

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PATRONES DE CAMBIO NATURALES Y
ANTROPICOS EN UN ECOSISTEMA ALTOANDINO, EN LA PARTE ALTA DE LA
CUENCA RÍO PALACÈ**

WILLIAM JAMES TANDIOY BRAVO

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
POPAYÁN
2008**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PATRONES DE CAMBIO NATURALES Y
ANTROPICOS EN UN ECOSISTEMA ALTOANDINO, EN LA PARTE ALTA DE LA
CUENCA RÍO PALACÉ**

WILLIAM JAMES TANDIOY BRAVO

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

Director

APOLINAR FIGUEROA-C. PhD

Asesores

Esp. BERNARDO RAMÍREZ

Biólogo. JUAN PABLO MARTINEZ

Biólogo. SAMIR CARLOS JOAQUI

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

POPAYÁN

2008

Nota de aceptación

Director

Apolinar Figueroa Casas. (Ph. D.)

Jurado

Mg. Hernando Vergara Varela.

Jurado

Mg. Camilo Ernesto Andrade.

Fecha de sustentación: Popayán, 15 de Julio de 2008.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por darme la vida, a mi **Madre** por su esfuerzo y colaboración permanente
A mis hermanos **Marcela** y **Juan** por estar siempre allí apoyándome, a **Brenda** y **Juliana** por estar a mi lado brindándome su amor y apoyo incondicional y demás personas de mi familia que me acompañaron de una u otra forma durante todo este proceso.

A mis amigos y compañeros de campo, Diana Hurtado, Alex Dorado, Wilson Campo.

Al profesor **Apolinar Figueroa Casas. Ph.D.** Docente del programa de Biología, Universidad del Cauca, Director del trabajo, por darme la oportunidad de trabajar en el Grupo de Estudios Ambientales, por brindar su amistad, sabiduría, aportes, apoyo y gestión para sacar adelante este trabajo de investigación.

Al Maestro Bernardo Ramírez Padilla: Docente del programa de Biología, Director del Herbario Universidad del Cauca, por las recomendaciones, aportes y colaboración en la identificación del material vegetal colectado.

A Juan Pablo Martínez y Samir Carlos Joaquín Daza: Biólogos, Grupo de Estudios Ambientales, Universidad del Cauca. Por sus valiosos aportes y amistad, durante el desarrollo de esta investigación.

A mi compañero Fernando Andrés Muñoz Gómez Grupo de Estudios Ambientales, Universidad del Cauca. Por su amistad, acompañamiento en la fase de campo y por sus oportunos aportes tanto en campo como en la consolidación de este documento.

A los integrantes del Grupo de Estudios Ambientales – GEA de la Universidad del Cauca, Lorena Alvear, Angélica Mosquera, Jairo Plazas, Juan Diego Otero, María Cristina Ordoñez y Diana Ruiz por brindarme su amistad y colaboración en el desarrollo del proyecto.

Al profesor y jurado del trabajo de Grado Mg. Hernando Vergara Varela: Docente del programa de Biología, por las recomendaciones y sugerencias.

Al profesor y jurado del trabajo de Grado Mg. Camilo Ernesto Andrade: Docente del programa de Biología, por las recomendaciones y sugerencias.

Al Señor Jorge Castro, al mayordomo Don Félix y su esposa: Por facilitarme su finca y la hospitalidad.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	13
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
2 JUSTIFICACIÓN.....	17
3 OBJETIVOS.....	19
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
4 MARCO TEÓRICO	20
4.1 ECOLOGÍA DEL PAISAJE.....	20
4.2 ECOSISTEMAS DE ALTA MONTAÑA.....	23
4.3 LA FRAGMENTACIÓN.....	27
4.4 TEMPORALIDAD Y CAMBIO EN LOS PAISAJES.....	28
4.5 METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (E.I.A) 29	
4.6 TELEDETECCIÓN.....	30
4.7 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA (SIG).....	30
4.8 MODELOS FENOMENOLÓGICOS.....	30
5 HIPÓTESIS Y PREGUNTA DE INVESTIGACION.....	31
6 ANTECEDENTES	32
7 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	35
7.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	35
7.2 CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS DEL AREA DE ESTUDIO.....	35
8 METODOLOGÍA	37
8.1 METODOLOGÍA SIG.....	38
8.2 METODOLOGÍA PARA VEGETACIÓN.....	44
8.3 METODOLOGÍA DE E.I.A.....	46
9 RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	48
9.1 FRAGMENTACIÓN.....	48
9.2 CAMBIO DE COBERTURA.....	56
9.3 PATRONES DE CAMBIO.....	64
9.4 VEGETACIÓN.....	74
9.5 MATRIZ DE FEARO PARA EXPANSION DE LA FRONTERA AGROPECUARIA.....	78
9.6 ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE SUBACTIVIDADES Y COMPONENTES DE LOS SUBSISTEMAS.....	81

9.7 MATRIZ DE FEARO	86
9.8 MODELOS FENOMENOLÓGICOS PARA LAS TENSIONES ASOCIADAS AL ECOSISTEMA ALTOANDINO	87
10 CONCLUSIONES	90
11 RECOMENDACIONES	93
12 BIBLIOGRAFÍA	94
ANEXOS	100

Índice de figuras

Figura 1 Ubicación del área de estudio corregimiento de Gabriel López, Municipio de Totoró.....	35
Figura 2 Proceso de elaboración de una ortofoto y su utilidad en el proyecto,	39
Figura 3. Esquema metodológico identificación de patrones de cambio.....	44
Figura 4. Esquema metodológico para vegetación	45
Figura 5. Esquema metodológico para EIA.....	47
Figura 6 Índice CA para el periodo 1979-1987-1999 a partir de técnicas fotogramétricas y análisis de imágenes Landsat TM.....	50
Figura 7 Índice NP para el periodo 1979-1987-1999 a partir de técnicas fotogramétricas y análisis de imágenes Landsat TM.....	51
Figura 8 Índice LSI para el periodo 1979-1987-1999 a partir de técnicas fotogramétricas y análisis de imágenes Landsat TM.....	51
Figura 9 Índice ÁREA_MN para el periodo 1979-1987-1999 a partir de técnicas fotogramétricas y análisis de imágenes Landsat TM.....	53
Figura 10 Índice AREA_CV para el periodo 1979-1987-1999 a partir de técnicas fotogramétricas y análisis de imágenes Landsat TM.....	54
Figura 11 Índice PROX_MN para el periodo 1979-1987-1999 a partir de técnicas fotogramétricas y análisis de imágenes Landsat TM.....	55
Figura 12 Coberturas Vegetales y su área (ha) para los periodos de 1979, 1987 y 1999.	57
Figura 13 Coberturas Vegetales y su área (ha) para los periodos de 1979 y 1987	58
Figura 14 Mapa de coberturas Vegetales para el año 1979 empleando fotogrametría	62
Figura 15 Mapa de coberturas Vegetales para el año 1987 empleando fotogrametría	63

Figura 16 Mapa de Coberturas vegetales identificadas para el año 1999 en la ventana de estudio a partir de imágenes Landsat (453).	64
Figura 17 Mapa de pendientes, buffer de drenajes contra Coberturas naturales y antrópicas identificadas para el año 1979 en la ventana de estudio.	67
Figura 18 Mapa de pendientes contra Coberturas naturales y antrópicas identificadas para el año 1999 en la ventana de estudio.....	68
Figura 19 Mapa de simulación al año 2007 con pendientes, drenajes, Coberturas naturales y antrópicas para la ventana de estudio.	70
Figura 20 Mapa de simulación al año 2019 con pendientes, drenajes, Coberturas naturales y antrópicas para la ventana de estudio.	73
Figura 21 Número de Géneros y especies encontradas en la zona de estudio. ...	75
Figura 22 Bosque alto andino .Totoró.	76
Figura 23 Arbustales .Totoró.	77
Figura 24 Comunidad de <i>Calamagrostis</i> sp y <i>Espeletia</i> sp.Totoró.....	77
Figura 25 Quema en zona de páramo .Totoró.	78
Figura 26 Actividades productivas desarrolladas en la zona - cultivo de papa y ganadería .Totoró.....	79
Figura 27 Adecuación de terrenos para siembra de papa en un sector contiguo al humedal de Calvache .Totoró	80
Figura 28 Sacando el producto final – cultivo de papa .Totoró.....	81
Figura 29 Matriz de FEARO para la Expansión de fronteras agrícolas y pecuarias	86
Figura 30 Modelo Fenomenológico de un ecosistema altoandino poco intervenido – Sector Humedal de Calvache – Gabriel López. Totoró.	87
Figura 31 Modelo Fenomenológico de un ecosistema altoandino intervenido – Sector Humedal de Calvache – Gabriel López. Totoró.	89

Índice de tablas

Tabla1. Grandes Categorías de Clasificación Vegetal (Modificado de Romero y Sua, 2001), Citado en Martínez (2005).	39
Tabla 2 Categorías de Uso del Suelo (Modificado de Romero y Sua, 2001), Citado en Martínez (2005)	40
Tabla 3. Índices de fragmentación Comunidades Vegetales identificadas a partir de procesamiento fotogramétrico para el año 1979.	48
Tabla 4. Índices de fragmentación Comunidades Vegetales identificadas a partir de procesamiento fotogramétrico para el año 1987.	48
Tabla 5. Índices de fragmentación comunidades vegetales identificadas a partir de procesamiento fotogramétrico para el año 1999.	49
Tabla 6 Coberturas vegetales y su área, identificadas para los años 1979 - 1987 - 1999 en la zona de estudio a partir de fotografías aéreas e imagen satelital.....	56
Tabla 7 Coberturas naturales vs. Coberturas antrópicas. Áreas (ha) y porcentajes identificados para	56
los años 1979 - 1987 - 1999 en la zona de estudio.....	56
Tabla 8 Cambio porcentual y medio anual de las Coberturas vegetales identificadas para el periodo 1979 - 1987 en la zona de estudio.....	58
Tabla 9 Cambio porcentual y medio anual de las Coberturas vegetales identificadas para el periodo 1987 - 1999 en la zona de estudio.....	59
Tabla 10 Cambio porcentual y medio anual de las Coberturas vegetales identificadas para el periodo 1979 - 1999 en la zona de estudio.....	60
Tabla 11 Matriz de probabilidades de transición de las Coberturas vegetales identificadas para el periodo 1979 - 1999 en la zona de estudio.....	66
Tabla 12 Numero de géneros y especies encontradas en la zona de estudio.	74

ANEXOS

Anexo 1 Listado de especies encontradas asociadas a cada tipo fisonómico trabajado.....	100
---	-----

RESUMEN

El presente estudio se desarrolló en un ecosistema altoandino, ubicado en el municipio de Totoró en donde se analizaron los patrones de cambio en la cobertura vegetal determinando como inciden los factores antrópicos y naturales sobre la alteración y modificación de los sistemas en el área de estudio.

El desarrollo de esta investigación siguió metodologías recientes e importantes en el estudio de la ecología del paisaje como es el caso de la implementación de técnicas de teledetección (fotografías aéreas e imágenes satelitales) para luego procesar la información en plataformas de Sistema de Información Geográfica (SIG), empleando programas para analizar la fragmentación, los cambios de coberturas y la incidencia de características orográficas e hidrográficas sobre el uso del suelo. Esto se complementó con la caracterización de las coberturas vegetales presentes considerando su composición, tipo fisonómico y distribución espacial; así mismo se identificaron las actividades antrópicas que generan procesos de transformación en el ecosistema altoandino.

Para la zona de estudio, durante el periodo analizado (1979-1999), se encontró que los procesos de fragmentación y cambio de coberturas están relacionados con los procesos antrópicos desarrollados en la zona, actividad agrícola (cultivo de papa) y pecuaria (Ganadería multipropósito); sin embargo su establecimiento es restringido por la incidencia de características orográficas (pendientes fuertes) que limitan la creación de nuevas zonas productivas.

INTRODUCCIÓN

El hombre en busca de satisfacer sus necesidades básicas, ha creado y desarrollado sistemas de producción que hacen que los recursos naturales, en especial los recursos vegetales, se vean presionados por acciones de uso y manejo inadecuado. Al respecto Molano (1996) menciona en términos generales como características del proceso de intervención y alteración las siguientes: “a) el avance ascendente de la colonización de vertiente; b) la falta de tierra para las comunidades locales; c) la tala de las selvas andinas superiores; d) el agresivo avance de la producción papera bajo la modalidad de monocultivo, siguiendo las recomendaciones de la revolución verde; e) la implementación de la producción ganadera de doble propósito; f) el impacto de las obras de ingeniería sobre la estabilidad y condiciones del ambiente paramuno; y g) la crisis ambiental de los ecosistemas de páramo como consecuencia del impacto ecológico de todas las acciones precedentes, permitiendo el cambio y alteración de los ecosistemas de alta montaña.

Los ecosistemas de alta montaña son de importancia global por su función en la regulación hídrica, la fijación de dióxido de carbono y por albergar una gran riqueza paisajística y biológica (Vega y Martínez, 1999). La intervención del hombre tiende a incrementarse cada día más, por lo tanto se hace necesario generar información biofísica y socio-ambiental que sirva como base para que se adelanten planes de acción inmediatos para la conservación y manejo sustentable de los recursos naturales.

El departamento del Cauca es uno de los más biodiversos en el país; cuenta con ecosistemas estratégicos y frágiles principalmente en los biomas alto-andino y páramo (IDEAM, 2002). Debido a su fragilidad ecosistémica, su importante valor cultural y por presentar procesos de transformación y degradación; se crea la

necesidad de plantear una visión crítica frente a la presión a que están siendo sometidos los recursos naturales, ya sea por los procesos naturales, o por los diferentes sistemas de producción que desarrolla el hombre y que trae consecuencias trascendentales sobre los ecosistemas de importancia ecológica.

Con éste trabajo de investigación se determinó como las coberturas naturales de los ecosistemas de alta montaña en particular aquellos que se ubican en el nor-oriental Caucaño, principalmente en la zona que corresponde a la parte alta de la cuenca río Palacé en el Municipio de Totoró, se han modificado por actividades agropecuarias desarrolladas en la zona.

Las actividades antrópicas encontradas en el sistema estudiado han ocasionado procesos de fragmentación y cambio de coberturas modificando el ambiente físico-biótico, al reemplazar coberturas naturales por áreas de cultivo y pastoreo, alterando las relaciones del sistema y por tanto las sinergias existentes entre sus componentes.

La información generada está enfocada a fortalecer los procesos de gestión ambiental, entendiendo que los problemas ambientales son problemas sociales especialmente en la zona de estudio y el departamento, ya que el grado de desarrollo y calidad de vida son bajos. Además los datos obtenidos permiten soportar herramientas y propuestas alternativas de gestión para una planificación adecuada.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los patrones de cambio en el paisaje son de especial interés en las ciencias naturales, de allí que estudiar las descripciones y el análisis de estos es importante para comprender lo que está sucediendo así como también para prever lo que sucederá.

Actualmente los ecosistemas altoandinos presentan diferentes patrones de cambio en el paisaje originados por procesos antrópicos, tales como la ampliación de la frontera agropecuaria y las actividades asociadas a esta, la deforestación y el cambio en el uso del suelo; de igual forma estos orobiomas son influenciados por procesos naturales que modifican y definen la estructura y configuración de los paisajes.

Por tanto el factor que origina los patrones de paisaje en los ensamblajes altoandinos, ya sean antrópicos ó naturales, trae como consecuencia cambios en las unidades vegetales (fisonómicas) presentes (Joaquí y Martínez, 2005), modificando el área ocupada, la forma y composición de las diferentes unidades; alterando la diversidad biológica de estos enclaves e influenciando potencialmente los regímenes hídricos (Min-ambiente, 2001).

Atendiendo lo anterior, el desconocimiento y la falta de estrategias de protección para estas zonas seguirán contribuyendo a la lenta pero significativa destrucción de los recursos naturales, poniendo en peligro este bioma natural de importancia ecológica, paisajística e hídrica, donde se albergan ciénagas y lagunas naturales que dan origen a los nacimientos de quebradas y ríos.

Por lo tanto, para dar respuesta a esta problemática ecosistémica, se hace prioritario el desarrollo de investigaciones donde se estudien los patrones de

cambio que ocurren en un ecosistema altoandino piloto, donde se analicen los factores que los originan, ya sean procesos naturales o antrópicos, con el fin de generar información de base que permita apoyar procesos de gestión ambiental para el manejo de los recursos naturales, especialmente cobertura vegetal, acotando que su alcance será inicialmente para el paisaje y temporalidad estudiados.

2 JUSTIFICACIÓN

La situación ambiental actual, permite que ciencias como la Biología, la Ecología, así como también las Ciencias sociales se interesen por investigar y obtener conclusiones sobre la presión a la cual están siendo sometidos los recursos naturales, contribuyendo con información que soporte la toma de decisiones o el planteamiento de medidas que favorezcan los procesos de preservación, conservación y rehabilitación de los ecosistemas; permitiendo la coexistencia de áreas naturales que ofertan servicios ambientales y los sistemas de producción que conllevan al cambio del uso del suelo.

Actualmente el cambio de uso de los suelos es considerado uno de los principales causantes de modificaciones en el ambiente físico-biótico, en donde la composición, estructura y función original de un ecosistema es alterado, creando bordes sobre los hábitats y pérdida de conectividad lo cual hace que las dinámicas sean muy diferentes sobre las poblaciones biológicas que allí se sustentan; estos factores afectan la composición y abundancia de especies de un ecosistema e incrementa su vulnerabilidad (Telburgh, 1989; Whitcom et al, 1981., citado por: IDEAM 2002).

Por lo anterior se consideró necesario conocer los patrones de cambio en la estructura del paisaje ocasionados por factores antrópicos ó por procesos naturales que se originan en la parte alta de la Cuenca Palacé, y determinar el grado de alteración del sistema natural.

La presión a la que están siendo sometidos los recursos naturales existentes en la parte alta de la cuenca ha creado la necesidad de buscar alternativas de conservación que garanticen la continuidad de la riqueza biológica y ecosistémica dentro de una visión de sostenibilidad.

Con este trabajo se aporta información esencial que servirá como soporte a las diferentes instituciones interesadas en el proceso de gestión ambiental territorial para que se discutan y tomen decisiones empleando datos apropiados para una mejor planificación y uso adecuado del suelo de tal modo que disminuya el conflicto que la intervención antrópica y los procesos naturales están ocasionando sobre los diferentes ecosistemas y poder llegar a una buena relación entre el desarrollo humano y el ecosistema.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar los patrones de cambio en el paisaje que ocurren en un ecosistema altoandino, por procesos naturales o antrópicos, con el fin de apoyar procesos de gestión ambiental en el manejo de los recursos naturales presentes en el paisaje estudiado.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las formaciones vegetales presentes considerando su composición, tipo fisonómico y cobertura.
- Analizar como la orografía y la hidrografía influyen en la complejidad estructural del mosaico estudiado.
- Identificar y caracterizar las actividades antrópicas que generan procesos de transformación en el ecosistema altoandino.
- Evaluar los diferentes grados de modificación que posee el paisaje estudiado.

4 MARCO TEÓRICO

La formulación de alternativas de ocupación del territorio en una región cualquiera, ya sea para proponer usos agrícolas, pecuarios, forestales, agroforestales, de conservación u otros exigen conocimiento del medio biofísico y socio económico lo más cercano a la realidad.

Este trabajo se realizó dentro del marco teórico–conceptual de la ecología del paisaje porque aporta fases para el análisis de la dimensión espacial y temporal en el estudio de las características estructurales y funcionales de los ecosistemas, y contribuye al conocimiento de la dinámica de los procesos ecológicos.

4.1 ECOLOGÍA DEL PAISAJE

La ecología se ha definido como una ciencia o un marco científico de síntesis que se dedica al estudio de los sistemas conformados por la interacción de los organismos bióticos y abióticos; este concepto fue utilizado originalmente por el zoólogo alemán Haeckel en 1866 para referirse a la relación de un animal con su entorno. La ecología del paisaje (Landscape Ecology), es una escuela reciente del pensamiento ecológico que ha venido consolidándose a partir de los años 40's. Fue von Humboldt (1810) el primero en utilizar el concepto "paisaje" (Landschaft) en un contexto científico, definiéndolo como "el carácter integro de un trecho de la tierra ". Uno de los iniciadores y conceptualizadores de esta corriente fue el alemán Troll, quien reconoció la necesidad de llegar a una visión integral de los ecosistemas para poder realizar estudios apropiados y entender mejor el funcionamiento del paisaje.

Troll (1950) partió de la premisa, que un paisaje es una entidad holística integrada, en el sentido de ser mas que la suma de unos componentes interactuantes (Clima, Litología, Suelo, Vegetación, Actividades Humanas...), debiendo por lo tanto

estudiarse como tal. Para lograr este objetivo comprendió la conveniencia de complementar los enfoques de los Geógrafos y de los Biólogos contemporáneos de tal modo que se pudiera formular una verdadera ecociencia (Etter, 1990).

La introducción de la dimensión geográfica espacial, al concepto de ECOSISTEMA, fue uno de los puntos de partida importantes para el logro de una mejor aplicación del enfoque ecosistémico propuesto por Clements y Tansley a comienzos del siglo XX.

Fue así como en la práctica, la ecología del paisaje permite combinar la aproximación horizontal del análisis espacial de los fenómenos naturales empleados por los geógrafos, con la aproximación vertical del análisis funcional de los biólogos introduciendo de esta manera el concepto ecótopo (Troll 1950, citado por: Etter 1990).

Este enfoque de análisis integrado del paisaje empezó a ser aplicado en la CSIRO de Australia en 1958 con la introducción del "Land Sistem Approach" De Cristián y Stewar. Posteriormente en el Canadá a través de Land Directorate se diseño "Ecological (Biophysical) Land Classification" (Etter, 1990).

4.1.1 Importancia. La ecología del paisaje se ha consolidado como la ciencia que se refiere específicamente a una caracterización integral del medio biofísico, donde la cobertura vegetal es un factor determinante en las unidades de paisaje.

Paralelamente aporta un marco adecuado de interpretación y análisis de los sistemas productivos y extractivos. Además permite la planificación del manejo ecológico de los recursos en un área de uso agropecuario tradicional semi intensivo, con predominio de ganadería extensiva en praderas naturales.

Los paisajes, como toda unidad ecológica, son dinámicos en su estructura, función y patrón espacial (Forman y Godrón, 1986). En algunas ocasiones, la evolución esta dirigida por alteraciones naturales tales como el fuego. En otras ocasiones, predominan en la dinámica las acciones provocadas por los usos humanos, de tal modo que los cambios en la estructura del paisaje son debidos a cambios en el modo de gestión del territorio, cambios provocados y conducidos por fuerzas socio-económica y políticas (Di Castri and Hadley, 1988). Esta condición dinámica de los paisajes exige que el tiempo, o los cambios temporales sean tenidos en cuenta en los estudios cuantitativos del paisaje. Desde que el desarrollo de los sistemas de información geográfica (SIG) ha permitido trabajar con cambios temporales, ha sido posible abordar el estudio de la dinámica de los paisajes.

4.1.2 Patrones de Paisaje. Un paisaje observado desde una vista aérea aparece como un mosaico de parches y corredores inscritos en una matriz circundante, los cuales forman el patrón del paisaje el cual en muchos casos parecen iguales (Forman 1995, citado por: Etter 1990). Los patrones del paisaje se encuentran en todas las escalas espaciales desde el nivel local, hasta una escala continental, pasando por escalas intermedias de paisaje y regional (Noss, 1990).

