

**ESTUDIO ESPACIO TEMPORAL DEL PROCESO DE FRAGMENTACIÓN EN LA
ZONA NOR-ORIENTAL DEL PARQUE NACIONAL NATURAL PURACÉ,
MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LAS COMUNIDADES VEGETALES.**

JUAN PABLO MARTÍNEZ IDROBO

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
PROGRAMA DE BIOLOGÍA
POPAYÁN
2005**

**ESTUDIO ESPACIO TEMPORAL DEL PROCESO DE FRAGMENTACIÓN EN LA
ZONA NOR-ORIENTAL DEL PARQUE NACIONAL NATURAL PURACÉ,
MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LAS COMUNIDADES VEGETALES.**

JUAN PABLO MARTÍNEZ IDROBO

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

Director
APOLINAR FIGUEROA CASAS PhD

Asesores
Mg. BERNARDO RAMÍREZ
Esp. CLAUDIA VALENCIA

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
PROGRAMA DE BIOLOGÍA
POPAYÁN
2005

Nota de aceptación

Director

Apolinar Figueroa Casas. (Ph. D.)

Jurado

Mg. Diego Macias Pinto.

Jurado

Ing. For. Julio Cesar Rodríguez.

Fecha de sustentación: Popayán, 26 de Mayo de 2005.

“... De vez en cuando la vida, nos besa en la boca y a colores se despliega como un atlas, nos pasea por las calles en volanda... y nos sentimos en buenas manos”
Joan Manuel Serrat

A mis hijos Juan Camilo e Isabela por su amor perenne, por ser promesa y esperanza, pero sobre todo por permitirme dar lo mejor de mí día a día.

A Maria Fernanda mi esposa, compañera, amiga, cómplice, disidente, motivo y razón.

A mis padres Armando y Sonia por la oportunidad, la paciencia, la confianza, el apoyo, el ejemplo, enseñanzas y su amor.

A Danharry, Ana Inés y Jhon, mis hermanos por labrar una vida fraterna de respeto, ayuda y colaboración.

A mi Familia y a Ustedes.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos por el apoyo y contribución para la realización de este trabajo a:

A mis hijos Juan camilo e Isabela y mi esposa Maria Fernanda por el amor, paciencia, tiempo y apoyo.

A mis padres y hermanos, por su esfuerzo, colaboración y permanente compañía.

A mis mayores, especialmente a mis abuelos, por la sabiduría transmitida.

A mis primos y demás familiares, por ser camaradas en un esfuerzo conjunto.

A mis suegros y cuñados, por la aceptación, el respaldo y apoyo permanente.

Al Cabildo Indígena de Puracé: Por la confianza depositada y aporte con sus conocimientos del territorio y acompañamiento en las largas jornadas de campo.

A la Comunidad del Crucero (Puracé): Por su acogida y acompañamiento en las jornadas de campo.

Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales Dirección Territorial Surandina. (UAESPNN). Especialmente al Parque Puracé por el apoyo logístico permanente y acompañamiento.

Instituto de Investigaciones e Información Geocientífica Minero Ambiental y Nuclear -INGEOMINAS- Por su colaboración.

Grupo de Ingeniería Telemática - GIT - de la Universidad del Cauca, por su Colaboración.

Al maestro Apolinar Figueroa Casas. Ph.D. Docente del programa de Biología, Universidad del Cauca, Director del trabajo, por la oportunidad, amistad, enseñanzas, valiosos aportes, constante preocupación y gestión para sacar adelante esta empresa.

A mi compañero Samir Carlos Joaqui Daza Grupo de Estudios Ambientales, Universidad del Cauca. Por su amistad, oportunos y generosos aportes en la consolidación de este documento.

Mónica Patricia Valencia, Yanlika Vidal, Luisa F. Burbano y Martha Burbano: Biólogas, Grupo de Estudios Ambientales, Universidad del Cauca. Por su Amistad, y aportes a este trabajo.

Miembros del Grupo de Estudios Ambientales. Universidad del Cauca, por toda la colaboración e interés mostrado durante el desarrollo del proyecto.

Volker Heck Asp. Doctorado en ciencias Naturales Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf Heinrich-Heine-Universität Dusseldorf Alemania: Por aportes con sus conocimientos y mucha paciencia en el proyecto.

Daniel Castañeda: Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales Dirección Territorial Surandina. (U.A.E.S.P.N.N.). Por sus conocimientos y aportes para la consolidación de este trabajo.

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

Claudia C. Valencia. Especialista en SIG. Grupo de Estudios Ambientales, Universidad del Cauca. Por las enseñanzas, colaboración y apoyo técnico para el manejo de las plataformas SIG.

Ing. Juan Carlos Corrales: Grupo de Ingeniería Telemática, Universidad del Cauca, por colaboración y aportes.

Ing. Carlos Arturo León Roa: LATIN Universidad del Cauca, Por su colaboración y gestión en este proyecto.

Miembros del Énfasis en Recursos Vegetales. Programa de Biología Universidad del Cauca, por el apoyo brindado durante el desarrollo del trabajo del herbario.

Sandra L. Díaz por sus acotaciones, acompañamiento en campo y orientaciones.

Getshy Yohana Bolaños, Bióloga, Universidad del Cauca, compañera de estudio, por su docta determinación de musgos, líquenes, hepáticas.

A mis compañeros de carrera, profesores y especialmente a los jurados Mg. Diego Macias e Ing. For. Julio Cesar Rodríguez por su decidida colaboración y trascendentes aportes.

CONTENIDO

RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	13
1. JUSTIFICACIÓN	15
2. OBJETIVOS	17
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	17
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3. MARCO REFERENCIAL	18
3.1. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	18
3.1.1. ECOLOGÍA DEL PAISAJE, TEORÍAS Y PRINCIPIOS	18
Elementos del Paisaje.....	21
La Unidad de Terreno	24
3.1.2. ENFOQUES PARA ESTUDIO DEL PAISAJE EN COLOMBIA	26
Colombia y el Estudio del Paisaje	26
3.1.3. EL PROCESO DE FRAGMENTACIÓN Y SUS EFECTOS	27
Efectos de la Fragmentación en el Funcionamiento de los Sistemas Naturales.....	29
Consecuencias Ecológicas de los Bordes	31
Diversidad y Fragmentación en Colombia: Política Nacional de Diversidad	31
3.1.4. EL PÁRAMO Y SU ECOLOGÍA.....	32
Subdivisiones del Páramo.....	33
Vegetación Paramuna	34
Fauna Paramuna	35
3.1.5. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG.).....	35
Componentes de los Sistemas de Información Geográfica	36
Importancia de los SIG y su Empleo en la Gestión Ambiental	37
Procesamiento Digital de Imágenes (PDI) e Interpretación.	37

3.2.	ANTECEDENTES	38
4.	DISEÑO METODOLÓGICO	44
4.1.	HIPÓTESIS	44
4.2.	ZONA DE ESTUDIO	44
4.3.	METODOLOGÍA.....	47
4.3.1.	Metodología para estudiar la vegetación.....	47
	Muestreos de vegetación	47
4.3.2.	Empleo de los Sistema de Información Geográfica - SIG	49
	Determinación de áreas de muestreo y parámetros de interpretación.....	49
	Procesamiento Digital de Imágenes:	50
	Metodología para la Identificación de Coberturas y Comunidades Vegetales interpretando imágenes de sensores remotos.	55
5.1.1.	Metodología Empleada para Estudiar la Fragmentación.....	57
5.1.2.	Descripción de las Actividades Antrópicas.	59
	Aplicación de la Matriz de FEARO.....	60
	Consideraciones para la Elaboración de Modelos Fenomenológicos.....	61
5.2.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	62
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	64
5.1.	ESTUDIO DE LAS COMUNIDADES VEGETALES.....	64
5.2.	ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN.....	78
5.3.	CARACTERIZACIÓN DE LAS ACTIVIDADES ANTRÓPICAS	89
6.	CONCLUSIONES.....	100
7.	RECOMENDACIONES.....	103
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	104
	ANEXOS.....	118

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Área de las parcelas empleadas para el muestreo de la vegetación.	48
Tabla 2	Tonos para Coberturas en una Composición 4,5,3 de una Imagen Landsat según Chuvieco (1996).....	50
Tabla 3	Cartografía seleccionada como insumo para la elaboración de la ortofoto.....	52
Tabla 4	Procesamientos Realizados en la Suite LISA.	54
Tabla 5	Grandes Categorías de Clasificación Vegetal (Modificado de Romero y Sua, 2001).....	56
Tabla 6	Categorías de Uso del Suelo (Modificado de Romero y Sua, 2001).....	56
Tabla 7	tipos fisonómicos empleados para la clasificación de coberturas en los ortofotomapas.....	57
Tabla 8	Relación de escala y unidades de los índices empleados en la cuantificación de la fragmentación (Modificado de McGarigal y Marks, 1995)	59
Tabla 9	Coberturas vegetales identificadas para el año 1989 en la ventana de estudio a partir de imágenes LANDSAT (453).	64
Tabla 10	Coberturas vegetales identificadas para el año 1999 en la ventana de estudio a partir de imágenes LANDSAT (453).	64
Tabla 11	Cambio porcentual y medio anual de las Coberturas vegetales identificadas para el periodo 1989 - 1999 en la ventana de estudio a partir de imágenes LANDSAT (453).....	67
Tabla 12	Tipos Fisonómicos identificados para el año 1979 en el sector de San Rafael - PNN. Puracé, a partir del ortofotomapa de la zona.	69
Tabla 13	Tipos Fisonómicos identificados para el año 1987 en el sector de San Rafael - PNN. Puracé, a partir del ortofotomapa de la zona.	70
Tabla 14	Cambio porcentual y medio anual de las Coberturas vegetales identificadas para el periodo 1979 - 1987 en el sector de San Rafael a partir de fotografías aéreas.....	70
Tabla 15	Numero de géneros y especies encontradas en la zona de estudio por familias.....	74
Tabla 16	Tabla de Contingencia (X^2) para la Relación del Numero de Especies Encontradas por tipo fisonómico con niveles diferentes de intervención.	76
Tabla 17	Índice de Similitud de Jaccard.....	77
Tabla 18	Índice de disimilitud (d) para las comunidades estudiadas por tipo fisonómico.....	78
Tabla 19.	Índices de fragmentación Coberturas Vegetales generadas a partir de procesamiento de imágenes satelitales LANDSAT (453) en el año 1989.....	78
Tabla 20	Índices de fragmentación Coberturas Vegetales generadas a partir de procesamiento de imágenes satelitales LANDSAT (453) en el año 1999.....	79
Tabla 21	Índices de fragmentación Comunidades Vegetales identificadas a partir de procesamiento fotogramétrico en el año 1979.	79
Tabla 22	Índices de fragmentación Comunidades Vegetales identificadas a partir de procesamiento fotogramétrico en el año 1987.	80
Tabla 23	Matriz de FEARO para la Expansión de fronteras agrícolas y pecuarias	94
Tabla 24	Matriz de FEARO para la Extracción del bosque	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de jerarquía espacial para un ecosistema local (Frailejonal - Humedal).	21
Figura 2 Dimensiones y relaciones ecológicas del paisaje (Modificado de Zonneveld, 1989).	25
Figura 3 Ventana de procesamiento y Área de estudio.	45
Figura 4 Laguna de San Rafael – PNN. Puracé	46
Figura 5 Esquema de Procesamiento Digital de Imágenes	51
Figura 6 Proceso de elaboración de una ortofoto y su utilidad en el proyecto	55
Figura 7 Simbología empleada en la elaboración de modelos fenomenológicos (Modificado de Lugo, 1982)	62
Figura 8 Mapa de Coberturas vegetales identificadas para el año 1989 en la ventana de estudio a partir de imágenes Landsat (453).	65
Figura 9 Mapa de Coberturas vegetales identificadas para el año 1999 en la ventana de estudio a partir de imágenes Landsat (453).	66
Figura 10 áreas ocupadas por tipo de cobertura para los años 1989 y 1999	68
Figura 11 Direccionalidad de ocupación en la ventana de estudio.	69
Figura 12 Coberturas Vegetales para el año 1979 empleando fotogrametría	71
Figura 13 Coberturas vegetales para el año 1987 empleando fotogrametría.	72
Figura 14 áreas ocupadas por tipo fisonómico para los años 1979 y 1987	73
Figura 15 Numero de Géneros y especies encontradas en la zona de estudio por familias.	75
Figura 16 Grafico de anillos para variación de la cantidad de especies presentes en las coberturas bajo dos condiciones de alteración.	76
Figura 17 Numero de especies presentes y comunes por tipo fisonómico bajo dos grados de intervención.	77
Figura 18 Índice NP para el periodo 1989 – 1999 analizando imágenes Landsat TM (453)	81
Figura 19 Índice NP para el periodo 1979 – 1987 a partir de técnicas fotogramétricas.	82
Figura 20 Índice LPI para el periodo 1989 – 1999 analizando imágenes Landsat TM (453)	82
Figura 21 Índice LPI para el periodo 1979 – 1987 a partir de técnicas fotogramétricas.	83
Figura 22 Índice LSI para el periodo 1989 – 1999 analizando imágenes Landsat TM (453)	83
Figura 23 Índice LSI para el periodo 1979 – 1987 a partir de técnicas fotogramétricas.	84
Figura 24 Índice MPS para el periodo 1989 – 1999 analizando imágenes Landsat TM (453)	85
Figura 25 Índice MPS para el periodo 1979 – 1987 a partir de técnicas fotogramétricas.	85
Figura 26 Índice PROX para el periodo 1989 – 1999 analizando imágenes Landsat TM (453)	86
Figura 27 Índice PROX para el periodo 1979 – 1987 a partir de técnicas fotogramétricas.	86
Figura 28 Ganadería en el sector de San Rafael –PNN. Puracé.	90
Figura 29 Modelo Fenomenológico de un ecosistema paramuno sin Intervención – Sector Laguna San Rafael PNN. Puracé.	98
Figura 30 Modelo Fenomenológico de las Tensiones Asociadas a la Fragmentación de un Ecosistema Paramuno (Tn) - Sector Laguna De San Rafael PNN. Puracé.	99

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Relación de las especies encontradas asociadas a cada tipo fisonómico trabajado.	118
Anexo 2 Relación de Especies Amenazadas encontradas en la zona, referencia tomada de Rangel (2000).	124
Anexo 3 Caracterización de actividades Antrópicas - Expansión de frontera pecuaria.	125
Anexo 4 Caracterización de actividades Antrópicas - Expansión de frontera agrícola.	126

RESUMEN

La fragmentación resulta de la presión ejercida por el hombre sobre el medio, entre las actividades que la originan se encuentran la tala, la expansión de fronteras agrícolas ó pecuarias, entre otras. Estas intervenciones conllevan a que los hábitats naturales desaparezcan o resulten fragmentados; el deterioro del hábitat es la principal amenaza para la conservación y estudio de la biodiversidad; situación alarmante en nuestra región, donde las áreas protegidas y ecosistemas estratégicos altoandinos se ven afectados por actividades antrópicas.

El proyecto se desarrolló en el sector San Rafael, ubicado dentro del PNN. Puracé. En la ventana de trabajo se encuentran ecosistemas tales como bosques altoandinos, páramos y humedales. A partir de la caracterización de la vegetación, presente en los parches dentro del mosaico estudiado, se analizaron cambios generados por el proceso de fragmentación, el cual causó distribuciones espaciales particulares, variación en tamaño y composición de estas unidades, para obtener los datos sobre vegetación se aplicaron las metodologías propuestas por Braun-Blanquet y Gentry.

Además, con información espacial y de campo se construyeron modelos fenomenológicos y espacio-temporales empleando como herramienta los SIG, se empleó el software Fragstats para cuantificar la fragmentación.

El análisis interrelacional de los índices de fragmentación permite identificar que el cambio de uso en el suelo y los patrones aleatorios de ocupación han sido los factores desencadenantes del proceso de fragmentación en la zona, afectando principalmente las coberturas arbóreas-arbustivas; dadas las restricciones espaciales de las comunidades vegetales estudiadas el efecto de la fragmentación puede potenciarse de mantenerse la direccionalidad de ocupación y la tendencia al establecimiento de zonas de producción.

Según los datos obtenidos se puede colegir que en la zona de trabajo se presenta una alteración de las comunidades vegetales producto de la transformación del hombre, alcanzando inclusive el área protegida por el PNN. Puracé.

INTRODUCCIÓN

El hombre es uno de los principales factores transformadores de los ecosistemas, como especie tiene necesidad de satisfacer diversos requerimientos que le garanticen la subsistencia y permanencia en un ambiente dado; esto le ha obligado a moldear su entorno interviniendo y alterando las coberturas vegetales conllevando cambios en los usos del suelo y los patrones del paisaje; para dimensionar los efectos de la transformación producida debe entenderse al paisaje como un sistema natural integral en el cual el hombre es uno de los componentes.

Uno de los procesos resultantes de la presión antrópica ejercida sobre el medio es la fragmentación, alteración que se origina al talar los bosques, expandir las fronteras agrícolas y pecuarias, cambiar el uso de los suelos, entre otras.

Las intervenciones referidas afectan diferentes biomas y ecosistemas, generando la reducción total ó parcial de los hábitats naturales que son severamente fragmentados (Laurance, 2001; Gascón, 1999; Ochoa, 2001); el deterioro parcial ó la destrucción total de los hábitats son la principal amenaza para la conservación y estudio de la biodiversidad; esta situación es alarmante, mas aún, en países como Colombia donde La ecología del paisaje y biología conservacionista comienzan a ofrecer alternativas reales de manejo para áreas que son refugio de fauna y flora silvestre y cuya diversidad biótica es tan grande (Rangel, 2000; Cuatrecasas, 1989).

Los Páramos son biomas que se han expuesto de manera constante a la intervención antrópica llegando a ser afectados por la fragmentación ecosistémica (Castaño, 2001; IDEAM, 2002); investigaciones recientes han empezado a corroborar la representatividad y vulnerabilidad de los ecosistemas altoandinos contenidos en el sistema nacional de áreas protegidas particularmente frente a procesos de cambio de cobertura y fragmentación (Armenteras y Gast, 2003).

El Cauca es un departamento que posee un área significativa de paramos, situación que obliga a desarrollar investigaciones que permitan conocer los cambios y alteraciones ecosistémicas producto de la fragmentación en áreas paramunas, por esta razón el área de estudio se encuentra dentro del Parque Nacional Natural Puracé, en el sector de San Rafael¹.

Para conocer diferentes aspectos de este proceso en la zona paramuna seleccionada se realiza una caracterización de la vegetación presente en los parches dentro del mosaico a estudiar bajo dos niveles de intervención, con el fin de analizar el comportamiento de este componente ante el proceso de

¹ YASNÓ, C. *et al.* 2000.

fragmentación, el cual genera distribuciones particulares, variación en el tamaño y composición de los parches.

Para ilustrar las variantes ecosistémicas encontradas se construyeron modelos fenomenológicos y geográficos empleando Sistemas de Información Geográfica, herramientas que permiten observar el grado y escala de alteración, apoyando la concepción y formulación de propuestas de gestión para la zona.

El análisis interrelacional de los índices de fragmentación permite identificar que el cambio de uso en el suelo y los patrones aleatorios de ocupación han sido factores desencadenantes del proceso de fragmentación en la zona, afectando principalmente las coberturas arbóreas y arbustivas.

1. JUSTIFICACIÓN

La fragmentación, implica un proceso de reducción y destrucción del hábitat que ofrece un ecosistema alterando sus condiciones naturales, esta situación es considerada la mayor amenaza para la diversidad biológica.

La pérdida de hábitat es el causal más importante de la extinción de especies en los últimos tiempos, al disminuir el área y alterar la estructura de una cobertura ó ecosistema, se ve afectada la distribución del hábitat restante por la falta de continuidad.

La disposición de áreas silvestres, prístinas ó protegidas para fines particulares, como pueden ser zonas agrícolas, construcciones, pastoreo, caminos, tendidos eléctricos, entre otros, resulta en la fragmentación del hábitat original, que pasa de la continuidad, en el estado no intervenido del sistema, a una serie de parches aislados, lo cual implica que la población que vive en un hábitat original se ve reducida a un tamaño total menor, y resulta dividida en múltiples poblaciones.

El paisaje a estudiar está bajo un fuerte proceso de fragmentación, siendo particularmente grave la situación para las especies susceptibles al efecto de borde, la flora aislada, oportunista (gramíneas) y de pequeños fragmentos, no constituye una oferta importante de hábitat para diferentes especies.

El alto grado de endemismo en especies vegetales, de aves y anfibios, hace de los páramos uno de los biomas prioritarios para protección, estudios en ecología y evolución. El grado de endemismo de algunas especies es tal, que su área total a lo sumo se aproxima al centenar de kilómetros cuadrados, circunstancia que torna más complejas las acciones de conservación. La importancia de estos elementos bióticos radica en su número y distribución espacial en las zonas abiertas. Los animales emplean relictos o parches “conservados” como hábitat, fuente de alimento, sitios de paso (stepping stones) o refugio temporal al cruzar los potreros, indicando su importancia como fuente de conocimiento y recurso para las especies.

Para poder entender las consecuencias ecológicas de las diferentes intervenciones sobre estas zonas, es necesario obtener una estimación cuantitativa de la fragmentación producida, idealmente los indicadores del grado de fragmentación deberían informar sobre el número, tamaño y forma de los fragmentos, así como sobre la magnitud de las distancias que los separan (Keitt, Urban and Milne, 1997), por esta razón es necesario el empleo de los Sistemas de Información Geográfica que permiten realizar una evaluación espacial y temporal con las imágenes del área.

Atendiendo lo anterior, y en el marco normativo vigente al momento del desarrollo del presente trabajo, la política nacional de Biodiversidad contempla en su estrategia de conservación, la ejecución de medidas de conservación *in-situ* a través del sistema de áreas protegidas y la recuperación de ecosistemas degradados, que obligan al manejo de indicadores que permitan monitorear la fragmentación de ecosistemas para el seguimiento respectivo (IavH, 2002); algunos de los índices empleados coinciden con los propuestos por el Instituto Humboldt para monitorear este proceso en ecosistemas estratégicos, esto permitirá compaginar los resultados de esta investigación con otros calculados bajo la misma línea metodológica, disponiendo de información que soporta los procesos de ordenación y gestión de sistemas altoandinos protegidos y sus área de influencia.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar el proceso de fragmentación que ocurre en la zona Nor-Oriental del PNN. Puracé; analizando los cambios en las comunidades vegetales del páramo en escala espacial y temporal incluyendo las circunstancias que lo desencadenan.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la vegetación presente en los parches que se encuentren dentro del mosaico de interés.
- Estudiar la distribución, variación en tamaño y composición de los parches en el área del proyecto.
- Generar modelos fenomenológicos y geográficos temáticos (MDT) apoyados en los SIG donde se observe el grado y escala de alteración, facilitando el análisis multitemporal y espacial.
- Realizar una descripción del tipo y grado de intervención antrópica como el mecanismo relevante que conduce al proceso de fragmentación.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

3.1.1. ECOLOGÍA DEL PAISAJE, TEORÍAS Y PRINCIPIOS

La ecología del paisaje es una disciplina cuya delimitación aún no es tangible debido a sus orígenes recientes donde confluyen visiones particulares de geógrafos, biólogos, ecólogos, entre otros (Olaf 2001). La ecología del paisaje estudia la estructura, función, y cambio que se presenta en un área heterogénea de terreno compuesta por ecosistemas interactuantes (Forman y Godron 1986), considerando como la diversidad ambiental de esta extensión influye en los patrones y procesos ecológicos, incorporando su relación con las perturbaciones naturales y antrópicas.

Algunos autores señalan que lo básico de la ecología del paisaje, y lo que la diferencia de otras disciplinas, es el planteamiento que considera un espacio específico del paisaje como una entidad holística que incluye componentes heterogéneos (Pickett y Cadenasso 1995, Huston 1994, Mcgarigal y Marks 1995, Duran et al. 2002, Silva 1992, Bunce y Jongman 1993, Zonneveld 1987, Fahrig 2004). Señalando, así mismo, que el objeto de estudio en la ecología del paisaje es el "Paisaje", correspondiendo éste a una extensión de terreno compuesta por una agregación de componentes que interactúan y se repiten a través del espacio² (Forman y Godron, 1986).

Las actividades antropogénicas alteran la integridad estructural de los paisajes, alterando los flujos ecológicos a través de los mismos, de igual modo las interrupciones en los elementos del paisaje comprometerían su funcionalidad dada la interferencia con procesos ecológicos críticos necesarios para la persistencia de las poblaciones, el mantenimiento de la biodiversidad y la salud de los ecosistemas³. Los elementos físicos existentes, y las condiciones espacio temporales precedentes, son manifestaciones de las decisiones anteriores y actuales de desarrollo, realizadas por individuos, grupos e instituciones sobre las regiones⁴ (Fuentes, Avilés y Segura 1997). Una situación particular se presenta cuando las influencias humanas sobre la

² Esta definición es propuesta por Forman y Godron en su libro *Landscape Ecology* (1986) como un concepto científico integrador y es adoptado por diversos autores en sus publicaciones.

³ WITH, K. Is landscape connectivity necessary and sufficient for wildlife management?. En: *Forest Fragmentation: Wildlife and Management Implications*. Citado por. McGARIGAL, Kevin. *Landscape pattern metrics*.

⁴ Desde la ecología del paisaje, el término región se aplica para un área compuesta por paisajes con igual condición macroclimática y estrechamente relacionados por actividades humanas (Isard 1975, Forman 1983, Mladenoff 1997).

vegetación y los modelos de uso de la tierra se infieren como parte de la interpretación de datos medioambientales, en lugar de ser propuestas como hipótesis que puedan probarse dentro de un plan de investigación global. En otras palabras, la interpretación de información ambiental se hace a menudo en una forma inductiva cuando se evalúa el factor humano, en lugar de una manera deductiva (Bogucki, 1991).

Forman y Godron⁵ definen los principios generales a considerar en el estudio de la ecología del paisaje, de estos se tienen en cuenta para el presente estudio los siguientes:

- Estructura y función del paisaje

Los paisajes son heterogéneos y difieren estructuralmente en la distribución de especies, energía, y materiales entre los elementos⁶ presentes, por tanto, los paisajes varían funcionalmente en el flujo de especies, materia y energía entre los componentes estructurales del mismo.

- Flujo de energía

Los flujos de energía calórica y biomasa a través de límites que separan los parches, corredores, y matrices de un paisaje aumentan con la heterogeneidad del paisaje.

- Cambio del paisaje

Cuando no existe alteración, la estructura horizontal del paisaje tiende progresivamente hacia la homogeneidad; una disturbancia⁷ moderada incrementa rápidamente la heterogeneidad, y una disturbancia severa puede aumentar o disminuir la heterogeneidad.

- Estabilidad del paisaje

El Principio de estabilidad del paisaje indica que la cantidad de biomasa presente en un paisaje tiene un impacto en su estabilidad y recuperación luego de una disturbancia. Un paisaje sin biomasa, como un lote de estacionamiento, es inherentemente estable (estabilidad física del sistema); un paisaje con poca biomasa, como un campo de césped, tiene poca resistencia ante las alteraciones pero se recupera rápidamente de esta (recuperación rápida); un sistema con mucha biomasa, como un

5 FORMAN, Richard T.T. and GODRON, Michel. Landscape Ecology. New York : Wiley, 1986. 619 p

6 Existen diferentes consideraciones para referir los elementos del paisaje, generalmente estas dependen de la consideración (preferencia) del investigador frente al área de estudio, sin embargo su definición esta directamente relacionada con el análisis que se realice de la estructura y escala de la unidad de análisis.

7 La disturbancia es entendida como un evento que altera significativamente los patrones, estructura ó función de un sistema ecológico.

bosque, tiene resistencia mayor a la disturbancia, pero cuando se aplica suficiente energía para perturbarlo, el sistema emplea mucho tiempo para recuperarse (gran cantidad de biomasa).

Otros conceptos que son esenciales al momento de abordar la ecología del paisaje son heterogeneidad, principio espacio-tiempo y escala.

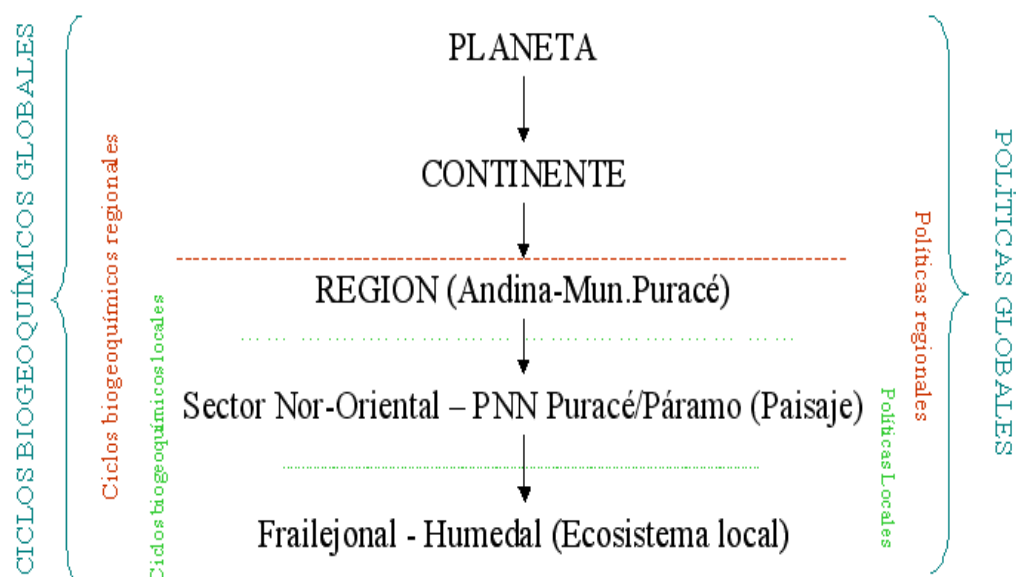
- La heterogeneidad puede definirse teniendo en cuenta dos características del sistema (paisaje) sus propiedades y la complejidad ó variabilidad, como propiedades del sistema se tiene la biomasa, nutrientes en el suelo, temperatura, entre otras; la complejidad refiere a los descriptores categóricos ó cualitativos de estas propiedades y la variabilidad indica los descriptores cuantitativos ó numéricos de estas, según lo anterior la heterogeneidad es definida como la complejidad y/ó variabilidad de las propiedades de un sistema en espacio y/ó tiempo⁸. Por ejemplo la heterogeneidad espacial se ocupa de los elementos constitutivos de un área, la cual se encuentra bajo condiciones ambientales (clima, pendiente, geomorfología, entre otras) relativamente similares⁹ donde la influencia de los patrones del paisaje (Miller, Brooks y Croonquist 1997) determinan las características de las comunidades bióticas que conforman un mosaico dado.
- El principio espacio-tiempo indica que la duración de los cambios que afectan una zona esta directamente relacionada con el tamaño del área alterada, entre mayor sea el periodo de alteración mayor será el área afectada y viceversa. Lo anterior puede relacionarse con el concepto de escala de la siguiente manera, los fenómenos en escalas grandes ó mayores (en ambas magnitudes) son más persistentes ó estables que aquellos que ocurren en escalas menores, los cuales son más variables.
- La escala se puede definir como una relación proporcional planteada para analizar un fenómeno ó elemento bajo una magnitud (tiempo y espacio), para explicar este concepto se puede ejemplificar el uso de la escala en cartografía (espacial) en un mapa la escala indica la relación entre un área representada y su equivalente en el terreno, de igual modo los procesos ecológicos ocurren en diferentes escalas espaciales (flujo del carbono en el páramo y el flujo global de carbono) y temporales, el periodo de crecimiento de los árboles en un robleal puede tomar varias décadas, mientras que en una plantación forestal (Pinos ó eucaliptos) este proceso

8 LI, H. and REYNOLDS, J. On definition and quantification of heterogeneity. En : Oikos. Vol. 72, No. 2 (1995); p. 280-284.

9 La similaridad de estas condiciones esta dada por la escala a la cual se efectúe el análisis de la zona, un ejemplo de esto es el concepto de macro, meso y microclima los cuales operan de forma simultanea en un área dada pero su diferenciación dependerá del nivel de detalle con el cual se estudie la influencia de este (clima) en la misma.

puede requerir solo algunos años. La teoría jerárquica (Hierarchy theory) indica como las unidades o elementos de un sistema están unidos en dos ó mas escalas operantes, considerando los patrones y procesos ecológicos. Un ejemplo de esto puede apreciarse en la Figura 1. Donde se ilustra la jerarquía espacial para un ecosistema local, el cual tiene una correspondencia dentro de una serie de categorías espaciales mayores, de igual forma se presenta la influencia que tiene el hombre sobre el mismo (en este caso se representan las políticas que inciden en el manejo de este ecosistema).

Figura 1 Diagrama de jerarquía espacial para un ecosistema local (Frailejonal - Humedal).



Elementos del Paisaje

Para referir los elementos del paisaje es necesario desglosar la estructura del mismo en unidades mas pequeñas, con el fin de discriminar componentes generales diferenciables a partir de la percepción de los mismos, estos elementos son unidades relativamente homogéneas, ó elementos espaciales reconocibles en una escala determinada, con lo anterior se pueden identificar elementos como parches, corredores, bordes y matriz ó área matriz del paisaje, en cada una se presentan características ecosistémicas particulares, estos atributos a su vez, tienen implicaciones ecológicas en la productividad, biodiversidad, el suelo y agua.

Los parches son áreas de superficie no lineal que difieren en apariencia de otros elementos que lo rodean, estas unidades varían considerablemente en tamaño, forma, tipo, heterogeneidad y características del borde.

Según Forman y Godron¹⁰ existen cinco causas básicas que originan los parches y definen el tipo del mismo a saber, un parche producto de una disturbancia en una área pequeña se denomina parche disturbado (*disturbance patch*), en este la matriz ó los elementos que lo rodean no son alterados, de forma inversa se presentan los parches remanentes (*remnant patch*) producto de la modificación de la matriz que lo contuvo originalmente, los parches ambientales (*environmental patch*, de vegetación¹¹) son producto por condiciones particulares del medio como el tipo suelo, el parche de regeneración (*regenerated patch*) es semejante al parche remanente, ya que es un vestigio del continuo original pero se ha desarrollado en un área que ha sido disturbada, y finalmente se tienen los parches introducidos (*introduced patches*) los cuales son creados por el hombre al plantar árboles (producción forestal), cambiar el uso de la tierra, construir edificios, entre otros.

Los diversos ensamblajes de los tipos de parches que componen un paisaje tienen implicaciones ecológicas relevantes, por ejemplo la tasa de cambio varía considerablemente dependiendo de la causa ú origen del parche. Los parches de vegetación (ambientales) no alterados varían lentamente reflejando la estabilidad del sustrato, en contraste los parches remanentes y disturbados cambian rápidamente, como resultado del proceso sucesional, y desaparecen cuando llegan a un estado de convergencia con la vegetación adyacente.

Las dinámicas de los parches hacen parte de los procesos de cambio en el paisaje ó transformación del suelo, por tanto la disturbancia puede ser un evento aislado ó constante, la persistencia de los parches depende de la causa que lo origina, de la frecuencia y magnitud de la disturbancia. Por tanto las características y dinámicas de los parches inciden en el tamaño de las poblaciones, las tasas de migración e inmigración (flujo genético), aislamiento, entre otros.

Tanto los paisajes como los elementos constitutivos de los mismos poseen límites “*Boundaries*” y bordes “*Edges*”, en la literatura el término límite es empleado como un todo, para referir una entidad que debe entenderse de forma integral, el límite puede contener dos bordes los cuales conforman

10 FORMAN and GODRON. Op. cit., p.83-96

11 Por ejemplo, en las zonas húmedas de los paramos se encuentran parches de vegetación que difieren del continuo que las contiene (matriz) un caso de esto son las formaciones de chuscales, algunos autores hacen referencia a una selectividad florística según la humedad (Monasterio y Reyes, 1980.; Rangel, 2002.; Duque, 1987, 1992)

una zona de transición, que algunos autores refieren como ecotonos^{12; 13}, se han definido tres mecanismos que producen límites de vegetación en un paisaje, un ambiente físico “parchado” como un mosaico con diferentes unidades geológicas ó formas de terreno, por ocurrencia de perturbaciones¹⁴ naturales como el fuego ó derrumbes y por actividades humanas tales como la tala y expansión de frontera urbana.

En los límites, independientemente de cual sea su origen, se encuentran los bordes, estos pueden definirse como bandas periféricas que difieren significativamente en sus condiciones ambientales de la zona interior del parche. El margen “*Border*” es una línea que separa los bordes de elementos adyacentes, en esta se pueden apreciar las tres dimensiones de esta unidad, el ancho que es la distancia entre el margen y el interior (zona borde), la altura que permite realizar una estratificación y la longitud donde se consideran aspectos de forma y características de superficie, la combinación de estas tres dimensiones influyen en sus condiciones (microclima) y funcionamiento (permeabilidad), tal vez uno de los conceptos mas referido es el efecto borde, el cual hace referencia a la alta densidad de población y diversidad de especies en la porción externa de los parches ú otros elementos espaciales.

Otro elemento importante es el corredor, los corredores son franjas angostas encontradas en los paisajes (generalmente de forma longitudinal), que difieren de la matriz en la cual están contenidos.

