

**ESTUDIO ESPACIO-TEMPORAL DEL PROCESO DE
FRAGMENTACIÓN SOBRE LAS COBERTURAS BOSCOSAS EN
LA CUENCA DEL RÍO PALACÉ**

MARIA CRISTINA ORDÓÑEZ DÍAZ

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA
EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
POPAYÁN
2008**

**ESTUDIO ESPACIO-TEMPORAL DEL PROCESO DE
FRAGMENTACIÓN SOBRE LAS COBERTURAS BOSCOSAS EN LA
CUENCA DEL RÍO PALACÉ**

MARIA CRISTINA ORDÓÑEZ DÍAZ

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Bióloga**

**DIRECTOR.
APOLINAR FIGUEROA CASAS. Ph.D.**

**Asesores
Esp. BERNARDO RAMÍREZ
Biólogo. JUAN PABLO MARTÍNEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
POPAYÁN
2008**

Nota de aceptación

Director

Apolinar Figueroa Casas. (Ph. D.)

Jurado

Mg. Hernando Vergara Varela.

Jurado

Mg. Leonidas Zambrano Polanco.

Fecha de sustentación: Popayán, 31 de Julio de 2008.

AGRADECIMIENTOS

A **mis padres y hermanos**, por su amor, apoyo, esfuerzo y compañía incondicional.

Al **profesor Apolinar Figueroa Casas. Ph.D.** Docente del programa de Biología, Universidad del Cauca, Director del trabajo, por la oportunidad, enseñanzas, valiosos aportes, constante preocupación y gestión para sacar adelante este proyecto.

Al Biólogo **Juan Pablo Martínez**, por su apoyo, paciencia y colaboración en el desarrollo de este trabajo.

Al profesor **Bernardo Ramírez Padilla**, director del Herbario de la Universidad del Cauca-Museo de Historia Natural (CAUP), por su colaboración y observaciones en el desarrollo de este trabajo.

A la profesora **Maria Cristina Gallego** por su amistad y colaboración en el énfasis de gestión ambiental.

A **mis compañero del Grupo de estudios Ambientales**, Universidad del Cauca. Por su amistad, oportunos y generosos aportes en la consolidación de este documento.

A **mis compañeros de carrera, profesores y especialmente a los jurados Mg. Hernando Vergara y Mg. Leonidas Zambrano** por la colaboración y aportes en este trabajo.

A **Armando Rodríguez** por su compañía, amistad y colaboración en las salidas de campo.

A **la Familia Sánchez** por permitir la realización del trabajo de campo en su propiedad.

A **mis amigos** por apoyarme y acompañarme en estos últimos años.

A todas aquellas personas que de alguna manera me colaboraron.

CONTENIDO

	Pag
RESUMEN.....	11
INTRODUCCIÓN	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
2. JUSTIFICACIÓN	15
3. OBJETIVOS	16
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
4. HIPÓTESIS.....	17
5. ANTECEDENTES.....	18
6. MARCO TEORICO.....	22
6.1 ECOLOGÍA DEL PAISAJE.....	22
6.1.1 Niveles de análisis del paisaje.....	23
6.1.2 Elementos del paisaje.....	23
6.2 ESTUDIO DE VEGETACIÓN.....	24
6.3 FRAGMENTACIÓN	25
6.4 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	26
6.4.1 Componentes de un SIG	26
6.4.2 Aplicación de los SIG.	27
6.5 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.....	27
7. AREA DE ESTUDIO	28
8. METODOLOGIA	30
8.1 ESTUDIO DE LA VEGETACIÓN.	30
8.1.1 Muestreo para plantas leñosas.....	30
8.1.2 Perfil de la vegetación.....	30
8.1.3 Tratamiento e identificación del material vegetal.....	30
8.1.4 Análisis de datos.	31
8.2 ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN	33
8.2.1 Procesamiento digital de imágenes (PDI).....	33
8.2.2 Procesamiento Fotogramétrico.	35
8.3 ANÁLISIS DE CAMBIO EN LAS COBERTURAS VEGETALES.....	38
8.4 ESTUDIO DE FRAGMENTACIÓN SOBRE LAS COBERTURAS VEGETALES.....	38
8.4.1 Indicadores de fragmentación de los ecosistemas.....	38
8.5 IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES ANTRÓPICAS Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS.	40
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
9.1 ANÁLISIS DE LA VEGETACIÓN	42
9.2 CAMBIO DE COBERTURAS E ÍNDICES DE FRAGMENTACIÓN.....	56
9.2.1 Cambio de coberturas.....	57
9.2.1.1. Cambio de coberturas semidetallado por medio del procesamiento	

digital de imágenes Landsat TM correspondientes a la parte media de la cuenca Palacé.	57
9.2.1.2. Cambio de coberturas detallado por medio del procesamiento Fotogramétrico correspondiente a la vereda Palacé.....	64
9.2.2 Estudio de fragmentación.....	70
9.2.2.1 Estudio de fragmentación semidetallado por medio del procesamiento digital de imágenes satelitales TM.....	70
9.2.2.2. Estudio de fragmentación detallado por medio del procesamiento Fotogramétrico correspondiente a la vereda Palacé.....	75
9.3 IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES ANTRÓPICAS E IMPACTOS AMBIENTALES	84
10. CONCLUSIONES	92
11. RECOMENDACIONES	94
BIBLIOGRAFIA	95
ANEXOS	102

LISTA DE TABLAS

	Pag
Tabla 1. Indicadores del paisaje de acuerdo a los atributos del ecosistema.....	23
Tabla 2. Insumos utilizados para el procesamiento Fotogramétrico.....	35
Tabla 3. Coberturas definidas en el presente estudio.....	37
Tabla 4. Familias más prevaletientes en muestras de 0.1 ha, para plantas DAP \geq 2.5 cm (Gentry, 1992).....	43
Tabla 5. Géneros más prevaletientes en muestras de 0.1 ha, para plantas DAP \geq 2.5 cm (Gentry, 1995).....	45
Tabla 6. Comparación de la diversidad florística entre bosques para muestreos de .1 ha ...	46
Tabla 7. Estratificación por altura para el bosque denso	47
Tabla 8. Estratificación por altura para el bosque abierto.....	47
Tabla 9. División por clases diamétricas para el bosque denso	52
Tabla 10. División por clases diamétricas para el bosque abierto	52
Tabla 11. Especies con mayor Densidad relativa para cada bosque	53
Tabla 12. Especies con mayor frecuencia relativa para cada bosque	53
Tabla 13. Especies con Dominancia relativa para cada bosque.....	54
Tabla 14. Especies con mayor IVI para cada bosque.....	54
Tabla 15. Familias con mayor IVF para cada bosque	55
Tabla 16. Índices de similitud calculados	55
Tabla 17. Áreas totales y porcentaje de área ocupada de cada tipo de cobertura para las temporalidades 1989-2000.....	57
Tabla 18. Cambio multitemporal de las coberturas ocurrido en la zona de estudio correspondiente al análisis semidetallado con imágenes satelitales periodo 1989-2000.	60
Tabla 19. Prueba Chi-cuadrado aplicada a las coberturas correspondientes al análisis semidetallado con imágenes satelitales para las temporalidades 1989-2000.....	60
Tabla 20. Áreas totales y porcentaje de área ocupada de cada tipo de cobertura para los años 1983 y 2007	64
Tabla 21. Cambio multitemporal de las coberturas ocurrido en la zona de estudio correspondiente al análisis con fotogrametría para la temporalidad 1983 2007.....	67
Tabla 22. Prueba Chi-cuadrado aplicada a las coberturas encontradas en el análisis fotogramétrico.	67
Tabla 23. Índices de fragmentación calculados a partir del procesamiento de imágenes satelitales LANDSAT en el año 1989.....	70
Tabla 24. Índices de fragmentación calculados a partir del procesamiento de imágenes satelitales LANDSAT en el año 2000.....	70
Tabla 25. Índices de fragmentación Coberturas Vegetales identificadas a partir de procesamiento fotogramétrico en el año 1983.	75
Tabla 26. Índices de fragmentación Comunidades Vegetales identificadas a partir de procesamiento fotogramétrico en el año 2007.	76
Tabla 27. Matriz de FEARO para la Extracción de bosque.....	86
Tabla 28. Matriz de FEARO para la expansión de fronteras agropecuarias.....	89

LISTA DE FIGURAS

	Pag
Figura 1. Localización de la cuenca del río Palacé y ventanas de estudio.....	29
Figura 2. Georreferenciación de imágenes satelitales, asignación de puntos de control.	34
Figura 3. Clasificación de imágenes satelitales.....	35
Figura 4. Digitalización de las coberturas (izquierda) y su posterior representación en forma de polígonos (derecha).	37
Figura 5. Mapa conceptual sobre la metodología planteada para el desarrollo de esta investigación	41
Figura 6. Comparación de riqueza florística entre los bosques denso y abierto	42
Figura 7. Familias mejor representadas por número de especies en el bosque denso y bosque abierto	43
Figura 8. Familias con mayor número de individuos en el bosque denso (Anillo interior) y Bosque abierto.....	44
Figura 9. Curva de acumulación de especies	45
Figura 10. Distribución de los individuos con $DAP \geq 1$ cm, en rangos de alturas para los.	47
Figura 11. Estructura vertical y proyección horizontal en el bosque denso. (Individuos $DAP \geq 5$)	49
Figura 12. Estructura vertical y proyección horizontal en el bosque abierto. (Individuos $DAP \geq 5$)	50
Figura 13. Áreas totales correspondientes a cada clase de cobertura estudiada para el año correspondiente.	57
Figura 14. Mapa de Coberturas identificadas para el año 1989 en la parte media de la cuenca Palacé a partir de imágenes Landsat TM	58
Figura 15. Mapa de Coberturas identificadas para el año 2000 en la parte media de la cuenca Palacé a partir de imágenes Landsat TM	59
Figura 16. Dinámica de cambio en las coberturas identificadas para el análisis semidetallado (Imágenes satelitales) periodo 1989-2000 parte media de la cuenca Palacé. (Las circunferencias resaltan los mayores cambios en las coberturas).....	63
Figura 17. Áreas totales correspondientes a cada clase de cobertura estudiada para el año correspondiente.	64
Figura 18. Mapa de coberturas vegetales a partir del análisis detallado para el año 1983 ..	65
Figura 19. Mapa de coberturas vegetales a partir del análisis detallado para el año 2007 ..	66
Figura 20. Dinámica de cambio detallado sobre las coberturas vegetales en la vereda Palacé (Fotogrametría), según el tipo de transformación espacial (Ver definición pag.60) donde T1=Tipo 1, T2=Tipo 2, T3=Tipo 3, T4= Tipo 4, T5= Tipo 5.....	69
Figura 21. Índice NP para el periodo 1989-2000 analizando imágenes Landsat TM.....	71
Figura 22. Índice LPI para el periodo 1989-2000 analizando imágenes Landsat TM.....	72
Figura 23. Índice LSI para el periodo 1989-2000 analizando imágenes Landsat TM.....	72
Figura 24 Índice AREA_MN para el periodo 1989-2000 analizando imágenes Landsat TM	73

Figura 25. Índice PROX_MN para el periodo 1989-2000 analizando imágenes Landsat TM	74
Figura 26. Índice NP para el periodo 1983-2007 analizando fotografías aéreas.	76
Figura 27. Índice LPI para el periodo 1983-2007 analizando fotografías aéreas.	77
Figura 28. Índice LSI para el periodo 1983-2007 analizando fotografías aéreas	78
Figura 29. Índice Area_MN para el periodo 1983-2007 analizando fotografías aéreas	79
Figura 30. Índice PROX_MN para el periodo 1983-2007 analizando fotografías aéreas ...	79
Figura 31. Tipos de transformación espacial y fragmentación de hábitat.....	81
Figura 32. Extracción de bosque.....	84
Figura 33. Leña - quemas para producción de carbón	85
Figura 34. Tala selectiva	85
Figura 35. Actividades productivas desarrolladas en la zona. a) Cultivo de Maiz b) Cultivo de Fique c) Ganadería	88

ANEXOS

	Pag
Anexo 1. Listado general de la flora censada en un área de 0.1 ha del Bosque denso	102
Anexo 2. Listado general de la flora censada en un área de 0.1 ha del Bosque abierto	104
Anexo 3. Parámetros estructurales calculados por especie (Bosque denso).....	105
Anexo 4. Parámetros estructurales calculados por especie (Bosque abierto)	106
Anexo 5. Parámetros estructurales calculados por familia (Bosque denso)	107
Anexo 6 . Parámetros estructurales calculados por familia (Bosque abierto).....	108

RESUMEN

La fragmentación de los ecosistemas, se caracteriza por la división de un continuo de bosque en parches de menor tamaño aislados unos de otros, se presenta como resultado de las presiones ejercidas sobre el medio, producto del desarrollo de actividades agropecuarias, colonización, construcción de infraestructura, entre otras. La fragmentación de los ecosistemas tiene efecto sobre las condiciones medioambientales, arreglos espaciales de las coberturas vegetales y el funcionamiento de los mismos, ocasionando alteraciones en la estructura de las comunidades de plantas y/o animales, afectando la abundancia y riqueza de especies, así como los intercambios y procesos de inmigración.

Considerando lo anterior y las dinámicas de intervención en áreas de interés ambiental, como las cuencas abastecedoras, cercanas al municipio de Popayán, el presente estudio se realizó en la parte media de la cuenca del río Palacé, ubicada entre los municipios de Popayán y Totoró. El análisis se abordó en dos niveles de detalle, el primero a nivel semidetallado correspondiente al procesamiento digital de imágenes satelitales comprendiendo la parte media de la cuenca para obtener una visión general del proceso de fragmentación y el segundo a nivel detallado en una ventana contenida en la zona referida, vereda Palacé (Totoró), analizada con técnicas fotogramétricas, en donde se evaluaron además de la fragmentación los cambios manifiestos en la estructura y composición florística de dos parches de bosque con diferentes grados de intervención antrópica. Por medio de recorridos de campo y la aplicación de matrices de evaluación de impacto ambiental se identificó el tipo y grado de intervención antrópica sobre las coberturas boscosas de la zona, principalmente de actividades como la extracción de bosque y la expansión de fronteras agropecuarias.

Según los datos obtenidos, en el área de estudio existe un proceso de fragmentación sobre los bosques, con cambios visibles en las cercanías de centros poblados y vías de acceso, con efectos en la estructura de la vegetación y modificación en la similitud florística de las comunidades vegetales de la zona.

INTRODUCCIÓN

La fragmentación, es la pérdida de continuidad en los ecosistemas (Bustamante *et al.*, 2005), causa pérdidas de bosque original, reducción del tamaño de los fragmentos y aislamiento; se presenta como una consecuencia de las presiones antrópicas ejercidas sobre el medio, principalmente por la deforestación, expansión de la frontera agropecuaria y la colonización.

La fragmentación modifica las condiciones medioambientales de los fragmentos y el funcionamiento de los ecosistemas, alterando el régimen hidrológico, el ciclo de los elementos minerales, el microclima y las propiedades de los suelos (Forman, 1995), con efectos sobre la abundancia en las especies y las interacciones biológicas; en conclusión la fragmentación altera el estado normal de la biodiversidad en los bosques (Bustamante y Grez, 1995).

Por tal razón, desde hace algunos años se han incrementado los estudios de fragmentación basados en los principios de la Ecología del Paisaje y en la utilización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG); dichos estudios, relacionados con la dinámica de cambio de los ecosistemas, han permitido obtener información que apoya algunos programas de manejo y conservación de los recursos naturales.

En el Cauca se han realizado estudios del proceso de fragmentación en algunas zonas de interés para la conservación, como son: la laguna de San Rafael, el corredor biológico Munchique-Pinche y la parte media de la cuenca del río Palacé; estos estudios se han desarrollado haciendo el análisis espacio-temporal del proceso de fragmentación de sus coberturas vegetales, aplicando los índices de cambio y de fragmentación, determinando, en cierta medida, el grado de fragmentación y la alteración que estas coberturas han sufrido.

El presente estudio se realizó en la parte media de la cuenca del río Palacé, cuya extensión total es de 65.000 Ha (EOT Totoró 2002), de las cuales un alto porcentaje de bosques se encuentran modificados, producto de las diferentes intervenciones antrópicas propias de la zona. Estudios precedentes confirman que en la parte media de esta cuenca (Veredas clarete y las Guacas – Municipio de Popayán) existen pérdidas de área en las coberturas boscosas, causando modificaciones en la riqueza de especies vegetales (Alvear, 2006).

Por lo tanto, el presente proyecto estudia el proceso de fragmentación sobre las coberturas vegetales de la parte media de la cuenca del río Palacé, por medio de un estudio espacio-temporal detallando una ventana de análisis en la vereda Palacé (Municipio de Totoró), identificando la causa y el tipo de intervención antrópica causante del cambio en las coberturas boscosas en la zona en las diferentes temporalidades.

Además se realizó una caracterización y comparación de la vegetación presente en dos parches de bosque.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia los ecosistemas andinos poseen coberturas fragmentadas y discontinuas (IDEAM, sf), las unidades remanentes de este sistema se caracterizan por albergar gran diversidad florística y son consideradas áreas relictuales naturales con alto riesgo de desaparecer, debido a las fuertes presiones de origen antrópico principalmente por la acción de actividades relacionadas con la deforestación, la ampliación de la frontera agrícola y pecuaria. Por lo tanto, se hace necesario el desarrollo de investigaciones que generen información pertinente que permita delinear estrategias que coadyuven en la recuperación de estas zonas, atendiendo las recientes políticas y programas de conservación nacional y regional.

En algunos de los ecosistemas andinos localizados en la cuenca Palacé se han realizado estudios sobre el proceso de fragmentación que confirman que los cambios constantes de uso de suelo, son los factores que determinan la alteración de las zonas boscosas, con pérdidas de área y con modificaciones en la riqueza de especies vegetales (Alvear, 2006).

Para analizar el proceso de fragmentación de este ecosistema el enfoque a emplear desde la ecología del paisaje permite el abordaje en dos niveles de detalle, diferentes pero complementarios, es así como el estudio de las dinámicas del paisaje a nivel semidetallado de la cuenca media del río Palacé (Paisaje Regional-Ecosistema) permitirá contextualizar el proceso incorporando al estudio los factores que intervienen en la modificación del ecosistema, tales como las diferentes actividades antrópicas desarrolladas en la zona, principalmente la explotación forestal y la adecuación de zonas para la agricultura y la ganadería, que han modificado los bosques, afectando los arreglos locales del territorio (veredas). Sin embargo el conocimiento del proceso de fragmentación demanda información con un mayor nivel de detalle (Ecosistema-comunidad) para comprender las alteraciones en los parches relictuales en cuanto su composición y diversidad (estructura y función), para tal fin se seleccionó una ventana ubicada en la vereda Palacé, municipio de Totoró.

Considerando que en la parte media de la cuenca del Río Palacé se esta presentando una reducción de las coberturas boscosas, y probablemente procesos de fragmentación de estas comunidades vegetales, producto de las actividades antrópicas propias de la localidad, el problema de investigación que se debe abordar esta en conocer de que forma se presenta los procesos de fragmentación en el área de estudio y como las actividades humanas que allí se dan están incidiendo sobre las coberturas existentes y de que manera alteran o modifican la estructura y composición florística de las mismas.

Por ello se plantea la siguiente pregunta como base de este trabajo de investigación:

¿Cuáles han sido las dinámicas espacio-temporales del proceso de fragmentación en la cuenca media del río Palacé , y cómo en la vereda Palacé (municipio de Totoró) este proceso se relaciona con las diferentes actividades antrópicas, considerando la composición florística actual de las coberturas boscosas presentes en los parches de interés?

2. JUSTIFICACIÓN

La creciente intervención humana en los paisajes naturales, ha ido fragmentando y reduciendo las coberturas boscosas a pequeños fragmentos aislados unos de otros, quedando inmersos en una matriz de vegetación distinta, que altera las condiciones ambientales y el funcionamiento de los ecosistemas, modificando la estructura de las comunidades de plantas y animales, afectando la abundancia y riqueza de especies, así como los intercambios y los procesos de inmigración (Mas y Sandoval, 2000). También puede afectar las interacciones bióticas, tales como predación, parasitismo, competición, (Murcia, 1995), Polinización (Aizen *et al.*, 2002, Aguilar *et al.*, 2006) y dispersión de semillas (Belisle *et al.*, 2001).

En Colombia, los efectos de la intervención humana se han visto reflejados en la región de los Andes, que ha estado sujeta a altos niveles de concentración de población y de intensivas actividades productivas, situaciones que han contribuido a que los bosques naturales se hayan reducido a pequeños fragmentos quedando menos del 10% de los bosques originales (Henderson *et al.*, 1991), siendo los últimos bosques Andinos existentes en Colombia.

La parte media de la cuenca del río Palacé, área que contiene porciones de bosques andinos, se caracteriza por la reducción en sus coberturas boscosas, producto de las diferentes intervenciones antrópicas propias de la zona, entre las que sobresalen la ganadería extensiva, la adecuación de suelos y de infraestructura que de seguirse desarrollando potenciarán el proceso de fragmentación (Alvear, 2006). Además, estas intervenciones podrían causar alteraciones en el recurso hídrico del río Palacé de importancia, debido a que es la fuente abastecedora del nuevo acueducto de la zona norte del municipio de Popayán y las veredas noroccidentales (Ministerio del Medio Ambiente. Corporación Autónoma Regional del Cauca 1998).

Por esta razón es necesario conocer el estado de fragmentación de las coberturas boscosas en la parte media de la cuenca, buscando cuantificar los cambios en el área, forma, tamaño y conectividad de los parches, identificando al tiempo con mayor detalle, el tipo y grado de intervención humana sobre los bosques presentes en la Vereda Palacé (Totoró). Además, el generar información de forma fiable sobre esta cuenca permitirá establecer bases para crear nuevos proyectos de estudio que permitan profundizar sobre los diferentes procesos que afectan la dinámica de este ecosistema y también establecer posibles teorías que describan el estado actual de los bosques naturales en la zona.

Basados en los resultados que se obtienen de los estudios en la zona, se pueden desarrollar programas de ordenamiento y gestión ambiental, que de acuerdo con el contexto de la zona, permitan su recuperación y protección.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Estudiar el proceso de fragmentación de las coberturas boscosas de la cuenca media del río Palacé, considerando su dinámica espacial y temporal, con dos niveles de detalle.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar las tasas de cambio y fragmentación de las coberturas boscosas de la parte media de la cuenca del río Palacé en dos niveles de detalle.
- ✓ Estudiar la estructura y composición florística de dos parches de bosque en un área seleccionada en el mosaico de interés.
- ✓ Realizar una descripción del tipo y grado de intervención antrópica realizada sobre las coberturas vegetales de la ventana de estudio.

4. HIPÓTESIS

La fragmentación implica la división de ecosistemas naturales en pequeños parches como resultado de las actividades humanas, tales como el desarrollo de la agricultura, la construcción de vías y el establecimiento de áreas urbanas. La fragmentación ocurre junto con la pérdida del área ocupada por las comunidades vegetales e implica cambios en la composición, forma y configuración de los parches resultantes (Rutledge, 2003).

Por lo tanto se plantea que **Dependiendo de la localidad y los diferentes usos del suelo, las intervenciones antrópicas están generando procesos de fragmentación en el área de estudio manifiestos en la estructura y composición florística de puntos de muestreo con grados de intervención diferente.**

5. ANTECEDENTES

La Ecología del Paisaje desde su implementación alrededor de los años 80, ha permitido el estudio de las relaciones entre el patrón espacial y los procesos ecológicos, que se manifiestan a escala del paisaje. Es por esto que algunos estudios se dedican a cuantificar el patrón de cambio del paisaje a partir de la utilización de programas de análisis espacial (Turner, 1990); así como también, la evaluación comparativa empleando descriptores del patrón del paisaje y cobertura de la tierra, para explicar como se relacionan con los niveles de variación de alteración antrópica y la estructura de las comunidades bióticas (Miller *et al.*, 1997).

Etter (2001) implementa el estudio de la teoría Ecológica del paisaje para la aproximación sistémica a los diferentes niveles en los que se expresan los patrones de heterogeneidad espacial y sus componentes, resaltando la importancia de la visión de conjunto.

Es a partir del concepto de la Ecología del Paisaje que se ha venido abordando el estudio de fragmentación, lo que ha permitido un mejor entendimiento del proceso y sus implicaciones en los ecosistemas.

Saunders (1991) define a la fragmentación como un proceso en el que un hábitat natural, es reducido a pequeños fragmentos, implicando la reducción de poblaciones, intercambios y procesos de inmigración. En la mayoría de estudios se ha observado una disminución en la abundancia y la riqueza de especies tanto para plantas como animales en los parches de bosque en comparación con los bosques continuos (Mas 2000, Duran 1995, Lovejoy 1986, Laurance *et al.*, 2000, Torres, 2004, Kattan *et al.*, 1994, Gascon *et al.*, 1999, entre otros). Afectando las interacciones biológicas tales como mutualismo, competencia (Bustamante y Grez 1995), polinización (Aizen *et al.*, 2002, Aguilar *et al.*, 2006) y depredación de semillas (Chacoff *et al.*, 2004).

Estudios han demostrado que el impacto de la fragmentación de los hábitats sobre la abundancia y riqueza de ciertas especies depende del tamaño y el grado de aislamiento de los parches de vegetación (Estrada y Coates 1994; Pereira y Cavalcanti, 2007, llegándose a afirmar que los parches de mayor superficie presentan la mayor diversidad de especies (Duran, 1995).

Otros estudios sobre las dinámicas de fragmentación en los bosques, mostraron que los efectos de borde son los principales causantes de cambios en la comunidades de árboles, afectando su estructura (Ferreira y Laurance, 1997; Laurance *et al.*, 1998) y favoreciendo el establecimiento de especies exóticas (Laurance, 2001).

Existen diferentes revisiones bibliográficas sobre los efectos, consecuencias y medidas de la fragmentación, Farhig (2003) analiza la forma en que diferentes autores miden la fragmentación a escala de parche ó paisaje, considerando que algunos no diferencian el

concepto entre pérdida y fragmentación del hábitat, lo que hace difícil la interpretación y comparación de resultados. Saunders (1991) estudia las consecuencias biológicas de la fragmentación sobre los ecosistemas y Rulletge (2003) examina los índices del paisaje y su utilidad en el reflejo de los efectos de la fragmentación.

Desde hace algunos años se llevan a cabo numerosas investigaciones y proyectos sobre el tema de fragmentación y uso de las tierras en países como Brasil, Perú, México, Chile y Colombia.

Laurance *et al.* (2002), sintetizaron los resultados de estudios hechos en la Amazonía a lo largo de 20 años en el proyecto dinámicas biológicas de fragmentación del bosque, han demostrado que los efectos de borde tienen un papel clave en la dinámica de los fragmentos, que la matriz tiene una influencia mayor sobre la conectividad y el funcionamiento de los fragmentos y que muchas especies del amazonas evitan las áreas taladas.

En Chile, existen diferentes grupos especializados en el estudio de las consecuencias de la fragmentación en diferentes ecosistemas, y con diferentes grupos de animales y plantas, analizando diferentes procesos ecológicos tales como herbivoría, consumo de semillas, consumo de huevos de aves o descomposición de hojarasca y fecas. Entre los grupos se destaca Audrey Grez (Universidad de Chile) que estudia experimentalmente cómo la fragmentación de agroecosistemas afecta las dinámicas poblacionales de insectos herbívoros y sus depredadores

A través de la aplicación de la percepción remota y las tecnologías SIG se ha estudiado el proceso de fragmentación, facilitando la interpretación y el análisis espacio-temporal de un paisaje, así mismo con la aplicación de diferentes índices y métricas se cuantifica el proceso de fragmentación. Trabajos como los de Zerda *et al.* (1998) en las regiones chaqueñas de Argentina, cuantifican con índices estructurales simples los cambios en la cobertura, Mendoza *et al.* (2005) cuantifican el proceso de fragmentación de la selva de Tuxlas, en el sudoeste de México; Mas y Sandoval (2002) analizaron los patrones de fragmentación del paisaje en el área protegida de los Petenes, Campeche, México por medio de la aplicación de índices, al igual que Matteucci (2005) y Williams *et al.* (2002), entre otros.

En Colombia se han realizado estudios sobre el proceso de fragmentación, destacándose instituciones como el Instituto Alexander von Humboldt con el diseño de un Sistema de Seguimiento de la Política de Biodiversidad en la Amazonía Colombiana, empleando indicadores de presión-estado-respuesta, dentro de los que se incluye índices de fragmentación de los ecosistemas (IAVH, 2002). El IDEAM (2002) publicó el sistema de información ambiental para Colombia SIAC, en el que se muestra los avances logrados en el país en el sector ambiental, incluye indicadores para cuantificar el estado de los recursos naturales y el medio ambiente en Colombia, algunos indicadores para el cambio

multitemporal del área y la fragmentación de los ecosistemas.

Armenteras *et al.* (2003) estudiaron la fragmentación en los bosques andinos orientales y la evaluación de las áreas naturales protegidas más representativas en el oriente de los andes, por medio de la percepción remota y la aplicación de diferentes índices de fragmentación tales como: número de parches, índice del parche más grande, tamaño medio del parche, distancia al parche más cercano e índice de forma del paisaje.

En la Universidad del Cauca se han efectuado estudios sobre fragmentación en diferentes zonas del departamento del Cauca, Alcazar (2003) utilizó el análisis multitemporal para comparar la diversidad florística de dos fragmentos de bosque subandino en la meseta de Popayán. Martínez (2005) estudio los cambios generados por el proceso de fragmentación sobre las comunidades vegetales en el sector de San Rafael dentro del parque nacional natural de Puracé, el cual ocasionó distribuciones espaciales particulares, variación en el tamaño y composición de los parches de vegetación, concluyendo que en la zona se presenta alteración de las comunidades vegetales producto de la transformación del hombre.

Alvear (2006) realizó un estudio en la parte media de la cuenca del río Palacé (Veredas clarete y las Guacas – municipio de Popayán), a partir de sensores remotos analizó los cambios espaciales y temporales que determinan el proceso de fragmentación que sufren las comunidades vegetales, caracterizando la estructura y diversidad florística de los fragmentos, concluyendo que no hay proceso de fragmentación significativo, pero sí alteración en las riqueza florística de los parches de vegetación; empleando la misma metodología Plazas (2008) efectuó el estudio de fragmentación en la subcuenca del río Piedras, en el noreste del municipio de Popayán.

Martínez. *et al.* (2007) estudiaron el proceso fragmentación en la parte sur del corredor biológico Munchique-Pinche, aplicando herramientas SIG para analizar el comportamiento de las coberturas vegetales en espacio y tiempo (1990-2002), aplicando índices de cambio de coberturas y fragmentación, encontrando dinámicas negativas para las coberturas tipo bosques y arbustales.

