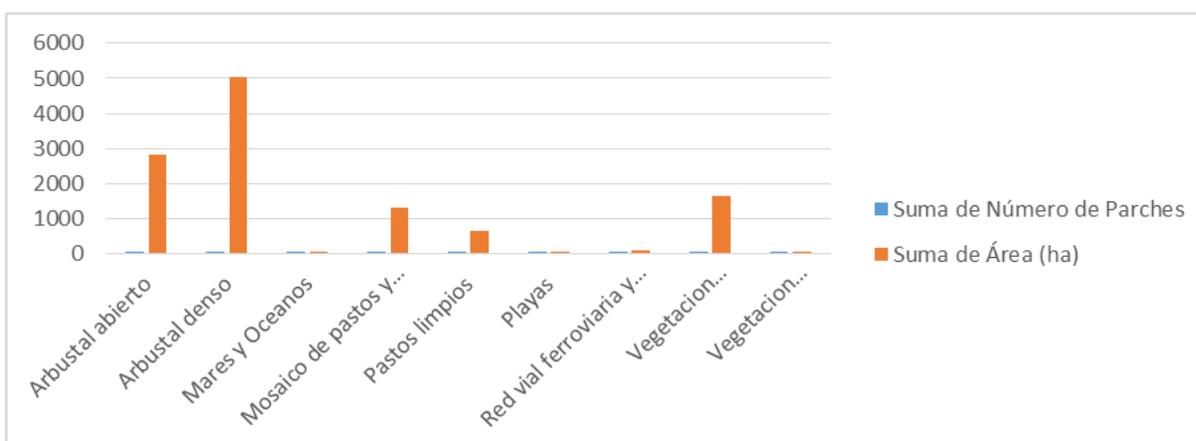
En el análisis de este año, la vegetación secundaria alta y los mosaicos de pastos, con espacios naturales, fueron los tipos de coberturas que presentaron mayor número de parches, sin embargo, el arbustal denso presentó el mayor área (en hectáreas) en todos los tipos de coberturas, seguido por los mosaicos de pastos limpios. El total general del número de parches de coberturas vegetales fue sesenta y dos (62).

7.3. Análisis para las coberturas vegetales para el año 1991.

| Año | 1991 | |
|--|---------------------------|-------------------|
| Etiquetas de fila | Suma de Número de Parches | Suma de Área (ha) |
| Arbustal abierto | 4 | 2812,022285 |
| Arbustal denso | 7 | 5025,506079 |
| Mares y Océanos | 1 | 51,31675455 |
| Mosaico de pastos y espacios naturales | 19 | 1291,133759 |
| Pastos limpios | 5 | 637,526628 |

| | | |
|---|-----------|-------------------|
| Playas | 2 | 16,82086279 |
| Red vial ferroviaria y terrenos asociados | 1 | 70,93811094 |
| Vegetación secundaria alta | 16 | 1636,966513 |
| Vegetación secundaria o en transición | 1 | 46,73270658 |
| Total general | 56 | 11588,9637 |

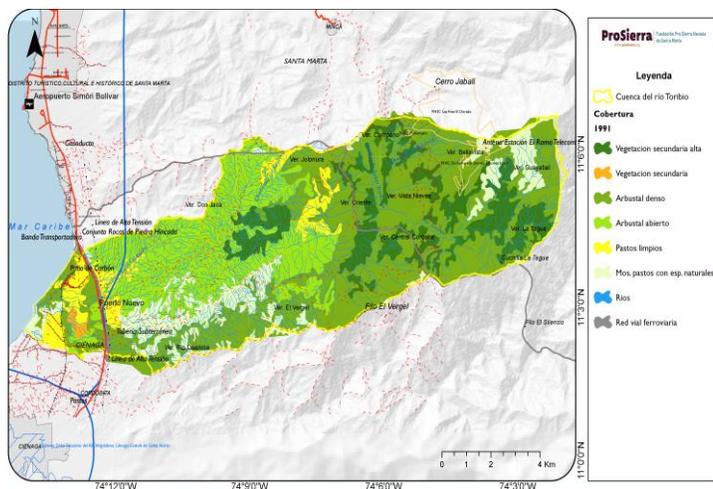
Tabla 3. Análisis de los tipos de coberturas vegetales, los números de parches de estas coberturas, el tamaño en hectáreas por cobertura y la suma total de hectáreas de la cuenca del río Toribio para el año 1991.



Gráfica 3. Tipos de coberturas vegetales, sumatoria de áreas en hectáreas de cada cobertura y suma del número de parches para el año 1991.

Del análisis del 1991, se obtuvo un total de 56 parches, ha disminuido el número de parches en el tiempo. El Mosaico de pastos limpios con 19 parches y la Vegetación secundaria alta con 16 parches, fueron los tipos de coberturas con mayor número de parches y el Arbustal denso fue el tipo de cobertura con mayor área geográfica.

En los mapas de 1984, 1988 y 1991, podemos observar como la vegetación secundaria alta tiene un importante área geográfica en la parte alta de la cuenca, con orígenes antropogénicos y que los asociamos a procesos de crecimiento agrícola y la ganadería que tenían un fuerte impacto para la época, al igual que las bonanzas que tuvieron lugar en el área de estudio y que representó un fuerte impacto, causando modificaciones considerables en la estructura de las coberturas de la Tierra.



7.4. Análisis para las coberturas vegetales para el año 1998.

Cobertura de la Tierra (1991)

| Año | 1998 | |
|--|---------------------------|-------------------|
| Etiquetas de fila | Suma de Número de Parches | Suma de Área (ha) |
| Arbustal abierto | 9 | 309,8331467 |
| Arbustal denso | 9 | 2891,519403 |
| Bosque de galería y ripario | 4 | 316,035947 |
| Herbazal denso de tierra firme | 4 | 4319,591505 |
| Mares y Océanos | 2 | 52,83652959 |
| Mosaico de pastos con espacios naturales | 19 | 2135,687565 |
| Palma de aceite | 2 | 115,3907405 |

Mapa 3. Coberturas de la Tierra (1991)