Estas unidades tienen diferentes orígenes al igual que los parches, los corredores disturbados “*Disturbance corridors*” resultan de disturbancias lineales, tal como operaciones de extracción maderera, apertura de caminos, vías férreas, líneas de poder¹⁵, entre otros, los corredores ambientales “*environmental corridors*” son resultado de la heterogeneidad, de la distribución lineal de recursos a través del espacio, ejemplo de esto son las zonas riparianas¹⁶. Estos elementos suelen intersectarse para formar redes, las cuales poseen partes constitutivas diferenciales como nudos, y puntos de intersección, las redes incrementan la conectividad y el flujo de energía entre los elementos del paisaje.

12 TERBORGH, J. The role of ecotones in the distribution of Andean birds. En : Ecology. Vol. 33 (1985); p. 1237-1246.,

13 LÓPEZ-BARRERA, F. Estructura y función en bordes de bosques. En : Ecosistemas. Vol. 13, No. 1 (2004); p. 1-14

14 Según Huston (1994) “Perturbación” es un termino más general que “Disturbancia” y refiere al desplazamiento de alguna propiedad en una comunidad ó ecosistema, tal como biomasa total, tasa reproductiva ó flujo de nutrientes, de su valor típico, el cual se considera como un valor que representa un estado de equilibrio ó estabilidad para un parámetro específico.

15 HARRIS, L. and SCHECK, J. From implications to applications: The dispersal corridor principle applied to the conservation biological diversity. En : SAUNDERS, D. and HOBBS, R. Nature conservation 2: The role of corridors. Surrey Beatty (Aus). 1984. p. 189-220

16 La zona ripariana, en ambientes antrópicos puede ser un corredor remanente ó plantado, esto se puede apreciar en la conservación de los bosques ó zonas de protección de cuerpos de agua, orillas ó riberas.

Los corredores de vegetación contribuyen significativamente en el mantenimiento de procesos ecológicos, estos proveen protección para la biodiversidad, particularmente para especies raras ó amenazadas, hábitat riparianos y como rutas de dispersión para recolonización después de procesos locales de extinción, entre otras, estas zonas participan en la dinámica de los ciclos hidrológicos locales, controlando el flujo, sedimentación, capacidad de reservorio, oferta de recursos para poblaciones acuáticas, actúan como barreras rompevientos previniendo procesos de erosión eólica, de igual forma son lugares de aprovechamiento por parte del hombre como fuente de material vegetal ó zonas de recreación.

La matriz, desde la ecología del paisaje, es definida como el elemento más conectado y extenso de un mosaico, y desempeña un papel dominante en el funcionamiento del mismo, para diferenciar los parches de la matriz deben considerarse sus proporciones relativas y configuración, las cuales varían considerablemente de un paisaje a otro. La matriz posee el área mas extensa de una zona considerada como un todo, generalmente posee limites cóncavos que contienen otros elementos del paisaje, los cuales están interconectados mediante bandas (corredores), especialmente aquellos parches que son mas próximos, y ejerce una influencia que prevalece sobre las dinámicas del paisaje.

La Unidad de Terreno

Entendiendo el paisaje como un sistema jerárquico, las “unidades del paisaje” deben corresponder con una sistematización, desde la ecogeografía G. Bertrand¹⁷ distingue tres niveles sucesivos, para establecer una categorización de dichas unidades, el medio físico, los ecosistemas y la intervención humana, lo cual permite introducir la dimensión temporal y la perspectiva dinámica y evolutiva, esta propuesta taxonómica tiene como fin la ordenación del territorio. La taxonomía propuesta por este autor presenta tres agrupaciones ascendentes a saber:

- El geotopo que es la unidad inferior, ocupa algunos metros cuadrados, se encuentra en una unidad microclimática y litológica presentando una biocenosis característica.
- La geofacies con áreas entre un centenar y algunos millares de metros cuadrados, poseen una formación vegetal homogénea pero son

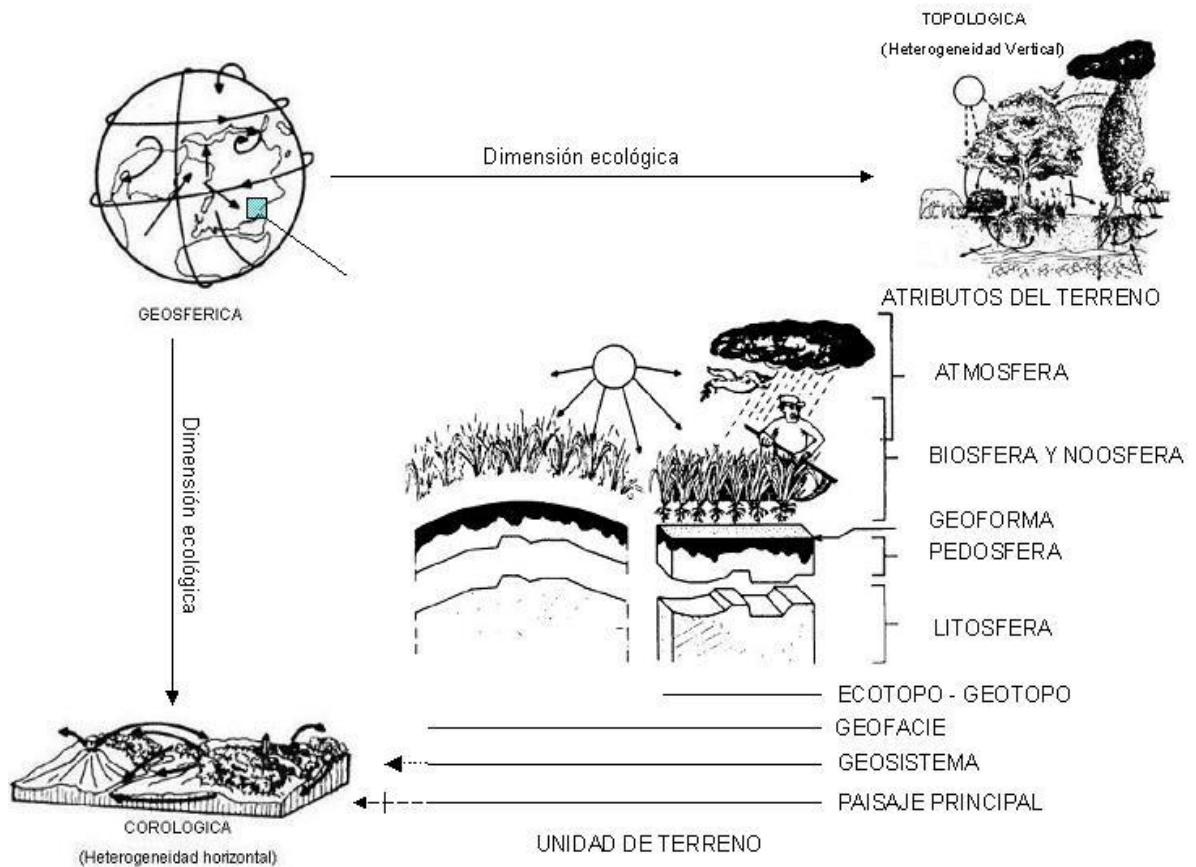
17 BERTRAND, G. Les méthodes de division du pays en microrégions pour les besoins de l'évaluation du milieu géographique. Citado por: TRICART, Jean. y KILIAN, Jean. La Eco-Geografía y la ordenación del medio natural. Barcelona : Anagrama, 1982. 288 p. ISBN 84-339-1422-7.

litológicamente heterogéneas, definidas con fines de ordenación como zonas.

- El geosistema que es la unidad mayor ocupa de una decena a un centenar de kilómetros cuadrados, puede corresponder a una parte de un piso climático homogéneo, con particularidades litológicas y topográficas, este agrupa diferentes geofacias.

En ecología del paisaje, la unidad de terreno “Land unit”, es un concepto fundamental el cual Zonneveld¹⁸ define como una extensión de terreno ecológicamente homogénea a una escala definida ó concerniente, la cual provee las bases para el estudio topológico (heterogeneidad vertical) y corológico (heterogeneidad horizontal) de las relaciones existentes en un mosaico. Un propósito de las unidades de terreno es el reconocimiento cartográfico (ó mapeable) de tales entidades. En la figura 2 se ilustran las dimensiones ecológicas del paisaje propuestas por Zonneveld y sus relaciones corológicas y topológicas.

Figura 2 Dimensiones y relaciones ecológicas del paisaje (Modificado de Zonneveld, 1989).



18 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.

3.1.2. ENFOQUES PARA ESTUDIO DEL PAISAJE EN COLOMBIA

Como fuente de información, el paisaje es objeto de interpretación, la relación del hombre con el paisaje es doble, como parte integrante del mismo modificándolo a través de sus actuaciones y como receptor tomando la información que suministra el paisaje, analizándola de forma espontánea o dirigida según un esquema de estudio con un fin determinado; a su vez, la información recibida puede servir para modificar la intervención sobre el paisaje. Se establece así una relación en los dos sentidos: paisaje-hombre y hombre-paisaje.

Hay dos grandes enfoques en el estudio del paisaje:

- a) El primero lo analiza como manifestación externa de los sistemas naturales, su territorio y las distintas fuerzas que sobre él actúan. El paisaje ecológico se analiza externamente y de forma global. El paisaje es un indicador, elemento síntesis, del entramado de relaciones entre los elementos bióticos y abióticos del sistema natural. En palabras de González Bernáldez¹⁹, el paisaje estaría constituido por los componentes perceptibles de un sistema natural (fenosistema), que se complementan con el componente no perceptible del sistema y de difícil observación (criptosistema).
- b) El otro enfoque es el paisaje visual. El paisaje se estudia como un trasfondo estético de la actividad humana, ligado a la percepción humana. El paisaje es analizado como expresión espacial y visual del medio, como conjunto de caracteres físicos del medio físico y biótico, perceptibles con la vista.

Atendiendo lo anterior el paisaje puede definirse en términos de:

- a) Los componentes naturales: formas del terreno, cubierta vegetal, afloramientos rocosos, presencia de masas y cursos de agua, entre otras.
- b) las actividades humanas, en especial el uso de la tierra, incluyendo las edificaciones e infraestructuras.
- c) los factores estéticos relacionados con la reacción de nuestra mente ante lo que se puede ver: formas, escalas, colores, entre otros.

Colombia y el Estudio del Paisaje

Colombia, presenta una heterogeneidad muy alta desde el punto de vista ambiental, esto hace que exista en su espacio un complejo de características climáticas, fisiográficas, biológicas, económicas, sociales y culturales, que permiten categorizar su territorio en regiones, desde la perspectiva de la ecología del paisaje. El territorio continental colombiano ha sido dividido en cinco grandes regiones naturales, siguiendo el esquema propuesto por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi²⁰, a saber: Andina, atlántica, pacífica, orinoquía y amazonía, las cuales incluyen una serie de subdivisiones

19 GONZÁLEZ, B. Fernando. Ecología y paisaje. Madrid: H. Blume. 1981. p 1-9.

20 IGAC, Regiones naturales de Colombia. sf.

posteriores que tienen un carácter morfogenético para el caso de la zona andina y un carácter fisiográfico para las zonas restantes y cada una de éstas regiones contiene a su vez paisajes diferentes. Dentro del contexto mencionado, el proyecto se emplaza en la región andina y en el orobioma de páramo en particular.

En Colombia se han realizado trabajos desde la ecología del paisaje con fines de ordenación, lo cual ha implicado un ejercicio de aplicación teórica de los principios referidos por Forman y Godron (1986), sin embargo, de esta forma se han desarrollado los conceptos propios para integrar los diversos elementos del ambiente, tal es el caso de la elaboración del mapa de ecosistemas generado por Etter²¹, la cartografía elaborada por el Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM) en el sistema de información ambiental de Colombia y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IavH), quienes han participado en el diseño e implementación del sistema de seguimiento de la política de biodiversidad. Los anteriores trabajos se han concentrado en la identificación de biomas, ecosistemas y coberturas como unidades de análisis, atendiendo las escalas de trabajo que han empleado, generando información con fines de monitoreo, planificación y desarrollo.

3.1.3. EL PROCESO DE FRAGMENTACIÓN Y SUS EFECTOS

El estudio de la fragmentación se ha realizado considerando dos fundamentos teóricos: la teoría de islas biogeográficas y la teoría de metapoblaciones. La teoría de islas estudia la influencia del aislamiento (distancia a otros fragmentos o hábitat) y el tamaño de los fragmentos en la riqueza y composición de especies, considerando la colonización y extinción como procesos fundamentales²². El término metapoblación fue introducido por Levins (1969) para describir poblaciones compuestas por subpoblaciones, y enfatiza el concepto de conectividad y el intercambio entre poblaciones espacialmente separadas²³.

En ambos casos la naturaleza está dividida en entidades discretas y se presenta movimiento de los individuos entre poblaciones locales relativamente inestables. La mayor diferencia radica en el enfoque sinecológico de la biogeografía de islas frente a la visión autoecológica de las metapoblaciones, es decir que la teoría de la biogeografía de islas trata sobre comunidades y no sobre poblaciones de especies individuales como si lo hacen las metapoblaciones.

21 ETTER, Andrés. Mapa general de ecosistemas de Colombia. En: CHÁVEZ, M. Y ARANGO, N. Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad 1997. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, PNUMA y Ministerio del medio Ambiente. Vol. 3. Bogotá. 1998.

22 MACARTHUR, R. and WILSON, E.D. The Theory of Island Biogeography. Citado por: McGARIGAL, Kevin. Landscape pattern metrics. 2002.

23 Centro para la Biología de la Conservación. Fragmentación y metapoblaciones. En: Ecotono. (1996); p 2-4.

En este contexto, se asume que la fragmentación siempre está asociada a los efectos negativos derivados de las acciones antrópicas que conllevan a una modificación del territorio y que se traduce en una pérdida importante del hábitat natural, en la disminución e incluso en la extinción de especies. Entre las principales causas que la originan se encuentran la tala, extracción de maderables, el cambio en uso de suelo, la construcción de infraestructura, expansión de fronteras agrícolas ó pecuarias. De igual forma las redes viales, eléctricas, ductos, entre otros, son causales de fragmentación, no tanto por la pérdida de superficie, sino por la ruptura en el funcionamiento (barrera) del conjunto.

La fragmentación ocurre cuando un área extensa de hábitat (continuo) es transformada en un número de pequeños parches de área total menor, aislados uno del otro en una matriz disímil del original. La fragmentación acarrea una serie de consecuencias que afecta negativamente a las especies silvestres.

En primer lugar, al disminuir el área total del ecosistema, el número de especies se reduce por el simple efecto de muestreo. En segundo lugar, al disminuir el área se registran bajas tasa de colonización y altas tasas de extinción por la alteración del equilibrio dinámico²⁴. En tercer lugar, al alterar los diferentes microhábitat y disminuir la heterogeneidad del hábitat desaparecen hábitats críticos, fuentes de alimento y se alteran las condiciones ínterespecíficas, lo que genera la desaparición de algunas especies. Finalmente, al crear nuevos bordes se generan cambios climáticos y ecológicos, que en el caso de las aves, resultan en la disminución del éxito de anidación²⁵.

Harris (1984) plantea que el efecto de la fragmentación puede ser visto en varios niveles de organización biológica, desde cambios en la frecuencia genética dentro de poblaciones hasta cambios sobre el macroecosistema (población arbórea remanente, no fragmentada), en la distribución de especies y ecosistemas.

A nivel de especies, estas tienen necesariamente tres opciones para persistir bajo un paisaje altamente fragmentado:

- Una especie puede prosperar en una matriz de uso humano
- Una especie puede sobrevivir dentro de un paisaje fragmentado manteniendo viable la población dentro del hábitat fragmentado; esta

24 SKOLE, D. and TUCKER, C. Tropical Deforestation and Habitat Fragmentation in the Amazon: Satellite Data from 1978 to 1988. En : Science. Vol. 260 (1993); p. 1905-1910.

25 STEPHENS, Scott; KOONS, David; ROTELLA, Jay. and WILLEY, David. Effects of habitat fragmentation on avian nesting success: a review of the evidence at multiple spatial scales En : Biological Conservation 115 (2003); p. 101-110.

opción es solo para especies con un rango bajo de hogar o con modestos requerimientos de área, muchas de estas especies pueden enfrentarse toda su vida a estos requerimientos dentro de los bordes de un hábitat fragmentado, esperando una mejor condición ambiental

- Algunas especies pueden sobrevivir en paisajes altamente fragmentados, por tener alta movilidad, pueden integrar un número de hábitat parche, tanto dentro de los rangos individuales de su nicho como dentro de poblaciones interrelacionadas, jugando un importantísimo papel la zona limítrofe de los paisajes fragmentados.

Por ultimo, este autor plantea que si una especie no puede adoptar alguna(s) de estas tres opciones está destinada a su eventual extinción dentro del fragmento.

Los efectos biológicos de la fragmentación se enfatizan en las consecuencias sobre las condiciones microclimáticas de los parches y la matriz, efectos sobre la abundancia de algunas especies y alteraciones sobre las interacciones biológicas, los que afectarán en ultima instancia la biodiversidad existente en un sistema dado (Bustamante y Grez, 1995).

Efectos de la Fragmentación en el Funcionamiento de los Sistemas Naturales

La fragmentación, entendida como un proceso dinámico por el cual un determinado hábitat es reducido a fragmentos o islas de menor tamaño, relativamente conectadas entre sí en una matriz de hábitats diferentes al original, conlleva unos efectos espaciales que pueden resumirse en los siguientes (Forman, 1981, 1983):

Disminución de la superficie de hábitat. Los procesos de fragmentación llevan asociados una pérdida de las cubiertas naturales en favor de usos antrópicos del territorio (urbanísticos, industriales, infraestructuras, agricultura, etcétera).

- Reducción del tamaño de los fragmentos, por la división de superficies más o menos amplias en fragmentos de menor tamaño.
- Aislamiento de los fragmentos en el paisaje, provocada por una destrucción intensa de las superficies naturales aumentando la distancia entre los fragmentos de hábitat natural. El aislamiento puede medirse a través de índices que miden la distancia al fragmento más próximo. Este efecto tiene una componente funcional importante ya que la matriz o área alterada puede ser más o menos permeable según las especies.

De forma general, los procesos que se ven más afectados por los efectos de la fragmentación del paisaje son aquellos que dependen de vectores de transmisión en el paisaje. La dispersión de semillas, la polinización de las

plantas, las relaciones predador-presa, la dispersión de parásitos y epidemias son ejemplos de procesos ecológicos frágiles por su dependencia de vectores animales que a su vez tienen limitado el movimiento por el paisaje.

Estos efectos amenazan la supervivencia de los organismos afectados en tres sentidos (Santos *et al.*, 2002. Hanski, 1999):

- Al disminuir la disponibilidad de superficie del hábitat, se produce una pérdida neta en el tamaño de las poblaciones que lo ocupan.
- La reducción de los fragmentos produce un aumento en la relación perímetro-superficie, lo que aumenta la permeabilidad de los fragmentos a los efectos de los hábitats periféricos.
- El aislamiento de los fragmentos, y por tanto el aumento de la distancia entre ellos, dificulta el intercambio de individuos, que se asocia en muchas ocasiones a la progresiva desaparición de las especies acantonadas en los fragmentos. Este fenómeno provoca que sólo las especies más resistentes o generalistas logren mantenerse, mientras las más sensibles quedan relegadas a los fragmentos de mayor tamaño.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que la fragmentación opera a diferentes escalas para distintas especies y distintos hábitats: un paisaje fragmentado para una especie puede no serlo para otra con mayores capacidades de dispersión o requerimientos de hábitats menos exigentes (Wiens y Milne, 1989).

El tamaño y la forma de los fragmentos condicionan en gran medida las posibilidades de mantener ciertas poblaciones, puesto que superficies pequeñas y alargadas conllevan una mayor vulnerabilidad a los agentes externos e incremento del efecto borde; mientras que en fragmentos grandes y redondeados esta vulnerabilidad se reduce; en aquellos en los que la superficie es reducida las secuelas y tensiones de la matriz permean el interior, por lo que las especies internas se ven altamente perjudicadas, y se benefician aquellas que habitan los ecotonos.

En fragmentos con superficies extensas²⁶, se espera que las poblaciones sean más numerosas y tengan mayores posibilidades para superar posibles alteraciones. Según Laurance (1991) los fragmentos alargados y delgados tienen proporcionalmente mayor longitud de borde (perímetro) que aquellos que tienen formas cuadradas o redondeadas. En estas últimas formas es más probable que el interior del fragmento mantenga sus condiciones internas y los efectos de la matriz queden restringidos al borde ó ecotono del mismo.

El contraste estructural entre un parche ó fragmento y la matriz que le rodea es un indicador no solo de la insolación que entre ellos se da, sino también del efecto borde. Didham y Lawton (1999) señalan que el borde de un

²⁶ Lo que genera una mayor oferta de un hábitat determinado.

fragmento no es una línea, sino que es una zona de influencia que varía dependiendo de los parámetros con los cuales ésta es medida. La radiación solar y el viento golpean el borde del fragmento provocando una alteración de tipo microclimática.

Consecuencias Ecológicas de los Bordes

Los efectos borde se definen como el resultado de la interacción entre dos ecosistemas cuando sus fronteras son muy abruptas. La intensidad de estos efectos y sus posibles implicaciones en el funcionamiento de los fragmentos, y por ende de un mosaico, dependen en gran medida del tamaño y forma de los mismos, así como de la configuración espacial resultante del conjunto de los fragmentos. Los efectos borde pueden dividirse en tres grupos:

- Efectos físicos: Implican cambios en las condiciones ambientales al interior del fragmento derivadas de modificaciones en el microclima por variaciones de la insolación y los efectos del viento, lluvias, heladas, entre otros.
- Efectos biológicos directos: Los cambios en las condiciones ambientales en el borde afectan directamente al componente biológico del sistema. Algunas especies se ven favorecidas por estas condiciones de mayor radiación, temperatura y otros, dando lugar a especies características de estas zonas de transición.
- Efectos biológicos indirectos: Los cambios que provocan los bordes en el ambiente de los fragmentos y su estructura afectan a la dinámica de las interacciones de las especies en las proximidades del borde. Por ejemplo, la mayor biomasa (por la mayor incidencia de la luz) provoca a su vez el acercamiento de herbívoros e insectos, lo que hace aumentar el número de aves nidificantes, las cuales atraen a depredadores y parásitos.

Diversidad y Fragmentación en Colombia: Política Nacional de Diversidad

La Política Nacional de Biodiversidad busca promover la conservación, el conocimiento y el uso sostenible de la biodiversidad, así como la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de los conocimientos, innovaciones y prácticas asociados a ella por parte de la comunidad científica nacional, la industria y las comunidades locales²⁷.

Esta política se fundamenta en tres estrategias: Conservación, conocimiento y utilización sostenible de la biodiversidad; en la misma se identifican los instrumentos para facilitar la implementación de la política a través de acciones relacionadas con la educación, la participación ciudadana, el desarrollo legislativo e institucional, y los incentivos e inversiones económicas.

²⁷ Ministerio Del Medio Ambiente. Política Nacional de Diversidad. 1995

La estrategia de conservación incluye las medidas de conservación in-situ a través del sistema de áreas protegidas, la reducción de los procesos y actividades que causan pérdida o deterioro de biodiversidad, la recuperación de ecosistemas degradados y especies amenazadas, así como el conocimiento de las mismas y las alteraciones que ocurren en un sistema de interés. Es en el marco de las dos primeras estrategias que los procesos de investigación en fragmentación ecosistémica se convierten en instrumentos para soportar de forma adecuada, y con validación científica, la aplicación de la misma. Lo anterior entendiendo que la diversidad ecosistémica está directamente relacionada con la diversidad de especies.

En lo referente a ecosistemas, los institutos adscritos y vinculados al Ministerio del Medio Ambiente deben adelantar estudios sobre la biodiversidad y procesos de alteración en los ecosistemas para así conocer su capacidad intrínseca de recuperación; sin embargo los entes acritos al SINA como las universidades desempeñan un papel importante en el desarrollo de proyectos de investigación básica que generen datos para el conocimiento de estas temáticas. De igual forma la política establece que estas investigaciones se adelantarán sobre ecosistemas prioritarios amenazados o vulnerables, como son los humedales, bosques secos, bosques andinos y páramos.

Respecto a las responsabilidades la política expresa que el Instituto Humboldt estudiará los efectos de la fragmentación de hábitats sobre la diversidad biológica y su relación con los aspectos biofísicos; el IDEAM y el Instituto Nacional de Salud (INS) evaluarán el impacto de las transformaciones ecosistémicas sobre su productividad y sobre la evolución de problemas en salud humana.

Atendiendo esto, para el posterior referente metodológico y entendido que este trabajo contribuye al conocimiento de la fragmentación en ecosistemas altoandinos, los índices empleados coinciden en su mayoría con los propuestos por el Instituto Humboldt e IDEAM y se complementan según los requerimientos de esta investigación.

3.1.4. EL PÁRAMO Y SU ECOLOGÍA

Un conjunto de ecosistemas afines por sus características estructurales y funcionales constituyen un bioma. Es conviene observar que los biomas han sido diferenciados por características de la vegetación, pero como tales pueden entenderse como unidades de paisaje ó unidades de terreno, haciendo las veces de un geosistema; el presente trabajo se enfoca en el Orobioma de páramo colombiano. La región de vida paramuna comprende las extensas zonas que coronan las cordilleras entre el bosque andino y el límite inferior las nieves perpetuas. Esta definida como región natural por la relación entre el suelo, el clima la biota y la influencia humana. Los suelos tienen una capa espesa de materia orgánica, en algunos casos mayor a 1 m. de profundidad.

Hay periodos contrastantes que se alternan, noches frías, húmedas y días muy asoleados, en algunos casos con radiación intensa. La temperatura media anual fluctúa entre 4 y 10° C (8°C). En el Subparamo se alcanzan temperaturas entre 8 y 10° C y en el Superparamo 0° C. De acuerdo con la cantidad de lluvia recibida pueden ser pluviales con precipitación superior a los 4400 mm, superhúmedos (3000-4000 mm), húmedos (1771 –2344 mm) ó secos (623 – 1196 mm.); los cambios de radiación y temperatura son drásticos y en algunos casos son frecuentes las nieblas.

Las comunidades vegetales dominantes son los matorrales dominados por especies de Asteraceae, los frailejonales con especies de *Espeletia*, los pajonales con especies de *Calamagrostis* y los bosques achaparrados con especies de *Polylepis*. En la fauna de vertebrados la mayor expresión se da en el grupo de las aves, seguida por anfibios y mamíferos. Los reptiles son el grupo con menor representación. En la fauna de invertebrados hay 131 especies de mariposas y 24 de simúlidos.

Se distribuyen en los sistemas andinos de Ecuador, Colombia y Venezuela y en las cimas de las montañas de Costa Rica desde 3200 m (3300) hasta 4700-4800m en el norte de los Andes²⁸.

Subdivisiones del Páramo

Según lo anterior, el Páramo está constituido por tres suborobiomas a saber:

- El Subpáramo ó Páramo Bajo (3200-3500 m.), puede considerarse como la faja transicional entre la selva andina y el páramo, pero su reconocimiento y delimitación como unidad se dificulta por los efectos de la intervención humana; en algunos sitios el bosque cambia bruscamente a páramo, debido a condiciones topográficas o de protección, sin embargo se debe también a incendios y talas. En esta franja predomina la vegetación de tipo arbustiva, con matorrales dominados por especies de *Diplostephium*, *Pentacalia* y *Gynoxys* (Asteraceae), *Hypericum*, *Pernettya*, *Vaccinium*, *Bejaria* y *Gaultheria* (Ericaceae). En casi todas las localidades se presentan zonas de ecotonía, formación de comunidades mixtas. Según otras clasificaciones equivale al matorral (denso o claro) sempervirente micrófilo o de bambú de la clasificación de UNESCO, y se sobrepone a los conceptos de bosque húmedo montano, bosque muy húmedo montano y bosque pluvial montano y sus transiciones con el páramo, del sistema de Holdridge (1967).
- Páramo propiamente dicho (3500-4100 m.), se reconoce por el predominio de diferentes tipos de vegetación como frailejonales ó

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

rosetales (*Espeletia*), pajonales (*Calamagrostis*) y chuscales (*Chusquea tesellata*). Presenta máxima diversificación comunitaria; tiene depresiones que permanecen anegadas permanentemente con formación de pantanos de musgos. Corresponde también a la Zona de Páramo de Chapman (1917) a las comunidades alpinas tropicales abiertas de la clasificación de UNESCO (1973) y al páramo o páramo pluvial de Holdridge²⁹.

- El Superpáramo aparece reemplazando al páramo por encima de los 4100 m. hasta el límite de nieves, lo caracteriza la discontinuidad de la vegetación y la apreciable superficie de suelo desnudo, disminuye la cobertura y diversidad vegetal, prados con *Senecio* y matorrales con *Loricaria*. Los rigores climáticos son más pronunciados y los suelos poco evolucionados. Representa las comunidades alpinas tropicales de UNESCO (1973) y la tundra pluvial alpina de Holdridge.

Vegetación Paramuna

La variedad microtopográfica y las características ecoclimáticas desempeñan un papel decisivo en el establecimiento de los mosaicos de vegetación, si como criterio para una división se escoge una mezcla de características fisonómicas y ecológicas, entonces se puede considerar la fitocenosis como cerrada (bosques y matorrales altos ó achaparrados) con formas arborescentes que alcanzan hasta 10 m de altura y constituyen un dosel de extensión y cobertura considerable, ó abierta (pajonales, frailejonales rosetales, prados y turberas con estratos bajos, sin dosel ni formas arborescentes.

Atendiendo lo expuesto, se entienden para el presente estudio y con fines posteriores de análisis en el procesamiento de imágenes los siguientes tipos fisonómicos³⁰:

- **Bosques Achaparrados:** Vegetación con estrato de arbolitos de 8 a 10m (*Polylepis*).
- **Matorrales:** vegetación arbustiva, con predominio de elementos leñosos dominados por especies de la familia Asteraceae (*Diplostephium*, *Pentacalia* e *Hypericum*), pueden conformar variantes como arbustal-rosetal.
- **Pastizales-Pajonales:** Vegetación herbácea dominada por gramíneas en macollas comunidades de *Calamagrostis efussa* y *C. Recta*.
- **Frailejonales-Rosetales:** vegetación con un estrato arbustivo emergente conformado por rosetas de *Espeletia*, entre otros, propias del páramo propiamente dicho.

29 Tomado de Biomas terrestres de Colombia (Hernández y Sánchez, 2000).

30 RANGEL. Op. cit., p. 9-10.

- **Prados-Turberas-Tremedales** ó agrupaciones de plantas vasculares en cojín: predominio del estrato rasante ó en algunos casos con un estrato herbáceo pobre en cobertura (Ej. Colchones compactos de *Distichia muscoides* ó Cojines almohadillas con *Azorella* (Apiceae).
- **Chuscales:** dominada homogéneamente por bambú paramuno (*Chusquea tesellata*) en sitios húmedos y pantanosos³¹.
- **Rosetales** con especies de puya: en los paramos húmedos son comunes con presencia de rosetas gigantes del género *Puya*.
- **Rosetales Bajos:** Característicos del Superparamo, en sustratos pedregosos y sueltos.

Fauna Paramuna

La fauna de los páramos es altamente diversa y está constituida, por especies propias de este ecosistema, aunque también se encuentran presentes algunas especies de la selva altoandina. En los grupos de fauna es muy notoria la disminución de la riqueza en la medida en que se progresa en altitud.

Como organismos representativos de este ecosistema se tienen el Cóndor, la Danta de páramo, el venado blanco y el oso de anteojos, especie endémica de los páramos de Colombia y Venezuela, único en el neotrópico; de igual forma se encuentra el colibrí e insectos que abundan especialmente en las hojas de los frailejones, inclusive hormigas, al igual que pequeñas mariposas de colores vivos.

La fauna comprende algunos elementos que pueden considerarse como relictos, el ratón runcho (*Caenolestes obscurus*), y el cusumbo o guache de tierra fría (*Nasuella olivacea*), representados en las tres cordilleras; y el venado conejo (*Pudu mephistophiles*), el cérvido más pequeño del mundo, limitado en Colombia a las cordilleras Central y Occidental. La fauna cuenta con elementos de origen andinopatagónico o puneño (Ej. *Canis culpaeus*, *Cinclodes*, *Schizoeaca*, *Asthenes*, *Ochthoeca*), holártico (Ej. *Mustela frenata*, *Asio flammeus*, *Anthus*) y elementos tropicales originalmente de tierras bajas que ocuparon los Andes (*Atelopus*, *Eleutherodactylus*, entre otros).

3.1.5. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG.)

Un SIG se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y

31 Referenciado para las inmediaciones del volcán Puracé y laguna San Rafael (Rangel y lozano 1986).

de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos. Los SIG son una nueva tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato. Existen otras muchas definiciones de SIG, algunas de ellas acentúan su componente de base de datos, otras sus funcionalidades y otras enfatizan el hecho de ser una herramienta de apoyo en la toma de decisiones, pero todas coinciden en referirse a un SIG como un sistema integrado para trabajar con información espacial, herramienta esencial para el análisis y toma de decisiones en muchas áreas vitales para el desarrollo nacional, incluyendo la relacionada con el estudio científico de la Biodiversidad.

Componentes de los Sistemas de Información Geográfica

Hardware

Los SIG corren en un amplio rango de tipos de computadores desde equipos centralizados hasta configuraciones individuales o de red, una organización³² requiere de hardware suficientemente específico para cumplir con las necesidades de aplicación.

Software

Los programas SIG proveen las herramientas y funcionalidades necesarias para almacenar, analizar y mostrar información geográfica, los componentes principales del software SIG son: Sistema de manejo de base de datos, una interfase grafica de usuarios (IGU) para el fácil acceso a las herramientas, herramientas para captura y manejo de información geográfica y herramientas para soporte de consultas, análisis y visualización de datos geográficos.

Información

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

Personal

Son administradores del sistema encargados de resolver los requerimientos propios ó de los usuarios utilizando las herramientas disponibles o bien produciendo nuevas herramientas.

32 Tal es el caso de un grupo de investigación como el Grupo de Estudios Ambientales (GEA).

Métodos

Para que un SIG tenga una implementación exitosa debe basarse en un buen diseño y reglas de actividad definidas, que son los modelos y practicas operativas exclusivas en cada organización.

Importancia de los SIG y su Empleo en la Gestión Ambiental

Las soluciones para muchos problemas frecuentemente requieren acceso a varios tipos de información que sólo pueden ser relacionadas por geografía o distribución espacial. Sólo la tecnología SIG permite almacenar y manipular información usando geografía, permitiendo analizar patrones, relaciones y tendencias en la información, todo tendiente a contribuir a tomar decisiones adecuadas.

Los SIG ayudan en el estudio de la distribución y monitoreo de recursos, tanto naturales como humanos, así como en la evaluación del impacto de las actividades humanas sobre el medio ambiente natural. De esta forma es factible contribuir a la planificación de actividades destinadas a la preservación de los recursos naturales (IavH, S.f.).

Los SIG se convierten en un herramienta tecnológica esencial para desarrollar procesos de gestión ambiental, ya que permite la integración de diferentes tipos y fuentes de información, logrando un cubrimiento integral de los diversos componentes de los ecosistemas.

Procesamiento Digital de Imágenes (PDI) e Interpretación.

Como PDI se entiende la manipulación de una imagen a través de un computador, de modo que la entrada y la salida del proceso sean imágenes. Es una técnica muy empleada para el reconocimiento de coberturas.

El objetivo de utilizar el procesamiento digital de imágenes, es mejorar el aspecto visual de ciertos elementos estructurales para su análisis y proveer otros subsidios para su interpretación, inclusive generando productos que puedan ser posteriormente sometidos a otros procesamientos.

La evolución de la tecnología de computación, y el desarrollo de nuevos algoritmos para tratar señales bidimensionales está generando una gama de aplicaciones cada vez mayor. Como resultado de esa evolución, la tecnología de procesamiento digital de imágenes está ampliando sus dominios, que incluyen las más diversas áreas, y una de las aplicaciones relacionadas con el área del proyecto, es el análisis de recursos naturales (coberturas vegetales) y meteorología por medio de imágenes de satélites.

El uso de imágenes multiespectrales captadas por satélites tales como, Landsat (empleada en la generación de cartografía en el proyecto), SPOT, ERS1, NOAA o similares, se ha mostrado como una valiosa herramienta

para la extracción de los datos destinados a diferentes aplicaciones de investigación de recursos naturales. La obtención de las informaciones radiométricas registradas por los sistemas en las diferentes partes del espectro electromagnético, visando la identificación y discriminación de los albedos de interés, depende principalmente de la calidad de la representación de los datos contenidos en las imágenes.

3.2. ANTECEDENTES

La ecología tradicional generalmente asume homogeneidad y equilibrio, sin embargo, la ecología del paisaje, se enfoca específicamente en la estructura del paisaje, la heterogeneidad y la perturbación; la ecología del paisaje sólo ha surgido como un campo autoestable de estudio desde la década del 80, y parece ofrecer un conjunto de conceptos que pueden ser útiles para conocer paisajes prehistóricos y el cambio que ocurre en los ecosistemas (estructura y función del paisaje). En particular, la ecología del paisaje ofrece un armazón en el que pueden formularse hipótesis sobre el cambio y desarrollo del paisaje, las cuales pueden probarse con datos arqueológicos y palaeoambientales (Bogucki, 1991). Según Risser³³ (1987), la generación de nuevas ideas en ecología del paisaje proviene del estudio de la mixtura de procesos que ocurren en diferentes escalas espaciales y temporales, las cuales operan como un sistema.