En la actualidad, desde el Grupo de Estudios Ambientales, se están desarrollando proyectos de grado que aplican metodologías afines a las empleadas en esta investigación, estos trabajos abordan temáticas como efecto de borde, patrones de cambio espacio-temporal y evaluaciones ambientales; cuyos resultados sirven de apoyo para la ejecución del presente proyecto, entre ellos estan: Tandioy (2008) esta efectuando el análisis comparativo de los patrones de cambio naturales y antrópicos en un ecosistema altoandino, ubicado en la parte alta de la cuenca Palacé. Mosquera (2008) esta caracterizando dos zonas de transición a partir del estudio de su cobertura, composición vegetal y condiciones microclimáticas con diferentes niveles de intervención antrópica en el parque nacional natural Puracé. Muñoz (2008) esta evaluando la dinámica espacio-temporal y caracterización de dos humedales altoandinos, en los municipios de Puracé y Totoró.

Muñoz (2007) en su trabajo de grado evalúa las actividades que más impactan los suelos de la parte alta de la cuenca del río Palacé, a partir de la evaluación de la susceptibilidad a la erosión de dos tipos de agroecosistemas.

6. MARCO TEORICO

6.1 ECOLOGÍA DEL PAISAJE

El paisaje se considera como una superficie especialmente heterogénea, representable como un mosaico integrado por un conjunto de unidades homogéneas denominadas parches, las cuales están conformadas por áreas naturales o intervenidas por el hombre, que definen patrones espacio-temporales como resultado de las complejas interacciones entre factores físicos, biológicos, sociales y económicos, y que suponen una relación entre la configuración espacial y los procesos ecológicos (Forman y Gordron, 1986)

La variación espacial de los paisajes, producto de estas relaciones, son estudiadas por la Ecología del paisaje, involucrando el análisis de los elementos, patrones e interacciones que determinan su estructura, función y evolución, a escalas diversas a fin de entender la implicancia o magnitud de estos cambios para los procesos ecológicos (Forman y Godron, 1986; Turner, 1990; Forman, 1995).

Llamamos patrón a la configuración, dentro de un territorio dado, de los diversos fragmentos de relativa homogeneidad interna en cuanto a funciones ecosistémicas o usos de la tierra. La organización espacial de estos fragmentos, esto es, tamaños relativos, tipo de distribución espacial, distancia y conectividad entre ellos, influyen en las tasas y los tipos de procesos biológicos y humanos en el territorio. Asimismo, los tipos y tasas de los procesos ecológicos y, especialmente, los sociales afectan la configuración espacial (Matteucci,s.f)

La implementación de los conceptos de ecología del paisaje y la biología de la conservación conjuntamente con las herramientas de sensores remotos y los sistemas de información geográfica, ofrecen en la actualidad un gran potencial para monitorear y analizar los parámetros del paisaje que pueden ser utilizados como una aproximación del estado de conservación de una región (IavH, 2002).

La ecología del paisaje concibe la aproximación al estudio de la superficie terrestre en función de tres aspectos generales (Etter, 1991):

- ✓ Estructura: estudio de las relaciones y de las configuraciones de los ecosistemas o elementos componentes en cuanto a la composición y distribución de energía, materia, y especies.
- ✓ Función: el estudio de los tipos de interacción entre los factores formadores del paisaje, en cuanto a los tipos, las intensidades y las direcciones de los flujos de energía, materia y especies.
- ✓ Temporalidad: el estudio de los patrones de la dinámica de los cambios de la estructura y el funcionamiento en el tiempo. Cambios cíclicos y unidireccionales.

6.1.1 Niveles de análisis del paisaje. Para el desarrollo de la investigación, los niveles de análisis del paisaje atienden el modelo conceptual de Noss (1990), empleado por el IAVH (2002) para efectuar el Proyecto Diseño e Implementación del Sistema Indicadores de Seguimiento de Política de Biodiversidad en la Amazonia Colombiana; este referente conceptual propone cuatro niveles de organización y resume las jerarquías de estudio del paisaje por atributos primarios tales como, composición, estructura, función y cambio.

Tabla 1. Indicadores del paisaje de acuerdo a los atributos del ecosistema.

NIVEL	COMPOSICIÓN	ESTRUCTURA	FUNCIÓN	CAMBIO
Paisaje Regional-Ecosistema (semidetallado)	Tipos y extensión del ecosistema.	Conectividad, heterogeneidad, fragmentación, yuxtaposición, patrón de distribución del hábitat.	Dispersión, procesos de perturbación, tendencias de uso de la tierra.	Imágenes de sensores remotos, SIG e índices de paisaje.
Ecosistema-Comunidad (detallado)	Identidad, abundancia relativa, frecuencia y diversidad de especies.	Variables del sustrato, pendiente y fisonomía de la vegetación.	Biomasa, productividad, de recursos, tasa de herbivoría, dinámica de fragmentos.	Fotografías aéreas, inventarios de recursos, censos e inventarios biológicos.
Especie-Población	Abundancia, frecuencia, densidad, IVI y biomasa.	Dispersión, estructura de la población, variables de hábitat.	Procesos demográficos, dinámica metapoblacional y fisiología y fenología.	Censos, índices de adecuación de hábitat y modelos de especie-hábitat.
Genético	Diversidad de alelos, variantes cariotípicas.	Censo y tamaño efectivo de la población, heterogeneidad.	Tasa de cruces entre subespecies, tasa de mutación, tasas de deriva genética.	Electroforesis, secuencia de hábitat y modelos de especie-hábitat.

Noss (1990).

6.1.2 Elementos del paisaje. Los elementos principales del paisaje son los parches, corredores y matriz, los cuales constituyen la composición del paisaje a cualquier escala (Forman y Gordón, 1986).

El modelo “matriz-parche-corredor” controla fuertemente todos los movimientos, flujos y cambios de los sistemas naturales y de la población.

La matriz es el área predominante del paisaje, comprende la forma de los parches y su extensión, su número, la dinámica interna y la conexión que existe entre ellos; las características de la matriz varían en función del grado y uso antrópico que se haga sobre ella. La matriz puede incrementar la funcionalidad de los fragmentos al actuar como área de amortiguación, además de aportar conectividad al paisaje y entre los fragmentos (Mugica et al., s.f)

Un parche es un área homogénea que se diferencia de sus alrededores (Forman 1995); puede clasificarse por su tamaño, forma, contenido, duración, complejidad estructural y propiedades de borde.

Los parches se pueden clasificar según Etter (1991) de la siguiente manera. a) *Parches de perturbación*; resultan de la perturbación de un área pequeña, pueden ser de origen natural o antrópico. b) *Parches remanentes*; originados por una perturbación extensa, que forma islas, su magnitud es severa, y puede crear la extinción de especies. c) *Parches de recursos ambientales*; se dan por diferencias en las condiciones del sustrato en cuanto al material parental o a la hidrología. Se caracteriza por bordes abruptos o graduales, entre mayor es el cambio de parche a matriz mayor es el movimiento de especies. d) *Parches introducidos*, originados por actividades humanas como la introducción de especies animales o vegetales durante las actividades agropecuarias o de urbanización, detienen el proceso de sucesión natural.

Los **corredores** se identifican generalmente como tiras que ayudan en flujos entre los parches (Lindenmayer., 1994). Facilitan la conectividad entre el paisaje, favoreciendo la preservación de la diversidad biótica en ecosistemas muy fragmentados. Los corredores desempeñan un número importante de funciones, incluyendo la dispersión.

6.2 ESTUDIO DE VEGETACIÓN

Los ecólogos paisajistas utilizan la vegetación para monitorear y detectar cambios en el paisaje debido a que es uno de los componentes bióticos más conspicuos y variables en los geosistemas, y por lo tanto, una de las más susceptible a ser alterada (Bastian y Bernhardt, 1993). La extrema vulnerabilidad del mundo vegetal, por lo tanto, es una variable de importancia al momento del estudio de los cambios en el paisaje que permite estimar la intensidad y extensión de los efectos antrópicos en el medio ambiente a la vez que sirve como fuente de información para la elaboración de planes de gestión del territorio y a la mitigación y/o reparación de los efectos del hombre sobre el ambiente (Grez y Salazar, 2005).

Una comunidad vegetal es una unidad sociológica de cualquier rango que posee una composición (aspecto florístico) y una estructura (aspecto morfológico), características que resultan de las interacciones que se presentan a través del tiempo. Es un complejo de especies vegetales compuesto de elementos ecológica y fenológicamente diferentes, que pese a su dinamismo, forman un sistema persistente que describe, desde el punto de vista botánico las relaciones físico-geográficas y la historia de la región (Ramírez, 1995).

Una de las características de la comunidad vegetal es su fisonomía, la cual es un producto de la apariencia externa (arquitectura y estructura y de las formas de vida predominantes (biotipos), contribuyendo en parte a los patrones de agrupamiento y de ocurrencia de las formas de vida y en menor grado rasgos morfológicos como el tamaño foliar (Ramírez, 1995).

También podría hablarse del estudio de la estructura ó arquitectura comunitaria, que esta definida por el ordenamiento en sentido vertical y horizontal de sus componentes, en sentido vertical, la estratificación refleja mejor este aspecto; mientras en sentido horizontal, aparecen la densidad, el área basal y la cobertura.

6.3 FRAGMENTACIÓN

La fragmentación se puede definir como la transformación de un bosque continuo en muchas unidades más pequeñas y aisladas entre sí, cuya extensión agregada de superficie resulta ser mucho menor que la del bosque original (Bustamante y Grez, 1995), también puede ser entendida como un proceso dinámico por el cual un determinado hábitat, va quedando reducido a fragmentos o islas de menor tamaño, más o menos conectadas entre sí en una matriz de hábitats diferentes al original, conlleva unos efectos espaciales que pueden resumirse en tres (Forman, 1995):

- ✓ *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.

Como consecuencia de los anteriores efectos, la supervivencia de los organismos se ve afectada en tres sentidos (Santos *et al.*, 2002, Hanski, 1998):

- ✓ Pérdida neta en el tamaño de las poblaciones.
- ✓ Aumento en la relación perímetro-superficie, lo que aumenta la permeabilidad de los fragmentos a los efectos de los hábitats periféricos.
- ✓ Se dificulta el intercambio de individuos, que se asocian en muchas ocasiones a la progresiva desaparición de las especies acantonadas en los fragmentos. Este fenómeno provoca que sólo las especies más resistentes o generalitas logren mantenerse, mientras las más sensibles quedan relegadas a los fragmentos de mayor tamaño.

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).

Las variables que permiten describir un paisaje fragmentado son: el tamaño y número de los fragmentos, su forma, el tipo de matriz o ambiente que rodea a los fragmentos y la distancia entre ellos. La distancia y el tipo de matriz determinarán el grado de aislamiento entre fragmentos.

6.4 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

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 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 surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información, para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato.¹

6.4.1 Componentes de un SIG2

Hardware: los SIG corren en un amplio rango de tipos de computadoras desde equipos centralizados hasta configuraciones individuales o de red, una organización 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
- ✓ Herramientas para soporte de consultas, análisis y visualización de datos geográficos

Información: Probablemente la parte más importante de un sistema de información geográfico son sus datos. Los datos geográficos y tabulares pueden ser adquiridos por quien implementa el sistema de información, así como por terceros que ya los tienen disponibles. El sistema de información geográfico integra los datos espaciales con otros recursos de datos y puede incluso utilizar los manejadores de base de datos más comunes para manejar la información geográfica.

¹ Tomado de INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT. Unidad de Sistemas de Información Geográfica, UNISIG. Los Sistemas de Información Geográfica. Disponible en: <http://www.humboldt.org.co/sig/index.html>

² Ibid.p.17

Personal: las tecnologías SIG son de valor limitado si no se cuenta con los especialistas en manejar el sistema y desarrollar planes de implementación del mismo. Sin el personal experto en su desarrollo, la información se desactualiza y se maneja erróneamente, el hardware y el software no se manipula en todo su potencial.

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 prácticas operativas exclusivas en cada organización.

6.4.2 Aplicación de los SIG. La utilidad principal de un Sistema de Información Geográfica radica en su capacidad para construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales y para utilizar esos modelos en la simulación de los efectos que un proceso de la naturaleza o una acción antrópica produce sobre un determinado escenario en una época específica. La construcción de modelos constituye un instrumento muy eficaz para analizar las tendencias y determinar los factores que las influyen así como para evaluar las posibles consecuencias de las decisiones de planificación sobre los recursos existentes en el área de interés.³

En otras palabras, a través de estas herramientas es posible generar mapas temáticos que permitan estudiar la dinámica espacio-temporal de un paisaje como una forma de entender las causales de la inestabilidad del paisaje provocada por disturbios sucesivos y generar conocimientos bases para un mayor y mejor ordenamiento del territorio (Chuvieco, 2002). Además, es posible el análisis de la heterogeneidad espacial a diferentes escalas y el cálculo de los índices de paisaje (McGarigal y Marks, 1995).

6.5 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Existen diferentes metodologías para la identificación de impactos ambientales causados por las diferentes actividades propias de cada zona, entre ellas las matrices de interacción. La Matriz de FEARO, consiste en una matriz de interacción para la identificación de impactos ambientales, en ella se relaciona una lista de actividades con las áreas en donde pueden haber impactos; además determina la deficiencia de información y prevé las áreas en las que se presentarán impactos; además es de apoyo en el momento de proponer medidas de mitigación de los efectos adversos. Los criterios utilizados por FEARO para evaluar las características del impacto ambiental son: magnitud, durabilidad, plazo y frecuencia, riesgo, importancia y mitigación (soluciones disponibles o factibles en caso de impactos negativos). Para el diligenciamiento de esta matriz se hace necesario el trabajo en campo que permita identificar las actividades, su ubicación, interacción social, entre otras, mediante observación directa.

³ GARCIA, Juan. Introducción al Sistema de Información Geográfico. PROTEC: Estudio y proyectos de ingeniería. 2005. Disponible en <http://www.proteccproyectos.com/Documents/sig.pdf>

7. AREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Palacé está ubicada en la parte central y nororiental del departamento del Cauca. Comprende los municipios de: Totoró, Cajibío y Popayán y cubre una área total de de 65.000 ha . Está conformada por 6 afluentes: río Cofre, río Blanco, río Molino, quebrada Chamizal, río Guangubio y río Minchicao.

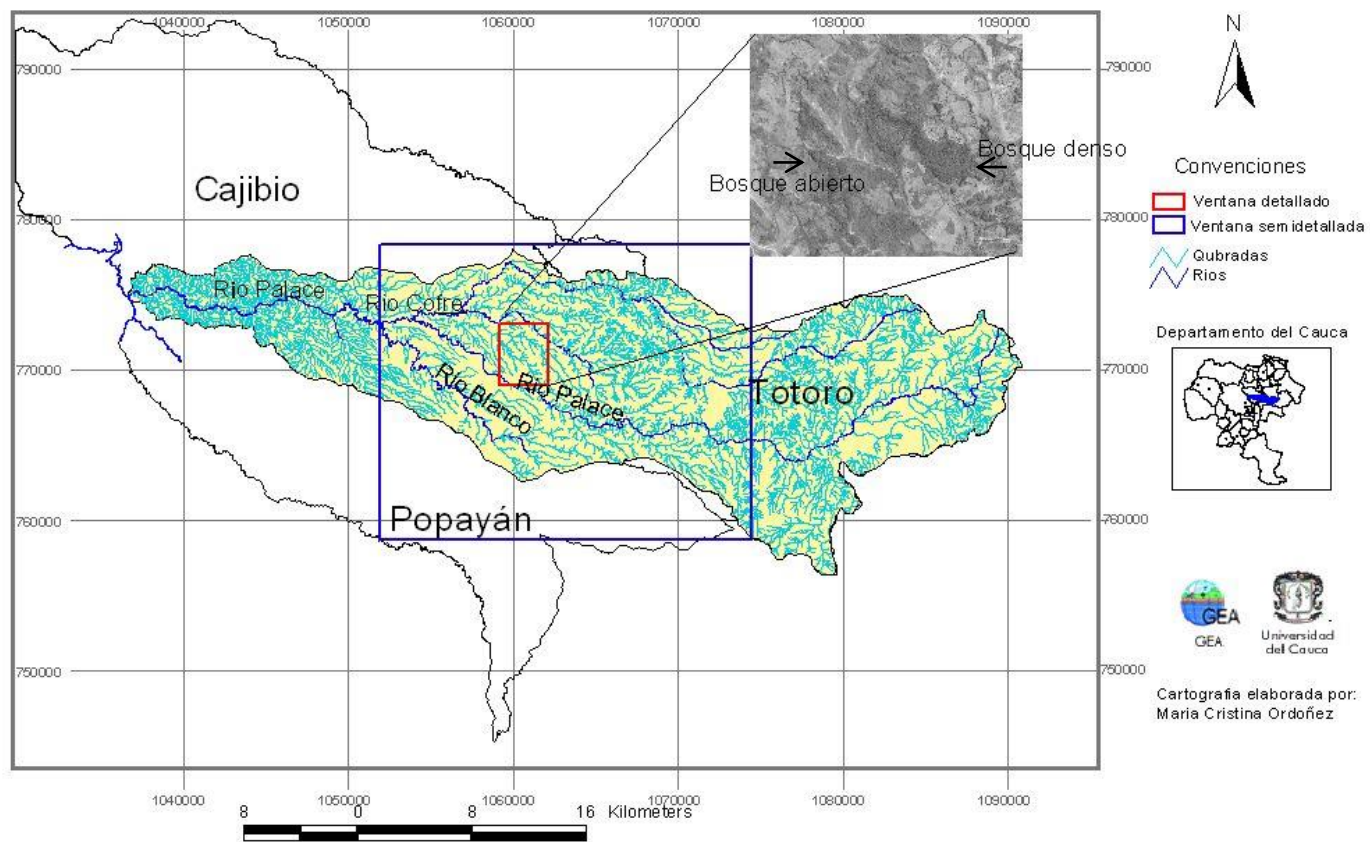
El estudio se realizo bajos dos niveles de analisis, el primero a nivel semidetallado en la parte media de la cuenca del río Palacé (paisaje regional-ecosistema) correspondiente al Procesamiento Digital de Imagenes (PDI), esta ubicada entre los municipios de Popayán, Totoró y Cajibío, su ubicación geográfica es: coordenadas máximas N: 779.410– W: 1.78.064 y mínimas N: 758.747 – W: 1.051.902 y con una area aproximada de 51.538 ha se encuentra a una altura entre 1800 - 3000m.s.n.m. se estudio el cambio de área y la fragmentación de las coberturas.

El segundo análisis a nivel detallado (ecosistema-comunidad) correspondiente al analisis de fotogrametria, vegetacion e indices de cambio y fragmentación. La ventana de estudio esta contenida en la parte media de la cuenca Palacé, vereda Palacé, Municipio de Totoró a 5 Km. del Municipio de Popayán, está delimitada entre los ríos Cofre y Palacé, su ubicación geográfica es: coordenadas máximas N: 773.744 – W: 1.063.817 y mínimas N: 769.495 – W: 1.060.401, con una extension de 1.219,2 ha y una altura entre 1800-2000 m.s.n.m. haciendo parte de la selva subandina según Cuatrecasas (1986)⁴, tiene una temperatura que oscila entre los 16 a 23° C, y una precipitación entre los 1000 a 3000 mm anuales.

⁴ En: Perez-Arbelaezia. Vol. 2, No. 8 (ene. – dic. 1989): p. 155-283.

Figura 1. Localización de la cuenca del río Palacé y ventanas de estudio.

Localización de la cuenca del río Palacé y ventanas de estudio



8. METODOLOGIA

8.1 ESTUDIO DE LA VEGETACIÓN.

El estudio de la vegetación se realizó en dos fragmentos de bosque con diferentes grados de intervención antrópica en la vereda Palacé, fueron identificados como bosque abierto y denso, según la consulta de fotografías aéreas y previas salidas de campo, para así posteriormente poder comparar los cambios espaciales ocurridos en estas coberturas y los efectos manifiestos en la estructura y composición florística de mismos. A los dos parches se les aplicó la siguiente metodología.

8.1.1 Muestreo para plantas leñosas. Para el estudio se utilizó la modificación hecha por el Instituto Alexander von Humboldt de la metodología propuesta por A. Gentry (1982), diseñada para determinar la composición de las especies de plantas leñosas y suministrar información sobre la estructura de la vegetación. Consiste en censar, en una unidad de 0.1 ha, todos los individuos cuyo tallo tenga a una altura de 1.30 m aproximadamente un diámetro de 1 cm. (DAP). En campo se mide el CAP (circunferencia a la altura del pecho), se estima la altura de total de la planta, se registra el hábito de crecimiento y todas las características que permitan reconocerlas posteriormente. Para realizar la metodología se divide la unidad en 10 transectos de 50 x 2 m, evitando que se intercepten, distanciados uno del otro como mínimo cada 20 m y concentrados en un solo tipo de hábitat (Villareal H. et al., 2004).

8.1.2 Perfil de la vegetación. El perfil de vegetación es el esquema de una franja de bosque que pretende ilustrar el número de estratos, su altura y su cobertura. Se tomó como referencia el transecto cinco (5) empleado en la metodología de muestreo de plantas leñosas. Se realizó un esquema gráfico de la ubicación de los árboles presentes (DAP > 5 cm). En el sitio de levantamiento, tomando como base un área rectangular representativa de 25 m de largo x 5 m de ancho. Se efectuarán mediciones de altura total, altura de fuste, DAP y ancho de copa de los árboles presentes; dichos valores se consignaron en una ficha de campo; adicionalmente se tomaron muestras de los individuos encontrados para su identificación (Ramírez, 1995).

8.1.3 Tratamiento e identificación del material vegetal. Se realizaron varias salidas de campo, en las cuales se colectaron tres muestras de cada individuo, se prensaron en papel periódico el cual fue respectivamente marcado con el nombre del colector, número del transecto, número del individuo en el transecto y número de colección. Luego se hicieron paquetes con los periódicos, amarrados con cuerda y estos se preservaron en alcohol al 70%, para mantenerlos en buen estado, se tomaron la mayoría de datos posibles como: localidad, fecha, número de colección, familia, género, hábito de crecimiento, color de flores y frutos si están presentes, exudados, látex, nombre común ó vernáculo.

A continuación las plantas se llevaron al herbario de la Universidad del Cauca (CAUP) el cual se encuentra en Popayán, Colombia, lugar donde se desecarán los ejemplares en horno a una temperatura de 80 °C, durante 24 horas. Para determinar las muestras se emplearon claves taxonómicas para separar familias y géneros; para determinar especies se compararon con los ejemplares depositados en el herbario CAUP.

8.1.4 Análisis de datos. Posteriormente en el programa Microsoft Excel® se creó la base de datos, insumo necesario para la ordenación, procesamiento y análisis de los mismos, se calcularon los siguientes datos:

Abundancia. Se habla de abundancia cuando el número de individuos de una comunidad no se cuenta sino que se estima. Se acostumbra a estimar los datos de Abundancia a partir de los datos de densidad obtenidos para una área muestral (Ramírez, 1995).

Densidad (D). Equivale al número promedio de individuos (N) por unidad de área establecida (Ramírez, 1995).

$$D = N/A$$

Densidad relativa. Es el porcentaje con que una especie aporta al número total de individuos de todas las especies de la muestra (Ramírez, 1995).

$$D_r = (D_i / \sum D_i) \cdot 100$$

Frecuencia. Se refiere a la uniformidad o regularidad con que las plantas de una especie se distribuyen dentro de la comunidad; se expresa como el porcentaje de unidades muestrales en las que al menos una planta de la especie se halla presente (Ramírez, 1995).

$$F = (P/T) \cdot 100$$

P = N° de parcelas donde esta presente la especie.

T = N° total de parcelas

La frecuencia es una medida no absoluta, ya que su resultado depende del tamaño y de la forma de la muestra, de la densidad y del patrón de dispersión de la especie.

Frecuencia Relativa: la frecuencia relativa corresponde a la frecuencia de una especie referida a la frecuencia total de todas las especies (Ramírez, 1995).

$$F_r = (F_i / \sum F_i) \cdot 100$$

Dominancia. Es el grado de predominio o prevalencia de los individuos de una especie, que compiten por recursos limitados para suplir las necesidades vitales; determinada por el

numero de individuos y su masividad. La dominancia se expresa usualmente como cobertura.

$$D_o = \frac{\sum AB}{n} \cdot D \cdot 100$$

La dominancia para una especie (D_o) se obtiene sumando las áreas basales (AB) de sus individuos sobre el número de los mismos presentes en la muestra, multiplicando por la densidad (D) y por 100 (Ramírez, 1995).

Dominancia relativa. Establece comparación entre la dominancia de cada una de las especies con respecto a la dominancia de las demás especies (Ramírez, 1995).

$$D_r = \frac{D_o}{\sum D_o} \cdot 100$$

Índice de Valor de importancia. Se refiere a la contribución relativa de una especie a la comunidad en general. Equivale a la suma de la densidad relativa, la frecuencia relativa y la dominancia relativa de una especie. El valor varía entre 0 y 300 (Ramírez, 1995).

$$IVDI = D_r + F_r + D_o$$

Índice de Valor Importancia para Familias: es una mezcla de expresiones de diversidad y parámetros fisonómicos, estimativo de dominancia de una familia con respecto a la totalidad de familias encontradas en el muestreo de plantas leñosas (Rangel, 1997).

$$IVDF = \frac{D_r \cdot R}{R} + \frac{D_o \cdot R}{R}$$

Donde, Diversidad relativa (DiR) = especies por familia / No. total de especies * 100.

Similitud entre comunidades. La composición florística de una comunidad se puede comparar con otra mediante la evaluación de las semejanzas o diferencias que se presentan entre sus partes homologas. Esta comparación permite establecer la similitud existente entre las áreas muestreadas y la heterogeneidad ambiental de los asentamientos (Ramírez, 1995).

La similitud puede ser evaluada desde el punto de vista cualitativo, considerando únicamente el número de especies existentes, su presencia o ausencia en las áreas a comparar.

Coeficientes de Sorensen:

$$C_s = \frac{2c}{a+b} 100$$

a = Número de especies en la comunidad o muestra 1.

b = Número de especie en la comunidad o muestra 2.

c = Número de especie en la comunidad o muestra 3.

Similitud evaluada a nivel cuantitativo, toma en cuenta la abundancia o el número de individuos de cada especie en las áreas que se compararan.

Índice de similitud de Morisita-Horn

$$I_{M-H} = \frac{2 \sum 2(a_i b_i)}{(d_a + d_b) a N b N}$$

a_i = número de individuos de la *i*-ésima especie en el sitio A

b_i = número de individuos de la *i*-ésima especie en el sitio B

$$d_a = \sum a_i^2 / a N^2$$

$$d_b = \sum b_i^2 / b N^2$$

aN = número total de individuos en el sitio A

bN = número total de individuos en el sitio B

8.2 ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN

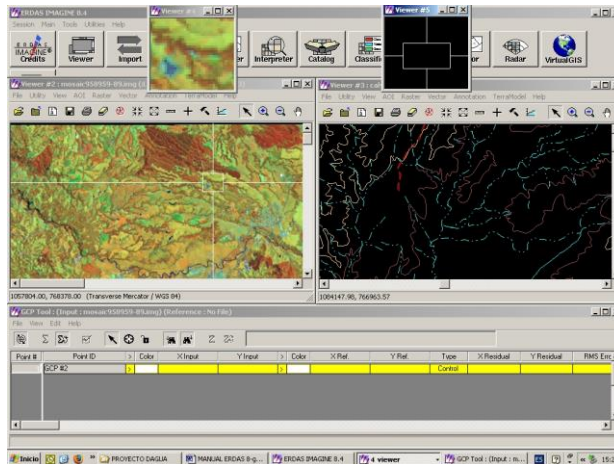
8.2.1 Procesamiento digital de imágenes (PDI).

Para identificar los cambios en la coberturas vegetales en el área de estudio se hizo uso de las imágenes satelitales Landsat TM correspondientes a los años 1989 y 2000 (figura 2), estas fueron suministradas por el Grupo de estudios ambientales - GEA de la Universidad del Cauca. La composición elegida para interpretar el uso y cobertura vegetal son las bandas 4,5 y 3 que corresponden al rojo, verde y azul respectivamente. Se escogió esta combinación por que permite mayor distinción entre las coberturas vegetales; las bandas 4 y 5 que están en el infrarrojo muestran más información de la vegetación, la banda 4 del infrarrojo cercano hace que se diferencie el agua de la tierra y la banda 3 que se encuentra dentro del espectro visible se usa para realizar estudios de uso del suelo y para obtener mayor información sobre áreas construidas (IGAC, 2005).

A las imágenes de satélite se le aplicaron algunas operaciones utilizando el software ERDAS IMAGINE 8.4 para realizar las características de cobertura y uso del suelo en el área de interés. Inicialmente se realiza la georreferenciación de la imagen, de forma posterior se clasifica para generar los productos cartográficos iniciales de coberturas, este proceso se expone a continuación:

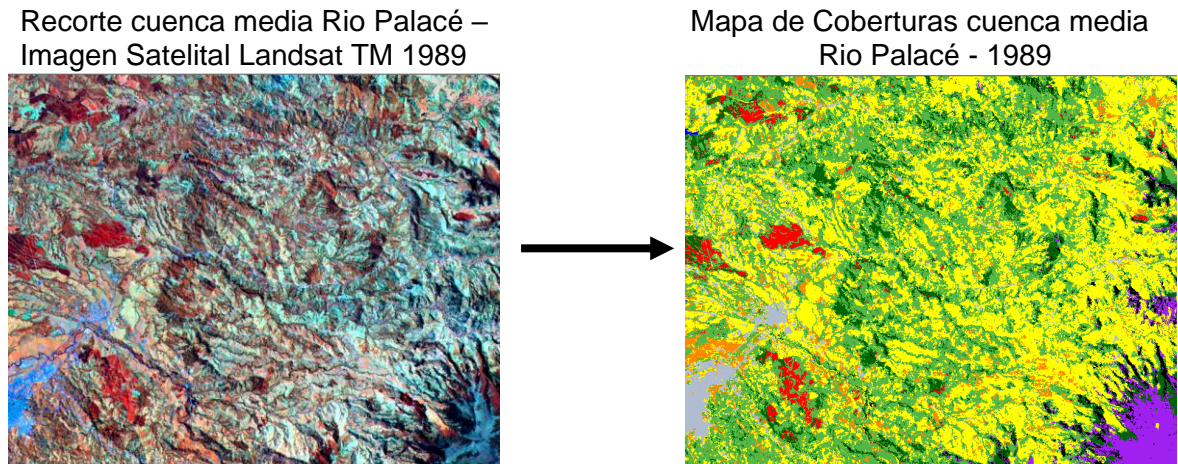
- a) **Georreferenciación de Imágenes:** Este proceso se realiza con el fin de asignar un sistema de coordenadas a la escena de trabajo, para ello se generaron puntos de control, a partir de cartografía base ó imágenes ya georreferenciadas, que permiten incorporar coordenadas planas en las dos imágenes (Figura 3).