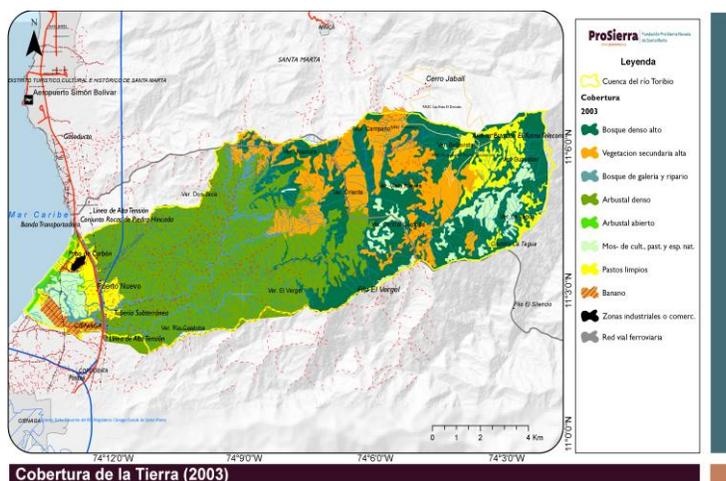
| | | |
|---|-----------|--------------------|
| Pastos limpios | 15 | 493,9405161 |
| Red vial ferroviaria y terrenos asociados | 2 | 27,18583417 |
| Vegetación secundaria alta | 9 | 845,1891643 |
| Zonas industriales | 1 | 81,75335824 |
| Total general | 76 | 11588,96371 |

Tabla 4. Análisis de los tipos de coberturas vegetales, los números de parches de estas coberturas, el tamaño en hectáreas por cobertura y la suma total de hectáreas de la cuenca del río Toribio para el año 1998.

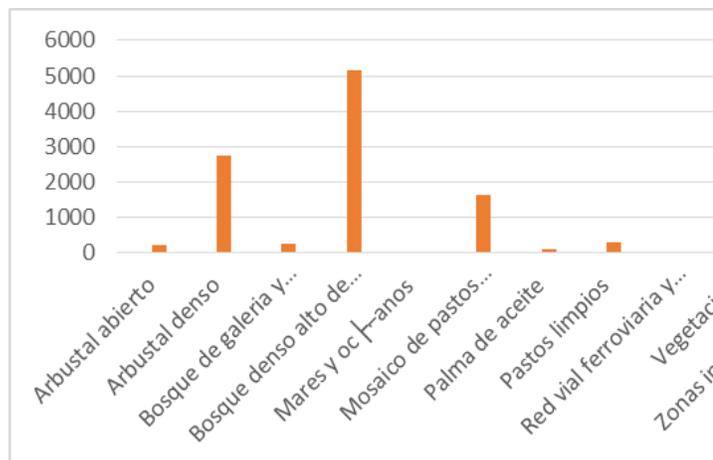
7.5. Análisis para las coberturas vegetales para el año 2003

| Año | 2003 | |
|---|---------------------------|--------------------|
| Etiquetas de fila | Suma de Número de Parches | Suma de Área (ha) |
| Arbustal abierto | 4 | 85,15978705 |
| Arbustal denso | 4 | 4600,353753 |
| Bosque de galería y ripario | 3 | 305,2881432 |
| Bosque denso alto de tierra firme | 7 | 3170,09541 |
| Mares y océanos | 1 | 50,42986766 |
| Mosaico de cultivos pastos y espacios naturales | 2 | 126,4504969 |
| Mosaico de pastos con espacios naturales | 21 | 565,2542018 |
| Palma de aceite | 1 | 131,6475769 |
| Pastos arbolados | 1 | 107,2988107 |
| Pastos limpios | 17 | 707,7396695 |
| Vegetación secundaria alta | 11 | 1718,243871 |
| Zonas industriales o comerciales | 1 | 21,00211776 |
| Total general | 73 | 11588,96371 |

Tabla 5. Tipos de coberturas vegetales, los números de parches de estas coberturas, el tamaño en hectáreas por cobertura y la suma total de hectáreas de la cuenca del río Toribio para el año 2003.



Cobertura de la Tierra (2003)



Gráfica 5. Tipos de coberturas vegetales, sumatoria de áreas en hectáreas de cada cobertura y suma del número de parches para el año 2003.

Al igual que para el año 1998, en este año los tipos de coberturas con mayor número de parches fueron los mosaicos de pastos naturales y los

pastos limpios, pero el arbustal denso presentó un mayor área geográfica, a diferencia del año 1998, donde el herbazal denso de tierra firme fue el que presentó un mayor número de hectáreas de área geográfica. Es importante tener en cuenta que el bosque denso alto de tierra firme con sólo 7 parches, presenta un área geográfica considerable de 3.170 (Ha.) aproximadamente, lo que muestra al bosque denso en un buen estado de conservación para este año.

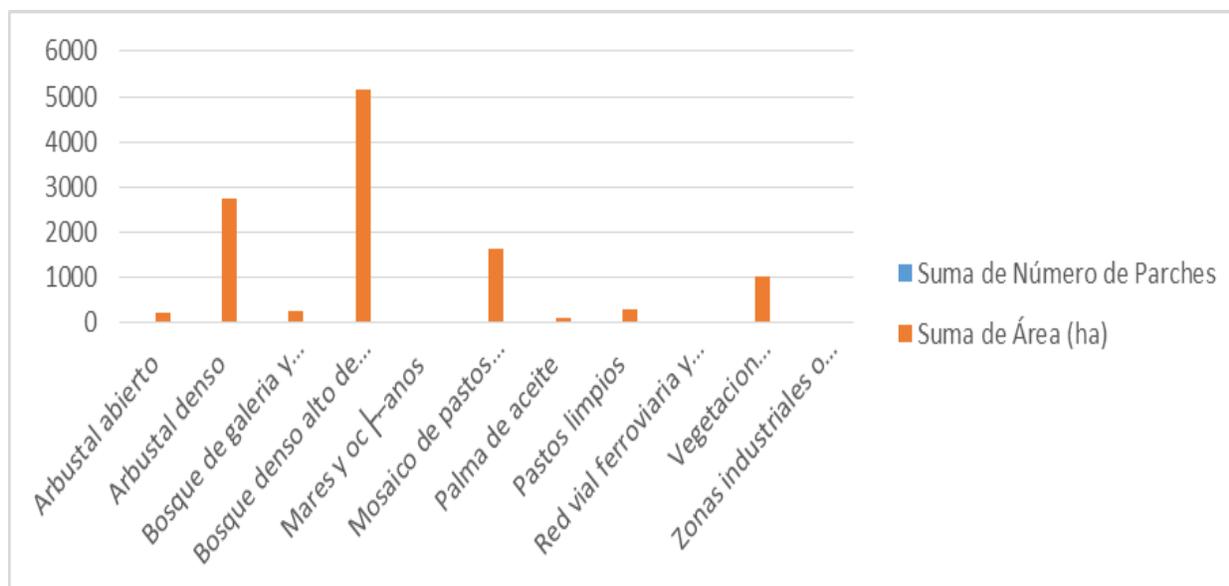
Para el año 2003 vemos como el bosque denso alto, ocupa un área considerable, mostrando que esa vegetación secundaria alta que se evidenció en el año 1984, para el 2003 se establece como un bosque denso; esto lo atribuimos a estrategias de conservación y políticas de conservación en la parte alta del macizo montañoso y que muestran una mejora en el estado de conservación de la parte alta, sin embargo, los pastos limpios no se pueden dejar de lado debido a que ganan espacio en relación al tiempo y que a simple vista se evidencia una fuerte modificación en las coberturas de la Tierra y el bosque.