En los países en vías de desarrollo, muchas practicas socio-económicas acarrearán altos impactos sobre el ambiente, la construcción de vías, la explotación de bosques, entre otras, generan procesos como la deforestación, definida como el cambio en el uso del suelo y la consiguiente transformación de bosques o selvas en zonas agrícolas o pecuarias, como resultado de una presión demográfica sobre el uso de los recursos naturales y de un aprovechamiento inadecuado de la tierra (FAO 1993); Colombia no es un país ajeno a esta realidad, y tales actividades se han extendido hasta el páramo.

Colombia es considerado como el país con mayor superficie de paramos en el mundo, algunos especialistas consideran que el páramo puede extenderse en algo más del 2% del territorio nacional, mientras que otros cálculos más conservadores basados en el mapa de bosques de Colombia indican una cobertura graminoide de páramo de 1.156.328 ha. (Duque, 1992), Desafortunadamente la franja de transición entre los ecosistemas subparamo-bosque nublado (o de niebla) se desvirtúa por completo ante la destrucción antrópica³⁴.

33 RISSER, P. Landscape ecology: state of the art. En : GOIGEL, M. Landscape heterogeneity and disturbance, (1987). New York : Springer-Verlag.

34 CASTAÑO, C. El Hombre y El Continuum del Páramo. En : El Páramo Ecosistema a Proteger. Bogota: ECOAN, 1996. p. 29-31.

Algunos estudios realizan una evaluación comparativa empleando patrones de paisaje y cobertura, para explicar como se relacionan con la variación de niveles de disturbancia antropogénica y la estructura de las comunidad bióticas (Miller, J. et al, 1997). Autores que trabajan la ecología del paisaje plantean que se deben incorporar las perturbaciones adicionales que pueden interactuar aditivamente a la fragmentación, tales como la formación de "Gaps"³⁵ y la turbulencia del viento. Las investigaciones en la amazonia que estudian la alteración en la dinámica del bosque lluvioso tropical como resultado de la fragmentación, encuentran incrementos en la mortalidad y daño de árboles, concluyendo que la fragmentación altera la estructura de las comunidades vegetales y se generan impactos importantes en la dinámica y funcionamiento de los mosaicos (Laurance, 1991; 2001; Laurance, W. et al, 2002).

Murcia (1995) define la fragmentación como el reemplazo de grandes áreas del bosque nativo por otros ecosistemas, dejando parches (o islas) separados de vegetación, con consecuencias deletéreas para la biota nativa. Esta fragmentación tiene dos componentes principales:

- Reducción y pérdida de la cantidad total del tipo de hábitat, o quizá de todo el hábitat natural en un paisaje.
- Separación del hábitat remanente en parches mas pequeños y aislados;

Contribuyendo ambos, a la disminución progresiva de la diversidad biológica (Harris, 1984). Wilcox & Murphy (1985) señalan que a medida que la fragmentación ocurre en tiempo y espacio, el tamaño de los fragmentos disminuye y el aislamiento aumenta, conformándose los llamados "hábitat-isla"; estos, facilitarían la extinción (local ó total) de una o mas especies y la preservación diferenciada de otras.

En estudios sobre la relación entre el hábitat ofrecido por la matriz y la riqueza de especies en remanentes de vegetación original (bosque tropical) se ha encontrado que las poblaciones que evitan la matriz tienden a declinar en los fragmentos mientras que las especies que toleran condiciones producto de la fragmentación "Generalistas"³⁶ se estabilizan o incrementan (Gascon, C. et al 1999). De igual forma, diferentes referentes bibliográficos plantean que dicho proceso incrementa las probabilidades de ocurrencia de situaciones como la extinción y disminución en la riqueza de especies³⁷ (Harris, 1984; Noss ,1994; Fahrig, 2003), en atención a esto, algunos trabajos proponen que la disminución

35 Claros ó zonas abiertas, en medio de coberturas arbóreas, producto de perturbaciones antrópicas ó naturales.

36 JONSEN, I. And FARIGH, L. Response of generalist an specialist insect herbivores to landscape spatial structure. En : Landscape Ecology. Vol. 12 (1997); p. 185-197.

37 WILCOVE, D.S.; MCLELLAN, C.H.; and DOBSON, A.P.. Habitat fragmentation in the temperate zone. In: SOULE, M. Conservation Biology, the science of scarcity and diversity. Massachusetts: Sinauer. 1986 p. 237-256.

en las poblaciones de ciertas aves resulta de la fragmentación de sus hábitats naturales (Schmiegelow y Mönkkönen, 2002; Kattan, 1992), otros autores estudian los efectos en pequeños mamíferos (Ochoa, 2001; Hargis, Bissonette y Turner, 1999) y anfibios (Marsh y Pearman, 1997). También se relaciona con el incremento de la perturbación generada por el viento y la temperatura en los bordes, la aparición de especies oportunistas y la mortalidad de árboles en la amazonia (Laurance, 1998; Didham y Lawton, 1999; Cochrane, 2001), en general se evidencia una alteración en la diversidad biológica del ecosistema fragmentado y de las condiciones ambientales particulares del mismo (microclima), afectando negativamente las especies autóctonas que requieren de un hábitat continuo y las variables asociadas que presenta como temperatura y humedad.

Estos cambios en los ecosistemas, producto de la disturbancia son perceptibles en las comunidades vegetales, Braun-Blanquet (1979) refiere que la sociabilidad de muchas especies está sometida a grandes oscilaciones, sobre todo en tierras desnudas, cultivos abandonados, zonas que se han incendiado, bosques talados, entre otros, debido a que son fácilmente influenciados. Por ejemplo, el grado de sociabilidad entre las especies oportunistas depende en gran parte del tiempo transcurrido desde la última limpieza y del sistema de laboreo, indicando el grado y frecuencia de la perturbación (en este caso por una actividad antrópica).

Por tanto, la sociabilidad de las especies permite inferir algunas consecuencias acerca del estado de desarrollo de la cubierta vegetal. En los primeros estadios del desarrollo se destacan especies particulares de gran capacidad de competencia y se forman poblaciones continuas muy extensas, pero si se deja que la vegetación se desarrolle sin ninguna influencia externa empezarán a disminuir las poblaciones pioneras u oportunistas, conllevando a la disminución en el grado de sociabilidad.

Atendiendo lo anterior, Baker (1992) documenta la trascendencia de disturbancias como el fuego en la modificación de la estructura del paisaje en reservas naturales, particularmente en zonas con tipos vegetales fisonómicos heterogéneos; esta relación entre ecología del paisaje, intervención y áreas protegidas puede vincularse a procesos tales como la paramización³⁸, esta ocurre cuando los bosques altoandinos son talados, y se presenta invasión de elementos de regiones paramunas que se asocian con los remanentes de la vegetación boscosa y forman mosaicos variados. Este fenómeno se presenta por causas naturales ó antrópicas, las comunidades vegetales típicas del páramo trasgreden sus límites altitudinales de distribución e invaden localidades

38 La "Paramización" es un concepto diferente de "Praderización", primero por la zona latitudinal que referencia el segundo término, es decir, zonas templadas y homogéneas estructuralmente; en segundo caso, si este se aplica en la zona tórrida, debería asociarse a biomas de sabana ó laderas bajas de climas más cálidos.

anteriormente cubiertas con vegetación del bosque andino, una causa antropogénica referenciada es la acelerada deforestación (Hernández-C, 1997³⁹). La delimitación ecosistémica de Colombia utilizada por Etter (1998) en la elaboración del Mapa General de Ecosistemas a 1:1,500.000, se basó en los criterios de clasificación del sistema de Walter (1980), el cual utiliza el concepto de “bioma”, para definir “ambientes grandes y uniformes de la geo-biósfera”. Estas unidades corresponden a un área homogénea en términos biofísicos, ubicadas dentro de un tipo general de bioma y dentro de la cual se presentan diversos ecosistemas⁴⁰; la aplicación de estos criterios y empleando los lineamientos planteados por Sánchez y Rangel (1990) permiten reconocer visualmente dentro de los biomas terrestres para Colombia el Orobioma de páramo.

Publicaciones recientes sobre el ecosistema paramuno, con información relevante sobre la franja Colombiana, se encuentran recopiladas en las Memorias del Congreso Mundial de Paramos⁴¹ en este documento se presentan diversos trabajos sobre levantamientos de vegetación para la región de vida altoandina y paramuna, generalidades ambientales de la alta montaña, tipos fisonómicos, actividad humana, estrategias de gestión y conservación, entre otros. Igualmente un texto de obligada consulta es Colombia Diversidad Biótica III: la Región de la Vida Paramuna, documento elaborado por el Dr. Orlando Rangel (2000) y un selecto grupo de investigadores en esta temática.

Para la zona de estudio se encuentran diferentes escritos que describen aspectos constitutivos del orobioma considerado, Duque (1987,1992) ha efectuado estudios sobre los tipos de vegetación basándose en la fisonomía y composición florística del área, considerando aspectos ecológicos y la amenaza que incide sobre los tipos identificados; Rangel y Lozano (1986) realizan un perfil de vegetación entre la Plata (Huila) y el volcán Puracé generando listados de las especies presentes y su distribución altitudinal, y de igual forma se tienen los planes de manejo del Parque Nacional Natural Puracé, donde se considera información para lo diferentes elementos constitutivos del ares protegida, particularmente en lo relacionado con el componente social y turístico⁴².

Con respecto al análisis de coberturas y procesos de fragmentación en zonas altoandinas y de páramo el IDEAM (2002) y el Instituto Humboldt (IavH, 2002) han efectuado el trabajos de investigación en el desarrollo de indicadores para estos fenómenos asociando conceptos de presión antrópica y respuesta ecosistémica, con énfasis en áreas protegidas, de estos trabajos se resalta la búsqueda y construcción de indicadores pertinentes, sintéticos y acordes con el contexto socio-natural estudiado.

39 HERNANDEZ-C., J. Comentarios preliminares sobre la paramización en los andes de Colombia. Citado por: Rangel (2000).

40 ROMERO, Milton y SUA, Sonia. 2002.

41 Ministerio Del Medio Ambiente, CAR, IDEAM, Conservación Internacional Congreso Mundial de Paramos. (Paipa). Bogotá : Conservación Internacional - CAR. 2002. Tomos I (987 p.) y II (205 p.).

42 YASNÓ, C. *et al.* Esquema de ordenamiento territorial, diagnostico territorial. Laguna de San Rafael. Municipio de Puracé Cauca. 2000. Tomo II, p. 515-516.

Una herramienta muy útil en el estudio de la ecología del paisaje son los Sistemas de Información Geográfica (SIG), ya que la percepción remota y las técnicas de procesamiento digital permiten analizar las dinámicas de los sistemas antrópicos mediante técnicas como la fotogrametría (IGAC, 1984; Deuling, Woudsma and Franklin, 2000), La observación multitemporal y la abarcabilidad territorial, se potencian con el tratamiento estadístico de precisión y el tipo de análisis numérico al que se accede en el tratamiento digital de las imágenes (Abril, 1998). Ya que la detección de cambios permite conocer aspectos muy importantes sobre la dinámica de los ecosistemas, donde se puede determinar la distribución espacial de los cambios positivos y negativos, definiendo así un modelo de cambio de la cobertura vegetal, para un período determinado de tiempo (Zerda, 1999) y estos resultados se pueden expresar en modelos geográficos temáticos como los modelos digitales de terreno (MDT) a los cuales se puede superponer capas de información; Barredo y Bosque-Sendra (1996) citan a Cebrián y Mark, (1986) "El modelo digital del terreno (MDT), se utiliza para referir a los SIG, que incluyen, además de la topografía, otras propiedades del terreno: tipos de suelos, vegetación, hidrografía, red vial, entre otras".

Aunque existen diferentes metodologías e índices para acercarse a una evaluación cuantitativa de la fragmentación el empleo de estos índices es relativamente reciente, debido a la falta de concordancia entre criterios, parámetros, escalas y aceptación de las metodologías propuestas. Zerda (1999) realiza un trabajo sobre fragmentación en las regiones chaqueñas de Argentina el cual trabaja con índices estructurales para la cuantificación de cambios de cobertura, al igual que Wade, T. *et al.* (2000) y Ritters, K. *et al.* (2000) desarrollan índices para estudiar el proceso relacionando causas y patrones globales que desencadenan esta perturbación. En contraposición a las distintas metodologías utilizadas para determinar o estimar cambios de cobertura, fragmentación, degradación, etc., en Europa se está tratando de homogenizar el lenguaje y las metodologías utilizadas en estudios medioambientales, enmarcándolas en el programa CORINE LAND COVER⁴³ (CLC) que se trata de una base de datos geográfica de la cobertura y uso de la tierra. Un ejemplo son los estudios de Steenmans y Pinborg (2000) en los cuales se obtuvieron índices de fragmentación, empleando la agregación de clases CORINE, para diferentes regiones geográficas de Europa. De igual forma, se han efectuado replicas de este método en Latinoamérica, tal es el caso de Troche (sf) emplea este sistema cuya finalidad es la de proponer la homogeneización de metodologías y leyendas de cobertura y uso de las tierras, de igual forma el INVEMAR (2002) lo considera en la definición metodológica del índice de fragmentación empleado en el Informe sobre el Estado de los Ambientes Marinos y Costeros de Colombia: Año 2001.

43 CEC. CORINE Land Cover: Guide technique. Report EUR 1285EN., Luxembourg : Office for Publications of the European Communities, 1993. 144 pp.

Alcázar (2003) emplea para la meseta de Popayán el análisis multitemporal para identificar cambios de cobertura, cambios internos de estructura y factores de intervención que incidan en la transformación de la zona considerada en su investigación.

Valencia (2004) realiza la zonificación de un humedal empleando métodos fotogramétricos y de cartografía temática como soporte para la caracterización y modelación del mesohábitat de una comunidad de anuros en Popayán.

De igual forma al momento de publicación de este trabajo se informo del resultado de un trabajo de zonificación ambiental de los paramos en los municipios de Silvia, Totoró y Jambaló comprendiendo 180.000 ha. En el marco de un convenio entre IGAC-CRC⁴⁴, para el mismo se emplearon metodologías de ecología del paisaje, con una base cartográfica ARCInfo, escala 1:50.000 y base Oracle; donde el tema de fragmentación no ha sido abordado al detalle pero el presente permite abordar lineamientos y conceptos para la formulación del plan de manejo de este bioma para la región considerada.

⁴⁴ En publicación, Ing. Julio Cesar Rodriguez. Comunicacion Verbal.

4. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. HIPÓTESIS

La intervención humana sobre los diferentes biomas ha generado alteración en las dinámicas ecológicas de los sistemas naturales, los requerimientos de la especie le han obligado a obtener recursos e insumos de las zonas en las cuales se establece o de otras distintas que posean el capital demandado.

La presión ejercida sobre los ecosistemas ha desencadenado procesos que alteran la homeostasis del mismo, empezando a ser relevante en biología y ecología el paradigma de la fragmentación, el cual ha enfatizado los cambios que ocurren en la configuración del paisaje, correspondiendo éste a la heterogeneidad de un área de tierra compuesta por un grupo de ecosistemas interactuantes, que se repite en forma similar a lo largo del espacio (Forman y Godron, 1986). Sin embargo generalmente se ignoran otros efectos antropogénicos, lo cual es inadecuado para los propósitos de conservación (Bierregaard y Dale, 1996) y la perspectiva científica.

La fragmentación y la pérdida de hábitat son procesos correlacionados, los cuales probablemente, son la amenaza mas importante para la diversidad global (Laurance, 2001). Especialmente para ecosistemas estratégicos como lo es el Páramo, el cual ha sido sometido a múltiples agresiones, en diversos periodos de manera constante, las quemadas, la expansión de fronteras agrícolas y urbanas, la ganadería y las vías, entre otras, afectan su potencial hídrico, faunístico y de vegetación.

Por tanto se plantea que **El proceso de fragmentación que se presenta en el área de estudio, como consecuencia del proceso de intervención antrópica, esta alterando las dinámicas del ecosistema. Por tanto, en las comunidades vegetales se presentan cambios en la frecuencia y grado de cobertura aumentando la heterogeneidad del paisaje.**

4.2. ZONA DE ESTUDIO

El Parque Nacional Natural (PNN) Puracé se encuentra ubicado en Jurisdicción de los Departamentos de Cauca y Huila, comprende una extensión de 83.000 hectáreas, dentro de los siguientes Municipios: Puracé, Sotará, San Sebastián, La Vega, Santa Rosa (Cauca), y La Plata, La Argentina, San Agustín, Isnos y Salado Blanco (Huila). Este fue declarado provisionalmente por la Gobernación del Departamento del Cauca mediante Decreto No. 199 de 1961 con una extensión de 9.000 ha; luego por Resolución No. 92 de 1968 de la Junta Directiva

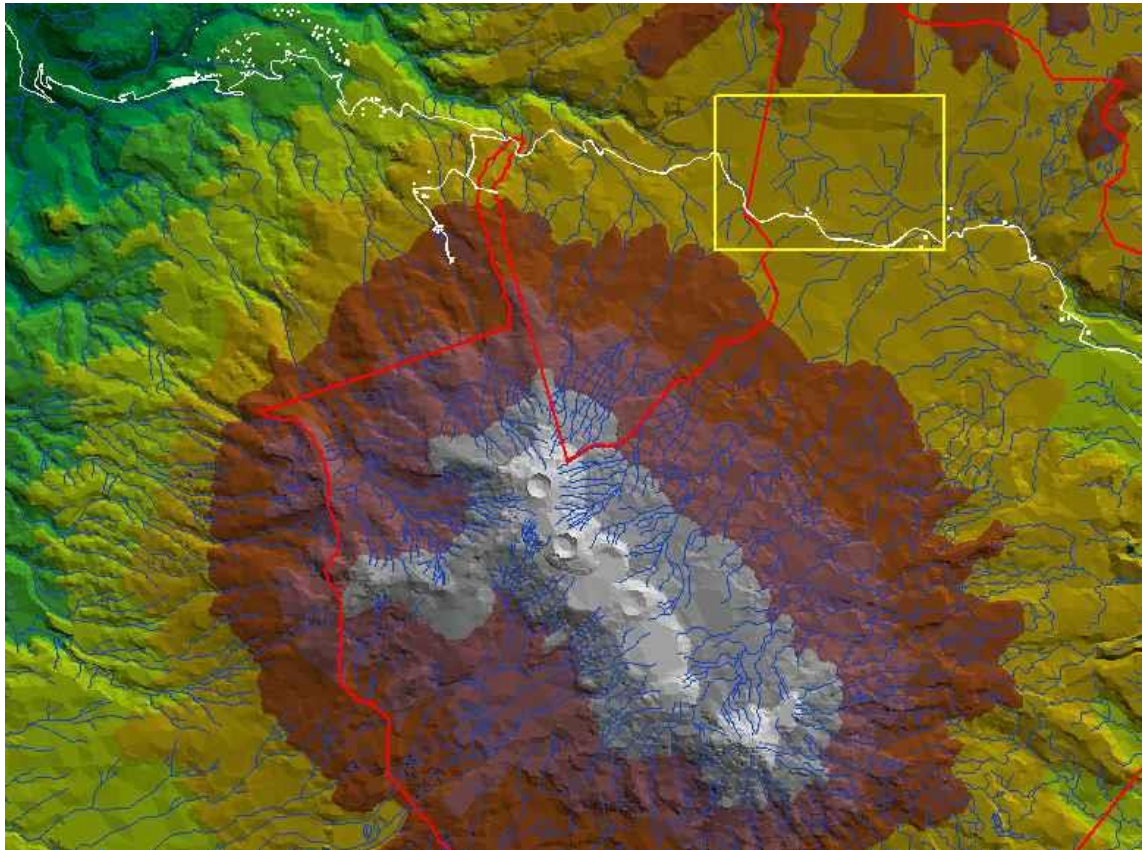
del INCORA y con la creación del INDERENA en el mismo año, se le asigna a éste Instituto el manejo, vigilancia y desarrollo de los Parques Nacionales Naturales incluyendo el Parque Nacional Natural Puracé. En el año de 1975 según el acuerdo 33 de la Junta Directiva amplió su área a 64.000 ha. y en el año de 1977 a 83.000 ha. según acuerdo No. 21 de 1977.

Su localización Geográfica es: $1^{\circ} 50'$ - $2^{\circ} 24'$ Latitud Norte y $76^{\circ} 37'$ - $76^{\circ} 42'$ Longitud Oeste, sus coordenadas planas son: X: 694.250 – 757.670 W, Y: 1.044.350 – 1.093.000 N.

La zona de estudio se encuentra ubicada al Nor-Oriente del Parque, en el Municipio de Puracé, departamento del Cauca y corresponde al Sector de la Laguna de San Rafael específicamente.

En la Figura 3 se presenta la ventana de procesamiento, la totalidad corresponde al área de estudio trabajada con imágenes satelitales Landsat TM (1989-1999), el recuadro en amarillo representa el sector de San Rafael (Trabajado con aerofotografías 1979-1987); el limite del PNN. Puracé se dibuja en rojo.

Figura 3 Ventana de procesamiento y Área de estudio.



El sector de San Rafael se encuentra a una altitud promedio de 3.354 m.s.n.m., en el mismo se pueden observar gran cantidad de frailejones planta típica de los páramos presentes en la asociación Frailejonal-pajonal, y Chuscales que dominan en los alrededores de la laguna de San Rafael, y sobre las pendientes de las colinas circundantes parches de bosque y arbustales (Ver figura 4).

Figura 4 Laguna de San Rafael – PNN. Puracé



Entre los rangos de pendientes en la zona se tienen de 0–10% Plano a ligeramente ondulado para los alrededores a la laguna de San Rafael y 31–40% Quebrado en zonas aledañas colinadas y hacia la base del volcán Puracé.

El Régimen de distribución de lluvias, para la laguna de San Rafael es unimodal biestacional, presentando un promedio anual 190.37mm. para el periodo comprendido entre 1970 y 1993; la época de mayor precipitación se reporta para los meses de mayo – agosto y el periodo seco para los meses entre septiembre y abril. Según la clasificación ecológica de localidades atendiendo las clases de distribución de los montos anuales de precipitación (2284,39 mm.), el sector de San Rafael es húmedo estacional (Rangel, 2000).

Los grupos étnicos de la zona están representados por los Coconucos cuya densidad de ocupación es de 50 hectáreas aproximadamente (en el sector estudiado), 8 indígenas poseen territorio en este sector sin viviendas; el Resguardo Indígena de Puracé tiene área de influencia directa en los sectores de Pilimbalá y San Rafael.

4.3. METODOLOGÍA

La investigación busca analizar las causas y el grado de fragmentación al que se ve sometida una zona dentro del PNN. Puracé, para tal efecto se han determinado las siguientes metodologías atendiendo los siguientes componentes: Vegetación, procesamiento digital de imágenes y empleo de herramientas SIG, aplicación de índices de fragmentación y descripción de actividades antrópicas relacionadas con la Fragmentación.

4.3.1. Metodología para estudiar la vegetación.

Inicialmente esta se determinan las zonas de muestro partiendo de insumos cartográficos y jornadas de reconocimiento en campo, para el establecimiento de las zonas de muestreo se realiza una evaluación preliminar del sitio atendiendo los criterios propuestos por Braun Blanquet⁴⁵ (1979).

La identificación de las comunidades a estudiar parte del trabajo preliminar al campo hecho sobre cartografía, donde se reconocen las comunidades vegetales y se delimitan como unidades de vegetación.

Las comunidades vegetales, tipos de vegetación, asociaciones y otras son unidades fitosociológicas que pueden analizarse para estudiar alteraciones ecosistémicas, Rangel (2000) emplea estas unidades para estudiar la diversidad beta de la región de vida paramuna, y Duque (1987) asocia a las comunidades identificadas en el área de estudio procesos de intervención antrópica.

La delimitación de estas unidades tiene en cuenta dos conceptos, el primero la unidad de terreno analizada retomando el concepto planteado por Zonneveld (1961) y en segundo lugar los tipos fisonómicos que pueden referirse en general para la identificación de coberturas ó comunidades vegetales en la región de vida paramuna⁴⁶ dependiendo del nivel de detalle.

Muestreos de vegetación

Dentro de los mosaicos (compuestos por diferentes parches) se realizará un estudio de las comunidades vegetales presentes, estableciendo parcelas de muestro, empleando las metodologías propuesta por J. Braun Blanquet (1979), Ramírez⁴⁷ y Díaz⁴⁸ (2002) para el bioma de Páramo y en el bosque altoandino según Gentry (1993) con el fin de obtener datos cuantitativos

45 Criterio para extensión de la superficie estudiada y delimitación de las comunidades (Ramírez y Díaz, 2002) comunicación personal.

46 Rangel, 2000. p. 658.

47 Bernardo Ramírez (Mg) Asesor del proyecto, Profesor y especialista en sistemática Vegetal Universidad del Cauca, miembro del Grupo de Estudios Ambientales (GEA).

48 Sandra L. Díaz, Bióloga (Universidad del Cauca) quien desarrolla un trabajo de fitosociología en la región paramuna de y quien aconseja el uso de parcelas con tamaños determinados por la fisonomía del parche a trabajar. 2002.

como riqueza de especies, grado de coberturas y frecuencia, posibilitando la identificación de cambios a los que se ha sometido el sistema.

El enfoque empleado atendiendo el referente metodológico propuesto por Braun Blanquet es el sincorológico ya que este permite estudiar la distribución de las comunidades entendiendo el sistema como un mosaico; lo anterior es propuesto desde cuatro aspectos: El ordenamiento espacial de las comunidades que conlleva a la zonificación local de comunidades donde se consideran aspectos fisiográficos y edáficos que influyen en la distribución de las mismas; el área de las comunidades para conocer el espacio ocupado por sus representantes; el aspecto corológico donde se aborda la heterogeneidad horizontal y el componente geográfico; por último para la generación de información especializada se tiene la cartografía de la vegetación, en este punto la escala recomendada por el autor para subunidades de vegetación como las comunidades es 1:50.000.

Para los muestreos se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- Se colectan las diferentes especies vegetales que tengan mas de un uno por ciento (1%) de cobertura del área total a muestrear. (Ramírez, 2002)⁴⁹
- Para realizar las parcelas, se tendrá en cuenta el aspecto fisonómico (clasificación ecológica) de la vegetación presente en el parche, empleando las siguientes dimensiones:

Tabla 1 Área de las parcelas empleadas para el muestreo de la vegetación.

Tipo Fisonómico	Área de la parcela
Pajonales	4 x 4 (16m ²)
Frailejonales	5 x 5 (25m ²) ó 10 x 5 (50m ²)
Chuscales	4 x 4 (16m ²)
Matorrales	10 x 5 (50m ²)
Pastos	2 x 2 (4m ²)
Bosque altoandino	10 x 10 (100m ²)

De igual forma se considerara la presencia-ausencia de las especies vegetales en las parcelas de muestreo, con estos datos se analiza la variación en la cantidad de especies contenidas en una comunidad y los individuos comunes entre comunidades similares con diferentes niveles de intervención, lo anterior permite efectuar comparaciones cualitativas de composición empleando para ello el índice de similaridad de Jaccard y determinar la variación en la composición causada por la fragmentación.

49 Comunicación personal.

Los especímenes colectados son depositados en el Herbario de la Universidad del Cauca (CAUP), bajo los códigos de colecta JPMartínez 001 a 335 y SCJDaza 40 a 225, para consultas ó revisiones posteriores.

4.3.2. Empleo de los Sistema de Información Geográfica - SIG

Determinación de áreas de muestreo y parámetros de interpretación.

Se identifican los mosaicos de interés con ayuda de fotografías aéreas, determinando así los parches que serán objeto del estudio, estableciendo cualitativamente las variaciones en las áreas cubiertas por vegetación en diferentes periodos (selección de coberturas), especialmente atendiendo los cambios estructurales, teniendo en cuenta los criterios empleados por la WWF y la Unidad administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales⁵⁰ para el análisis de imágenes. La selección de las coberturas se realizo bajo los siguientes elementos básicos:

- Tono de las imágenes: Caracteriza la claridad o oscuridad de la región analizada dentro de la imagen.
- Textura: define la suavidad o aspereza de una región de la imagen, usualmente la textura es causada por el patrón de las zonas iluminadas y sombreadas cuando una superficie irregular es iluminada desde un ángulo inclinado.
- Sombras: Cada objeto cuando es iluminado desde cierto ángulo, proyecta una sombra que puede revelar características de tamaño que no necesariamente son visibles desde la posición vertical de donde fue tomada la imagen.
- Patrón: Se refiere al ordenamiento de objetos individuales en formas distinguibles y recurrentes que permiten el reconocimiento desde la imagen.
- Asociación: Se refiere a la ocurrencia característica de ciertos objetos o rasgos que usualmente no tienen un arreglo espacial estricto, por ejemplo algunas vías y los asentamientos humanos
- Forma: La Forma da indicios para identificar los rasgos
- Tamaño: Importante por la dimensión relativo de un objeto en relación con otros y también por la medida absoluta de algún objeto.
- Ubicación: Se refiere a la posición topográfica de algún rasgo (Georreferenciación)

⁵⁰ Informe del análisis multitemporal Parque Nacional Natural Nevado del Huila y su zona de influencia, herramienta de apoyo para la metodología de análisis de efectividad en los Parques Nacionales, elaborado por WWF – Pograma colombia y Ministerio del Medio ambiente Unidad administrativa especial del sistema de Parques Nacionales Naturales 2002.

Procesamiento Digital de Imágenes:

La composición elegida para interpretar el uso y cobertura vegetal es bandas 4, 5 y 3 la cual permite la mejor interpretación visual de las imágenes, realzando y discriminando las diferentes coberturas vegetales y diferenciándolas de las coberturas de agua, suelo (o roca) desnudo, zonas urbanas, entre otras. En la tabla 2 se presenta las diferencias de tonos en este tipo de composición.

Tabla 2 Tonos para Coberturas en una Composición 4,5,3 de una Imagen Landsat según Chuvieco (1996).

Tipo de Cobertura	Tono
Bosques y selvas.	Café, marrón y naranja oscuro
Vegetación vigorosa de bosques, bosques plantados, bosque ripario o de galería o cultivos bajo riego y otros agroecosistemas.	Rojo a magenta
Pastos y gramíneas.	Verdes claros y azulosos
Cubiertas parcial o totalmente de agua: Entre mayor sedimentos contenga el agua más claro es el tono de azul e inversamente.	Azul oscuro a negro
Ciudades y áreas pobladas, a zonas con vegetación de pantano o a rocas desnudas	Grises y azules metálicos
Áreas de escasa o nula vegetación como nubes, arenas, canteras, depósitos salinos, suelos desnudos	Blancos y azules claros
Nieve	Morado brillante

El análisis digital de datos, y específicamente, imágenes digitales de percepción remota orbital, ha posibilitado, en los últimos años, el desarrollo de las técnicas orientadas al análisis de datos multidimensionales, adquiridos por diversos tipos de sensores. Estas técnicas han recibido el nombre de procesamiento digital de imágenes (PDI)⁵¹.

El procesamiento digital de imágenes puede ser dividido en tres etapas independientes a saber: preprocesamiento, realce y clasificación.

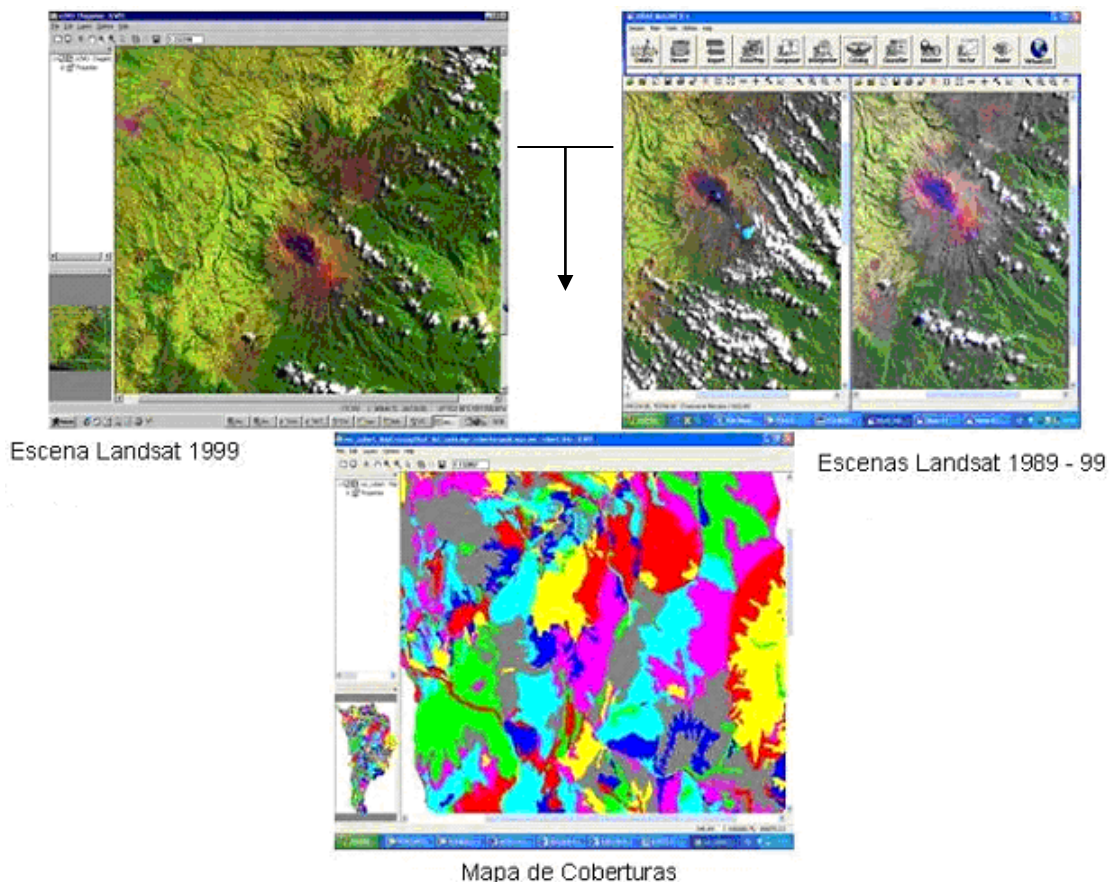
- El preprocesamiento se refiere al procesamiento inicial de los datos brutos para la calibración radiométrica de la imagen, la corrección de distorsiones geométricas entre otros.
- Las técnicas de realce más comunes en PDI son, realce de contraste, filtraje, operación aritmética, entre otros.

⁵¹ MARTÍNEZ. Juan. *et al.* Relación de Cartografía Generada y Procesada Para el Proyecto ARIADNA. Informe Técnico. Proyecto ARIADNA Adquisición Remota de Información Ambiental Para Diagnostico y Gestión de Recursos Naturales. Universidad del Cauca COLCIENCIAS-CINTEL. 2003. 21p.

- Las técnicas de clasificación pueden ser divididas en clasificación supervisada (por píxel) y clasificación no supervisada (por regiones).

Sin embargo, el usuario puede evitar el empleo de los algoritmos de clasificación y realizar una interpretación directa sobre una imagen realzada. Las técnicas de PDI son aplicadas teniendo en cuenta los números digitales (DN) atribuidos a los píxeles de una imagen. Dependiendo de la técnica utilizada el usuario trabajará con una única imagen (banda o PI) o con varias imágenes, la última opción es conocida como “técnica multiespectral”, por tratar varias imágenes de la misma escena, en regiones diferentes del espectro electromagnético⁵² y fue empleada en el proyecto para la elaboración del mapa de coberturas y fragmentación, en la figura 5 se ilustra parte del procesamiento en el cual se emplearon las plataformas ILWIS y ERDAS⁵³.

Figura 5 Esquema de Procesamiento Digital de Imágenes



⁵² En el caso de las imágenes satelitales empleadas el número de bandas manipuladas son 7, Landsat TM, el sensor TM posee una banda en el infrarrojo térmico, que tiene una resolución de 120 metros.

⁵³ Licencia accedida a través del convenio existente con la Territorial Surandina de Parques. (PNN Munchique).

Procesamiento Fotogramétrico⁵⁴:

A continuación se relaciona de forma general el procedimiento para la generación de un ortofotomapa en la suite LISA para la generación del mapa de comunidades vegetales del sector San Rafael.

1. Delimitación del área de estudio en la zona nor-oriental del parque nacional natural Puracé, Sector San Rafael ubicado entre las coordenadas mínimas N:740000 - W:1065000 y máximas N:755000- W:1085000.

La ventana de trabajo tiene un área aproximada de 1218,22 ha., para las coordenadas planas se emplea la proyección Transverse Mercator.

2. Revisión de la información espacial disponible para el área de estudio, de la cual se seleccionan los siguientes insumos:

Tabla 3 Cartografía seleccionada como insumo para la elaboración de la ortofoto

Tipo de insumo	Escala	Fuente	Detalle
Fotografías aéreas	1:60000	IGAC	Vuelo VM1337 (1965)
	1:33500	IGAC	Vuelo C1892 (1979)
	1:40000	IGAC	Vuelo C2462 (1987)
Cartografía base	1:25000	IGAC	Planchas análogas
			• 365-I-A
			• 365-I-B
			• 365-I-C
• 365-I-D			
Cartografía base	1:100000	IGAC	Plancha análoga
			• 365
Mapa del PNN Puracé	1:50000	PNN	Sectores y límite del parque nacional natural Puracé.
Fotografías oblicuas			Reconocimiento y documentación de coberturas

En este caso las aerofotografías y la cartografía base es empleada como insumo espacial primario para procesamiento fotogramétrico, de las anteriores, las fotografías aéreas no poseen un sistema de coordenadas, el cual es asignado mediante el trabajo en la suite LISA.