Figura 2. Georreferenciación de imágenes satelitales, asignación de puntos de control.



- b) **Clasificación de imágenes satelitales:** Partiendo de la composición de bandas 4,5 y 3 se identifican las coberturas presentes en la escena como actividad previa a la clasificación; las técnicas de clasificación pueden ser divididas en clasificación supervisada (por píxel) y clasificación no supervisada (por regiones). En el presente estudio se llevo a cabo una clasificación supervisada, en donde se escogen áreas de muestreo atendiendo las características visuales de las diferentes coberturas (color), cada una es muestreada en áreas núcleo evitando la mixtura con píxeles de tonalidades diferentes, de esta forma se le indica al programa un rango de albedo considerando su firma espectral. Con esta información el sistema clasifica la escena en función de la información consignada en cada píxel de la misma. Ver figura 4.

Figura 3. Clasificación de imágenes satelitales.



Atendiendo el nivel semidetallado, se identifican los tipos de coberturas teniendo en cuenta características como el tono y la uniformidad, la definición de las coberturas consideró lo planteado en trabajos realizados por la CRC (2002), el IAvH (2002) y en el Grupo de Estudios Ambientales por Martínez (2005) y Joaquín (2005). Los tipos de cobertura son: Bosque natural, Páramo, Bosque plantado, Cultivo, Pasto y Zona urbana.

8.2.2 Procesamiento Fotogramétrico. Este procedimiento se empleó para generar mapas de coberturas con un nivel detallado, como insumos se emplearon aerofotografías y una imagen satelital de alta resolución (Tabla 2). Inicialmente se delimitó el área de estudio en la parte media de la cuenca del río Palacé, correspondiendo a la vereda Palacé, Municipio de Totoró. La ventana de trabajo definida tiene un área aproximada de 1218,22 ha.

Tabla 2. Insumos utilizados para el procesamiento Fotogramétrico

Fotografía aérea	1:27000	IGAC	Vuelo C2089 (1983)
Imagen QuickBird	1:10000	Digital Globe	Marzo, 20 de 2007 Lat/long 2.50177° 76.50527° Cloud cover 6% Target azimuth 28°
Imagen de satélital		WWF - UAESPNN	Landsat TM escena 958 del año 1999, georeferenciada.

Se escanean las fotografías por mitades a una resolución de 600 dpi y se almacenan como archivos BMP de 8 bit, 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 y se almacenaron como archivos IMA. Luego cada archivo fue exportado al formato TIF utilizando el software ERDAS IMAGINE 8.4 se convierte el formato TIF a archivos IMG para uso en este programa. Luego se procedió a georreferenciar la fotografía utilizando el sistema de coordenadas planas de origen Buenaventura, con proyección Transversa de Mercator. Para realizar la Georreferenciación se dispuso de la imagen satelital Lansat TM escena 958 de 1999.

A continuación de este proceso la fotografía fue importada al software ILWIS 3.1.⁵ sobre la foto se creó una mapa de segmentos a partir del cual se digitalizaron las coberturas teniendo en cuenta su uniformidad, y también considerando las observaciones realizadas en campo (Tabla 3), la definición de las coberturas consideró lo planteado en los documentos y cartografía y del EOT del municipio de Totoró (2002). Luego se originó un mapa de polígonos donde se representaron las coberturas presentes en la zona de estudio (Figura 5).

La digitalización de coberturas para el año 2007 se realizó empleando la plataforma Google Earth version 4.3⁶; como insumo para el procesamiento se utilizó la escena QuickBird (imagen detallada) del área de estudio disponible en la base de datos de la plataforma. Para la clasificación de coberturas se atienden los mismos criterios utilizados en la fotografía aérea, las coberturas digitalizadas se guardaron en formato KMZ y posteriormente se trabajaron en el programa Global Mapper 8, en donde se realizó la poligonización de las coberturas y se exportaron a archivos SHP; el proceso que sigue es el mismo realizado para las fotografías aéreas.

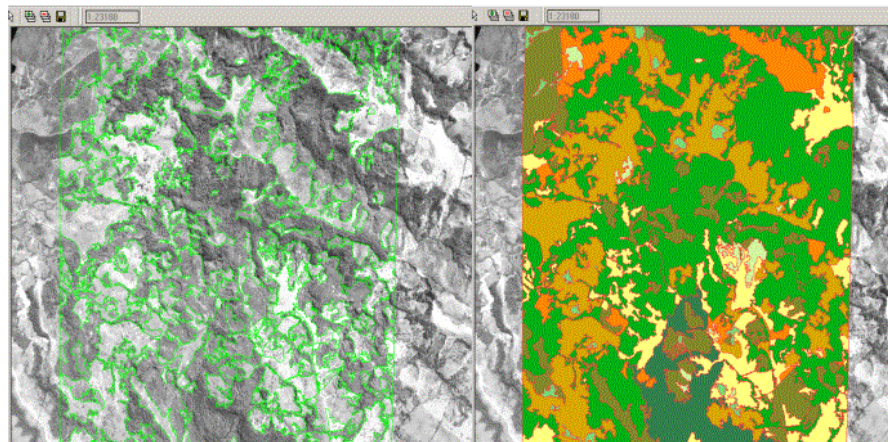
⁵ ILWIS: Sistema de Información Integral de Tierra y Agua. Es un SIG útil para realizar procesamiento digital de imágenes, análisis espacial y preparación de mapas; desarrollado por el Instituto Internacional de Estudios Aeroespaciales y Ciencias de la Tierra (ITC) de Enschede, Holanda.

⁶ Programa gratuito accesible a través de Internet el cual dispone de una base de imágenes raster (imágenes satelitales) para procesamiento digital.

Tabla 3. Coberturas definidas en el presente estudio.

<i>Cobertura</i>	<i>Descripción</i>
Bosque denso	Lo conforman especies de tipo arbóreo, se presenta entrelazamiento de sus copas y considerable crecimiento en espesor.
Bosque abierto	Se diferencia del anterior por presentar estrato herbáceo y vegetación arbustiva se evidencian actividades antrópicas.
Relicto de bosque	Los bosques relictos son aquellos que quedan como vestigio de algún tipo de flora que alguna vez hubo en la zona y que en el presente sólo está dicha muestra de vegetación de lo que en el pasado fue, se encuentran aislados de otras unidades de bosque.
Matorral	Vegetal leñoso entre 1-3 metros de altura, sin tronco preponderante, que se ramifica a partir de la base, presenta estrato herbáceo.
Pasto con Rastrojo	Vegetación herbácea o leñosa que nace por regeneración natural, con algunos arbustos.
Rastrojo	Vegetación herbácea o leñosa que nace por regeneración natural.
Pasto	Comunidades de tipo graminoide naturales o plantadas
Cultivo	Son aquellos elementos inherentes a las actividades culturales que el hombre realiza en el campo en busca de alimento y abrigo.

Figura 4. Digitalización de las coberturas (izquierda) y su posterior representación en forma de polígonos (derecha).



A continuación de este proceso es la exportación del mapa de polígonos a archivos SHP, los que se visualizan en el programa ArcView GIS 3.2⁷, programa que permite la creación de mapas temáticos, donde se pueden obtener datos como áreas totales y parciales de las coberturas de interés, con los que es posible cuantificar los cambios de áreas.

⁷ Software desarrollado por el Environmental Systems Research Institute, Inc. 1999.

8.3 ANÁLISIS DE CAMBIO EN LAS COBERTURAS VEGETALES

Para el análisis del cambio de las coberturas se utilizó el indicador de cambio multitemporal del área (IDEAM, 2002) el que estima los cambios en área (perdida o ganancia), ocurridos en un grupo de coberturas vegetales, en un período determinado. Este indicador señala la expresión territorial de las presiones naturales y antrópicas que inciden en el tamaño de las coberturas vegetales, como soporte para la toma de decisiones en general, para la formulación de políticas o para llevar a cabo programas, proyectos que promuevan estudios y análisis más detallados para el uso, la restauración y conservación de la biodiversidad, las aguas, los suelos y la atmósfera.

El cambio en las áreas de cada una de las coberturas analizadas corresponde a la diferencia entre las áreas del año inicial de referencia y del año final. La proporción de cambio se calcula como el porcentaje del área de cambio con respecto al área inicial. El cambio medio anual se estima como promedio aritmético simple.

$$\Delta A = A_2 - A_1$$

Porcentaje de cambio: $(A_2 - A_1) / A_1 * 100$

Cambio medio anual: $(A_2 - A_1) / T_2 - T_1$

Donde:

ΔA = cambio en la superficie de la cobertura de los ecosistemas analizados

A_1 = superficie total de la cobertura analizada para el año inicial

A_2 = superficie total de la cobertura analizada para el año final de observación

T_1 = tiempo inicial

T_2 = tiempo final

8.4 ESTUDIO DE FRAGMENTACIÓN SOBRE LAS COBERTURAS VEGETALES

Para realizar el cálculo de los índices de fragmentación es necesario originar archivos raster a partir del archivo SHP mediante la creación de grillas. La información se presenta en celdas a las que se les asigna un tamaño determinado⁸. De esta forma se procedió a realizar el cálculo de los índices de fragmentación en el software FRAGSTATS versión 3.3⁹ y se calcularon los siguientes índices de fragmentación a nivel de clases:

8.4.1 Indicadores de fragmentación de los ecosistemas. Los índices que se calcularon, definen la fragmentación del paisaje caracterizando cada parche (tamaño, forma, aislamiento) y la totalidad del paisaje (proporción y arreglo espacial de los elementos que lo componen).

⁸ En este proyecto se utilizó un tamaño de celda de 5 m. para las fotografías aéreas y un tamaño de 4 m para las imágenes satelitales.

⁹ Op. cit.

1. Numero de fragmentos de un ecosistema (NP). Equivale al número de parches de un ecosistema presente.

- $NP = n$ $n = \text{Numero de parches } j \text{ de un ecosistema}$

2. 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.

- $PROXIM = \frac{\sum_{s=1}^n a_{ij}^2}{h_{ij}}$ $h_{ij} = \text{distancia}(m) \text{ entre parches}$
 $a_{ij} = \text{área } (m^2) \text{ del parche.}$

3. Índice del parche mayor (LPI). Porcentaje de área de paisaje ocupada por el parche más grande.

- $LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A} (100)$ $a_{ij} = \text{área } (m^2) \text{ del parche } ij$
 $A = \text{área total del tipo de clase ó fragmento considerado.}$

4. Índice de forma del paisaje (LSI): da idea de la irregularidad de las formas de los parches.

- $LSI = \frac{e_i}{\min e_i}$ $e_i = \text{longitud total del borde (perímetro) de un tipo de parche ó clase.}$
 $\min e_i = \text{longitud mínima del borde}$

5. Significancia del área del parche (Area_MN): 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.

$$MN = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n_1}$$

8.5 IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES ANTRÓPICAS Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS.

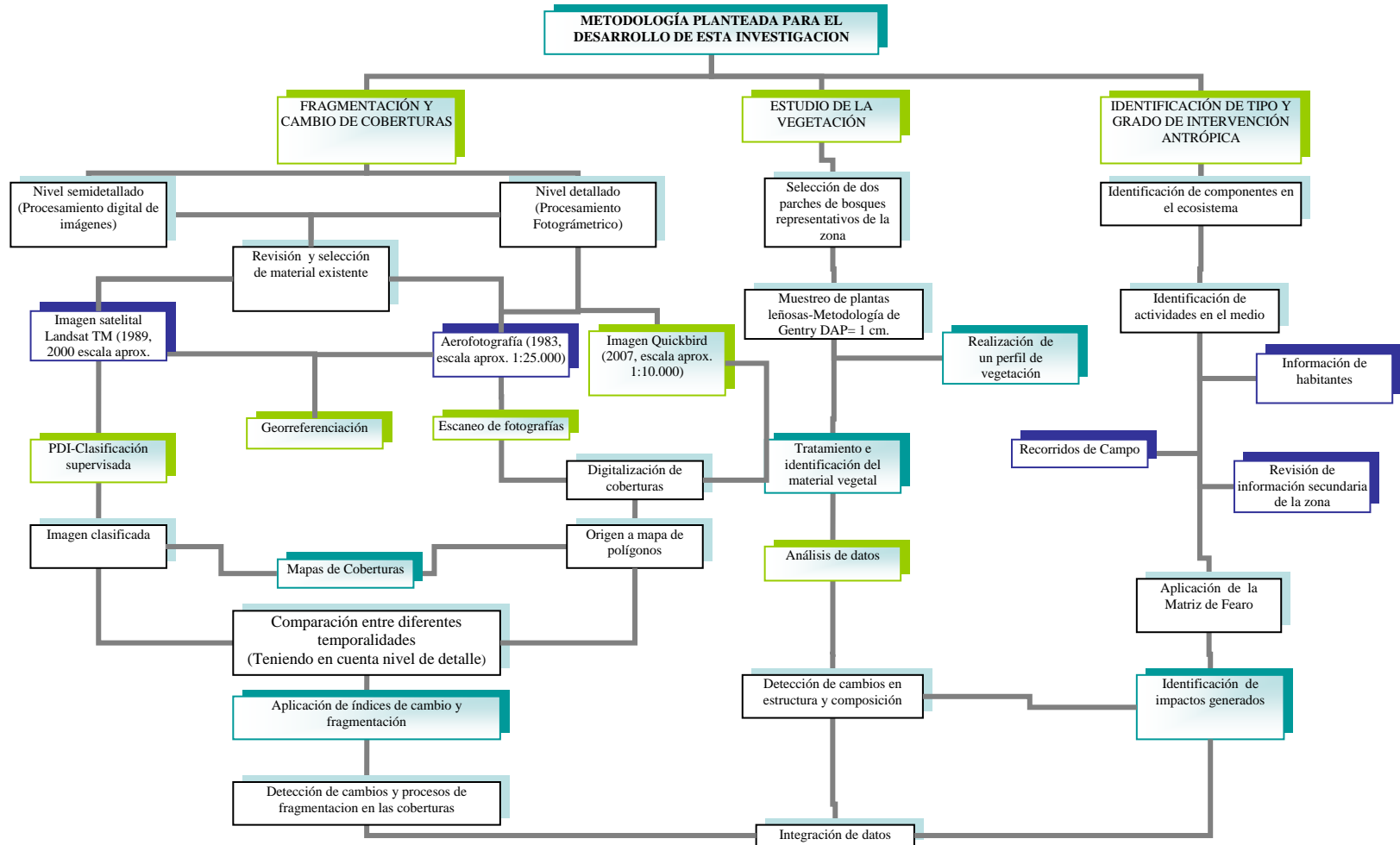
La identificación de las actividades antrópicas en la zona de estudio se realizó mediante recorridos de campo, así como también se consultó el plan de ordenamiento territorial para el municipio que comprende la zona de estudio.

La evaluación general de impactos de las actividades antrópicas se realiza mediante el método de Matriz de FEARO que permite tener una visión integrada de los efectos de las acciones propuestas sobre los componentes biofísicos, socioeconómicos y culturales de la zona a estudiar.

Las matrices de interacción han sido utilizadas para la identificación de impactos ambientales, son conocidas como de doble entrada, funcionan como control bidimensional, disponiendo a lo largo de sus ejes verticales y horizontales las acciones de implantación del proyecto y los factores ambientales que podrían ser afectados, lo cual permite asignarles en las cuadrículas correspondientes las interacciones o posibles impactos de cada acción sobre los componentes por ellos modificados. Los criterios utilizados por FEARO para evaluar las características del impacto ambiental son: magnitud, durabilidad, plazo y frecuencia, riesgo, importancia y mitigación (soluciones disponibles o factibles en caso de impactos negativos)¹⁰

¹⁰ FIGUEROA., *et al.* 1998.

Figura 5. Mapa conceptual sobre la metodología planteada para el desarrollo de esta investigación



9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados, atendiendo a los componentes definidos, en consonancia con los objetivos planteados y la metodología.

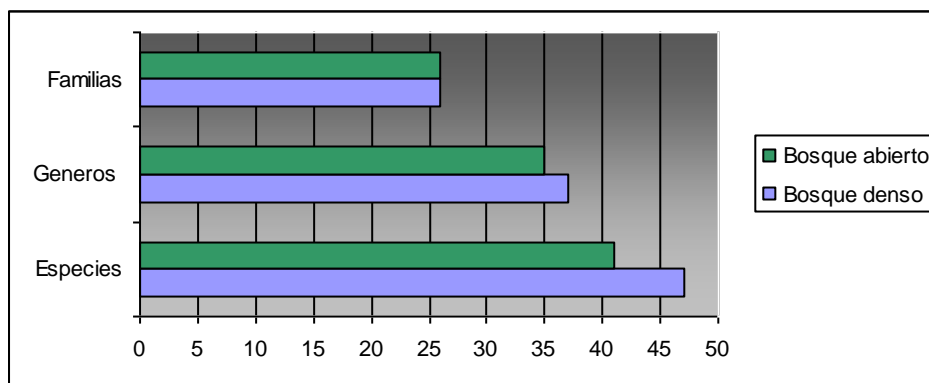
9.1 ANÁLISIS DE LA VEGETACIÓN

El muestreo de vegetación se realizó en dos parches de bosque representativos del área estudiada, los llamaremos bosque denso y bosque abierto según la identificación realizada en el procesamiento fotogramétrico (nivel detallado) y los recorridos de campo.

Plantas leñosas - Riqueza y composición florística

En el muestreo de plantas leñosas se registraron 1081 individuos agrupados en 26 familias, 37 géneros y 47 especies en el bosque denso (Anexo 1); y 771 individuos dentro de 26 familias, 35 géneros y 41 especies en el bosque abierto (Anexo 2).

Figura 6. Comparación de riqueza florística entre los bosques denso y abierto

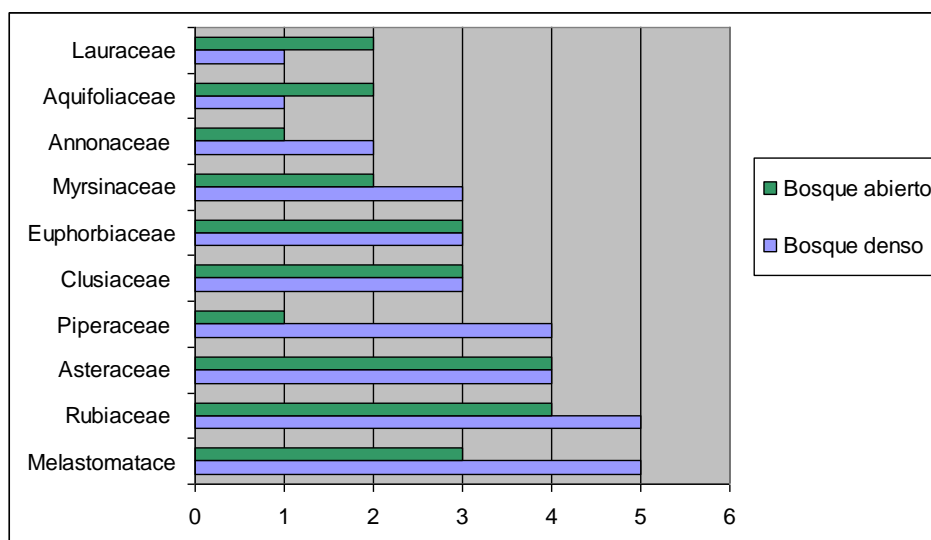


Podemos observar que el bosque denso y el bosque abierto tienen datos aproximados en el número de familias, géneros y especies. En donde el 34 % de total de las familias está representado por una única especie (anexo 1 y 2).

En el bosque denso las familias más ricas en especies son Melastomataceae y Rubiaceae (5 especies); seguidas por Asteraceae y Piperaceae cada una con 4 especies. Clusiaceae, Euphorbiaceae y Myrsinaceae presentaron 3 especies.

Las familias con mayor riqueza de especies para el bosque abierto son Asteraceae y Rubiaceae (4 especies). En seguida están Clusiaceae, Euphorbiaceae y Melastomataceae cada una con 3 especies.

Figura 7. Familias mejor representadas por número de especies en el bosque denso y bosque abierto



Estos resultados muestran que los bosques estudiados contienen las familias más representativas de los bosques Andinos entre 1700-2000 metros de altura (Gentry, 1995); como son la familia Lauraceae, Melastomataceae y Rubiaceae.

A pesar de que Lauraceae se considera como la familia de plantas leñosas mas rica en especies en casi todos los bosques andinos (Gentry, 1995), los datos registrados en este estudio indican su presencia, mas no su diversidad.

Fagaceae no es una de las familias mas diversas, pero su especie *Quercus humboldtii* es la más destacada en cada uno de los parches de bosque, al ser la especie de mayor IVI, como lo muestran resultados posteriores, ya que posee la mayor densidad relativa, frecuencia relativa y cobertura relativa.

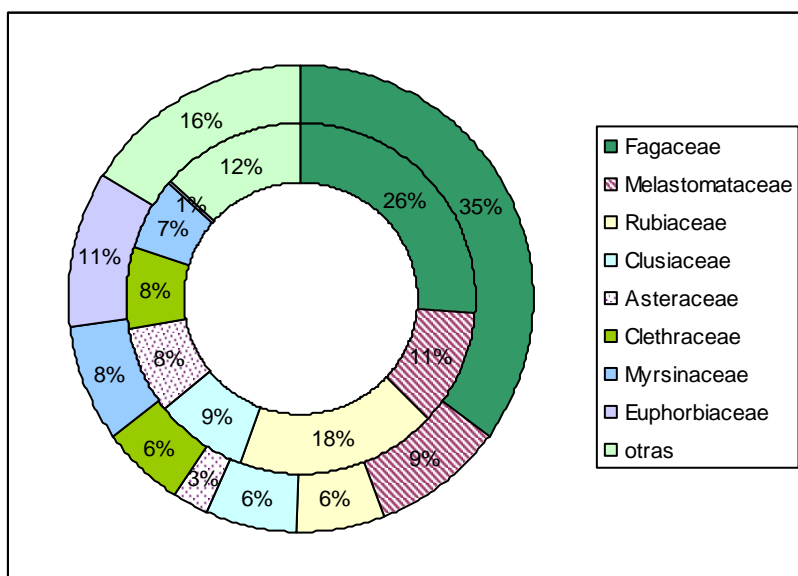
Las familias más predominantes en muestras de 0.1 ha para plantas con DAP ≥ 2.5 cm para los parches de bosque estudiados, es menor que el número de familias presentadas por Gentry (1992), al igual que el promedio de especies encontrado por familias (Tabla 4)

Tabla 4. Familias más prevalecientes en muestras de 0.1 ha, para plantas DAP ≥ 2.5 cm (Gentry, 1992)

<i>Familia</i>	<i>1700 – 2000 m*</i>	<i>Bosque denso**</i>	<i>Bosque abierto**</i>
Lauraceae	11.8	1	2
Rubiaceae	10.3	5	4
Melastomataceae	7.8	2	0
Euphorbiaceae	4.8	3	3
Annonaceae	3.2	2	1
Myrtaceae	2.0	1	0
Sapindaceae	3.0	1	1
Myrsinaceae	2.2	3	2
Ericaceae	2.0	1	1
Piperaceae	1.7	4	1
Actinidiaceae	1.3	1	0

*Promedio de familias **Número de especies

Figura 8. Familias con mayor número de individuos en el bosque denso (Anillo interior) y Bosque abierto



La familia con el mayor número de individuos en los dos bosques es Fagaceae con 287 individuos, equivalentes al 26,5% del total de individuos del bosque denso y 270 individuos (35,0%) en el bosque abierto. En un orden de relevancia distinto los dos bosques comparten la mayoría de familias mas abundantes: Rubiaceae (200-18.5%; 47-6.1%), Melastomataceae (114-10.5%; 70-9.1%) y Clusiaceae (94-8.7%; 48-6.2%) entre otras.

Para el bosque denso el género más diverso es *Piper* representado por 4 especies, seguido por el genero *Miconia* representado por 3 especies; mientras que para el bosque abierto *Piper* solo esta representado por un individuo y *Miconia* por 2. El genero *Miconia* es uno de los mas diversos en los bosques estudiados, coincidiendo con los resultados de Gentry para ecosistemas andinos, donde *Miconia* es el tercer genero mas diverso (Gentry, 1995), destacándose por estar asociado a áreas de crecimiento secundario (Giraldo-Cañas, 1995).

El género más abundante para los dos bosques es *Quercus* con una especie. Le siguen para el bosque denso *Palicourea*, *Miconia*, *Clethra*, *Ageratina*, *Myrsine*, *Vismia* y *Viburnum*.

Para el bosque abierto los géneros *Alchornea*, *Myrsine*, *Clethra*, *Palicourea*, *Miconia* y *Vismia* son los más abundantes.

Tabla 5. Géneros más prevalentes en muestras de 0.1 ha, para plantas DAP ≥ 2.5 cm (Gentry, 1995)

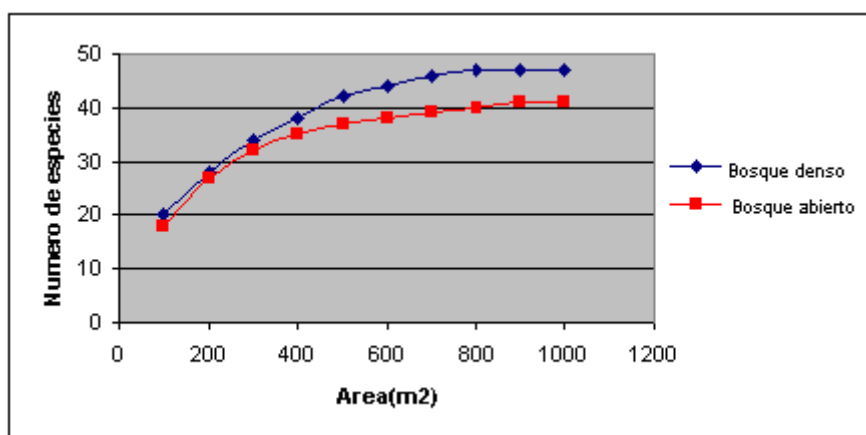
<i>Género</i>	<i>1700-2000*</i>	<i>Bosque denso**</i>	<i>Bosque abierto**</i>
<i>Saurauia</i>	1.3	1	---
<i>Guatteria</i>	1.6	2	1
<i>Ilex</i>	0.3	1	2
<i>Cordia</i>	0.4	1	1
<i>Hedyosmum</i>	0.3	1	1
<i>Weinmannia</i>	0.4	1	---
<i>Alchornea</i>	1.3	1	1
<i>Hyeronima</i>	1.9	1	---
<i>Cyathea</i>	3.3	1	---
<i>Persea</i>	0.7	---	1
<i>Inga</i>	3.1	---	1
<i>Miconia</i>	3.3	3	2
<i>Cecropia</i>	1.1	---	1
<i>Piper</i>	2.1	4	1
<i>Elaeagia</i>	0.6	1	1
<i>Palicourea</i>	1.1	2	2

*Promedio de especies por familia. **Número de especies

Al comparar los géneros registrados en los parches estudiados con aquellos que Gentry agrupa como los más característicos de bosques tropicales entre los 1700 a 2000 m de altura, se encuentra que 16 de los 53 géneros mencionados se hallan en una u otra de las unidades estudiadas. 13 para el bosque denso y 12 para el bosque abierto

En el bosque denso, estos géneros están representados para 4 de los 13 géneros por dos o más especies. En el bosque abierto, 3 de los 12 géneros están representados por 2 especies.

Figura 9. Curva de acumulación de especies



La curva de acumulación de especies-área, para los individuos con DAP ≥ 1 cm., tiende a estabilizarse para el Bosque denso y el Bosque abierto a partir de un área de 800 m².

En la región Subandina extendida desde 1000 a 2400 m. de altitud la vegetación dominante de las tres cordilleras con menor humedad, la constituyen los robledales (dominados por *Quercus humboldtii*), que pueden asociarse a géneros *Hedyosmum*, *Weinmannia* y *Clusia*, para los bosques de roble estudiados se encontró al género *Quercus* asociado a estos géneros, aunque el género *Weinmannia* solo tuvo un registro (bosque denso).

Los datos reportados por Cuatrecasas (1986) para selvas Andinas alrededor de los 2000 m de altura (ecosistemas de selva subandina) coincide con un número importante de géneros obtenidos en este estudio como son: *Miconia*, *Meriania*, *Cinchona*, *Elaeagia*, *Bejaria*, *Alchornea*, *Cecropia*, *Clusia*, *Vismia*, *Cordia*, *Weinmannia*, *Nectandra*, *Quercus*, *Clethra*, *Saurauia*, *Toxicodendron*.

Al comparar la riqueza de especies y el número de individuos hallados en este estudio, con los registrados en otras localidades de similares alturas, se encontró que la riqueza de especies para este estudio se ajusta a los resultados obtenidos en el departamento del Cauca, específicamente con los registros de La Lomita (Alcázar et al 2002), Las Guacas (Alvear, 2006) y Clarete (Alvear, 2006) en donde el número de especies encontradas es aproximado a estos estudios, además se asemejan en que el número de individuos es muy alto respecto del número de especies, particularmente en este estudio donde el número de registros es el más alto, resultado del estado poco maduro de los bosques estudiados.

Tabla 6. Comparación de la diversidad florística entre bosques para muestreos de .1 ha

<i>Localidad</i>	<i>Altitud</i>	<i>No. Especies</i>	<i>No. Individuos</i>
Cauca			
La Lomita, Popayán (Alcázar et al 2002)	1738	42	386
Río Cabuyal, Caldon (Diago 2000)	1750	20	162
La Rejoya, Popayán (Bolaños et al 2002)	1750	29	856
Las Guacas, Popayán (Alcázar C. 2003)	1800-2000	63	322
Las Guacas, Popayán (Alvear, 2006)	1800-2000	42	294
Clarete, Popayán (Alvear, 2006)	1850-2000	40	275
Palacé, Totoró (Bosque denso)*	1900-2000	47	1083
Palacé, Totoró (Bosque abierto)*	1900-2000	41	771
Promedio		40,5	581,6

*Este estudio

Las familias reportadas por Alvear (2006) para las Guacas y Clarete coinciden con muchas de las familias encontradas para este estudio tanto para el bosque denso y abierto, también comparten algunas de las familias más especiosas como son Rubiaceae y Melastomataceae. Además de compartir la especie mayor importancia ecológica *Quercus humboldtii*, especie característica de los bosques de esta zona correspondiente a la parte media de la cuenca del río Palacé.

Estructura de la vegetación.