A cualquier escala los paisajes están compuestos por parches, corredores y matriz, siendo estos los elementos básicos para su análisis. Además, estos pueden ser de origen natural, antrópico o una mezcla de ambos; por lo tanto, los patrones espaciales consideran diversidad de ecosistemas, tipos de comunidad, estados sucesionales o usos de la tierra (Forman y Godron, 1981; Forman). Un paisaje esta caracterizado por dos elementos, su composición que se refiere a la variedad y abundancia de tipos de parche dentro del paisaje, sin considerar su posición o localización; y por la configuración o patrón que se refiere a la distribución física o el carácter espacial de los parches dentro del paisaje. Estos

dos elementos pueden independientemente o en combinación, afectar procesos ecológicos y organismos (McGarigal, 2002).

Los parches varían en dimensión y forma, mientras que los corredores incluyen además, un grado de conectividad (Harris, 1984), por otro lado la matriz puede ser extensa, limitada, continua o perforada y variada o cercanamente homogénea.

El patrón del paisaje esta determinado por la estructura y distribución de sus elementos; estas características son espacialmente heterogéneas, y a menudo no son aleatorias, sino que dependen de factores ambientales como geología, clima, fuego, huracanes, etc y de la acción humana (Forman y Godron,1986).

Por otra parte, la composición de un paisaje es fácil de determinar en la medida en que se tenga disponible la información de manera grafica o digitalizada; mientras tanto, las variables relacionadas con la forma y configuración a nivel de parche, clase y paisaje resulta una tarea compleja; sin embargo, la disponibilidad de programas computacionales y los SIG ayudan a resolver de manera práctica este problema.

4.2 ECOSISTEMAS DE ALTA MONTAÑA

De acuerdo con la FAO, las montañas son ecosistemas frágiles que tienen una Importancia global porque son considerados fábricas de agua de la tierra, poseen hábitats que albergan una gran diversidad biológica y por su gran valor cultural.

En la cordillera de los andes, los procesos evolutivos determinaron la presencia de sistemas naturales de la alta montaña ecuatorial, los cuales por su especificidad geocológica y sus factores de localización, dieron origen a un conjunto de ecosistemas y paisajes insulares, delimitados altitudinalmente apartir de las selvas de vertiente.

4.2.1 Ecosistemas de Páramo. Los páramos son ecosistemas considerados de manejo especial según La ley 99 de 1993, porque son ecosistemas estratégicos para el desarrollo de la nación y el bienestar de los habitantes ya que presentan suelos y vegetación indispensables para el ciclo de agua.

Según Rangel-Ch (2000) los páramos son ecosistemas de alta montaña restringidos a la zona ecuatorial o intertropical. En Colombia se distribuyen en las tres cordilleras y en la Sierra Nevada de Santa Marta, ocupando aproximadamente el 2.6% de la superficie territorial.

4.2.2 Función Natural La función natural de los páramos ha sido abordada por diferentes investigadores. Luteyn (1999., citado en: Rangel 2000) enunció consideraciones de orden científico, ecológico y económico para la preservación de los ambientes paramunos. Van der Hammen (1995) se refirió a los procesos de conversión y utilización de los recursos bióticos; también a la función natural de los páramos, comparó los tipos de manejo adecuado e inadecuado y destacó algunas recomendaciones que aún tienen validez.

Los ecosistemas de la alta montaña paramuna tienen funciones culturales y económicas directamente ligadas a las funciones ecológicas y, a su vez, la conservación de las funciones ecológicas depende de las lógicas propias de las culturas de los grupos humanos que los habitan, sean campesinos, indígenas o colonos.

El páramo es un ecosistema donde elementos como la vegetación, el suelo y subsuelo, han desarrollado un gran potencial para interceptar, almacenar y regular el agua; la importancia de este ecosistema radica fundamentalmente entonces, en su capacidad para interceptar y almacenar agua, y regular los flujos hídricos superficiales y subterráneos; además, los páramos albergan una rica flora

endémica y prestan servicios ambientales principalmente como cuencas abastecedoras de agua para consumo, actividades productivas e hidroenergéticas, así como áreas de influencia de los principales embalses, represas y estrellas hidrográficas (Ministerio del Medio Ambiente,2001)

4.2.3 Utilización. Según Correal & van der Hammen (1977) citado en Rangel (2000 b), antiguamente los abrigos rocosos paramunos se utilizaron por las comunidades indígenas como medio de protección y resguardo durante travesías de caza. Las lagunas y lagos del páramo eran sitios de ceremonias religiosas y manifestaciones cosmológicas (pagamentos), y aún continúan siéndolo.

Rangel (2000 a) menciona que actualmente, el uso antrópico del páramo ha llegado a límites alarmantes; entre las principales actividades que se derivan de sus recursos bióticos y físicos figuran:

- Leña como combustible y como cercas vivas
- Utilización de los pastos en techos de casas de campo
- Utilización de plantas nativas y forrajeras en la ganadería
- Desecación de turberas para extender la agricultura
- Explotación comercial de turbas
- Utilización de los depósitos lacustres, lagos y lagunas en programas de generación eléctrica
- Explotación en exceso del recurso hídrico para consumo humano, Implementación de programas de reforestación inapropiados

A estos usos también se deben sumar:

Monocultivo de papa, en el cual la tumba y quema realizada para su establecimiento ha generado profundos cambios en la composición, estructura y dinámica de los ecosistemas de páramo.

Ganadería extensiva y superextensiva, la cual es practicada principalmente con ganado vacuno y ovino y en menor proporción de equinos y caprinos.

Minería de oro, carbón, gravas y calizas, la cual se desarrolla en diferentes niveles o intensidad ocasionando impactos ambientales sobre el suelo, aguas, biodiversidad, entre otros.

Cultivos ilícitos: según la publicación de la Audiencia Especial Internacional sobre Medio Ambiente y Cultivos ilícitos, entre los años 1990 y 1992 el cultivo de la amapola aumentó en el país cerca de 700 has, a 16.000 has, y entre 1992 y 1994 la cifra llegó a cerca de 20.000 has, afectando principalmente bosques alto andinos y páramos (Ministerio del Medio Ambiente, 2001).

Otros usos: regulación y abastecimiento del recurso hídrico, cacería, consumo local o en esquemas de mercadeo de especies promisorias como la boruga y el venado (piel, carne), extracción de materiales como los musgos, principalmente en Navidad, extracción selectiva de madera, albergue de importante diversidad de recursos biológicos a nivel de especies y genes, captura de CO₂, almacenamiento de materia orgánica y nutrientes, recarga de acuíferos y regulación de ciclos hidrológicos, por ejemplo.

Usos potenciales: se mencionan por ejemplo, la pesca comercial; la comercialización de plantas medicinales como la Viravira, Manzanilla dulce, Guaco, Árnica, Cineraria, Diente de León, entre otras; el turismo ecológico; la educación y observación e investigación científica; la fotografía; la pesca deportiva; y los usos potenciales futuros que en el campo de la medicina y la biotecnología pueden tener los recursos genéticos y demás organismos endémicos del páramo.

4.2.4 Problemática ambiental. La reducción de cobertura vegetal original en los ambientes de alta montañas se ha acelerado por la intervención antrópica. La

zona limítrofe entre la vegetación arbórea (cerrada) y la herbácea (abierta) prácticamente ha desaparecido en algunas localidades porque las áreas originales se dedicaron al pastoreo o cultivo de la papa (Rangel 2000).

4.3 LA FRAGMENTACIÓN

Lord y Norton (1990) definen la fragmentación como la “interrupción de la continuidad” en cualquier escala, siempre y cuando la continuidad sea importante para el funcionamiento de los ecosistemas. En tierra, la fragmentación se puede observar generalmente en áreas de vegetación nativa remanente, rodeadas de campos agrícolas o utilizadas por los seres humanos. Se ha demostrado que la fragmentación de hábitats previamente continuos ocasiona profundas consecuencias en la estructura y funcionamiento de los sistemas alterados, con declinación tanto en el número de especies en los fragmentos remanentes (Terborgh, 1992, Murcia, 1995) como en la diversidad (Pierce, 1985).

La fragmentación también conlleva cambios en las relaciones de la comunidad (Saunders et. al., 1991) y puede causar la pérdida de especies claves (Wilson, 1992), con serias implicaciones para la conservación de la diversidad biológica (Lovejoy et. al., 1986). Los cambios en una comunidad después de la fragmentación pueden ser detectados cuantitativamente a través de los índices de diversidad; aunque Noss (1990), sostiene que los cambios cualitativos de la comunidad indican mejor el trastorno ecológico después de la fragmentación.

En estos cambios cualitativos también es importante tener en cuenta las especies raras, que son aquellas que se encuentran en números suficientemente bajos como para representar un problema de conservación (Halffter & Ecurra, 1992).

La fragmentación de la vegetación tiene como consecuencia inmediata la reducción del hábitat para las especies, lo que puede ocasionar un proceso de defaunación o desaparición parcial o total de comunidades de algunos grupos

como insectos, aves y mamíferos (Dirzo y García, 1992). Las relaciones bióticas y abióticas de las comunidades también se pueden alterar en función del tamaño y la forma de los fragmentos, ya que al modificarse la distribución espacial de los recursos también se modifica su disponibilidad. El grado de interacción de los fragmentos determina entonces la viabilidad de estas especies en el mediano y largo plazos, ya que si ésta no existe pueden producirse procesos de aislamiento, favorecerse procesos endogámicos o bien llegar hasta la extinción local de algunas especies (Aguilar et. al., 2000).

4.4 TEMPORALIDAD Y CAMBIO EN LOS PAISAJES

El cambio de un paisaje se refiere a la variación que sufre su estructura, composición y funcionamiento en un lapso de tiempo determinado. Este está directamente relacionado con el cambio de estado de uno o mas de sus variables. Un cambio se expresa como la curva (o secuencias de estadíos) de variación, la cual puede caracterizarse fundamentalmente por medio de tres aspectos (Forman y Godron, 1986).

- a- Tendencia general del cambio(incremento, decrecimiento o nivelación)
- b- La amplitud de oscilación alrededor de la tendencia(grande o pequeña)
- c- El ritmo y frecuencia de oscilación (regular o irregular, rápido o lento)

Los tres aspectos de variación producen conjuntamente un patrón de variación temporal. Este patrón de variación puede ser descrito para uno o mas de los factores formadores del paisaje (climático, litológicos, geomorfológicos, hidrológicos, pedológicos, bióticos y culturales) sin embargo siempre tiene su expresión en la estructura y composición global del paisaje o ecosistema, a través de sus características fenosistémicas integradoras relativas a la cobertura de la geoforma (Etter, 1990).

4.5 METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (E.I.A)

Según Figueroa (1998) la E.I.A es un concepto de constante evolución y desarrollo, muchas de las metodologías existentes y que se usen comúnmente en nuestro medio nos permiten hacer buenas aproximaciones al ejercicio de evaluación. Por múltiples razones entre las que se pueden mencionar por ejemplo el hecho de privilegiar técnicas desarrolladas para ecosistemas templados sin una adaptación al medio tropical, porque se presentan apreciaciones cualitativas que tratan de expresarse posteriormente en forma cuantitativa, o porque algunas de estas técnicas de evaluación requieren un gran acervo de datos biofísicos, socioculturales y económicos que muchas veces no están disponibles en nuestro entorno. De allí que la elección de el método de E.I.A se debe basar en la concepción y la relación con el tipo de estudio a desarrollar.

4.5.1 Método de Matriz De FEARO (Matriz de Interacción). Estas matrices conocidas como de doble entrada, funcionan como listas de control bidimensional, disponiendo a lo largo de sus ejes verticales y horizontales las acciones que ocurren secuencialmente en el desarrollo de una actividad humana y los factores ambientales que podrían ser afectados, lo cual permite asignarles en las cuadrículas correspondientes las interacciones o posibles impactos de cada acción sobre los componentes por ellos modificados (Figueroa et al 1998).

En este tipo de matriz se hace una lista con las actividades del proyecto y se la relaciona con las áreas donde puede haber impactos; enfatizando en los recursos que dichas zonas ofrecen, además se pueden establecer medidas que mitiguen efectos adversos ocasionados por las actividades del proyecto. Los criterios más utilizados para evaluar el posible efecto ambiental son: Magnitud, Durabilidad, Plazo y Frecuencia, Riesgo, Importancia y Mitigación.

4.6 TELEDETECCIÓN

La teledetección o percepción remota es la ciencia de adquirir y procesar información de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, gracias a la interacción de la energía electromagnética que existe entre el sensor y la tierra (Chuvienco, 1990).

4.7 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Son un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente en los procesos de: captura, almacenamiento, análisis, transformación y presentación de la información geográfica y sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos.

4.8 MODELOS FENOMENOLÓGICOS

Los modelos fenomenológicos son representaciones conceptuales de los sistemas naturales a partir de simbología empleada en los sistemas informáticos, esta iconografía permite representar los diferentes componentes e indicadores del ecosistema en un espacio delimitado según el interés del investigador, y relacionar los sinergismos que ocurren al interior de los componentes y del sistema, para ilustrar los flujos de energía, procesos de retroalimentación, transformación de materia, alteraciones ó cambios entre otros (Martínez, 2005).

5 HIPÓTESIS Y PREGUNTA DE INVESTIGACION

HIPÓTESIS: Los patrones antrópicos generan cambios en la composición y grado de cobertura de las unidades presentes en el paisaje, incrementado la heterogeneidad del ensamblaje estudiado, comportándose de forma inversa a los patrones naturales.

Pregunta de Investigación: ¿Como influyen los patrones naturales ó antrópicos en la configuración de las unidades de paisaje presentes en el ecosistema altoandino estudiado?

6 ANTECEDENTES

En los ecosistemas alto-andinos de nuestro país son escasos los trabajos relacionados con este tipo de investigación, sin embargo existen muchos a nivel internacional, nacional y local que aunque no respondan en su totalidad a lo que se planteo hacer, sirven como referente metodológico que vale la pena tenerlos en cuenta en el desarrollo de este estudio.

Andrade y Etter (1987) realizaron un levantamiento ecológico del área de colonización de San José del Guaviare; se hizo para proveer un conocimiento básico integrado de los recursos naturales del área en cuanto a su heterogeneidad, ubicación y extensión. También para identificar patrones de cambio del paisaje y hacer modelos predictivos durante la colonización en el Guaviare visto desde la perspectiva de la cobertura vegetal y el uso de la tierra. Con esta investigación determinaron que la colonización agropecuaria de áreas forestales es el tipo de intervención que genera los efectos más acentuados, debido al grado, la extensión y la forma aglutinada de la transformación de los ecosistemas que produce. Esto se debe básicamente a la transformación drástica de la cobertura vegetal (de bosques densos heterogéneos a praderas), la cual tiene por objetivo convertir grandes áreas para un tipo extensivo de uso. Cortes S, Rangel O y Serrano H (2004) desarrollaron un estudio sobre la transformación del paisaje en los páramos Cristales, Cuchilla, El Choque, nacimiento del río Bogotá y zonas aledañas del altiplano cundiboyacense de Colombia. En la cual se caracterizó la cobertura vegetal potencial que estuvo presente en la zona y la cobertura vegetal actual, también se distinguieron cambios y procesos de transformación en la cobertura, de origen natural y antrópico; llegando a la conclusión que los principales factores de transformación han sido la agricultura, la ganadería y las curtiembres, este tipo de investigaciones realizados a nivel nacional contribuyeron en gran parte al desarrollo de este estudio, porque dan evidencias sobre los principales factores de transformación de la cobertura natural

y antrópica. El IDEAM (2002) y el Instituto Humboldt (IvH, 2002) realizaron trabajos de investigación con la implementación de indicadores para análisis de coberturas y procesos de fragmentación en zonas alto-andinas y de páramo asociando conceptos de presión antrópica y respuesta ecosistémica, con énfasis en áreas protegidas. Se concluyó que el bosque andino fragmentado corresponde a una cobertura de transición en la que los bosques se encuentran intervenidos por actividades antrópicas en hasta un 50%.

No obstante se consideró estudios realizados a nivel local porque dan información sobre el cambio de coberturas, fragmentación de los ecosistemas alto andinos y los principales factores que generan estos cambios sobre zonas con características similares a la correspondiente a esta investigación; dentro de estos trabajos se encuentra el desarrollado por Alcázar (2003) para la meseta de Popayán, donde se hizo un análisis multitemporal para identificar cambios de cobertura, cambios internos de estructura y los factores de intervención que incidan en la transformación de la zona considerada en su investigación. Joaquín S (2005) hizo un análisis multitemporal de las coberturas vegetales para ecotopos paramunos caracterizando las intervenciones antrópicas, en una ventana del Parque Nacional Natural Puracé. Este trabajo de investigación determinó que la región que comprende la zona de estudio, ha sufrido una progresiva disminución de la vegetación natural debido a la constante antropización con su consecuente cambio de uso del suelo. De igual forma Martínez J. (2005) realizó un estudio espacio-temporal del proceso de fragmentación en la zona nor-oriental del Parque Nacional Natural Puracé, mediante el análisis de las comunidades vegetales. En esta investigación se encontró que el proceso de fragmentación que se presenta en el área de estudio, es consecuencia del proceso de intervención antrópica la cual está modificando las dinámicas del ecosistema; generando en las comunidades vegetales cambios en la frecuencia y grado de cobertura aumentando la heterogeneidad del paisaje.

Alvear N (2006) En la parte media de la cuenca del río Palacé se desarrolló un estudio de fragmentación en una escala detallada (aproximadamente 1:45000) entre los años 1961 y 1991 donde no se identificó una fragmentación per sé, pero se hallaron pérdidas de coberturas boscosas y cambios en los arreglos espaciales que pueden potenciar la fragmentación. También se tuvo en cuenta trabajos como el desarrollado por Muñoz F (2007), en donde se hace una evaluación de la susceptibilidad a la erosión por escorrentía superficial, que tienen las actividades antrópicas como el cultivo de papa cuando el suelo se encuentra totalmente desnudo y ganadería extensiva, en la parte alta de la cuenca del río Palacé. Se encontró que las actividades antrópicas en suelos ándicos generan fuertes roturaciones sometidos a cambios de humedad, condiciones de alta fluidez y la formación de capas compactadas que dañan su estructura haciéndolo susceptible a la erosión.

Esto con el fin de entender la interacción de la ecología y los factores geográficos, en una escala temporal y espacial, permitiendo estudiar y evaluar los recursos naturales.

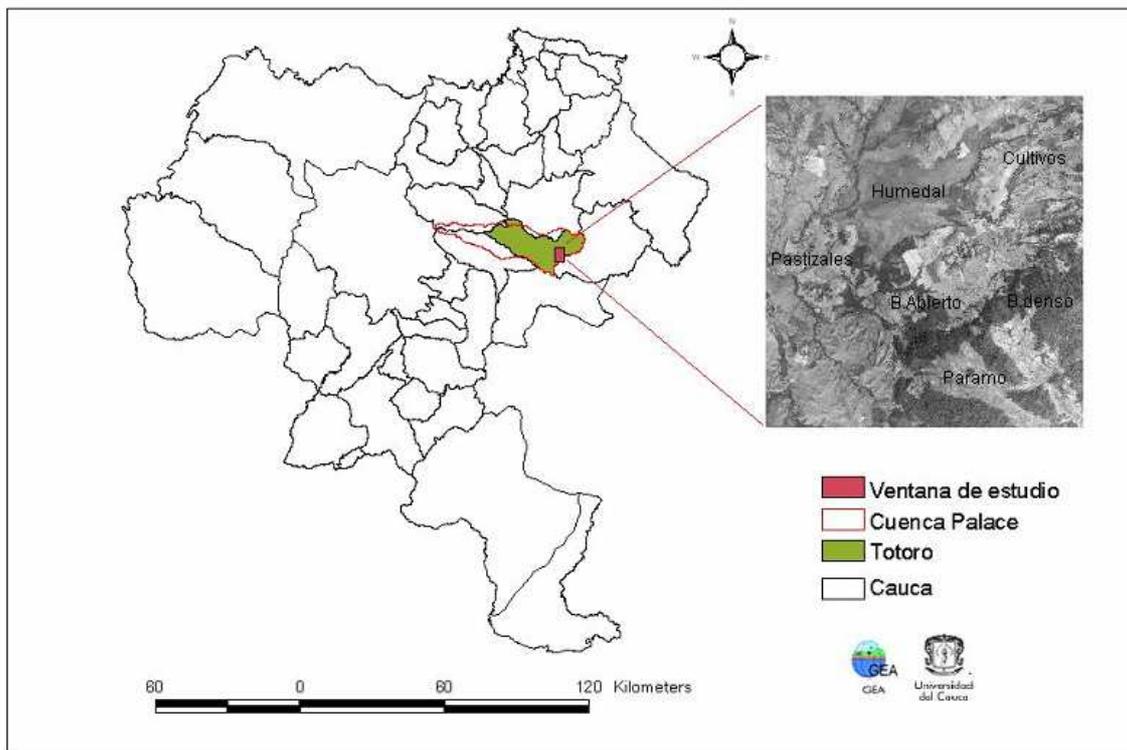
7 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

7.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El área de estudio se encuentra ubicada en la región andina del departamento del Cauca, municipio de Totoró corregimiento de Gabriel López, en inmediaciones al humedal de Calvache, con coordenadas geográficas de 76°17'44"W – 02°27'49"N, altura de 3000-3400 msnm y una extensión de 2215 ha. (Figura 1).

Figura 1 Ubicación del área de estudio corregimiento de Gabriel López, Municipio de Totoró.

UBICACION AREA DE ESTUDIO



7.2 CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS DEL AREA DE ESTUDIO

7.2.1 Geología general. En la región de Gabriel Lopez (Totoró), el material parental es de ceniza volcánica, recubierto por diversos materiales geológicos, principalmente arenas y tobas volcánicas. Para esta zona se presentan suelos

profundos a muy profundos con frecuentes horizontes plásticos a profundidades mayores a un metro. (González, 1982). De igual forma se encuentran suelos anegados y sedimentarios (Humedal de Calvache).

7.2.2 Relieve. En el área de estudio, se presenta relieve ondulado a fuertemente ondulado, con disecciones profundas, pendientes cortas y medias, rectilíneas de 7-12 (Humedal) y 25-50%, las montañas están conformadas por rocas volcánicas metamórficas cubiertas por capas de cenizas volcánicas; las colinas se caracterizan por un relieve ondulado con cimas amplias y ligeramente planas que dan un excelente aspecto panorámico (IGAC, 1982).

7.2.3 Zonas de Vida y Vegetación. Esta área corresponde a una zona de vida de bosque muy húmedo Montano (bmh-M), con temperaturas que oscilan entre 0°C y 22°C y una precipitación media anual de 1082,21 milímetros. La vegetación presente corresponde a la zona de vida descrita, donde se encuentran familias típicas de este bioma como Melastomataceae (*Tibouchina mollis* (Bonpl.) Cogn, *Miconia* sp.) Ericaceae (*Pernettya prostrata* (Cav.) DC., *Vaccinium* sp, *Disterigma*), Cunoniaceae (*Weinmannia* sp.) y Asteraceae (*Pentacalia arborea* (Kunth) H. Rob. & Cuatrec. *Hieracium* sp. *Espeletia* sp.), y vegetación del agroecosistema de pasturas (Muñoz, 2006) donde dominan principalmente: Asteraceae (*Hypochoeris radiculata*. L. F), Clusiaceae (*Hypericum* sp.), Fabaceae (*Trifolium repens*. L), Poaceae (*Hulcus lanatus*. L).

7.2.4 Aspectos Socioeconómicos. La población asentada en el sector corresponde a comunidades campesinas, colonos (propietarios de grandes extensiones de tierra) e indígenas; la actividad económica desarrollada en el sector se basa en la producción agrícola y pecuaria; presentando grandes extensiones de tierra dedicadas al cultivo de papa y ganadería; en donde para el desarrollo de estas actividades agropecuarias se emplea una tecnificación que genera una fuerte presión sobre zonas de importancia ecológica.