3. Definición de las fajas y bloques a trabajar en la zona:

Teniendo en cuenta el área de trabajo y con el fin de realizar una adecuada planificación del trabajo en campo se definen:

⁵⁴ Basado en el documento: FIGUEROA. Apolinar. et al. Elaboración de Una Ortofoto Para El Área Piloto Del Proyecto ARIADNA. Informe Técnico. Proyecto ARIADNA Adquisición Remota de Información Ambiental Para Diagnostico y Gestión de Recursos Naturales. Universidad del Cauca COLCIENCIAS-CINTEL .2003. 19p.

- Tres (3) fajas, a cada una se asigna una orientación respectiva dependiendo de la dirección de toma del vuelo (Norte–Sur ó viceversa), con estas se elabora un bloque. Con el cual de forma posterior a su procesamiento se genera el fotomosaico, insumo para la elaboración de la ortofoto. Para el fotomosaico del área trabajada, se trabajo en promedio con un traslape lateral (Or-Occ) del 30% y un traslape longitudinal (N-S) del 50 a 60%.

4. Trabajo en campo correspondiente a georreferenciación, esto se realiza ubicando espacialmente con la ayuda de geoposicionadores, sitios fotoidentificables para emplearlos como puntos de control.

Teniendo en cuenta la fase de planeamiento, se definen los sitios de interés a mostrar atendiendo la relación costo-esfuerzo-beneficio, la idea es tener puntos de control precisos que permitan asignar una adecuada georreferenciación a la imagen, y a su vez, garanticen el amarre para las fotos en una faja, y de estas en el bloque.

Para estas actividades el grupo de estudios ambientales ha definido un protocolo para la captura de datos en campo y particularmente en lo relacionado con la actividad de geoposicionamiento posee un formato donde se consignan datos como coordenadas geográficas, numero de foto y faja, altitud, descripción del sitio, observaciones y un croquis del punto donde debe orientarse el norte, mediante estas formas se ha generado una base de datos de aproximadamente 280 puntos empleados para la elaboración de la ortofoto.

De igual forma se obtuvieron a partir de cartografía base otros 50 puntos para completar zonas no accesibles por los equipos de campo.

Para el geoposicionamiento se emplea el sistema de coordenadas geográficas (Latitud/Longitud) con unidades en grados, minutos y segundos; como datum primario se define Observatorio de Bogotá y secundario WGS84⁵⁵, en este caso el elipsoide de referencia es Internacional 1924.

5. En el sitio de trabajo se concentran las demás fases, de las cuales las dos primeras y que se realizan de manera paralela son:
- Escaneo de aerofotografías con una resolución no inferior a 600 dpi⁵⁶, en escala de grises, para obtener imágenes en formato BMP y con un tamaño aproximado de 24 a 28 MB, por el tipo de barredor deben escanearse por mitades (Zuleta, 2001).
 - Transformación de coordenadas geográficas a planas, empleando como sistema de proyección Transverse Mercator y origen occidente.

⁵⁵ Para el caso de los equipos MAGELLAN, en GARMIN solo se define Observatorio de Bogotá.

⁵⁶ dpi: Puntos por pulgada, unidad de superficie para imágenes.

Producto de la transformación de coordenadas se crean archivos planos que contienen los puntos de control con los que se realiza la georreferenciación de las aerofotografías.

6. Posteriormente se procesan las fotografías para tener imágenes enteras (Unión), y se genera una lista de puntos de control como archivo plano, posteriormente se realiza el ingreso de esta información en la plataforma LISA.

En al suite LISA se realizan una serie de procesamientos con las aerofotografías a saber:

Tabla 4 Procesamientos Realizados en la Suite LISA.

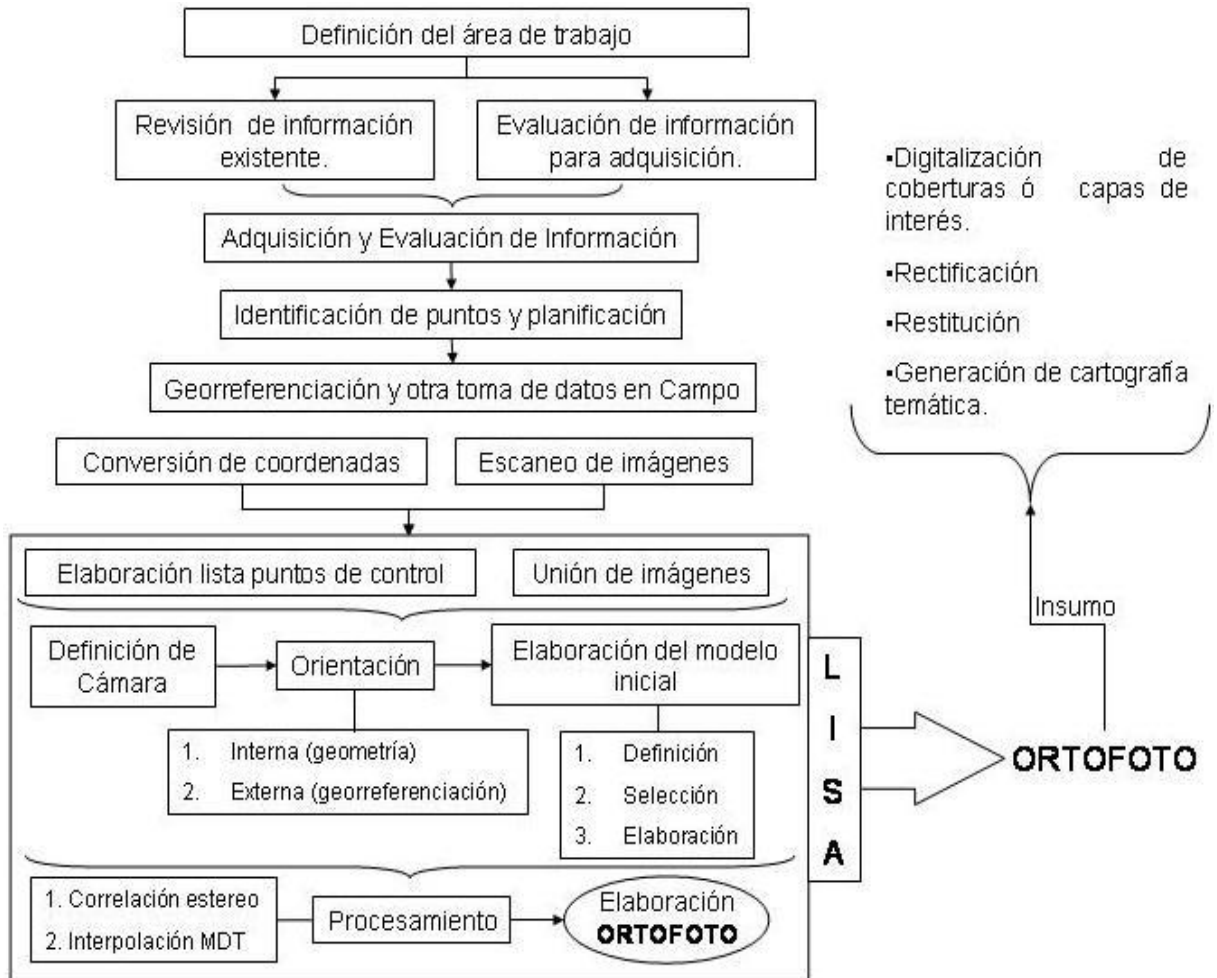
PROCESO	DESCRIPCIÓN
Definición de Cámara	Definición de la cámara teniendo en cuenta las características de la misma y si distancia focal.
Orientación	1. Orientación interna para asignar la geometría a cada fotografía. 2. Orientación Externa para referenciar la imagen empleando los puntos de control.
Elaboración del Modelo	1. Definición del modelo, selección de las fotos a integrar. 2. Selección del modelo, donde se escogen las parejas elaboradas en la fase anterior y se unen en un bloque. 3. Elaboración del Modelo, se tienen en cuenta las orientaciones y los puntos de control.
MDT	Se define como el modelo digital de terreno inicial y obtiene valores reales de altura a partir de los puntos de control y son incorporados al modelo elaborado.
Procesamiento	Correlación estereo, es un primer ajuste que realiza el programa sobre el modelo de terreno inicial y permite realizar correcciones en los puntos de amarre. (GITT.IMA) Interpolación del MDT, emplea las correcciones del paso anterior (GITT.IMA) e interpola un MDT mas preciso
ORTHO	Emplea el modelo definido y mediante un algoritmo matemático, realiza la ortorectificación del mismo, las opciones son vecino más próximo y método bilineal, generando una ortofoto (ORTHO).

7. Se obtiene un ortofotomosaico como insumo para:

- Digitalización de coberturas ó capas de interés (comunidades vegetales, asociaciones, usos del suelo, entre otras.).
- Generación de cartografía temática.

En la figura 6 se ilustra el proceso de elaboración de una ortofoto teniendo en cuenta los pasos mencionados anteriormente.

Figura 6 Proceso de elaboración de una ortofoto y su utilidad en el proyecto



Metodología para la Identificación de Coberturas y Comunidades Vegetales interpretando imágenes de sensores remotos.

Para el proyecto los tipos de vegetación o clases de cobertura se basan en las características de la vegetación tanto natural como antrópica, que puedan ser identificadas en las imágenes de satélite y aerofotografías, atendiendo los criterios presentados en los dos primeros acápite de este numeral y con base en la ortofoto referida anteriormente.

Al nivel de vegetación natural, la clasificación utiliza datos estructurales (tipos de vegetación) y fisonómicos generales de la vegetación (Tabla 5).

Tabla 5 Grandes Categorías de Clasificación Vegetal (Modificado de Romero y Sua, 2001)

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 ó Matorral	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.
Herbazal, sabana, vegetación de páramo.	Vegetación dominada por hierbas y gramíneas. A veces tienen árboles y arbustos, pero en forma dispersa (e.j. herbazal arbolado, sabana). El término herbazal puede ser sustituido por sabanas naturales.
Otros	Se incluyen otros tipos de vegetación donde pueden existir combinaciones entre estas clases estructurales.

A nivel de uso, producto de la intervención antrópica se tendrá en cuenta las siguientes categorías:

Tabla 6 Categorías de Uso del Suelo (Modificado de Romero y Sua, 2001)

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.
Chagra de viento	Cobertura vegetal producto de claros originados por acción del viento
Vegetación secundaria	Vegetación secundaria producto de la sucesión natural. Abarca la sucesión temprana e intermedia.
Sin vegetación	Áreas desprovistas de vegetación. Estas pueden ser arenales, salares, roca desnuda, etc.
Cuerpos de agua (Lagunas)	Corrientes, Canales, Lagunas
Otros	Se incluyen la combinación de las categorías anteriormente mencionadas donde no es posible dada la escala de trabajo diferenciarlas.

Para las comunidades vegetales del páramo, identificadas a partir de los tipos fisonómicos se tienen en cuenta las siguientes clases siguiendo los grupos propuestos por Rangel (2002), estos se trabajaran mediante fotointerpretación:

Tabla 7 tipos fisonómicos empleados para la clasificación de coberturas en los ortofotomapas.

Tipo Fisonómico	Descripción
Bosque	Vegetación con estrato arbóreo.
Arbustal	Vegetación arbustiva, con predominio de elementos leñosos.
Chuscal	Dominada homogéneamente por bambú paramuno (<i>Chusquea tesellata</i>) en sitios húmedos y anegados.
Frailejonal	Vegetación con un estrato arbustivo emergente conformado por rosetas de <i>Espeletia</i> , entre otros, propias del páramo.
Pajonal	Vegetación herbácea dominada por gramíneas en macollas comunidades de <i>Calamagrostis</i> .
Tremedal-Turbera	Predominio del estrato rasante ó en algunos casos con un estrato herbáceo pobre en cobertura (Ej. Colchones compactos de <i>Distichia muscoides</i>).
Pastos	Cobertura vegetal de tipo graminoide natural o plantado.
Lagunas	Sistemas lénticos.

Se debe verificar la información proveniente de la interpretación por medio de visitas de campo.

5.1.1. Metodología Empleada para Estudiar la Fragmentación.

Los indicadores de fragmentación reflejan los patrones espaciales de los ecosistemas y ofrecen una visión de la configuración de estos, a través de medidas de área, forma ó borde de los fragmentos. Estos factores determinan la dinámica de los procesos ecológicos al interior de los ecosistemas y se convierten en una herramienta de análisis a tener en cuenta en la toma de decisiones políticas para el manejo de los recursos naturales.

La política nacional de Biodiversidad contempla en su estrategia de conservación, la ejecución de medidas de conservación *in-situ* a través del sistema de áreas protegidas y la recuperación de ecosistemas degradados, que obligan al manejo de indicadores que permitan monitorear la fragmentación de ecosistemas para el seguimiento de dicha política (IavH, 2002); algunos de los índices empleados coinciden con los propuestos por el Instituto Humboldt para monitorear este proceso en ecosistemas estratégicos, esto permitirá compaginar los resultados de esta investigación con otros calculados bajo la misma línea metodológica.

Para efectuar el análisis del proceso de fragmentación se empleo el software FRAGSTATS⁵⁷, versión libre, desarrollado por Kevin McGarigal (1995), el cual

⁵⁷ McGarigal and Marks. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. V. 2. USA. 1995.

calcula diferentes índices estadísticos para cada parche y clases en un paisaje y para el paisaje como un todo. Los cálculos se inician al ingresar al programa las coberturas generadas en formato ASCII a partir del procesamiento digital y la clasificación de imágenes en los programas LISA⁵⁸, ERDAS⁵⁹ y Arc View⁶⁰.

Para emplear el programa se aplican dos criterios de procesamiento, el primero hace referencia al nivel de análisis por clases para cuantificar la composición del paisaje en el área trabajada en las dos escalas de información. El uso de este nivel permite inferir como la composición y configuración pueden afectar los procesos ecológicos de forma independiente e interactiva, como se plantea en los estudios hechos en ecología del paisaje.

El segundo se conoce como la regla de 8, consiste en que el programa efectúa una exploración de adyacencia de todos los píxeles contiguos al píxel analizado para calcular sus valores, esto permite generar datos mas precisos para proximidad y forma.

Cada uno de los índices fue escogido por la información que provee y el hecho de que no incluyen métricas redundantes⁶¹ y cada índice representa un aspecto de la fragmentación), por esta razón se presenta un conjunto de índices calculados para la ventana de trabajo con el fin de permitir una interpretación integral ya que los índices por separado no presentan información interpretativa de un área (McGarigal y Marks, 1995).

Los parámetros de fragmentación calculados para cada tipo de cobertura y tipo fisonómico (comunidades vegetales) son los siguientes:

NP : Numero de parches. El rango de este índice es ≥ 1 a infinito, el valor de este índice es igual a 1 cuando el paisaje estudiado contiene solamente un parche correspondiente a la clasificación considerada (tipos de coberturas), si la clasificación se hace sobre un solo tipo de cobertura ó clase el índice debe ser igual a uno, indicando la presencia de un solo tipo de parche.

LPI: Índice del parche mayor (LPI). Su Rango es igual a $0 < LPI \cdot 100$; LPI se aproxima a 0 cuando el parche mas grande de un tipo correspondiente de parche es de tamaño reducido y se aproxima a 100 si el parche es mayor. LPI es igual al área (m²) del parche mas grande de un parche particular dividido por el área total del paisaje multiplicado por 100 para generar un porcentaje, es decir LPI es igual al porcentaje del paisaje ocupado por el parche mas grande.

58 Universidad de Dusseldorf. LISA Módulos FOTO y BASE. Versión 3.x. Dr – Dr. Ing. Wilfried Linder .Instituto de Geografía Física Heinrich-Heinne. Alemania. 2001.

59 ERDAS Inc. Erdas Imagine. Versión 8.x. ERDAS, Atlanta. USA. 1999.

60 ESRI Inc. ArcView GIS. Versión 8.2. Environmental Systems Research Institute. USA. 2003

61 Es decir, expresan la misma información de formas alternas.

LSI: Índice de forma del paisaje, el rango de este índice va de ≥ 1 a infinito. LSI es igual a 1 cuando el paisaje corresponde de un solo tipo de parche cuya forma es circular (vector) o cuadrado (raster), LSI se incrementa en la medida en que la forma del parche se torne mas irregular y/ó la longitud del borde del mismo se incremente. LSI es igual a la suma de los bordes del paisaje y todos los segmentos de borde contenidos en el mismo que envuelvan un tipo de parche determinado; dividido por la raíz cuadrada del área total del paisaje (m^2), ajustada por una constante estándar para paisajes circulares (vector) o cuadrados (raster).

MPS: Índice de significancia del tamaño del parche, su rango va de > 0 a infinito. El índice de significancia del tamaño del parche (MPS) es igual a la suma de las áreas (m^2) de todos los parches de una clase correspondiente, dividido por el numero de parches del mismo tipo, dividido por 10,000 para convertirlo a hectáreas.

Proximidad: El índice de proximidad (PROXIM) es igual a la suma de las áreas de un tipo de parche (m^2) dividido por la distancia mas cercana de borde a borde (m^2) existente entre un parche y el parche focal de ese mismo tipo y cuyos bordes se especifican a una distancia determinada del parche focal.

En la siguiente tabla se presenta la escala, abreviatura empleada en las tablas de resultados y la unidad en que se expresan sus valores.

Tabla 8 Relación de escala y unidades de los índices empleados en la cuantificación de la fragmentación (Modificado de McGarigal y Marks, 1995)

Escala	Abreviatura	Unidad
Class/landscape	NP	Number of patches (#)
Class/landscape	LPI	Largest patch index (%)
Class/landscape	LSI	Landscape shape index
Class/landscape	MPS	Mean patch size (ha)
Patch	PROXIM	Proximity index

5.1.2. Descripción de las Actividades Antrópicas.

En cuanto al uso de suelo se realizarán identificaciones de campo para determinar el empleo que se da del recurso suelo en el lugar de estudio, analizando actividades como la agricultura, explotación forestal y ganadería, teniendo en cuenta los tamaños destinados para cada actividad y en lo posible estimar la antigüedad de estas, Una herramienta importante para lograr esta descripción serán las entrevistas que se realicen a los habitantes del sector

(por Ej. Personas del cabildo), también se consultara la cartografía del sector en busca de información respecto a las actividades desarrolladas, además el Plan de ordenamiento tanto del PNN. Puracé como del municipio de Puracé para observar los antecedentes y las consideraciones, esto permitirá dilucidar como el factor “hombre” genera alteración de los ecosistemas y cambios a nivel de paisaje.

Aplicación de la Matriz de FEARO.

Para un garantizar un proceso mas comprensivo es importante definir para el análisis lo que se entiende por condiciones, componentes, indicadores y actividad.

Condiciones: Hace referencia a las circunstancias que afectan procesos en el ecosistema: por ejemplo, áreas ribereñas que se encuentran aradas, deforestadas, periodo de crecientes en un río, ocupación del espacio por presencia de viviendas en las áreas ribereñas, existencia de vegetación de galería etc.

Componentes: Con esto se definen las estructuras que constituyen en el análisis un ecosistema, componente Biótico (Vegetación, fauna), Abiótico (suelo, agua) Humano. Cada componente esta constituido por indicadores. Para el análisis se utilizaran solo indicadores de primer nivel o básicos.

Indicadores: Aquí se tienen tres niveles de indicadores de tercero segundo y primer orden. Los de tercer orden son indicadores macros que agrupan indicadores de segundo orden los cuales definen características o patrones de relevancia para el área que se estudia y pueden agrupar varios indicadores específicos de primer nivel por patrón o característica definida en el ecosistema.

Actividad: Hace referencia a la acción que se desarrolla en el proceso de extracción, para este análisis todas las actividades están relacionadas con la actividad de dragado.

Para realizar la caracterización y descripción de las actividades se emplean dos metodologías que serán descritas de forma sintética:

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, disponiendo a lo largo de sus ejes verticales y horizontales las acciones ó etapas de una intervención y los factores ambientales que podrían ser afectados, lo cual permite asignarles en las cuadrículas correspondientes las interacciones ó posibles impactos de cada

acción sobre los componentes por ellos modificados; esta matriz permite tener una visión integrada de los efectos de las etapas de intervención consideradas sobre los componente biofísicos, socioeconómicos y culturales⁶².

Los criterios empleados para evaluar el posible efecto son⁶³:

- 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.

El uso de la matriz parte de la inscripción, en el eje horizontal, de las actividades ó fases que tienen lugar en la intervención analizada; en el eje vertical se incluyen los indicadores de alteración por cada componente del ecosistema, mas el componente socio-económico; en la matriz se marcan los cuadros donde se encuentren interacciones, empleando la simbología respectiva para indicar si es negativa ó positiva.

Consideraciones para la Elaboración de Modelos Fenomenológicos.

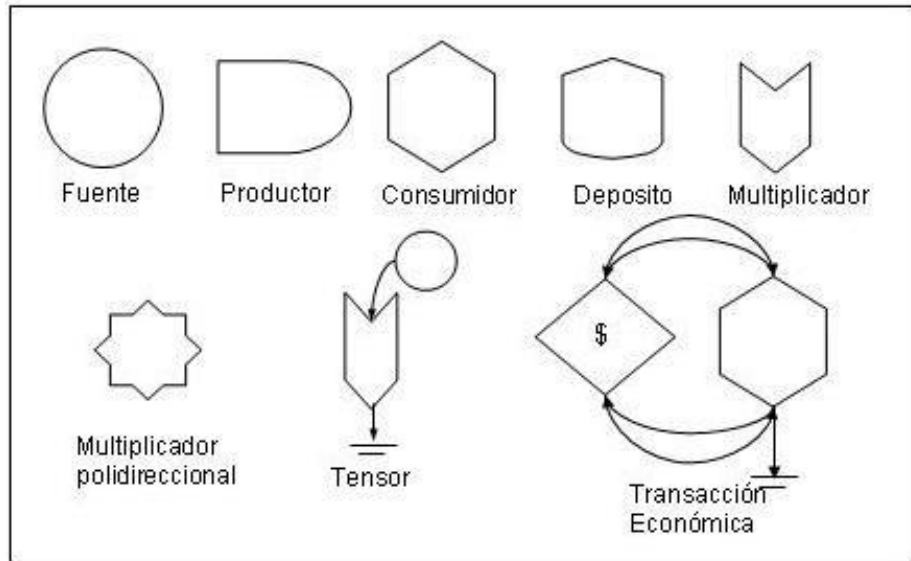
Como una herramienta conceptual complementaria y con el objeto de mantener la relación entre particularidad o especificidad de las interacciones con el conjunto del ecosistema, pudiendo fácilmente ir de lo particular a lo general y viceversa se utiliza aquí el análisis de sistemas planteado por Odum (1972) a partir de su simbología energética, desarrollando un modelo fenomenológico de las tensiones asociadas a la fragmentación de un ecosistema paramuno (tn) sector laguna de San Rafael PNN. Puracé.

Estos 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.

62 Figueroa, *et al.* 1998.

63 *Ibid.*, p.87-88.

Figura 7 Simbología empleada en la elaboración de modelos fenomenológicos (Modificado de Lugo, 1982)



5.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el manejo de los datos y cálculos a realizar para interpretar el comportamiento de las comunidades vegetales (en especial las asociaciones distinguidas a partir de sus tipos fisonómicos) ante las alteraciones que se presentan en el sistema, particularmente lo concerniente al proceso de fragmentación se considera lo siguiente:

Para el análisis multitemporal de áreas y presencia ausencia de individuos en las comunidades se realizara la prueba de Chi-cuadrado (X^2) para respaldar el análisis de la cambio de las mismas; este método fue desarrollado por Karl Pearson (1857-1936) en 1900, aplicando sus resultados en el ámbito biológico. El contraste de homogeneidad mediante la prueba Chi-Cuadrado entre dos variables cualitativas (o también llamado contraste de independencia entre dos variables cualitativas) se basa en la comparación de las frecuencias obtenidas con las frecuencias esperadas.

Para calcular el estadístico de contraste Chi-Cuadrado, se construye en primer lugar la tabla de contingencia de dimensiones r (número de filas) por c (número de columnas) con las frecuencias absolutas observadas, que son el resultado de contar el número de individuos para cada par de posibilidades de los distintos niveles de la segunda variable y de la primera variable.

La formula empleada es: $X^2 = \sum (O - E)^2 / E$; por convención estadística se utiliza el valor de 0.05 de probabilidad como el valor límite o crítico. Si el valor de Chi-

cuadrado calculado para un experimento es mayor que el correspondiente al de la probabilidad del 5% se rechaza la hipótesis.

Para verificar la si existe similaridad entre las comunidades intervenidas se emplean índices de similitud/disimilitud obtenidos con base en datos cualitativos a través de métodos de ordenación o clasificación de las comunidades. Estos índices expresan el grado en el que dos muestras son semejantes por las especies presentes en ellas, por lo que son una medida inversa de la diversidad beta, que se refiere al cambio de especies entre dos muestras. Sin embargo, a partir de un valor de similitud (s) se puede calcular fácilmente la disimilitud (d) entre las muestras: $d=1-s$ (Magurran, 1988).

Para el presente trabajo se aplicara el indice de similitud de Jaccard y sobre su resultado se hallara la disimilitud de las comunidades estudiadas; el valor se obtiene de la formula $I_j = c / a+b-c$. (Moreno, 2001).

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

5.1. ESTUDIO DE LAS COMUNIDADES VEGETALES

Para obtener un contexto ecosistémico integral de las alteraciones generadas por el proceso de fragmentación en las comunidades vegetales estudiadas se presenta a continuación un análisis del cambio de coberturas, clasificadas por tipos fisonómicos y escala trabajada; inicialmente se tienen los datos del procesamiento digital de las imágenes Landsat para los años 1989 y 1999 con una escala de salida aproximada a 1:85.000 y un área cubierta de 35509,084 ha. (Figuras 8 y 9).

Los datos de reducción de áreas ocupadas por tipos de cobertura se presentan en las tablas 9 y 10, discriminando los dos periodos comparados en este trabajo.

Tabla 9 Coberturas vegetales identificadas para el año 1989 en la ventana de estudio a partir de imágenes LANDSAT (453).

COBERTURAS AÑO 1989		
COBERTURA	PERÍMETRO (m)	ÁREA (Ha)
Bosque	1211699,236	12374,296
Páramo	875099,496	15233,152
Superpáramo	101408,624	1041,239
Humedales	30906,420	130,484
Rastrojo	519825,572	1813,700
Pastos	623046,995	3000,201
Cultivos	165728,981	560,707
Lagunas	6321,248	30,682
Arenales - Aflor. Rocosos	79583,854	1148,789
Área Construida	1697,979	6,274
Nieve	15240,000	169,560
TOTAL	3630558,405	35509,084

Tabla 10 Coberturas vegetales identificadas para el año 1999 en la ventana de estudio a partir de imágenes LANDSAT (453).

COBERTURAS AÑO 1999		
COBERTURA	PERÍMETRO (m)	ÁREA (Ha)
Bosque	1211699,236	12374,296
Páramo	875099,496	15233,152
Superpáramo	101408,624	1041,239
Humedales	30906,420	130,484
Rastrojo	519825,572	1813,700
Pastos	623046,995	3000,201

Figura 8 Mapa de Coberturas vegetales identificadas para el año 1989 en la ventana de estudio a partir de imágenes Landsat (453).

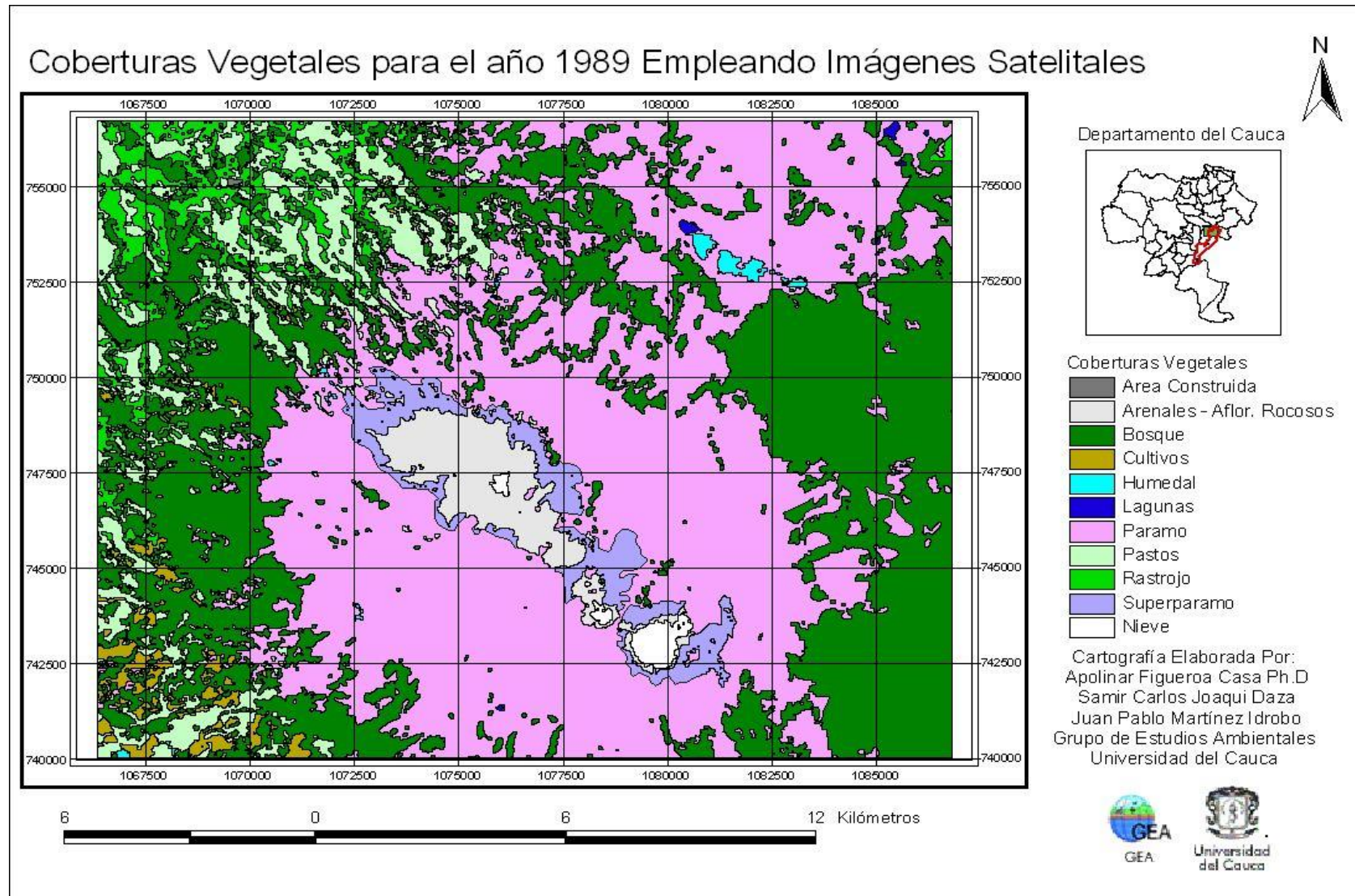
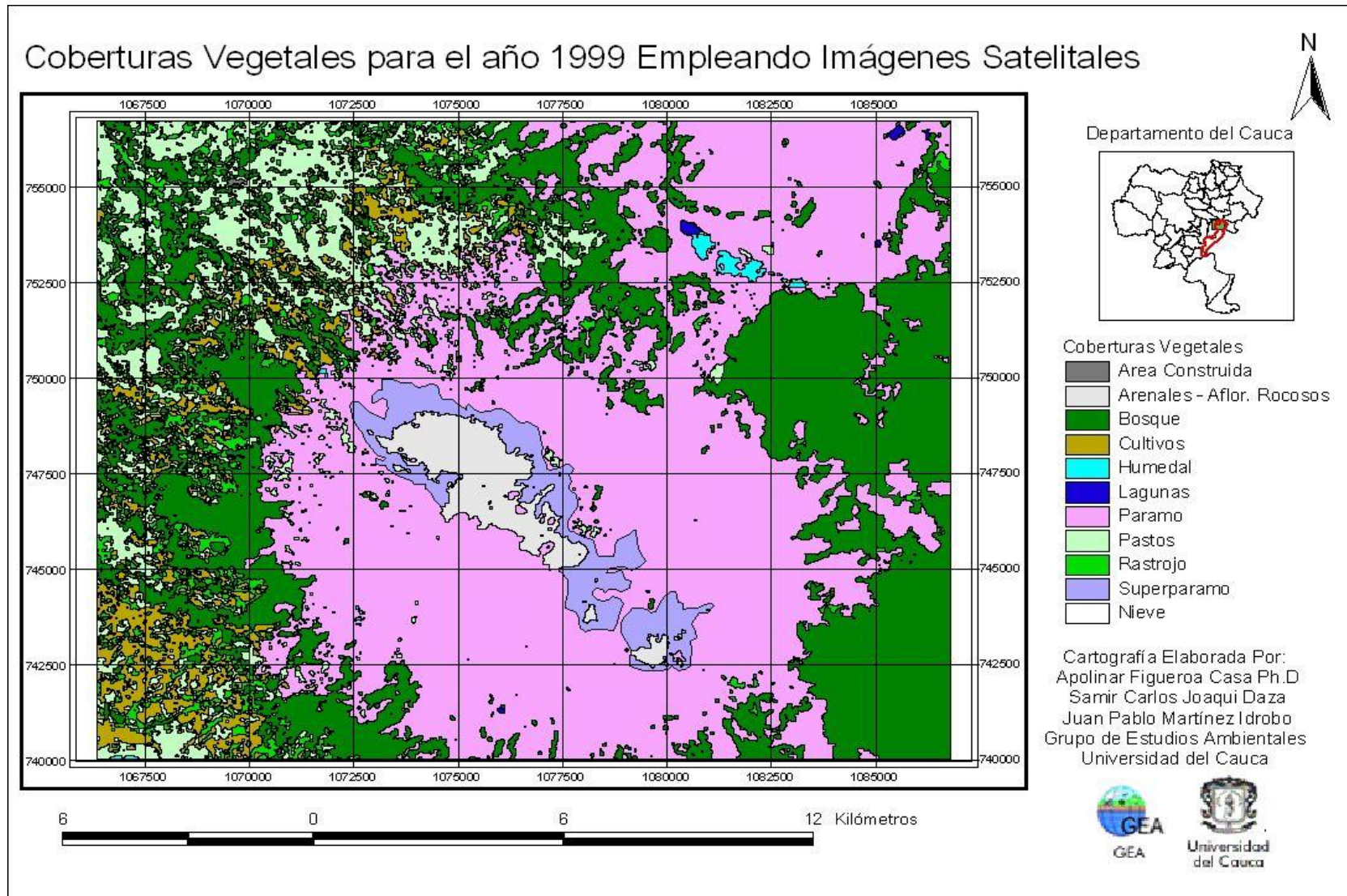


Figura 9 Mapa de Coberturas vegetales identificadas para el año 1999 en la ventana de estudio a partir de imágenes Landsat (453).



Cultivos	165728,981	560,707
Lagunas	6321,248	30,682
Arenales - Aflor. Rocosos	79583,854	1148,789
Área Construida	1697,979	6,274
Nieve	15240,000	169,560
TOTAL	3630558,405	35509,084

Aplicando el índice de cambio de coberturas⁶⁴ propuesto por IDEAM (2002), en el Sistema De Información Ambiental De Colombia (SIAC) para el periodo comprendido entre 1989 y 1999, se encuentra que se presenta una reducción en el área ocupada por las coberturas vegetales naturales y el incremento de aquellas intervenidas.

Tabla 11 Cambio porcentual y medio anual de las Coberturas vegetales identificadas para el periodo 1989 - 1999 en la ventana de estudio a partir de imágenes LANDSAT (453).

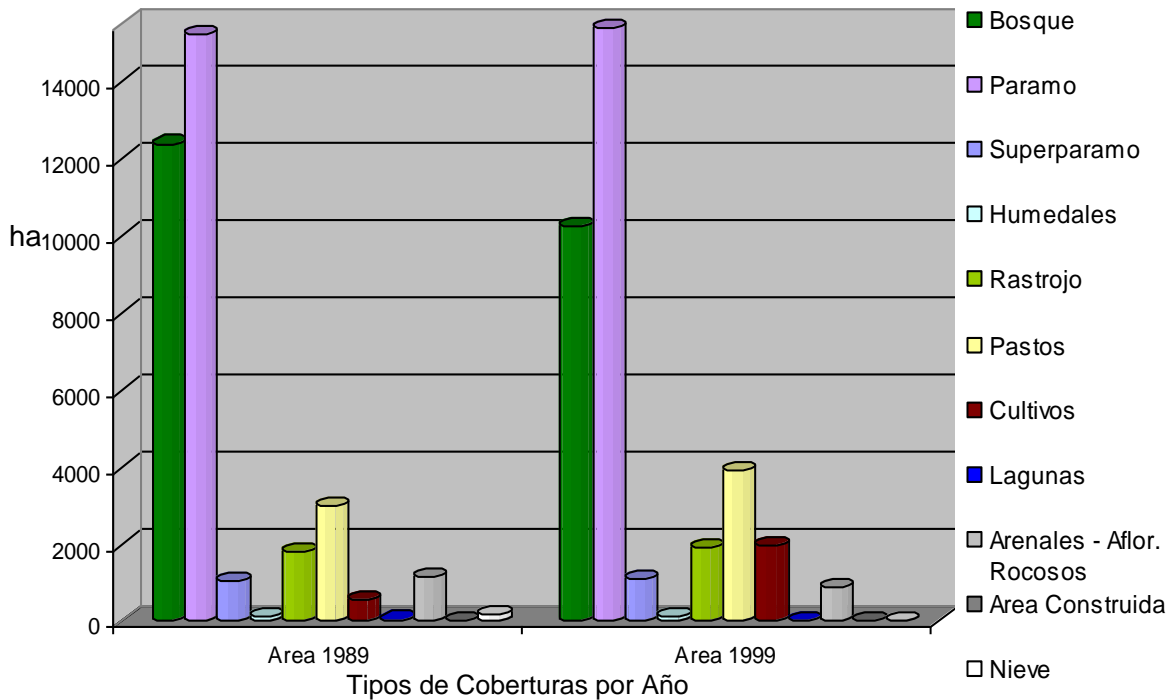
COBERTURA	% CAMBIO COBERTURA	CAMBIO MEDIO ANUAL (ha/año)
Bosque	-17,33014145	-214,4483
Páramo	1,072811458	16,3423
Superpáramo	6,01792672	6,2661
Humedales	-19,25600074	-2,5126
Rastrojo	4,50592711	8,1724
Pastos	30,12704815	90,3872
Cultivos	250,1202946	140,2442
Lagunas	-13,46717945	-0,4132
Arenales - Aflor. Rocosos	-23,90412861	-27,4608
Area Construida	63,53203698	0,3986
Nieve	-100	-16,956

En la tabulación anterior se observa disminución en el área ocupada, indicada con el signo “-”, para las coberturas vegetales tipo bosque (-17,33%) y humedales (-19,25%), así como para lagunas (-13,46%), afloramiento rocosos-arenales (-23,90%) y la reducción total de la capa de nieve (-100%); de igual forma, para el mismo periodo analizado se incrementan las coberturas de cultivos (250,12%), pastos (30,12%), superpáramo (6,01%), paramos (1,07%), rastrojo (5,50%) y áreas construidas (63,53%).