Estructura vertical. La estratificación de las unidades de bosque subandino estudiadas se determinó de acuerdo a los datos de altura total estimada para cada individuo, distribuyéndolos según clases. Cada clase de altura define un estrato, a continuación se muestran los estratos y los rangos establecidos en esta investigación:

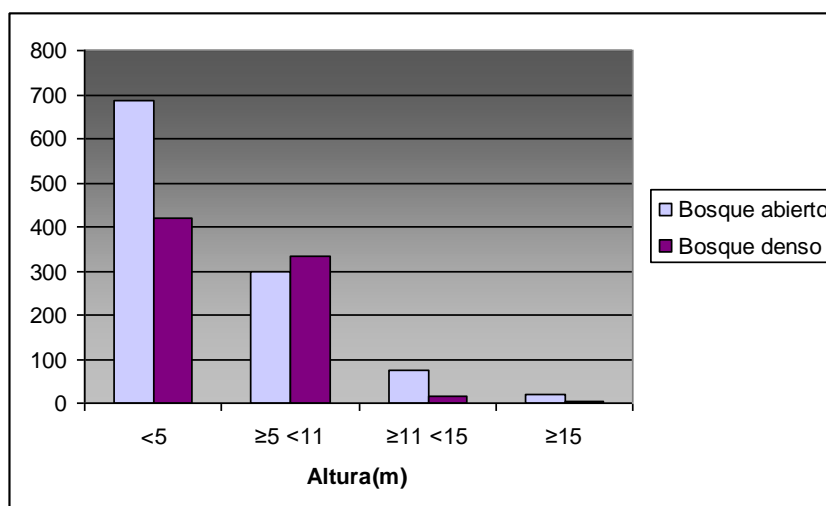
Tabla 7. Estratificación por altura para el bosque denso

<i>Estrato</i>	<i>Rango</i>	<i>Individuos</i>	<i>Especies</i>	<i>Géneros</i>	<i>Familias</i>
Estrato arbustivo	<5	685	39	36	25
Estrato arbóreo inferior	≥5 <11	299	24	21	17
Estrato arbóreo medio	≥11 <15	76	10	10	9
Estrato arbóreo superior	≥15	21	6	6	6

Tabla 8. Estratificación por altura para el bosque abierto

<i>Estrato</i>	<i>Rango</i>	<i>Individuos</i>	<i>Especies</i>	<i>Géneros</i>	<i>Familias</i>
Estrato arbustivo	<5	421	37	34	26
Estrato arbóreo inferior	≥5 <11	333	23	21	18
Estrato arbóreo medio	≥11 <15	14	3	3	3
Estrato arbóreo superior	≥15	3	3	3	3

Figura 10. Distribución de los individuos con DAP ≥ 1 cm, en rangos de alturas para los Bosques denso y abierto.



La altura máxima de los árboles se reportó a los 26 m. correspondiente a la altura de la especie *Myrsine coriacea* registrada en el bosque abierto, para el bosque denso la altura máxima es de 21 m. correspondiente a la especie *Quercus humboldtii*.

En los dos bosques se encuentra el mayor número de individuos en los estratos inferiores: arbustivo y arbóreo medio, al incrementar la estratificación estos bosques tienden a disminuir el número de individuos, esto se debe principalmente a que estos estratos contienen individuos de menor diámetro, mostrando que estos parches pertenecen a estadios tempranos de sucesión, además de caracterizarse por tener la mayor riqueza florística

El bosque denso en comparación con el bosque abierto presenta mayor número de individuos, familias, géneros y especies en todos los estratos, sugiriendo que el bosque denso se encuentra menos intervenido que el bosque abierto, posiblemente por ser un bosque protector de la quebrada Agua Tibia.

En cuanto a las especies propias de cada estrato para el bosque denso y el bosque abierto se ubican en el estrato arbustivo y el estrato arbóreo inferior.

Para el bosque denso en el estrato arbustivo se reportaron las especies *Abarema lehmannii*, *Lepidaploa lehmannii*, *Ardisia* sp1, *Besleria solanoides*, *Guatteria goudotiana*, *Hyeronima oblonga*, *Cordia resinosa*, *Weinmannia pubescens* con un solo individuo; *Acalypha macrostachya*, *Alchornea latifolia*, *Condylopodium cuatrecasii*, *Cyathea divergens*, *Elaeagia myriantha*, *Guatteria* sp1, *Miconia versicolor*, *Piper aequale*, *Piper catripense*, *Piper lacunosum*, *Sauravia scabra* y *Syzygium jambos* representadas por más de dos individuos, el estrato arbóreo inferior con dos especies *Meriania splendens* y *Saurauia scabra*.

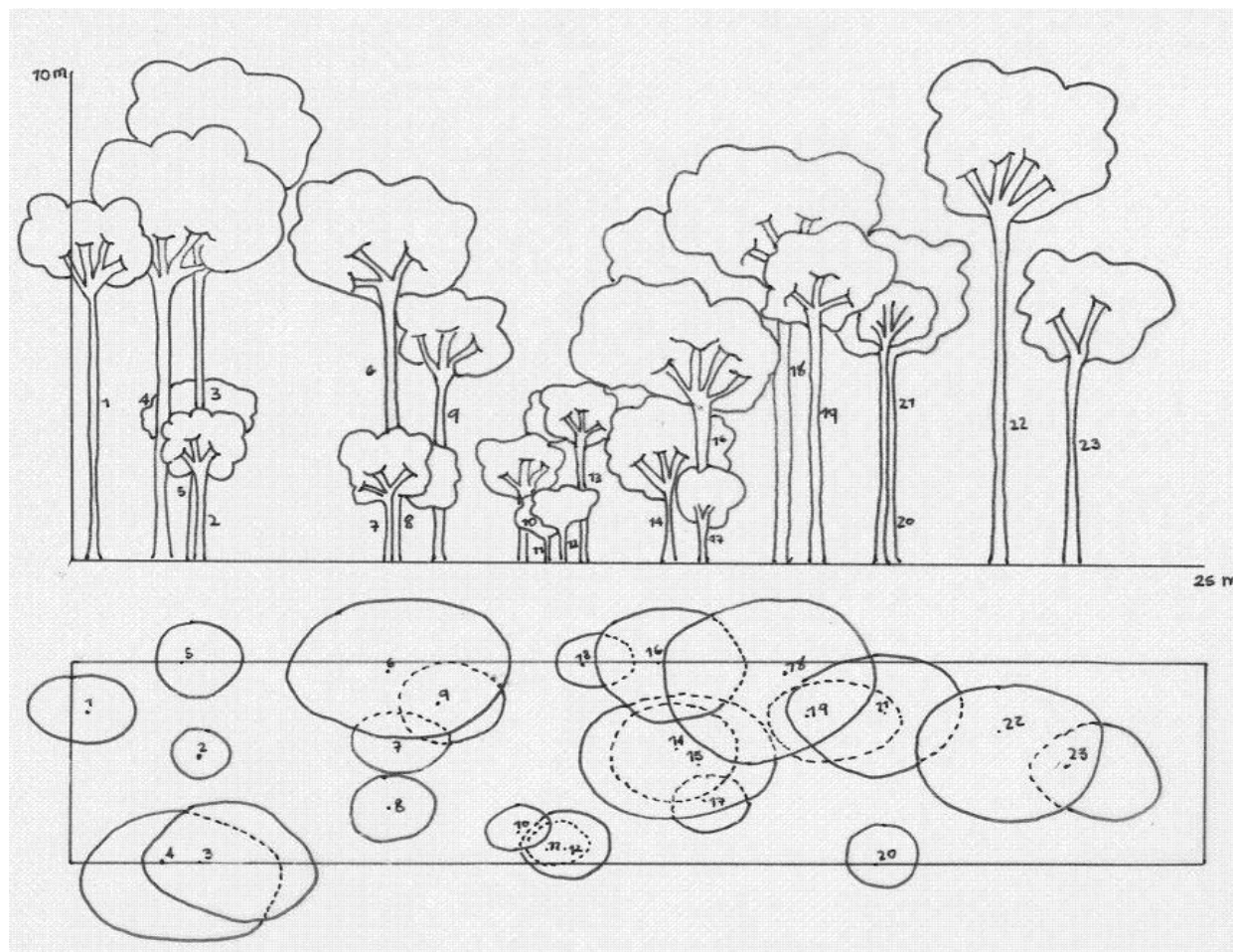
Para el bosque abierto en el estrato arbustivo están *Acalypha* sp1, *Hedychium coronarium*, *Ilex* sp2, *Inga* sp1, *Persea* sp1, *Rubus adenotrichos* *Vismia* sp1 con un solo individuo; *Acalypha macrostachya*, *Ageratina popayanensis*, *Bejaria mathewsii*, *Cecropia angustifolia*, *Cinchona pubescens*, *Cordia resinosa*, *Hedychium coronarium*, *Lepidaploa lehmannii*, *Nectandra* sp1, *Palicourea angustifolia*, *Piper aequale* representadas por más de dos individuos; el estrato arbóreo inferior con 1 especie *Pasiflora* cf. *emarginata*.

En el estrato arbóreo medio las especies más representativas del bosque denso son *Quercus humboldtii*, y *Clethra* sp1, para el estrato arbóreo superior están *Quercus humboldtii* la más abundante, seguida por *Clethra* sp1, *Nectandra lineata*, *Clusia ellipticifolia* y *Cupania americana*.

Para el bosque abierto en el estrato arbóreo medio están *Miconia caudata*, *Elaeagia myriantha* y *Quercus humboldtii* en el estrato arbóreo superior están las especies *Clusia ellipticifolia*, *Rhamnus sphaerosperma* y *Myrsine coriacea* cada una con un solo registro.

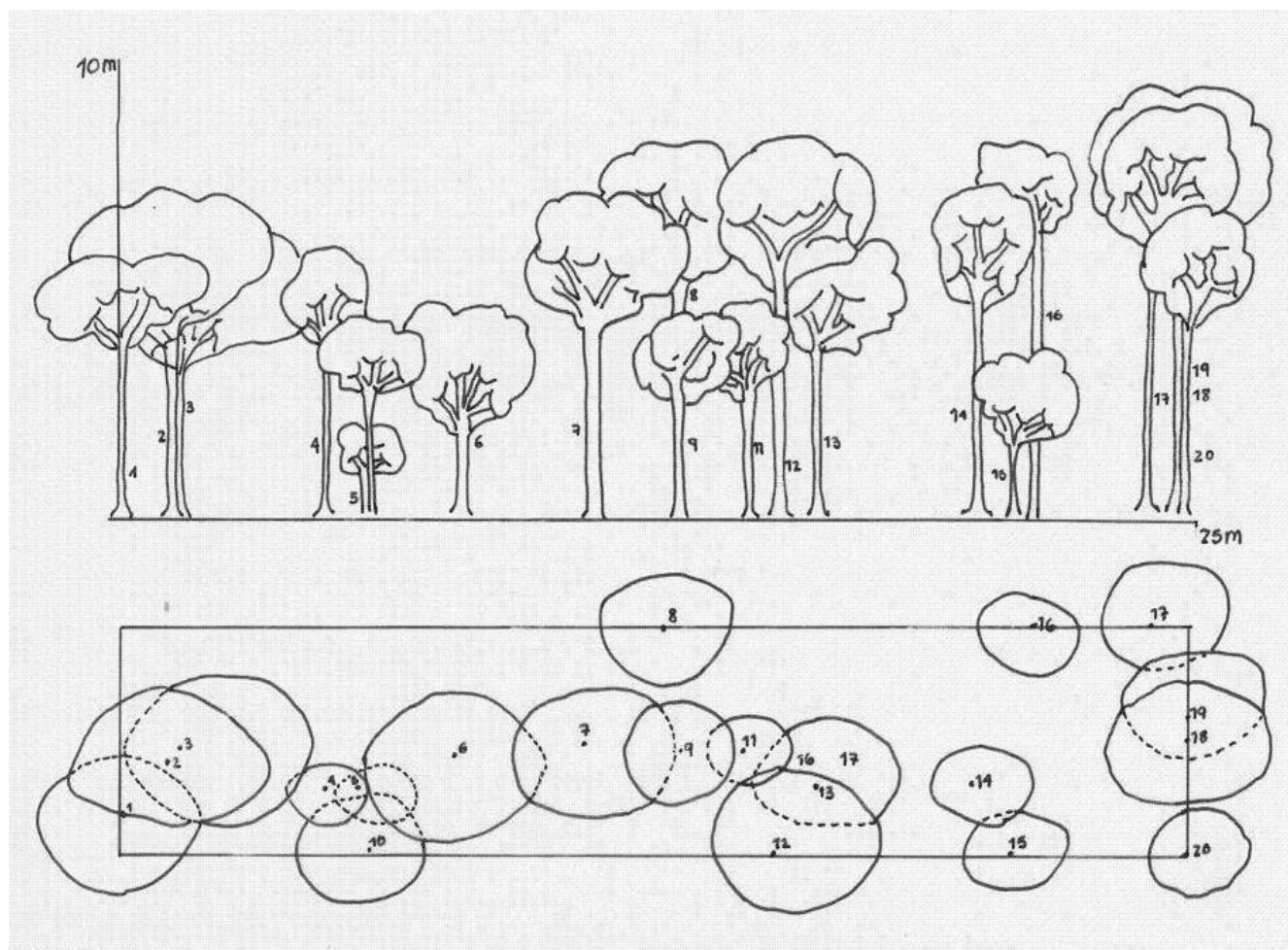
En el bosque denso, 4 especies están distribuidas en todos los estratos: *Clusia ellipticifolia*, *Cupania americana*, *Clethra* sp1 y *Quercus humboldtii*, para el bosque abierto no existen especies que estén representadas en todos los estratos.

Figura 11. Estructura vertical y proyección horizontal en el bosque denso. (Individuos DAP \geq 5)

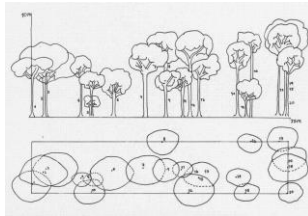


1. *Clehra sp1*
2. *Myrsine coriacea*
3. *Myrsine coriacea*
4. *Quercus humboldtii*
5. *Myrsine coriacea*
6. *Quercus humboldtii*
7. *Vismia lauriformis*.
8. *Vismia lauriformis*
9. *Quercus humboldtii*
10. *Myrsine coriacea*
11. *Vismia lauriformis*
12. *Quercus humboldtii*
13. *Clehra sp1*
14. *Quercus humboldtii*
15. *Quercus humboldtii*
16. *Vismia lauriformis*
17. *Quercus humboldtii*
18. *Quercus humboldtii*
19. *Clehra sp1*
20. *Quercus humboldtii*
21. *Clehra sp1*
22. *Quercus humboldtii*
23. *Quercus humboldtii*

Figura 12. Estructura vertical y proyección horizontal en el bosque abierto. (Individuos DAP \geq 5)



1. *Quercus humboldtii*
2. *Quercus humboldtii*
3. *Quercus humboldtii*
4. *Quercus humboldtii*
5. *Quercus humboldtii*
6. *Quercus humboldtii*
7. *Quercus humboldtii*
8. *Quercus humboldtii*.
9. *Quercus humboldtii*
10. *Quercus humboldtii*
11. *Quercus humboldtii*
12. *Quercus humboldtii*
13. *Quercus humboldtii*
14. *Quercus humboldtii*
15. *Quercus humboldtii*
16. *Hedyosmum bonplandianum*
17. *Myrsine coriacea*
18. *Quercus humboldtii*
19. *Quercus humboldtii*
20. *Cletra* sp1



Estructura horizontal. Para el análisis de la estructura horizontal se procesaron los datos obtenidos en campo, en clases diamétricas que faciliten el análisis de la información.

Tabla 9. División por clases diamétricas para el bosque denso

Rango (cm)	Individuos	Especies	Géneros	Familias
≤ 10	841	45	36	25
>10 ≤ 20	141	17	15	12
>20 ≤ 30	62	7	7	7
>30 ≤ 40	26	2	2	2
>40 ≤ 50	4	1	1	1
>50 ≤ 60	4	2	2	2
>60	3	1	1	1

Tabla 10. División por clases diamétricas para el bosque abierto

Rango (cm)	Individuos	Especies	Géneros	Familias
≤ 10	592	39	35	26
>10 ≤ 20	146	14	14	12
>20 ≤ 30	25	2	2	2
>30 ≤ 40	7	2	2	2
>40 ≤ 50	0	0	0	0
>50 ≤ 60	0	0	0	0
>60	1	1	1	1

En los dos bosques se reporta el incremento de individuos a medida que el rango disminuye, la diferencia en individuos entre los dos bosques se ve reflejada básicamente en los primeros rangos de diámetro.

El bosque denso presenta mayor riqueza en todos los rangos diamétricos que el bosque abierto, el que en los rangos >40 ≤ 50 y >50 ≤ 60 presenta cero individuos, excepto en el rango >60 donde presenta un individuo perteneciente a la especie *Quercus humboldtii*, sugiriendo que este bosque se encuentra más intervenido que el bosque denso, por actividades como la extracción selectiva, que han afectado su estructura.

Parámetros estructurales para especie

Densidad relativa. La familia Fagaceae aportó la especie con mayor densidad en cada bosque, al ser la especie que domina estos bosques, las especies que le siguen tienen

valores de densidad mucho mas bajos, entre ellas la especie *Clethra* sp1 que es una de las más densas para los dos bosques, las demás familias difieren para lo dos bosques.

Para el bosque denso, la familia Rubiaceae aporta dos especies, *Palicourea heterochroma* y *Palicuorea angustifolia*. Para el bosque abierto, la especies *Alchornea latifolia* y *Clethra* sp1.

Tabla 11. Especies con mayor Densidad relativa para cada bosque

Bosque denso		Bosque abierto	
Especie	Dr	Especie	Dr
<i>Quercus humboldtii</i>	0,26549	<i>Quercus humboldtii</i>	0,35019
<i>Palicourea heterochroma</i>	0,09436	<i>Alchornea latifolia</i>	0,09857
<i>Palicourea angustifolia</i>	0,08326	<i>Clethra</i> sp1	0,05836
<i>Clethra</i> sp1	0,07586	<i>Myrsine guianensis</i>	0,05706
<i>Ageratina popayanensis</i>	0,07031	<i>Miconia caudata</i>	0,04798

Frecuencia relativa. Para ambos bosques la especie *Quercus humboldtii* es la que presenta mayor frecuencia relativa, siendo la especie que presenta la mayor abundancia de individuos y una distribución espacial mas uniforme.

Tabla 12. Especies con mayor frecuencia relativa para cada bosque

Bosque denso		Bosque abierto	
Especie	Fr	Especie	Fr
<i>Clethra</i> sp1	0,06452	<i>Quercus humboldtii</i>	0,07576
<i>Palicourea angustifolia</i>	0,06452	<i>Myrsine guianensis</i>	0,06818
<i>Quercus humboldtii</i>	0,06452	<i>Miconia caudata</i>	0,06061
<i>Viburnum lehmani</i>	0,05806	<i>Viburnum lehmannii</i>	0,06061
<i>Myrsine coriacea</i>	0,05806	<i>Alchornea latifolia</i>	0,05303

Las especies *Clethra* sp1 y *Viburnum lehmannii* se presentan en los dos bosques con valores altos de frecuencia

Cobertura relativa. *Quercus humboldtii*, e la especie de mayor cobertura para ambos bosques con más del 60% de predominio sobre las otras especies.

Seguido pero con una marcada diferencia están las especies *Clethra* sp1 para el bosque denso y *Alchornea latifolia* para el bosque abierto.

Tabla 13. Especies con Dominancia relativa para cada bosque

Bosque denso		Bosque abierto	
Especie	Cr	Especie	Cr
<i>Quercus humboldtii</i>	0,78152	<i>Quercus humboldtii</i>	0,76825
<i>Clethra</i> sp1	0,05947	<i>Alchornea latifolia</i>	0,04541
<i>Hedyosmun bonplantadium</i>	0,02667	<i>Clethra</i> sp1	0,03528
<i>Ilex laurina</i>	0,02100	<i>Miconia caudata</i>	0,03285
<i>Vismia lauriformis</i>	0,01435	<i>Rhamnus sphaerosperma</i>	0,01762

Índice de valor de importancia para especie – IVI

En la siguiente Tabla se presentan los valores para IVI para cada Bosque

Tabla 14. Especies con mayor IVI para cada bosque

Bosque denso		Bosque abierto	
Especie	IVI	Especie	IVI
<i>Quercus humboldtii</i>	1,11153	<i>Quercus humboldtii</i>	1,19090
<i>Clethra</i> sp	0,19984	<i>Alchornea latifolia</i>	0,19471
<i>Palicourea angustifolia</i>	0,15982	<i>Clethra</i> sp	0,15162
<i>Palicourea heterechroma</i>	0,14891	<i>Miconia caudata</i>	0,13881
<i>Myrsine coriacea</i>	0,12668	<i>Myrsine guianensis</i>	0,13206
<i>Vismia lauriformis</i>	0,12609	<i>Viburnum lehmannii</i>	0,10015
<i>Viburnum lehmannii</i>	0,11610	<i>Meriania speciosa</i>	0,09670

La especie con mayor importancia para los bosques estudiados es *Quercus humboldtii*, así como *Clethra sp* y *Viburnum lehmannii*. La especie *Quercus humboldtii* representa la mayor densidad, frecuencia así como la mayor cobertura en los bosques estudiados. Las demás especies presentaron IVI muy bajos debido a que muchas son especies que presentan un solo individuo.

Índice de valor de importancia para familia – IVF

Tanto en el bosque denso como en el abierto la familia que reportó la mayor importancia fue Fagaceae, debido a que es la familia con mayor cobertura de la zona, le siguen otras familias compartidas entre los dos bosques con diferentes órdenes de importancia, como se puede observar en la Tabla 15.

Tabla 15. Familias con mayor IVF para cada bosque

Bosque denso		Bosque abierto	
Familia	IVF	Familia	IVF
Fagaceae	1,06829	Fagaceae	1,14283
Rubiaceae	0,31417	Euphorbiaceae	0,22644
Melastomataceae	0,22861	Melastomataceae	0,21171
Clusiaceae	0,17337	Rubiaceae	0,17557
Asteraceae	0,17242	Myrsinaceae	0,14331
Clethraceae	0,15660	Clusiaceae	0,12512
Myrsinaceae	0,13774	Asteraceae	0,12491
Piperaceae	0,10732	Clethraceae	0,11804
Caprifoliaceae	0,07931	Caprifoliaceae	0,06657

Similitud florística

De los individuos muestreados en los dos parches de bosque se encontraron un total de 59 especies, de las cuales 18 son exclusivas del bosque denso, 12 del bosque abierto y 29 especies compartidas (49%).

Para los dos bosques se registraron un total de 45 géneros, de los que solo 10 se encontraron en el bosque denso, 8 en el bosque abierto y comparten 27 géneros en total.

De las 26 familias en total reportadas para los dos bosques, 5 están solamente en el bosque denso, 6 en el bosque abierto y comparten un total de 15 familias.

Entre las especies similares en los dos fragmentos de bosque encontramos: *Acalypha macrostachya*, *Ageratina popayanensis*, *Alchornea latifolia*, *Bejaria mathewsii*, *Calea colombiana*, *Cinchona pubescens*, *Clethra sp1*, *Clusia ellipticifolia*, *Condylopodium cuatrecasasii*, *Cordia resinosa*, *Cupania americana*, *Duranta coriacea*, *Elaeagea myriantha*, *Gutteria goudotiana*, *Hedyosmun bonplandianum*, *Ilex laurina*, *Lepidaploa lehmannii*, *Meriania speciosa*, *Miconia caudata*, *Miconia sp1*, *Myrsine coriacea*, *Myrsine guianensis*, *Palicourea angustifolia*, *Palicourea heterochroma*, *Quercus humboldtii*, *Rhamnus sphaerosperma*, *Toxicodendrum striatum*, *Viburnum lehmannii*, *Vismia lauriformis*.

Tabla 16. Índices de similitud calculados

Índice cualitativo de Sorensen	Índice de Morisita-Horn
0,66	0,84

Los valores obtenidos en el índice de Sorensen donde se tiene en cuenta la presencia/ausencia de especies, indican que los dos bosques son similares, puesto que para el índice tienen un valor de 0,66. Para tener en cuenta la distribución de abundancias de los bosques se aplicó el índice cuantitativo de Morisita-Horn, donde se obtuvo un valor de 0,84. Indicando que los bosques de la zona tienen similitud entre ellos, y que sus abundancias se distribuyen de forma similar, lo que los hace estructuralmente similares.

El índice de Morisita-Horn muestra un mayor valor debido a que es altamente sensible a la abundancia de la especie más abundante (Magurran, 1988); para cada parche de bosque, en este caso por la presencia de la especie *Quercus humboldtii*.

La similitud entre estos dos parches de bosque que se localizan aproximadamente a 1 Km. de distancia, se ve afectada básicamente por los mismos factores de intervención tales como la fácil accesibilidad para los habitantes de la zona, en donde las prácticas de extracción de madera y expansión de fronteras agropecuarias, han ocasionado que estos bosques se encuentren en un estado sucesional temprano en donde predominan procesos de reorganización, explotación y conservación que afectan la composición florística entre estos parches de vegetación.

9.2 CAMBIO DE COBERTURAS E ÍNDICES DE FRAGMENTACIÓN

El estudio se realizó bajo dos niveles de detalle, el primero a nivel semidetallado (Paisaje regional-ecosistema) para obtener una visión integral de las alteraciones generadas por el proceso de fragmentación sobre las coberturas boscosas de la parte media de la cuenca del río Palacé a partir del procesamiento digital de imágenes (Landsat TM, años 1989 y 2000), esta zona comprendió una extensión de 51.538 ha. Y un nivel más detallado en una ventana de estudio contenida en el área referida anteriormente, ubicada en el municipio de Totoró en donde se realizó el análisis con fotografías aéreas, esta ventana tiene un área de 1.219,2 ha, para el periodo entre 1983 y 2007 (Fotografía aérea, imagen QuickBird).

Las clases de coberturas para la zona de estudio se definieron de acuerdo al tipo fisonómico identificado para los diferentes insumos de trabajo (Imagen satelital Landsat TM, Fotografía aérea e imagen QuickBird).

Para el primer nivel semidetallado (imágenes satelitales) se identificaron 6 clases de coberturas: Bosque natural, páramo, bosque plantado, cultivos, pasto y área construida.

Para el segundo nivel más detallado (Fotogrametría) se identificaron 8 clases de coberturas: Bosque denso, bosque abierto, relicto de bosque, matorral, rastrojo, pasto con rastrojo, pasto y cultivo.

9.2.1 Cambio de coberturas

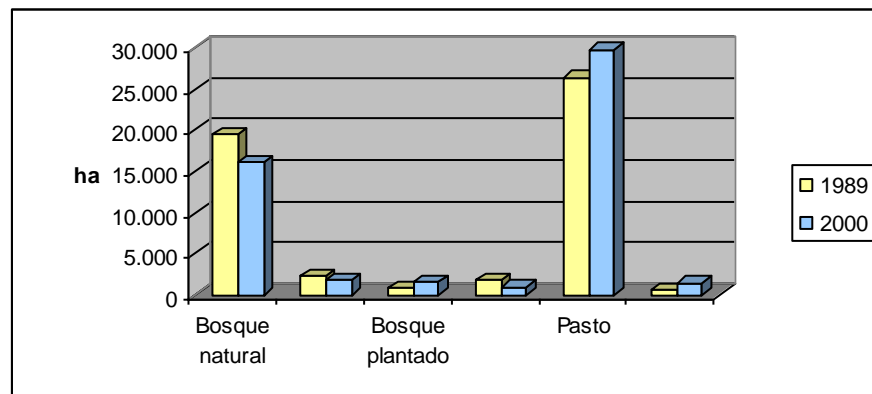
9.2.1.1. Cambio de coberturas semidetallado por medio del procesamiento digital de imágenes Landsat TM correspondientes a la parte media de la cuenca Palacé.

A continuación se tienen los datos semidetallados sobre las áreas ocupadas por cada tipo de cobertura para el periodo 1989-2000 con una escala de salida aproximada de 1:85.000 y con un área cubierta de 51.538 ha (Tabla 17, Figura 13):

Tabla 17. Áreas totales y porcentaje de área ocupada de cada tipo de cobertura para las temporalidades 1989-2000.

Clase de Cobertura	1989		2000	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Bosque natural	19.471,25	37,78%	16.022,68	31,09%
Páramo	2.329,75	4,52%	1.726,13	3,35%
Bosque plantado	817,78	1,59%	1.619,01	3,14%
Cultivo	1.866,44	3,62%	959,30	1,86%
Pasto	26.386,86	51,20%	29.763,86	57,75%
Área construida	666,07	1,29%	1.447,02	2,81%
Total	51.538		51.538	

Figura 13. Áreas totales correspondientes a cada clase de cobertura estudiada para el año correspondiente.



En Tabla 17 y figura 13 se pueden apreciar los cambios correspondientes a este periodo (11 años), en donde se observó que la mayor área es ocupada por los pastos con más de la mitad del área total (57%), seguido por el bosque natural que ha disminuido proporcionalmente con la ganancia en otras áreas de origen antrópico, tales como bosques plantado, pastos y área construida.

En las Figuras 14 y 15 se observa el mapa de coberturas para la parte media de la cuenca del río Palacé correspondiente al procesamiento digital de imágenes satelitales para los años 1989 y 2000.