7.6. Análisis para las coberturas vegetales para el año 2008

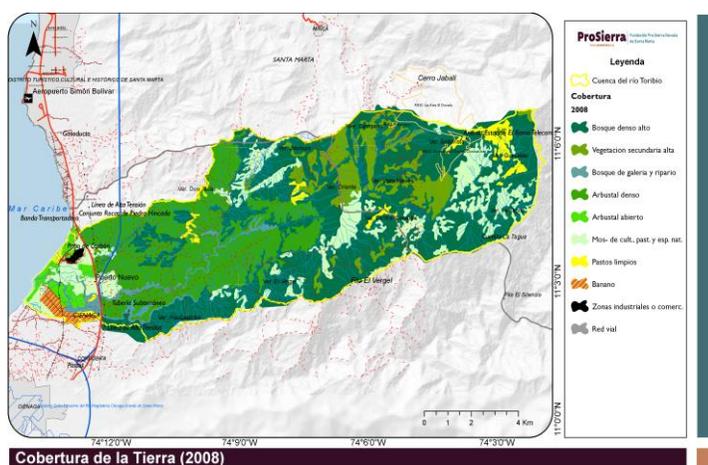
| Año | 2008 | |
|---|---------------------------|--------------------|
| Etiquetas de fila | Suma de Número de Parches | Suma de Área (ha) |
| Arbustal abierto | 5 | 216,7001199 |
| Arbustal denso | 3 | 2761,769274 |
| Bosque de galería y ripario | 2 | 272,8574059 |
| Bosque denso alto de tierra firme | 6 | 5159,884365 |
| Mares y océanos | 1 | 49,83704395 |
| Mosaico de pastos con espacios naturales | 40 | 1636,751763 |
| Palma de aceite | 1 | 114,1553211 |
| Pastos limpios | 12 | 304,1942485 |
| Red vial ferroviaria y terrenos asociados | 2 | 21,8842039 |
| Vegetación secundaria alta | 19 | 1025,617702 |
| Zonas industriales o comerciales | 1 | 25,31226035 |
| Total general | 92 | 11588,96371 |

Tabla 6. Análisis de los tipos de coberturas vegetales, los números de parches de estas coberturas, el tamaño en hectáreas por cobertura y la suma total de hectáreas de la cuenca del río Toribio para el año 2008.

Para el año 2008, el análisis mostró que el tipo de cobertura con mayor área geográfica de la cuenca, fue el bosque denso alto de tierra firme con una suma de 7 parches. Los mosaicos de pastos naturales con 40 parches fue el que presentó mayor número de parches como evidentemente se vuelve una tendencia para todos los años, seguido por la vegetación secundaria con 19 parches. Para este año se registró un total de 92 parches, lo que representa un aumento significativo en la cantidad de parches de cobertura en relación con los años analizados anteriormente.



Gráfica 6. Tipos de coberturas vegetales, sumatoria de áreas en hectáreas de cada cobertura y suma del número de parches para el año 2008.



Los mosaicos de pastos con espacios naturales evidentemente cubren parte considerable de la cobertura de la Tierra, los pastos limpios que para el 2003, que tenían una mayor área, han disminuido y se asocian a los mosaicos, vegetación secundaria y los bosques.

7.7. Análisis de las coberturas vegetales para el año 2013

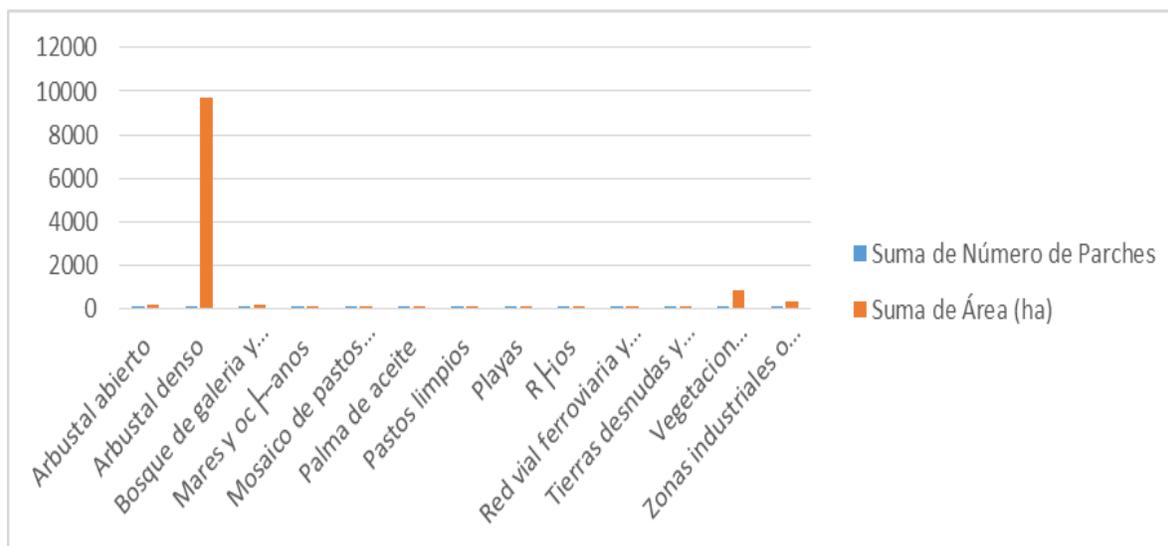
| Año | 2013 | |
|-------------------|---------------------------|-------------------|
| Etiquetas de fila | Suma de Número de Parches | Suma de Área (ha) |
| Arbustal abierto | 6 | 151,436,487.1 |