La figura 10 representa las áreas ocupadas por tipo de cobertura para los años 1989 y 1999.

64 Formula: $(A2 - A1) / A1 * 100$, donde A1 es el área del año inicial y A2 es el área del año final de observación.

Figura 10 áreas ocupadas por tipo de cobertura para los años 1989 y 1999



En esta grafica se aprecia que las coberturas vegetales naturales con mayor área ocupada en el espacio considerado son páramo y bosques, así como las coberturas intervenidas tipo pastos y cultivos; las barras ilustran una reducción en bosques y la pérdida de la cobertura de nieve, en contraposición al aumento de los pastos y cultivos.

La reducción en la capa de nieve que se presentaba de forma permanente hasta finales de la década del 80 sobre la cadena volcánica de Puracé se debe al acelerado efecto del calentamiento global, tal como lo referencia Castaño⁶⁵ para ecosistemas altoandinos y paramúnos de Colombia. La variación en el área ocupada por las lagunas y humedales es producto de la estacionalidad de las imágenes (época de lluvia - seca).

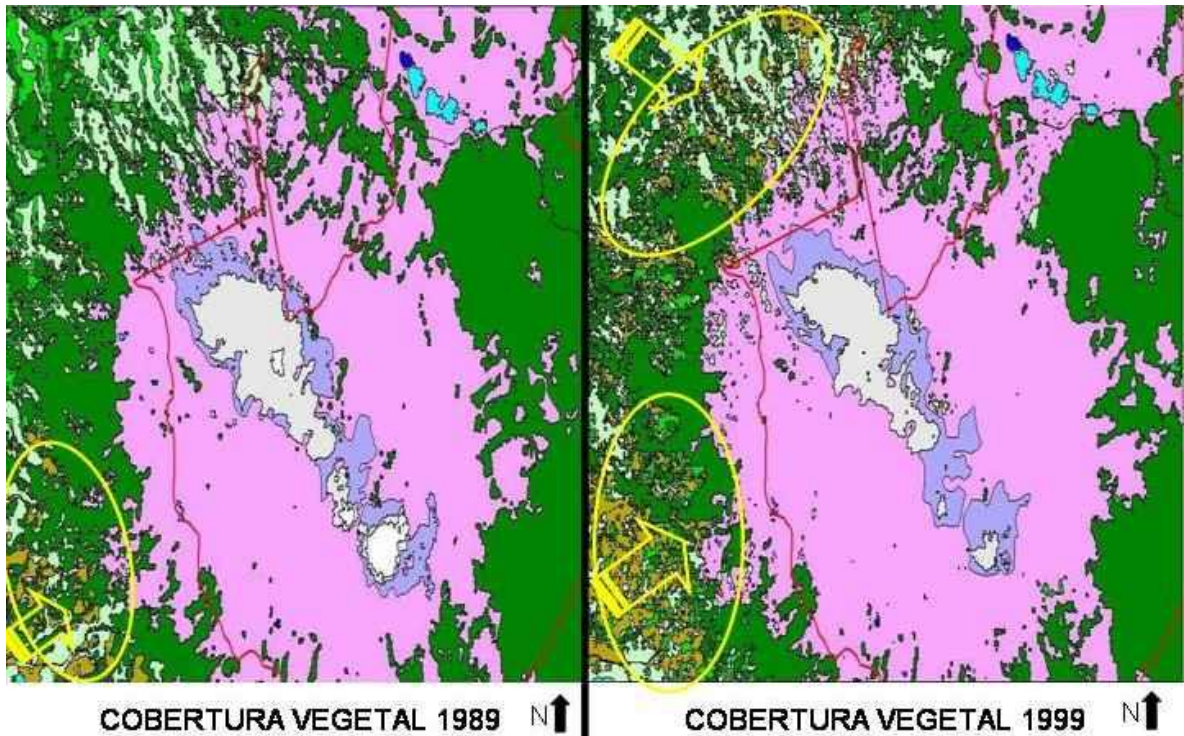
Según el análisis de Chi-cuadrado para datos no paramétricos, considerando como valor crítico 0.05 de probabilidad, se comprueba que las reducciones de las coberturas de bosque y nieve son significativas, así como el incremento en las áreas de cultivos y pastos, situación particular porque esta ultima cobertura se encuentra al interior del área protegida y en zonas inmediatas ó de amortiguación donde se aprecia una transformación considerable de coberturas⁶⁶.

65 CASTAÑO, Carlos. Paramos y ecosistemas altoandinos de Colombia en condición Hotspots y Global Climatic Tensor. Bogotá : IDEAM, 2001. p. 361-170.

66 La información presentada es tomada del trabajo de Grado "Análisis Multitemporal de las coberturas vegetales para Ecotopos Paramúnos en el Parque Nacional Natural Puracé Utilizando Sistemas de Información Geográfica" (Joaqui, 2005) donde se aborda esta temática en profundidad.

A partir de la interpretación de los mapas de coberturas vegetales se grafica la direccionalidad de ocupación (Figura 11), los óvalos amarillos señalan las zonas de presión y la direccionalidad en la expansión de las áreas de cultivos y pastos (en tonalidades café y verde claro respectivamente), el contacto rojo corresponde al limite del parque.

Figura 11 Direccionalidad de ocupación en la ventana de estudio.



El análisis de las imágenes muestra una presión en sentido occidente-oriente y norte-suroriente hacia el territorio protegido en el PNN Puracé.

Para obtener un panorama mas detallado de la ventana estudiada se trabaja el sector de San Rafael en el PNN. Puracé con técnicas fotogramétricas para la identificación de los tipos fisonómicos de las comunidades vegetales típicas del páramo, en este análisis la escala de salida esta alrededor de 1: 40:000 cubriendo una extensión de 1218,22 ha aproximadamente. En las tablas 12 y 13 se presentan los datos tabulados para el cambio de áreas ocupadas por tipo fisonómico, los valores encontrados es la siguiente:

Tabla 12 Tipos Fisonómicos identificados para el año 1979 en el sector de San Rafael - PNN. Puracé, a partir del ortofotomapa de la zona.

UNIDAD	USO	ÁREA (m ²)	PERÍMETRO (m)	HECTÁREAS
Arbustal	Conservación/ Extracción	1514103,971	27124,721	151,410

Bosque	Conservación	2479758,749	54532,901	247,976
Chuscal	Conservación	479815,237	8473,104	47,982
Frailejonales	Conservación/ Ganadería	1312933,399	16615,697	131,293
Lagunas	Conservación	224479,829	3621,821	22,448
Pajonales	Conservación/ Ganadería	5814965,433	82355,044	581,497
Pastos	Ganadería	21942,481	852,406	2,194
Tremedal - Turbera	Conservación	334214,862	5608,835	33,421

Tabla 13 Tipos Fisonómicos identificados para el año 1987 en el sector de San Rafael - PNN. Puracé, a partir del ortofotomapa de la zona.

UNIDAD	USO	ÁREA (m ²)	PERÍMETRO (m)	HECTÁREAS
Arbustal	Conservación/ Extracción	1474359,886	26375,426	147,436
Bosque	Conservación	2110527,596	43876,901	211,053
Chuscal	Conservación	577712,915	9652,914	57,771
Frailejonales	Conservación/ Ganadería	1467106,147	18723,067	146,711
Lagunas	Conservación	223959,205	3731,388	22,396
Pajonales	Conservación/ Ganadería	5776381,200	79025,353	577,638
Pastos	Ganadería	93361,220	2088,244	9,336
Tremedal - Turbera	Conservación	458805,793	6939,435	45,881

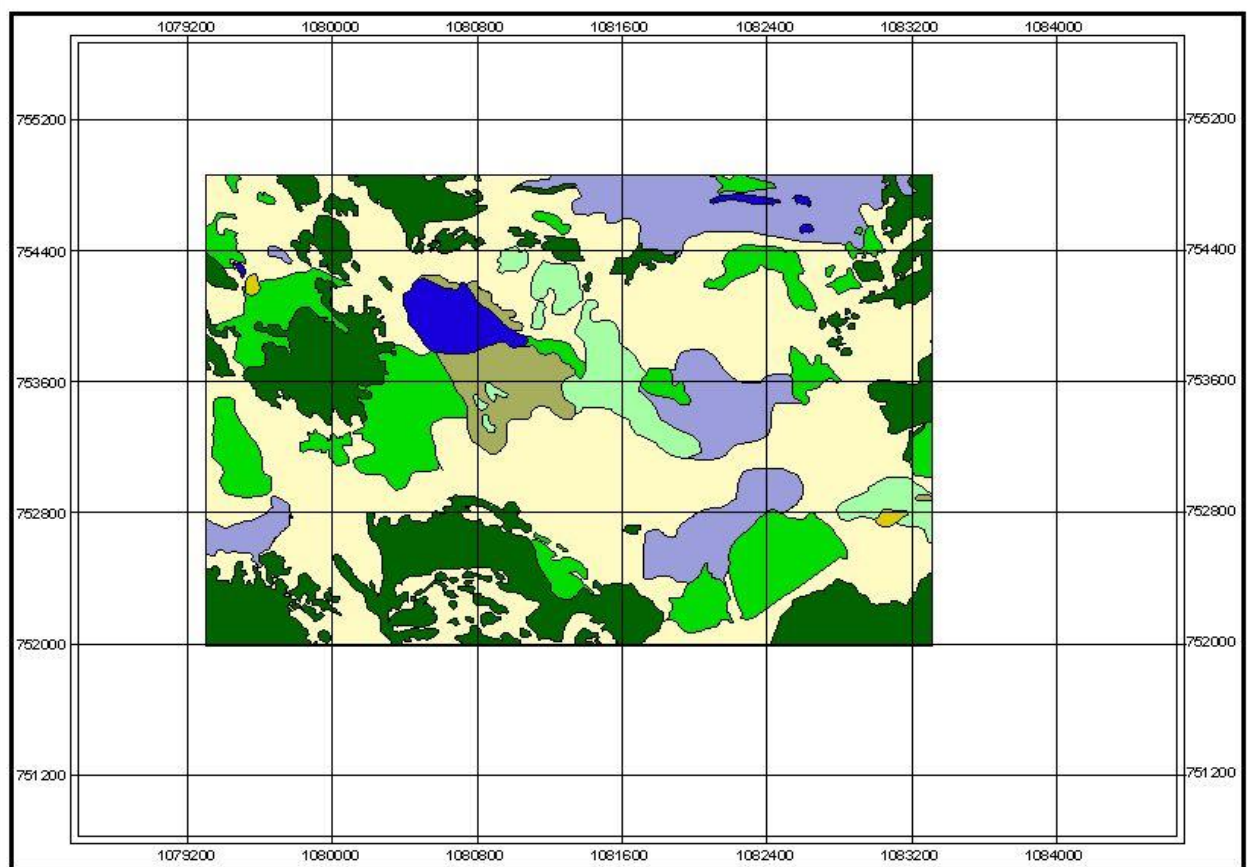
Los resultados se pueden observar en las figuras 12 y 13 donde se espacializan las comunidades para un lapso de tiempo comprendido entre 1979 y 1987.

En la siguiente tabla se presenta el porcentaje de cambio y el cambio medio anual en hectárea/año para cada tipo, es importante considerar el uso que se da de las mismas en la zona, los datos muestran que las coberturas de conservación tienen un importante porcentaje de cambio.

Tabla 14 Cambio porcentual y medio anual de las Coberturas vegetales identificadas para el periodo 1979 - 1987 en el sector de San Rafael a partir de fotografías aéreas.

COBERTURA	% CAMBIO COBERTURA	CAMBIO MEDIO ANUAL (ha/año)
Arbustal	-2,62	-0,50
Bosque	-14,89	-4,62
Chuscal	20,40	1,22
Frailejonales	11,74	1,93
Lagunas	-0,23	-0,01

Coberturas Vegetales para el año 1979 Empleando Fotogrametría



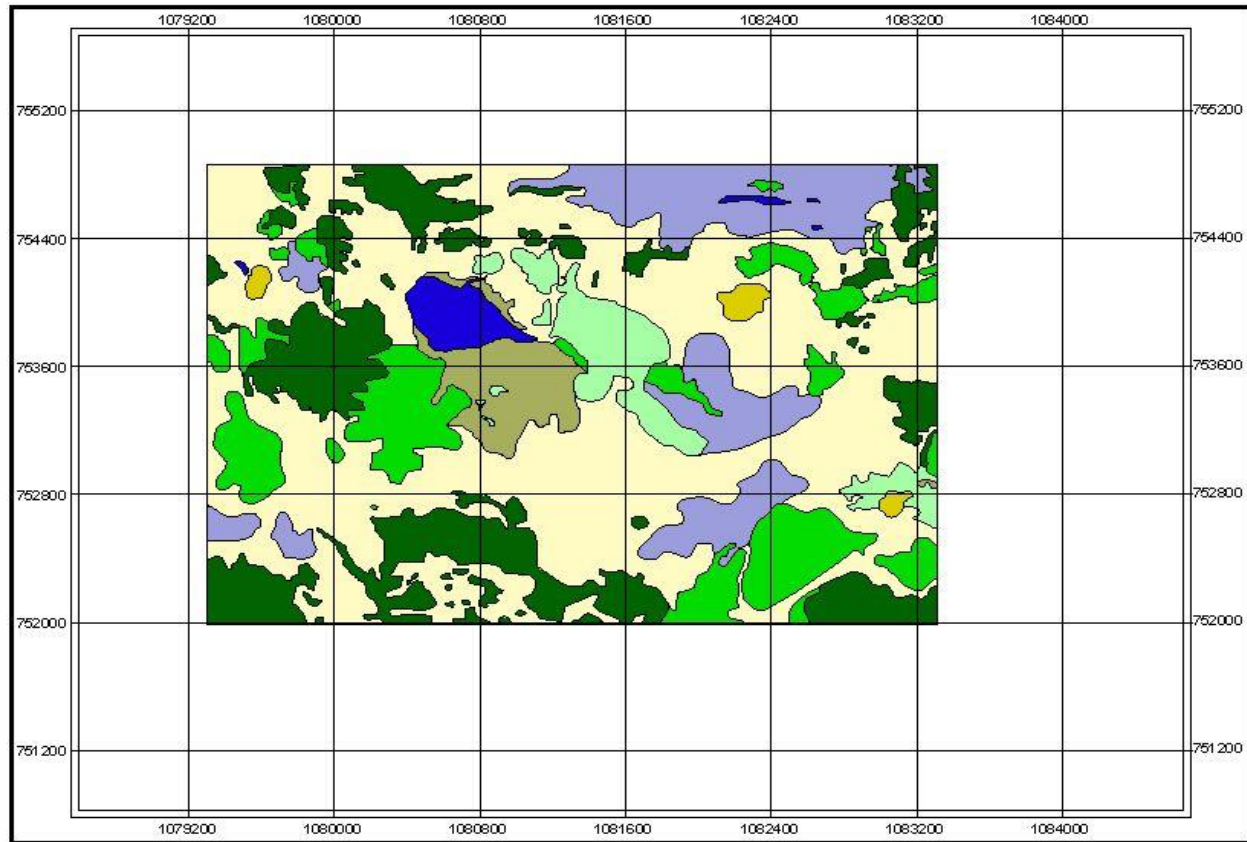
- Comunidades Vegetales
- Arbustal
 - Bosque
 - Chuscal
 - Frailejonales
 - Lagunas
 - Pajonales
 - Pastos
 - Tremedal - Turbera

Cartografía Elaborada Por:
 Apolinar Figueroa Casa Ph.D
 Samir Carlos Joaqui Daza
 Juan Pablo Martínez Idrobo
 Grupo de Estudios Ambientales
 Universidad del Cauca



Figura 12 Coberturas Vegetales para el año 1979 empleando fotogrametria

Coberturas Vegetales para el año 1987 Empleando Fotogrametría



Departamento del Cauca



Comunidades Vegetales

-  Arbustal
-  Bosque
-  Chuscal
-  Frailejonales
-  Lagunas
-  Pajonales
-  Pastos
-  Tremedal - Turbera

Cartografía Elaborada Por:
Apolinar Figueroa Casa Ph.D
Samir Carlos Joaqui Daza
Juan Pablo Martínez Idrobo

Grupo de Estudios Ambientales
Universidad del Cauca



Figura 13 Coberturas vegetales para el año 1987 empleando fotogrametría.

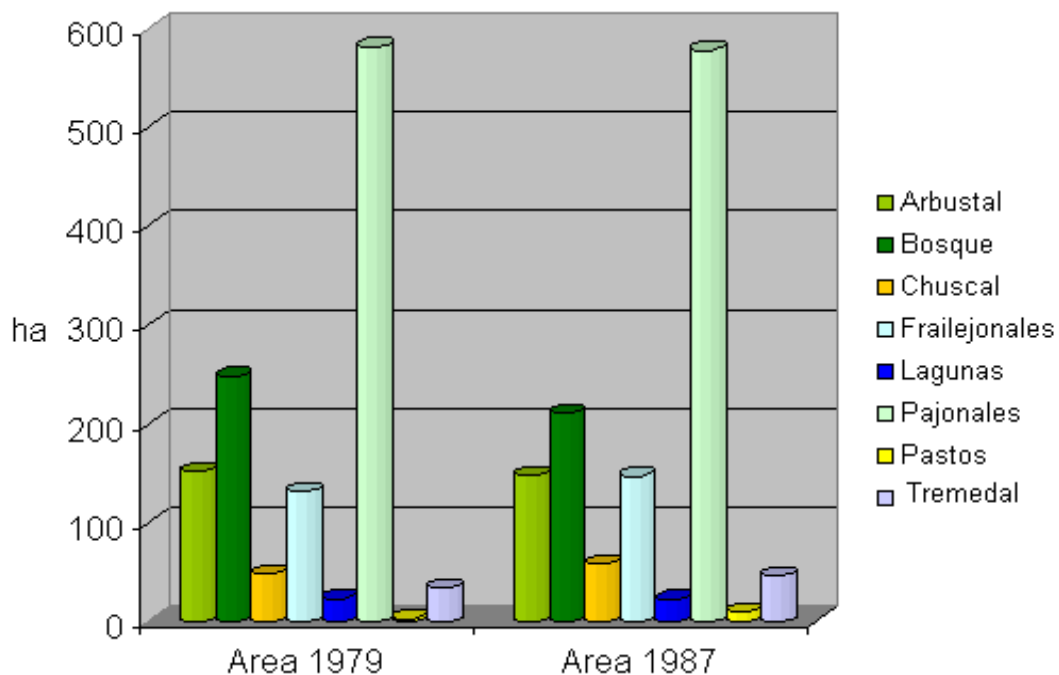
Pajonales	-0,66	-0,48
Pastos	325,52	0,89
Tremedal -Turbera	37,28	1,56

Según el índice de cambio de coberturas propuesto por IDEAM (2002), para la comparación entre los años 1979 y 1987, se encuentra que se presenta una reducción en las coberturas de bosque (-14,88%), arbustal (-2,62%) lagunas (-0,23%) y pajonales (0,66%); para el mismo periodo analizado se tienen ganancia en las coberturas de pastos (325,24%), tremedales-turbera (37,28%), chuscal (20,41%) y frailejonal (11.74%).

Según el análisis de Chi cuadrado para datos no paramétricos, aplicando con un criterio de confiabilidad del 0.05, se comprueba que la perdida del área ocupada por las comunidades vegetales de bosque es significativa, así como la expansión en el espacio ocupado por pastos, este análisis considera el interior del área protegida corroborando que existe un proceso de transformación al interior del parque, particularmente en el sector estudiado.

La figura 14 representa las áreas ocupadas por tipo de cobertura para los años 1979 y 1987. En esta grafica se aprecia que los tipos fisonómicos con mayor área ocupada en el espacio considerado son pajonales, bosques y arbustales, sin una ocupación significativa de cobertura intervenida tipo pastos; las barras ilustran una reducción en el área ocupada por bosques y el incremento de los pastos.

Figura 14 áreas ocupadas por tipo fisonómico para los años 1979 y 1987



En el sector de San Rafael se realizan 26 muestreos para las clases identificadas donde se colectan un total de 484 muestras en las comunidades vegetales identificadas, encontrando 55 familias representadas en 96 géneros y 141 especies (ver anexo 1), para efectuar la comparación se recolectaron individuos en las comunidades vegetales que tuviesen condiciones geomorfológicas y microambientales similares pero con diferentes niveles de alteración (con intervención y sin intervención).

Las familias mas encontradas fueron Asteraceae, Poaceae y Ericaceae, las familias que aportaron el mayor número de especies en la zona considerada fueron Asteraceae (21), Poaceae (11), Ericaceae (8) y Melastomataceae (8).

Para presentar esta información se organizaron los datos en la siguiente tabla, en esta se agruparon las familias que tuviesen hasta 2 géneros y 5 especies, las demás se presentan de forma individual, lo anterior para facilitar la presentación de los resultados en función del elevado numero de familias que presentan un solo genero y una ó dos especies.

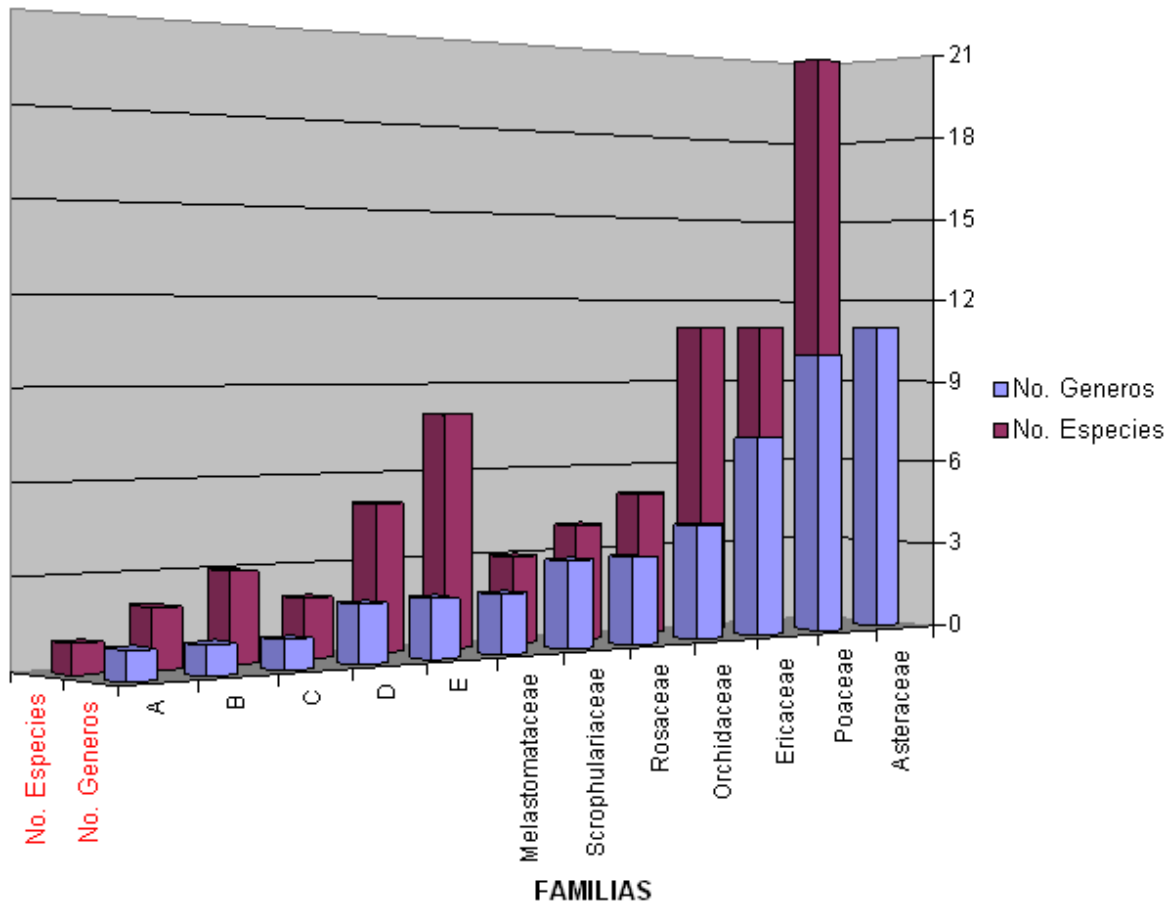
Tabla 15 Numero de géneros y especies encontradas en la zona de estudio por familias.

GRUPO	FAMILIA	Géneros	Especies
A	Alstroemeriaceae, Araliaceae, Bartramiaceae, Campanulaceae, Caryophyllaceae, Celastraceae, Eriocaulaceae, Fabaceae, Hylocomiaceae, Hymenophyllaceae, Iridaceae, Isoetaceae, Juncaceae, Loganiaceae, Loranthaceae, Onagraceae, Oxalidaceae, Piperaceae, Plantaginaceae, Polygonaceae, Pottiaceae, Symplocaceae, Thelypteridaceae, Xyridaceae.	1	1
B	Aquifoliaceae, Chloranthaceae, Cunoniaceae, Geraniaceae, Lomariopsidaceae, Polygalaceae, Polypodiaceae, Pteridaceae, Ranunculaceae, Rubiaceae, Sphagnaceae, Valerianaceae.	1	2
C	Blechnaceae, Clusiaceae.	1	3
D	Apiaceae, Bromeliaceae, Dicranaceae, Gentianaceae, Grammitidaceae, Myrsinaceae, Myrtaceae.	2	2
E	Cyperaceae, Lycopodiaceae.	2	5
	Melastomataceae	2	8
	Scrophulariaceae	3	3
	Rosaceae	3	4
	Orchidaceae	4	5

GRUPO	FAMILIA	Géneros	Especies
	Ericaceae	7	11
	Poaceae	10	11
	Asteraceae	11	21

En la figura 15 se ilustra la distribución de géneros y especies por familia de los especímenes colectados en esta zona.

Figura 15 Numero de Géneros y especies encontradas en la zona de estudio por familias.



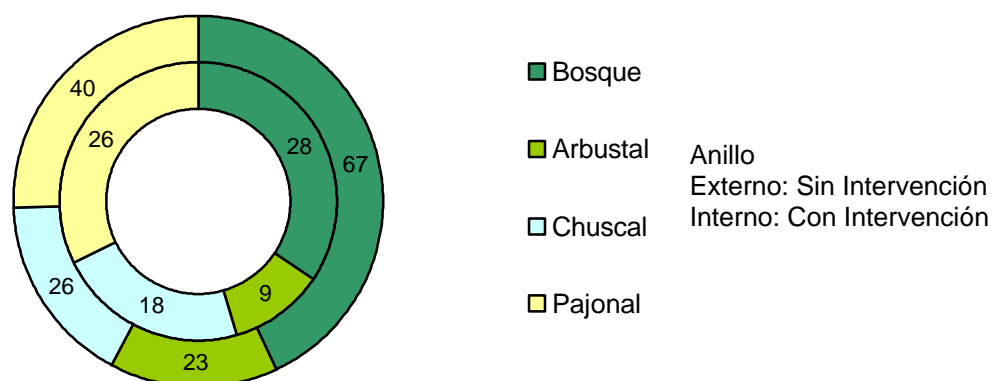
Como se refiere en la metodología las composiciones de los parches fueron comparadas por tipo fisonómico, empleando una matriz de contingencia; para la tabulación de los datos y el cálculo de valores se asume como dato esperado el número de especies encontradas en áreas sin intervención y el dato observado corresponde al numero de especies presentes en los mismos tipos fisonómicos con algún grado de alteración. Los resultados con respecto a la significancia de la presencia y ausencia de especies se incluyen en en la tabla 16.

Tabla 16 Tabla de Contingencia (X^2) para la Relación del Numero de Especies Encontradas por tipo fisonómico con niveles diferentes de intervención.

Tipo Fisonómico	No. spp. en áreas sin intervención (Esperado)	No. spp. en áreas con intervención (observado)	(O-E)	(O-E) ²	X ² : (O-E) ² /E
Bosque	67	28	-39	1521	22,70149254
Arbustal	23	9	-14	196	8,52173913
Chuscal	26	18	-8	64	2,461538462
Pajonal	40	26	-14	196	4,9

En la tabla anterior se tabula el numero de especies encontrado por comunidad en áreas con diferentes niveles de intervención, para comprobar si estas diferencias son significativas se aplica la prueba de Chi-cuadrado, con 3 grados de libertad y un valor critico de 7,81 (que garantiza el 0,05 de probabilidad), la cual indica que existe una diferencia significativa en el numero de especies encontradas en las comunidades de tipo fisonómico bosque y arbustal; este es un indicio del efecto de que tiene la fragmentación sobre la modificación en la composición de parches pertenecientes a un mismo tipo de cobertura, ya que se espera que no existan diferencias en la composición de parches pertenecientes a un misma comunidad vegetal sin alteración antrópica bajo condiciones medioambientales homogéneas (T°, humedad del suelo, sustrato, pendiente, entre otros). Para representar gráficamente la relación en la variación de la cantidad de especies presentes en las coberturas bajo dos condiciones de alteración⁶⁷ se construye un grafico de anillos (ver figura 16), la porción exterior del mismo ilustra la condición no intervenida con el numero de especies presentes por tipo fisonómico, el anillo interno corresponde a coberturas con intervención.

Figura 16 Grafico de anillos para variación de la cantidad de especies presentes en las coberturas bajo dos condiciones de alteración.



⁶⁷ Con y sin intervención.

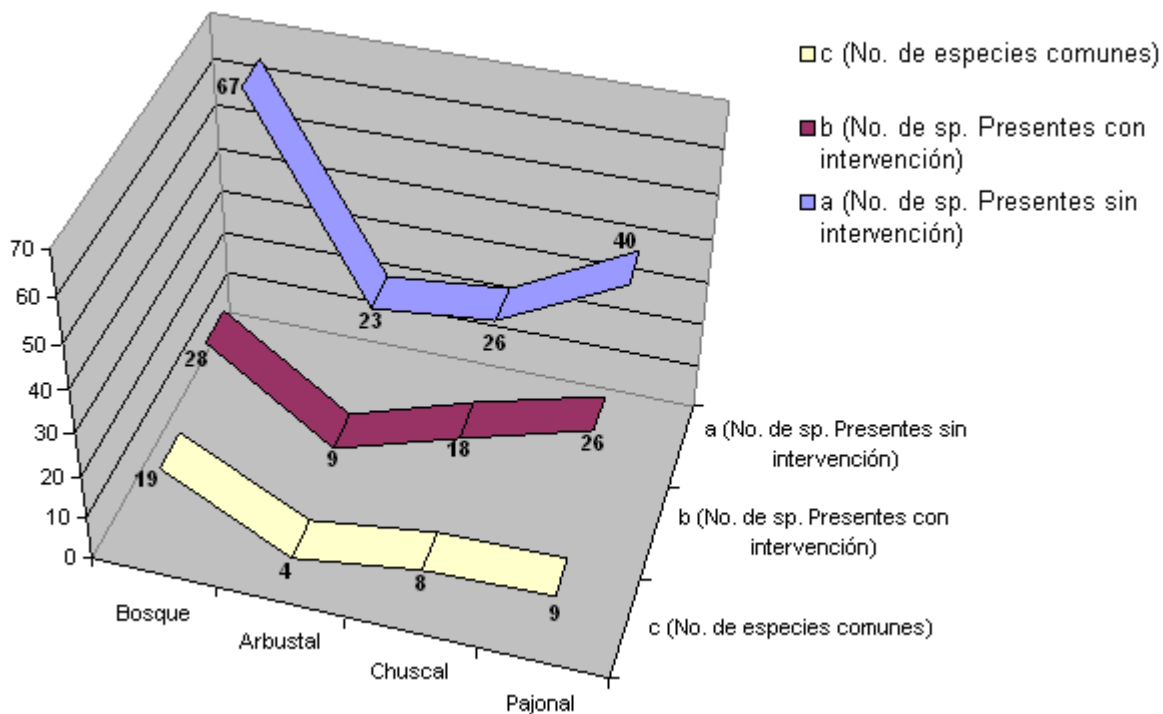
Sin embargo se hace necesario establecer sí existe similitud florística entre las comunidades no intervenidas y alteradas para validar el cambio en la composición de los parches de vegetación; el análisis estadístico empleado es el índice de Jaccard (Ij) para el cual se presentan los valores considerados en la tabla 17.

En el mismo se considera además del numero de especies presentes por tipo fisonómico, el numero de especies comunes entre estos bajo diferentes grados de intervención, esto se representa en la figura 17, en la cual se observa que los bosques y chuscales presentan el mayor numero de especies comunes considerando el total de especies que cada una de estas unidades contiene.

Tabla 17 Índice de Similitud de Jaccard

Índice de Jaccard	a (No. de spp. Presentes sin intervención)	b (No. de spp. presentes con intervención)	c (No. de especies comunes)	Ij
Bosque	67	28	19	0,25
Arbustal	23	9	4	0,14
Chuscal	26	18	8	0,22
Pajonal	40	26	9	0,16

Figura 17 Numero de especies presentes y comunes por tipo fisonómico bajo dos grados de intervención.



Con los valores anteriores se puede obtener la disimilitud de estas comunidades (bosque, arbustal, chuscal y pajonal) ya que al analizar la diversidad beta o diversidad entre hábitats, se conoce el grado de reemplazamiento de especies o cambio biótico a través de gradientes ambientales (Whittaker, 1972), en este caso, producto del proceso de fragmentación. Los resultados del cálculo del índice de disimilitud se presentan en la tabla 18.

Tabla 18 Índice de disimilitud (d) para las comunidades estudiadas por tipo fisonómico.

Comunidad Vegetal (por Tipo fisonómico)	Ij	d = 1 - s(Ij)
Bosque	0,25	0,75
Arbustal	0,14	0,86
Chuscal	0,22	0,78
Pajonal	0,16	0,84

Los índices de disimilitud indican que las comunidades son poco similares, particularmente las comunidades de pajonal y arbustal, esta última presenta una diferencia significativa en el número de especies presentes entre el parche intervenido y no intervenido.

Con el objeto de explicar las diferencias encontradas en la composición de los parches de vegetación es necesario analizar el proceso de la fragmentación, para lo cual se emplean los índices referidos en la metodología con los cuales se busca estudiar los efectos de esta alteración de forma integral en el ecosistema.

5.2. ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN.

A continuación se presenta la relación de los índices de fragmentación calculados, cada cobertura corresponde a un año determinado; las dos primeras tablas (19 y 20) contienen el análisis de las coberturas obtenidas al procesar imágenes satelitales Landsat TM para los años 1989 y 1999 en una ventana que considera parte del área protegida y un espacio considerable de influencia, en esta se generan 11 tipos de cubiertas vegetales 3 de las cuales son antrópicas ó intervenidas (pastos, cultivos y área construida) y las restantes son naturales. Los resultados del cálculo de los índices son los siguientes:

Tabla 19. Índices de fragmentación Coberturas Vegetales generadas a partir de procesamiento de imágenes satelitales LANDSAT (453) en el año 1989.

Índices de fragmentación Coberturas Vegetales 1989					
COBERTURA	NP	LPI	LSI	MPS	PROX_MN
Bosque	526	13.118	271.900	234.917	5.124,653
Páramo	262	41.342	178.578	581.324	21.629,561
Superpáramo	7	0.9742	83.009	1.490.786	0.0000
Humedal	28	0.1445	67.500	46.125	4.3482

Rastrojo	387	24.602	304.085	46.760	576.434
Pastos	346	11.185	283.251	30.783	117.579
Cultivos	190	0.1973	173.962	29.653	33.882
Lagunas	6	0.0340	29.189	50.550	0.0000
Arenales-Aflor. Rocosos	27	27.604	58.717	425.467	75.556
Área Construida	2	0.0145	16.471	31.050	0.0000
Nieve	7	0.3639	29.195	242.229	0.0000

Tabla 20 Índices de fragmentación Coberturas Vegetales generadas a partir de procesamiento de imágenes satelitales LANDSAT (453) en el año 1999.