Figura 14. Mapa de Coberturas identificadas para el año 1989 en la parte media de la cuenca Palacé a partir de imágenes Landsat TM

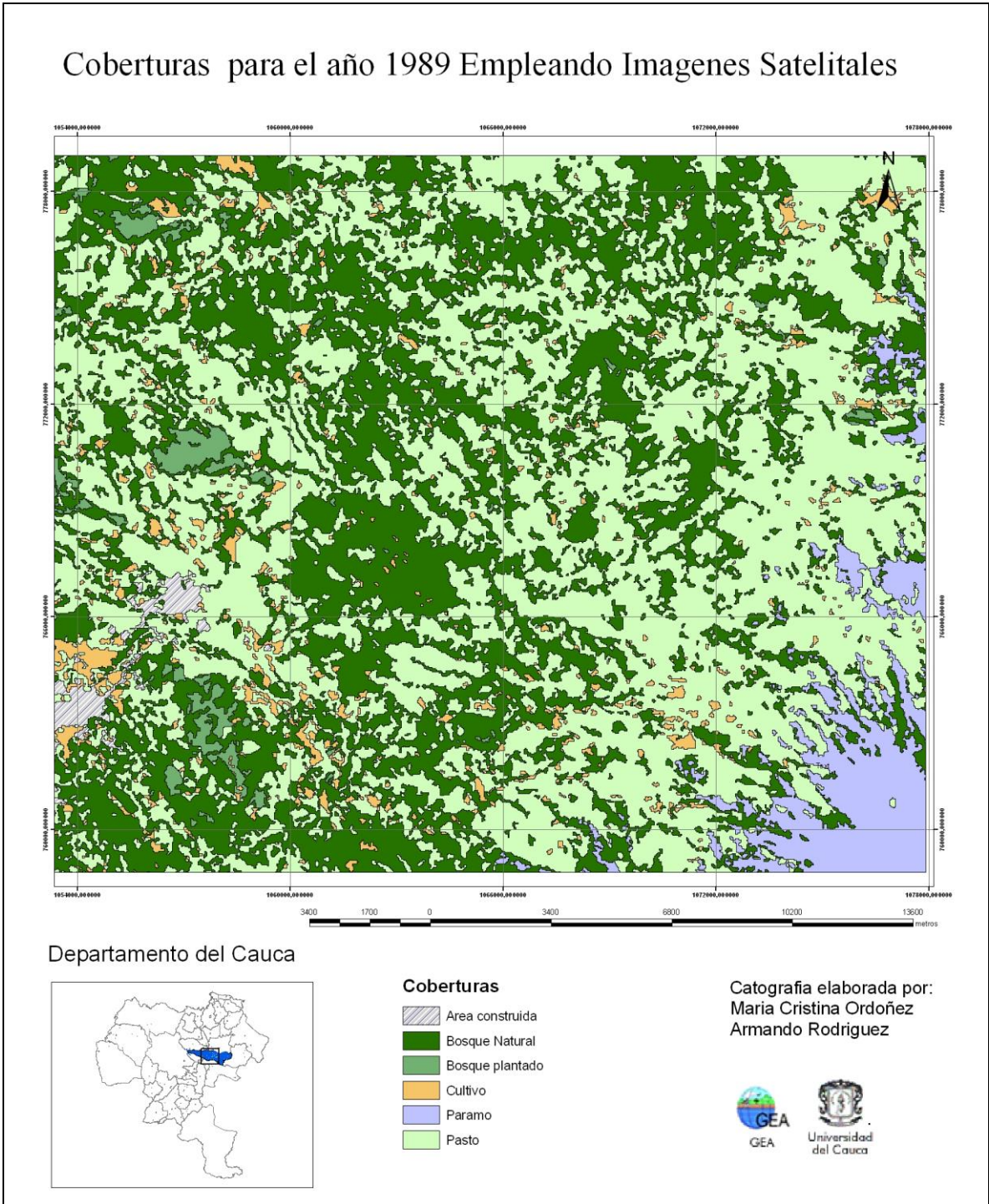
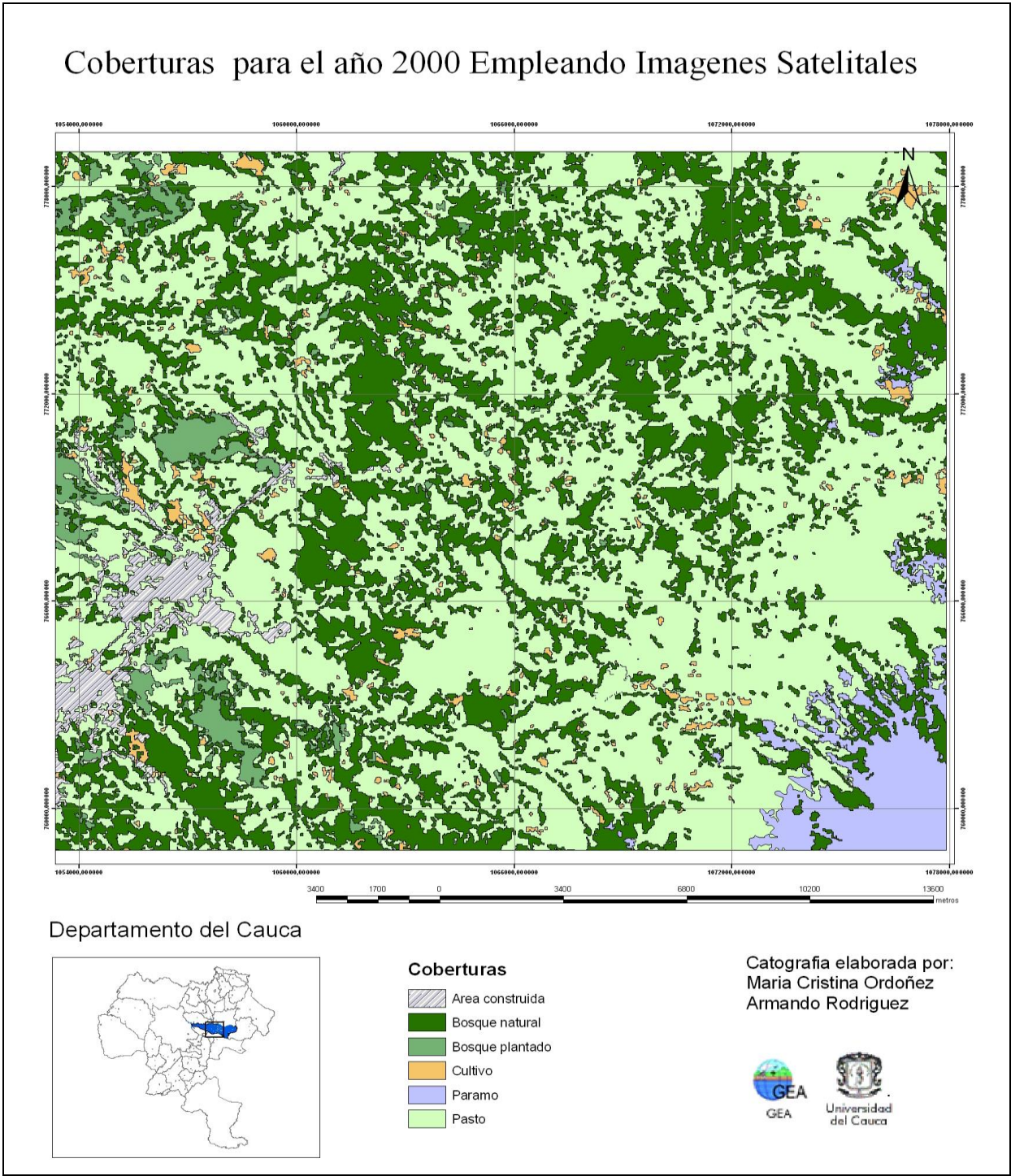


Figura 15. Mapa de Coberturas identificadas para el año 2000 en la parte media de la cuenca Palacé a partir de imágenes Landsat TM



Aplicando el índice de cambio multitemporal de coberturas propuesto por el IDEAM (2002), se calculó la pérdida o ganancia de área en las diferentes clases de coberturas para los diferentes periodos analizados, esta métrica genera información sobre el porcentaje de cambio de cobertura y el cambio medio anual, para el lapso de tiempo considerado.

Para el periodo comprendido entre 1989 y 2000 se obtienen los datos de cambio de cobertura presentados en el Tabla 18, en donde el signo negativo (-) indica pérdidas ó disminución y los valores positivos indican ganancia, al respecto la columna Áreas (ha) corresponde a la diferencia entre el año final e inicial.

Tabla 18. Cambio multitemporal de las coberturas ocurrido en la zona de estudio correspondiente al análisis semidetallado con imágenes satelitales periodo 1989-2000.

<i>Cobertura</i>	<i>1989 área ocupada(ha)</i>	<i>2000 área ocupada(ha)</i>	<i>Área(ha)</i>	<i>% Cambio de Cobertura</i>	<i>Cambio medio anual(ha/año)</i>
Bosque natural	19.471,25	16.022,68	-3.448,57	-17,71	-313,51
Páramo	2.329,75	1.726,13	-603,62	-25,91	-54,87
Bosque plantado	817,78	1.619,01	801,23	97,98	72,84
Cultivo	1.866,44	959,30	-907,14	-48,60	-82,47
Pasto	26.386,86	29.763,86	3.377,00	12,80	307,00
Zona urbana	666,07	1.447,02	780,95	117,25	71,00

Para determinar la significancia de los cambios presentados en las coberturas se realizó la prueba no paramétrica Chi-cuadrado. Esta prueba es utilizada para evaluar la hipótesis de no asociación de filas y columnas en una tabla. Una probabilidad menor o igual a 0.05 es comúnmente interpretada como justificación para rechazar la hipótesis nula.

Para tal efecto se creó una tabla de contingencias X^2 , a la cual se le asignaron los valores del año 2000 a la columna “Observado”, y los valores de 1989 a la columna “Esperado” (Tabla 19).

Tabla 19. Prueba Chi-cuadrado aplicada a las coberturas correspondientes al análisis semidetallado con imágenes satelitales para las temporalidades 1989-2000.

<i>Cobertura</i>	<i>Área(ha) 1989</i>	<i>Área(ha) 2000</i>	<i>O-E</i>	<i>(O-E)2</i>	<i>(O-E)2/E</i>
Bosque natural	19.471,253	16.022,683	-3.448,570	11892635,04	610,779
Páramo	2.329,745	1.726,128	-603,618	364354,08	156,392
Bosque plantado	817,780	1.619,010	801,230	641969,51	785,015
Cultivo	1.866,435	959,300	-907,135	822893,90	440,891
Pasto	26.386,860	29.763,855	3.376,995	11404095,20	432,188
Zona urbana	666,070	1.447,020	780,950	609882,90	915,644

La regla de decisión está dada por el valor de X^2 respecto al valor encontrado en la tabla de distribución de Chi-cuadrado con 5 grados de libertad y una probabilidad de 0,05 (valor 11,07); si el valor de X^2 es mayor al de la tabla de distribución de Chi-cuadrado se rechaza H_0 y, por consiguiente, los cambios de cobertura serán significativos. Por tanto se encontró un cambio significativo en todas las coberturas estudiadas.

Los resultados muestran reducción en las áreas ocupadas por las coberturas bosque natural (-17,71%) con un cambio medio anual negativo de 313 ha/año y Parámo (-25,91%) con un cambio negativo de 54 ha/año, revelando que estas coberturas están expuestas a alteraciones producto de la expansión de la frontera agropecuaria, que afectan la composición florística y la estructura de las comunidades a través de la alteración del balance competitivo y del éxito de reclutamiento entre especies (Lansberg et al., 1999); en donde las especies lábiles desaparecen, permaneciendo solo las especies agresivas (gramíneas) (Rangel, 2000) comprobado en el incremento de 307 ha/año de pastos.

En el área también se presentan otras alteraciones sobre las coberturas naturales que han transformado el paisaje, incrementándose áreas de bosque plantado (97,80%) y área construida (117,25%).

Los cultivos en la zona presentan una reducción en su área (-48,60%) y un cambio medio anual de 82 ha/año producto de los constantes cambios de uso del suelo en la zona, por la dinámica que se da entre la agricultura y la ganadería.

Tratar de exponer este proceso de cambio sin tomar referentes teóricos y ecológicos que expliquen la dinámica ecosistémica, es una alternativa simplista, por ello es necesario abordar para integrar a esta explicación la productividad, la accesibilidad a recursos en el ecosistema y especialmente los ciclos de vida asociados a la reproducción y a la supervivencia de las especies vegetales; cuando estas están sometidas a cambios inducidos, bien por factores antropicos o por condiciones bióticas o abióticas del sistema estudiado.

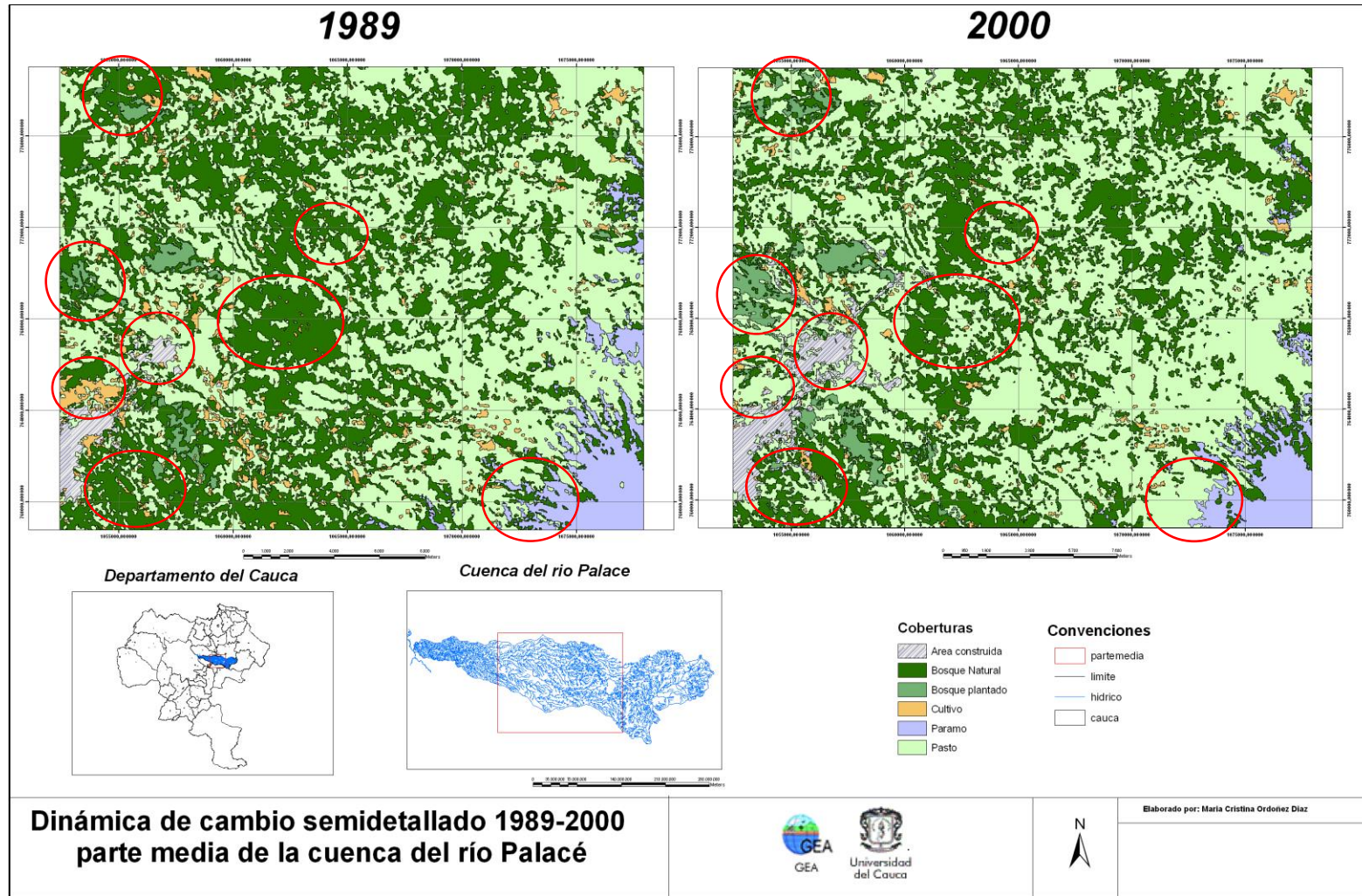
En este trabajo se hace un acercamiento a los referentes expuestos por Holling (1992) cuando plantea la estructuración de procesos jerárquicos donde características endógenas y exógenas se asocian a los procesos de cambio que se dan en la estructura y composición de las comunidades vegetales, asumiendo a ellas el concepto de escala para analizar el tipo de fuente del que proviene la intervención, utilizando procesos de meso y macroescala como parámetros que determinan la transformación del paisaje en los ecosistemas.

La mesoescala, está referida a la dinámica de distribución y desarrollo de la vegetación, cuando sobre ella operan factores asociados a componentes bióticos, abióticos y antropicos que se ejecutan a diferentes velocidades y que afectan la estructura y composición del bosque en el presente y para décadas futuras. La macroescala está asociada a procesos geomorfológicos y coevolutivos de las especies que están interactuando en esta cobertura. Estos procesos jerárquicos están estructurados por categorías donde el nivel más interno hace referencia a causas fisiológicas, el secundario relaciona procesos autoecológicos, el que le sigue está definido por procesos de competitividad y dinámica de los claros, posteriormente los que hacen referencia a las alteraciones que se llevan a cabo a nivel de mesoescala y de procesos de dispersión y finalmente encontramos los procesos a nivel de

cuenca, donde se evalúan los ecosistemas acuáticos, abiertos, bosques y topografía, finalmente a nivel planetario tenemos la precipitación, temperatura y la meteorización de la roca madre.

La dinámica de cambio se observa a continuación en la Figura 16, en donde la cobertura bosque natural cambia a pasto y/o bosque plantado, la cobertura páramo a pasto, los cultivos a pasto y los pastos a área construida.

Figura 16. Dinámica de cambio en las coberturas identificadas para el análisis semidetallado (Imágenes satelitales) periodo 1989-2000 parte media de la cuenca Palacé. (Las circunferencias resaltan los mayores cambios en las coberturas).



9.2.1.2. Cambio de coberturas detallado por medio del procesamiento Fotogramétrico correspondiente a la vereda Palacé. Para obtener un resultado más aproximado se trabaja con un mayor detalle, por medio de técnicas fotogramétricas sobre una ventana de estudio en la vereda Palacé (Municipio de Totoró) para el periodo 1983-2007. En este análisis la escala de salida es aproximadamente 1:20:000 cubriendo una área de 1.219,2 ha en la Tabla 20. se presentan las áreas (ha) ocupadas por las diferentes clases de coberturas vegetales identificadas para cada año de estudio.

En la Tabla 20 y Figura 17 se observan las áreas ocupadas por las coberturas vegetales identificadas en la zona de estudio para los años 1983 y 2007, la clase bosque abierto es la más predominante para los dos años con 536,87 ha ocupando un 44% del área total, para el periodo comprendido obtuvo una reducción en su área

Tabla 20. Áreas totales y porcentaje de área ocupada de cada tipo de cobertura para los años 1983 y 2007

Clase de cobertura	1983		2007	
	Área(ha)	%	Área(ha)	%
Bosque denso	84,648	6,94	54,530	4,47
Bosque abierto	536,866	44,04	497,504	40,81
Relicto de bosque	21,7408	1,78	23,022	1,89
Matorral	17,5152	1,44	98,658	8,09
Rastrojo	120,9136	9,92	126,941	10,41
Pasto con rastrojo	234,1296	19,20	88,752	7,28
Pasto	140,4944	11,52	215,470	17,67
Cultivo	62,872	5,16	114,294	9,37
Total	1219,2		1219,2	

Figura 17. Áreas totales correspondientes a cada clase de cobertura estudiada para el año correspondiente.

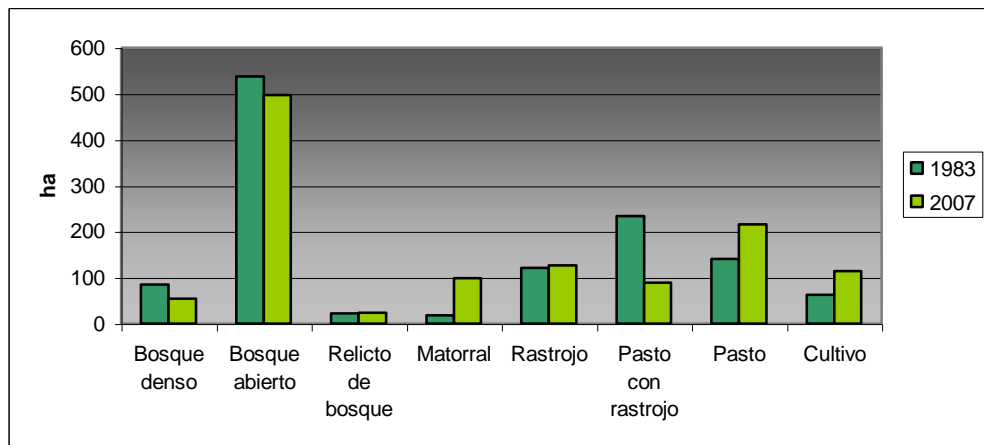


Figura 18. Mapa de coberturas vegetales a partir del análisis detallado para el año 1983

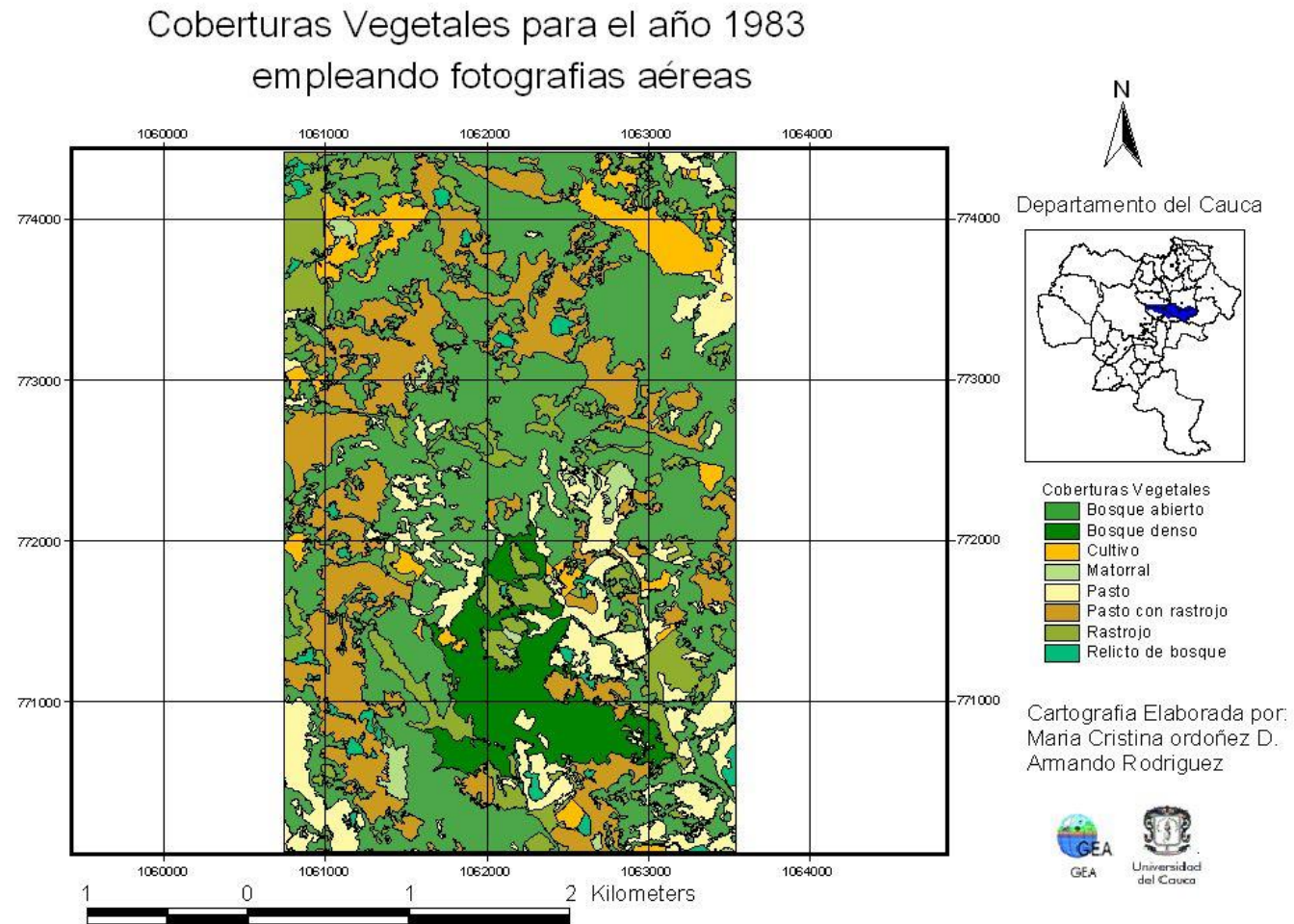
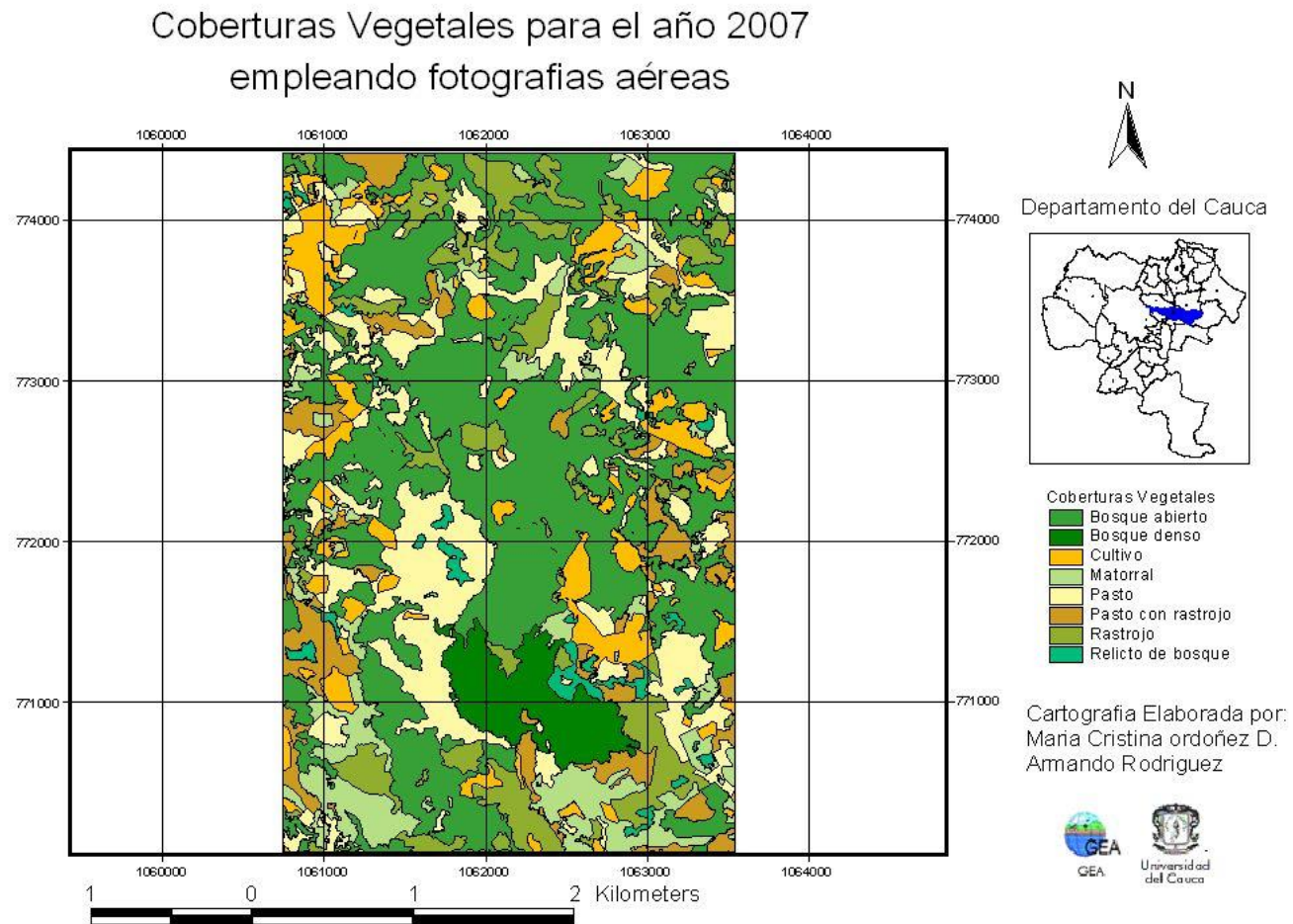


Figura 19. Mapa de coberturas vegetales a partir del análisis detallado para el año 2007



La cobertura bosque denso, bosque abierto y pastos con rastrojo tienen una disminución en su área, por el contrario la clase relicto de bosque, matorral, rastrojo, pastos y cultivo. En las Figuras 17 y 18 se observan los tipos de coberturas para la ventana de estudio parte media de la cuenca del río Palacé (Municipio-Totoró) empleando fotogrametría.

En la siguiente Tabla se presenta el porcentaje de cambio y el cambio medio anual en hectárea / año para cada clase de cobertura aplicando el índice de cambio multitemporal.

Tabla 21. Cambio multitemporal de las coberturas ocurrido en la zona de estudio correspondiente al análisis con fotogrametría para la temporalidad 1983-2007.

<i>Cobertura vegetal</i>	<i>1983 área ocupada(ha)</i>	<i>2007 área ocupada (ha)</i>	<i>Área (ha)</i>	<i>% de cambio Cobertura</i>	<i>Cambio medio anual(ha/año)</i>
bosque denso	84,65	54,53	-30,12	-35,58	-1,25
bosque abierto	536,87	497,50	-39,36	-7,33	-1,64
relicto	21,74	23,02	1,28	5,89	0,05
matorral	17,52	98,66	81,14	463,27	3,38
rastrojo	120,91	126,94	6,03	4,98	0,25
pasto con rastrojo	234,13	88,75	-145,38	-62,09	-6,06
pasto	140,49	215,47	74,98	53,37	3,12
cultivo	62,87	114,29	51,42	81,79	2,14

Para el periodo comprendido entre 1983-2007 los índices de cambio de coberturas muestran una reducción porcentual en el área de las clases: bosque denso (-35,58), bosque abierto (-7,33), pasto con rastrojo (-62,09); en tanto que se tiene una ganancia porcentual de las coberturas: relicto de bosque (5,89), matorral (463,27), rastrojo (4,98), pastos (53,37) y cultivos (81,79).

Al realizar la prueba no paramétrica Chi-cuadrado para determinar la significancia del cambio de área, se trabajó con los criterios de 7 grados de libertad y una probabilidad de 0,05 (el cual es 14,06); encontrándose que los cambios significativos fueron para las coberturas Matorral, pasto con rastrojo, pasto y cultivos.

Tabla 22. Prueba Chi-cuadrado aplicada a las coberturas encontradas en el análisis fotogramétrico.

<i>Tipo de cobertura</i>	<i>1983 área ocupada(ha)</i>	<i>2007 área ocupada (ha)</i>	<i>(O-E)</i>	<i>(O-E)2</i>	<i>(O-E)2/E</i>
Bosque abierto	536,866	497,504	-39,362	1549,336	2,886
Bosque denso	84,648	54,530	-30,118	907,118	10,716
Relicto de bosque	21,741	23,022	1,282	1,642	0,076
Matorral	17,515	98,658	81,142	6584,089	375,907
Rastrojo	120,914	126,941	6,027	36,327	0,300
Pasto con rastrojo	234,130	88,752	-145,378	21134,647	90,269
Pasto	140,494	215,470	74,976	5621,401	40,012
Cultivo	62,872	114,294	51,422	2644,263	42,058

A partir de los anteriores resultados (Tabla 22) se observa que la clase pasto con rastrojo ha tenido la mayor reducción en su área con 145,38 ha , y un cambio medio anual de 6,06 ha/año, seguida por bosque abierto con 39,36 ha y un cambio medio anual de 1,64; por ultimo bosque denso con una disminución en 30,12 ha y una cambio medio anual de 1,25 ha/año, las coberturas boscosas se han deteriorado durante el transcurso de 24 años a causa de las constantes intervenciones de tipo antrópico en la zona, principalmente por la tala para producción de carbón y/o instalación de zonas agropecuarias.