Mapa 6. Cobertura de la Tierra (2008)

| | | |
|-----------------------------|---|---------------|
| Arbustal denso | 1 | 967,516,155.7 |
| Bosque de galería y ripario | 5 | 171,275,433.3 |

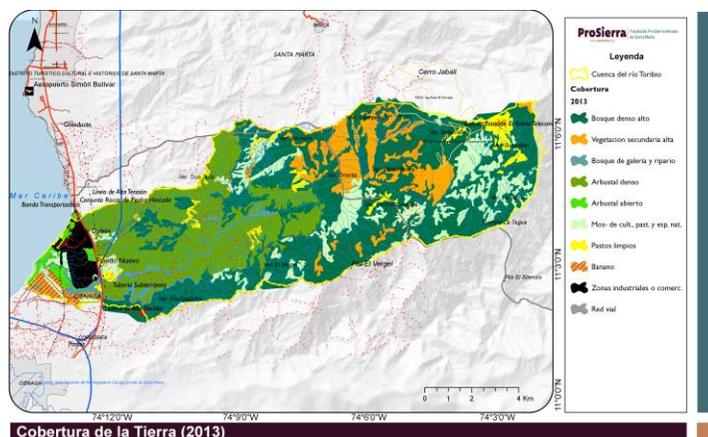
| | | |
|---|-----------|--------------------|
| Mares y océanos | 3 | 41,14878326 |
| Mosaico de pastos con espacios naturales | 4 | 77,04691269 |
| Palma de aceite | 3 | 134,3268382 |
| Pastos limpios | 7 | 98,66606567 |
| Playas | 1 | 6,779210328 |
| Ríos | 4 | 62,99821571 |
| Red vial ferroviaria y terrenos asociados | 2 | 30,30205736 |
| Tierras desnudas y degradadas | 1 | 7,820030858 |
| Vegetación secundaria alta | 44 | 834,6451724 |
| Zonas industriales o comerciales | 1 | 297,3569575 |
| Total general | 82 | 11588,96372 |

Tabla 7. Análisis de los tipos de coberturas vegetales, los números de parches de estas coberturas, el tamaño en hectáreas por cobertura y la suma total de hectáreas de la cuenca del río Toribio para el año 2013.



Gráfica 7. Tipos de coberturas vegetales, sumatoria de áreas en hectáreas de cada cobertura y suma del número de parches para el año 2013.

Para este año, el arbustal denso presentó una mayor extensión, con un área geográfica de 9.675 hectáreas aproximadamente. El tipo de cobertura vegetal que presentó este año un mayor número de parches fue la vegetación secundaria alta, con 44 parches. La sumatoria total de parches en todos los tipos de cobertura fue de 82. Hay que considerar que coberturas



vegetales como el arbustal denso, vegetación secundaria alta, mosaicos de pastos limpios, herbazales y bosque denso alto de tierra firme son los tipos de coberturas que presentan una mayor prevalencia en cantidad de parches de formaciones vegetales y en extensión del área geográfica.

En el siguiente mapa, podemos observar que las coberturas de tierra de bosque denso alto en la parte alta, a medida que pasa el tiempo gana mayor cobertura de tierra. Sin embargo, este tipo de cobertura gana espacio en el tiempo al igual que lo hacen los mosaicos de pastos con espacios naturales y los pastos limpios, situación que es preocupante, ya que se evidencian zonas en donde el estado de conservación es bueno, pero por la acción antrópica, las coberturas vegetales constantemente se encuentran sometidas a modificaciones y variaciones asociadas al uso del suelo.

7.8. Análisis de las coberturas vegetales para el año 2018

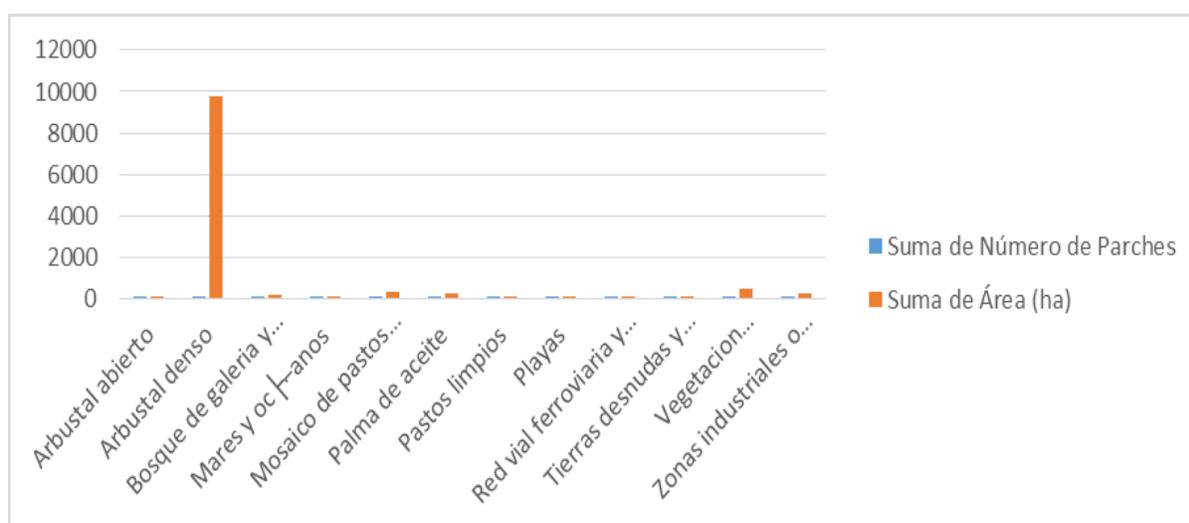
| Año | 2018 | |
|-----------------------------|---------------------------|-------------------|
| Etiquetas de fila | Suma de Número de Parches | Suma de Área (ha) |
| Arbustal abierto | 5 | 111,044357 |
| Arbustal denso | 3 | 9778,623789 |
| Bosque de galería y ripario | 5 | 176,8449927 |
| Mares y océanos | 3 | 42,11150045 |