Índices de fragmentación Coberturas Vegetales 1999					
COBERTURA	NP	LPI	LSI	MPS	PROX_MN
Bosque	768	12.760	275.208	133.052	1.187.562
Páramo	128	41.921	155.024	1.202.723	58.132.559
Superpáramo	2	24.693	62.297	5.532.750	0.0000
Humedal	30	0.1379	56.667	35.430	4.833
Rastrojo	1552	0.1164	288.969	12.203	15.322
Pastos	1267	30.962	431.199	86.824	495.456
Cultivos	778	10.985	360.304	35.205	103.805
Lagunas	6	0.0330	27.714	46.250	0.0000
Arenales-Aflor. Rocosos	27	22.416	49.293	323.733	90.6
Área Construida	7	0.0190	29.545	34.657	0.0000
Nieve	ND	ND	ND	ND	ND

De forma posterior se encuentran las tablas 21 y 22 generadas del análisis de las comunidades vegetales por tipos fisonómicos a partir del modelo fotogramétrico para los años de 1979 y 1987 respectivamente para el sector de San Rafael, se identifican 8 unidades, de las cuales pastos es la única antrópica. Los índices calculados para el sector son:

Tabla 21 Índices de fragmentación Comunidades Vegetales identificadas a partir de procesamiento fotogramétrico en el año 1979.

Índices de fragmentación Comunidades Vegetales 1979					
Tipo Fisonómico	NP	LPI	LSI	MPS	PROX_MN
Bosque	53	53.909	101.331	46.917	864.198
Arbustal	23	28.237	67.087	65.871	15.978
Chuscal	8	31.311	37.414	60.084	162.813
Frailejonal	6	58.968	42.147	217.872	0.0000
Pajonal	7	85.587	101.741	830.325	655.000
Tremedal-Turbera	4	34.336	30.206	83.844	0.0000
Pastos	2	0.1076	16.400	10.512	0.0000
Lagunas	5	16.405	23.375	45.014	0.0000

Tabla 22 Índices de fragmentación Comunidades Vegetales identificadas a partir de procesamiento fotogramétrico en el año 1987.

Índices de fragmentación Comunidades Vegetales 1979					
Tipo Fisonómico	NP	LPI	LSI	MPS	PROX_MN
Bosque	45	47.302	89.174	46.842	0.3500
Arbustal	25	29.206	65.813	59.149	293.700
Chuscal	7	35.742	39.685	62.903	157.140
Frailejonal	7	60.197	45.842	208.327	0.0000
Pajonal	4	87.982	98.030	1.444.78	753.750
Tremedal-Turbera	4	34.560	31.140	85.128	0.0000
Pastos	3	1.4184	20.385	31.248	0.0000
Lagunas	5	16.689	24.051	44.928	0.0000

Para tener una claridad sobre la interpretación de los índices, se presenta a continuación la significancia ecológica asociada a cada índice para el análisis de la fragmentación, representado en el cambio en los índices empleados⁶⁸.

Numero de parches: (NP) El incremento o disminución en el numero de parches de una cobertura en particular indica la ocurrencia de una elevada tasa de disturbación sobre la misma (Ej. deforestación), se presume que esta tasa es baja cuando el valor no varia del inicial o su cambio es mínimo.

Índice del parche mayor: (LPI) indica la significancia de una clase de parche o cobertura en función de su tamaño, lo cual revela, que las coberturas con mayor valor en este índice tienen un porcentaje mayor de ocupación o representación del paisaje y viceversa.

El **índice de forma del paisaje (LSI)** refleja 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 o en todo el ecosistema.

El **índice de significancia del tamaño del parche (MPS)** plantea que la reducción progresiva en el tamaño de los parches en un ecosistema genera un efecto relevante en su fragmentación, un parche o paisaje con valores bajos de significancia en el tamaño de los parches puede considerarse fragmentado, y al compararlo con otros paisajes puede determinarse cual es el mas afectado por la fragmentación.

Sobre el **índice de proximidad (PROXIM_MN)** Armenteras y Gast⁶⁹ (2003) plantean que la proximidad puede reducirse debido a las intervenciones humanas

68 McGarigal y Marks, 1995; IDEAM, 2002; IAvH, 2002; Armenteras y Gast, 2003.

69 ARMENTERAS, D. And GAST, F. Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. En: Biological Conservation. No.113 (2003); p. 245-256.

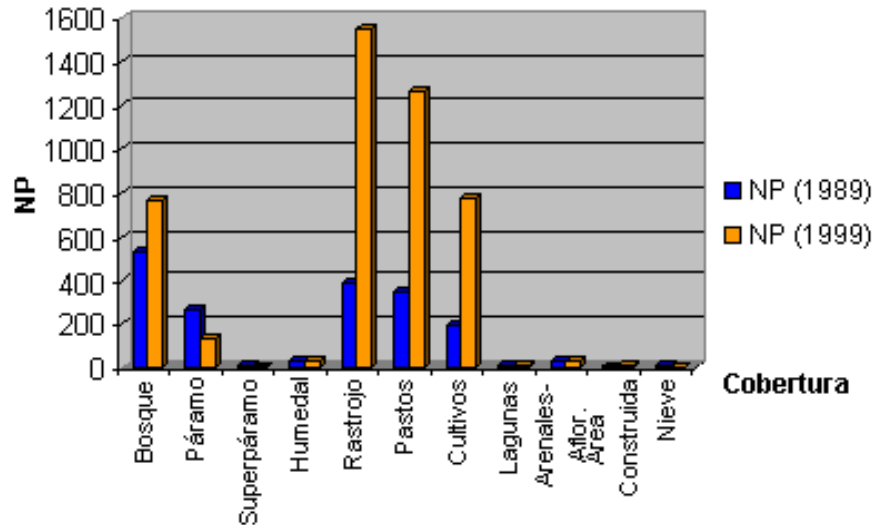
en el ecosistema fragmentado por efecto de la deforestación, cambio en el uso del suelo, entre otras.

Inicialmente se interpreta cada indicador por separado en las dos ventanas de trabajo; es decir tanto para el periodo 1989-1999 correspondiendo a los datos de cobertura producto de la interpretación de imágenes satelitales Landsat TM, como para los índices obtenidos del análisis de los tipos fisonómicos producto de la interpretación fotogramétrica, exclusivamente para el sector de San Rafael.

- **Índice Numero de Parches – NP**

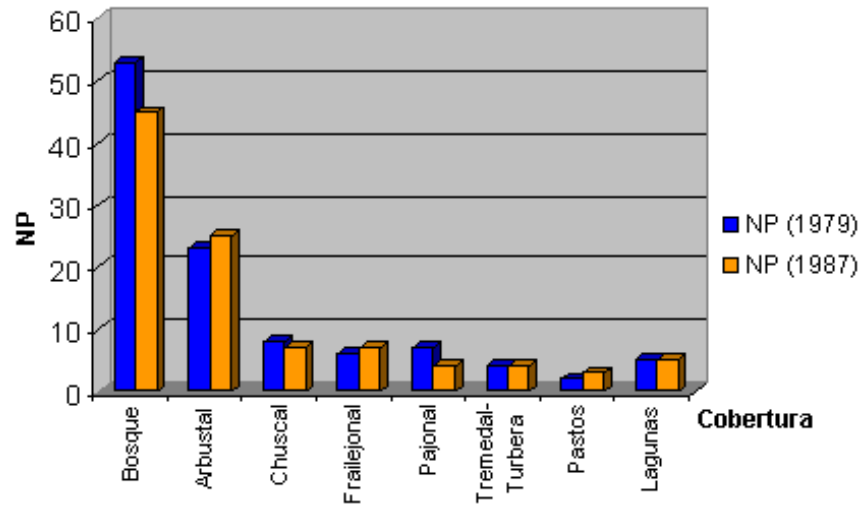
Para el índice número de parches se aprecia que en la ventana general de estudio se incrementan los fragmentos de bosque, rastrojos, pastos y cultivos; debe destacarse que el incremento de parches de las dos primeras coberturas vegetales esta acompañada de una reducción de su área, contrastando con las intervenidas pastos y cultivos donde se amplio el espacio ocupado por estas; lo anterior puede apreciarse en la figura 18.

Figura 18 Índice NP para el periodo 1989 – 1999 analizando imágenes Landsat TM (453)



Para el sector de San Rafael se tiene la disminución en el número de los fragmentos de bosque, esto esta acompañado con la reducción del área ocupada, lo anterior indica que esta cobertura se esta diezmando y no quedan parches relictuales después de una intervención, lo anterior puede apreciarse en la figura 19.

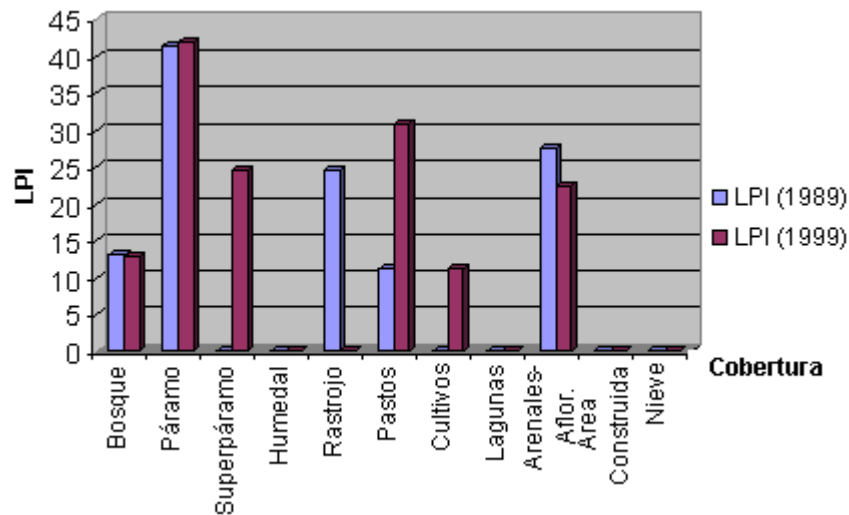
Figura 19 Índice NP para el periodo 1979 – 1987 a partir de técnicas fotogramétricas.



- **Índice del parche mayor – LPI**

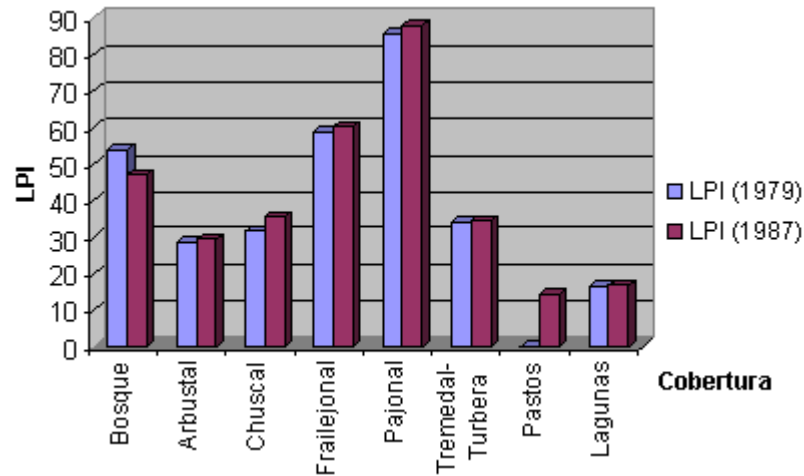
El índice LPI hace referencia a la significancia de una clase de parche o cobertura en función de su tamaño, para el periodo 89-99 se aprecia el incremento en la significancia de pastos y cultivos, así como el detrimento de este valor para rastrojo y arenales-afloramientos (Figura 20).

Figura 20 Índice LPI para el periodo 1989 – 1999 analizando imágenes Landsat TM (453)



Para el sector de la laguna de San Rafael se encuentra que disminuye la significancia de los bosque en función de su tamaño, situación relacionada con la reducción del numero de fragmentos y área ocupada por este tipo fisonómico; de igual forma el incremento en la significancia de los pastos (cobertura intervenida) al interior del área protegida (Figura 21).

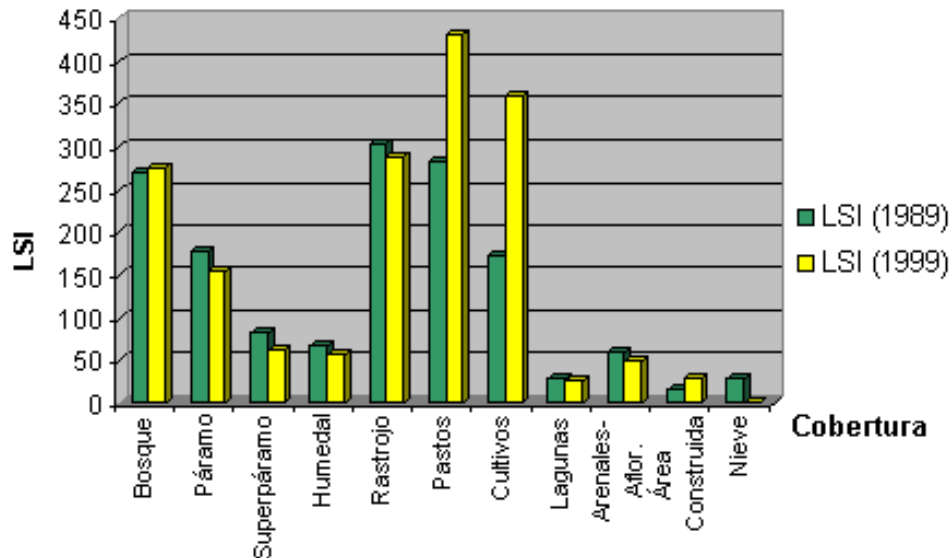
Figura 21 Índice LPI para el periodo 1979 – 1987 a partir de técnicas fotogramétricas.



- **índice de forma del paisaje – LSI**

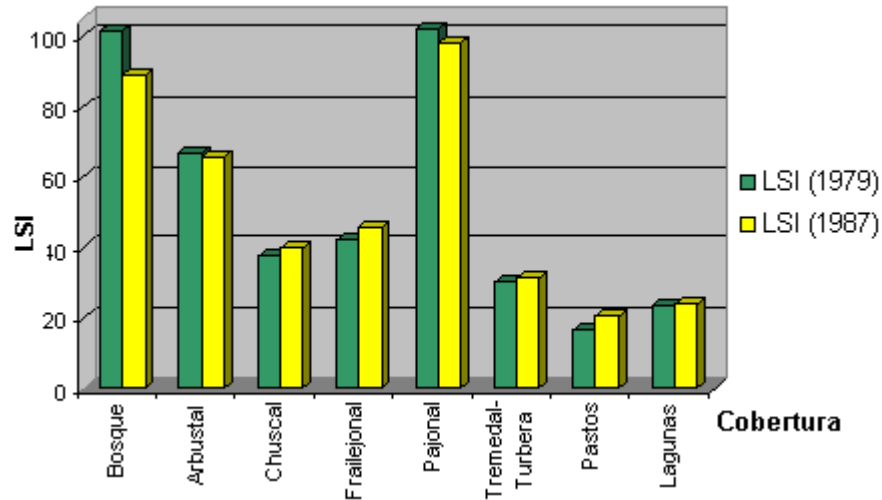
El índice LSI ofrece información sobre la forma y complejidad de los parches, ya que este aspecto influye en la funcionalidad del parche y en su susceptibilidad para alterar las especies presentes al interior del mismo según el tipo de cobertura, para el periodo 89-99 los valores de forma y complejidad se incrementan para las coberturas intervenidas de forma considerable, indicando su participación como factor funcional en el mosaico, es decir alterando las dinámicas naturales ya que estas son de origen antrópico, igualmente la reducción de este índice para páramo, rastrojo y nieve (Figura 22).

Figura 22 Índice LSI para el periodo 1989 – 1999 analizando imágenes Landsat TM (453)



En el sector de San Rafael la complejidad y forma de los parches de bosque se altera de forma negativa (disminución) así como para pajonal, de forma paralela se incrementa este índice para los pastos (Figura 23).

Figura 23 Índice LSI para el periodo 1979 – 1987 a partir de técnicas fotogramétricas.

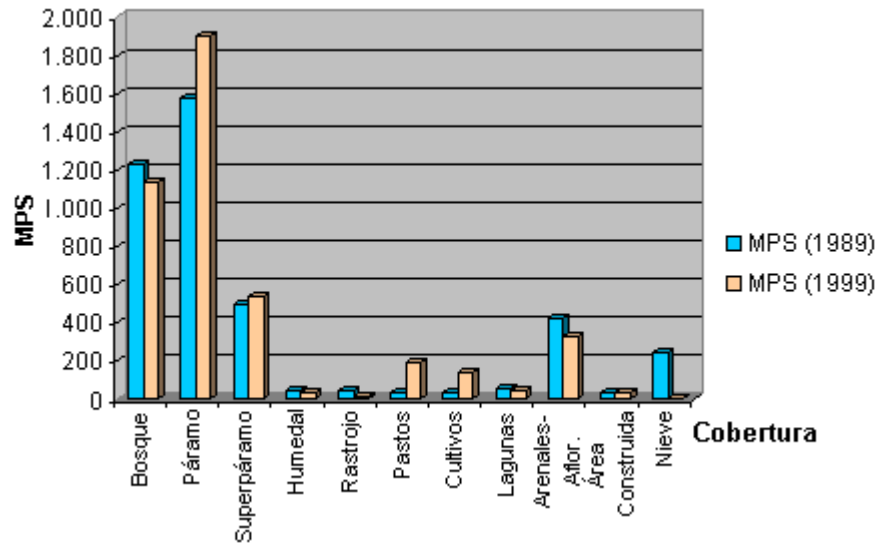


- **índice de significancia del tamaño del parche – MPS**

Este índice indica la reducción progresiva en el tamaño de los parches de bosque, rastrojo y nieve, si bien este último se debe a factores macroecosistémicos, es considerable la situación para los dos primeros que se ven afectados directamente por el cambio en el uso del suelo; esta reducción genera un efecto relevante en su fragmentación; de igual forma se incrementa el tamaño de las coberturas tipo pastos y cultivos como se ha venido anotando (Ver figura 24).

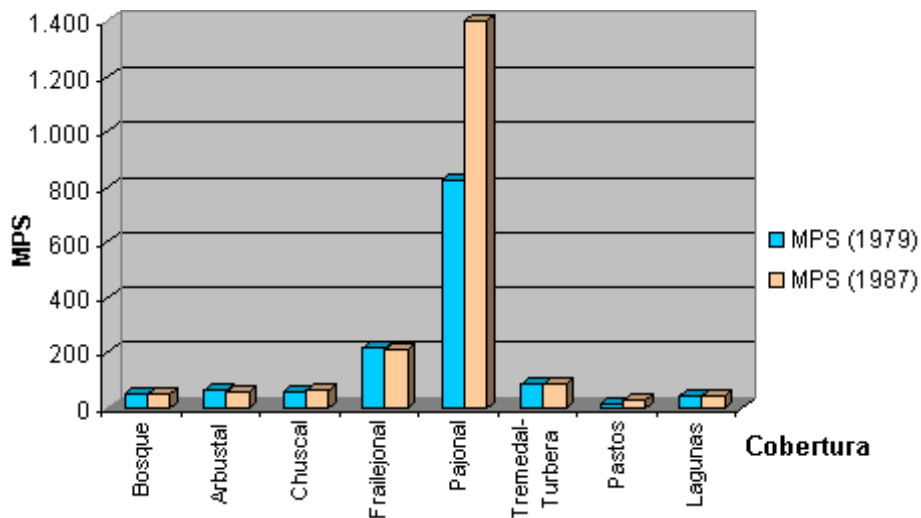
La significancia del tamaño lleva a plantear que la matriz esta conformada por elementos del tipo páramo, con una considerable participación de parches de cobertura boscosa en el mosaico considerado. Por tanto la reducción y fragmentación de las mismas es relevante ya que son los elementos estructurales y funcionales mas importantes que se están alterando.

Figura 24 Índice MPS para el periodo 1989 – 1999 analizando imágenes Landsat TM (453)



Para el sector considerado dentro del parque mediante análisis fotogramétrico se tiene un comportamiento similar para el pajonal y los pastos, de lo anterior se puede deducir que la matriz esta conformada por comunidades del tipo pajonal (Ver figura 25).

Figura 25 Índice MPS para el periodo 1979 – 1987 a partir de técnicas fotogramétricas.

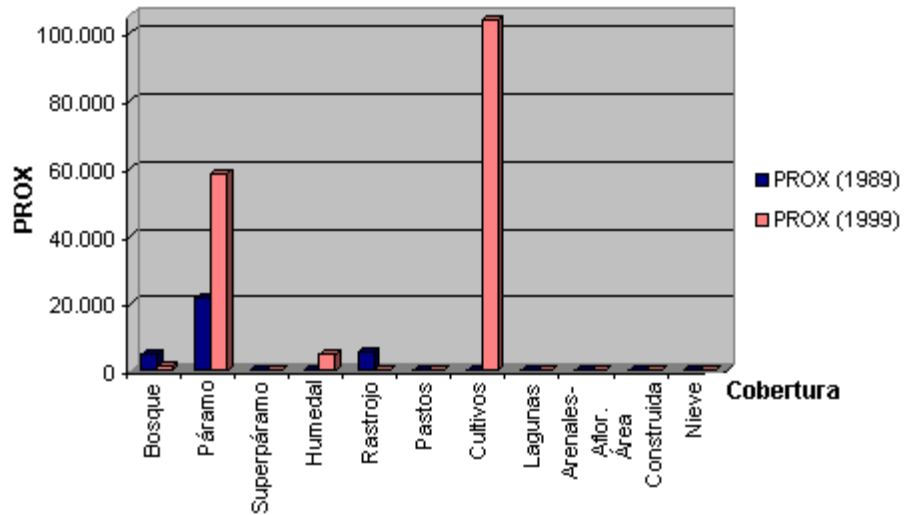


- **índice de proximidad - PROXIM_MN**

Con respecto a la proximidad esta se esta reduciendo producto de las intervenciones humanas en el ecosistema fragmentado, lo anterior es evidente para bosques y rastrojos al analizar la ventana con imágenes satelitales para el

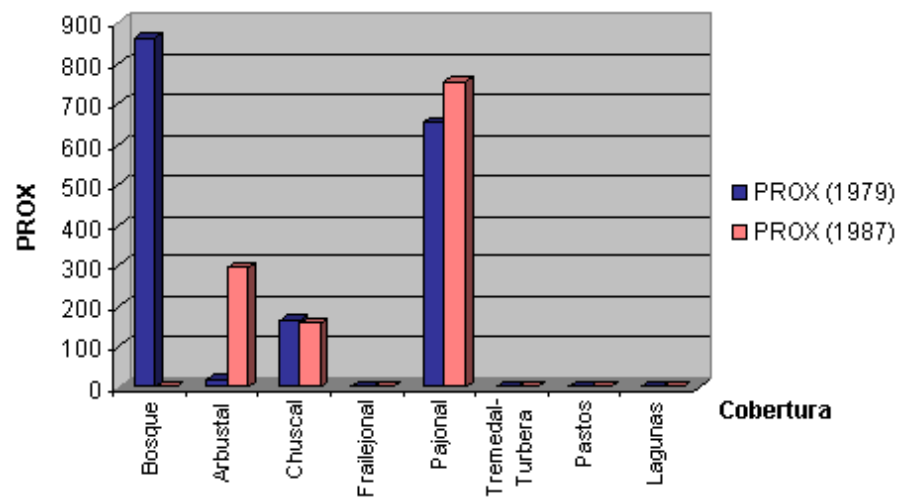
periodo 89-99, la proximidad del páramo se incrementa porque algunas zonas se conectan ó que dan mas próximas al eliminar las coberturas referidas inicialmente, y ya que la matriz es de tipo páramo se tiene el incremento en este valor, con respecto a los cultivos dado el patrón de agregación de esta cobertura antrópica su incremento de área y significancia esta acompañado de mayores proximidades, lo anterior se ilustra en la figura 26.

Figura 26 Índice PROX para el periodo 1989 – 1999 analizando imágenes Landsat TM (453)



De igual forma para el Sector de San Rafael se tiene una reducción significativa de la proximidad de los bosques, y el incremento de la proximidad de arbustales, esto puede explicarse por el proceso sucesional que esta ocurriendo; para pastos se incrementa la proximidad pero su patrón de agregación no es tan fuerte como el de cultivos al comparar esta cobertura con el contexto en general (Figura 27).

Figura 27 Índice PROX para el periodo 1979 – 1987 a partir de técnicas fotogramétricas.



Atendiendo los planteamientos presentados anteriormente, luego de desglosar cada índice y entendiendo que los mismos deben interrelacionarse para garantizar una adecuada interpretación se encuentra lo siguiente:

Con base a los datos obtenidos podemos inferir que las coberturas en los bosques presentan un alto grado de fragmentación para la zona analizada, lo anterior se concluye al interrelacionar el incremento en el número de fragmentos (de 526 a 768) con la pérdida en la significancia del tamaño de los parches de 234.9 a 133.0 (MPS) y la reducción en la proximidad entre los fragmentos de esta cobertura (PROX) de 5124 a 1187, generando un proceso de ruptura en el continuo de la cobertura boscosa, resultante en parches de menor tamaño y áreas que distan entre sí disminuyendo su conectividad, coincidiendo con la significativa reducción de esta cobertura en la zona de estudio.

Para el páramo se tiene una reducción en el número de fragmentos de 262 a 128, acompañada del incremento en la significancia del tamaño del parche (1202) y la proximidad entre parches del mismo tipo, esto quiere decir que la reducción en el número de parches estuvo asociada al incremento en la conectividad de los parches próximos, presentándose en algunos casos fusión entre los mismos, lo cual implicó un aumento en el área ocupada por esta cobertura y su respectivo incremento en la significancia; esto corresponde con la poca significancia en el cambio del área ocupada por el páramo para la ventana estudiada.

El superpáramo reduce el número de fragmentos y la significancia del área cubierta, pero incrementa la significancia de parche mayor (24.69) y su conectividad no varía, de hecho no arroja un valor para este índice (0,00), lo que ocurre con esta cobertura es que por su distribución restringida y el retroceso de la nieve en la zona alta de la cadena volcánica, esta conforma dos parches unificados con un área menor a la original pero con una mayor cohesión.

Al analizar los humedales y las lagunas se aprecia que sus valores no presentan una diferencia considerable entre los años estudiados, por esto podemos plantear que estas coberturas han permanecido relativamente estables y el incremento en dos parches para los humedales y la reducción en la significancia del área ocupada por las lagunas (de 50.5 a 46.2) puede deberse a condiciones de temporalidad asociada a periodos secos y húmedos.

La cobertura de tipo rastrojo, al igual que el bosque presenta una variación considerable en sus índices, incrementando el número de parches (de 387 a 1552), reduciendo el tamaño del parche mayor (24.6 a 0.1) y la significancia en forma y área, generando aislamiento entre sus parches, lo cual se evidencia en el cambio del índice de proximidad de 576.4 a 15.3., esta cobertura está altamente fragmentada.

El comportamiento de los pastos y cultivos en el análisis de fragmentación es particular, si bien todos los índices aumentan, son la significancia del área, el incremento en el tamaño del parche mayor y la conectividad lo que permite deducir que estas coberturas se están expandiendo por lo que el incremento en el número de parches no afecta los tres índices relacionados anteriormente. Esto se puede asociar a la significancia encontrada en la ganancia de área por los pastos y cultivos (coberturas intervenidas) en el espacio y lapso de tiempo considerado.

El comportamiento de los arenales y afloramientos rocosos es similar al del superpáramo, si bien se reduce su significancia en el paisaje a 49.293 se incrementa la significancia de su área (323.733) y conectividad (90.6) por efecto de la pérdida de la capa de nieve y la posible ascensión del superpáramo, lo cual compensa el área ganada a la nieve con la extensión cedida a la vegetación del superpáramo, evidenciando una relación corológica directa entre las mismas.

En las áreas construidas se presenta un incremento en el número de parches (de 2 a 7) y en la significancia de estos en el paisaje (29.545), si bien representan un proceso de ocupación y expansión, principalmente de la cabecera urbana del municipio de Puracé, no es aún significativo su cambio en las dinámicas ecológicas producto de la fragmentación del sistema.

Con respecto a la cobertura nieve, la comparación no puede realizarse por la falta de datos para esta capa el año de 1999, debido a la pérdida significativa de esta cubierta como lo indica el análisis del cambio de coberturas.

La información referida anteriormente nos permite contextualizar el proceso para el sector de San Rafael, el cual es abordado con mayor detalle mediante un procesamiento fotogramétrico para identificar las comunidades vegetales presentes por tipos fisonómicos.

Al incrementar el nivel de detalle y comparar los tipos fisonómicos que caracterizan las comunidades vegetales paramunas en el sector de San Rafael⁷⁰, se identifica para el bosque una reducción en el número de fragmentos (de 53 a 45) siendo el más alto de los tipos de vegetación comparados, adicionalmente se presenta una reducción en la significancia de su forma (de 101 a 89) y el tamaño del mayor parche (de 53 a 47), pero llama la atención la drástica reducción en la proximidad entre los fragmentos de esta cobertura (PROX) de 846 a 0,31, lo anterior comprueba que se está generando un proceso de ruptura en el continuo de la cobertura boscosa resultante en parches de menor tamaño y formas irregulares que distan entre sí disminuyendo su conectividad, coincidiendo con la

70 Este sector se encuentra dentro del área protegida del PNN. Puracé, por tal motivo se esperaría que la zona no presentase intervención y los cambios se deban a un proceso sucesional, el cual no sería apreciable por las condiciones ecosistémicas y relaciones ecológicas de las comunidades, salvo la ocurrencia de una perturbación natural.

significativa reducción de esta cobertura en la zona de estudio y el análisis efectuado con las imágenes satelitales.

En el caso de los arbustales los índices varían moderadamente y arrojan un cambio considerable para la conectividad de los parches pertenecientes a esta cobertura, una causal de este comportamiento se debe a la regeneración de algunas áreas de bosque intervenidas que han facilitado un estadio sucesional en áreas transcionales del bosque a las coberturas de tipo herbáceo.

Los pajonales se reducen en el número de fragmentos (de 7 a 4) pero se incrementa la significancia del área de este tipo de cobertura en el paisaje (de 830 a 1444), conllevando a una mayor conectividad (de 655 a 753), esto se presenta porque las especies características de esta cobertura tienen la capacidad de ocupar rápidamente los espacios cedidos por otras coberturas facilitando la interconexión de parches de pajonal separados, es evidente según estos índices que en la zona estudiada la matriz es de tipo herbáceo.

La cobertura vegetal intervenida pastos, presenta un incremento en la significancia del área ocupada dentro del mosaico pero no poseen conectividad alguna entre los tres parches presentes, esto se debe a la ocupación aleatoria y bajo ciertas condiciones de los espacios paramúnos, de forma que sean compatibles con la actividad ganadera.

Las comunidades vegetales identificadas según sus tipos fisonómicos en chuscal, frailejónal, tremedal-turbera y lagunas no presentan una diferencia considerable en los valores de los índices considerados para el periodo en cuestión, por esto podemos plantear que estas coberturas han permanecido relativamente estables.

5.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS ACTIVIDADES ANTRÓPICAS

Las actividades antrópicas presentes en la zona trabajada son la ganadería (Figura 28), la extracción del bosque (Leña y material vegetal), pesca y actividades turísticas.



Figura 28 Ganadería en el sector de San Rafael –PNN. Puracé.

Duque (1987) refiere que la ganadería se presenta al interior de la zona protegida por el parque afectando las comunidades vegetales presentes en diferentes sectores; de igual forma los propietarios de la zona⁷¹ manifiestan que esta actividad se ha acompañado de la expansión de la frontera pecuaria asociada principalmente a quemas, sin embargo se presentan incendios originados por accidente ó sin motivo por los habitantes del municipio, desencadenando una significativa alteración de las coberturas vegetales⁷².

Lo anterior también se encuentra reportado en los planes operativos del PNN. Puracé los cuales contienen información detallada de la afluencia turística hacia el sector San Rafael, sin embargo este seguimiento es realizado desde una percepción administrativa más que ambiental.

Los habitantes del Cabildo Indígena de Puracé habitúan realizar jornadas de pesca al sector, lo cual se hace sin un control adecuado de la autoridad indígena y ambiental por carencia de recursos financieros y humanos.

La matriz de FEARO fue aplicada en esta investigación con el fin de identificar cuales son los impactos asociados a las actividades presentes en el área de estudio que están generando cambios de cobertura y fragmentación.

71 Entrevista con propietarios del sector, dueños de predios en las inmediaciones de Laguna Sánchez, Laguna san Rafael y sector San Rafael.

72 Reportes de novedades en el sector Pilimbalá y San Rafael, de igual forma se tiene como ejemplo la reciente conflagración ocurrida desde la laguna negra hasta el cerro CHAGARTON (2004), al interior del PNN. Puracé, zona sur de la cadena volcánica de los Coconucos.

Mediante esta metodología se analizan dos actividades de las referidas anteriormente por ser frecuentes en el sector de San Rafael y por su directa incidencia en el proceso de fragmentación de la vegetación del páramo.

Matriz de FEARO para la expansión de frontera agrícola y pecuaria

Producto de la expansión de la frontera agrícola y/o pecuaria el componente Aire se ve alterado por contaminación sonora (Ruido), de efecto negativo por ser un área conservada no expuesta a este tipo de factores, esta alteración interactúa con el componente fauna generando el alejamiento de las especies presentes en las zonas aledañas a la actividad en mención, o bien se convierten en una barrera para las especies migratorias (Ochoa, 2001); de igual forma la pérdida de protección superficial del suelo, la tala y remoción de cobertura vegetal incrementa la emisión de gases (CO₂) al poner en contacto con la atmósfera gran cantidad de carbono, en el que son extraordinariamente ricos los suelos del páramo lo cual es potenciado ya que generalmente en la zona la democión esta acompañada de quemadas; la pérdida de las comunidades vegetales, especialmente los estratos arbustivos y arbóreos genera un incremento en la velocidad del viento.

Esta actividad genera la pérdida de la protección superficial del suelo al remover la cobertura vegetal, 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 por acción de la temperatura que reduce la velocidad de los procesos de descomposición, modificando las características físicas, químicas y biológicas, implicando pérdida de nutrientes, además, el fuego favorece la formación de sales en el suelo paramuno impidiendo la asimilación de nutrientes por la vegetación.

Con respecto al agua, esta actividad produce 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 modificando sus características físicas, químicas y biológicas. Lo anterior sumado a la pérdida de ecotonos (zonas riparianas, cordones riparios) asociados a los cuerpos hídricos varían las dinámicas tróficas (pérdida nichos) y alteran las comunidades acuáticas.

Uno de los componentes mas afectados por la expansión de la frontera agrícola y pecuaria es la vegetación, producto de la transformación y/o remoción de la cobertura vegetal el cual esta asociado a quemadas frecuentes como se ha referido en los dos componentes anteriores, lo anterior produce una disrupción del ciclo sucesional modificando la diversidad vegetal producto de la fragmentación de las coberturas. Al ser la vegetación un recurso esencial para la fauna, su alteración conlleva la pérdida del hábitat que esta ofrece.

La alteración en la dinámica suelo-planta modifica las condiciones microambientales producto del cambio en la tasa de evapotranspiración lo cual varia la humedad relativa del sitio.

El desplazamiento de especies animales por la pérdida de hábitat y nichos genera la modificación de relaciones interespecíficas del ecosistema; favoreciendo la aparición de especies oportunistas y el cambio en las comunidades establecidas por la pérdida de especies nativas y/o endémicas.

La alteración del patrón visual (parches según usos) del paisaje, el cual refleja el cambio en el uso del suelo y cambio de coberturas, conlleva una pérdida de la calidad escénica, circunstancia lesiva para un área que es considerada como atractivo ecoturístico.

Para la población asentada en la zona se presenta un incremento en la apropiación del recurso y como fuente de posibilidad laboral para el autosostenimiento económico, esto genera un aumento de áreas ocupadas (transformadas) incentivada por la aparente mejora de ingresos⁷³.

En otras zonas, la expansión de la frontera agrícola y pecuaria resulta en una mayor producción, por el simple hecho de incrementar la superficie de terreno aprovechada, sin embargo en el sector es notable la expansión de la ganadería lechera lo cual a fomentado la comercialización de lácteos, renglón importante en la economía de los habitantes del sector. Ver Anexo 3.

MATRIZ DE FEARO		ACTIVIDAD	EXPANSIÓN DE FRONTERAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS								
NO HAY IMPACTO		PROCESOS	Tala	Remoción de coberturas y/o quemas	Expansión de áreas productivas	Arreglo de terrenos (Agrícola ó	Adecuación de zonas de riego	Tráfico y transporte	Accesibilidad	Colonización y/o establecimientos	Incremento actividades económicas
FALTA INFORMACIÓN	I										
EFFECTO SIGNIFICATIVO ADVERSO											
EFFECTO ADVERSO											
EFFECTO SIGNIFICATIVO BENÉFICO	+										
EFFECTO BENÉFICO	*										

73 Según manifiestan los habitantes del sector no es significativo el incremento en la captación de capital, esto debido a las necesidades básicas insatisfechas de los habitantes de este sector.