8 METODOLOGÍA

La metodología utilizada se desarrolló de acuerdo a los parámetros utilizados por el grupo de estudios ambientales (GEA) de la Universidad del Cauca en el campo de la Ecología del Paisaje, en la cual se desarrollaron los siguientes componentes: procesamiento digital de imágenes y empleo de herramientas SIG, caracterización de las coberturas vegetales, aplicación de índices de fragmentación y cambio de cobertura, determinación de la influencia del relieve en el uso del suelo (patrones) y descripción de actividades antrópicas relacionadas con la fragmentación para finalmente aplicar modelos fenomenológicos sobre el área de estudio de tal modo que se comprenda el funcionamiento integral del sistema.

En la etapa preliminar se recopiló información bibliográfica y cartográfica, se definió la escala de trabajo, que para este caso se maneja escalas entre 1:25.000-1:40.000 para fotografías aéreas y 1:50.000 para imágenes satelitales Landsat TM CC 5, 4,3. Los años analizados fueron 1979, 1987 y 1999, por tanto el periodo de análisis comprende 20 años.

El trabajo de campo consistió en la toma de puntos GPS a lo largo y ancho del área de estudio, tomando puntos en los lugares o zonas donde existan diferencias y transiciones en la cobertura empleando el protocolo desarrollado por el grupo de estudios ambientales (GEA) en donde se tomarán: Coordenadas geográficas, altitud, descripción del sitio, observaciones y croquis del punto.

Posteriormente se efectuó la comprobación y caracterización de la información obtenida a partir de la fotointerpretación, fotogrametría y procesamiento digital y se realizó el muestreo de atributos necesarios para caracterizar la unidad de análisis.

8.1 METODOLOGÍA SIG

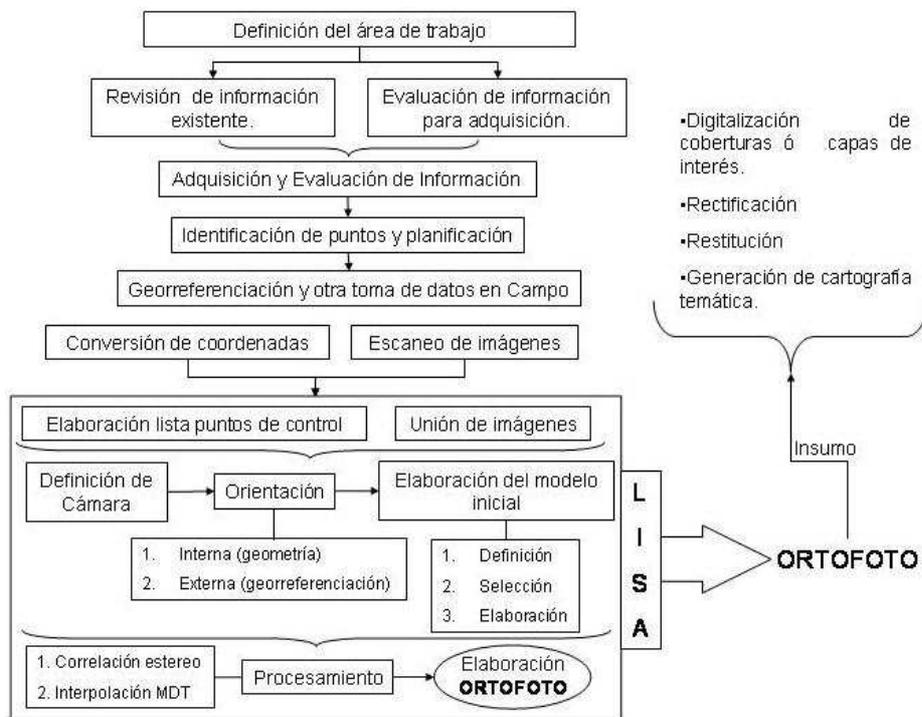
Mediante la utilización de fotografías aéreas se identificaron los mosaicos de interés para el estudio de los patrones de cambio naturales y antrópicos, se establecieron siete categorías de uso del suelo: Arbustales, bosque abierto, bosque denso, cultivos, frailejonal-pajonal y humedal.

8.1.1 Procesamiento digital de Imágenes. A partir de la interpretación, corrección de imágenes y fotografías aéreas se delimitó los paisajes y se obtuvo información preliminar de las unidades de análisis y sus patrones estructurales de paisaje. La clasificación de la imágenes de satélite se llevo a cabo utilizando una combinación del método supervisado y no supervisado en donde se utilizaron plataformas para el procesamiento digital de imágenes : ERDAS V 8.3, ArcView V3.2, ArGis V8.3, Ilwis V3.2.

8.1.2 Procesamiento Fotogramétrico. Para las fotografías aéreas se realizó una fotointerpretación con el propósito de obtener información ambiental con ayuda de los procesos de registro y medición, para este propósito se hizo necesario la aplicación de el software LISA con el cual se obtuvo una ORTOFOTO que sirvió como insumo para la digitalización de coberturas y generación de cartografía temática (figura 2).

Como resultado de la fotointerpretación, del procesamiento digital de la imagen satelital y teniendo en cuenta las categorías de uso del suelo propuestos por Romero y Sua (2001), se generaron tres mapas temáticos, en donde cada uno contiene siete (7) clases de coberturas definidos de la siguiente manera: Arbustales, bosque abierto, bosque denso, cultivos, frailejonal y pajonal, humedal y pastizales para las temporalidades correspondientes a los años 1979 – 1987 y 1999, estas clases de cobertura identificadas para estos periodos, no coinciden con las clases definidas para los muestreos de vegetación por razones expuestas en el capítulo correspondiente a vegetación.

Figura 2 Proceso de elaboración de una ortofoto y su utilidad en el proyecto,
Citado en Martínez (2005)



8.1.3 Identificación de coberturas vegetales mediante sensores remotos. En el desarrollo de este trabajo se utilizó una imagen satelital y fotografías de tres temporalidades para la identificación de clases de cobertura (tabla 1).

Tabla1. Grandes Categorías de Clasificación Vegetal (Modificado de Romero y Sua, 2001), Citado en Martínez (2005).

Estructuras	CATEGORÍAS MÁS GENERALES BASADAS EN LA ESTRUCTURA BÁSICA DE LA VEGETACIÓN.
Bosque	Vegetación dominada por especies de árboles generalmente con alturas mayores de 6 m. El dosel puede ser continuo y en ese caso se trata de un bosque denso. Si el dosel es muy discontinuo, se trata de un bosque abierto o ralo.
Arbustal Matorral	ó Vegetación con clara dominancia de especies cuya forma de vida es el arbusto, es decir, con estructura del tallo leñosa, alturas de menos de 6 m y fuertemente ramificado en la base.

Con respecto al tipo de coberturas vegetales antrópicas, en función del uso del suelo, se tuvo en cuenta las categorías de Romero y Sua 2001 (Tabla 2):

Tabla 2 Categorías de Uso del Suelo (Modificado de Romero y Sua, 2001), Citado en Martínez (2005)

Categoría	Descripción
Cultivos	Cobertura vegetal compuesta por especies de uso agrícola, de carácter anual, semipermanente o permanente.
Pastos	Cobertura vegetal de tipo graminoide natural o plantado.

8.1.4 Metodología para identificación de patrones de cambio.

Los patrones de cambio naturales o antrópicos se evaluaron integrando tres procedimientos donde se emplearon plataformas S.I.G, quedando definido de la siguiente manera:

a) La caracterización de la composición y estructura paisajística se realizó, calculando algunos índices desarrollados y utilizados en ecología del paisaje (Landscape Ecology), se seleccionaron métricas estadísticas a nivel de clases en el mosaico considerado. Para tal fin se emplearon los índices de fragmentación siguientes: Número de fragmentos de un ecosistema-**NP**-, Área para cada clase: **(CA)**, Significancia del área de cada parche: **(ÁREA_MN)**, Coeficiente de variación del tamaño de los fragmentos-**(AREA_CV)**-, índice de proximidad **(PROXIM_MN)**-, Índice de Forma del paisaje-**LSI**. Estos se calcularon para cada tipo de cobertura y tipo fisonómico empleando el programa fragstats V3.3 desarrollado por McGarigal y Marks (1995).

Para entender mejor los índices de fragmentación calculados, es necesario presentar la significancia ecológica ligada a cada índice:

- **Área para cada clase: (CA)** Este índice muestra cómo se ha ganado o perdido área para cada tipo de cobertura vegetal; además permite identificar en función de la ganancia de área cual es la actividad antrópica que ejerce mayor presión.
- **Numero de parches: (NP)** La variación en el número de parches (aumento o disminución) en una cobertura específica muestra el grado de alteración al cual esta siendo sometido el sistema.
- **Índice de forma del paisaje (LSI)** Muestra la forma y complejidad de los parches, si se obtienen índices altos indican una elevada fragmentación la cual se debe a perturbaciones que ocurren en los bordes ó en todo el ecosistema.
- **Significancia del área de cada parche: (ÁREA_MN)** Establece la importancia que representa el área de cada cobertura con respecto al paisaje, considera la agregación y la dinámica de cambio espacial (área y ubicación).
- **Coeficiente de variación en el tamaño del parche: (AREA_CV)** Esta distribución estadística permite determinar el porcentaje de variación del área de cada clase con respecto al sistema.
- **Índice de proximidad (PROXIM_MN)** Plantea que la proximidad puede mantenerse en el caso de que no haya presión sobre el ecosistema o reducirse debido a procesos naturales o antrópicos desarrolladas en la zona de estudio.

b) Mediante el procesamiento fotogramétrico para las fotografías aéreas de los años de 1979, 1987, el procesamiento de la imagen satelital Landsat TM Composición 5,4,3 para el periodo de 1999 y la aplicación del indicador de "Cambio multitemporal"; se obtuvieron los valores y porcentajes de cambio de cobertura en el área de estudio.

Este procedimiento consistió en obtener los valores y porcentajes de cambio de cobertura en el área de estudio a partir de técnicas de fotointerpretación, fotogrametría y procesamiento digital que son desplegados mediante plataformas de Sistemas de Información Geográfica (Arc Map 8.2). En este procedimiento se

empleo el indicador “Cambio multitemporal del área de páramos, bosques, sabanas, agroecosistemas y humedales” propuesto por el IDEAM (2002) en el “Sistema de Información Ambiental para Colombia”; el cual estima cambios en área (pérdida o ganancia) de cada una de las coberturas en un lapso de tiempo, y posteriormente se generaron tablas con las características de las unidades ecosistémicas analizadas y estadísticas descriptivas que permiten identificar los patrones de cambio de cobertura, considerando los procesos de modificación asociados al cambio de uso del suelo.

Formula del Indicador

$$A = A2 - A1$$

$$\text{Porcentaje de cambio} = (A2 - A1) / A1 \times 100$$

$$\text{Cambio medio anual} = (A2 - A1) / T2 - T1$$

Donde:

A = Cambio en la superficie de la cobertura de los ecosistemas analizados

A1 = Superficie total de la cobertura analizada para el año en referencia

A2 = Superficie total de cobertura analizada en el año de cambio

T1 = Tiempo inicial o de referencia

T2 = Tiempo final o de cambio

Si **A es negativo (-)**, hay una pérdida o disminución en la superficie de la cobertura analizada en el lapso considerado.

Si **A es positivo (+)**, hay una ganancia o incremento en la superficie de la cobertura analizada en el lapso considerado.

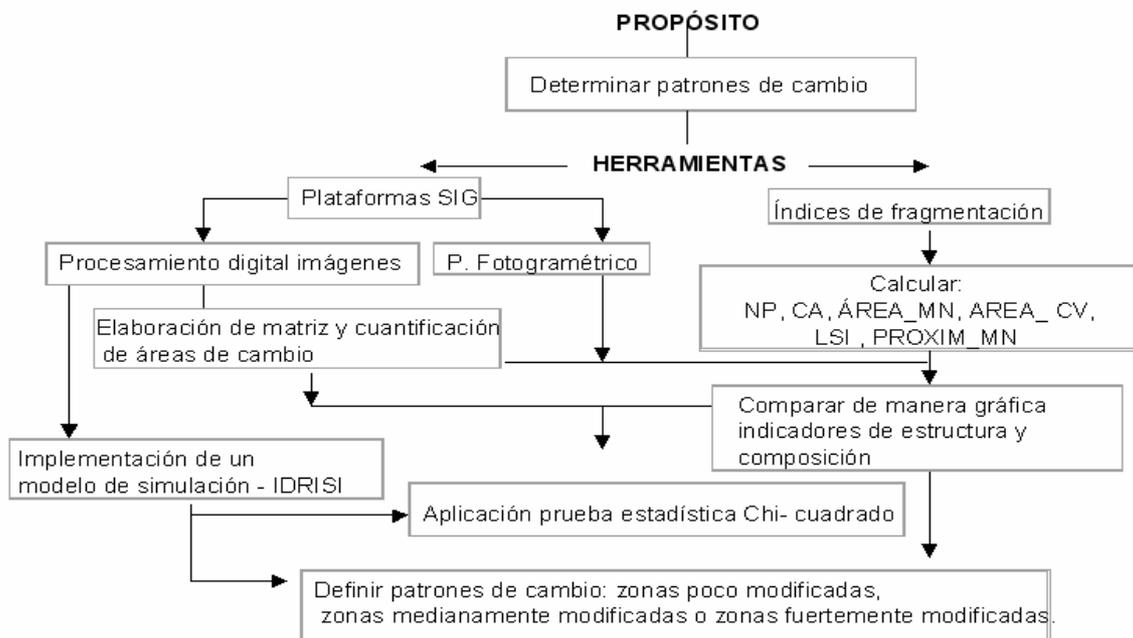
Los cambios de cobertura se analizaron mediante la prueba estadística de Chi-cuadrado, en donde se asume como dato ESPERADO a las coberturas pertenecientes al periodo anterior y dato OBSERVADO a las coberturas del periodo posterior; para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas del cambio de cobertura de la zona por procesos naturales y

antrópicos; así mismo se establecieron los cambios de cobertura significativos y sus porcentajes.

c) El tercer procedimiento comprendió la aplicación de un modelo de simulación con el programa IDRISI, en donde los cambios son modelados mediante el uso de cambios pasados y variables explicativas, para desarrollar capas de información que expresan los potenciales de transición. La capa de Potenciales de Transición, permite agrupar transiciones en un grupo de sub-modelos y explorar el poder de las variables explicativas de cambio. Las variables son adicionadas como componentes estáticos propios de las condiciones naturales del sistema (hidrografía y pendientes); que no cambian con el transcurso del tiempo y expresan aspectos básicos de aptitud para la transición.

Para la evaluación de los diferentes grados de modificación ecológica se incluyeron: Identificación de las actividades antrópicas desarrolladas en el territorio, también se hizo un análisis de las interacciones de las actividades antrópicas y naturales dentro del mosaico estudiado, de esta forma es como se definieron los grados de modificación del territorio ya sea por los componentes más susceptibles o variantes (componentes bióticos), o por los más estables como son la geología y el relieve. Los patrones de cambio se definieron atendiendo a lo que propone Chiappy y Gama (2004) de la siguiente manera: Zonas poco modificadas, Zonas medianamente modificadas, Zonas fuertemente modificadas.

Figura 3. Esquema metodológico identificación de patrones de cambio



8.2 METODOLOGÍA PARA VEGETACIÓN

Selección, número y tamaño de las unidades de muestreo: El muestreo de vegetación para la franja altitudinal comprendida entre los 3000-3400 msnm que corresponde a la zona de estudio, se realizó mediante colectas de material vegetal en cada punto o estación de muestreo por cada formación vegetal (bosque, arbustal, frailejón y pajónal). En cada punto de muestreo se instalaron parcelas con la menor intervención antrópica posible, y de extensión adecuada, el tamaño fue de 10x10 m (100m²) en los sectores de bosque, 10x5 m (50 m²) arbustal, frailejón 10x5m (50 m²) y pajónales 4x4m (16 m²). Estos tipos fisonómicos seleccionados son representantes de la cobertura natural existente que se debe conservar y de ellos se hizo la descripción fisonómica, por lo tanto estos tipos coinciden con los tipos fisonómicos obtenidos a partir del proceso fotogramétrico y el análisis de la imagen satelital que son los que se utilizaron para determinar fragmentación, cambio de cobertura y determinación de los patrones de cambio,

en donde se compararon dos clases de coberturas: Coberturas naturales (Arbustales, bosque denso, bosque abierto, frailejonal – pajonal y humedal) y las coberturas antrópicas (Cultivos y pastizales), estas categorías de clasificación vegetal y categorías de uso del suelo se determinaron de acuerdo a lo propuesto por Romero y Sua (2001), Tabla 1 y 2.

Para la estratificación se consideraron los siguientes valores:

Estrato rasante: < 0.3 m.

Estrato herbáceo: 0.3 < 1.5 m.

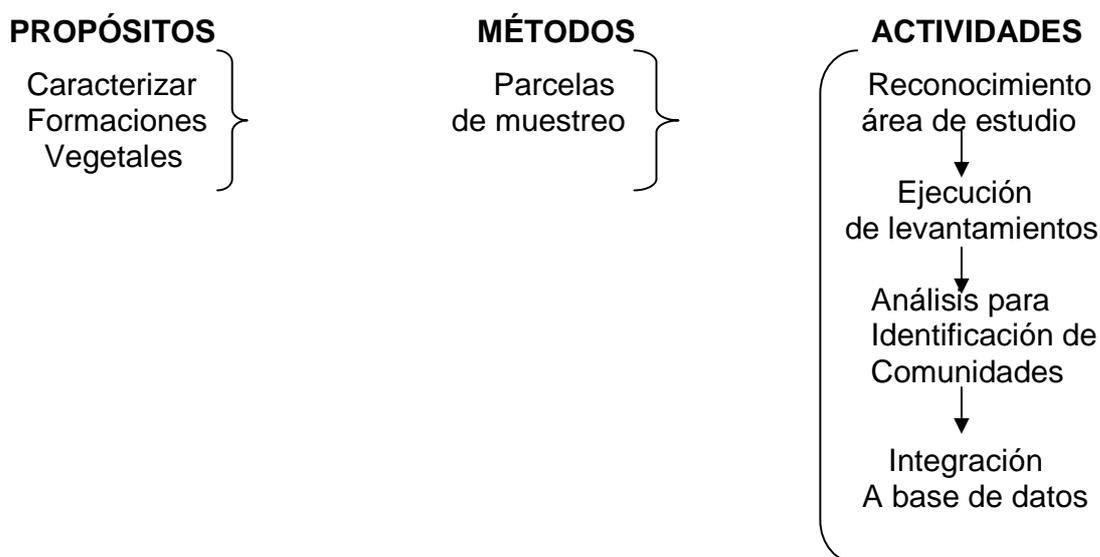
Estrato arbustivo: 1.5 < 5 m.

Estrato arbóreo: ≥ 5 m.

Para cada estrato se determinó la cobertura de cada especie vegetal (m²), ésta información se empleo para efectuar descripciones fisonómicas. Una vez realizada la fase de campo se creó una tabla base de los datos en Excel para obtener información sobre riqueza total en 0.1 ha (número de especies/0.1 ha) y las listas de familias, géneros y especies.

El material botánico se procesó y determinó en el herbario de la Universidad del Cauca utilizando bibliografías regionales y con la ayuda de especialistas.

Figura 4. Esquema metodológico para vegetación



8.3 METODOLOGÍA DE E.I.A

La Evaluación de Impacto Ambiental EIA, es un proceso enfocado en la predicción y valoración de los efectos de las actividades antrópicas sobre la estructura y funcionamiento de los sistemas naturales y aquellos transformados por la acción del hombre, en donde se comprende los componentes y variables agua, suelo, vegetación, como las acciones y flujos de energía entre los componentes y los ecosistemas (Joaquí, 2005).

8.3.1 Metodología para identificar y caracterizar el sistema antrópico y natural.

Para determinar cuales son las principales actividades antrópicas desarrolladas en el territorio, las cuales degradan el ecosistema, se realizaron visitas de reconocimiento con el acompañamiento de personas del lugar; esto permitió la identificación de procesos naturales y antrópicos ocurridos, o que ocurren, en el área de estudio. Se hizo una identificación y caracterización de los principales factores o actividades productivas (agrícolas - pecuarias) desarrolladas en la zona y su relación con los componentes del ecosistema aplicando la propuesta metodológica para la evaluación de impacto ambiental (Figueroa et al 1998).

En esta etapa se caracterizó el sistema antrópico con el fin de identificar los diferentes procesos y localizaciones de las actividades humanas que se presentan en la zona y que están afectando el ecosistema.

8.3.2 Aplicación de la Matriz de Fearo. Posteriormente a la identificación del sistema antrópico se elaboró una matriz de FEARO para inferir los procesos de modificación ecológica entre los procesos antrópicos y procesos naturales, para luego generar modelos fenomenológicos.

La matriz de FEARO es “un método matricial de interacción empleado en estudios de evaluación de impacto ambiental, la cual funciona como una lista de control bidimensional, como se ha enunciado en el marco teórico.

La figura 5 ilustra el esquema metodológico empleado para realizar la E.I.A.

Figura 5. Esquema metodológico para EIA.



Los criterios empleados para evaluar el posible efecto son:

- Magnitud: Severidad de cada impacto potencial con relación a su reversibilidad.
- Durabilidad: Lapso en el que el impacto pueda extenderse.
- Plazo y frecuencia: El impacto puede ser a corto, mediano ó largo plazo y puede ser intermitente ó permanente.
- Riesgo: Probabilidad de ocurrencia.
- Importancia: Valor asignado al impacto con respecto al área por estado actual.
- Mitigación: Soluciones disponibles ó factibles a los impactos negativos.

8.3.3 Elaboración de Modelos Fenomenológicos. Finalmente se elaboraron los modelos fenomenológicos, en donde se esquematizan los sistemas naturales utilizando una simbología energética, en donde se permite representar los diferentes componentes e indicadores del ecosistema en un espacio delimitado según el interés del investigador, y relacionar los sinergismos que ocurren al interior de los componentes y del sistema, para ilustrar los flujos de energía, procesos de retroalimentación, transformación de materia, alteraciones ó cambios entre otros (Martínez, 2005).

9 RESULTADOS Y ANÁLISIS

9.1 FRAGMENTACIÓN.

En este capítulo se presentan los índices de fragmentación, calculados para las comunidades vegetales por tipos fisonómicos obtenidos a partir del proceso fotogramétrico para los años de 1979 y 1987 (tablas 3 y 4), posteriormente en la tabla 5 se encuentran los índices de fragmentación calculados para la ventana de estudio empleando una imagen satelital Landsat TM para el año de 1999, en la cual se hizo una clasificación supervisada.

Tabla 3. Índices de fragmentación comunidades vegetales identificadas a partir de procesamiento fotogramétrico para el año 1979.

Clase	Tipo fisonómico	CA	NP	LSI	AREA_MN	AREA_CV	PROX_MN
Coberturas antrópicas	Cultivos	34,85	15	7,04	2,32	114,10	169,24
	Pastizales	1073,84	71	12,84	15,12	683,28	41271,22
Coberturas naturales	Arbustales	122,87	37	14,61	3,32	208,20	754,44
	Bosque Abierto	56,78	32	16,47	1,77	227,61	452,98
	Bosque Denso	350,23	15	10,04	23,35	250,45	12057,31
	Frailejonal-Pajonal	202,83	15	6,24	13,52	347,60	3723,42
	Humedal	374,22	33	10,91	11,34	563,20	24031,89

Tabla 4. Índices de fragmentación comunidades vegetales identificadas a partir de procesamiento fotogramétrico para el año 1987.