Mapa 7. Coberturas de la Tierra (2013)

| | | |
|--|----|-------------|
| Mosaico de pastos con espacios naturales | 28 | 353,7658476 |
| Palma de aceite | 4 | 224,8653186 |

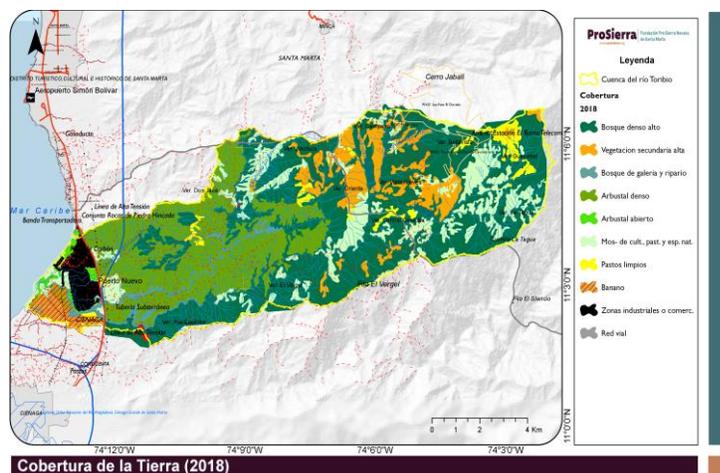
| | | |
|---|-----------|--------------------|
| Pastos limpios | 6 | 63,51428898 |
| Playas | 1 | 6,640737188 |
| Red vial ferroviaria y terrenos asociados | 2 | 34,5463034 |
| Tierras desnudas y degradadas | 2 | 13,46869512 |
| Vegetación secundaria alta | 10 | 495,6687492 |
| Zonas industriales o comerciales | 1 | 287,8691405 |
| Total general | 70 | 11588,96372 |

Tabla 8. Análisis de los tipos de coberturas vegetales, los números de parches de estas coberturas, el tamaño en hectáreas por cobertura y la suma total de hectáreas de la cuenca del río Toribio para el año 2018.



Gráfica 8. Tipos de coberturas vegetales, sumatoria de áreas en hectáreas de cada cobertura y suma del número de parches para el año 2018.

Como fue tendencia, el arbustal denso presentó una extensión geográfica mayor que los demás tipos de coberturas para este año, con sólo 3 parches. Los mosaicos de pastos con espacios naturales vuelven a encabezar la lista del tipo de cobertura con mayor número de parches con un total de 28, seguido por la vegetación secundaria alta, la cual presentó 10 parches. La sumatoria total del número de parches para los tipos de cobertura vegetal en el análisis del 2018 fue de 70.



En la parte alta de la cuenca últimamente ha experimentado muchas variaciones y fragmentaciones de diversos

orígenes, sin embargo, las políticas y estrategias de conservación, como la relación de la economía con la conservación de los pobladores han sido fuertes pilares en la conservación de los bosques en el área de estudio. La agricultura, la ganadería, el crecimiento demográfico y el turismo han sido causas considerables de cambios históricos en la cobertura vegetal de la cuenca del río Toribio. Un aspecto importante a resaltar es el área geográfica del arbustal denso, cobertura que corresponde al bosque seco, que tiene lugar en la parte baja y transición entre baja y media de la cuenca y que evidentemente predomina en extensión geográfica, a pesar de tener una naturaleza dinámica y cambiante.

Consideramos importante hacer un énfasis en el estado de conservación y la dinámica del bosque denso alto en la cuenca del río Toribio, donde para el año 1984, no presentaba un área geográfica importante. Observamos la dinámica y el proceso que hay de sucesión entre la vegetación secundaria alta que predomina para el año 1984 y como a lo largo de los años, este tipo de cobertura se va consolidando como un bosque denso alto, siendo en el año 2008 al 2013, los años donde presentó un mejor estado de conservación el bosque denso alto y posteriormente se evidencia en el año 2018, una serie de fragmentaciones en el bosque denso, que las atribuimos a la acción antrópica.

Consideramos importante la protección, preservación y conservación de los sistemas naturales del macizo montañoso, esperando por medio de este ejercicio científico, brindar las herramientas necesarias para el estudio histórico de los cambios en los tipos de coberturas vegetales y de la tierra en el área de estudio.

8. Discusión

La sierra nevada de Santa Marta, es un macizo montañoso costero que alberga una diversidad biológica importante para el país y el mundo; y teniendo en cuenta los resultados obtenidos del análisis multitemporal de las formaciones vegetales en la cuenca del río Toribio, afirmamos entonces la importancia de las formaciones vegetales en la sierra nevada, como indicador del estado de conservación de sus ecosistemas; de cómo este tipo de investigación se convierten en una herramienta fundamental para conocer la historia y el presente de los sistemas naturales, un objeto de estudio que a su vez sienta base académicas que sirven para la

protección y conservación del medio ambiente (Strewe, 2009).

Cuando los bosques son modificados o alterados, estos cambios en la estructura del bosque se convierten en generadores de CO₂, estas alteraciones pueden ser provocadas por la acción del hombre o a causa de fenómenos naturales, las principales causas de estas modificaciones de la estructura de la masa forestal es: la ganadería, agricultura, sobreexplotación, degradación y conversión a usos no forestales, siendo esta la tendencia en los bosques en el mundo (FAO, Forest resources assessment 1990. Global synthesis, 1995).

Autores como Carradini, establecen a la cobertura vegetal como un indicador ambiental del estado de conservación de los bosques. Esto nos permite por medio de las formaciones vegetales conocer el estado de conservación del área de estudio y como este ha ido cambiando a lo largo del tiempo. A continuación se discutirá los resultados obtenidos para cada año analizado (CARRADINI, 2016).

Para el año 1984, se obtuvieron un total de 74 parches totales de coberturas vegetales, los mosaicos de pastos con espacios naturales fue el tipo de cobertura con mayor número de parches, seguido de arbustal denso y vegetación secundaria alta. La vegetación secundaria y el arbustal denso por su naturaleza altamente dinámica, puede comprobarse en los porcentajes presentados, sin embargo los mosaicos de pastos con espacios naturales, claramente corresponden a una acción antrópica. Son pocos los trabajos que se han realizados de este tipo en el area de estudio, pero al compararlo con los resultados de Corredor et al, 2011, donde a manera de resultado exponen que el cambio en el uso del suelo y la vision conservacionista de los habitantes del territorio tiene una marcada influencia en el estado de conservacion de los bosques y el territorio.