SUBSISTEMAS	FACTORES	POSIBLES IMPACTOS												
INERTE	AIRE	Ruido												
		Emisión de gases (CO2)												
		Incremento en la velocidad del viento			I									
	AGUA	Cambios en escorrentías, percolación (Alteración recarga acuíferos)												
		Incremento en el aporte de material de arrastre												
		Modificación de las características Físicas, químicas y biológicas												
		Pérdida de ecotonos (Zonas riparianas, cordones riparios)												
		variación en las dinámicas tróficas (perdida nichos)												
		Alteración de las comunidades acuáticas (Flora y Fauna)												
		SUELO	Pérdida de la protección superficial											
	Alteración de los Horizontes del suelo													
	Aumento de los procesos erosivos													
	Modificación de las características Físicas, químicas y biológicas													
	Pérdida de nutrientes / Pérdida capacidad productiva													
	BIÓTICO		FLORA	Transformación y/o remoción de la cobertura vegetal										
Perdida de Hábitat y nichos (Fragmentación / homogenización)														
Cambios en la evapotranspiración / Humedad relativa														
Alteración del proceso sucesional														
Modificación en la diversidad vegetal														
FAUNA		Desplazamiento de especies												
		Pérdida de Hábitat y nichos												
		Modificación de relaciones interespecificas												
		Cambio en las comunidades / aparición de especies Oportunistas												
		Pérdida de especies nativas y/o endémicas												
PERCEPTUAL	PAISAJE	Alteración del Patrón visual (Parches según usos)												
		Pérdida de la calidad escénica (Cambio en el uso del suelo)												
POBLACION Y ACTIVIDADES	POBLACION	Incremento en la Apropiación del recurso			+	+	*	+	+	+				
		Empleo ó posibilidad laboral (autosostenimiento)			+	+		*	*	*	*			
		Aumento de áreas ocupadas (Transformadas)	*		*	*					+			

	ECONOMÍA	Mejora de ingresos				+	+						+	
		Mayor producción				+	*	*			*	*		+
		Potenciamiento de la comercialización				+	*			+	+	*		+
INFRAESTRUCTURA Y ASENTAMIENTOS HUMANOS	ASENTAMIENTOS	Demanda de Servicios							+	+				
		Contaminación												
		Ocupación de áreas sin planificación.												
		Nuevas vías e infraestructura					+			+	+			+

Tabla 23 Matriz de FEARO para la Expansión de fronteras agrícolas y pecuarias

Matriz de FEARO para Actividades de Extracción del Bosque

En la zona de estudio otra actividad que favorece la fragmentación del ecosistema es la extracción selectiva de especies vegetales del bosque alto andino (especies de interés), con dos finalidades esencialmente, como recurso energético y con fines de comercialización (orquídeas y musgos), esta forma de aprovechamiento de la cobertura boscosa ha favorecido la fragmentación de continuos o parches de extensión considerable en el mosaico donde se ubica el sector san Rafael.

Este proceso que reduce el área de los parches y amplía el borde, genera cambios microclimáticos en el paisaje considerado, lo cual altera e incide en los niveles de radiación, temperatura y velocidad del viento. Una franja alterada por este proceso son los ecotonos, principalmente por incrementar el efecto borde y favorecer la aparición de especies oportunistas que modifican el proceso sucesional, conllevando generalmente a la pérdida de diversidad vegetal.

La alteración de la vegetación se concatena directamente con los demás componente del sistema, tal es el caso del componente aire principalmente por el incremento en material particulado y polvo producto del leñateo y la quema de residuos generados en esta actividad, lo cual desencadena un desbalance en la emisión de gases incrementando el flujo de CO₂ a la atmósfera.

La pérdida de bosques y arbustales presentes en zonas riparianas, producto de una extracción selectiva frecuente, altera la recarga acuíferos y el aporte a los sistemas lóticos producto del cambio en la escorrentía y percolación de estos ecotonos; modificando las propiedades físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua. Favoreciendo en la exportación de material autóctono hacia los sistemas colindantes. La degradación paulatina de la vegetación genera sobre el suelo una reducción en la protección superficial que esta ofrece, generando la exposición, pérdida, modificación de horizontes incrementando los procesos erosivos (de origen hídrico y eólico).

El segundo componente biótico impactado por la extracción del bosque es la fauna, un indicador de esto es la alteración de comunidades (particularmente aves y anfibios.) por el proceso de fragmentación que acarrea la pérdida del continuo, la modificaciones en la estructura comunitaria de la fauna genera cambios en los nichos ecológicos de las especies, potenciando la competencia y el parasitismo por solapamiento de nichos, generando esto el desplazamiento o extinción local de poblaciones susceptibles (como es el caso de especies nativas y de interior), produciendo la consecuente pérdida de diversidad animal.

El paisaje se altera al modificar los parches de vegetación arbórea, lo cual desencadena la simplificación paisajística por dos factores, la ruptura del continuo y la posterior ocupación de los espacios generados por especies de crecimiento rápido y heliófitas del ambiente paramuno como es el caso de las gramíneas.

Si bien la población se beneficia por la comercialización de algunas especies extraídas y porque encuentra un recurso energético de bajo coste, es la comunidad quien precisamente altera la estética regional del páramo, que es un atractivo ecoturístico reconocido en la región. Ver anexo 4.

MATRIZ DE FEARO		ACTIVIDAD	Extracción del Bosque				
NO HAY IMPACTO		PROCESOS	Apertura de vias de acceso	Remoción de material vegetal Tala selectiva	Tráfico y transporte	Accesibilidad	Incremento actividades económicas
FALTA INFORMACIÓN	-						
EFEECTO SIGNIFICATIVO ADVERSO							
EFEECTO ADVERSO							
EFEECTO SIGNIFICATIVO BENÉFICO	+						
EFEECTO BENÉFICO	*						
SUBSISTEMAS	FACTORES	SUBFACTORES O POSIBLES IMPACTOS					
INERTE	AIRE	Ruido					
		Partículas y polvo					
		Contaminación gases					
	AGUA	Cambios en escorrentías, percolación (Alteración recarga acuíferos)					

	SUELO	Modificación de las características Físicas, químicas y biológicas							
		Pérdida de ecotonos. (arbustales, bosques, zonas riparianas)							
		Exportación de material autóctono.		I					
	SUELO	Alteración protección superficial			I				
		Exposición, pérdida, modificación de horizontes							
		Incremento procesos erosivos							
		Alteración características físicas, químicas y biológicas.							
BIÓTICO	FLORA	Extracción selectiva (especies de interés)							
		Fragmentación de continuos o parches.							
		Cambios en evapotranspiración y Humedad relativa.							
		Alteración ecotonos y proceso sucesional.							
		Pérdida de diversidad vegetal							
	FAUNA	Cambios de nichos							
Alteración de comunidades (Aves, anfibios.)									
Pérdida de diversidad animal.									
PERCEPTUAL	P A I S A J E	Calidad de Contenido (parches de vegetación Paramúnos)							
		Estética (atractivo eco turístico)		+				+	
POBLACIÓN Y ACTIVIDADES	POBLACIÓN	Empleos		+		+	+	*	
		Oferta de recursos						*	
		Cultura				*	+		
		Organización Comunitaria				*		I	
	E C O N O M Í A	Comercio		+	+			*	
		Transporte				*	+		
INFRAESTRUCTURA Y ASENTAMIENTOS HUMANOS	A S E N T H	Servicios Básicos y Sociales						*	
		Contaminación							

	U M A N O S	Incremento migración (Temporal)				+	+	*

Tabla 24 Matriz de FEARO para la Extracción del bosque

Modelos Fenomenológicos para las Tensiones Asociadas a la Fragmentación.

Lo expuesto anteriormente en las dos matrices, puede apreciarse en los modelos fenomenológicos realizados para la el sector trabajado, el primero ilustra el páramo en un estado hipotético (t_0) donde no se presenta intervención y las dinámicas ecológicas no se ven alteradas.

El segundo modelo (t_1) presenta las tensiones asociadas al proceso de fragmentación las cuales alteran las relaciones corológicas del sistema y las sinergias existentes entre sus componentes, la alteración se manifiesta gráficamente con líneas punteadas, y es apreciable la aparición de coberturas intervenidas y la modificación del componente fauna.

Las tensiones identificadas se refieren a continuación la primera tensión es el cambio de coberturas y uso del suelo (T1) el cual afecta directamente todos los componentes del sistema y es la actividad desencadenante de la fragmentación, sobre el suelo se presenta perturbación del sustrato e incremento de los procesos erosivos (T2) por la perdida en la continuad de coberturas de tipo arbóreo y arbustivo que desempeñan una función protectoras del suelo; la interacción entre los dos primeros tensores generan la alteración en los procesos sucesionales y cambios en la diversidad vegetal (T3) modificando la estructura de estas comunidades, por esto la fragmentación genera una disminución en la oferta del hábitat disponible asociado a la vegetación.

Como cuarta tensión se tiene la modificación del ciclo hidrológico (T4), particularmente por la alteración de la relación suelo-planta, esto incide directamente en los cambios microclimáticos que afectan la fauna y flora.

El segundo componente biótico considerado y receptor de la modificación de los demás componentes es la fauna, en ella se presentan cambios en la biodiversidad y alteración de los nichos ecológicos (T5).

A nivel de mosaico (paisaje) se presenta alteración del microclima y otras variables ambientales (T6) particulares de la región de alta montaña, esto sumado a la perdida valor paisajístico (T7) traen consecuencias negativas sobre el aprovechamiento escénico que puede realizar la población de esta área protegida.

MODELO FENOMENOLOGICO DE UN ECOSISTEMA PARAMUNO SIN INTERVENCION (t)

SECTOR LAGUNA DE SAN RAFAEL PNN. PURACE.

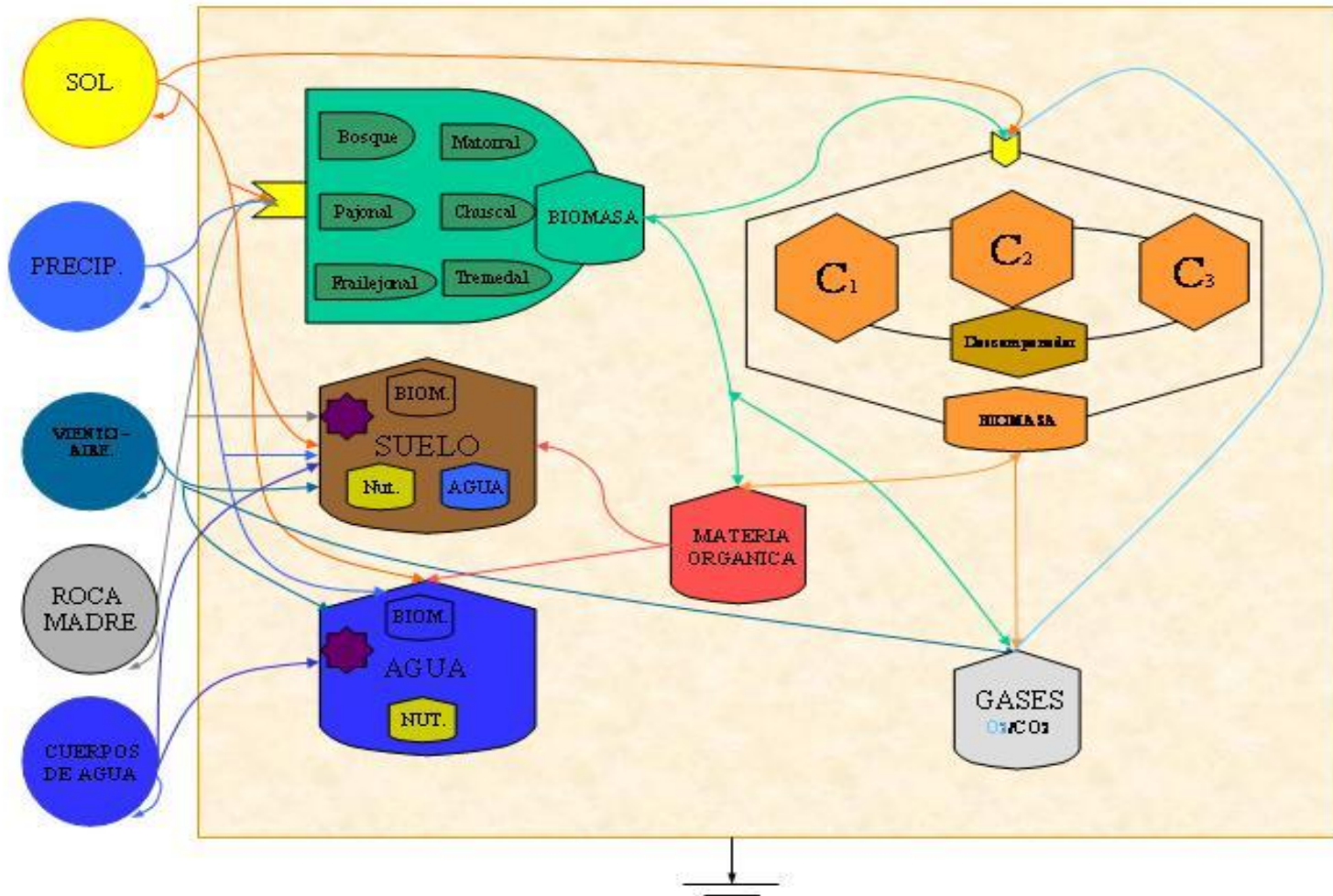


Figura 29 Modelo Fenomenológico de un ecosistema paramuno sin Intervención – Sector Laguna San Rafael PNN. Puracé.

MODELO FENOMENOLOGICO DE TENSIONES ASOCIADAS A LA FRAGMENTACION DE UN ECOSISTEMA PARAMUNO (Tn)
SECTOR LAGUNA DE SAN RAFAEL PNN. PURACE.

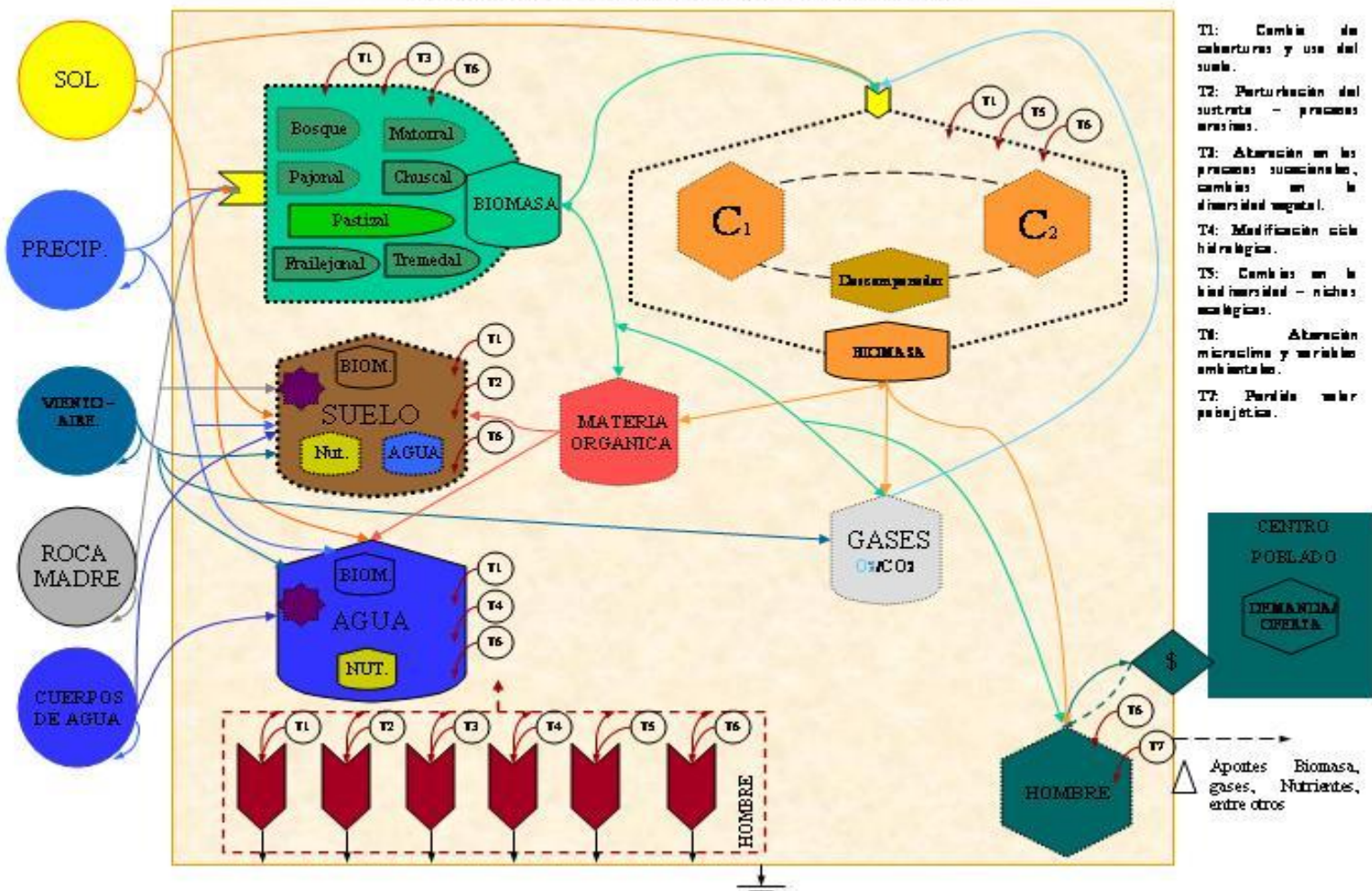


Figura 30 Modelo Fenomenológico de las Tensiones Asociadas a la Fragmentación de un Ecosistema Paramuno (Tn) - Sector Laguna De San Rafael PNN. Puracé.

6. CONCLUSIONES

- El empleo de los principios de la ecología del paisaje en el estudio de la fragmentación y cambio de coberturas vegetales, permite analizar de forma integral los cambios en las dinámicas ecológicas del ecosistema a partir de la caracterización de las relaciones corológicas de un mosaico dado, cuantificando por una parte los porcentajes de pérdida de cobertura, y a nivel de composición de las comunidades la disimilitud florística en zonas con diferentes grados de intervención.
- El análisis de fragmentación empleando índices a nivel de clases permite considerar aspectos corológicos de las comunidades vegetales, ya que estos generan los patrones de distribución y conectividad de los elementos constitutivos en el paisaje, lo anterior se hace tangible con los resultados de los índices de fragmentación donde se aprecia que la alteración de las coberturas de bosque y arbustal (reducción de fragmentos e incremento en el aislamiento) están asociadas al incremento de coberturas intervenidas como pastos y cultivos (incrementos de significancia de áreas y forma).
- El comportamiento de los arenales y afloramientos rocosos es similar al del superpáramo, si bien se reduce su significancia en el paisaje a 49.293 se incrementa la significancia de su área (323.733) y conectividad (90.6) por efecto de la pérdida de la capa de nieve y la posible ascensión del superpáramo, lo cual compensa el área ganada a la nieve con la extensión cedida a la vegetación del superpáramo, evidenciando una relación corológica directa entre las mismas ajena a la intervención antrópica y producto de la dinámica natural del sistema.
- El análisis interrelacional de los índices de fragmentación permite identificar que el cambio de uso en el suelo y los patrones aleatorios de ocupación han sido los factores desencadenantes del proceso de fragmentación en la zona, afectando principalmente las coberturas arbóreas.
- La degradación de la cobertura arbórea ocurre en las inmediaciones del área protegida y al interior de la misma, esta situación manifiesta que se ejerce una fuerte presión selectiva sobre esta cobertura.
- La fragmentación ha modificado la composición de los parches analizados, lo anterior se apreciar al obtener índices de disimilitud altos para cada tipo de cobertura con dos niveles de intervención (poco intervenido e intervenido), particularmente para Bosques.

- La fragmentación de las coberturas vegetales que ocurre en la zona estudiada, es un tipo de degradación que determina cambios en la relación perímetro/superficie, y tiene una directa influencia en la formación de bordes, incrementando la irregularidad en la forma de los parches.
- En el caso de los arbustales para el sector de San Rafael, los índices varían moderadamente y arrojan un cambio considerable para la conectividad de los parches pertenecientes a esta cobertura, una causal de este comportamiento se debe a la regeneración de algunas áreas de bosque intervenidas que han facilitado un estadio sucesional en áreas transcionales del bosque a las coberturas de tipo herbáceo.
- Los pajonales se reducen en número de fragmentos (de 7 a 4) pero se incrementa la significancia del área de este tipo de cobertura en el paisaje (de 830 a 1444), conllevando a una mayor conectividad (de 655 a 753), esto se presenta porque las especies características de esta cobertura tienen la capacidad de ocupar rápidamente los espacios cedidos por otras coberturas facilitando la interconexión de parches de pajonal separados, es evidente según estos índices que en la zona estudiada la matriz es de tipo herbáceo.
- Para la zona de estudio, el páramo y las coberturas de tipo herbáceo (pajonales, frailejonales y chuscales) conforman la matriz, definida como el área predominante del paisaje (35% del área total), si bien los análisis no indican una alteración considerable de su superficie ó estructura, esta representa una porción importante del territorio que a menudo suele quedar sin protección.
- Las características de la matriz varían en función del grado y uso antrópico que se haga sobre ella, para el área considerada puede estarse mimetizando el proceso de fragmentación de las coberturas herbáceas con un proceso de simplificación ecosistémica del tipo paramización.
- Dadas las restricciones espaciales de las comunidades vegetales estudiadas el efecto de la fragmentación puede potenciarse de mantenerse la dirección de ocupación y la tendencia al reemplazo de la vegetación para establecer zonas de producción.
- Los indicadores de fragmentación generan información sobre el estado de un ecosistema en particular ante la intervención antrópica, considerando la configuración y composición de los parches incluidos en un mosaico, por medio de relaciones métricas de área, forma o borde y significancia en el paisaje de los fragmentos.

- La relación entre el número de parches, cambio de área, representatividad de superficie y forma, mas la conectividad de los diferentes tipos de comunidades, son factores que determinan la dinámica de los procesos ecológicos al interior de los ecosistemas y se convierten en una herramienta de análisis a tener en cuenta en para el manejo de los recursos naturales y áreas protegidas.
- Las actividades antrópicas identificadas, que desencadenan el proceso de fragmentación en la zona, son la expansión de fronteras agrícolas/pecuarias y en menor incidencia la extracción del bosque; sin embargo existen prácticas asociadas que inciden directamente en la alteración del mosaico.
- El modelo fenomenológico desarrollado para esta investigación permite orientar la conceptualización de la alteración de las dinámicas partiendo del proceso y asociando al mismo las Tensiones del sistema.
- Las propuestas de conectividad para esta zona deben considerar además del reemplazo espacial de una cobertura (Cambio en el área ocupada), la composición de los parches a conectar con el fin de considerar aquellas especies a emplear en este tipo de procesos.
- Este tipo de trabajos aporta insumos metodológicos y de información primaria para la implementación de un Sistema de Información Geográfica orientado al conocimiento y gestión de coberturas vegetales.
- Según los datos obtenidos se puede colegir que en la zona de trabajo se presenta una alteración de las comunidades vegetales producto de la transformación del hombre, alcanzando inclusive el área protegida por el PNN. Puracé.

Por tanto se acepta la hipótesis propuesta para el trabajo y se asume que el proceso de fragmentación que se presenta en el área de estudio, es consecuencia del proceso de intervención antrópica y esta alterando las dinámicas del ecosistema; generando en las comunidades vegetales cambios en la frecuencia y grado de cobertura aumentando la heterogeneidad del paisaje.

7. RECOMENDACIONES

- Las acciones de prevención y protección en esta zona deben considerar el patrón espacial de cambio y presión sobre las coberturas, así como las coberturas más fragmentadas y la pérdida de conectividad entre ellas.
- Es necesario efectuar un análisis más detallado sobre la composición actual de las comunidades en la zona de trabajo.
- El análisis multitemporal debe realizarse teniendo en cuenta escalas similares de trabajo y un lapso mínimo de tiempo (de 8 a 10 años) en el que puedan identificarse variaciones en las coberturas.
- El nivel de detalle empleado para estudiar enclaves ecosistémicos como el trabajado, implica manejar y generar productos en escalas inferiores a 1:100000, con el fin de evitar la generalización y obtener un panorama adecuado del área protegida y su zona de influencia.
- El método de muestreo (unidades de vegetación) debe definirse con claridad para garantizar el respaldo estadístico del análisis integral efectuado desde la ecología del paisaje.
- Las propuestas de conectividad para esta zona deben considerar además del reemplazo espacial de una cobertura (Cambio en el área ocupada), la composición de los parches a conectar con el fin de considerar aquellas especies a emplear en este tipo de procesos.
- Los resultados de este trabajo de investigación deben ser considerados por las comunidades, autoridades pertinentes y demás para efectuar procesos de ordenación territorial y/o ecosistémico.

8. BIBLIOGRAFÍA

ABRIL G. Procesamiento y análisis digital interactivo de imágenes satelitarias aplicados al estudio geológico de la Puna. [Disco]. 1998. Availed from: <<http://dns.uncor.edu/usr/mherrero/geocab/papers/tesis.htm>.>

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.

ANDRADE, G. Enfrentar el Riesgo de Extinción en la Flora Colombiana. En : Biosíntesis. Instituto De Investigación De Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Boletín No. 6 (1998); p. 1-4.

ARMENTERAS, D. And GAST, F. Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. En: Biological Conservation. No.113 (2003); p. 245-256.

BAKER, William. The landscape ecology of large disturbances in the design and management of nature reserves. En: Landscape Ecology. Vol. 7, No. 3 (1992); p. 181-194.

BARREDO, Jose y BOSQUE-SENDRA, Joaquin. Delimitación de unidades homogéneas del relieve a partir de un modelo digital de elevaciones. En: Estudios Geográficos. Tomo LVII, No. 225. Madrid: Instituto de Economía y Geografía Aplicadas. 1996. p. 615-643.

BIERREGAARD. Richard and DALE, Virginia. Islands in an Ever-Changing sea: The ecological dynamics of Amazonian Rainforest fragments. En : SCHELHAS, John. and GREENBERG, Russell. Forest Patches in tropical Landscapes. California: Island Press. 1996. p. 187-204.

BOGUCKI P. Changing Neolithic Landscapes at Brzesc Kujawski, Poland [Disco]. 1991. Annual meeting of the Society for American Archaeology. [Citado Diciembre 2003] Availed from internet: <<http://www.princeton.edu/~bogucki/landsbib.html>.>

BOUILLE D. y GALLO M. G. La contribución de los combustibles forestales en los países estudiados. Capítulo 4 Colombia. En: Análisis de la contribución forestal a la producción de energía en América Latina. Tomo 1. FAO. Departamento de montes. Dirección de Productos Forestales Subdirección de Productos no

Madereros y Energía. Roma. [Disco]. 1993. Aailed from: <<http://www.fao.org/docrep/X5331s/x5331s0f.htm#4.%20colombia>>

BRAUN-BLANQUET J. Fitosociología. Bases para el Estudio de las Comunidades Vegetales. Madrid : Blume ediciones. 1979. p. 19-55.

BUNCE, R. and JONGMAN R. An introduction to landscape ecology. En : _____.; RYSZKOWSKI, L. and PACLETTI, M. Landscape ecology and agroecosystem. New York : Lewis, 1993. p. 3-9.

BUSTAMANTE, R. y GREZ, A. Consecuencias Ecológicas de la fragmentación de bosques nativos. En : Ambiente y Desarrollo. Vol. 11, No. 2. (1995); p. 58-63.

BUSTAMANTE, R.; SEREY, I. and PICKETT, S. Forest fragmentation, plant regeneration and invasion process across edges in central Chile. En : Ecological Studies. Vol. 162 (2003); p. 145-460.

CADENASSO, M. and PICKETT, S. Effect of edge structure on the flux of species into forest interiors. En : Conservation Biology. Vol. 15 (2001); p. 91-97.

CASTAÑO, Carlos. El Hombre y El Continuum del Páramo. En : El Páramo Ecosistema a Proteger. Bogota: ECOAN, 1996. p. 29-31.

CASTAÑO, Carlos. Paramos y ecosistemas altoandinos de Colombia en condición Hotspots y Global Climatic Tensor. Bogotá : IDEAM, 2001. 387p.

CASTILLO S, VÍCTOR M. “Análisis del paisaje para el diseño de las repoblaciones forestales” [Disco]. 1998. Departamento de Conservación de Suelo y Agua. C.E.B.A.S-CSIC.

CEC. CORINE Land Cover: Guide technique. Report EUR 1285EN., Luxembourg : Office for Publications of the European Communities, 1993. 144 pp.

Centro para la Biología de la Conservación. Fragmentación y metapoblaciones. En: Ecotono. (1996); p 2-4.

CORTES A. “La importancia del suelo en el análisis de la problemática ambiental de Colombia”. En: La manzana de la discordia, debate sobre la naturaleza en disputa. 2ª. Ed. Medellín: Editorial Ecofondo. 1998.

CUATRECASAS J. Aspectos de la vegetación natural en Colombia. En: Perez-Arbelaezia. Vol. II. No.8. (Enero-Diciembre).1989. p. 219-242.

CHÁVEZ, M. Y ARANGO, N. Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad 1997 - Colombia. Santafé de Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos

Biológicos Alexander Von Humboldt, PNUMA y Ministerio del medio Ambiente. Vol. 3. Bogotá. 1998.

CHUVIECO Emilio. Fundamentos de Teledetección Espacial. 3 ed. Madrid: Ediciones Rialp. 1996. 568 p.

CHUVIECO, Emilio. and CONGALTON, R. Application of remote sensing and Geographic information Systems to forest fire hazard mapping. En : Remote Sensing of the Environnement. Vol. 29 (1989); p. 147-159.

COCHRANE, A. Synergistic Interactions Between Habitat Fragmentation and Fire in Evergreen Tropical Forests. En : Conservation Biology. Vol. 15 (2001); p. 1515-1521.

COCHRANE, A. et al. Interaction and Synergy between Selective Logging, Forest Fragmentation and Fire Disturbance in Tropical Forests: Case Study Mato Grosso, Brazil. CGCEO/RA03-02/w. Michigan: Michigan State University. 2002.

Corporación Autónoma Regional del Cauca. CRC. Plan De Gestión Ambiental Regional Del Cauca -PGAR- 2002-2012. Popayán. 2002

DIDHAM, R. and LAWTON, J. Edge structure determines the magnitude of change in microclimate and vegetation structure in tropical forest fragments. En : Biotrópica. Vol. 31, No. 1. (1999); p. 17-30.

DURÁN, Elvira et al. El paisaje en ecología. En : Ciencias. Vol. 67 (2002); p. 44-50.

DUQUE, Andrés. Comunidades vegetales de la zona paramuna del norte del parque Puracé. Cali, 1987. 97 p. Tesis (Biólogo). Universidad del Valle.

DUQUE, Andrés y RESTREPO, Carla. Tipos de vegetación del llano de Paletará. Cordillera central Colombia. En: Caldasia. Vol. 17, No. 1 (1992); p. 21-34.

ETTER, A. Introducción a la ecología del paisaje. Un marco de integración para los levantamientos rurales. Santafé de Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección de Docencia e Investigación. 1991.

ETTER, A. Mapa General de Ecosistemas de Colombia. En: CHAVES, M. y ARANGO, N. Informe Nacional sobre el Estado de la Biodiversidad 1997-Colombia. Santafé de Bogotá: Instituto Humboldt, PNUMA, Ministerio de Medio Ambiente. 1998.

ERDAS Inc. Erdas Imagine. Version 8.x. ERDAS, Atlanta. USA. 1999.

ESRI Inc. ArcView GIS. Version 8.2. Environmental Systems Research Institute. USA. 2003

FAO. Forest Resource Assessment. [Disco]. 1993. Availed from: <www.customw.com/ecoweb/notas/notas/970829_2.html>

FAHRIG, Lenore. When is a Landscape Perspective Important? [Disco]. 2003. [Citado enero 2004] Availed from internet: <[http://www.carleton.ca/lands-ecol/whatisle.html# Landscape Ecology](http://www.carleton.ca/lands-ecol/whatisle.html#Landscape%20Ecology)>

FAHRIG, Lenore. Effect of Habitat Fragmentation on Biodiversity. En : Annual Review of Ecology. Vol. 34 (2003); p. 487-515.

FIGUEROA, Apolinar.; CONTRERAS, Rafael.; y SÁNCHEZ, Juan. Evaluación de Impacto Ambiental. Un instrumento para el Desarrollo. Cali: Corporación Universitaria Autónoma de Occidente. 1998.

FIGUEROA, Apolinar y ZAMBRANO, Leonidas. Recursos Vegetales. En : Historia, Geografía y Cultura del Cauca. Territorios Posibles. BARONA G, GNECCO C. (eds.). Popayán: Universidad del Cauca. 2001. p. 183-198.

FIGUEROA. Apolinar.; JOAQUI, Samir.; MARTÍNEZ, Juan.; HECK, Volker., CASTAÑEDA, Daniel. Elaboración de Una Ortofoto Para El Área Piloto Del Proyecto ARIADNA. Informe Técnico. Proyecto ARIADNA Adquisición Remota de Información Ambiental Para Diagnostico y Gestión de Recursos Naturales. Universidad del Cauca COLCIENCIAS-CINTEL .2003. 19p.

FORMAN, Richard T.T. and GODRÓN, Michel. Landscape Ecology. New York : Wiley, 1986. 619 p. ISBN 0-521-47980-0.

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

FORMAN, Richard T.T. An ecology of the landscape. En : BioScience. Vol. 33 (1983); p. 535.

FUENTES, Eduardo; AVILÉS, Reinaldo. and SEGURA, Alejandro. Landscape change under indirect effects of human use: the Savanna of Central Chile. En : Landscape Ecology. Vol. 2, No. 2 (1997); p. 73–80.

GENTRY, A. A field guide to the families and genera of woody plants of northwest South America (Colombia, Ecuador, Peru). Washington, DC. : Conservation International. 1993. 895 p.

GASCON C. Et al. "Matrix habitat and species richness in tropical forest remnants" En: Biological Conservation. No.91 (1999); p. 223-229.

GONZÁLEZ, B. Fernando. Ecología y paisaje. Madrid: H. Blume. 1981. 251 p.

HANSKI, I. Metapopulation Ecology. Oxford Series in Ecology and Evolution: Oxford. 1999.

HARGIS, Christina; BISSONETTE, John. and TURNER, David. The Influence of forest fragmentation and landscape pattern on American martens. En : Journal of Applied Ecology. Vol. 36 (1999); p 157-172.

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

HARRIS, L. and SCHECK, J. From implications to applications: The dispersal corridor principle applied to the conservation biological diversity. En : SAUNDERS, D. and HOBBS, R. Nature conservation 2: The role of corridors. Surrey Beatty (Aus). 1984. p. 189-220.

HERNÁNDEZ, Roberto.; FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. Metodología de la investigación. Colombia: McGraw-Hill. 1997. 505 p.

HERNÁNDEZ, Jorge y SÁNCHEZ, Heliodoro. Biomas terrestres de Colombia. En : La Diversidad Biológica de Iberoamérica – Colombia, [Disco]. 2000. Available from: <www.ecologia.edu.mx/pubs/biodiv/bdcolbim.htm>

HOFSTEDDE, Robert. The effects of grazing and burning on soil and plant nutrient concentrations in Colombian paramo grasslands. En : Plant and Soil. Vol. 173, No.1 (1995); p. 111-132

HOFSTEDDE, Robert. "El Descubrimiento del Ecosistema Escondido" [Disco]. S.f. Available from: <<http://www.paramo.org/hofstede-intro.doc>>

HOFSTEDDE, Robert. Los páramos Andinos; su diversidad, sus habitantes, sus problemas y sus perspectivas: Un breve diagnóstico regional del estado de conservación de los páramos. En : Proyecto Páramo: Últimas Noticias N37-78 Quito.2003.

HURD, James.; HOFFHINE, Wilson. and CIVCO, Daniel. Development of a forest fragmentation index to quantify the rate of forest change. En : Annual Conference and FIG. XXII Congress. 2002. 9 p.

HUSTON, Michael. Biological diversity : The coexistence of species on changing landscapes. Cambridge : Cambridge, 1994. p. 300-557.

IDEAM. LEYVA P. Editor. El medio ambiente en Colombia. Bogotá : IDEAM, 2001. 543p.

IDEAM. Sistema De Información Ambiental De Colombia –SIAC-. Primera Generación De Indicadores De Línea Base De La Información Ambiental De Colombia. Tomo II. Bogotá : IDEAM, 2002. 827 p.

IGAC. Manual de percepción remota en geografía física. Vol. I. Bogotá: IGAC. 1984, 240 p.

IGAC. Principios básicos de cartografía temática. Bogotá: IGAC. 1998, 239 p.

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives De Andrés” INVEMAR. Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros de Colombia: Año: 2001. Bogota: INVEMAR. 2002.

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt – lavH. Proyecto Diseño e Implementación del Sistema Indicadores de Seguimiento de Política de Biodiversidad en la Amazonia Colombiana. Informe Final de Resultados Indicadores de Seguimiento de la Política de Biodiversidad en la Amazonia Colombiana (2001). Bogota : lavH, 2002. 135p.

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Unidad de Sistemas de Información Geográfica UNISIG. Los Sistemas de Información Geográfica. [Disco]. S.f. Aailed from: <
<http://www.humboldt.org.co/sig/estructura.html>>

ISARD, W. Introduction to regional science. New Jersey : Prentice-Hall, 1975.

IUCN. Red list categories as approved by the 4o. th. Meeting of the IUCN council. IUCN: Suiza, 1994. 368 p.

JOAQUI, Samir. Análisis Multitemporal de las coberturas vegetales para Ecotopos Paramúnos en el Parque Nacional Natural Puracé Utilizando Sistemas de Información Geográfica. Popayán. 2005, 180 p. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación.

JONSEN, I. And FARIGH, L. Response of generalist an specialist insect herbivores to landscape spatial structure. En : Landscape Ecology. Vol. 12 (1997); p. 185-197.