Clase	Tipo fisonómico	CA	NP	LSI	AREA_MN	AREA_CV	PROX_MN
Coberturas antrópicas	Cultivos	46,35	15	5,63	3,09	111,87	19,82
	Pastizales	1108,40	28	9,65	39,59	469,21	47440,05
Coberturas naturales	Arbustales	101,85	30	10,76	3,40	196,76	820,51
	Bosque Abierto	39,14	21	11,20	1,86	174,98	130,67
	Bosque Denso	296,36	20	8,92	14,82	300,51	6698,75
	Frailejonal-Pajonal	200,35	8	5,57	25,04	240,38	4714,69
	Humedal	423,14	6	6,11	70,52	223,59	31028,88

Tabla 5. Índices de fragmentación comunidades vegetales identificadas a partir de procesamiento fotogramétrico para el año 1999.

Clase	Tipo fisionómico	CA	NP	LSI	AREA_MN	AREA_CV	PROX_MN
Coberturas antrópicas	Cultivos	542,99	105	14,65	5,17	232,95	81,47
	Pastizales	660,84	63	13,08	10,49	341,05	224,68
Coberturas naturales	Arbustales	189,33	91	11,95	2,08	370,92	11,52
	Bosque Abierto	36,99	23	4,89	1,61	286,36	0,45
	Bosque Denso	273,89	7	4,44	39,13	141,38	298,60
	Frailejonal-Pajonal	149,47	3	2,73	49,82	77,58	0,00
	Humedal	362,10	7	4,00	51,73	207,24	1695,81

9.1.1 Área total (CA): Área para cada clase:

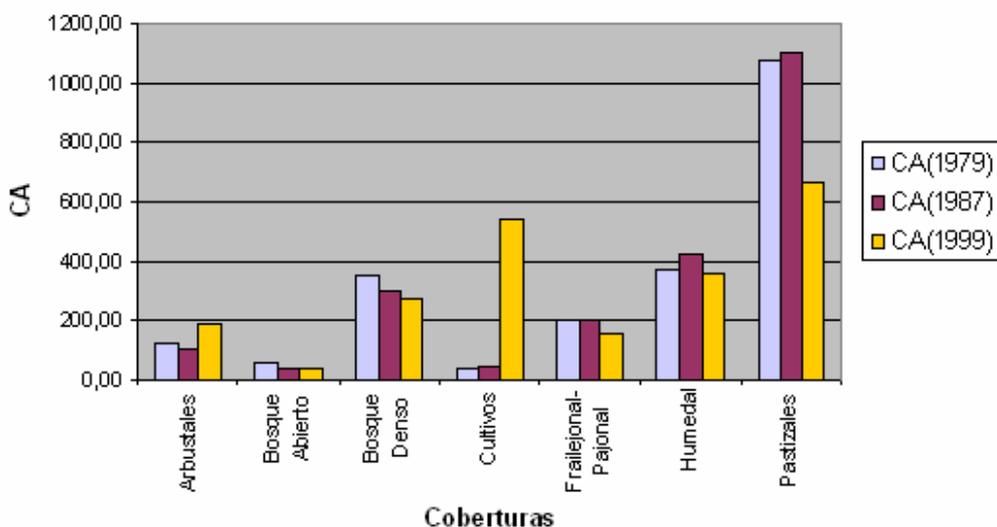
Este índice hace referencia al área ocupada por cada clase en el paisaje definido; se observa que para el periodo analizado 1979 a 1999 los Pastizales reducen su extensión pero poseen los valores más altos de ocupación del territorio, especialmente en el año de 1979 donde el área total ocupada por esta cobertura es considerable con 1073.84 (ha)., siendo el elemento mas representativo en el mosaico en ese año, y a pesar de su reducción mantiene esta característica en el lapso de tiempo considerado. De forma contraria se observa el aumento del área cubierta por los cultivos presentando un gran incremento para el periodo 1987 – 1999, es decir existe una dinámica de transitoriedad entre los cultivos y los pastos propias de las características socioeconómicas de la zona, es pertinente plantear que la zona de estudio posee un proceso de intervención precedente al año inicial de comparación (1979).

Los cultivos y pastos son coberturas en constante rotación, ya que los habitantes del sector dejan un periodo para la agricultura y otro para la ganadería aprovechando la gran cantidad de insumos químicos que son suministrados al suelo, este proceso incide enormemente en el cambio de las áreas ocupadas por

estas unidades de tipo antrópico. De igual forma las coberturas antrópicas presentan no solo un incremento en el área ocupada sino también en la agregación de sus unidades como se muestra en el índice de proximidad.

Para bosque denso y humedal en el año 1979 se encontró área considerable ocupada dentro del paisaje; sin embargo confrontándolas con los periodos de 1987 y 1999 se aprecia una reducción notable, especialmente en lo que corresponde al bosque denso y vegetación de páramo, situación que evidencia la inminente presión de las actividades humanas sobre ecosistemas de importancia ecológica. Los resultados se grafican en la figura 6.

Figura 6 Índice CA para el periodo 1979-1987-1999 a partir de técnicas fotogramétricas y análisis de imágenes Landsat TM

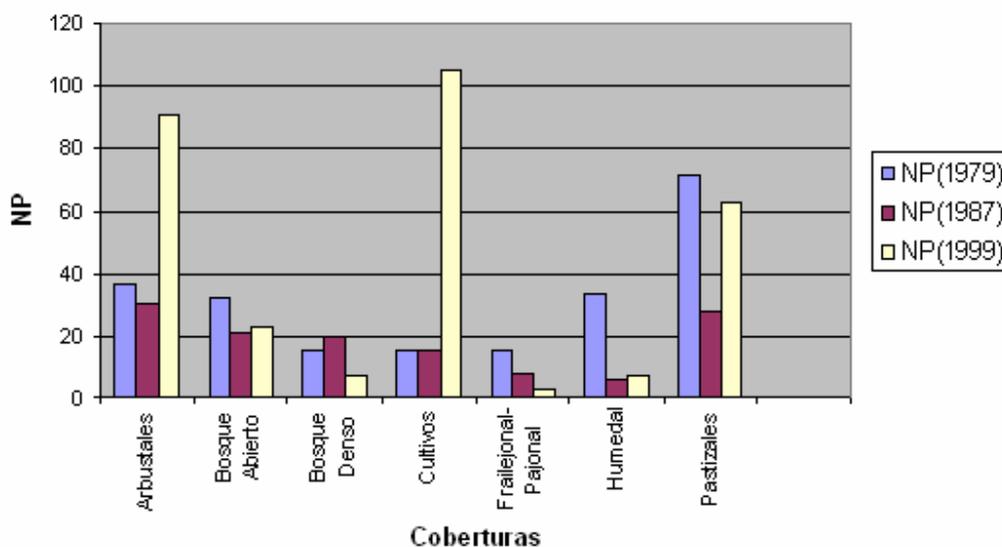


9.1.2 Numero de Parches – NP:

En este índice se observa que para la zona de estudio se incrementan los fragmentos de cultivos y pastos; es decir aumentan las unidades correspondientes a coberturas antrópicas, como también un aumento en los fragmentos de arbustales evidenciando una fragmentación en los procesos de sucesión; sin

embargo el índice de área total (CA) para el caso de cultivos muestra un aumento en la superficie ocupada por esta actividad en comparación al área que corresponde a pastizales, hecho presentado dadas las características de producción agrícola asentadas en la zona, lo cual hace que se aprecie una elevada variabilidad de esta métrica para cultivos y pastos que son la base de la economía del sector; además es evidente la notable reducción de los fragmentos de bosque denso, frailejonales y pajonales presentando un comportamiento inverso al expuesto por cultivos y pastos evidenciando la afectación de las clases naturales del bioma paramuno, lo que quiere decir que mientras algunas coberturas naturales del mosaico estudiado se fragmentan otras de tipo antrópico ganan área; contribuyendo de esta manera a la configuración de un sistema transformado. (Ver figura 7).

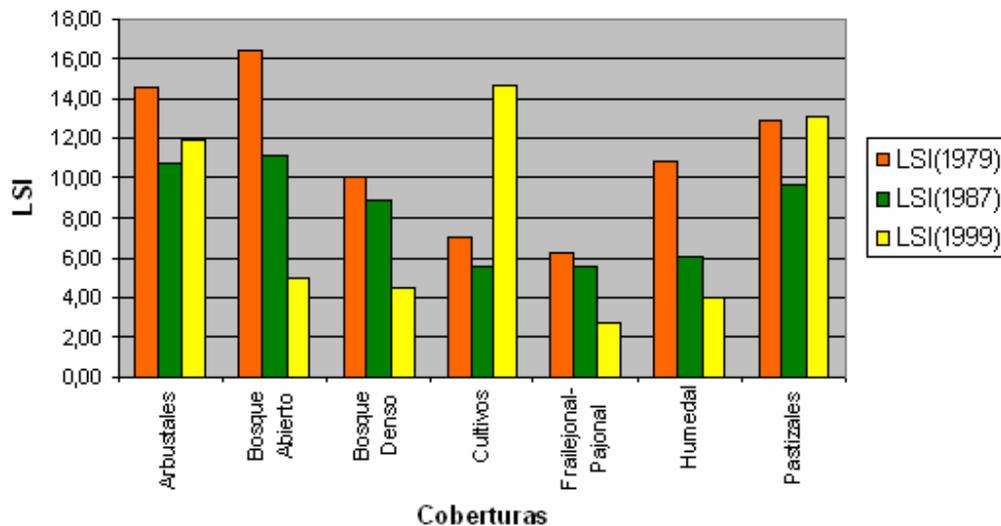
Figura 7 Índice NP para el periodo 1979-1987-1999 a partir de técnicas fotogramétricas y análisis de imágenes Landsat TM



9.1.3 Índice de forma del paisaje (LSI):

Los datos del índice de forma del paisaje se ilustran en la figura 8:

Figura 8 Índice LSI para el periodo 1979-1987-1999 a partir de técnicas fotogramétricas y análisis de imágenes Landsat TM



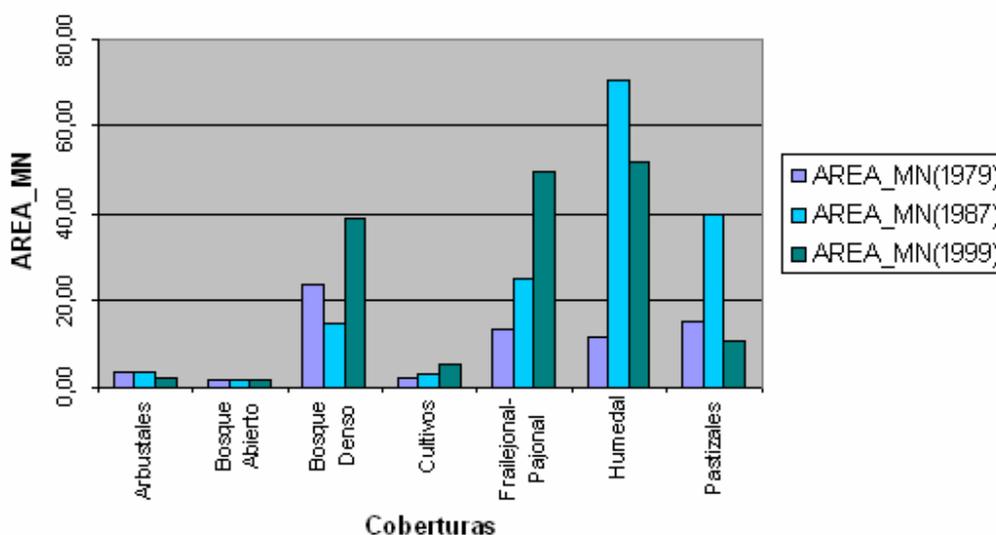
En la ventana de estudio, las coberturas naturales poco intervenidas presentan una reducción en la complejidad de sus arreglos espaciales, esto implica que producto de la disminución en el área ocupada y el número de parches, las unidades presentan formas menos adecuadas para garantizar la permanencia de las especies, esto no implica necesariamente que su significancia ecológica sea menor a la de las coberturas intervenidas, pero indica claramente que la oferta de hábitat se ve limitada producto de la transformación y el cambio de uso del suelo.

9.1.4 Significancia del área de cada parche: (ÁREA_MN):

Con esta distribución estadística en relación con el área para cada clase se observa que aunque se presenta una reducción en el área ocupada y en número de fragmentos de bosque denso, frailejonal-pajonal y humedal, estas coberturas son significativas en las dinámicas ecológicas del sistema ya que se mantienen como unidades más homogéneas y continuas, contrario a las prácticas agrícolas y pastos que muestran una significancia menor atendiendo a su variabilidad espacial.

Es necesario mencionar que la dinámica de los sistemas ecológicos bajo acción de actividades antrópicas contribuye a la heterogeneidad espacial y en la composición de las comunidades vegetales, esto se aprecia si integramos los datos de los índices anteriores en este análisis, evidenciando que la dinámica entre las coberturas antrópicas (cultivos y pastizales) consiste en un reemplazo en el tiempo entre ellas, es pertinente aclarar que esto ha estado acompañado de la expansión de la frontera agrícola - pecuaria. Los resultados de este índice se grafican en la figura 9.

Figura 9 Índice ÁREA_MN para el periodo 1979-1987-1999 a partir de técnicas fotogramétricas y análisis de imágenes Landsat TM



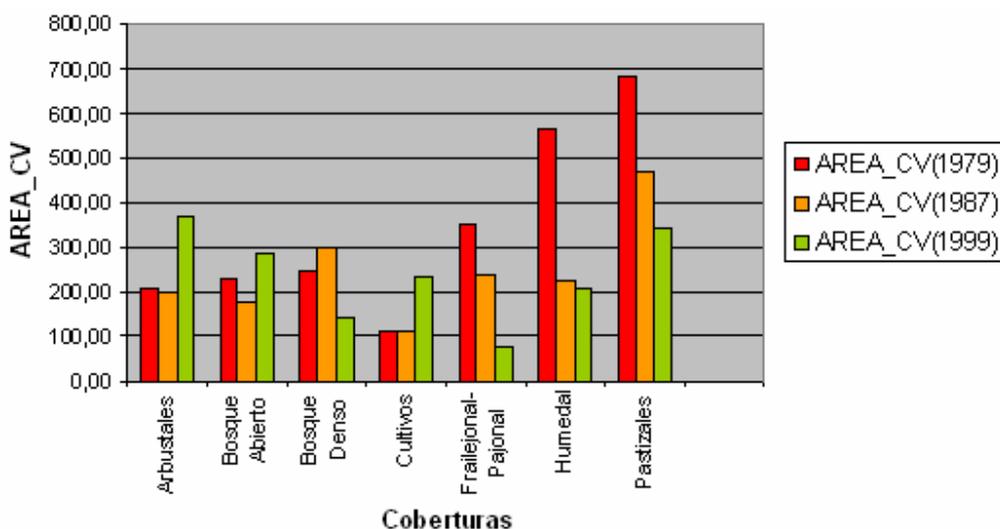
9.1.5 Coeficiente de variación en el tamaño del parche: (AREA_CV):

En cuanto a la variación de área con respecto al paisaje, se mencionó anteriormente en el índice CA que las coberturas que tuvieron un aumento considerable fueron pastizales y cultivos; apreciación confrontada con el cálculo del índice AREA_CV, en donde se observa que las clases con mayor variabilidad

en las tres temporalidades fueron: pastizales, humedal y frailejonal-pajonal, lo cual indica la presión de las actividades humanas sobre ecosistemas estratégicos como los humedales y el bosque alto andino.

En cuanto a los pastos la elevada variabilidad se debe al paso de gran parte de estas zonas para cultivos y otras. Debido a factores socioambientales como el abandono de tierras agrícolas se favoreció el aumento en número de parches para coberturas de tipo arbustal como se nota para el periodo de 1999. El análisis anterior se puede apreciar de forma gráfica en la figura 10.

Figura 10 Índice AREA_CV para el periodo 1979-1987-1999 a partir de técnicas fotogramétricas y análisis de imágenes Landsat TM



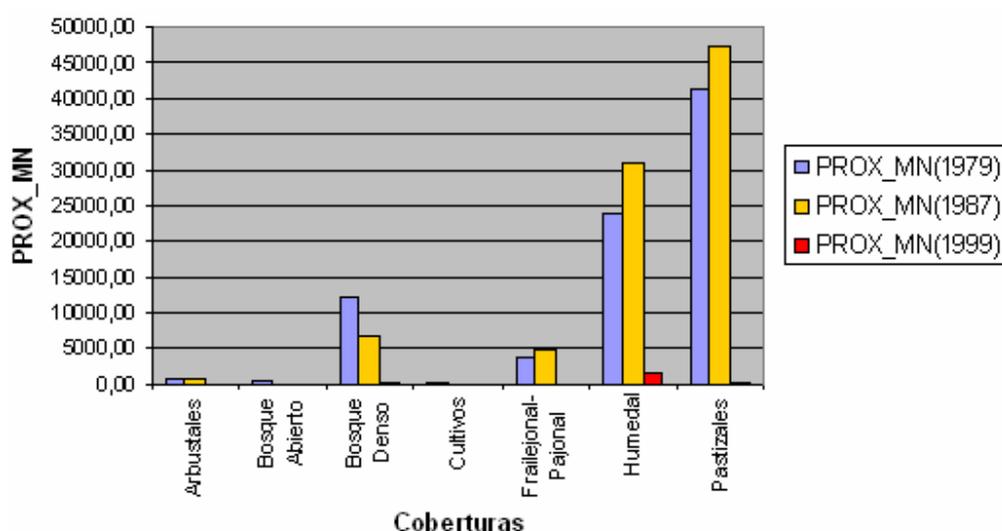
9.1.6 Índice de proximidad - PROXIM_MN:

La proximidad entre clases de cobertura de mayor importancia ecológica como bosques densos, bosques abiertos y zonas de páramo son importantes para el sector porque favorecen las dinámicas ecosistémicas y no afectan la composición y abundancia de poblaciones biológicas; para este índice se tiene que para las

temporalidades de 1979 -1987 se disminuye la proximidad correspondiente a coberturas naturales tales como bosque denso y frailejonal-pajonal, hecho generado por la presión de la coberturas antrópicas en donde presenta un incremento en la proximidad de los pastizales conllevando a una homogenización y por tanto aumento en el grado de conectividad de este tipo de cobertura, esto se determina al analizar los mapas de cambio de cobertura para el periodo considerado, mostrando que este tipo de uso del suelo tiene una tendencia hacia la agregación.

En cuanto al humedal para los años de 1979-1987 el nivel de proximidad es alto, pero las prácticas agrícolas y otras actividades humanas hacen que se colmate favoreciendo las practicas agropecuarias; lo cual ha conllevado a la utilización de la superficie del humedal para establecer cultivos o pastizales para la ganadería, debe resaltarse que el humedal esta restringido a un espacio específico por condiciones geológicas e hidrológicas, situación que potencia la presión que se ejerce sobre esta unidad. Esto se aprecia para el año de 1999, figura 11.

Figura 11 Indice PROX_MN para el periodo 1979-1987-1999 a partir de técnicas fotogramétricas y análisis de imágenes Landsat TM



9.2 CAMBIO DE COBERTURA

Los resultados encontrados muestran y ratifican lo que se ha venido abordando en el desarrollo de este trabajo, de cómo las actividades antrópicas están presionando cada vez este ecosistema altoandino.

Tabla 6 Coberturas vegetales y su área, identificadas para los años 1979 - 1987 - 1999 en la zona de estudio a partir de fotografías aéreas e imagen satelital.

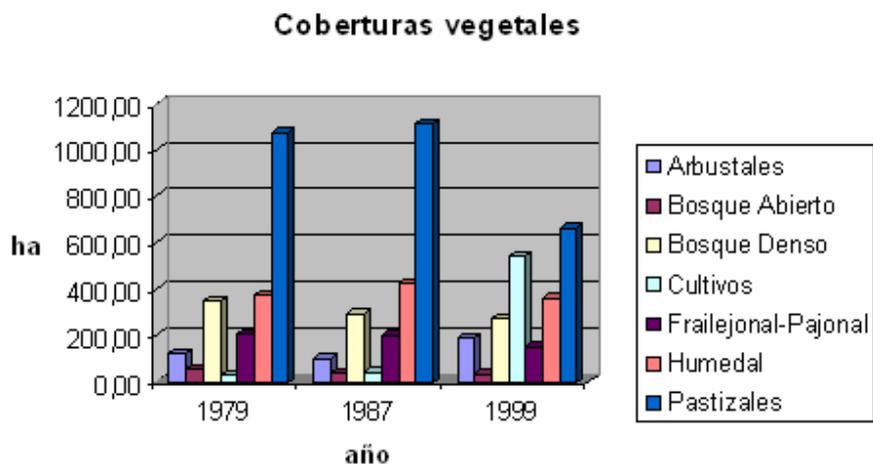
Clases	Coberturas	ÁREA		
		1979(ha)	1987(ha)	1999(ha)
Coberturas antrópicas	Cultivos	34,85	46,35	542,99
	Pastizales	1073,84	1108,40	660,84
Coberturas naturales	Arbustales	122,87	101,85	189,33
	Bosque Denso	350,23	296,36	273,89
	Bosque Abierto	56,78	39,14	36,99
	Frailejonal-Pajonal	202,83	200,35	149,47
	Humedal	374,22	423,14	362,10

En la tabla 6 y en la figura 12, se puede apreciar, que las coberturas que ocupan mayor área en la ventana de estudio son las antropizadas, tal es el caso de los pastizales para las tres temporalidades y los cultivos para el periodo de 1999, lo cual nos indica que es un sistema intervenido donde se encuentran actividades agrícolas principalmente monocultivo de papa y pecuarias (ganadería - producción de leche).

Tabla 7 Coberturas naturales vs. Coberturas antrópicas. Áreas (ha) y porcentajes identificados para los años 1979 - 1987 - 1999 en la zona de estudio.

TIPO DE COBERTURA	Año 1979		Año 1987		Año 1999	
	ha	%	ha	%	ha	%
Coberturas naturales	1106.93	49.97	1060.84	47.89	1011.78	45.66
Coberturas antrópicas	1108.69	50.03	1154.75	52.11	1203.83	54.34
TOTAL	2215.6	100	2215.6	100	2215.6	100

Figura 12 Coberturas Vegetales y su área (ha) para los periodos de 1979, 1987 y 1999.



Como se refiere anteriormente, el porcentaje de áreas antropizadas (cultivos y pastizales) se ha incrementado, pasando de 50.03% en el año 1979 a 54.34% para el año 1999 en la zona de estudio, dato importante porque concluye la fuerte presión a la que esta siendo sometido el sistema natural por causa del establecimiento y asentamiento de las actividades antrópicas, contrario a este se presenta un aumento considerable en uno de los tipos de cobertura natural (arbustales), que indican transición en el proceso sucesional, el cual nos dice que aunque la antropización es de gran magnitud, aún hay sectores dejados para recuperación.