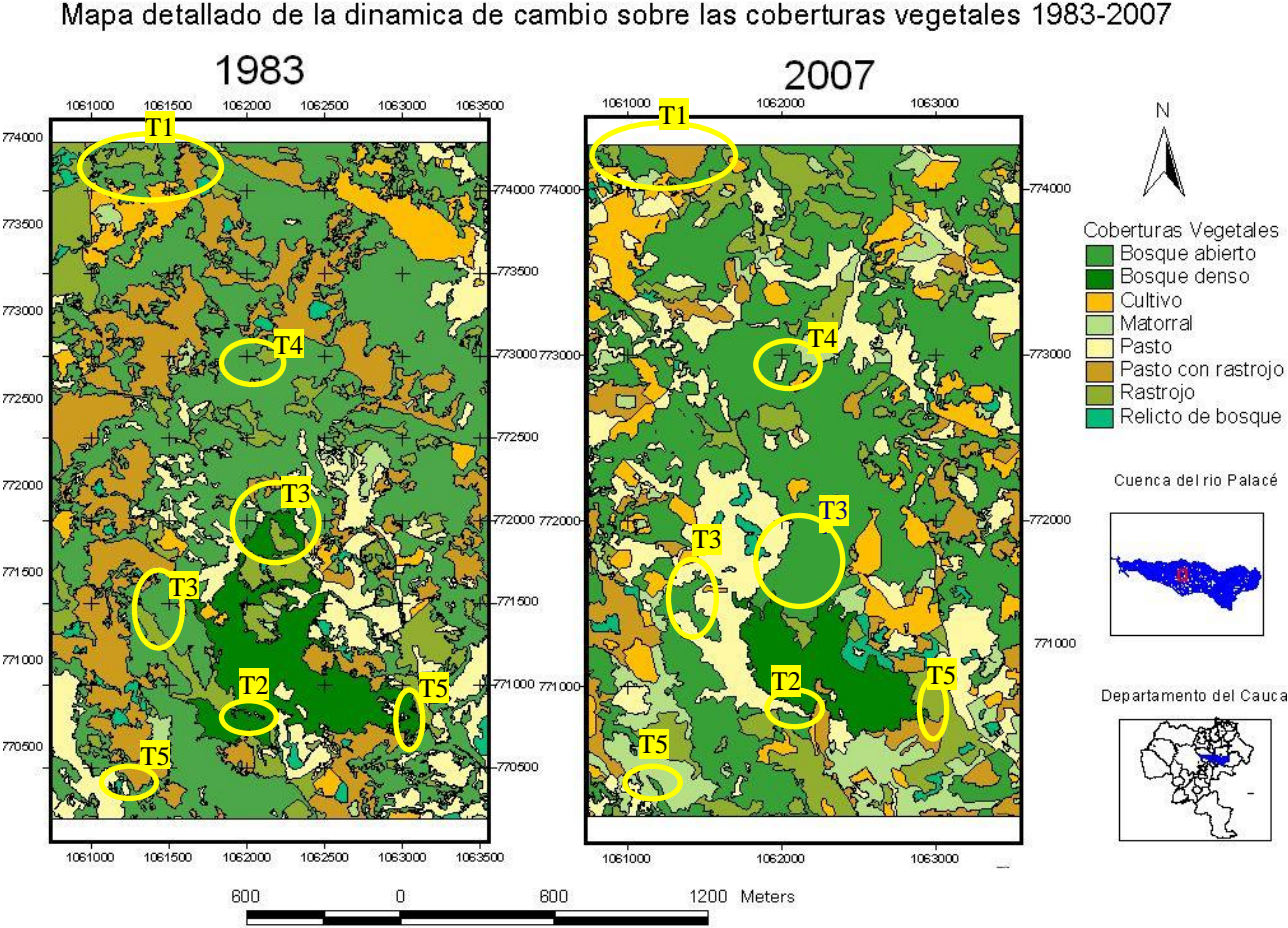
Las clases que han tenido un cambio en área favorable son: matorrales (463,26 ha), pastos (53,36 ha) y cultivos (81,789 ha), con una ganancia significativa en área como lo demuestran los datos obtenidos en la prueba de significancia estadística.

Teniendo en cuenta los anterior, en la vereda Palacé se presenta un proceso de cambio en las coberturas vegetales que se ajusta a la teoría de dinámica ecosistémica (Holling, 1992) nombrada en el acápite 9.2.1.1, donde todo sistema sometido a alteraciones necesariamente atraviesa las etapas de nacimiento, crecimiento, almacenamiento y renovación de manera constante; cada una de estas etapas opera de acuerdo a escalas de tiempo y espacio. Este sistema al estar sujeto a intervenciones de origen antrópico, se encuentra dominado por períodos de reorganización en donde es más susceptible a la invasión de especies exóticas, haciéndose más vulnerable a procesos de degradación tales como la erosión.

Las coberturas vegetales, principalmente las identificadas como bosque denso, bosque abierto y relictos de bosque, al ser perturbadas, reproducen un comportamiento de reorganización similar al que ocurre en los claros naturales. Es aquí donde se inicia la estrategia r, con el desarrollo de especies pioneras y oportunistas que presentan la característica ecológica de explotar al máximo los nutrientes del suelo y la luz disponible, en esta etapa se da un desarrollo rápido de las coberturas. Consolidada esta etapa a través del tiempo y con el afianzamiento de la estructura del suelo específicamente del horizonte A con los aportes de carbono, se generan las condiciones para el crecimiento de especies con mayor porte, de carácter leñoso y desarrollos perennes, asociadas a una estrategia k, lo cual se coliga al concepto de máximo desarrollo vegetativo y se denomina clímax. Posteriormente se entra en un periodo de liberación de energía la cual se genera a partir de procesos exógenos tales como fuego, tormentas o por actividades antrópicas que para el área de estudio se asocian a la ampliación de la frontera agropecuaria. Después de estas alteraciones el sistema entra en un proceso de reorganización caracterizado por la accesibilidad a nutrientes y energía para dar inicio otra vez al ciclo de explotación.

En la Figura 20 se pueden apreciar las áreas con mayores cambios en las coberturas estudiadas al comparar los años 1983 y 2007, en donde para el bosque denso se evidencia una contracción y pérdida de área, para bosque abierto se señalan los lugares de más presión y los diferentes tipos de transformación espacial (ver pag.79).

Figura 20. Dinámica de cambio detallado sobre las coberturas vegetales en la vereda Palacé (Fotogrametría), según el tipo de transformación espacial (Ver definición pag.60) donde T1=Tipo 1, T2=Tipo 2, T3=Tipo 3, T4= Tipo 4, T5= Tipo 5



9.2.2 Estudio de fragmentación. Los resultados de los índices de fragmentación se presentan a continuación por nivel de detalle, inicialmente se indican los hallazgos para el análisis semidetallado (imágenes satelitales) correspondiente al periodo 1989-2000 y de forma posterior se encuentran para el análisis detallado (fotografías aéreas) correspondiente al periodo 1983-2007.

Enseguida de estos resultados se tiene la integración de los índices de fragmentación para cada uno de los niveles de detalle, lo que nos permite determinar si existe fragmentación sobre las coberturas vegetales de la parte media de la cuenca del río Palacé para los periodos analizados.

La información obtenida en el análisis semidetallado (imágenes satelitales) parte media de la cuenca Palacé nos permite contextualizar el proceso para el análisis detallado (fotografías aéreas) en la vereda Palacé (Municipio de Totoró).

9.2.2.1 Estudio de fragmentación semidetallado por medio del procesamiento digital de imágenes satelitales TM. A continuación se encuentran las Tablas 23 y 24 generadas del análisis de fragmentación a partir del Procesamiento Digital (PDI) de Imágenes para los años de 1989 y 2000 correspondiente a la parte media de la cuenca Palacé, los índices calculados para el sector son:

Tabla 23. Índices de fragmentación calculados a partir del procesamiento de imágenes satelitales LANDSAT en el año 1989.

Cobertura	NP	LPI	LSI	AREA_MN	PROX_MN
Bosque natural	685	12,224	52,525	28,425	3.606,769
Páramo	99	2,967	12,457	23,533	1.056,307
Bosque plantado	71	0,388	12,224	11,518	74,276
Cultivo	739	0,364	34,532	2,526	5,649
Pasto	598	35,947	45,594	44,125	20.593,510
Área construida	22	0,875	7,164	30,276	408,555

Tabla 24. Índices de fragmentación calculados a partir del procesamiento de imágenes satelitales LANDSAT en el año 2000.

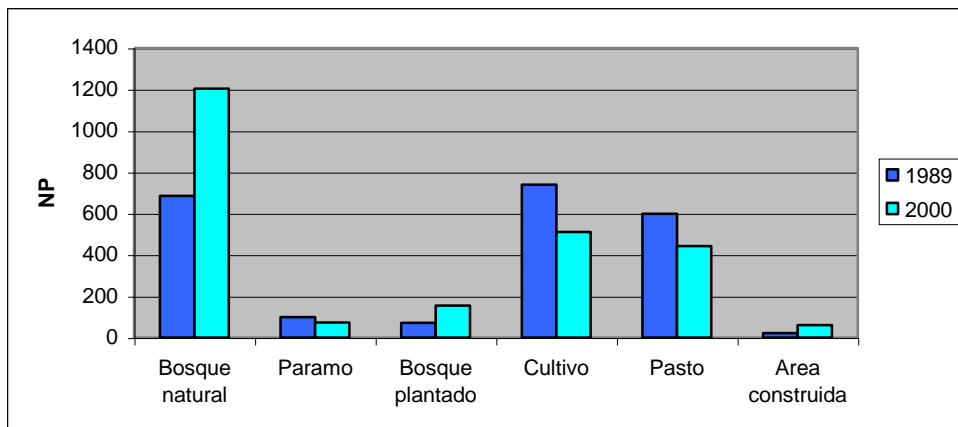
Cobertura	NP	LPI	LSI	AREA_MN	PROX_MN
Bosque natural	1204	2,654	57,451	13,308	709,816
Páramo	73	2,621	11,190	23,646	1.208,803
Bosque plantado	155	0,456	18,693	10,445	82,476
Cultivo	511	0,086	28,058	1,877	2,449
Pasto	443	51,738	45,792	67,187	62.990,666
Área construida	61	2,168	14,403	23,722	1.023,149

Índice Numero de Parches – NP

Para el índice número de parches para la ventana general de estudio se observa el incremento en el número de parches de bosque natural, bosque plantado, y área construida; para el bosque natural se registra una pérdida de área, a diferencia de bosque plantado y área construida.

Existe una disminución en el número de parches para las clases páramo, cultivo y pasto, los dos primeros con una disminución en área, y pastos con un incremento en área. Estos resultados se observan en la figura 21.

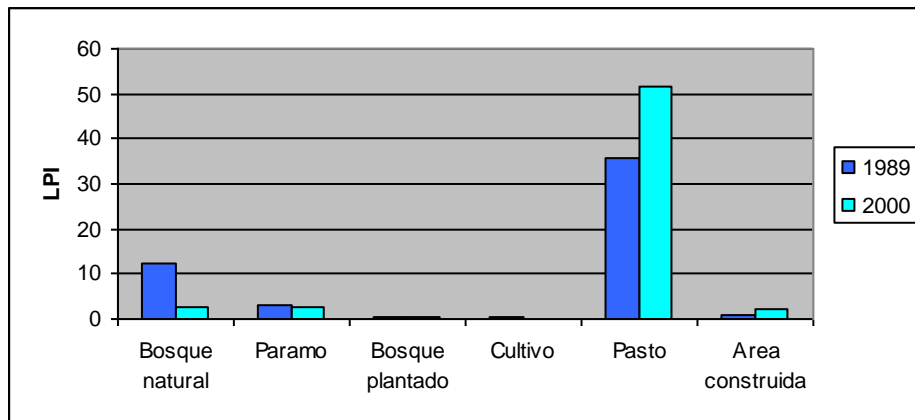
Figura 21. Índice NP para el periodo 1989-2000 analizando imágenes Landsat TM



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 1989-2000 se aprecia el incremento en la tamaño de la cobertura pasto (ocupa la mayor área), bosque plantado y área construida, así como el disminución para bosque natural, páramo y cultivos (Figura 22).

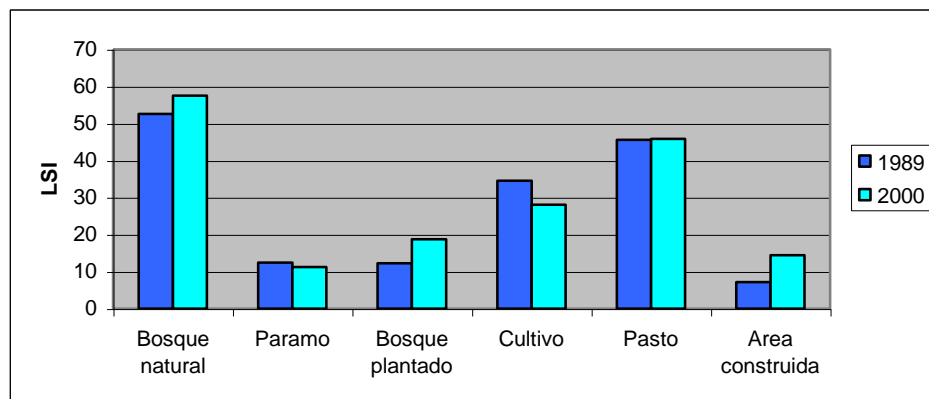
Figura 22. Índice LPI para el periodo 1989-2000 analizando imágenes Landsat TM



Índice de forma del paisaje – LSI

Para el periodo 1989-2000 los valores de forma y complejidad se incrementan para las coberturas bosque natural, bosque plantado, pastos y área construida, y se da la reducción de este índice para páramo y cultivo (Figura 23).

Figura 23. Índice LSI para el periodo 1989-2000 analizando imágenes Landsat TM



Índice de significancia del área - AREA_MN

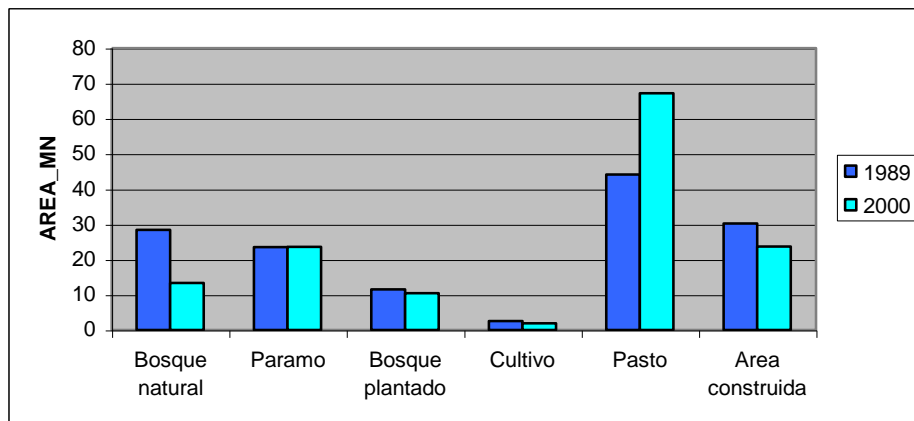
Se puede observar una reducción progresiva en la significancia del área del parche para la cobertura bosque natural resultado del incremento en el número de parches y pérdida de área, coincidiendo con resultados previos del índice LPI, resultado relevante para la fragmentación de este bosque, por estar afectado por cambios de

uso en el suelo.

Para las clases páramo, bosque plantado y cultivo no se observan cambios drásticos en este índice. Para el área construida se observa una reducción en este índice, debido básicamente al incremento en el número de parches.

Para la cobertura pastos se incrementa el tamaño, mostrando la conformación de áreas mayores y relacionadas, observándose que esta cobertura es la que domina la matriz de la parte media de la cuenca.

Figura 24 Índice AREA_MN para el periodo 1989-2000 analizando imágenes Landsat TM

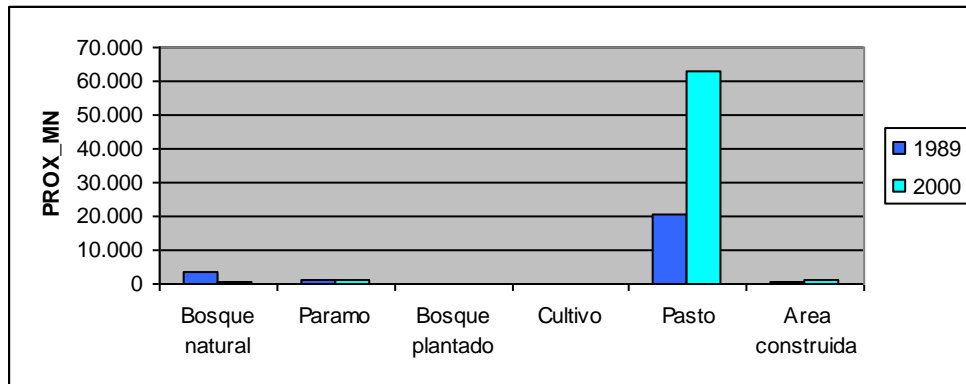


Índice de proximidad - PROX_MN

El índice de proximidad muestra una reducción significativa para la clase bosque natural a causa de las intervenciones humanas sobre la zona.

Para la clase pastos y área construida se incrementan este índice debido a que estas zonas quedan más próximas al eliminar otras coberturas. Además la clase pasto tiene el mayor valor de proximidad al ser el área que tiene mayor ocupación en la parte media de la cuenca.

Figura 25. Índice PROX_MN para el periodo 1989-2000 analizando imágenes Landsat TM



Analizando las diferentes coberturas e interrelacionando sus índices encontramos que la cobertura bosque natural presenta un proceso de fragmentación para la parte media de la cuenca del río Palacé entre los años 1989-2000 (Imágenes satelitales), ya que tuvo un incremento en el número de parches (NP) de 685 a 1204 con pérdida en la significancia del tamaño de los parches (AREA_MN) de 28.425 a 13.308, con incremento en el índice de forma del paisaje (LSI) de 52,525 a 57.451 y la reducción en la proximidad entre los parches de esta clase (PROX_MN) de 3606.769 a 709.816, produciendo un proceso de división de este bosque en pequeños parches con formas irregulares, haciéndose más propensos al efecto borde, con pérdidas de continuidad entre los parches de esta cobertura, así como la reducción significativa de esta cobertura.

La clase páramo presenta una reducción en el número de parches de 99 a 73, así como en el índice LPI y LSI; el índice de significancia en el tamaño del parche se mantiene constante, la proximidad se incrementa (PROX_MN) de 1056.307 a 1208.803, además se registra una reducción en su cobertura del 25%, esto significa que para esta cobertura han ido desapareciendo algunos parches, por lo tanto la pérdida en el área, pero al no tener segmentación del área ocupada por esta cobertura se presenta un incremento en la proximidad de los parches restantes.

Las clases bosque plantado y área construida presentaron un incremento en los valores para NP, LPI, LSI, proximidad, y áreas. Esto significa que estas áreas en el periodo de 11 años han tenido un crecimiento importante para la zona, son las clases que han reemplazado a las coberturas no intervenidas (bosque natural y páramo).

La cobertura antrópica de cultivos presenta una reducción en el área y en todos los índices NP, LPI, LSI, AREA_MN y proximidad, esto se debe básicamente a que en el transcurso de los años para esta zona, se ha reemplazado esta cobertura antrópica por otros sistemas productivos.

Por ultimo la clase pasto (matriz) la más predominante en la zona tiene un incremento en su área del 12%, en el índice LPI, índice de significancia del tamaño (Area_MN) y en la proximidad de 20593 a 62990, y una reducción en el numero de parches de 598 a 493. Esto quiere decir que la reducción en el numero de parches esta asociada al incremento en la conectividad de los parches próximos, presentando fusión en algunos, además de un incremento en su área, por lo tanto un incremento en la significancia de esta área en la zona.

Este proceso de fragmentación sobre las coberturas de la parte media ocurre en una temporalidad de 11 años y esta determinado por la mesoescala, en donde los cambios generados por los efectos de la expansión de las fronteras agropecuarias establecen las modificaciones en la estructura, composición y función de las coberturas identificadas para el área de estudio, afectando la distribución, forma y tamaño de los parches y los procesos a nivel de comunidades vegetales presentados a continuación en el análisis detallado.

9.2.2.2. Estudio de fragmentación detallado por medio del procesamiento Fotogramétrico correspondiente a la vereda Palacé. A continuación se encuentran las tablas 26 y 27 generadas a partir del análisis de fragmentación correspondiente al modelo fotogramétrico para los años de 1983 y 2007 correspondiente a una ventana en la parte media de la cuenca Palacé (municipio de Totoró), los índices calculados son:

Tabla 25. Índices de fragmentación Coberturas Vegetales identificadas a partir de procesamiento fotogramétrico en el año 1983.

Coberturas vegetales	NP	LPI	LSI	AREA_MN	PROX_MN
Bosque denso	1	6,943	7,458	84,648	0
Bosque abierto	14	43,417	26,307	38,348	15.369,73
Relicto de bosque	34	0,198	12,034	0,639	1,088
Matorral	18	0,445	8,657	0,973	51,528
Rastrojo	92	1,777	18,529	1,314	86,946
Pasto con rastrojo	35	5,004	19,409	6,689	587,943
Pasto	123	1,396	21,513	1,142	112,77
Cultivo	18	1,982	10,325	3,493	249,536

Tabla 26. Índices de fragmentación Comunidades Vegetales identificadas a partir de procesamiento fotogramétrico en el año 2007.

Coberturas vegetales	NP	LPI	LSI	AREA_MN	PROX_MN
Bosque denso	1	4,473	3,176	54,53	0
Bosque abierto	31	20,101	16,315	16,049	6.090,08
Relicto de bosque	29	0,583	9,583	0,794	0,181
Matorral	49	2,142	12,815	2,013	28,041
Rastrojo	59	1,537	12,851	2,152	1,131
Pasto con rastrojo	47	1,134	12,375	1,888	9,138
Pasto	88	5,442	17,053	2,449	55,211
Cultivo	82	1,442	13,535	1,394	19,648

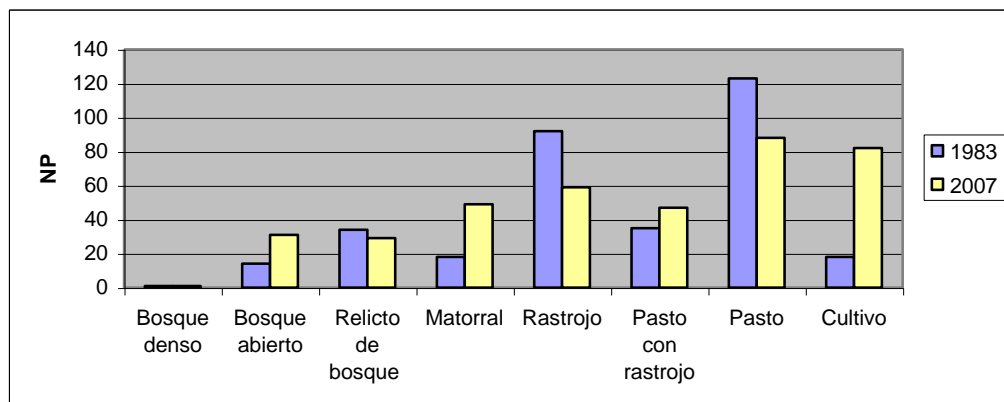
Índice Numero de Parches – NP

Para la ventana de estudio en los periodos analizados, este índice mostró variación en el número de parches, excepto para bosque denso que ha mantenido un único parche pero ha presentado reducción en su área en el lapso de tiempo considerado.

Para las clases bosque abierto y pastos con rastrojo existe un incremento en el número de parches acompañado de una reducción en el área, a diferencia de matorral y cultivo donde se ha incrementado el número de parches y han presentado ganancia de área.

Existe una reducción en el número de parches en las clases relictos de bosque, rastrojo y pastos acompañado de un incremento en el área entre el año inicial y final; lo que significa que estos fragmentos se están uniendo para formar unidades mayores. Lo anterior puede apreciarse en la figura 26.

Figura 26. Índice NP para el periodo 1983-2007 analizando fotografías aéreas.



Índice del parche mayor – LPI

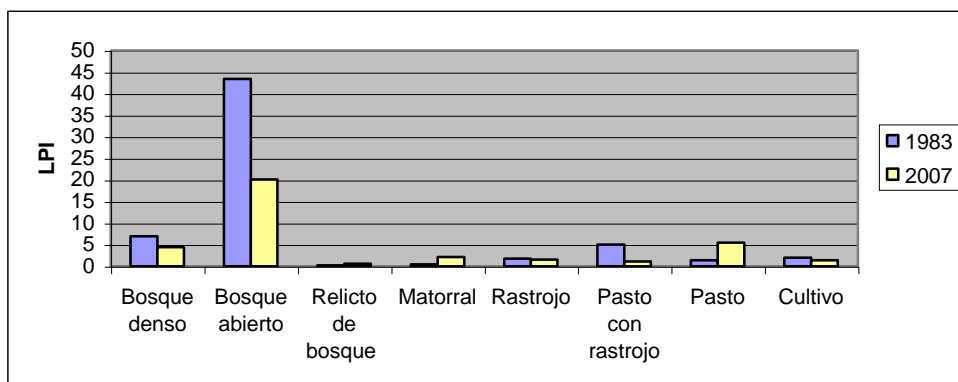
En la ventana de estudio para el periodo considerado se observa que la clase bosque abierto presenta el mayor valor para el índice de tamaño lo cual indica que es el elemento dominante en la configuración espacial del sistema, aunque ha disminuido progresivamente su área, esta clase presenta mayor representatividad en el paisaje al tener más del 40% del área total. La clase bosque denso también se caracteriza por tener el segundo valor de LPI, debido principalmente a que se conserva como un único parche.

Los pastos incrementaron el valor de este índice considerando el crecimiento en su área y la disminución en el número de parches.

Las clases rastrojo, pasto con rastrojo y cultivo reducen sus tamaños de parche, mientras que la clase relicto de bosque y matorral tienen un incremento en su tamaño, pero no son relevantes para este índice, porque no son áreas representativas de esta ventana de estudio.

Con base en los anteriores resultados las clases bosque abierto y bosque denso son las que presentan mayores tamaños como unidades, porque son las clases que mantienen una mayor representatividad en el paisaje (LPI), a pesar de mostrar una reducción progresiva en su área, producto de los cambios constantes de uso del suelo.

Figura 27. Índice LPI para el periodo 1983-2007 analizando fotografías aéreas.



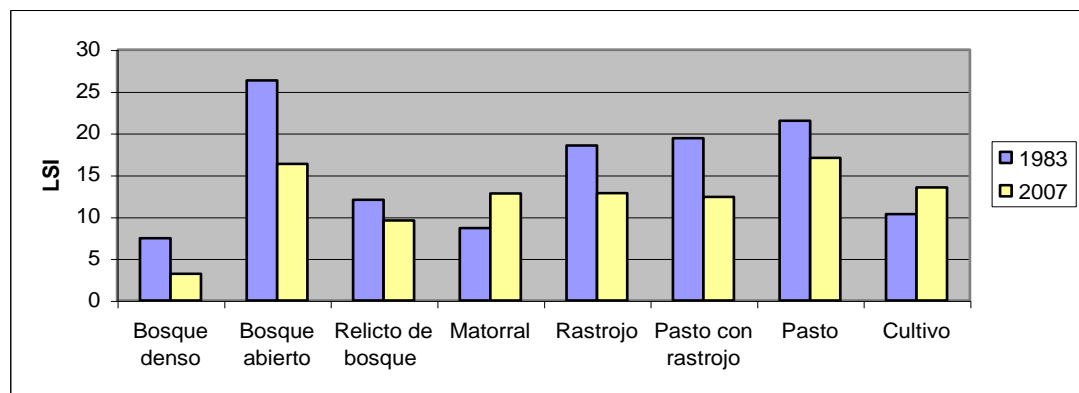
Índice de forma del paisaje – LSI

En el resultado correspondiente a este índice se observa que los valores de forma y complejidad disminuyen para la mayoría de coberturas, tanto para los bosques denso y abierto, así como para los relictos, rastrojos, pastos con rastrojo y pastos. Este índice se incrementa para la clase matorral y cultivos, esto se debe principalmente a

las configuraciones espaciales de las mismas, al estar distribuidas desagregadamente en espacios definidos.

Las clases que muestran los valores más altos en forma son bosque abierto, pasto con rastrojo, rastrojos y pastos, para los dos primeros influye sobre este resultado, la disminución en el área y el incremento en el número de parches.

Figura 28. Índice LSI para el periodo 1983-2007 analizando fotografías aéreas



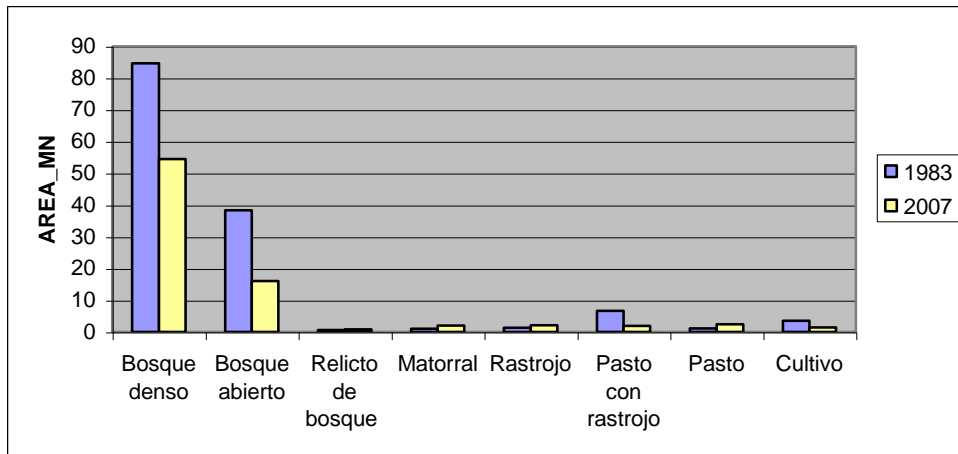
Índice de significancia del área - AREA_MN

Para la ventana de estudio se puede observar una reducción progresiva en las significancia del área de las coberturas bosque denso, bosque abierto y pasto con rastrojo. Este resultado se debe básicamente a la reducción en el área y el incremento en el número de parches, excepto para bosque denso que mantiene un solo parche.

Para las clases relicto de bosque, matorral, rastrojo y pasto se incrementa este índice, resultado del incremento en su área y en algunos la reducción en el número de parches.

Esta ventana de estudio se encuentra dominada principalmente por la clase bosque abierto.