El herbazal denso de tierra firme fue el tipo de cobertura con mayor número de hectáreas, siendo un único parche con esa extensión geográfica, esto se le atribuye a las grandes extensiones de bosques secos en la cuenca baja y media de la cuenca del rio Toribio.

Para el año 1988, los resultados arrojaron un total de 62 parches y se repitió el mismo patrón que en 1984, en donde la vegetación secundaria alta y los mosaicos de pastos con espacios naturales fueron los tipos de cobertura con mayor cantidad de parches, pero a diferencia de 1984, en donde el herbazal denso de tierra firme fue el que presentó mayor área geográfica, en 1988 el arbustal denso fue el que presentó una mayor área, estos procesos los atribuimos como naturales en la dinámica de los bosques secos, cuya extensión en el área de estudio es bastante considerable. Los mosaicos de pastos con espacios naturales, corresponden evidentemente a la acción del hombre o uso del suelo en algunas áreas determinadas.

En el análisis correspondiente al año 1991, se obtuvo una sumatoria total de 56 parches y podemos observar como el número total de parches del año 1984 al año 1991, presentó una reducción en relación al tiempo, en donde para 1984, se registró un total de 74 parches; en 1988, un total de 62 parches y para el 1991, un total de 56 parches, donde claramente podemos ver la reducción en los números de parches, pero los mosaicos de pastos con espacios naturales se mantienen y la vegetación secundaria tiene un dinámica bastante marcada por sus características naturales, a diferencia de los mosaicos a la cual le atribuimos su origen al uso del suelo o modificaciones de origen antrópico.

En el año 1998, el número total de parches aumentó a 72, los mosaicos de pastos con espacios naturales se mantienen como los tipos de coberturas con mayor número de parches, pero aparece un tipo de cobertura que no se había registrado que son los pastos limpios y que no corresponden a procesos naturales, sino por el contrario sus registros evidencian un cambio el uso del suelo en unas áreas determinadas y que corresponden a la acción del hombre en el área de estudio. El herbazal denso de tierra firme, seguido por el arbustal denso presenta una mayor área geográfica y que como se mencionaba anteriormente se debe a la naturaleza dinámica y cambiante de los bosques xerofíticos y subxerofíticos, que en la cuenca baja del río Toribio, presentan un área geográfica considerable.

En los años 2003 y 2008, los pastos limpios y los mosaicos de pastos con espacios naturales presentan un mayor número de parches de coberturas y como se mencionaba anteriormente estas variaciones o formaciones vegetales no son de origen natural, sino de origen antrópico.

Para estos años se registra al bosque denso de tierra firme como el tipo de cobertura vegetal con un área geográfica de mayor extensión en la cuenca, lo que nos permite inferir que a pesar de que se evidenció un aumento en la cantidad de parches y fragmentaciones en las coberturas, el bosque denso se encuentra en un buen estado de conservación.

El análisis correspondiente al 2013 y 2018, registraron que el arbustal denso presentó una mayor área geográfica y que la vegetación secundaria alta presenta el mayor número de parches, tendencia que se ha evidenciado en los análisis anteriores.

Como fue tendencia, el arbustal denso presentó una extensión geográfica mayor que los demás tipos de coberturas para este año, con sólo 3 parches. Los mosaicos de pastos con espacios naturales vuelven a encabezar la lista del tipo de cobertura con mayor número de parches con un total de 28, seguido por la vegetación secundaria alta, la cual presentó 10 parches. La sumatoria total del número de parches para los tipos de cobertura vegetal en el análisis del 2018 fue de 70.

En los resultados obtenidos del análisis multitemporal desde 1984 hasta el 2018, se registró que los tipos de coberturas con mayor número de parches fueron los mosaicos de pastos con espacios naturales, los pastos limpios y la vegetación secundaria alta, consideramos que estos tipos de coberturas que presentan cantidades de parches superiores son de naturaleza antrópica y que no corresponden a procesos o fenómenos naturales.

Se logró evidenciar que los tipos de coberturas vegetales con mayor extensión geográfica son el arbustal denso, el herbazal denso de tierra firme y el bosque denso alto de tierra firme. Los dos primeros corresponden a tipos de coberturas de bosques secos cuya naturaleza es cambiante y dinámica, lo que permite inferir que los cambios de las coberturas hacen parte de procesos naturales y que su amplia área geográfica corresponde a la zona baja y media baja de la cuenca, la cual está compuesta por grandes extensiones de bosques xerofíticos y subxerofíticos; el tercero, que es el bosque denso de tierra firme, le atribuimos su estado de conservación a políticas de manejo y estrategias de conservación de los pobladores y entidades gubernamentales y no gubernamentales que protegen y conservan estos sistemas naturales en la parte alta de la cuenca del río Toribio.

Para terminar, de acuerdo a los resultados obtenidos en las tablas, las gráficas y los mapas; podemos afirmar que la cuenca del río Toribio a lo largo del tiempo ha sufrido un sinnúmero de modificaciones que han sido las causas de los cambios históricos en las coberturas vegetales. Estos cambios, inferimos que se le atribuyen a procesos socioeconómicos, problemáticas sociales y ambientales. El año que presentó un fuerte impacto en las modificaciones de las coberturas fue en el 1984 y que, al pasar el tiempo, a pesar de sufrir otros cambios y fragmentaciones en el área, presentó mejoras en el estado de conservación de los bosques en la cuenca. Evidentemente para el 2018 y años anteriores, los bosques ocuparon un mayor área, al igual que los mosaicos de pastos con espacios naturales y los pastos limpios, lo que nos permite afirmar que si bien se están implementando estrategias de conservación y protección de los sistemas naturales, también es cierto, que para estos últimos años las fragmentaciones por el uso del suelo en la parte alta, han ganado un espacio considerable en el tiempo y que por la expansión de la frontera agrícola, crecimiento demográfico y el turismo, tienen un papel protagónico en las modificaciones que ha sufrido la cuenca del río Toribio en los últimos años. Al comparar nuestros resultados con los obtenidos en el POMCA, datos del IDEAM y el estudio de CORINE LAND COVER desarrollado por Corredor et al. 2011, podemos ver las modificaciones que ha sufrido la cuenca a lo largo del tiempo, por diversos factores sociales, antropicos y ambientales. Estos estudios nos abren las puertas a realizar proyectos a gran escala que permitan analizar el panorama histórico y estas modificaciones a lo largo del tiempo.