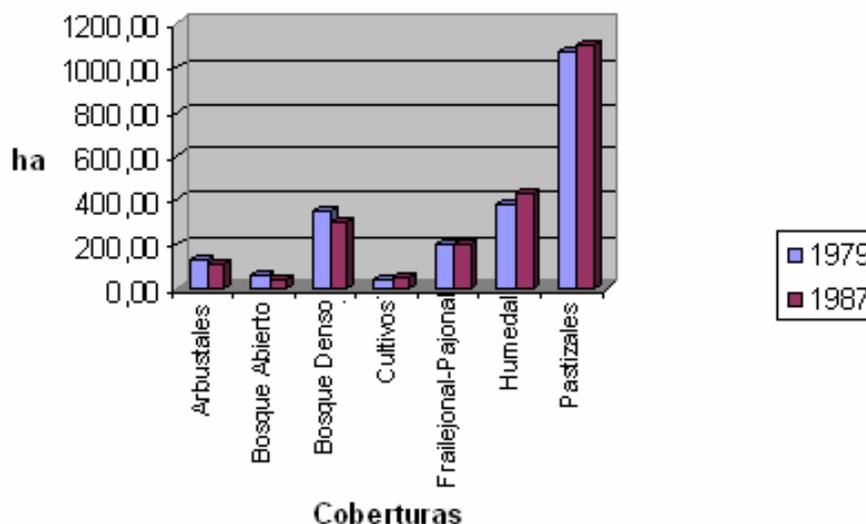
A continuación se presenta la tabla 8, con el cambio porcentual medio anual en ha/año, para el periodo 1979-1987 de cada una de las clases de coberturas vegetales identificadas para la zona de estudio; en donde se puede apreciar una disminución en lo que corresponde a las coberturas de Bosque Abierto (-31.05%), Arbustales (-17.103%), Bosque Denso (-15.380%) y Frailejonal-pajonal (-1.220%); para este mismo periodo se tiene una ganancia en lo que concierne a Cultivos con un (32.993%), Humedal (13.07%) y Pastizales con (3.219%).

Tabla 8 Cambio porcentual y medio anual de las Coberturas vegetales identificadas para el periodo 1979 - 1987 en la zona de estudio.

Cobertura	% Cambio Cobertura	Cambio medio anual (ha/año)
Arbustales	-17,10379067	-2,626875
Bosque Abierto	-31,05983884	-2,205
Bosque Denso	-15,38060703	-6,734
Cultivos	32,99375852	1,438
Frailejonal-Pajonal	-1,220248734	-0,31
Humedal	13,07470305	6,115
Pastizales	3,219069969	4,32

Cabe aclarar que mediante el análisis de la prueba de (Chi-cuadrado X^2 gl=6, $P < 0.05$) aplicada para el periodo de 1979-1987, se estima que las reducciones y ganancias de coberturas para esta temporalidad no son significativas, tal y como se observa en la figura 13, para la temporalidad (1979-1987), esto se debe a que el periodo solo comprende 8 años y para estudios de cambio multitemporal se requiere como mínimo un lapso de 10 años.

Figura 13 Coberturas Vegetales y su área (ha) para los periodos de 1979 y 1987



En la tabla 9, encontramos que las reducciones corresponden en su mayoría a las coberturas naturales, aunque la que presenta mayor porcentaje de cambio corresponde a coberturas de tipo antrópico como es el caso de los Pastizales (-40.37%), también para este periodo se observa que el tipo de cobertura que obtiene mayor porcentaje de ganancia corresponde a los Cultivos (1071.49%)

Tabla 9 Cambio porcentual y medio anual de las Coberturas vegetales identificadas para el periodo 1987 - 1999 en la zona de estudio.

Cobertura	% Cambio Cobertura	Cambio medio anual (ha/año)
Arbustales	85,8910162	7,29
Bosque Abierto	-5,4931016	-0,179
Bosque Denso	-7,5853691	-1,874
Cultivos	1071,499461	41,387
Frailejonal-Pajonal	-25,3955578	-4,24
Humedal	-14,4254856	-5,087
Pastizales	-40,3798267	-37,2975

El análisis de la prueba de (Chi-cuadrado X^2 , $gl=6$, $P<0.05$), aplicada para el periodo de 1987-1999, encontró que hay cambios significativos como es la ganancia de área para cultivos y el aumento de Arbustales; así como también es significativo la pérdida de área de pastizales y áreas de protección como son los paramos, esto se debe a que es una zona en donde gran parte de su área esta provista para la explotación agropecuaria como se había enunciado anteriormente, debido a ello se presentan lapsos de tiempo en que hay zonas que están provistas de cultivos y otras que son dejadas para pastos. En lo que corresponde a la disminución de áreas de páramo también influye fuertemente la explotación pecuaria, porque en esta zona se presenta mucho el pastoreo de ganado (Bovino, Equino y Ovino) sobre la zona de páramo, esto ha implicado la ampliación de la frontera agrícola y pecuaria hasta la franja paramuna, situación que ha conllevado el reemplazo de especies propias de este bioma por otras foráneas o de forraje.

Finalmente en lo que corresponde al “análisis multitemporal”, la tabla 10 presenta los datos de cambio de cobertura para el periodo 1979-1999. Se encontró que las coberturas de naturales fueron las que más se redujeron tal es el caso de Bosque Abierto (-34.85%), Frailejonal-Pajonal (-26.30%), Bosque Denso (-21.79%) y Humedal (-3.238%); análogamente se halló disminución en coberturas de tipo antrópico como los Pastizales (-38.46%). En cuanto a ganancia de área los Cultivos fueron los que mas se incrementaron con un (1458.07%) seguido de áreas para Arbustales (54.08%).

Tabla 10 Cambio porcentual y medio anual de las Coberturas vegetales identificadas para el periodo 1979 - 1999 en la zona de estudio.

Cobertura	% Cambio Cobertura	Cambio medio anual (ha/año)
Arbustales	54,0896882	3,323
Bosque Abierto	-34,85382176	-0,9895
Bosque Denso	-21,79996003	-3,8175
Cultivos	1458,077475	25,407
Frailejonal-Pajonal	-26,3077454	-2,668
Humedal	-3,238736	-0,606
Pastizales	-38,461037	-20,6505

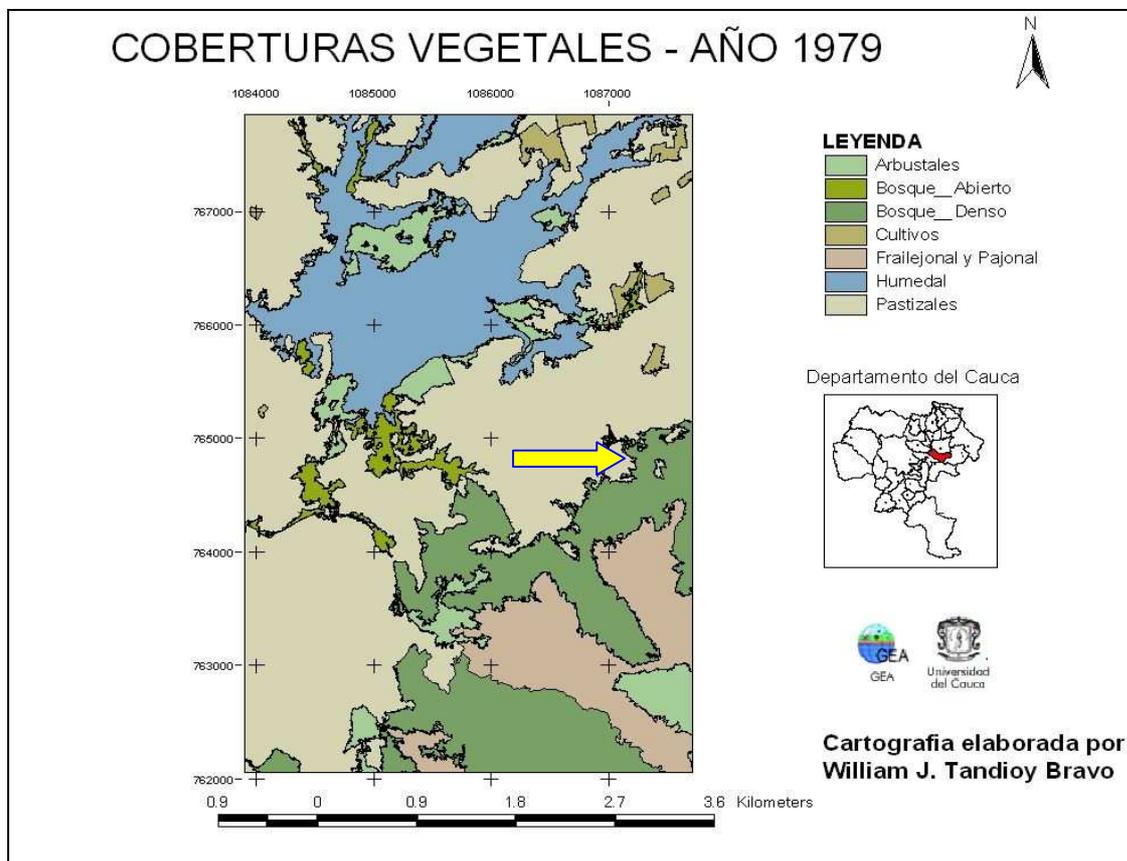
Con la aplicación de la prueba de (Chi-cuadrado X^2 , $gl=6$, $P<0.05$), se encontró que hay diferencias significativas en lo que corresponde a Bosque Denso, Frailejonal-Pajonal, lo cual comprueba lo encontrado en el análisis de cambio de cobertura en donde este tipo de coberturas presentaron perdida de área, también es significativo el aumento de áreas para cultivos, confirmando la expansión de la agricultura, tabla 10.

Con esta información se confirma el fuerte impacto al que esta siendo sometido este ecosistema altoandino, en donde áreas de importancia biológica como el bosque denso y áreas de frailejonal-pajonal, están siendo reducidas permitiendo una expansión de áreas de producción agropecuaria.

En un análisis general de la aplicación del indicador de “cambio multitemporal” correspondiente a las tres temporalidades 1979-1987-1999 se puede concluir que existe un patrón de cambio, que consiste en la transitoriedad que se da entre los procesos antrópicos como son la implementación de cultivos y pastizales, es decir se puede apreciar como se constituye cada día en una zona para producción agrícola y simultáneamente a estos procesos se va dando una disminución en cuanto a área de coberturas de conservación como lo son los Bosques altoandinos y las zonas de páramo.

En la figura 14 se observa como en el año 1979 este paisaje estaba constituido por una matriz que son los pastizales, se observan relictos de bosque y zona de páramo que esta siendo presionada por las actividades antrópicas desarrolladas en la zona principalmente cultivos de papa y ganadería.

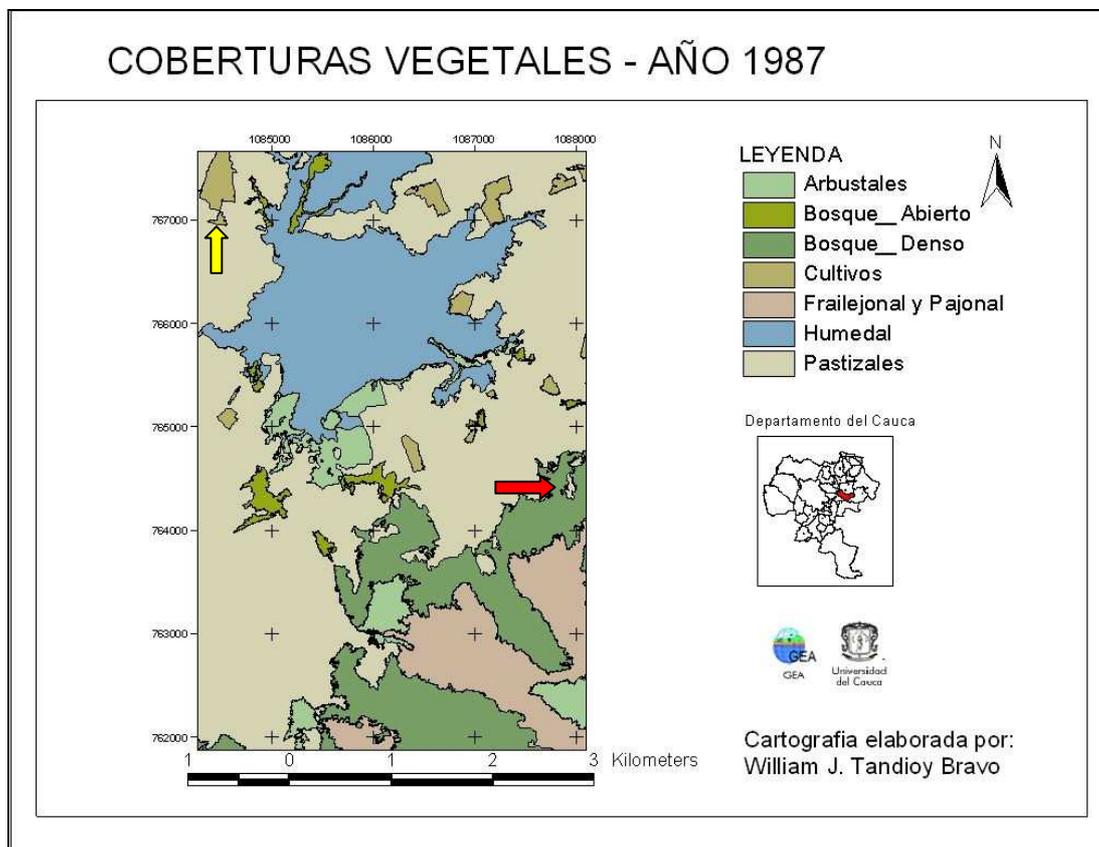
Figura 14 Mapa de coberturas Vegetales para el año 1979 empleando fotogrametría



La flecha amarilla indica como en la zona de estudio se va fragmentando extensiones de bosque denso, permitiendo que las actividades agropecuarias ganen más área.

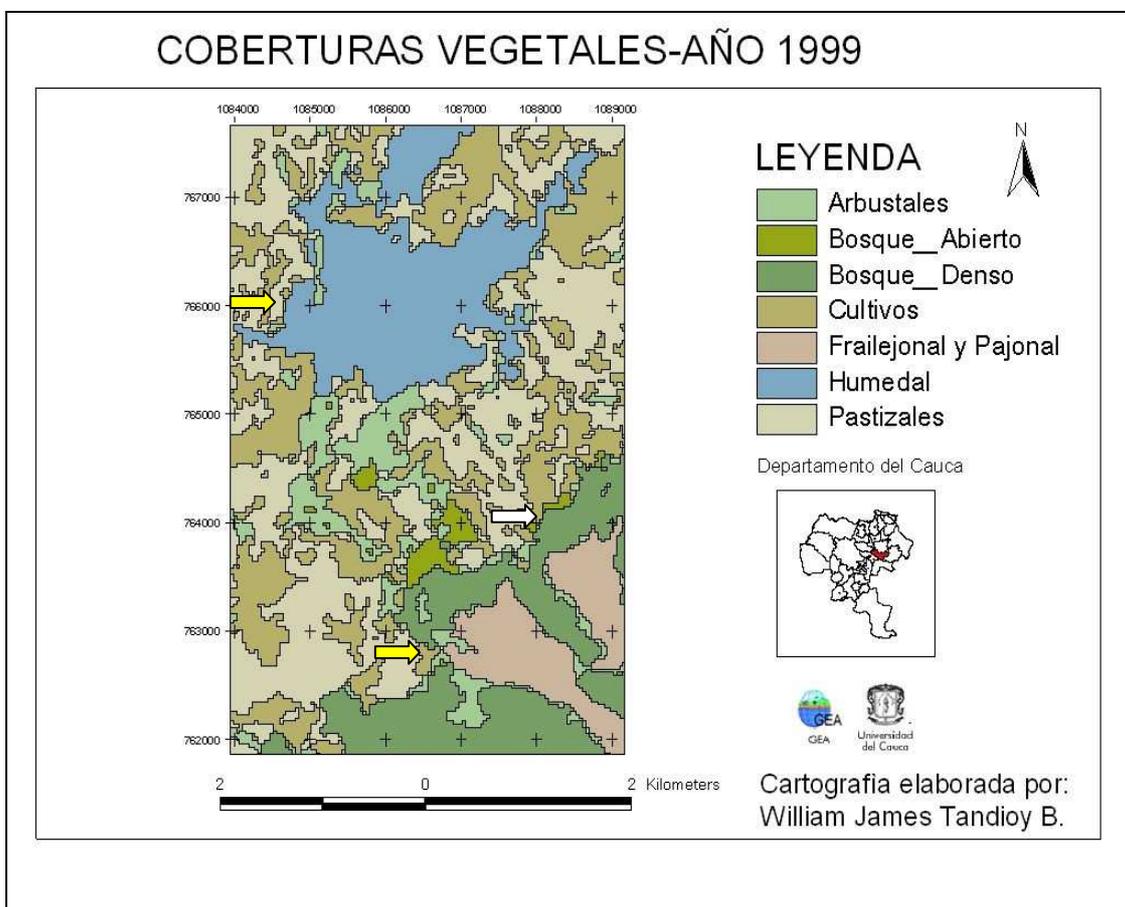
En la figura 15 se presenta el mapa de coberturas vegetales para el año de 1987, en este se puede ver como se van extendiendo las áreas de cultivos (flecha amarilla), igualmente se observa como el bosque denso esta siendo fragmentado (flecha roja) y cambiado por un sistema agropecuario (agricultura y ganadería), contribuyendo de esta forma a la degradación de los ecosistemas altoandinos.

Figura 15 Mapa de coberturas Vegetales para el año 1987 empleando fotogrametría



La figura 16 corresponde al mapa de coberturas para el año de 1999, se observa con mayor claridad como el área de cultivos aumento considerablemente, quedando en similar proporción con el área de pastizales, generando una presión sobre los bosques (flecha blanca), sobre la zona de páramo y sobre el Humedal (flecha amarilla). En esta imagen se puede apreciar la agregación de las áreas de cultivo, las cuales se disponen en buena parte del área estudiada reemplazando zonas ocupadas anteriormente por pastizales, de igual forma es apreciable la expansión de la frontera agrícola y pecuaria alterando las coberturas naturales referidas anteriormente.

Figura 16 Mapa de Coberturas vegetales identificadas para el año 1999 en la ventana de estudio a partir de imágenes Landsat (453).



9.3 PATRONES DE CAMBIO

Una vez realizados los cálculos para determinar los índices de fragmentación y cambio de coberturas, se definen como períodos de referencia para elaborar los patrones de cambio las coberturas de los años 1979 y 1999. Para tal fin se reclasificó en dos tipos de cobertura considerando el procedimiento a realizar en el software IDRISI, producto de la reclasificación se agrupan las clases en i)

coberturas naturales (Arbustales, bosque abierto, bosque denso, humedal y vegetación de páramo) y ii) coberturas antrópicas (Cultivos y pastizales).

Para las dos coberturas se les calculó la distancia euclidiana verdadera de cada celda hasta el grupo de celdas objetivo más cercano, se calcula esta variación porque permite proyectar en tiempo el cambio potencial de uso del suelo considerando la agregación, proximidad y distribución de las coberturas intervenidas en el área de estudio.

Se encontró una distancia máxima para el año 1979 de 1760 metros y de 1930 metros para el año 1999, con estos datos se obtiene la diferencia y se divide entre el lapso de tiempo analizado (20 años) determinando que el cambio por año es de 8.5 metros. Este valor se aplicó para determinar y visualizar como se afecta la cobertura natural por expansión de las coberturas antrópicas para los años 2007 y 2019.

Integrando estos resultados con los datos obtenidos de los análisis de fragmentación y pérdida de cobertura, se encontró que las coberturas naturales de tipo antrópico son las que presentan cambios significativos en cuanto a ganancia de áreas. Con esta información obtenida, con las distancias calculadas y con una matriz de probabilidades de transición se corrobora que las actividades de tipo antrópico son las que están ejerciendo presión sobre las coberturas naturales presentes en este ecosistema de alta montaña.

A continuación se presenta la tabla 11, matriz de probabilidades de transición años 1979 y 1999, en donde los valores de las filas indican la probabilidad del cambio de una cobertura definida con respecto a las demás clases consideradas,

Tabla 11 Matriz de probabilidades de transición de las Coberturas vegetales identificadas para el periodo 1979 - 1999 en la zona de estudio.

	Arbustales	B. Abierto	B. Denso	Cultivos	V. Páramo	Humedal	Pastizales
Arbustales	0,1077	0,0214	0,2351	0,1044	0,0692	0,3968	0,0654
B. Abierto	0,4025	0,0119	0	0,2323	0	0,0518	0,3015
B. Denso	0,1215	0,0652	0,5074	0,1477	0,0288	0	0,1292
Cultivos	0	0	0	0,481	0	0,0196	0,4994
V. Páramo	0,0671	0,0008	0,2828	0,0054	0,6434	0	0,0004
Humedal	0,041	0,001	0	0,1461	0	0,6248	0,1871
Pastizales	0,0761	0,0096	0,0092	0,3657	0,0003	0,0707	0,4683

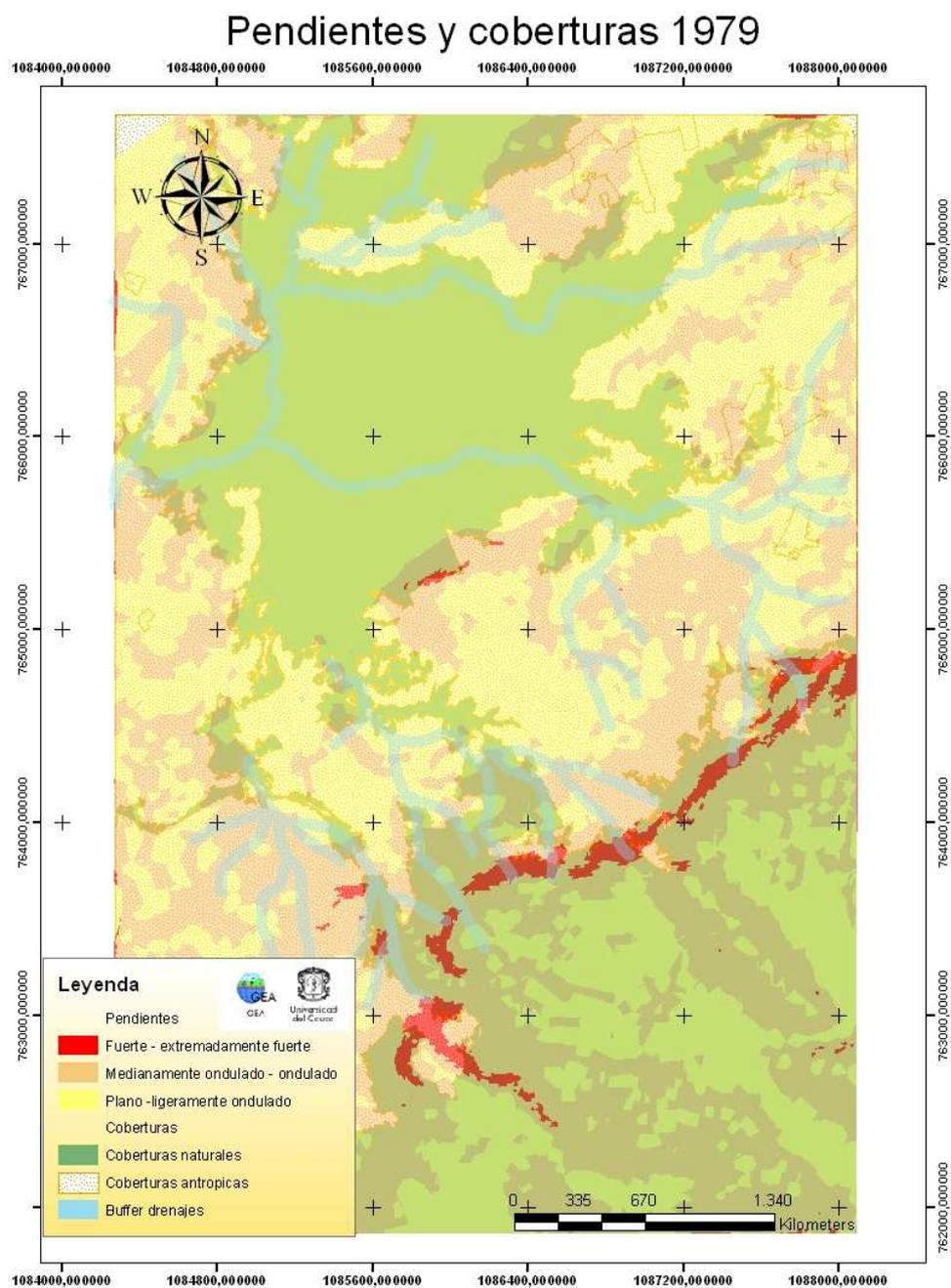
En la tabla anterior se evidencia que la probabilidad de cambio de cultivos a pastizales es alta, también existe una alta probabilidad de que las coberturas naturales mantengan al menos un 50% del área ocupada si consideramos la proyección a 20 años, sin embargo debe destacarse que el bosque abierto muestra una tendencia de cambio hacia cobertura de tipo arbustales.