KATTAN, G. Rarity and vulnerabilidad: The birds of the Cordillera Central of Colombia. Conservation Biology. Vol. 6 (1992); p. 64-70.

KEITT, T.; URBAN, D. and MILNE, B. Detecting critical scales in fragmented landscapes. En : Conservation Ecology Vol. 1, No. 1 (1997); [online] Available from: <<http://www.consecol.org/vol1/iss1/art4>>

LAURANCE, W. and YENSEN, E. Predicting the impact of edge effects in fragmented habitats. En : Biological Conservation. No. 55 (1991); p. 77-92.

LAURANCE, W. Edge effects in tropical forest fragments: Application of a model for the design of nature reserves. En : Biological Conservation. No. 57 (1991); p. 205-219.

LAURANCE, W. Ecological correlates of extinction proneness in Australian tropical rain forest mammals. En: Conservation Biology. Vol. 5, No. 1 (1991); p. 79-89.

LAURANCE. et al. Rain forest fragmentation and the dynamics of Amazonian tree communities. En: Ecology. Vol. 79, No. 6 (1998); p. 2032-2040.

LAURANCE. et al. Rain forest fragmentation and the dynamics of Amazonian liana communities. En: Ecology. Vol. 82, No. 1 (2001); p. 105-116.

LAURANCE. et al. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22-year investigation. En : Conservation Biology. Vol. 16, No. 3 (2002); p. 605-618.

LEVENSON, J. Woodlands as biogeography islands in southeastern Wisconsin. En: BURGESS, R. and SHARPE, D. (Eds.), Forest islands dynamics in man-dominated landscapes. New York : Springer Verlag, 1981. p.13-39.

LEVINS, R. Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. Bulletin of the Entomological Society of America. Vol. 15 (1969), p. 237-240.

LI, H. and REYNOLDS, J. On definition and quantification of heterogeneity. En : Oikos. Vol. 72, No. 2 (1995); p. 280-284.

LÓPEZ, Hugo; MORALES, Alba y MATAALLANA, Clara. Aproximación a los efectos de las actividades antrópicas sobre la fauna de vertebrados del páramo colombiano. En: CONGRESO MUNDIAL DE PARAMOS. (2002) Simposio Manejo, conservación y protección. Bogotá : Ministerio Del Medio Ambiente, CAR, IDEAM, Conservación Internacional. 2002. Tomo I. 987 p.

LÓPEZ-BARRERA, F. Estructura y función en bordes de bosques. En : Ecosistemas. Vol. 13, No. 1 (2004); p. 1-14. Available from: <<http://www.aet.org/ecosistemas/041/revision1.htm>>

LUGO, A. Los Sistemas Ecológicos y la Humanidad. Washington: Eva V. Chesneau. USA. 1982. p. 4-35.

MARTÍNEZ, Juan.; JOAQUI, Samir.; FIGUEROA, Apolinar.; HECK, Volker., CASTAÑEDA, Daniel. Relación de Cartografía Generada y Procesada Para el Proyecto ARIADNA. Informe Técnico. Proyecto ARIADNA Adquisición Remota de Información Ambiental Para Diagnostico y Gestión de Recursos Naturales. Universidad del Cauca COLCIENCIAS-CINTEL .2003. 21p.

McGARIGAL, Kevin. and MARKS, Barbara. FRAGSTATS : Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Portland : USDA Forest Service General, 1995. Technical Report PNW-GTR-351, Pacific Northwest Research Station. 134 p.

McGARIGAL, Kevin. and MARKS, Barbara. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. V. 2. USA. 1995.

McGARIGAL, Kevin. Landscape pattern metrics. En : EL-SHAARAWI, A. and PIEGORSCH, W. Encyclopedia of Environmentrics. England : Wiley. Vol. 2 (2002). p. 1135-1142.

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.

MARSH, David. and PEARMAN, Peter. Effects of Habitat Fragmentation on the Abundance of Two Species of Leptodactylid Frogs in an Andean Montane Forest En: Conservation Biology. Vol. 11, No. 6 (1997); p. 1323-1328.

DEULING, Medina; WOUDSMA, Clarence and FRANKLIN, Steven. Temporal analysis of habitat fragmentation: Integrating GIS, landscape ecology, and improved RS classification methods. En : 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling (GIS/EM4): Problems, Prospects, and Research Needs. Canada, 2000.

MAGURRAN, A. Ecological diversity and its measurement. New Jersey: Princeton University Press. USA. 1988. 179 p.

MLADENOFF, David; NIEMI, Gerald. and WHITE, Mark. Effects of changing landscape pattern and U. S. G. S. land cover data variability on ecoregion discrimination across a forest-agriculture gradient. En : Landscape Ecology. Vol. 12 (1997); p. 379–396.

MILLER, Joseph. BROOKS, Robert. and CROONQUIST, Mary. Effects of landscape patterns on biotic communities. En : Landscape Ecology. Vol. 12 (1997); p. 137–153.

Ministerio Del Medio Ambiente, Departamento Nacional de Planeación, Instituto Alexander von Humboldt. Política Nacional de Biodiversidad. Bogotá : MMA. 1995. 18 p.

Ministerio Del Medio Ambiente, CAR, IDEAM, Conservación Internacional Congreso Mundial de Paramos. (Paipa). Bogotá : Conservación Internacional - CAR. 2002. Tomos I (987 p.) y II (205 p.).

MONASTERIO, Maximina. Las Formaciones Vegetales de los Páramos de Venezuela. En: M. Monasterio (Ed.). Estudios Ecológicos de los Páramos Andinos. Mérida: Universidad de Los Andes. 1980. p. 93-158.

MONASTERIO, Maximina. y REYES, Silvino. Diversidad Ambiental y Variación de la Vegetación en los Páramos de Los Andes Venezolanos. En: M. Monasterio (Ed.). Estudios Ecológicos de los Páramos Andinos. Mérida: Universidad de Los Andes. 1980. p. 47-91

MONASTERIO, Maximina CONGRESO MUNDIAL DE PARAMOS. (2002: Paipa) Simposio Aspectos sociales, económicos e institucionales. La gente y el páramo: uso, impacto y manejo campesino. Bogotá: Ministerio Del Medio Ambiente, CAR, IDEAM, Conservación Internacional. 2002. Tomo I.

MOLINILLO, Marcelo and MONASTERIO, Maximina. Pastoralism in paramo environments: Practices, forage and impact on vegetation in the cordillera of Mérida, Venezuela. En : Mountain research and Development. Vol. 17, No. 3 (1997); p. 197-211.

MOLINILLO, Marcelo and MONASTERIO, Maximina. Vegetation and grazing patterns in paramo environment. En : Ecotropicos. Vol. 15, No. 1 (2002); p 19-34.

MORENO, Claudia. and HALFFTER, G. Spatial and temporal analysis of the alpha, beta and gamma diversities of bats in a fragmented landscape. En : Biodiversity and Conservation. Vol. 10 (2001); p. 367-382.

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

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

NOSS, R. A regional landscape approach to maintain diversity. En : BioScience. Vol. 33 (1993); p. 700-706.

NOSS R. Some principles of conservation biology, as they apply to environmental law. En : Chicago-Kent Law Review. Vol. 69 (1994); p. 892-894.

OCHOA, Jose and SORIANO, Pascual. The effects of logging on nonvolant small mammal communities in neotropical rain forest. En: FIMBEL, R. Et al. The cutting edge: Conservatin wildlife in logged tropical forest. New York: Columbia University Press. 2001. p. 125-152.

ODUM, E. Ecología. La sensibilidad a distancia como instrumento para el estudio y la administración de ecosistemas. Tercera edición. México: Interamericana. 1972. p.515 – 533.

OLAF, Bastian. Landscape Ecology–towards a unified discipline?. En : Landscape Ecology. Vol. 16 (2001); p. 757–766.

ORTIZ R. “Modelos de extincion y fragmentacion de habitats” [Disco]. 1999. Availed from: www.latinsynergy.org

PICKETT, S. and CADENASSO, M. Landscape Ecology: Spatial heterogeneity in ecological system. En : Science. Vol. 269 (jul. 1995); p. 331-334.

RANGEL, Orlando y LOZANO, G. Un perfil de vegetación entre la Plata (Huila) y el Volcán Puracé. En: Caldasia. Vol. 14 (1986); p. 68-70.

RANGEL, Orlando. Consideraciones sobre la diversidad y la vegetación de alta montaña en Colombia. En: LOZANO, J. y PAVÓN, J. (Eds.). Memorias del seminario taller sobre alta montaña colombiana. En : Colección Memorias. Vol. 3 (1995); p. 33-60.

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

RANGEL, Orlando. Biodiversidad en la región del páramo: con especial referencia a Colombia. En : CONGRESO MUNDIAL DE PARAMOS. (2002: Paipa) Simposio Historia natural y aspectos biogeográficos del páramo. Bogotá : Ministerio Del Medio Ambiente, CAR, IDEAM, Conservación Internacional. 2002. Tomo I. 987 p.

RITTERS, K. et al. Global-scale patterns of forest fragmentation. En : Conservation Ecology. Vol 4. No. 2 (2000); p. 1-28.

RISSER, P. Landscape ecology: state of the art. En : GOIGEL, M. Landscape heterogeneity and disturbance. New York : Springer-Verlag, 1987.

ROMERO, Milton y SUA, Sonia. Metodología para la definición de ecosistemas. Anexo I. En : Proyecto Diseño e Implementación del Sistema Indicadores de Seguimiento de Política de Biodiversidad en la Amazonia Colombiana. Informe Final de Resultados Indicadores de Seguimiento de la Política de Biodiversidad en la Amazonia Colombiana (2001). Bogota : lavH, 2002.

SÁNCHEZ, R. y RANGEL, O. Estudios ecológicos en la cordillera oriental Colombiana V. Análisis fitosociológico de la vegetación de los depósitos turbosos paramunos de los alrededores de Bogotá. En : Caldasia. Vol. 16, No. 77 (1990); p. 155-192.

SANTOS, T.; TELLERÍA, J. y CARBONELL, R. Bird conservation in fragmented Mediterranean forests of Spain: effects of geographical location, habitat and landscape degradation, Biological Conservation, 105 (2002); p. 113-125.

SKOLE, D. and TUCKER, C. Tropical Deforestation and Habitat Fragmentation in the Amazon: Satellite Data from 1978 to 1988. En : Science. Vol. 260 (1993); p. 1905-1910.

SEBASTIANI M, VILLARÓ M. y ÁLVAREZ H. El enfoque de la Ecología del Paisaje aplicado en las evaluaciones ambientales. [Disco]. 2000. Availed from: <http://www.paramo.org/sebastiani.doc>

SCHMIEGELOW, F. and MÖNKKÖNEN, M. Habitat loss and fragmentation in dynamic landscapes: avian perspectives from the boreal forest. En : Ecological Applications, Vol. 12, No. 2 (2002); p. 375–389.

SILVA ECOSYSTEM CONSULTANTS. Landscape ecology literature review. [Disco]. January 1992. 21 p.

SODEMANN. Albert. LISA Para Windows NT BASE. Dr – Dr. Ing. Wilfried Linder. Traducción al español. CEADES. Universidad Autonoma de Occidente. Instituto Geográfico de la Universidade de Duesseldorf Alemania

STEENMANS, C. and U. PINBORG. Anthropogenic fragmentation of potential semi-natural and natural areas. En: European Commission (DG AGRI, EUROSTAT, Joint Research Centre (Ispra)) & European Environmental Agency. SI. 2000.

STEPHENS, Scott; KOONS, David; ROTELLA, Jay. and WILLEY, David. Effects of habitat fragmentation on avian nesting success: a review of the evidence at multiple spatial scales En : Biological Conservation 115 (2003); p. 101–110.

TERBORGH, J. The role of ecotones in the distribution of Andean birds. En : Ecology. Vol. 33 (1985); p. 1237-1246.

TRICART, Jean. y KILIAN, Jean. La Eco-Geografía y la ordenación del medio natural. Barcelona : Anagrama, 1982. 288 p. ISBN 84-339-1422-7.

TROCHE, Carlos. Análisis del cambio de cobertura y fragmentación del hábitat en el municipio de Independencia - Una propuesta metodológica simple para la identificación de áreas prioritarias de investigación biológica. Centro de Levantamientos Aeroespaciales y aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales, CLAS. [Disco]. sf. Aailed from: <<http://www.umss.edu.bo/epubs/earts/downloads/60.pdf>>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLÍN. Sistemas de Información geográfica (SIG): Base de la gestión. Bogotá: Universidad Nacional. 1997, 190 p.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLÍN. La Zona Andina en Colombia, [Disco]. s.f. Aailed from: <<http://members.tripod.com/fachadas/Ubicacion/Ubicacion.htm>>

Universidad de Dusseldorf. LISA Modulos FOTO y BASE. Version 3.x. Dr – Dr. Ing. Wilfried Linder .Instituto de Geografía Física Heinrich-Heinne. Alemania. 2001.

VALENCIA, Mónica. Caracterización y modelación del mesohábitat de una comunidad de anfibios (Anura), en un humedal de la meseta de Popayán. Popayán. 2004, 170 p. Trabajo de grado (Bióloga). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación.

VARGAS, Orlando. Un modelo de sucesión-regeneración de los paramos después de quemas. En: Caldasia. Vol. 19, No. 1-2 (1997); p. 331-345.

VARGAS, Orlando; PREMAUER, Julia y ZALAMEA, Marcela. Impacto de fuego y ganadería sobre la vegetación de páramo. En: CONGRESO MUNDIAL DE PARAMOS. (2002: Paipa) Simposio Aspectos sociales, económicos e institucionales. La gente y el páramo: uso, impacto y manejo campesino. Bogotá : Ministerio Del Medio Ambiente, CAR, IDEAM, Conservación Internacional. 2002. Tomo I. p. 819-841.

WADE, T. et al. Distribution and causes of global forest fragmentation. En : Conservation Biology. Vol. 7, No. 2 (2003); 17 p.

WIENS, J. and MILNE, B. Scaling of 'landscapes' in landscape ecology, or, landscape ecology from a beetle's perspective. En : Landscape Ecology. Vol. 3. No. 2. (1989); p. 87-96.

WHITTAKER, R. Evolution and measurement of species diversity. En : Taxon. Vol. 21. No.2-3 (1972); p. 213-251.

WILCOVE, D.S.; MCLELLAN, C.H.; and DOBSON, A.P.. Habitat fragmentation in the temperate zone. In: SOULE, M. Conservation Biology, the science of scarcity and diversity. Massachusetts: Sinauer. 1986 p. 237-256.

WILCOX, A. and MURPHY, D. Conservation strategy: The effects of fragmentation on extinction. En : The American Naturalist. (1985); p. 125879-887

Williams, G. "Los bordes de selvas y bosques". En: Ciencia y desarrollo, 17 (97) (1991): 65-71.

WWF. Informe del análisis multitemporal Parque Nacional Natural Nevado del Huila y su zona de influencia, herramienta de apoyo para la metodología de análisis de efectividad en los Parques Nacionales, Programa Colombia WWF y Ministerio del Medio ambiente. Cali: Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales. 2002.

YASNÓ, C. et al. Esquema de ordenamiento territorial, diagnostico territorial. Laguna de San Rafael. Municipio de Puracé Cauca. 2000. Tomo II, p. 515-516.

ZERDA H. Geoprocesamiento: Una aplicación para el estudio de la fragmentación del bosque chaqueño. En : RESÚMENES DE LA XIX REUNIÓN ARGENTINA DE ECOLOGÍA. Asociación Argentina de Ecología-Lab. de Investigaciones Ecológicas de Las Yungas. 1999.

ZONNEVELD, I. Landscape ecology and its application. En : Landscape Ecology and Management. Proceedings of the First Symposium of the Canadian Society for Landscape Ecology and Management. 2 ed. Guelph : Polyscience Publications, 1987.

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.

ZULETA, Mónica, Descripción del programa LISA, Módulo FOTO Version 2.0. Dr – Dr. Ing. Wilfried Linder. Traducion al español. Instituto Geográfico de la Universidad de Dusseldorf Alemania. 2001.

CARTOGRAFÍA

Ministerio del Medio Ambiente, Unidad Administrativa Especial Del Sistema de Parques Nacionales Naturales. Parque Nacional Natural De Puracé. Mapa de Vegetación Escala 1: 100.000. Abril 1998 Colombia.

Ministerio del Medio Ambiente, Unidad Administrativa Especial Del Sistema de Parques Nacionales Naturales. Parque Nacional Natural De Puracé. Mapa de Esquematización de Sectores Escala 1: 100.000. Abril 1998 Colombia.

Ministerio del Medio Ambiente, Unidad Administrativa Especial Del Sistema de Parques Nacionales Naturales. Parque Nacional Natural De Puracé. Mapa de Zonas de Avistamiento de Fauna Escala 1: 100.000. Abril 1998 Colombia.

Ministerio del Medio Ambiente, Unidad Administrativa Especial Del Sistema de Parques Nacionales Naturales. Parque Nacional Natural De Puracé. Mapa de Zonificación Escala 1: 100.000. Abril 1998 Colombia.

Ministerio del Medio Ambiente, Unidad Administrativa Especial Del Sistema de Parques Nacionales Naturales. Parque Nacional Natural De Puracé. Mapa de Pendientes Escala 1: 100.000. Abril 1998 Colombia.

Imágenes Landsat TM, convenio WWF – Parque Nacionales Naturales, escenas 95889 y 95989 – 95899 y 95999. años de 1989 – 1999. Escala 1:60.000.

ANEXOS

Anexo 1 Relación de las especies encontradas asociadas a cada tipo fisonómico trabajado.

CÓDIGO	NOMBRE CIENTÍFICO	TIPO FISONÓMICO
JPM_144	<i>Baccharis macrantha</i>	Arbustal
JPM_131	<i>Conyza sp.</i>	Arbustal
JPM_245	<i>Diplosteghium floribundum</i>	Arbustal
SCJD_214	<i>Disterigma acuminatum</i>	Arbustal
JPM_133	<i>Drymaria cordata</i>	Arbustal
SCJD_144	<i>Elaphoglossum mathewsii</i>	Arbustal
JPM_138	<i>Epilobium denticulatum</i>	Arbustal
JPM_136	<i>Gentianella rapunculooides</i>	Arbustal
JPM_134	<i>Halenia weddelliana</i>	Arbustal
JPM_024	<i>Hypericum laricifolium</i>	Arbustal
SCJD_209	<i>Jamesonia rubricaulis</i>	Arbustal
JPM_088	<i>Lachemilla galioides</i>	Arbustal
_101,_140	<i>Lasiocephalus otophorus</i>	Arbustal
JPM_259	<i>Macleania sp.</i>	Arbustal
JPM_051,JPM_145	<i>Miconia salicifolia</i>	Arbustal
JPM_075	<i>Niphogeton ternata</i>	Arbustal
SCJD_56	<i>Pentacalia arbutifolia</i>	Arbustal
JPM_111, JPM_168	<i>Pentacalia sp.</i>	Arbustal
JPM_063	<i>Pentacalia vaccinioides</i>	Arbustal
JPM_019	<i>Pernettya prostrata</i>	Arbustal
JPM_129	<i>Ranunculus sp.</i>	Arbustal
JPM_124, JPM_141	<i>Rubus glabratus</i>	Arbustal
SCJD_191	<i>Sphagnum magellanicum</i>	Arbustal
JPM_119, JPM_205, SCJD_177	<i>Ageratina tinifolia</i>	Arbustal Intervenido
JPM_112	<i>Calamagrostis effusa</i>	Arbustal Intervenido
JPM_307	<i>Carex bonplandii</i>	Arbustal Intervenido
SCJD_134	<i>Diplosteghium floribundum</i>	Arbustal Intervenido
JPM_072	<i>Geranium confertum</i>	Arbustal Intervenido
SCJD_181	<i>Hypericum aciculare</i>	Arbustal Intervenido
JPM_068	<i>Hypericum laricifolium</i>	Arbustal Intervenido
SCJD_159	<i>Jamesonia rubricaulis</i>	Arbustal Intervenido
JPM_142, 147	<i>Pentacalia vaccinioides</i>	Arbustal Intervenido
JPM_241	<i>Ageratina tinifolia</i>	Bosque
JPM_248	<i>Baccharis sp.</i>	Bosque
JPM_220	<i>Blechnum cordatum</i>	Bosque
JPM_003	<i>Blechnum loxensis</i>	Bosque
JPM_232, JPM_261	<i>Bomarea linifolia</i>	Bosque
JPM_235	<i>Brachyonidium sp.</i>	Bosque
JPM_182	<i>Brachyotum lindenii</i>	Bosque
JPM_080, JPM_105	<i>Carex jamesonii</i>	Bosque

JPM_214, JPM_223	<i>Chorisodontium mitternii</i>	Bosque
JPM_181	<i>Cybianthus marginatus</i>	Bosque
JPM_177	<i>Desfontainia parvifolia</i>	Bosque
SCJD_169	<i>Diplostegium floribundum</i>	Bosque
JPM_046	<i>Diplostegium glandulosum</i>	Bosque
JPM_183	<i>Diplostegium sp.</i>	Bosque
SCJD_223	<i>Disterigma acuminatum</i>	Bosque
JPM_016	<i>Disterigma sp.</i>	Bosque
JPM_319	<i>Elaphoglossum sp.</i>	Bosque
JPM_172	<i>Elleanthus sp.</i>	Bosque
JPM_198	<i>Epidendrum sp.</i>	Bosque
JPM_115, JPM_222, JPM_251	<i>Gaiadendron punctatum</i>	Bosque
SCJD_116	<i>Galium hypocarpium</i>	Bosque
SCJD_201	<i>Galium hypocarpium</i>	Bosque
JPM_247	<i>Gaultheria erecta</i>	Bosque
JPM_202, SCJD_124, SCJD_145	<i>Gaultheria insipida</i>	Bosque
JPM_254	<i>Greigia sp.</i>	Bosque
JPM_110, JPM_249	<i>Gynoxys sp.</i>	Bosque
JPM_184	<i>Hedyosmum cumbalense</i>	Bosque
JPM_205	<i>Hedyosmum sp.</i>	Bosque
SCJD_139	<i>Huperzia hippuridea</i>	Bosque
SCJD_140	<i>Hymenophyllum sodiroi</i>	Bosque
JPM_179	<i>Ilex colombiana</i>	Bosque
JPM_226	<i>Ilex myricoides</i>	Bosque
SCJD_147	<i>Lellingeria sp.</i>	Bosque
JPM_201	<i>Macleania pubiflora</i>	Bosque
JPM_149	<i>Macleania sp.</i>	Bosque
JPM_215, JPM_224	<i>Maytenus novogranatensis</i>	Bosque
JPM_237	<i>Melpomene sp.</i>	Bosque
JPM_331, JPM_332	<i>Miconia chlorocarpa</i>	Bosque
_240	<i>Miconia cuneifolia</i>	Bosque
SCJD_133	<i>Miconia curvitheca</i>	Bosque
JPM_330	<i>Miconia puracensis</i>	Bosque
JPM_206, JPM_207	<i>Miconia sp.</i>	Bosque
JPM_166	<i>Monnina sp.</i>	Bosque
JPM_050, JPM_186	<i>Myrsine dependens</i>	Bosque
JPM_132	<i>Niphogeton ternata</i>	Bosque
JPM_116, JPM_257	<i>Oreopanax seemannianus</i>	Bosque
SCJD_125	<i>Oxalis sp.</i>	Bosque
JPM_194, JPM_234	<i>Pachyphyllum pastii</i>	Bosque
JPM_199	<i>Pachyphyllum sp.</i>	Bosque
JPM_249, JPM_252	<i>Pentacalia sp.</i>	Bosque
SCJD_129	<i>Pentacalia trichopus</i>	Bosque
SCJD_149	<i>Pentacalia vaccinioides</i>	Bosque
JPM_233, JPM_260	<i>Pentacalia weinmannifolia</i>	Bosque
JPM_262	<i>Peperomia sp.</i>	Bosque

JPM_135	<i>Pernettya prostrata</i>	Bosque
JPM_195, JPM_209	<i>Pleurothallis sp.</i>	Bosque
JPM_236, JPM_255	<i>Polypodium monosorum.</i>	Bosque
JPM_034	<i>Polypodium sp.</i>	Bosque
JPM_263	<i>Siphocampylus sp.</i>	Bosque
SCJD_115	<i>Symplocos quitensis</i>	Bosque
JPM_256	<i>Thelypteris sp.</i>	Bosque
SCJD_136	<i>Themistoclesia dependens</i>	Bosque
JPM_188, JPM_208, JPM_216	<i>Themistoclesia mucronata</i>	Bosque
JPM_126	<i>Thibaudia parvifolia</i>	Bosque
JPM_258	<i>Vaccinium floribundum</i>	Bosque
JPM_250	<i>Weinmannia brachystachya</i>	Bosque
JPM_022	<i>Weinmannia mariquitae</i>	Bosque
JPM_320	<i>Blechnum auratum</i>	Bosque Intervenido
_112	<i>Calamagrostis macrophylla</i>	Bosque Intervenido
JPM_231, JPM_328	<i>Cybianthus marginatus</i>	Bosque Intervenido
SCJD_178	<i>Diplostephium floribundum</i>	Bosque Intervenido
SCJD_213, SCJD_216	<i>Diplostephium hartwegii</i>	Bosque Intervenido
JPM_325	<i>Disterigma acuminatum</i>	Bosque Intervenido
JPM_204	<i>Disterigma sp..</i>	Bosque Intervenido
JPM_150	<i>Elaphoglossum sp.</i>	Bosque Intervenido
SCJD_205	<i>Elleanthus ensatus</i>	Bosque Intervenido
JPM_191, 192	<i>Gaultheria insipida</i>	Bosque Intervenido
JPM_329	<i>Hedyosmum cumbalense</i>	Bosque Intervenido
JPM_327	<i>Hesperomeles</i>	Bosque Intervenido
SCJD_206	<i>Hypericum ruscoides</i>	Bosque Intervenido
JPM_333	<i>Ilex myricoides</i>	Bosque Intervenido
JPM_148	<i>Jamesonia rubricaulis</i>	Bosque Intervenido
JPM_148	<i>Jamesonia sp.</i>	Bosque Intervenido
JPM_225	<i>Miconia chlorocarpa</i>	Bosque Intervenido
JPM_217, JPM_227, JPM_228	<i>Miconia sp.</i>	Bosque Intervenido
JPM_229, JPM_326	<i>Myrsine dependens</i>	Bosque Intervenido
JPM_239	<i>Pernettya prostrata</i>	Bosque Intervenido
JPM_253, JPM_321	<i>Pleurothallis sp.</i>	Bosque Intervenido
JPM_322	<i>Sphagnum sp.</i>	Bosque Intervenido
JPM_180,	<i>Themistoclesia dependens</i>	Bosque Intervenido
JPM_230, JPM_246, JPM_324	<i>Themistoclesia mucronata</i>	Bosque Intervenido
SCJD_225	<i>Thibaudia parvifolia</i>	Bosque Intervenido
SCJD_148	<i>Ugni myricoides</i>	Bosque Intervenido
SCJD_204	<i>Weinmannia mariquitae</i>	Bosque Intervenido
JPM_003	<i>Blechnum loxensis</i>	Chuscal
JPM_175	<i>Campylopus pittieri</i>	Chuscal
JPM_151	<i>Chusquea tessellata</i>	Chuscal
SCJD_153	<i>Cortaderia sp.</i>	Chuscal
JPM_146	<i>Diplostephium cinerascens</i>	Chuscal
JPM_323	<i>Diplostephium sp.</i>	Chuscal

JPM_211	<i>Disterigma sp.</i>	Chuscal
JPM_169	<i>Elaphoglossum sp.</i>	Chuscal
JPM_213	<i>Elleanthus sp.</i>	Chuscal
JPM_316	<i>Geranium sp.</i>	Chuscal
SCJD_167	<i>Huperzia hokenackeri (conf. Sp.)</i>	Chuscal
SCJD_90	<i>Jamesonia rubricualis</i>	Chuscal
SCJD_193	<i>Lupinus expetendus</i>	Chuscal
SCJD_101	<i>Lycopodium clavatum</i>	Chuscal
SCJD_170	<i>Melpomene sp.</i>	Chuscal
SCJD_58	<i>Monnina revoluta</i>	Chuscal
SCJD_161	<i>Myrteola nummularia</i>	Chuscal
JPM_167	<i>Niphogeton ternata</i>	Chuscal
SCJD_157	<i>Paepalanthus</i>	Chuscal
SCJD_72	<i>Pentacalia leioclada</i>	Chuscal
SCJD_191	<i>Pentacalia vaccinioides</i>	Chuscal
JPM_064	<i>Puya cuatrecasatii</i>	Chuscal
SCJD_94	<i>Rynchospora macrochaeta</i>	Chuscal
JPM_311	<i>Sphagnum magellanicum</i>	Chuscal
SCJD_207	<i>Ugni myricoides</i>	Chuscal
SCJD_165	<i>Vaccinium floribundum</i>	Chuscal
SCJD_105	<i>Aciachne pulvinata</i>	Chuscal Intervenido
JPM_060, JPM_077, JPM_081, JPM_090, JPM_154, JPM_155, JPM_012, JPM_102	<i>Agrostis sp.</i>	Chuscal Intervenido
JPM_003	<i>Blechnum loxensis</i>	Chuscal Intervenido
JPM_304, JPM_082	<i>Carex sp.</i>	Chuscal Intervenido
JPM_170	<i>Disterigma sp.</i>	Chuscal Intervenido
JPM_193, JPM_210	<i>Elaphoglossum sp.</i>	Chuscal Intervenido
JPM_078	<i>Espeletia hartwegiana</i>	Chuscal Intervenido
SCJD_89	<i>Hesperomeles heterophylla</i>	Chuscal Intervenido
SCJD_104	<i>Huperzia brevifolia</i>	Chuscal Intervenido
SCJD_65	<i>Huperzia sp.</i>	Chuscal Intervenido
JPM_006	<i>Hypericum laricifolium</i>	Chuscal Intervenido
SCJD_160	<i>Jamesonia sp.</i>	Chuscal Intervenido
JPM_062	<i>Loricaria thuyoides</i>	Chuscal Intervenido
SCJD_172	<i>Lycopodium clavatum</i>	Chuscal Intervenido
SCJD_66	<i>Monnina revoluta</i>	Chuscal Intervenido
SCJD_187	<i>Myrteola nummularia</i>	Chuscal Intervenido
JPM_335	<i>Pernettya prostrata</i>	Chuscal Intervenido
SCJD_152	<i>Rynchospora macrochaeta</i>	Chuscal Intervenido
JPM_238	<i>Vaccinium floribundum</i>	Chuscal Intervenido
JPM_248	<i>Baccharis sp.</i>	Pajonal
JPM_302	<i>Bromus sp.</i>	Pajonal
JPM_159	<i>Carex jamesonii</i>	Pajonal
JPM_151	<i>Chusquea tessellata</i>	Pajonal
JPM_061, JPM_158	<i>Cortaderia nitida</i>	Pajonal
JPM_157	<i>Festuca sp.</i>	Pajonal

JPM_152	<i>Juncus effusus</i>	Pajonal
JPM_156	<i>Neurolepis sp.</i>	Pajonal
JPM_153	<i>Sisyrinchium jamesonii</i>	Pajonal
SCJD_47, SCJD_76	<i>Baccharis genistelloides</i>	Pajonal
SCJD_63	<i>Bartsia santolinifolia</i>	Pajonal
SCJD_45	<i>Breutelia inclinata</i>	Pajonal
JPM_310	<i>Calamagrostis effusa</i>	Pajonal
_310	<i>Calamagrostis macrophylla</i>	Pajonal
SCJD_59	<i>Castilleja fissifolia</i>	Pajonal
JPM_139	<i>Conyza sp.</i>	Pajonal
JPM_200	<i>Diplostephium glandulosum</i>	Pajonal
JPM_244	<i>Diplostephium sp.</i>	Pajonal
JPM_071	<i>Eryngium humile</i>	Pajonal
JPM_078	<i>Espeletia hartwegiana</i>	Pajonal
JPM_117	<i>Gaultheria insipida</i>	Pajonal
SCJD_49	<i>Gentianella rapunculoides</i>	Pajonal
JPM_137	<i>Geranium confertum</i>	Pajonal
SCJD_87	<i>Greigia sp.</i>	Pajonal
SCJD_92	<i>Huperzia sp.</i>	Pajonal
JPM_070	<i>Hypericum laricifolium</i>	Pajonal
SCJD_58	<i>Hypochoeris sessiliflora</i>	Pajonal
SCJD_86	<i>Isoetes novogranatensis</i>	Pajonal
SCJD_62	<i>Lachemilla galioides</i>	Pajonal
SCJD_59	<i>Leptodontium sp.</i>	Pajonal
SCJD_57	<i>Monnina revoluta</i>	Pajonal
JPM_203	<i>Monnina sp.</i>	Pajonal
SCJD_67	<i>Neurolepis aristata</i>	Pajonal
SCJD_71	<i>Niphogeton ternata</i>	Pajonal
SCJD_41	<i>Pentacalia vaccinioides</i>	Pajonal
SCJD_70	<i>Plantago hirtella</i>	Pajonal
SCJD_54	<i>Pleurozium schreberi</i>	Pajonal
SCJD_75	<i>Ranunculus sp.</i>	Pajonal
JPM_067, JPM_104	<i>Senecio formosus</i>	Pajonal
JPM_076	<i>Stipa sp.</i>	Pajonal
SCJD_40	<i>Valeriana plantaginea</i>	Pajonal
JPM_060, JPM_077, JPM_081, JPM_090, JPM_154, JPM_155, JPM_012, JPM_102	<i>Agrostis sp.</i>	Pajonal Intervenido
JPM_003	<i>Blechnum loxensis</i>	Pajonal Intervenido
JPM_303	<i>Bromus sp.</i>	Pajonal Intervenido
JPM_013	<i>Calamagrostis effusa</i>	Pajonal Intervenido
SCJD_219	<i>Calamagrostis macrophylla</i>	Pajonal Intervenido
JPM_307	<i>Carex bonplandii</i>	Pajonal Intervenido
JPM_192	<i>Carex jamesonii</i>	Pajonal Intervenido
SCJD_183, SCJD_185	<i>Cortaderia sp.</i>	Pajonal Intervenido
JPM_078	<i>Espeletia hartwegiana</i>	Pajonal Intervenido
SCJD_73	<i>Geranium confertum</i>	Pajonal Intervenido

JPM_104, JPM_301	<i>Hieracium sp.</i>	Pajonal Intervenido
JPM_042, JPM_305, JPM_313	<i>Holcus lanatus</i>	Pajonal Intervenido
SCJD_55	<i>Hypericum aciculare</i>	Pajonal Intervenido
JPM_317	<i>Hypericum laricifolium</i>	Pajonal Intervenido
JPM_173	<i>Lupinus sp.</i>	Pajonal Intervenido
SCJD_93	<i>Myrteola nummularia</i>	Pajonal Intervenido
SCJD_51	<i>Pentacalia vaccinioides</i>	Pajonal Intervenido
JPM_315	<i>Ranunculus praemorsus</i>	Pajonal Intervenido
JPM_314	<i>Rubus glabratus</i>	Pajonal Intervenido
JPM_308	<i>Rumex acetosella</i>	Pajonal Intervenido
SCJD_197	<i>Rynchospora sp.</i>	Pajonal Intervenido
JPM_309	<i>Sphagnum sp.</i>	Pajonal Intervenido
JPM_306	<i>Stipa sp.</i>	Pajonal Intervenido
JPM_174	<i>Valeriana bracteata</i>	Pajonal Intervenido
JPM_300	<i>Valeriana plantaginea</i>	Pajonal Intervenido
JPM_318	<i>Veronica serpyllifolia</i>	Pajonal Intervenido
SCJD_196	<i>Xyris subulata</i>	Pajonal Intervenido

Anexo 2 Relación de Especies Amenazadas encontradas en la zona, referencia tomada de Rangel (2000).

Según Rangel (2000) se puede referenciar para la zona la presencia de tipos de vegetación amenazada y especies vegetales en algún riesgo de amenaza según UICN (1997).

En la zona se encontró que los arbustales y bosques están degradándose y la fragmentación es un proceso que incide en las mismas, para la zona se reportan las siguientes asociaciones:

Asociación	Franja	Tipo de Vegetación	Categoría
Blechno loxensis- Diplostephietum floribundi	Subpáramo Páramo medio	arbustales (Matorral)	VU
Calamagrostio effusae- Calamagrostietum macrophyllae	Páramo medio	Pajonal	VU

Con respecto a las especies se tienen los siguientes reportes:

NOMBRE CIENTÍFICO	Tipo fisonómico	CATEGORÍA
<i>Baccharis macrantha</i>	Arbustal	R
<i>Epidendrum sp.</i>	Bosque	VU
<i>Gaultheria erecta</i>	Bosque	LR
<i>Gentianella rapunculoides</i>	Arbustal	VU
<i>Hesperomeles</i>	Bosque Intervenido	VU
<i>Melpomene sp.</i>	Bosque	VU
<i>Peperomia sp.</i>	Bosque	VU
<i>Puya cuatrecasasii</i>	Chuscal	VU

Anexo 3. Caracterización de actividades Antrópicas - Expansión de frontera pecuaria.



Sector San Rafael

Expansión de frontera
Pecuaria (Ganadería).



Anexo 4 Caracterización de actividades Antrópicas - Expansión de frontera agrícola.



Zona Amortiguación PNN.
Puracé

Expansión de frontera
Agrícola (papa).