Figura 29. Índice Area_MN para el periodo 1983-2007 analizando fotografías aéreas

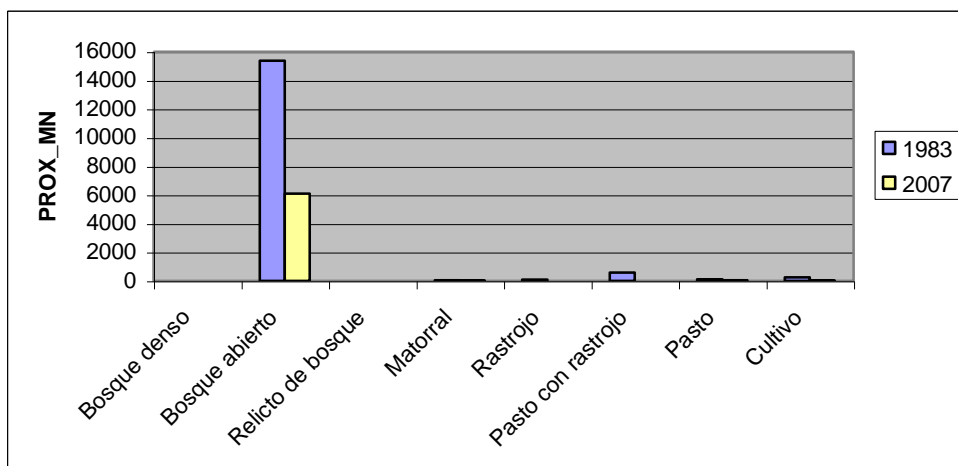


Índice de proximidad - PROX_MN

Se puede observar que la proximidad en la cobertura bosque abierto es la más representativa de la ventana de estudio debido a que ocupa la mayor área, la cual en el periodo estudiado se está reduciendo considerablemente producto de las intervenciones antrópicas.

En valores de proximidad le siguen otras coberturas como pastos, matorral y cultivos. Para el bosque denso se observa una proximidad igual a 0, al ser la clase que posee un único parche.

Figura 30. Índice PROX_MN para el periodo 1983-2007 analizando fotografías aéreas

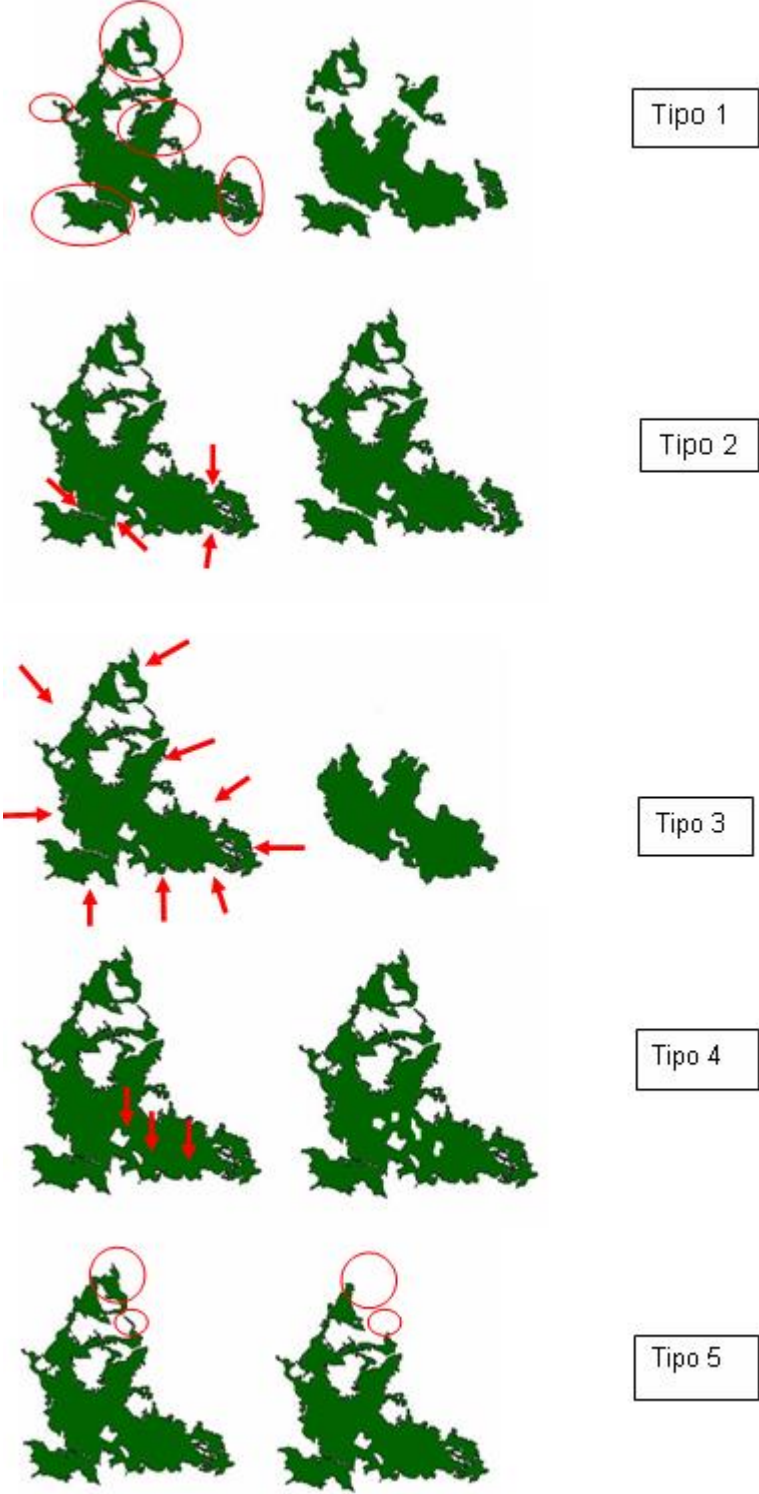


El concepto de *fragmentación* que viene aplicando en este estudio se ha definido como un proceso de transformación espacial, que se caracteriza por el incremento en los índices NP, LSI, disminución en LPI, AREA_MN, PROX y área. Este se da en ciertas coberturas de la zona pero no es el único proceso de transformación espacial presente.

Ecológicamente los diferentes procesos de transformación espacial afectan la *fragmentación del hábitat*; de acuerdo a la teoría (Forman, 1995) y lo encontrado en el análisis detallado del área de estudio, esta puede ser de diferentes formas de acuerdo al tipo de intervención: **Tipo 1** (fragmentación) resultado del rompimiento de una hábitat en pequeños parcelas; **Tipo 2** (Dissección) división o subdivisión del hábitat por líneas de un ancho igual, por ejemplo por efecto de senderos o caminos; estos procesos pueden tener efectos similares sobre el hábitat, tales como el incremento en el número de parches y en la longitud total del borde, disminución en tamaño de los parches y la conectividad; además de una pérdida y aislamiento del hábitat. **Tipo 3** (contracción), disminución en el tamaño del hábitat, se caracteriza por que no cambian el número de parches, ni la conectividad del área, pero si existe un incremento en la pérdida de hábitat, aislamiento y disminución en la longitud total del borde. **Tipo 4** (Perforación), creación de claros al interior de bosques por efecto de la tala selectiva, tiene los mismos efectos sobre el hábitat que el Tipo 4, con la diferencia de que en este hay incremento en la longitud total del borde. Por ultimo el **Tipo 5** (Desgaste), desaparición de elementos como parches o corredores que pueden tener importancia ecológica, generalmente son afectadas las áreas de menor tamaño, se caracteriza porque no existe incremento en el número de parches ni en la longitud total del borde, no hay modificación en la conectividad del área, pero existe pérdida de hábitat y aislamiento del mismo.

Teniendo en cuenta lo expuesto se hace el análisis de los diferentes tipos o formas de intervención que se encuentran en el área de estudio. Evaluando la información generada se puede afirmar que los cinco tipos de intervención pueden ser identificados en este trabajo. Esto solo es posible hacerlo cuando se lleva a cabo el análisis fotogramétrico (estudio detallado), lo anterior se puede observar en la figura 31, donde se representan los tipos de transformación espacial y fragmentación del hábitat en el área estudiada.

Figura 31. Tipos de transformación espacial y fragmentación de hábitat



En la vereda Palacé a nivel detallado, la clase bosque abierto se caracteriza por las especies *Quercus humboldtii*, *Alchornea latifolia* y *Clethra* sp1, las más densas de la zona, de alta frecuencia y cobertura (IVI). El bosque abierto presenta la mayor área de ocupación en las dos temporalidades, sin embargo se ha reducido en un 7% para el periodo 1983-2007, igual que el índice de significancia del tamaño del parche, de forma y proximidad. Además muestra un incremento en el número de parches de 14 a 31, por lo que se puede deducir que estos bosques se encuentran expuestos a continuas intervenciones de origen antrópico principalmente por la expansión de la frontera agropecuaria y tala selectiva, que han ocasionado la fragmentación espacial de esta cobertura presentándose procesos de transformación espacial tipo 1, 3-5 (Ver Figura 20 y 31), en donde sus parches remanentes están siendo diezmados y son cada vez más vulnerables a las alteraciones; esto se puede comprobar en el análisis hecho para el punto de muestreo realizado sobre esta cobertura, donde la estructura vertical y la vegetación está determinada por especies de alturas inferiores a los 11 m., correspondientes a los estratos arbustivo y arbóreo medio; y la estructura horizontal por diámetros inferiores a los 20 cm (95% de los individuos), además por efectos de tala selectiva árboles de diámetros mayores a los 40 cm han desaparecido quedando un solo ejemplar de 72,3 cm. demostrando que este bosque fue intervenido y está en un proceso de reorganización según Holling (1992) proceso más conocido como sucesión secundaria; los arbustos y árboles dominantes de esta etapa pertenecen a las familias Rubiaceae (Genero *Palicourea*), Melastomataceae (*Miconia* y *Meriania*), Myrsinaceae (*Myrsine*) y Euphorbiaceae (*Alchornea*).

El bosque denso en comparación con el bosque abierto presenta un mayor número de individuos, géneros y especies (Anexo 1 y 2), se caracteriza por tener ejemplares en todas las clases diamétricas, donde las especies de mayor porte e importancia ecológica en el punto muestreado son *Quercus humboldtii* y *Clethra* sp1. Este bosque se ha mantenido como una unidad que no presenta un proceso de fragmentación como tal, pero sí procesos de transformación tales como la disección (Tipo 2), contracción (Tipo 3) y desgaste (Tipo 5) en su área (ver figura 20 y 31), por lo tanto una reducción en área y en los valores de los índices LPI, LSI y AREA_MN como consecuencia de actividades relacionadas con la extracción, que han afectado su estructura.

Lo anterior permite colegir que este bosque a diferencia del bosque abierto está menos intervenido, debido a que los procesos culturales y la importancia que tiene el recurso hídrico para las comunidades de la zona, han permitido que este se conserve, al ser el bosque protector de la quebrada Agua Tibia afluente del río Palacé.

La clase pasto con rastrojo presenta dinámicas de cambio, esto se observa al encontrar incrementos en el número de unidades (NP), y una reducción en el valor de los índices LPI, LSI, AREA_MN y PROX_MN, hallando que estas áreas en este transcurso de tiempo se han ido fraccionando, perdiendo y reduciéndose en extensión,

esto ocurre por procesos de sucesión natural ó por cambios de uso del suelo (pastos con rastrojo a pastos ó cultivos).

Las demás clases de coberturas relicto de bosque, matorral, rastrojo, pasto y cultivo, muestran incremento en área y una gran variación en el número de parches pero sus resultados para los índices LPI, AREA_MN y PROX_MN no varían mucho, en cuanto el índice LSI presentan valores altos después de la clase bosque abierto, indicando que estas coberturas para el periodo estudiado son las zonas que soportan mayor presión de origen antrópico mostrando constantes cambios (Ver Figura 20).

9.3 IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES ANTRÓPICAS E IMPACTOS AMBIENTALES

La identificación de actividades se realizó integrando las observaciones efectuadas en los recorridos de campo, la información obtenida en el EOT del municipio de Totoró y trabajos antecedentes realizados en la zona, de igual forma se contó con la colaboración de los propietarios del área de estudio quienes relataron las dinámicas de aprovechamiento y transformación, de esta forma se caracterizaron las principales actividades que están transformando las coberturas boscosas en el área de estudio, además de ocasionar la fragmentación de la mismas.

Se encontró que las actividades que favorecen el proceso de fragmentación sobre las coberturas boscosas de la zona son la extracción de bosque y la expansión de fronteras agropecuarias, a continuación se presentan las descripciones y matrices.

1. Dentro de la **Extracción de bosque** se identificaron un conjunto de actividades que definen este tipo de intervención:
 - **Apertura de vías de acceso:** establecimiento de senderos ó caminos principalmente para la movilidad de personas para la extracción de madera.
 - **Tala selectiva:** Corte y remoción de especies con valor comercial ó de aprovechamiento, generalmente ejemplares de gran porte, por ejemplo la extracción de individuos maduros de Roble (*Quercus humboldtii*) para la producción de carbón.
 - **Transito de personas y animales:** Movilidad en el interior de los parches de bosque, para extracción de recursos y transporte de productos.
 - **Generación de productos:** Se refiere a la obtención de madera para la producción de carbón o uso domestico.

Figura 32. Extracción de bosque



Figura 33. Leña - quemas para producción de carbón



Figura 34. Tala selectiva



Tabla 27. Matriz de Fearo para la Extracción de bosque

		ACTIVIDAD	Extracción del Bosque			
			Apertura de vías de acceso	Tala selectiva (Carbon - leña)	Transito de personas y animales	Generación de productos
NO HAY IMPACTO		POSIBLES IMPACTOS				
FALTA INFORMACION	I					
EFEECTO SIGNIFICATIVO ADVERSO						
EFEECTO ADVERSO						
EFEECTO SIGNIFICATIVO BENEFICO	+					
EFEECTO BENÉFICO	*					
COMPONENTES						
ABIÓTICO	AGUA	Contaminación (emisión de gases, ruido, aporte partículas)				
		Incremento en la velocidad del viento				
	AGUA	Incremento en el material de arrastre				
		Alteración en el balance hídrico				
		Alteración de comunidades acuáticas				
		Modificación en las condiciones físico-químicas				
	SUELO	Cambios en la escorrentía				
		Pérdida, modificación de horizontes				
		Incremento procesos erosivos				
		Exposición por eliminación de coberturas				
BIÓTICO	FLORA	Alteración caract. Físicas, químicas y biológ.				
		Transformación y/o remoción de la cobertura vegetal				
		Aparición de especies invasoras				
		Perdida de hábitat natural				
		Alteración proceso sucesional.				
	FAUNA	Cambios en la estructura y composición florística				
		Alteración en la diversidad de especies				
		Modificación y pérdida de hábitat				
		Desplazamiento de especies				
BIÓTICO-ABIÓTICO	PAISAJE	Generación de parches				
		Alteración de bordes				
		Cambios en la estructura de los parches				
SOCIAL	POBLACIÓN	Autosostenimiento		+		*
		Generación de ingresos		+		*
		Contaminación				

Extracción de bosque

El proceso de extracción de algunas especies, como el roble (*Quercus humboldtii*) para producción de carbón, ejemplares de las familias Clethraceae, Myrsinaceae y Melastomataceae para uso domestico, construcción de cercas, puentes y casas de habitación,¹¹ esta ocasionando la creación de claros incrementando el efecto de borde, cambiando las condiciones microclimáticas, afectando la diversidad de especies; perdiéndose las especies susceptibles a estos cambios y favoreciendo a las especies oportunistas, alterándose el proceso de dinámica ecosistémica con modificación en la composición de especies.

Además la extracción de bosque produce cambios en la estructura del bosque al cambiar la densidad, distribución y el porte de las especies vegetales como es el caso de los bosques estudiados que se encuentran en una etapa de reorganización y se caracterizan en que aproximadamente el 90% de sus individuos están en los estratos de menor diámetro (≤ 30) y altura (< 11 cm).

La apertura de caminos y la accesibilidad a estas zonas, afecta la vegetación especialmente arbustos y árboles que son removidos ó maltratados, causando la desaparición de algunas especies vegetales; además favorece la división en parches produciendo la fragmentación de esta cobertura. La apertura de caminos también ocasiona la perdida y modificación del hábitat para muchas especies animales, además de crear barreras que impiden su desplazamiento, afectando las interacciones ecológicas y favoreciendo la perdida de algunas especies.

La tala de los bosques ocasiona la exposición del suelo a las condiciones adversas de origen eólico e hídrico, que generan la perdida y modificación de los horizontes y contribuyen a procesos erosivos, contribuyendo al aporte de material de arrastre que afecta al componente hídrico, ocasionando cambios físico-químicos del agua afectando a las comunidades acuáticas.

El paisaje se modifica al generarse parches producto de la tala selectiva y apertura de caminos, lo que genera cambios en la estructura y configuración de los parches, que afectan los componentes del ecosistema y que pueden generar procesos de fragmentación.

La población se beneficia de la extracción de madera con fines de autosostenimiento, así como la generación de ingresos producto de la producción de carbón de Roble.

2. Dentro de la **Expansión de fronteras agropecuarias** se identificaron un conjunto de actividades que definen este tipo de intervención:

¹¹ Comunicación personal con los propietarios de la zona de estudio

- **Tala:** Remoción total de áreas de bosque para establecimiento de áreas productivas.
- **Remoción de material vegetal:** retirar el material vegetal existente, ya sean pequeños arbustos y hierbas, para adecuación de la zona a cultivos.
- **Quemas:** El material vegetal que permanece después de la tala se quema para la preparación de tierras.
- **Arreglo de terrenos:** Incluyen las actividades de adecuación de suelos como roza, trazado, arado, siembra y aplicación de fertilizantes.
- **Transito de personas y animales:** Movilidad para transporte de recursos y productos.
- **Incremento de actividades económicas:** Al ampliar la zona para producción agrícola o pecuaria existen mayores productos por lo tanto incremento en la actividad económica.

Figura 35. Actividades productivas desarrolladas en la zona. a) Cultivo de Maiz b) Cultivo de Figue c) Ganadería

a)



b)



c)



Tabla 28. Matriz de Fearo para la expansión de fronteras agropecuarias

		ACTIVIDAD	Expansión de fronteras agropecuarias					
			Tala	Remoción de material	Quema	Arreglo de terrenos	Accesibilidad	Incremento actividades
NO HAY IMPACTO		POSIBLES IMPACTOS						
FALTA INFORMACION	-							
EFFECTO SIGNIFICATIVO ADVERSO								
EFFECTO ADVERSO								
EFFECTO SIGNIFICATIVO BENEFICO	+							
EFFECTO BENEFICO	*							
COMPONENTES								
ABIÓTICO	AIRE	Ruido						
		Contaminación gases						
		Incremento en la velocidad del viento						
	AGUA	Incremento en el material de arrastre						
		Alteración en el balance hídrico						
		alteración de comunidades acuáticas						
		Modificación en las condiciones fisico-quimicas						
		Cambios en la escorrentía						
		Pérdida, modificación de horizontes						
	SUELO	Incremento procesos erosivos						
		Exposición por eliminación de coberturas						
		Perdida de nutrientes y/o capacidad productiva						
Alteración caract. Físicas, químicas y biológ.								
FLORA		Transformación y/o remoción de la cobertura vegetal						
		Aparición de especies invasoras						
	perdida de hábitat natural							
FAUNA	Alteración proceso sucesional.							
	Alteración en la diversidad de especies							
	Modificación y perdida de hábitat							
BIÓTICO-ABIÓTICO	PAISAJE	Desplazamiento de especies						
		Generación de parches						
		Alteración de bordes						
SOCIAL	POBLACIÓN	Cambios en la estructura de los parches						
		Autosostenimiento	*	+	+	+	+	
		Generación de ingresos	+	+	*	*	*	
		Demanda de servicios						
		Contaminación						

Expansión de fronteras agropecuarias.

En el área de estudio las actividades agrícolas y pecuarias se basan en el cultivo de fríjol, caña, café, fique, maíz, frutales y cultivos forestales; en menor escala se dedican a la ganadería, cría de cerdos, ovejas y pollos¹².

La expansión de las fronteras agrícolas y pecuarias se realiza en detrimento de las áreas boscosas propiciando procesos de transformación al igual que de fragmentación (Figueroa., et al.1998), en donde son talados árboles y es removida la cobertura vegetal, afectando los componentes del ecosistema (vegetación, agua, suelo, aire y fauna), incrementando la incidencia de luz lo cual provoca un aumento en la temperatura del suelo, ocasionando la pérdida de humedad, reduciendo la velocidad de los procesos de descomposición, modificándose las características físicas, químicas y biológicas, así como los nutrientes.

La deforestación de amplias zonas para conversión a cultivos o potreros requiere el corte total de la vegetación; causa la pérdida de hábitat, afectando la estructura de las comunidades de plantas y animales, alterando la diversidad y favoreciendo la aparición de especies oportunistas.

La adecuación de terrenos, también tiene efectos sobre la estructura del suelo, transformar los horizontes, incrementándose el material de arrastre hacia los cuerpos de agua, alterando sus características físicas, químicas y biológicas, perturbando a las comunidades que allí habitan.

Las quemas ocasionan la pérdida total o parcial de la vegetación y de los horizontes orgánicos, modificando la incidencia de la lluvia sobre la superficie del suelo desencadenando dinámicas degradativas, cambiando la escorrentía e incrementándose el arrastre de sedimentos (Llovet, 2006), el aire es perturbado por la contaminación con los gases producidos en este proceso especialmente por el incremento en las emisiones de dióxido de carbono CO₂ a la atmósfera. El aire también es afectado por la contaminación sonora producida en el momento de la tala con motosierras.

El cambio de uso del suelo y coberturas, se ve reflejado en el patrón del paisaje, en donde se manifiesta la generación de parches remanentes, incremento de bordes y pérdidas de continuidad en los ecosistemas, que finalmente producen la fragmentación y generan cambios en las especies vegetales y animales de la zona.

La expansión de fronteras agrícolas y pecuarias ocasiona la homogenización del área intervenida, modificando el continuo original con dominancia del estrato arbóreo medio y arbustivo generando el establecimiento de una matriz de tipo herbáceo. El cambio en la estructura vertical (relación topológicas) y horizontal del paisaje

¹² Información suministrada por los propietarios de la zona mediante comunicación personal y observación en la zona.

(relaciones corológicas) conlleva a la alteración de las relaciones de competencia y ocupación de nichos producto de la pérdida de la estratificación que ofrecen las unidades de tipo arbóreo y arbustivo (diversificación del hábitat), de igual forma se reducen los flujos de energía (germoplasma, biomasa, nutrientes, entre otras) que ocurren dinámicamente entre parches o unidades adyacentes.

Como se menciona anteriormente la creación de zonas límite, donde se presenta el efecto de borde, ocasiona alteraciones de tipo microclimático modificando el gradiente de temperatura, humedad relativa y luminosidad, ofreciendo condiciones adecuadas para el establecimiento de especies oportunistas características de estas zonas de transición, ejemplo de ellas son los organismos tipo r, cuyo rápido crecimiento marca el inicio del ciclo sucesional en las comunidades vegetales; prueba de ello es que en el bosque abierto se registran familias como Cecropiaceae y Asteraceae, Melastomataceae, entre otras.

El establecimiento de cultivos forestales afecta en gran medida a las coberturas naturales al ser sustituidas por estos cultivos con fines comerciales, que afectan la fertilidad de los suelos, causando degradación en las condiciones físicas, químicas y morfológicas.

La expansión de fronteras agrícolas y pecuarias incrementa las actividades económicas beneficiando a la población de la zona, principalmente por permitir su autosostenimiento y generación de ingresos que mejoran las condiciones de calidad de vida.

10. CONCLUSIONES

El estudio de la vegetación permitió identificar a *Quercus humboldtii* como la especie de mayor importancia ecológica para el bosque abierto y denso, por tener la mayor densidad, frecuencia y cobertura de la zona, también las especies *Clethra* sp1 y *Viburnum lehmannii* con diferentes valores de importancia.

El bosque denso y el bosque abierto, se caracterizan por haber sido intervenidos, al mostrar la mayoría de individuos en los estratos más bajos (arbustivo y arbóreo inferior), evidenciando que estos bosques se encuentran en etapa de reorganización

El bosque abierto esta mas expuesto a intervenciones de tipo antrópico, principalmente por la tala selectiva de la especie *Quercus humboldtii*, que ha afectado la estructura horizontal y vertical de este bosque, al perderse los árboles de mayor porte.

Las continuas transformaciones sobre los bosques estudiados, han modificado en cierta forma la estructura y composición florística de los mismos, a pesar de que comparten un alto número de especies y tienen una distribución similar.

La información obtenida por medio de la creación de mapas de coberturas de la zona considerando los dos niveles de detalle en periodos de tiempo específicos, permiten detectar la dinámica de cambio de uso del suelo, que afecta principalmente a las coberturas boscosas, en donde la transformación de áreas esta determinada por la expansión de áreas productivas presentando como ejes de transformación los centros poblados y vías de acceso (carreteras/ caminos).

El análisis integral de los índices de fragmentación permitió identificar que los cambios de uso en el suelo, favorecen el proceso de fragmentación sobre las coberturas boscosas de la zona.

El estudio detallado permitió identificar los diferentes tipos de transformación espacial que han modificado las coberturas boscosas de la vereda Palacé, ocasionando fragmentación en el bosque abierto y deterioro del bosque denso, afectando la estructura y composición florística entre los puntos de muestreo realizados.

La fragmentación de los bosques en el área de estudio ha generado un incremento en el número de parches (NP), disminución en la conectividad de los mismos (PROX_MN) y reducción en sus áreas durante las temporalidades analizadas para los dos niveles de detalle, esto evidencia un proceso de homogenización.

La cobertura de pastos tuvo un comportamiento como matriz del paisaje en el nivel de análisis semidetallado (cuenca media río Palacé) al ser el área predominante en la zona; durante el periodo estudiado incremento su área, se redujo la cantidad de

parches y se incremento la conectividad entre los mismos, evidenciándose una dinámica de expansión mediante la ocupación de áreas de tipo natural.

A nivel detallado (vereda Palacé) para el periodo considerado, la clase bosque abierto es el elemento dominante en la configuración espacial del sistema, es la clase que tiene una mayor dinámica de cambio y soporta las mayores intervenciones de tipo antrópico.

En la vereda Palacé, para el lapso de tiempo observado, la clase pasto con rastrojo se ha incorporado progresivamente en diferentes procesos productivos limitando la capacidad de recuperación de las zonas boscosas, alterando el proceso sucesional.

La expansión de fronteras agropecuarias y la extracción de bosque son las principales actividades causantes de transformación y fragmentación de las coberturas boscosas de la parte media de la cuenca del río Palacé para los periodos analizados, estas se caracterizan por tener efectos similares sobre los componentes de este ecosistema, pero se diferencian en la magnitud, ya que se observa un mayor efecto producto de la expansión de fronteras agropecuarias.

Los cambios de uso en el suelo dependiendo de la localidad, han ocasionado procesos de fragmentación sobre las coberturas vegetales de la zona; para la parte media de la cuenca del río Palacé (análisis semidetallado) este proceso se da por la expansión de fronteras agropecuarias, mientras que para la vereda Palacé (análisis detallado) el proceso es favorecido por la extracción de bosque para uso domestico y producción de carbón vegetal.

Según los datos obtenidos se acepta la hipótesis planteada para el estudio concluyendo que las intervenciones antrópicas están generando procesos de fragmentación en el área de estudio manifiestos en la estructura y composición florística de puntos de muestreo con grados de intervención diferente.

11. RECOMENDACIONES

Tener en cuenta los resultados de este estudio como base para formular y desarrollar nuevos proyectos de investigación que permitan profundizar sobre el estado y dinámica de las coberturas boscosas de la cuenca del río Palacé.

Considerar los resultados de este trabajo de investigación por las comunidades, autoridades pertinentes y demás para efectuar procesos de ordenación territorial y/o ecosistémico. La información contenida en el presente reporte es útil para apoyar los ejercicios de ordenación de cuencas que se adelantan en la vertiente del río Palacé (POMCH), considerando su priorización por parte de la CRC y su importancia como fuente de abastecimiento para el municipio de Popayán.

El estudio semidetallado (Imágenes satelitales) de la parte media de la cuenca del río Palacé, sirve como insumo para realizar estudios puntuales en otras zonas de la misma, que permitan describir el comportamiento de las coberturas vegetales en la cuenca del río Palacé ante las diferentes intervenciones antrópicas propias de cada localidad. Esto es relevante atendiendo que la mayoría de los remanentes de áreas boscosas andinas se encuentran en esta parte de la cuenca del río Palacé.

Teniendo en cuenta los resultados de la estructura y composición florística de los parches estudiados, es viable realizar estudios espacio-temporales que permitan obtener la dinámica del comportamiento de estas comunidades vegetales, siempre que se trabajen las mismas áreas de muestreo geoposicionadas y caracterizadas en este estudio.

Para estudiar e identificar con mayor detalle los efectos del proceso de fragmentación es recomendable constituir un programa de monitoreo de las comunidades vegetales, considerando su caracterización en intervalos de tiempo definidos; para ello es necesaria la coordinación con diferentes instituciones y la inclusión de la comunidad como estrategia de educación y gestión.

Implementar en esta zona acciones de prevención y protección considerando el patrón espacial de cambio y la presión ejercida sobre las coberturas, teniendo en cuenta las coberturas fragmentadas y la pérdida de conectividad entre ellas.

BIBLIOGRAFIA

AGUILAR, R; ASHWORTH, Lorena; GALETTO, Leonardo; AIZEN, Marcelo Adrián. Plant reproductive susceptibility to habitat fragmentation: review and synthesis through a meta-analysis. En: Ecology letters. Vol.9. (2006); p. 968-980.

AIZEN, Marcelo A; ASHWORTH, Lorena and GALETTO, Leonardo. Reproductive success in fragmented habitats: do compatibility systems and pollination specialization matter? En: Journal of Vegetation Science. Vol, 13. (2002); p. 885-892.

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

ALCAZAR CAICEDO, Carolina; DIAZ IBARRA, Sandra L. y SALGADO NEGRETE, Beatriz E. Estructura y composición de un relicto de bosque subandino, Popayán, Colombia. En: Tercer Congreso Ecuatoriano de Botánica, 2002. Quito, Ecuador. La Botánica del Nuevo Milenio. Quito. Alina Freire Fierro y David A. Nelly, editores, 2002. p. 163-180.

ALVEAR, Nilza Lorena. Análisis espacio temporal del proceso de fragmentación de la vegetación en la parte media de cuenca del río Palacé, municipio de Popayán, Cauca. Popayán. 2005. Trabajo de grado (Bióloga). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación. Departamento de Biología.

ARMENTERAS, D; GAST, F. y VILLAREAL, H. Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. En: Biological Conservation 113. (2003); p. 245-256.