Sin embargo se aprecia que todas las coberturas naturales pueden ser reemplazadas por cultivos o pastizales, esta situación es evidente para las zonas de humedales que presentan una mayor probabilidad de cambio hacia coberturas antrópicas.

Estas probabilidades sin embargo están mediadas por la direccionalidad de intervención (figuras 17 a 20) y las condiciones orográficas propias del sitio

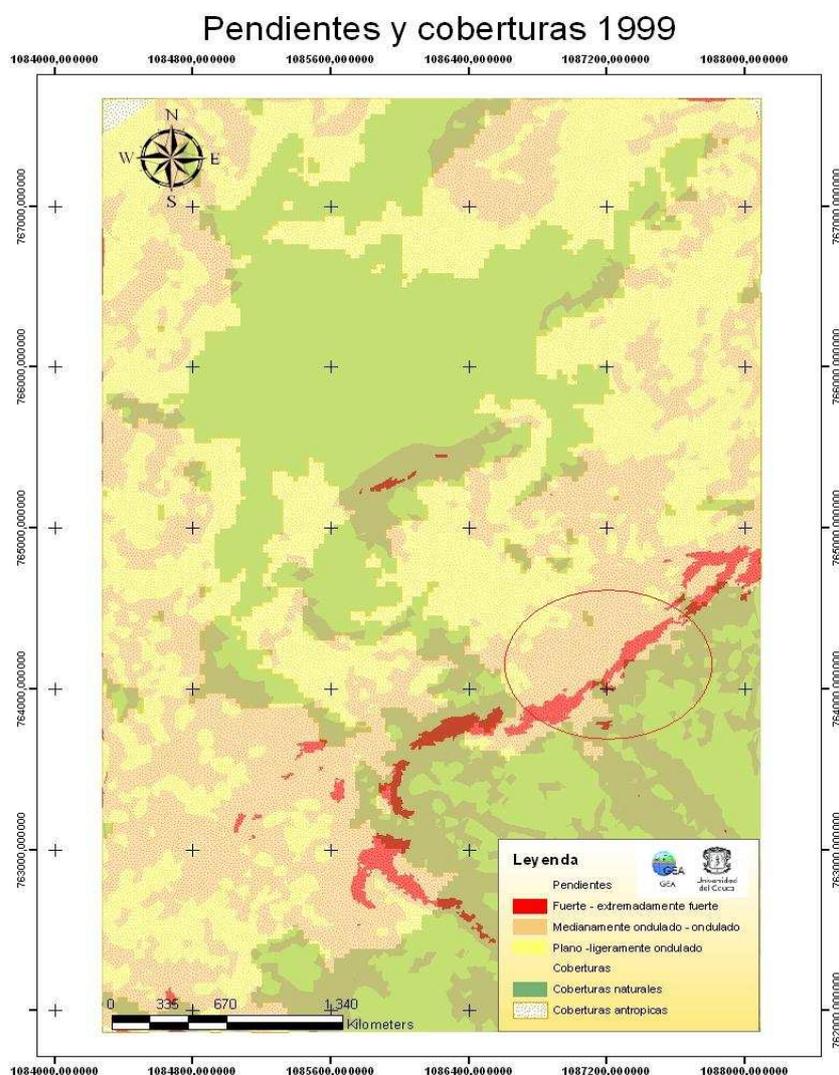
En la figura 17 se puede visualizar como las coberturas de tipo natural tienen un área considerable con 1106.93 ha, se podría decir que en iguales proporciones a la de tipo antrópico con 1108.69 ha, según los datos obtenidos en el cambio de cobertura (ver tabla 7), además, la zona perteneciente al humedal de Calvache y a la de Bosque denso son representativas y los drenajes conservan gran parte de cobertura natural aplicándoles un buffer de 30m – drenajes; propuesto en la legislación para la conservación de áreas riparias.

Figura 17 Mapa de pendientes, buffer de drenajes contra Coberturas naturales y antrópicas identificadas para el año 1979 en la ventana de estudio.



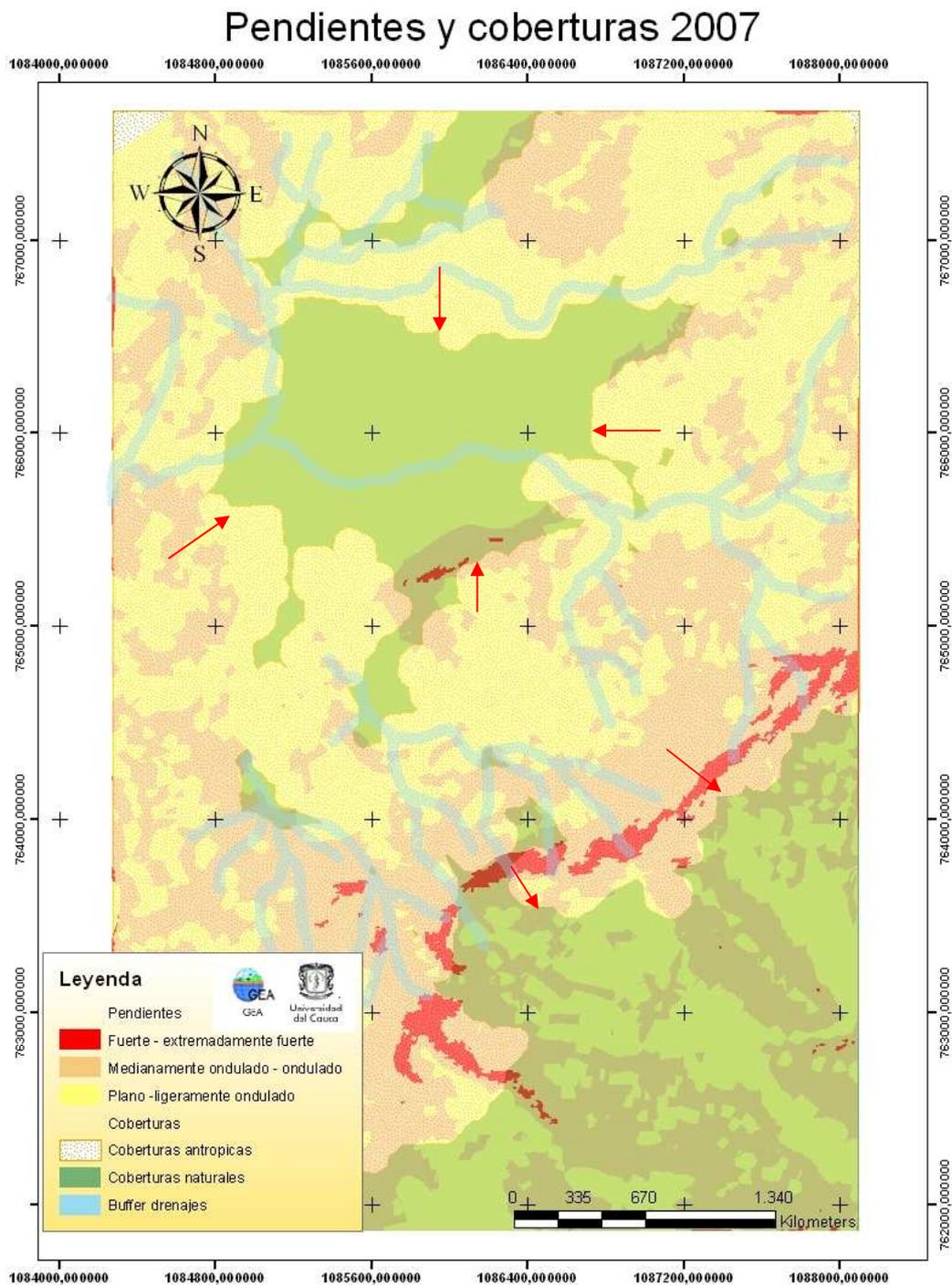
En la figura 18 se observa como las coberturas naturales están siendo reducidas como es el caso del humedal, bosque denso y vegetación de páramo en donde se observa como las pendientes fuertes están actuando como barrera que permiten que no se establezcan actividades antrópicas en zonas prioritarias para la conservación.

Figura 18 Mapa de pendientes contra Coberturas naturales y antrópicas identificadas para el año 1999 en la ventana de estudio.



La figura 19 muestra como las coberturas naturales están siendo cada vez más presionadas por la acción de las actividades antrópicas, para esta temporalidad como se había enunciado anteriormente hay una expansión lineal desde la frontera agrícola y pecuaria de 68 m, que implica una ganancia de área por parte de las coberturas antrópicas. Allí se visualiza como parte del área perteneciente a coberturas naturales (Bosque denso), se reduce aunque la pendiente ha limitado que se establezcan totalmente, y avancen hacia las zonas de páramo. También se observa como el humedal se ve reducido considerablemente y parte de los drenajes que tenían vegetación natural son modificados para el establecimiento de zonas productivas.

Figura 19 Mapa de simulación al año 2007 con pendientes, drenajes, Coberturas naturales y antrópicas para la ventana de estudio.



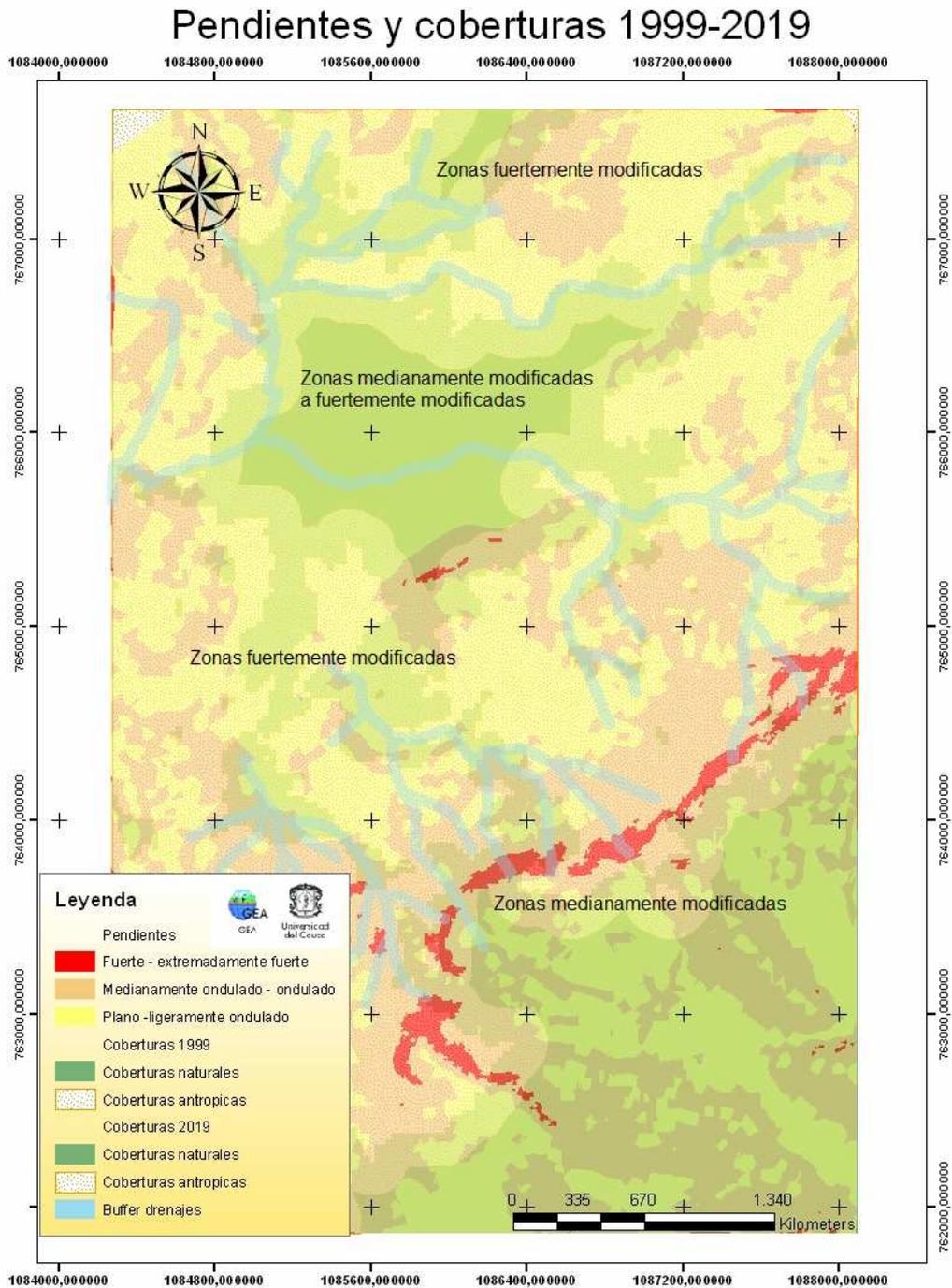
La figura 20 muestra una proyección para el año 2019, en esta imagen se ve como el humedal, el bosque denso y el páramo se ven fuertemente impactados por la expansión de las actividades antrópicas; se nota como se constituye una matriz netamente de producción agropecuaria. Las coberturas naturales asociadas a los drenajes, de importancia en la regulación del recurso agua, son reemplazadas por cobertura antrópicas. Las pendientes actúan de barrera ante la expansión de la frontera agrícola y pecuaria porque no permiten que se acentúen actividades de tipo agrícola por la topografía que presenta; sin embargo en la actualidad se aprecia en la zona que el establecimiento de la ganadería se desarrolla en zonas con pendientes fuertes. Debe considerarse que para esta proyección el reemplazo de las coberturas como bosques densos y páramo estará mediado por la accesibilidad a estas zonas y se relacionará con la capacidad tecnológica que para ese momento dispongan los productores.

Teniendo conocimiento de lo mencionado anteriormente se establecen tres grados de modificación a la cual esta siendo sometido el ecosistema altoandino: **Zonas poco modificadas.** Paisajes prácticamente sin alteración en sus propiedades, componentes, elementos y atributos en estado natural o muy cercanos al natural, y cuyas posibles modificaciones han sido originadas por eventos naturales o procesos debidos a la dinámica evolutiva de los mismos. **Zonas medianamente modificadas:** Paisajes donde existe predominio espacial de los agroecosistemas poco mecanizados, sobre el resto de las formaciones secundarias, y donde las prácticas humanas comienzan a afectar de forma directa algunos de los componentes abióticos, tales como el microclima y la cobertura edáfica. El restablecimiento de sus propiedades geoecológicas puede lograrse a través de tratamientos socio-culturales. Para la zona del humedal se considera una transición entre las categorías medianamente a fuertemente modificadas. **Zonas fuertemente modificadas:** Paisajes que han sufrido una total substitución de los componentes bióticos, de forma que los ecosistemas naturales y secundarios han

sido sustituidos por agroecosistemas altamente mecanizados u otros tipos de sistemas creados por el hombre y donde estos tipos de actividades comienzan a transformar¹ no sólo las relaciones topológicas (microrelieve, microclima, aguas superficiales y subterráneas, entre otros), sino también sus relaciones corológicas, es decir su interrelación con los paisajes vecinos ó entre tipos de coberturas (reemplazo de coberturas por usos del suelo pastizales-cultivos y arbustales-pastizales).

¹ partiendo de la clasificación de Zonneveld (1989) definida para las unidades de terreno entendidas como un sistema.

Figura 20 Mapa de simulación al año 2019 con pendientes, drenajes, Coberturas naturales y antrópicas para la ventana de estudio.



9.4 VEGETACIÓN

En las formaciones de bosque, arbustal, pajonal y frailejónal se colectaron un total de 462 individuos, pertenecientes a 48 familias, 76 géneros y 128 especies (ver anexo 1). Las familias con mayor número de individuos fueron Asteraceae, Ericaceae y Melastomataceae, las familias que aportaron el mayor número de especies en la zona considerada fueron Melastomataceae (11), Orchidaceae (11), Asteraceae (8) y Ericaceae (8).

Esta información se presenta en la tabla 12, en donde se agruparon las familias, ordenándolas por el número de géneros y especies.

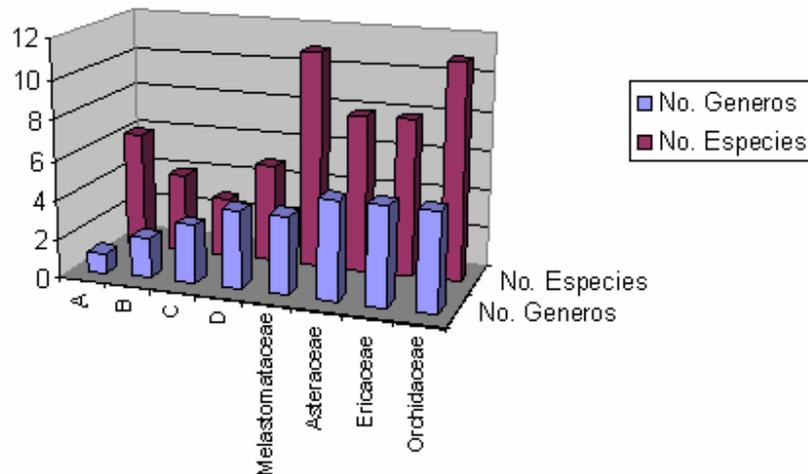
Tabla 12 Numero de géneros y especies encontradas en la zona de estudio.

Familias	Géneros	Especies
<i>Gesneriaceae, Lepicoleaceae, Araliaceae, Loranthaceae, Rosaceae, Lycopodiaceae, Aspleniaceae, Meliaceae, Fabaceae, Pteridaceae, Brunelliaceae, Leucomiaceae, Celastraceae, Caprifoliaceae, Lobariaceae, Lauraceae y Cladonaceae.</i>	1	1
<i>Araceae, Plagiochyllaceae, Sphagnaceae, Clethraceae, Hymenophyllaceae, Chlorantaceae, Aquifoliaceae, Urticaceae, Polygalaceae y Solanaceae</i>	1	2
<i>Alstromeriaceae, Cunoniaceae y Dryopteridaceae</i>	1	3
<i>Cyatheaceae</i>	1	4
<i>Blechnaceae</i>	1	6
<i>Cyperaceae, Scrophulariaceae, Piperaceae y Dicranaceae</i>	2	2
<i>Myrsinaceae y Gentianaceae</i>	2	3
<i>Clusiaceae</i>	2	4
<i>Bromeliaceae y Poaceae</i>	3	3
<i>Rubiaceae</i>	4	5
<i>Melastomataceae</i>	4	11
<i>Ericaceae y Asteraceae</i>	5	8
<i>Orchidaceae</i>	5	11

La figura 21 presenta la distribución de géneros y especies por familia más frecuentes encontradas en la zona de estudio; las letras: A indica familias con un solo género y hasta 6 especies, la letra B familias con 2 géneros y hasta cuatro

especies, C con 3 géneros y 3 especies y D con cuatro géneros y hasta 5 especies.

Figura 21 Número de Géneros y especies encontradas en la zona de estudio.



La formación vegetal **bosque alto andino**, situada entre los 3000 y 3200 m; presenta cuatro estratos: rasante con cobertura de 5.39 m², herbáceo con 13.87 m², arbustivo con 45.05 m² y arbóreo con una cobertura de 94.7 m². El estrato rasante se halla constituido por *Plagiochila* sp., *Lepicolea pruinosa* (Taylor) Spruce, *Alloplectus weirii* (Kuntze) Wiehler, *Pilea fallax* Wedd., *Peperomia* sp., *Masdevallia affinis* Lindl., *Nertera granadensis* (Mutis ex L. f.) Druce. El estrato herbáceo se encuentra constituido por las siguientes especies: *Bomarea linifolia* (Kunth) Baker, *Calceolaria perfoliata* L. f., *Pilea* sp., *Elaphoglossum stenoglossum* Mickel, *Guzmania candelabrum* (André) André ex Mez, *Hymenophyllum trichophyllum* Kunth, *Pleurothallis* sp., *Blechnum fragile* (Liebm.) C.V. Morton & Lellinger, *Pleurothallis* sp., *Anthurium hygrophilum* Engl, *Greigia* sp., *Tillandsia pastensis* André, *Blechnum cordatum* (Desv.) Hieron, *Anthurium bogotense* Schott, *Asplenium Serra* Langsd. & Fisch, *Cyathea* sp., *Munnozia senecionidis* Benth, *Myrsine coriacea* (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult. En el estrato arbustivo se encuentran principalmente las siguientes especies: *Brunellia* sp., *Macrocarpea*

pachyphylla Gil, *Axinaea macrophylla* (Naudin) Triana, *Solanum* sp., *Clethra ovalifolia* Turcz., *Pentacalia arborea* (Kunth) H. Rob. & Cuatrec., *Viburnum triphyllum* Benth., *Miconia* sp.

El estrato arbóreo se caracteriza por la presencia de especies como *Piper montanum* C. DC., *Palicourea amethystina* (Ruiz & Pav.) DC., *Ocotea sericea* Kunth, *Hesperomeles ferruginea* (Pers.) Benth, *Weinmannia pubescens* Kunth, *Weinmannia rollottii* Killip, *Clusia multiflora* Kunth.

Figura 22 Bosque alto andino .Totoró.



En la formación vegetal **arbustiva** ubicada entre los 3200 y 3300 m; presenta tres estratos: rasante con cobertura de 38.85 m², herbáceo con 17.26 m², arbustivo con 44.8 m²; El estrato rasante se halla constituido principalmente por *Hymenophyllum* sp., *Sticta* sp., *Sphagnum magellanicum* Brid., *Campylopus subcuspidatus* (Hampe) A jaeger. En el estrato herbáceo predominan especies como *Elaphoglossum* sp., *Blechnum auratum* (Fée) R.M. Tryon & Stolze, *Elleanthus kermesinus* (Lindl.) Rchb. f., *Vaccinium* sp., *Ilex* sp. El estrato arbustivo se halla constituido por *Miconia theaezans* (Bonpl.) Cogn., *Chusquea* sp., *Disterigma* sp., *Macrocarpea pachyphylla* Gil.

Figura 23 Arbustales .Totoró.



La formación vegetal **pajonal – frailejonal** se extiende desde los 3300 m en adelante, presenta estrato rasante con 4.79 m² y herbáceo con 13.55 m². Este tipo de estrato esta constituido por *Sphagnum sancto-josephense* H.A. Crum & Crosby, *Oreobolus goeppingeri* Suess., *Jamesonia* sp., *Blechnum loxense* (Kunth) Hook. ex Salomon, *Hipericum* sp., *Hieracium* sp., *Diplostephium rhododendroides* Hieron, se caracteriza por el predominio de comunidades de *Calamagrostis* sp y *Espeletia* sp.

Figura 24 Comunidad de *Calamagrostis* sp y *Espeletia* sp.Totoró.



9.5 MATRIZ DE FEARO PARA EXPANSION DE LA FRONTERA AGROPECUARIA

Para la actividad “expansión de la frontera agropecuaria” se tomaron como sub.-actividades:

9.5.1 Deforestación: Porque es el principal mecanismo de transformación de hábitats y ecosistemas, consiste en la remoción total de la cobertura arbórea de una zona para el establecimiento de áreas productivas y/o centros poblados, constituyéndose en una de las principales causas de fragmentación ecosistémica (Figuroa et al.1998) ; así mismo pueden estar asociadas a esta actividad la producción maderera y el uso de leña como combustible.