9. Conclusión

Se alcanzaron los objetivos planteados, porque fue posible clasificar y realizar un análisis histórico de los cambios de cobertura vegetal en la cuenca del río Toribio en un periodo de 1984 hasta 2018,

Los resultados permitieron evidenciar como las coberturas vegetales en la cuenca del río Toribio, presentan variaciones, cambios o modificaciones en su dinámica e historia natural, estas pueden ser de diversos orígenes. Estas modificaciones son las causas del estado de conservación del área de estudio, así como los cambios sufridos a lo largo del tiempo.

La metodología Corine Land Cover en Colombia, después de los resultados obtenidos, concluimos que es una herramienta importante para la clasificación de coberturas de la tierra y que cada vez se consolida como una base para el estudio de los cambios en las formaciones vegetales. Los análisis multitemporales, representan un aspecto interesante al momento de estudiar la historia de un área de estudio determinada.

En el área de estudio, los mayores impactos que se observan sobre el paisaje son los producidos por la acción antrópica, el uso del suelo tiene un papel determinante en la estructura de las coberturas vegetales. La ampliación de la frontera agrícola, el crecimiento demográfico, la ganadería y la construcción en el área de estudio ha ocasionado la pérdida de los bosques, lo que trae como consecuencia la fragmentación y a su vez realizando una significativa contribución al deterioro del paisaje, sin embargo la cuenca del río Toribio, consideramos que a pesar de las perturbaciones e impactos, mantiene un buen estado de conservación.

Dentro de las formaciones vegetales presentes en la zona, se puede evidenciar que hay dinámicas naturales que son causantes de variaciones en la cobertura vegetal, pero que corresponden a procesos naturales, como el caso de la dinámica de épocas seca y lluviosa para el bosque seco, el cual ocupa un área geográfica importante en la parte baja y media baja de la cuenca del río Toribio.

En la parte alta de la zona de estudio se han venido desarrollando proyectos de conservación y restauración ecológica, por esto posiblemente la parte alta presenta mayores extensiones de bosques sin fragmentar y formaciones vegetales que indican un buen estado de conservación.

Estos análisis multitemporales son una herramienta fundamental para estrategias de planificación del territorio, estudiando las problemáticas, la dinámica de estas y la evolución de las mismas y a su vez, las posibles soluciones.

Para terminar concluimos que los análisis históricos de los cambios en los tipos de cobertura vegetal, nos permiten articular e interrelacionar los componentes de los sistemas naturales de manera sistémica y que se consolidan como una base académica importante a la hora de crear o ajustar políticas para la protección y conservación del medio ambiente, como también del ordenamiento territorial. De igual forma se puede llegar a decir que el modelo económico de las sociedades y en este caso, nacional y regional, está directamente relacionado con el estado de conservación de las áreas de bosques protegidas, la sierra nevada de santa marta y la cuenca del río Toribio, su dinámica de cobertura vegetal, está amarrada a las realidades y actividades socio-económicas de la región, la sobre explotación de la tierra y el turismo, llevan claramente una afluencia significativa en los cambios o transformaciones de los bosques.

Referencias bibliográficas

AGENCY., E. E. (1994). *CORINE Land Cover*. París, Francia: Commission of the European Communities.

- BENNETT, A. (1999). *Enlazando el paisaje: El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. Programa de conservación de bosque UICN, conservando los ecosistemas boscosos*. Clayton, Australia: Unión mundial para la naturaleza.
- BONHAM, C. D. (1989). *Measurements for terrestrial vegetation*. New York: John Wiley and Sons.
- BRAVO, R. Y. (2008). *Arboles de clasificación (Inteligencia artificial avanzada)*. Loja, Ecuador.
- BROWN, S. S. (1996). *Management of forests for mitigation of greenhouse gas emissions*. Cambridge, Reino Unido: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- BROWN, S. S. (1996). *Mitigation of carbon emission to the atmosphere by forest management*. Corvallis, USA: Commonwealth Forestry Review 75.
- CAIRNS, M. D. (1995). *Forests of Mexico. A diminishing resource?* Mexico: Journal of forestry science.
- CARRADINI, C. (2016). *Valoración del grado de cobertura vegetal como indicador de la rehabilitación natural de canteras en el Noreste de la provincia de Neuquén*. Cordoba, Argentina: Universidad siglo 21.
- CENON, L. Y. (1999). *Fotogrametría: Análisis visual y digital de imágenes satelitales*. Popayán, Colombia: Universidad del Cauca.
- CHUVIECO, E. (2008). *Sensores remotos ambientales*. Barcelona, España: Ariel.
- CIACUA. (2014). *Estudio para el fortalecimiento de la infraestructura sanitaria de Santa Marta para los requerimientos proyectados en próximos 50 años*. Santa Marta, Colombia: Centro de investigaciones en acueductos y alcantarillados, Universidad de los Andes.
- CIESTA, W. (1996). *Cambio climático, bosques y ordenación forestal: una visión de conjunto*. Roma, Italia: Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO).
- COMAS, D. y. (1993). *Fundamentos de los sistemas de información geográfica*. Barcelona: Ariel Geográfica.
- CONDE, J. y. (2016). *Análisis multitemporal de la cobertura del suelo utilizando la*