9.5.2 Remoción de coberturas y quemas: De forma posterior a la deforestación de un área, el material vegetal removido es retirado de la zona, especialmente los maderables útiles (comercialización, leña, posteaduras, entre otras), generalmente en la zona de estudio el resto de biomasa vegetal se agrupa y se quema. Esta sub-actividad es utilizada como un mecanismo para la adecuación rápida y económica de un área de aptitud forestal a otra agrícola o ganadera.

Figura 25 Quema en zona de páramo .Totoró.



9.5.3 Expansión de áreas productivas: El hecho de incrementar la superficie de terreno aprovechada genera en una mayor producción (cultivos de papa y ganadería), lo cual es un renglón importante en la economía del sector.

Figura 26 Actividades productivas desarrolladas en la zona - cultivo de papa y ganadería .Totoró.



9.5.4 Arreglo de terrenos: En esta sub-actividad lo que se hace es la adecuación de terrenos para uso agrícola ó ganadero, en donde se utiliza maquinaria pesada (como tractores) que causa impactos negativos, principalmente alteración de las condiciones naturales del componente suelo, donde se genera la destrucción del horizonte AOO y a su vez un proceso de compactación del horizonte A1 favoreciendo la pérdida de espacios intersticiales y ocasionando una posible alteración de la permeabilidad en el horizonte, todas estas relaciones en conjunto propician una serie de impactos sobre el sistema como el incremento de la susceptibilidad a la erosión (Figueroa et al. 1998). Además se tiene la aplicación de agroquímicos, fertilizantes sintéticos y plaguicidas que se utilizan en los procesos agropecuarios.

Figura 27 Adecuación de terrenos para siembra de papa en un sector contiguo al humedal de Calvache .Totoró



9.5.5 Adecuación de sistemas de riego: En esta sub-actividad se implementan sistemas de regadío para garantizar el suministro de agua a los cultivos, elemento esencial para la obtención de los productos agrícolas. Así mismo estos se emplean para el establecimiento de abrevaderos para la producción pecuaria.

9.5.6 Tráfico y transporte: Posteriormente a la cosecha de productos agrícolas como la papa y a la obtención de ganado óptimo para carne y leche, ingresan los camiones ganaderos y paperos encargados de trasladar los productos a los centros de consumo; esto trae consigo emisiones de gases producidas por la quema de combustibles en el transporte terrestre.

9.5.7 Accesibilidad: Esta sub-actividad es importante para el ingreso de insumos para la producción como también para sacar los productos finales. Esto genera ciertos impactos negativos sobre el medio, pero en lo que corresponde a la población y su actividad económica los impactos son benéficos.

Figura 28 Sacando el producto final – cultivo de papa .Totoró.



9.6 ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE SUBACTIVIDADES Y COMPONENTES DE LOS SUBSISTEMAS

9.6.1 Subsistema Abiótico

En la actividad expansión de la frontera agropecuaria, el **factor Aire** se ve afectado por el ruido o contaminación sonora generado por la deforestación, con un efecto adverso porque son áreas que no están expuestas a este de tipo factores como son el ruido de las motosierras o sierras portátiles para cortar madera; esta alteración hace que el componente fauna se desplace de este lugar a zonas aledañas a esta actividad (Telburgh, 1989; Whitcom et al, 1981., citado por: IDEAM 2002)., de igual forma la pérdida de protección superficial del suelo, la deforestación, la remoción de cobertura vegetal y la quema descubre y altera el suelo, generando una reducción en la absorción de dióxido de carbono (CO₂)

realizado por los árboles y conjuntamente se da una remisión del dióxido de carbono contenido en la madera liberándose grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera contribuyendo de esta forma al calentamiento global, posiblemente el mas grave problema ambiental del planeta (Hofstede y Mena, 2003); además se debe adicionar la emisión de gases generados por la quema de combustibles en el transporte de vehículos y maquinaria para el acondicionamiento de los terrenos para uso agropecuario, por ultimo en el factor aire la pérdida o disminución de las comunidades vegetales, especialmente las pertenecientes al estrato arbóreo, genera un incremento en la velocidad del viento incidiendo en el arrastre de material que aun queda sobre el suelo. Con respecto al **Factor agua**, este componente se ve afectado en la disminución del flujo hídrico, por la deforestación, remoción de coberturas vegetales, ampliación de áreas productivas y la adecuación de sistemas de riego generando un impacto significativamente adverso porque todas estas actividades contribuyen a que cada vez el componente agua se disminuya notoriamente; también se presentan cambios en la escorrentía y percolación alterando la recarga de acuíferos debido a las modificaciones en la estructura edáfica y al cambio de coberturas, lo cual acelera la erosión e incrementa el aporte de material de arrastre a los cuerpos de agua, también contaminación por fertilizantes y plaguicidas modificando así sus características físicas, químicas y biológicas (Martínez, 2005). Debe tenerse en cuenta la pérdida de zonas ecotonales asociadas a los cauces en donde varían las dinámicas tróficas y alteran las comunidades acuáticas. El componente **Suelo**, se considera en esta evaluación que es el mas afectado debido a que se genera la pérdida parcial o total de la protección superficial del suelo al remover la cobertura vegetal, provocando una disminución en su capacidad de retener y liberar (regulación del ciclo hidrológico) el agua y de almacenar carbono orgánico aumentando los procesos erosivos que junto al cambio de uso de la tierra alteran los horizontes del suelo, particularmente el horizonte orgánico el cual posee una considerable profundidad aproximadamente de tres metros según Hofstede

(2003), también al retirar la cubierta vegetal hay mayor incidencia de la luz lo cual ocasiona un incremento en la temperatura del suelo y hace que se seque generando reducción en la velocidad de los procesos de descomposición, modificando las características físicas, químicas y biológicas, ocasionando pérdida de nutrientes, además, el fuego favorece la formación de sales en el suelo paramuno impidiendo la asimilación de nutrientes por la vegetación, como resultado de estos impactos el suelo pierde capacidad de producción, que se manifiesta en que cada día hay que aplicarle grandes cantidades de agroquímicos para lograr cosechas optimas (Van Der Hammen, 2002), esto puede tratarse de perdida de nutrientes, acidificación, salinización, sodificación como también por degradación física por la presencia de procesos erosivos por malas practicas de manejo agropecuario permitiendo una perdida progresiva de fertilidad del suelo debido al desgaste que se da por el arrastre del material que lo compone (Joaquí, 2005) que con el tiempo se manifiesta en aparición de cárcavas que hacen que el proceso de regeneración de pastos sea casi imposible (Problemática de la utilización del suelo. Concepto degradación, 2005). Es importante señalar que la oferta de los suelos podría verse afectada en su parte biótica en especial la edafofauna y la flora al transformarse las coberturas vegetales ya sea para uso en agricultura o ganadería.

9.6.2 Subsistema Biótico

La expansión de la frontera agropecuaria trae consigo especiales impactos sobre el medio como se señaló anteriormente en el subsistema abiótico, pero esta sinergia de sucesos o impactos que se presentan traen consecuencias sobre los demás componentes que conforman el sistema, como el caso que corresponde a este capitulo, en donde el factor flora se ve afectado por la deforestación y demás actividades que se utilizan para adecuar un área para uso agropecuario generando un efecto significativamente adverso porque se pierde gran cantidad de vegetación autóctona, y por ende perdida selectiva de diversidad de especies,

pérdida de hábitats y nichos lo cual hace que se modifiquen los procesos sucesionales generando cambios en el control de la evapotranspiración (Figueroa et al. 1998).

El cambio de uso de los suelos es considerado por Telburgh (1989) como uno de los causantes de modificaciones en el ambiente biótico, en donde se altera la composición, estructura y función original de un sistema, creándose bordes sobre los hábitats y una pérdida de conectividad, teniendo como referencia estas causas las dinámicas poblacionales serán muy diferentes y estos factores afectan la composición y abundancia de especies de un ecosistema e incrementa su vulnerabilidad (Whitcom et al, 1981). El desplazamiento de especies animales es muy importante resaltarlo porque al perderse los hábitats y nichos producto de la deforestación principalmente y teniendo en cuenta que la vegetación es un factor importante en la supervivencia de la fauna, el efecto que se causa sobre este componente es significativo adverso porque se genera la modificación de relaciones interespecíficas del ecosistema; favoreciendo la aparición de especies oportunistas y el cambio en la estructura de las comunidades establecidas por la pérdida de especies endémicas tanto terrestres como acuáticas y por lo tanto modificación en la diversidad de especies. Este componente tiene un valor importante.

9.6.3 Subsistema Cultural

La cobertura vegetal es indispensable a la hora de determinar un paisaje, de modo que el cambio de uso del suelo por la deforestación causa sobre este sistema un efecto significativo adverso porque se esta modificando la cuenca visual o patrón visual por otro totalmente ajeno y condicionado al uso respectivo que se le da que en este caso es la ganadería y la agricultura, lo cual hace que su calidad escénica se pierda, tal vez porque no somos concientes de la importancia de estos

ecosistemas altoandinos no solo por su condición en la regulación de agua o por albergar gran diversidad biológica sino que también por su amplio valor cultural.

9.6.4 Subsistema Social

En la zona de estudio se nota la gran oferta de empleo para la población asentada, de la cual son beneficiados ya sea por las grandes extensiones de cultivos de papa en la que requieren amplias cantidades de personal tanto para la adecuación de áreas para sembrar como también a la hora de su mantenimiento (aplicación de abonos) y su posterior cosecha lo cual se concibe como un efecto significativo benéfico. También son beneficiados por las prácticas pecuarias (ordeño y venta de leche, ceba), capítulo importante en la economía del sector en donde actúan como mayordomos de los grandes hacendados y otros que tienen su propio terreno practican estas mismas actividades incentivados por la aparente mejora de ingresos.

Cada vez es mayor, la expansión de la frontera agrícola y pecuaria confirman cierto número de habitantes que fueron encuestados, todo porque resulta en una mayor producción, el incrementar la superficie de terreno aprovechada.

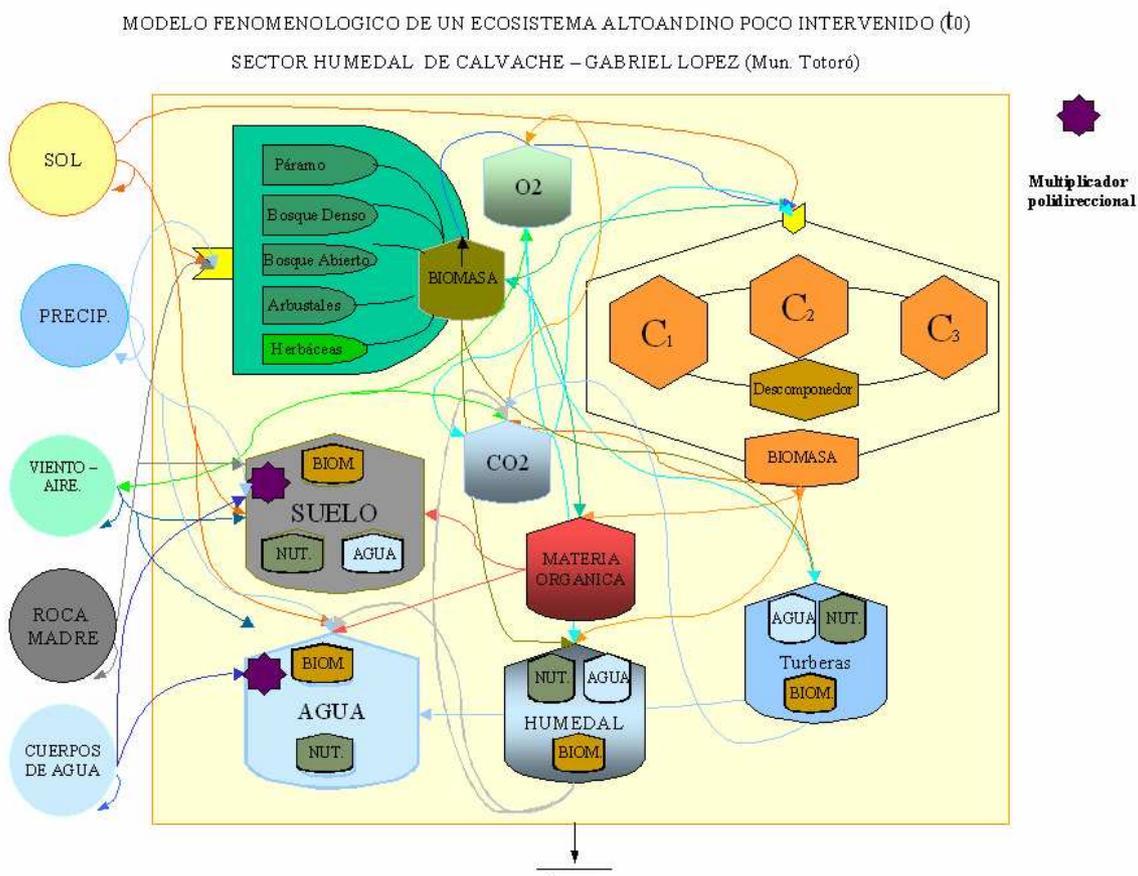
9.6.5 Subsistema Sociopolítico

La expansión de áreas productivas genera un efecto adverso sobre la actividad humana del sector porque cada vez se requiere mas entradas o recursos para satisfacer las necesidades básicas de la población lo cual hace que se tomen mas áreas para adecuarlas a la producción agropecuaria sin importar los daños que se le puedan generar al ecosistema es decir sin una adecuada planificación y por ende se requiere mas demanda de servicios, en lo que corresponde a la adecuación de vías y accesibilidad el efecto es significativo benéfico porque se pueden movilizar y transportar con facilidad sus productos.

9.8 Modelos Fenomenológicos para las tensiones asociadas al ecosistema altoandino.

Lo que se abordó anteriormente en la matriz de Fearo, ahora se puede visualizar en los dos modelos fenomenológicos realizados para la zona de estudio, en donde como primera instancia (figura 30), se tiene un ecosistema altoandino poco intervenido con sus dinámicas ecológicas.

Figura 30 Modelo Fenomenológico de un ecosistema altoandino poco intervenido – Sector Humedal de Calvache – Gabriel López. Totoró.

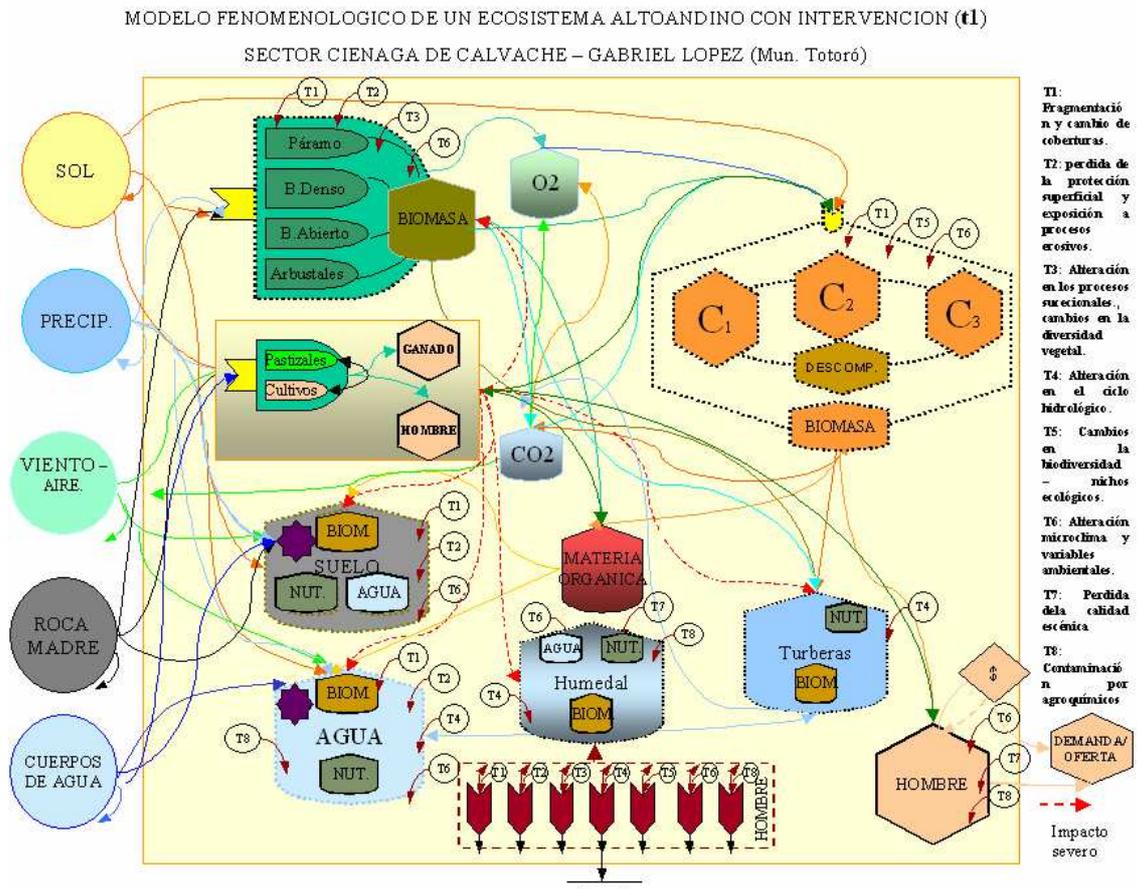


El segundo modelo (t₁) (figura 31), presenta las tensiones asociadas al proceso de fragmentación y cambio de coberturas ocurridas en un ecosistema altoandino, en donde se han presentado modificaciones en el ambiente físico-biótico alterando

las relaciones del sistema y por tanto las sinergias existentes entre sus componentes, las alteraciones se muestran gráficamente con entrelíneas.

Para este sistema se identificaron las siguientes tensiones: (T1) Esta tensión corresponde a la fragmentación y cambio de coberturas el cual afecta directamente todos los componentes del sistema, permitiendo que se de una pérdida de la protección superficial y exposición a procesos erosivos que corresponde al (T2), con estas dos tensiones lo que se esta generando es una alteración en los procesos sucesionales y unos cambios en la diversidad vegetal (T3), provocando una modificación en la estructura de las comunidades, disminución de la oferta del hábitats disponibles y comprometiendo de esta manera a la producción primaria de un ecosistema, el control de evapotranspiración y la modificación del ciclo hidrológico (T4), afectando de cierta manera al componente fauna porque se presentan cambios en la biodiversidad y alteración de los nichos ecológicos (T5). En cuanto al paisaje en general se presenta una alteración del microclima y variables ambientales propias del ecosistema altoandino (T6), además de que se pierde la calidad escénica (T7).

Figura 31 Modelo Fenomenológico de un ecosistema altoandino intervenido – Sector Humedal de Calvache – Gabriel López. Totoró.



10 CONCLUSIONES

- ❖ La ecología del paisaje permitió, en este trabajo, el estudio de la fragmentación y cambio de coberturas vegetales en un ecosistema altoandino, caracterizando integralmente el medio biofísico y consolidando a la cobertura vegetal como un factor determinante a la hora de analizar los cambios en las dinámicas ecológicas del ecosistema mediante la caracterización de las relaciones corológicas del sistema dado.
- ❖ La metodología implementada permite emplear productos espaciales en escalas afines minimizando los errores que puedan afectar los resultados y el análisis de los mismos de igual forma se corrobora que un periodo de 20 años (1979,1987 y 1999) es adecuado para establecer los cambios o tendencias de las coberturas de interés en el área definida.
- ❖ El análisis de fragmentación utilizando el índice numero de fragmentos (NP) a nivel de clases encontró una notable reducción de los fragmentos correspondientes a bosque denso, frailejonales y pajonales presentando un comportamiento inverso al presentado por cultivos, pastos y en menor proporción arbustales; en donde se da un incremento en el numero de fragmentos durante las tres temporalidades, por lo tanto las coberturas intervenidas se están expandiendo hacia lugares de importancia ecológica en el ecosistema altoandino.
- ❖ En el índice de Área total para cada clase (CA), se encontró que las coberturas pertenecientes a bosque denso y páramo, se están reduciendo en cuanto área (ha), permitiendo el paso de otras coberturas pertenecientes a tipo antrópico como es el caso de los cultivos que paso de 34.85 (ha) en el año 1979 a 542.99 (ha) en el año de 1999; hecho que confirma lo enunciado en el capítulo anterior correspondiente al aumento en numero de fragmentos.

- ❖ En el cambio de cobertura se encontró diferencias estadísticamente significativas a una probabilidad de 0.95, entre áreas naturales y antropizadas para el periodo de 1979 –1999.
- ❖ Con respecto al comportamiento de las coberturas de tipo antrópico se encontró pérdida en las áreas ocupadas por los pastizales producto de su reemplazo por áreas de cultivo, esto se debe principalmente a la transitoriedad que se presenta por ser un sistema donde prima actualmente la producción agrícola.
- ❖ Las coberturas naturales han reducido el área ocupada de forma significativa producto de la expansión de la frontera agrícola y pecuaria, en este sentido el bosque abierto, bosque denso, frailejónal y humedal de Calvache han sido transformados parcialmente en pastizales y cultivos.
- ❖ La mayor ganancia de cobertura en el periodo analizado fue para la cobertura de tipo antrópico cultivos, con un incremento del 1458.07%. Ganancia significativa comparada con el resto de las coberturas, de esta forma se afirma que el mosaico posee una matriz de tipo antrópico.
- ❖ Las observaciones hechas en campo corroboraron y determinaron que la causa más importante de la fragmentación de este ecosistema altoandino, ubicado en el corregimiento de Gabriel López, municipio de Totoró es la expansión de las actividades agropecuarias (agricultura y ganadería).
- ❖ En el ecosistema altoandino comprendido en la zona de estudio se observó que existe un predominio de zonas de medianamente a fuertemente modificadas originadas por la intensidad de diferentes actividades antrópicas. La fuerte presión

que están sufriendo las zonas de bosques densos, humedal y el páramo permiten que el paisaje altoandino pierda calidad escénica convirtiéndose en un paisaje antrópico.

- ❖ La información obtenida a través de sensores remotos y metodologías para hacer predicciones, permite detectar problemas relacionados con la problemática espacial causado por los cambios de uso de la tierra, además facilitan determinar las tendencias de los cambios. Los resultados generados dan la posibilidad de elaborar diagnósticos previos o durante el desarrollo de los eventos, permitiendo una mejor orientación del mejor uso del territorio de tal forma que se contribuya al diseño de reglamentaciones acordes con la realidad socio – económica, físico y natural.

- ❖ La expansión de las áreas productivas esta limitada actualmente por la existencia de pendientes fuertes, evidenciando la influencia de las condiciones abióticas (oroográficas) sobre el establecimiento de áreas productivas; sin embargo y como se identifica en las proyecciones al año 2019, se prevé el reemplazo de aproximadamente el 50% de las coberturas naturales por actividades antrópicas.

- ❖ Considerando los resultados encontrados se valida que **Los patrones antrópicos generan cambios en la composición y grado de cobertura de las unidades presentes en el paisaje, incrementado la heterogeneidad del ensamblaje estudiado, comportándose de forma inversa a los patrones naturales.**

11 RECOMENDACIONES

- ❖ Los entes encargados de realizar prevención y protección en esta zona de importancia ecológica, paisajística e hídrica del nor-orienté caucano, deben tener en cuenta los cambios de uso del suelo, áreas más fragmentadas y los patrones de cambio para que sean tenidos en cuenta a la hora de hacer los Planes de Ordenamiento Territorial.
- ❖ Se debe realizar un análisis con mayor detalle sobre la composición de las comunidades vegetales en la zona de estudio.
- ❖ Dar continuidad al desarrollo de estas investigaciones sobre todo en los ecosistemas altoandinos, por su condición de productores de agua y por ser ecosistemas de gran fragilidad ambiental.
- ❖ Para procesos de investigación futura, que se desarrollen en la zona, deben atenderse los diferentes acuerdos que se dan tanto de comunidades campesinas, colonos e indígenas en cuanto a la protección de estas áreas de importancia global.
- ❖ Los resultados de este trabajo deben considerarse como insumos en los Planes de Gestión Ambiental Territorial, Planes de Manejo Ambiental, procesos de ordenamiento territorial y afines, dada su incidencia para la gestión integral de los recursos naturales en estos ecosistemas.

12 BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR Claudia; E. Martínez y Laura Arriaga. 2000. Deforestación y fragmentación de ecosistemas: que tan grave es el problema en México?. Biodiversitas, año 5. # 30.

AGUILAR, M. & RANGEL, O. 1996. Clima de alta montaña en Colombia en "El páramo ecosistema a proteger". Serie montañas tropo andinas Volumen II.

ALCAZAR, Carolina. Evaluación de la vegetación y análisis multitemporal de dos fragmentos de bosque subandino en el valle interandino del río Cauca, municipio de Popayán, Colombia. Popayán. 2003, 140 p. Trabajo de grado (Bióloga). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación.

ALVEAR, Nilsa Lorena. Análisis espacio-temporal del proceso de fragmentación en la parte media de la cuenca del río Palacé. 2006. 106 p. Trabajo de grado (Bióloga). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación.

ANDRADE, Ángela."La zonificación ecológica como base para estudio integral del paisaje y la planificación del uso de las tierras". En : Revista Informática SIG-PAFC. Año1, número 2, mayo de 1994, Santa Fé de Bogotá, 1994.

ARANGO, M.2002. Clasificación no supervisada de coberturas vegetales sobre las imágenes satelitales digitales de sensores remotos LANDSAT-ETM". Escuela de sistemas de la universidad nacional, sede Medellín Colombia 2002

ASTUDILLO GOMEZ, Sandra Rocío y SALAZAR PIEDRAHITA, Rocío Lorena. Uso y manejo de los recursos vegetales en agroecosistemas de la zona de amortiguamiento del Páramo de Guanacas en los Municipios de Totoró e Inzá. Popayán 1998. 108 p Trabajo de grado (Licenciatura en ciencias de la educación, especialidad Biología). Universidad de Cauca Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación.

CARABIAS, J. PROVENCIO, E y TOLEDO, C. Manejo de los Recursos Naturales y Pobreza Rural. México: Bacardi,1994.138p.

C.V.C y IGAC. Estudio General de Suelos de la Región Nororiental del departamento del Cauca. 1982.

CUATRECASAS, J. Aspectos de la Vegetación Natural de Colombia. Vol.10,1958. p 248-253.

CUSHMAN, S. A., and K. McGarigal. (In press). Patterns in the species-environment relationship depend on both scale and choice of response variables. *Oikos* 105:117-124

CHIAPY C, GAMA L (2004) Modificaciones y fragmentación de los geocomplejos tropicales de la península de Yucatán. Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica. División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco,2004.

CHUVIECO, Emilio. Fundamentos de Teledetección Espacial. Madrid España,1990.448p.

DANE. Sistemas de información del sector Agropecuario colombiano SISAC . Encuesta Nacional agropecuaria, resultados 1995. Bogotá, 1996

DIAZ IBARRA, Sandra Liboria. Caracterización de las comunidades vegetales del páramo Doña Juana, Cordillera Centro-Oriental de los Andes Colombianos. Popayán 2003. 118 p Trabajo de grado (Biólogo). Universidad de Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. Departamento de Biología.

DI CASTRI, F. and HADLEY, M. 1988. Enhancing the credibility of ecology: interacting along and across hierarchical scales. *Geojournal* 17: 5 – 35

DIRZO, R. y M. C. García. 1992. Rates of deforestation in los Tuxtlas, a neotropical area in southeast México. *Conservation Biology* 6 (1): 84 - 90

ETTER, Andrés. Introducción a la Ecología del Paisaje para levantamientos Rurales. Bogotá,1990.

FIGUEROA, A. CONTRERAS, R. y SÁNCHEZ, J. Evaluación de impacto ambiental; Un instrumento para el desarrollo, Centro de estudios ambientales para el desarrollo regional (CEADES) . Corporación Universitaria Autónoma de Occidente. Cali Colombia,1998.

FORMAN, R. T. T & GODRON, M. 1986. Landscape ecology. J. Wiley & Sons, Ney Yrok.

FORMAN, Richard T.T. and GODRÓN, Michel. Patches and Structural components for a landscape ecology. En: BioScience. Vol. 31 (1981); p. 733 - 140.

GONZALEZ, A y CORTES, A; (1982). Estudio general de suelos de la región nor Oriental del departamento del Cauca.

GOMEZ, A et al. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Secretaria de agricultura y Ganadería del Cauca, Unidad Regional de Planeación Agropecuaria URPA, Evaluaciones Agropecuarias por Consenso, Primer Semestre de 1997. Popayán, Cauca, 1997.

HALFFTER, G. y ESCURRA, E. 1992. Què es la biodiversidad? En: G. Halffter (ed.). La diversidad biológica de Iberoamérica. Pp. 3-24. Acta Zool. Mex., CYTED-D, Volumen especial, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Xalapa, México.

HARRIS, L. The Fragmented Forest: Island Biogeography Theory and the Preservation of Biotic Diversity. Chicago: University of Chicago. 1984.

HOLDRIDGE, L.R. Ecología Basada en Zonas de Vida. San José, Costa Rica: IICA. 1978.

IDEAM. Sistema de información Ambiental de Colombia, tomo 2 SIAG; Primera generación de indicadores de la línea base de la información ambiental Colombia; julio de 2002

IDEAM. Mapa de coberturas vegetales, uso y ocupación del espacio en Colombia. Bogotá, 1996

IGAC. Revista informática del proyecto SIG PAFC. RSC publicidad Ltda. Dic. 1996.

IGAC. Estudio general de los suelos de la región nororiental del departamento del Cauca. IGAC Bogotá D.E 1982.

IGAC. Conflictos de usos de la tierra en Colombia. Bogotá 2002.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE RECURSOS BIOLÓGICOS; ALEXANDER VON HUMBOLD. Programa inventarios de Biodiversidad-Grupo de Exploración y Monitoreo Ambiental (GEMA). Manual de Métodos para el desarrollo de inventarios de Biodiversidad. Bogotá D.E julio 2004. p 71-83.

JOAQUÍ DAZA, Samir Carlos. Análisis multitemporal de coberturas vegetales para ecotopos paramunos caracterizando las intervenciones antrópicas, en una ventana del Parque Nacional Natural Puracé. Popayán 2005. 188p Trabajo de grado (Biólogo). Universidad de Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. Departamento de Biología.

LORD, J. and D. NORTON. 1990. Scale and the spatial concept of fragmentation. *Conservation Biology* 4: 197 – 202.

MARTINEZ I, Juan Pablo. Estudio espacio-temporal del proceso de fragmentación en la zona nor-oriental del Parque Nacional Natural Puracé, mediante el análisis de las comunidades vegetales. Popayán 2005. 127p Trabajo de grado (Biólogo). Universidad de Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. Departamento de Biología.

MCGARIGAL, K., and S. CUSHMAN. (Submitted). The gradient concept of landscape structure: or, why are there so many patches? *Landscape Ecology*.

McGARIGAL, Kevin. and CUSHMAN, Samuel. Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation effects. En: *Ecological Applications*. Vol. 12, No. 2 (2002); p. 335-345.

MCGARIGAL, K., and B. J. MARKS. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. PNW-351.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. PARAMOS; Programa para el manejo sostenible y restauración de ecosistemas de la alta montaña colombiana: PÁRAMOS. Bogotá, DC., Diciembre de 2001 (versión final)

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE-IDEAM. Páramos y Ecosistemas Alto Andinos de Colombia en condición Hot spot y Global Climatic Tensor. Colombia 2002

MOTA, M. T. Régimen de aprovechamiento del bosque natural y sistemas de usos forestales. PNUD DNP. Bogotá, 1992.

MOLANO, J. 1996. Problemática ambiental del páramo andino en “El Páramo ecosistema a proteger”. Serie montañas tropoandinas. Volumen II.

MOLINILLO, M. y M. MONASTERIO. 2002. Patrones de vegetación y pastoreo en ambientes de Páramo. Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas(ICAE), Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

MORENO, Claudia. Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA, Vol. 1. Zaragoza, 84 p. [Disco]. 2001. Aailed from: <<http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/mt1.htm>.

MUÑOZ, Fernando A. Evaluación de susceptibilidad a la erosión en dos tipos de agroecosistemas altoandinos en la cuenca del río Palacé. 2007. 74 p. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación.

MURCIA C. Edge effects in fragmented forest: implications for conservation. En: Tree. Vol. 10 (1995); p. 58-62.

NOSS, R. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. Conservation Biology. 4:355-364.

PARRA-S, Rodolfo; MARULANDA-O, Jonh y ESCOBAR-M, John Fernando. Sistemas de Información Geográfica Base de la Gestión Ambiental. Proyecto de Sistemas de información Geográfica. Medellín, 1997, 188 p. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Ciencias Forestales.

PIERCE, N. 1985. Conservation strategy the effects of fragmentation on extinction. Am. Nat. 125: 879 – 887.

RANGEL, Orlando. Colombia Diversidad Biótica III: la Región de la Vida Paramuna. Bogotá: Unibiblos, 2000. 902 p. ISBN 958-701-010-8.

RANGEL-Ch., J. Orlando. Colombia diversidad Biótica III. La región de vida paramuna. Santafé de Bogotá: Instituto de Ciencias Naturales-Alexander Von Humboldt, 2000b. p.85-120.

_____. La región paramuna y franja aledaña en Colombia. En: _____. Colombia Diversidad Biótica III. La región de vida paramuna. Santafé de Bogotá: Instituto de Ciencias Naturales-Alexander Von Humboldt, 2000b. p. 70-80

_____ y STURM, Helmut. Identificación de prioridades para la Gestión ambiental en ecosistemas de páramos, sabanas, zonas áridas y humedales de agua dulce. En: Geoingeniería-MMA, 1999.

_____; LOWY, Peter y AGUILAR Mauricio. Distribución de los tipos de vegetación en las relaciones naturales de Colombia: Aproximación inicial. En: _____. Colombia Diversidad Biótica II. Santafé de Bogotá: Instituto de Ciencias Naturales-Universidad Nacional de Colombia, 1997. p. 383-436.

_____ y GARZON, Aida. Macizo Central Colombiano. En : RANGEL-Ch, J. Orlando. Colombia Diversidad Biótica I. Santafé de Bogotá: Instituto de Ciencias Naturales-Universidad Nacional de Colombia, 1995a. p. 171-183.

_____ y LOZANO, Gustavo. Un perfil de la vegetación entre la plata (Huila) y el Volcán Puracé. En: Caldasia. Vol. 14, No. 68/70 (jun. 1986);p. 504-547.

RESTREPO, Gloria y VELASCO, Álvaro. Cartografía Social. Guía Metodológica para incorporar los usos forestales y agroforestales del suelo en los planes de ordenamiento territorial. Santafé de Bogotá, 1998.

SAUNDERS, D. A., HOBBS, J. and MARGULES C. R. 1991. Biological consequences of ecosystems fragmentation: a Review. Conservation Biology. 5: 18 – 32

STURM, Helmut y RANGEL-Ch, Orlando. Ecología de los páramos andinos. Una visión preliminar integradora. Bogotá: Instituto de Ciencias Naturales-Museo de Historia Natural, 1985. 292p.

TERBORGH, J. 1992. Maintenance of diversity in tropical forests. Biotropica 24: 283 - '292.

UNIVERSIDAD DEL CAUCA Y CRC; Estudio de las corrientes superficiales de la meseta de Popayán y su potencial hídrico, corriente Palacé, 157 p, Instituto de Postgrados en Vías e Ingeniería Civil, Departamento de Hidráulica. Popayán agosto 1994.

VEGA, E. Y MARTINEZ, E. Productos económicamente sustentables y servicios ambientales del páramo. Quito: GTP/Abya Yala, 1999.(Serie páramo; no.4.)

VAN DER HAMMEN, T. A. Dos Santos (Eds). 1995. La cordillera central colombiana transecto Parque los Nevados (tercera parte). Volumen 4.

WILSON, E. O. 1992. The diversity of Life. W. W. Northon & Company, New York, New York.

ZONNEVELD, I. The land unit - A fundamental concept in landscape ecology, and its applications. En: Landscape Ecology. Vol. 3, No. 2 (1989); p. 67-86.

ANEXOS

Anexo 1 Listado de especies encontradas asociadas a cada tipo fisonómico trabajado

CODIGO	ESPECIE	TIPO FISONOMICO
WJTB040	<i>Plagiochila sp.1</i>	Bosque Altoandino
WJTB048	<i>Lepicolea pruinosa (Taylor) Spruce</i>	Bosque Altoandino
WJTB042	<i>Alloplectus weirii (Kuntze) Wiehler</i>	Bosque Altoandino
WJTB007	<i>Pilea fallax</i> Wedd.	Bosque Altoandino
WJTB060	<i>Peperomia sp.</i>	Bosque Altoandino
WJTB059	<i>Masdevallia affinis</i> Lindl.	Bosque Altoandino
WJTB038	<i>Nertera granadensis (Mutis ex L. f.) Druce</i>	Bosque Altoandino
WJTB053	<i>Bomarea linifolia (Kunth) Baker</i>	Bosque Altoandino
WJTB028	<i>Calceolaria perfoliata</i> L. f.	Bosque Altoandino
WJTB013	<i>Pilea sp.</i>	Bosque Altoandino
WJTB018	<i>Elaphoglossum stenoglossum</i> Mickel	Bosque Altoandino
WJTB035	<i>Guzmania candelabrum (André) André ex Mez</i>	Bosque Altoandino
WJTB049	<i>Hymenophyllum trichophyllum</i> Kunth	Bosque Altoandino
WJTB047	<i>Pleurothallis sp.2</i>	Bosque Altoandino
WJTB003	<i>Blechnum fragile (Liebm.) C.V. Morton & Lellinger</i>	Bosque Altoandino
WJTB022	<i>Pleurothallis sp.1</i>	Bosque Altoandino
WJTB027	<i>Anthurium hygrophilum</i> Engl.	Bosque Altoandino
WJTB029	<i>Greigia sp.</i>	Bosque Altoandino
WJTB054	<i>Tillandsia pastensis</i> André	Bosque Altoandino
WJTB052	<i>Blechnum cordatum (Desv.) Hieron.</i>	Bosque Altoandino
WJTB009	<i>Anthurium bogotense</i> Schott	Bosque Altoandino
WJTB011	<i>Asplenium serra</i> Langsd. & Fisch.	Bosque Altoandino
WJTB012	<i>Cyathea sp.2</i>	Bosque Altoandino
WJTB032	<i>Cyathea sp.1</i>	Bosque Altoandino
WJTB044	<i>Munnozia senecionidis</i> Benth.	Bosque Altoandino
WJTB020	<i>Myrsine coriacea (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult.</i>	Bosque Altoandino
WJTB045	<i>Brunellia sp.</i>	Bosque Altoandino
WJTB034	<i>Macrocarpea pachyphylla</i> Gil	Bosque Altoandino
WJTB046	<i>Axinea sp.</i>	Bosque Altoandino
WJTB023	<i>Miconia porphyrotricha (Markgr.) Wurdack</i>	Bosque Altoandino
WJTB017	<i>Axinaea macrophylla (Naudin) Triana</i>	Bosque Altoandino
WJTB016	<i>Miconia sp.4</i>	Bosque Altoandino
WJTB033	<i>Neurolepis sp.</i>	Bosque Altoandino
WJTB014	<i>Palicourea heterochroma</i> K. Schum. & K. Krause	Bosque Altoandino
WJTB026	<i>Geissanthus sp.</i>	Bosque Altoandino

WJTB057	<i>Cyathea sp.3</i>	Bosque Altoandino
WJTB037	<i>Solanum sp. 2</i>	Bosque Altoandino
WJTB043	<i>Clethra ovalifolia</i> Turcz.	Bosque Altoandino
WJTB024	<i>Pentacalia arborea</i> (Kunth) H. Rob. & Cuatrec.	Bosque Altoandino
WJTB041	<i>Ruagea hirsuta</i> (C. DC.) Harms	Bosque Altoandino
WJTB025	<i>Schefflera bejucosa</i> Cuatrec.	Bosque Altoandino
WJTB050	<i>Cyathea straminea</i> H. Karst.	Bosque Altoandino
WJTB055	<i>Viburnum triphyllum</i> Benth.	Bosque Altoandino
WJTB061	<i>Solanum sp. 1</i>	Bosque Altoandino
WJTB010	<i>Miconia sp.3</i>	Bosque Altoandino
WJTB019	<i>Chusquea sp.</i>	Bosque Altoandino
WJTB056	<i>Hedyosmun sp.</i>	Bosque Altoandino
WJTB015	<i>Piper montanum</i> C. DC.	Bosque Altoandino
WJTB021	<i>Miconia sp.3</i>	Bosque Altoandino
WJTB031	<i>Maytenus novograntensis</i> Cuatrec.	Bosque Altoandino
WJTB005	<i>Tibouchina mollis</i> (Bonpl.) Cogn.	Bosque Altoandino
WJTB030	<i>Palicourea amethystina</i> (Ruiz & Pav.) DC.	Bosque Altoandino
WJTB058	<i>Ocotea sericea</i> Kunth	Bosque Altoandino
WJTB051	<i>Hedyosmun sp.</i>	Bosque Altoandino
WJTB036	<i>Myrsine sp.</i>	Bosque Altoandino
WJTB004	<i>Notopleura marginata</i> (Benth.) Bullock	Bosque Altoandino
WJTB001	<i>Hesperomeles ferruginea</i> (Pers.) Benth.	Bosque Altoandino
WJTB006	<i>Weinmannia pubescens</i> Kunth	Bosque Altoandino
WJTB008	<i>Tibouchina mollis</i> (Bonpl.) Cogn.	Bosque Altoandino
WJTB002	<i>Weinmannia rollottii</i> Killip	Bosque Altoandino
WJTB039	<i>Clusia multiflora</i> Kunth	Bosque Altoandino
WJTB072	<i>Hymenophyllum sp.</i>	Arbustal
WJTB089	<i>Campylopus subcuspidatus</i> (Hampe) A jaeger	Arbustal
WJTB102	<i>Rhynchostegiopsis tunguraguana</i> (Mitt) Broth	Arbustal
WJTB096	<i>Sticta sp.</i>	Arbustal
WJTB093	<i>Chorisodontium mitternii</i> (Mull Hal.)Broth.	Arbustal
WJTB092	<i>Cladina confusa</i> (R.Santesson) Follmann & Ahti.	Arbustal
WJTB062	<i>Hieracium sp.</i>	Arbustal
WJTB064	<i>Sphagnum magellanicum</i> Brid.	Arbustal
WJTB101	<i>Plagiochylla sp.2</i>	Arbustal
WJTB104	<i>Epidendrum sp.3</i>	Arbustal
WJTB079	<i>Elaphoglossum sp.</i>	Arbustal
WJTB083	<i>Brachionidium parvifolium</i> (Lindl.) Lindl.	Arbustal
WJTB094	<i>Elaphoglossum sp.</i>	Arbustal
WJTB098	<i>Epidendrum sp.</i>	Arbustal
WJTB063	<i>Blechnum auratum</i> (Fée) R.M. Tryon & Stolze	Arbustal
WJTB068	<i>Epidendrum torquatum</i> Lindl.	Arbustal
WJTB100	<i>Epidendrum sp.</i>	Arbustal
WJTB099	<i>Elleanthus kermesinus</i> (Lindl.) Rchb. f.	Arbustal
WJTB076	<i>Blechnum sp.</i>	Arbustal

WJTB080	<i>Vaccinium sp.2</i>	Arbustal
WJTB071	<i>Vaccinium meridionale</i> Sw.	Arbustal
WJTB090	<i>Ilex sp.2</i>	Arbustal
WJTB070	<i>Diplostegium floribundum</i> (Benth.) Wedd.	Arbustal
WJTB085	<i>Miconia sp.2</i>	Arbustal
WJTB073	<i>Monina fastigiata</i> (Bonpl.) D.C	Arbustal
WJTB091	<i>Bomarea setacea</i> (Ruiz & Pav.) Herb.	Arbustal
WJTB074	<i>Bomarea sp.</i>	Arbustal
WJTB075	<i>Ilex sp.1</i>	Arbustal
WJTB103	<i>Thibaudia floribunda</i> Kunth	Arbustal
WJTB097	<i>Miconia theaezans</i> (Bonpl.) Cogn.	Arbustal
WJTB087	<i>Macrocarpea sp.</i>	Arbustal
WJTB088	<i>Macleania rupestris</i> (Kunth) A.C. Sm.	Arbustal
WJTB095	<i>Macrocarpea pachyphylla</i> Gil	Arbustal
WJTB086	<i>Gaiadendron punctatum</i> (Ruiz & Pav.) G. Don	Arbustal
WJTB065	<i>Diplostegium bicolor</i> S.F. Blake	Arbustal
WJTB069	<i>Tibouchina grossa</i> (L. f.) Cogn.	Arbustal
WJTB067	<i>Disterigma sp.</i>	Arbustal
WJTB078	<i>Weinmannia mariquitae</i> Szyszyl.	Arbustal
WJTB084	<i>Elleanthus ensatus</i> (Lindl.) Rchb. f.	Arbustal
WJTB082	<i>Chusquea sp.</i>	Arbustal
WJTB066	<i>Clusia ellipticifolia</i> Cuatrec.	Arbustal
WJTB077	<i>Hediosmun parvifolium cardenoy</i>	Arbustal
WJTB081	<i>Miconia sp.1</i>	Arbustal
WJTB115	<i>Oreobolus goeppingeri</i> Suess.	Frailejona - Pajonal
WJTB120	<i>Sphagnum sancto-josephense</i> H.A. Crum & Crosby	Frailejona - Pajonal
WJTB118	<i>Disterigma empetrifolium</i> (Kunth) Drude	Frailejona - Pajonal
WJTB106	<i>Lycopodium clavatum</i> L.	Frailejona - Pajonal
WJTB110	<i>Gentianella sp.</i>	Frailejona - Pajonal
WJTB111	<i>Lupinus sp.</i>	Frailejona - Pajonal
WJTB119	<i>Jamesonia sp.</i>	Frailejona - Pajonal
WJTB108	<i>Pernettya prostrata</i> (Cav.) DC.	Frailejona - Pajonal
WJTB117	<i>Hipericum sp.1</i>	Frailejona - Pajonal
WJTB121	<i>Blechnum loxense</i> (Kunth) Hook. ex Salomon	Frailejona - Pajonal
WJTB105	<i>Calamagrostis sp.</i>	Frailejona - Pajonal
WJTB114	<i>Hipericum sp.2</i>	Frailejona - Pajonal
WJTB122	<i>Hieracium sp.</i>	Frailejona - Pajonal
WJTB107	<i>Diplostegium rhododendroides</i> Hieron.	Frailejona - Pajonal
WJTB113	<i>Bartsia stricta</i> (Kunth) Benth.	Frailejona - Pajonal
WJTB112	<i>Arcytophyllum muticum</i> (Wedd.) Standl.	Frailejona - Pajonal
WJTB109	<i>Vaccinium sp.1</i>	Frailejona - Pajonal
WJTB116	<i>Carex bonplandii</i> Kunth	Frailejona - Pajonal
WJTB123	<i>Espeletia sp.</i>	Frailejona - Pajonal