- metodología VCS y Corine Land Cover, caso de estudio*. Manizales, Colombia: Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- CORPAMAG. (2017). *Formulación POMCA Río Piedras- Río Manzanares y otros directos al Caribe. Fase de diagnóstico, documento general Vol. II. Caracterización de las condiciones sociales*. . Santa Marta, Colombia: Corporación Autónoma Regional del Magdalena.
- CORREDOR GIL, L. C. (2011). *Aplicación de la metodología corine land cover en la determinación de los cambios de cobertura en el parque natural los flamencos*. Bogotá, Colombia: Ciencia e Ingeniería Neogranadina 21.
- CURRAN, P. (1983). *Multispectral remote sensing for the estimation of green leaf area index*. Londres: Philosophical transactions of the Royal Society of London.
- DIXON, R. B. (1994). Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science, New Series*, 185-190.
- Ebvironmet and Natural Resources Series. (2005). *Sistemas de Clasificación de la Cobertura de La Tierra*. Roma, Italia.
- FAO. (1995). *Forest resources assessment 1990. Global synthesis*. Roma: Estudio FAO: Montes N° 124.
- FAO. (2006). *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005. Hacia la ordenación forestal sostenible*. Roma: FAO.
- FAO. (2010). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010*. Roma: FAO.
- GARCIA, M. L. (2012). Satélites de teledetección para la gestión del territorio. *Satelmac y consejería de agricultura, ganadería, pesca y aguas del gobierno de canarias*.
- GROOMBRIDGE, B. (1992). *Global biodiversity. Status of the Earths living resources*. Londres: WCMC.
- GUERRA CEREZO, E. (2006). *Análisis multitemporal de la cobertura y uso de la Tierra a través del sistema LCCS en la cuenca baja del rio grande Santa Cruz – Concha Bamba*. Bolivia.
- GUTIERREZ, G. E. (2015). Cobertura vegetal estimada por fotografías digitales relacionados con la biomasa en un sitio de pastizal al norte de Mexico. *Revista Internacional de Botánica experimental*, 312-318.
- HECKADON, M. (1999). *La Cuenca del Canal. Deforestación, Urbanización y*

- contaminación*. . Panamá: Instituto Smithsonian de Investigaciones trópicas.
- HERNÁNDEZ, J. H. (1992). Centros de endemismo en Colombia. *Acta Zoológica Mexicana*, 175-190.
- HILTY, S. L. (1986). *A guide to the birds of Colombia*. Princeton, NJ.: Princeton University Press.
- IDEAM. (Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000). 2010. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IDEAM, I. y. (2008). *Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales e Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- IDEAM. (2016). IDEAM. Recuperado el 27 de Octubre de 2016, de <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-tierra>.
- IPCC (GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMATICO, U. (2001). *Tercer informe de evaluación de cambio climático (2001)*. Impactos, adaptación y vulnerabilidad.
- LAMBIN, E. y. (2001). The causes of land-use- cover change. *Global Environmental Change*, 184.
- LAMPREA, F. (2017). *Zonificación de la cobertura de la Tierra mediante la aplicación de herramientas SIG para la revisión y ajuste del POT en el marco del crecimiento urbano: caso municipio de Zipaquirá*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.
- MANRÍQUEZ, E. M. (2016). *Detección de cobertura de manglar mediante el procesamiento de imágenes Landsat*. México: Instituto Tecnológico de Celaya. Pistas educativas.
- MASERA, O. J. (2001). Almacenamiento de carbono en un bosque de pinus pseudostrobus en San Juan, Nuevo Michoacan. *Madera y bosques* 7, 27-47.
- MELO, W. y. (2005). *Adaptación de la metodología CORINE Land Cover para Colombia*. Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- MITTERMEIER, R. A.-G. (2004). Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and

- Most Endangered Ecoregions. *Cemex, Second Edition*, 391.
- MOZO, T. (1999). *Ecología y Conservación de Recursos Renovables*. Colombia: Santa Fe de Bogotá.
- MUÑOZ MOREIRA, R. (1996). Los Sistemas de Información Geográfica y sus aplicaciones en la conservación de la diversidad biológica. *Ambiente y Desarrollo* 12, 80-86.
- PANAYOTOU, T. (1995). *Ecología-economía, medio ambiente y desarrollo*. Argentina: Memorias del Segundo Simposio Latinoamericano sobre investigación y extensión en sistemas agropecuarios (IESA-AL II).
- PERLIN, J. (1999). *Historia de los bosques, el significado de la madera en el desarrollo de la civilización*. España: Madrid.
- PMCC. (1999). *Informe Final. Proyecto Monitoreo de la Cuenca del Canal de Panamá*. Panamá: USAIDANAM-STRI.
- Prosierra, F. (1997). *Plan de desarrollo sostenible de la Sierra Nevada de Santa Marta*. Santa Marta, Colombia: Fundación Pro Sierra Nevada.
- RAEV, I. U. (1996). *Acumulación de CO₂ en la parte aérea de la biomasa de los bosques de Turquía y Bulgaria en las últimas décadas*. Antalya, Turquía: XII Congreso Mundial Forestal.
- RANGEL, O. Y. (1995). *Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia)*. Santa Marta: Colombia Diversidad Biótica I.
- RODRÍGUEZ, A. O. (2004). *Agricultura de Conservación en cultivos leñosos (olivar): cubiertas vegetales. Cualidades y tipos principales. Técnicas de Agricultura de Conservación*. Madrid: Mundi-Prensa.
- ROMERO M., C. E. (2008). *Informe sobre el estado de la biodiversidad en Colombia*. Bogotá, Colombia: Instituto de investigación Alexander Von Humboldt.
- SELLERS, P. J. (1992). Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. A re – analysis used improved leaf models and a new canopy integration scheme. *Remote Sensing of Environment* 42, 187-216.
- SHANMUGAM, P. Y. (2004). Analysis of Landsat – 5 TM Imagery for extracting aquaculture farms information in the Korean Coastal Waters. *Gayana (concepc.)*, Vol. 68, 186-193.

- SMITH, R. C. (1990). *Ecology and field biology*. New York: Harper Collins 4 ed.
- STREWE, R. L. (2009). Diseño e implementación del corredor de conservación río Toribio, Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Intropica* , 67-78.
- SUAREZ, K. C. (2017). Validación de la metodología Corine Land Cover (CLC) para la determinación espacio temporal de coberturas: Caso microcuenca de la quebrada la Mecha (Combita, Boyacá), Colombia. *Biota Colombiana vol 17*, 1-15.
- TILZEY, M. (1997). *Environmentally sensitive areas and grassland conservation in England*. London: European Grassland Federation.
- TILZEY, M. (2000). Natural Areas, the whole countryside approach and sustainable agriculture. *Land Use Policy vol. 17*, 279-294.
- TUCKER, C. J. (1985). African land cover classification using satellite data. *Science*, 369-375.
- USGS, U. S. (2005). *Levels of processing*. USA.
- YEPES, A. N. (2010). Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa – carbono en Colombia. Bases estadísticas del protocolo – Biomasa aérea.
- ZIANIS, D. Y. (2003). Aboveground biomass relationships for beech (*Fagus moesiaca*) trees in Vermio Mountain. Northern Greece and generalized equations for *fagus* sp. *Annual Forest Science*, 431-448.