BASTIAN y BERNHARDT, Anthropogenic landscape changes in central Europe and the role of bioindicación. 1993. citado por: GREZ, A. y SALAZAR, A. Efectos de los patrones del uso del suelo sobre la dinámica espacio-temporal del bosque maulino de la Séptima región, Chile. Universidad de Chile Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Departamento de Biología, Cátedra de Ecología de Ambientes Fragmentados. 2005.

BELISLE, M; DESROCHERS, A y FORTÍN, M. Influence of forest cover on the movements of forest birds: a homing experiment. En: Ecology. Vol. 82, No.7, (2001); p. 1893-1904.

BOLAÑOS, G; FEUILLET, C. y CHITO, E. Composición florística de un bosque relicto en La Rejoia, Popayán. 2002. Sin publicar.

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; SIMONETTI, J; GREZ, A; SAN MARTÍN, J. Fragmentación y dinámica de regeneración del bosque Maulino: diagnóstico actual y perspectivas futuras. (2005); p.529-539.

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

CUATRECASAS, José. Aspectos de la vegetación natural de Colombia. En: Perez-Arbelaezia. Vol. 2, No. 8 (ene. – dic. 1989): p. 155-283.

CHACOFF NP., et al. Effects of fragmentation on aborted and predated seeds of Fabaceas in the Chaco Serrano. En: Biotropica. Vol.36 (2004); p. 109-117.

CHUVIECO, E. Fundamentos de teledetección espacial. 3 ed. Madrid: Ediciones Rialp. 1996.

DURÁN, R., Diversidad florística de los petenes de Campeche, En: Acta Botánica Mexicana, No. 31. (1995); p. 73-84.

ESTRADA, A, COATES-ESTRADA. R. Las selvas de Los Tuxtlas, Veracruz: ¿islas de supervivencia de la fauna silvestre. Citado por: MAS, Jean-Francois y SANDOVAL, Jorge Correa. Análisis de la fragmentación del paisaje en el área protegida "Los Petenes", Campeche, México. En: investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM Núm. 43, (2000); p. 42-59.

VELAZCO ANDRES. A. ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE TOTORO-DEPARTAMENTO DEL CAUCA. Documento técnico. Volumen II. 2002. 368 p.

ETTER, A. Caracterización ecológica de dos reservas nacionales naturales de la Amazonia Colombiana. En: Ambiente y desarrollo. (2001); p.1-18.

_____. Introducción a la Ecología del Paisaje, un marco de integración para los levantamientos rurales. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1991. 84 p.

FAHRIG, Lenore. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. En: Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. Vol. 34. (2003); p. 487-515.

FERREIRA, L.V y LAURANCE, W. Effects of forest fragmentation on mortality and damage of select trees in central Amazonia. En: Conservation Biology Vol.11.(1997).p.797-801.

FIGUEROA, A; CONTRERAS, R. y SÁNCHEZ, D. Evaluación de Impacto Ambiental, un instrumento para el desarrollo. Centro de Estudios Ambientales para el Desarrollo Regional. Cali, Colombia: Toro Corredor Editores. 1998. 175 p.

FORMAN, R.T.T. Land Mosaics: The ecology of landscape regions. New York: Cambridge University Press, 1995. 632 p.

FORMAN, R.T.T. and GODRON M. Landscape ecology. New York: John Wiley y Sons, 1986. 365p.

GARCIA, Juan. Introducción al Sistema de Información Geográfico. PROTEC: Estudio y proyectos de ingeniería. 2005. Disponible en:
<http://www.protecproyectos.com/Documents/sig.pdf>

GASCON C., LOVEJOY T, BIERREGAARD R, MALCOLM J. Matrix habitat and species richness in tropical forest remnants En: Biological Conservation. No.91 (1999); p. 223-229.

GENTRY, A. H. Diversity and floristic composition of Andean forests of Peru and adjacent countries: implications for their conservation. Memorias del Museo de Historia natural, U.N.M.S.M. (Lima), No.21.1992. p.11–29.

_____ Patterns of diversity and floristic composition in Neotropical Montane forest. Citado por: CHURCHILL, S, H. *et al.* Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forest. New York: The New York Botanical Garden, 1995. p. 103-126.

_____ Patterns of neotropical plant species diversity. En: Evol. Biol. No. 15. 1982. p. 1-84.

GIRALDO-CAÑAS, D. Estructura y composición de un bosque secundario fragmentado en la cordillera Central, Colombia. En: CHURCHILL *et al.* Biodiversity and conservation of neotropical montane forest. New York: The New York Botanical Garden, 1995. p. 159-167.

GREZ, A. y SALAZAR, A. Efectos de los patrones del uso del suelo sobre la dinámica espacio-temporal del bosque maulino de la Séptima región, Chile. Universidad de Chile Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Departamento de Biología, Cátedra de Ecología de Ambientes Fragmentados. 2005.

HANSKI, I. Metapopulation Ecology. Oxford Series in Ecology and Evolution, Oxford. 1999. Citado por: MUGICA de la GUERRA, *et al.* Integración territorial de espacios naturales protegidos y conectividad ecológica en paisajes mediterráneos. Disponible en: http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Publicaciones_Divulgacion_Y_Noticias/Documentos_Tecnicos/Integracion_y_conectividad/PDFs

HENDRESON. A., CHURCHILL. S y LUTEYN J. Neotropical plant diversity. En: Nature. Vol.352 (1991);p.21-22. Citado por: GALINDO,R., *et al.* Estructura y composición de cuatro bosques andinos del santuario de flora y fauna Guanetá-alto río Fonce Cordillera Oriental Colombiana. En: Caldasia. Vol.25.No.2 (2003); p.313-335.

HOLLING CS (1992) Cross-Scale Morphology, Geometry, and Dynamics of Ecosystems. Ecological Monographs: Vol. 62, No. 4 p. 447–502

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.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT. 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. Bogotá: IAvH, 2002. 135 p.

_____. Unidad de Sistemas de Información Geográfica, UNISIG. Los Sistemas de Información Geográfica. Disponible en: <http://www.humboldt.org.co/sig/index.html>

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Interpretación Visual de Imágenes de Sensores Remotos y su Aplicación en Levantamientos de Cobertura y Uso de la Tierra. Melo Luis H. y Camacho Milton A. Bogotá: CIAF. 2005. p. 15-18.

KATTAN, GH, ALVAREZ, H Y GIRALDO, M. Forest fragmentation and bird extinctions: San Antonio eighty years later. Citado por HERRERA, Adriana., et.al. Incidencia de la perturbación de *Eleutherodactylus* (Anura:Leptodactylidae) en un bosque nublado del suroccidente Colombiano. En: Caldasia. Vol 26, No 1 (2004);p.265-274.

LANDSBERG, J;T. O'CONNOR y FREUDENBERGER, D.1999. The Impacts of Livestock Grazing on Biodiversity in Natural Ecosystems. Pp. 752-777, *en*: H. J. Jung y G. C. Jr. Fahey (eds): Nutritional Ecology of Herbivores. Proceedings of the Vth International Symposium on the Nutrition of Herbivores. American Society of Animal Science, Citado por: *Vargas, O, Premauer J y Cárdenas C.* Efecto del pastoreo sobre la estructura de la vegetación en un paramo húmedo de Colombia. En: ECOTROPICOS 15(1):35-50 2002.

LAURANCE, W; FERREIRA, L; RANKIN-DE MERON, J. Rain forest fragmentation and the dynamics of Amazonian tree communities. En: Ecology. Vol. 79, No. 6 (1998); p. 2032-2040.

_____. Rain Forest fragmentation and the structure of amazonian liana communities En: Ecology. Vol. 82, No. 1 (2001); p. 105-116.

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

LINDENMAYER, D.B. (1994). Wildlife corridors and the mitigation of logging impacts in wood-production forests in south-eastern Australia: a review. En: Wildlife Research Vol. 21. p. 323-340.

LOVEJOY, T. E. Edge and other effects of isolation on Amazon forest fragments. 1986. Citado por SAUNDERS, D; HOBBS, R. and MARGULES, C. Biological Consequences of Ecosystem Fragmentation: A Review. En: Conservation Biology. Vol 5, N° 1(1991); p. 18-32.

LLOVET, LÓPEZ J. Degradación del suelos posterior al fuego en condiciones mediterráneas. Identificación de factores de riesgo.'Unpublished Doctoral Thesis, Departament d'Ecologia, Universitat d'Alacant, (2005).188 pp.

McGARIGAL, K. y MARKS, B.J. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 1995.

McGARIGAL, K; MARKS, B. y ENE, E. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. Programa de Ecología del Paisaje. Universidad de Massachussets. V. 3.3. 2002. Disponible en Internet<URL:<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>

MAGURRAN, A. Ecological diversity and it's measurement. New Jersey: Princeton University Press, 1988. 179 p.

MARTÍNEZ, Juan P. Estudio espacio-temporal del proceso de fragmentación en la zona nor-oriental del Parque Nacional Natural Puracé, mediante el análisis de comunidades vegetales. Popayán. 2005. 129 p. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación. Departamento de Biología.

MARTÍNEZ, J; JOAQUI, S y FIGUEROA, A. Estudio preliminar del estado de fragmentación en la parte sur del corredor biológico Munchique-Pinche, departamento del Cauca. Grupo de estudios ambientales –Universidad del Cauca. Informe Técnico.

MAS, Jean-Francois y SANDOVAL, Jorge Correa. Análisis de la fragmentación del paisaje en el área protegida "Los Petenes", Campeche, México. En: investigaciones Geográficas. Boletín del instituto de Geografía, UNAM No. 43(2000); p. 42-59.

MATTEUCCI, Silvia. Selección de métricas de configuración espacial para la regionalización de un territorio antropizado. Geofocus (Artículo) No 5(2005); p. 180-202.

_____. Ecología de paisajes, [En línea][fecha de consulta: 23 de julio]. Disponible en:<http://www.gepama.com.ar/linea-matteucci.htm>

MENDOZA, Eduardo; FAY, John y DIRZO, Rodolfo. Un análisis cuantitativo de la fragmentación de la selva de Los Tuxtlas en el sudeste de México: patrones e implicaciones para la conservación. En: Rev. chil. hist. nat. vol.78, No.3 (2005); p.451-467.

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. SUBDIRECCIÓN DE LICENCIAS. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA. Proyecto del acueducto para la zona norte y veredas Noroccidentales de Popayán río Palacé. Estudio de Impacto Ambiental. Popayán. 1998

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (IDEAM). Ecorregiones estratégicas regionales. Ecosistemas. (En línea) (fecha de consulta: Agosto 1 de 2007) Disponible en: <http://web.minambiente.gov.co/ecorre/peramb8/ecosis.htm>

MOSQUERA, Angélica M. Caracterización de dos zonas de transición, mediante el análisis de las coberturas vegetales y variables microambientales en una zona de páramo, en el sector

nororiental del parque nacional natural Puracé. Popayán 2007. Anteproyecto (Bióloga). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación. Departamento de Biología.

MUGICA de la GUERRA, et al. Integración territorial de espacios naturales protegidos y conectividad ecológica en paisajes mediterráneos. Disponible en:
http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Publicaciones_Divulgacion_Y_Noticias/Documentos_Tecnicos/Integracion_y_conectividad/PDFs

MUÑOZ, Fernando A. Evaluación de la susceptibilidad a la erosión en dos tipos de agroecosistemas alto andinos en la cuenca del río Palacé. Popayán. 2007. 86 p. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación. Departamento de Biología.

MUÑOZ, Fernando F. Caracterización, correlación y análisis multitemporales por diferentes grados de intervención antrópica en los humedales altoandinos de San Rafael y humedal de calvache situados en el parque nacional natural Puracé y su área de influencia. . Popayán 2007. Anteproyecto (Biólogo). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación. Departamento de Biología.

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

NOSS; R. F. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. En: Conservation Biology. Vol. 4, No 4. 1990 p.355-364.

PLAZAS, Jairo A. Estudio espaciotemporal del proceso de fragmentación en la subcuenca del río las Piedras. Popayán 2007. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación. Departamento de Biología.

PEREIRA y CAVALCANT. Patch size and isolation effects on epiphytic and epiphyllous bryophytes in the fragmented Brazilian Atlantic forest. En: Biological conservation, Vol. 134(2007); p.415-427.

QUATTROCHI y PELLETIER, 1991. Citado Por: MOIZO, M. La percepción remota y la tecnología SIG: una aplicación en Ecología de Paisaje. En: GeoFocus (Artículos), No 4. 2004. 24 p.

RAMÍREZ PADILLA, Bernardo. Principios y métodos en Ecología Vegetal. Universidad del Cauca. Popayán. Junio 1995.

RANGEL, J. O. y VELAZQUEZ, A. Métodos de estudio de la vegetación. En: RANGEL, J. O; LOWY-C, P. y AGUILAR PUENTES, M. Colombia Diversidad Biótica II: Tipos de vegetación en Colombia. Bogotá: Instituto de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, 1997. p. 59-88.

RANGEL, Orlando. Colombia Diversidad Biótica III: la Región de la Vida Paramuna. Bogotá: Unibiblos, 2000. p.902.

RUTLEDGE, Daniel. Landscape indices as measures of the effects of fragmentation: can pattern reflect process? En: Doc Science Internal Series. Wellington, New Zelanda: Department of Conservation, No. 98. 2003. 27 p. 7

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.

SAUNDERS, D; HOBBS, R. and MARGULES, C. Biological Consequences of Ecosystem Fragmentation: A Review. En: *Conservation Biology*. Vol 5, N° 1(1991); p. 18-32.

TANDIOY, William. Análisis comparativo de los patrones de cambio naturales y antrópicos en un ecosistema altoandino. Popayán 2007. Trabajo de Grado (Biólogo). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación. Departamento de Biología.

TOCKNER, K; WARD. J; ARSCOTT D. B y CLARETE, C. Citado por: RODRÍGUEZ, Militza y ROSALES, Judith. Cobertura de la tierra, usos asociados y análisis de paisaje en el corredor ribereño bajo Orinoco. En: Memorias del Congreso de Geografía, (Noviembre 2004).Universidad Nacional Experimental de Guayana (UNEG).Centro de Investigaciones Ecológicas de Guayana, (2002).p.13.

TORRES, Jairo Pérez y AHUMADA, Jorge A. Murciélagos en bosques alto-andinos, Fragmentados y continuos, en el sector Occidental de la sabana de Bogotá (Colombia). En: *Universitas Scientiarum*. Vol. 9, (2004); p 33-46.

TURNER, M. Spatial and temporal analysis of landscape patterns. En: *Landscape Ecol*, Vol 4, No1.(1990); p.21-30.

TURNER. M, Loss in Fragments of tropical Rain Forest: A review of the Evidence En:The *Journal of Applied Ecology*, Vol. 33, No. 2 (Apr., 1996); p. 200-209 .

VILLARREAL, H., *et al.* 2004. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de inventarios de biodiversidad. Bogota, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 236 p.

WIENS, J.A. y MILNE, B.T. Scaling of 'landscapes' in landscape ecology, or, landscape ecology from a beetle's perspective. En: *Landscape Ecology*, Vol.3, No2 (1989); p. 87-96.

WILLIAMS, W; MANSON, R; SUNZA, E. Fragmentación del bosque mesófilo y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México. En: *Madera y Bosques* Vol.8 No.1. (2002); p.73-89.

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: Laboratorio de Investigaciones Ecológicas de Las Yungas. 1999.

ANEXOS

Anexo 1. Listado general de la flora censada en un área de 0.1 ha del Bosque denso

Familia	Nombre específico	Número de colección	
<i>Actinidaceae</i>	<i>Saurauia scabra</i> (Kunth) D. Dietr	MCOD	1
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Toxicodendrum striatum</i> (Ruiz & Pav.) Kuntze	MCOD	2
<i>Annonaceae</i>	<i>Guatteria goudotiana</i> Triana & Planch.	MCOD	3
	<i>Guatteria</i> sp1	MCOD	
<i>Aquifoliaceae</i>	<i>Ilex laurina</i> Kunth	MCOD	5
<i>Asteraceae</i>	<i>Ageratina popayanensis</i> (Hieron.) R.M. King & H. Rob.	MCOD	6
	<i>Calea colombiana</i> Gand.	MCOD	7
	<i>Condylopodium cuatrecasii</i> R.M. King & H. Rob.	MCOD	8
	<i>Lepidaploa lehmannii</i> (Hieron.) H. Rob.	MCOD	9
<i>Boraginaceae</i>	<i>Cordia resinosa</i> J. Estrada	MCOD	10
<i>Caprifoliaceae</i>	<i>Viburnum lehmannii</i> Killip & Smith	MCOD	11
<i>Chloranthaceae</i>	<i>Hedyosmum bonplandianum</i> Kunth	MCOD	12
<i>Clethraceae</i>	<i>Clethra</i> sp1	MCOD	
<i>Clusiaceae</i>	<i>Clusia colombiana</i> Pipoly	MCOD	13
	<i>Clusia ellipticifolia</i> Cuatrec.	MCOD	14
	<i>Vismia lauriformis</i> (Lam.) Choisy	MCOD	15
<i>Cunoniaceae</i>	<i>Weinmannia pubescens</i> Kunth	MCOD	16
<i>Cyatheaceae</i>	<i>Cyathea divergens</i> Kunze	MCOD	17
<i>Ericaceae</i>	<i>Bejaria mathewsii</i> Fielding & Gardner	MCOD	18
<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Acalypha macrostachya</i> Jacq	MCOD	19
	<i>Alchornea latifolia</i> Sw.	MCOD	20
	<i>Hyeronima oblonga</i> (Tul.) Müll. Arg.	MCOD	21
<i>Fagaceae</i>	<i>Quercus humboldtii</i> Bonpl.	MCOD	22
<i>Gesneriaceae</i>	<i>Besleria solanoides</i> Kunth	MCOD	23
<i>Lauraceae</i>	<i>Nectandra lineata</i> (Kunth) Rohwer	MCOD	25
<i>Melastomataceae</i>	<i>Meriania speciosa</i> (Bonpl.) Naudin	MCOD	26
	<i>Meriania splendens</i> Triana	MCOD	27
	<i>Miconia caudata</i> (Bonpl.) DC.	MCOD	28
	<i>Miconia</i> sp1	MCOD	
	<i>Miconia versicolor</i> Naudin	MCOD	29
<i>Mimosaceae</i>	<i>Abarema lehmannii</i> (Britton & Rose ex Britton & Killip) Barneby & J.W. Grimes	MCOD	30
<i>Myrsinaceae</i>	<i>Ardisia</i> sp1	MCOD	
	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult.	MCOD	31
	<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	MCOD	33
<i>Myrtaceae</i>	<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston	MCOD	34
<i>Piperaceae</i>	<i>Piper aequale</i> Vahl	MCOD	36
	<i>Piper catripense</i> Yunck	MCOD	37

	<i>Piper crassinervium</i> Kunth	MCOD	38
	<i>Piper lacunosum</i> Kunth	MCOD	39
<i>Rhamnaceae</i>	<i>Rhamnus sphaerosperma</i> Sw.	MCOD	41
<i>Rubiaceae</i>	<i>Cinchona pubescens</i> Vahl	MCOD	43
	<i>Elaeagia myriantha</i> (Standl.) C.M. Taylor & Hammel	MCOD	44
	<i>Palicourea angustifolia</i> Kunth	MCOD	45
	<i>Palicourea heterochroma</i> K. Schum & K.Krause	MCOD	46
	<i>Posoqueria coriacea</i> M. Martens & Galeotti	MCOD	47
<i>Sapindaceae</i>	<i>Cupania americana</i> L.	MCOD	48
<i>Verbenaceae</i>	<i>Duranta coriacea</i> Hayek	MCOD	49

Anexo 2. Listado general de la flora censada en un área de 0.1 ha del Bosque abierto

Familia	Nombre específico	Número de colección	
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Saurauia scabra</i> (Kunth) D. Diertr	MCOD	1
<i>Annonaceae</i>	<i>Guatteria goudotiana</i> Triana & Planch.	MCOD	3
<i>Aquifoliaceae</i>	<i>Ilex laurina</i> Kunth	MCOD	5
	<i>Ilex</i> sp2	MCOD	
<i>Asteraceae</i>	<i>Ageratina popayanensis</i> (Hieron.) R.M. King & H. Rob.	MCOD	6
	<i>Calea colombiana</i> Gand.	MCOD	7
	<i>Condylopodium cuatrecasarii</i> R.M. King & H. Rob.	MCOD	8
	<i>Lepidaploa lehmannii</i> (Hieron.) H. Rob.	MCOD	9
<i>Boraginacea</i>	<i>Cordia resinosa</i> J. Estrada	MCOD	10
<i>Caprifoliaceae</i>	<i>Viburnum lehmanii</i> Killip & Smith	MCOD	11
<i>Cecropiaceae</i>	<i>Cecropia</i> sp1	MCOD	
<i>Chloranthaceae</i>	<i>Hedyosmum bonplandianum</i> Kunth	MCOD	12
<i>Clethraceae</i>	<i>Clethra</i> sp1	MCOD	
<i>Clusiaceae</i>	<i>Clusia ellipticifolia</i> Cuatrec.	MCOD	14
	<i>Vismia lauriformis</i> (Lam.) Choisy	MCOD	15
	<i>Vismia</i> sp1	MCOD	
<i>Ericaceae</i>	<i>Bejaria mathewsii</i> Fielding & Gardner	MCOD	18
<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Acalypha macrostachya</i> Jacq	MCOD	19
	<i>Acalypha</i> sp1	MCOD	
	<i>Alchornea latifolia</i> Sw.	MCOD	20
<i>Fagaceae</i>	<i>Quercus humboldtii</i> Bonpl.	MCOD	22
<i>Grosulariaceae</i>	<i>Phyllonoma ruscifolia</i> Will ex Roem&Schult	MCOD	24
<i>Lauraceae</i>	<i>Nectandra</i>	MCOD	
	<i>Persea</i> sp1	MCOD	
<i>Melastomataceae</i>	<i>Meriania speciosa</i> (Bonpl.) Naudin	MCOD	26
	<i>Miconia caudata</i> (Bonpl.) DC.	MCOD	28
	<i>Miconia</i> sp1	MCOD	
<i>Mimosaceae</i>	<i>Inga densiflora</i> Benth.	MCOD	32
<i>Myrsinaceae</i>	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult.	MCOD	31
	<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	MCOD	33
<i>Pacifloraceae</i>	<i>Passiflora cf.emarginata</i>	MCOD	35
<i>Piperaceae</i>	<i>Piper phytolaccifolium</i> Opiz	MCOD	40
<i>Rhamnaceae</i>	<i>Rhamnus sphaerosperma</i> Sw.	MCOD	41
<i>Rosaceae</i>	<i>Rubus adenotrichos</i> Schltldl.	MCOD	42
<i>Rubiaceae</i>	<i>Cinchona pubescens</i> Vahl	MCOD	43
	<i>Elaeagia myriantha</i> (Standl.) C.M. Taylor & Hammel	MCOD	44
	<i>Palicourea angustifolia</i> Kunth	MCOD	45
	<i>Palicourea heterochroma</i> K. Schum & K.Krause	MCOD	46
<i>Sapindaceae</i>	<i>Cupania americana</i> L.	MCOD	48
<i>Verbenaceae</i>	<i>Duranta coriacea</i> Hayek	MCOD	49
<i>Zingiberaceae</i>	<i>Hedychium coronarium</i> J. König	MCOD	50

Anexo 3. Parámetros estructurales calculados por especie (Bosque denso)

Nombre específico	Numero de individuos	Area basal	Dr	Fr	Dor	IVI
<i>Quercus humboldtii</i> Bonpl.	287	101650,91	0,26549	0,06452	0,78152	1,11153
<i>Clethra</i> sp1	82	7734,84	0,07586	0,06452	0,05947	0,19984
<i>Palicourea angustifolia</i> Kunth	90	1566,5	0,08326	0,06452	0,01204	0,15982
<i>Palicourea heterochroma</i> K. Schum & K.Krause	102	1221,12	0,09436	0,04516	0,00939	0,14891
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult.	65	1103,12	0,06013	0,05806	0,00848	0,12668
<i>Vismia lauriformis</i> (Lam.) Choisy	65	1866,12	0,06013	0,05161	0,01435	0,12609
<i>Viburnum lehmanii</i> Killip & Smith	55	930,34	0,05088	0,05806	0,00715	0,1161
<i>Ageratina popayanensis</i> (Hieron.) R.M. King & H. Rob.	76	581,49	0,07031	0,03871	0,00447	0,11349
<i>Miconia</i> sp1	52	1326,12	0,0481	0,03226	0,0102	0,09056
<i>Miconia caudata</i> (Bonpl.) DC.	39	629,22	0,03608	0,04516	0,00484	0,08608
<i>Clusia ellipticifolia</i> Cuatrec.	26	1044,81	0,02405	0,04516	0,00803	0,07725
<i>Bejaria mathewsii</i> Fielding & Gardner	13	373,06	0,01203	0,04516	0,00287	0,06006
<i>Meriania speciosa</i> (Bonpl.) Naudin	17	96,11	0,01573	0,03226	0,00074	0,04872
<i>Ilex laurina</i> Kunth	6	2730,79	0,00555	0,0129	0,021	0,03945
<i>Hedyosmum bonplandianum</i> Kunth	4	3469,46	0,0037	0,00645	0,02667	0,03683
<i>Piper crassinervium</i> Kunth	15	221,14	0,01388	0,01935	0,0017	0,03493
<i>Toxicodendrum striatum</i> (R&P) Kuntz	7	145,7	0,00648	0,02581	0,00112	0,0334
<i>Duranta coriacea</i> Hayek	3	675,13	0,00278	0,01935	0,00519	0,02732
<i>Cupania americana</i> L.	5	365,09	0,00463	0,01935	0,00281	0,02679
<i>Rhamnus sphaerosperma</i> Sw.	6	67,97	0,00555	0,01935	0,00052	0,02543
<i>Calea colombiana</i> Gand.	3	405,61	0,00278	0,01935	0,00312	0,02525
<i>Nectandra lineata</i> (Kunth) Rohwer	7	375,99	0,00648	0,0129	0,00289	0,02227
<i>Condylopodium cuatrecasii</i> R.M. King & H. Rob.	6	21,36	0,00555	0,0129	0,00016	0,01862
<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	4	86,23	0,0037	0,0129	0,00066	0,01727
<i>Cinchona pubescens</i> Vahl	4	42,16	0,0037	0,0129	0,00032	0,01693
<i>Clusia colombiana</i> Pipoly	3	26,13	0,00278	0,0129	0,0002	0,01588
<i>Piper aequale</i> Vahl	3	2,13	0,00278	0,0129	0,00002	0,01569
<i>Posoqueria coriacea</i> M. Martens & Galeotti	2	101,05	0,00185	0,0129	0,00078	0,01553
<i>Saurauia scabra</i> (Kunth) D. Diertr	2	752,18	0,00185	0,00645	0,00578	0,01408
<i>Miconia versicolor</i>	5	6,59	0,00463	0,00645	0,00005	0,01113
<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston	4	30,26	0,0037	0,00645	0,00023	0,01038
<i>Acalypha macrostachya</i> Jacq	3	56,79	0,00278	0,00645	0,00044	0,00966
<i>Cyathea divergens</i> Kunze	2	85,42	0,00185	0,00645	0,00066	0,00896
<i>Elaeagia myriantha</i> (Standl.) C.M. Taylor & Hammel	2	30,68	0,00185	0,00645	0,00024	0,00854
<i>Piper lacunosum</i> Kunth	2	13,86	0,00185	0,00645	0,00011	0,00841
<i>Guatteria</i> sp1	2	4,78	0,00185	0,00645	0,00004	0,00834

<i>Piper catripense</i> Yunck	2	5,21	0,00185	0,00645	0,00004	0,00834
<i>Meriania splendens</i> Triana	1	122,64	0,00093	0,00645	0,00094	0,00832
<i>Abarema lehmannii</i> (Britton & Rose ex Britton & Killip) Barneby & J.W. Grimes	1	53,4	0,00093	0,00645	0,00041	0,00779
<i>Alchornea latifolia</i> Sw.	1	14,83	0,00093	0,00645	0,00011	0,00749
<i>Guatteria goudotiana</i> Triana & Planch.	1	13,15	0,00093	0,00645	0,0001	0,00748
<i>Weimannia pubescens</i> Kunth	1	12,94	0,00093	0,00645	0,0001	0,00748
<i>Cordia resinosa</i> J. Estrada	1	5,06	0,00093	0,00645	0,00004	0,00742
<i>Besleria solanoides</i> Kunth	1	4,36	0,00093	0,00645	0,00003	0,00741
<i>Hyeronima oblonga</i> (Tul.) Müll. Arg.	1	3,34	0,00093	0,00645	0,00003	0,0074
<i>Ardisia</i> sp1	1	1,46	0,00093	0,00645	0,00001	0,00739
<i>Lepidaploa lehmannii</i> (Hieron.) H. Rob.	1	1,02	0,00093	0,00645	0,00001	0,00738
Total	1081		1	1	1	3

Anexo 4. Parámetros estructurales calculados por especie (Bosque abierto)

Nombre específico	# individuos	Área basal	Dr	Fr	Dor	IVI
<i>Quercus humboldtii</i> Bonpl.	270	51284,61	0,35019	0,07246	0,76825	1,19090
<i>Alchornea latifolia</i> Sw.	76	3031,69	0,09857	0,05072	0,04541	0,19471
<i>Clethra</i> sp1	45	2355,16	0,05837	0,05797	0,03528	0,15162
<i>Miconia caudata</i> (Bonpl.) DC.	37	2193,02	0,04799	0,05797	0,03285	0,13881
<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	44	652,62	0,05707	0,06522	0,00978	0,13206
<i>Viburnum lehmannii</i> Killip & Smith	28	391,08	0,03632	0,05797	0,00586	0,10015
<i>Meriania speciosa</i> (Bonpl.) Naudin	30	955,67	0,03891	0,04348	0,01432	0,09670
<i>Palicourea angustifolia</i> Kunth	31	794,81	0,04021	0,02899	0,01191	0,08110
<i>Clusia ellipticifolia</i> Cuatrec.	28	477,36	0,03632	0,03623	0,00715	0,07970
<i>Vismia lauriformis</i> (Lam.) Choisy	19	434,19	0,02464	0,04348	0,0065	0,07463
<i>Hedyosmum bonplandianum</i> Kunth	26	366,09	0,03372	0,02899	0,00548	0,06819
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult.	19	202,81	0,02464	0,03623	0,00304	0,06391
<i>Duranta coriacea</i> Hayek	8	704,24	0,01038	0,03623	0,01055	0,05716
<i>Palicourea heterochroma</i> K. Schum & K. Krause	11	271,89	0,01427	0,03623	0,00407	0,05457
<i>Rhamnus sphaerosperma</i> Sw.	4	1176,3	0,00519	0,02899	0,01762	0,05179
<i>Saurauia scabra</i> (Kunth) D. Dietr	8	220,47	0,01038	0,02899	0,0033	0,04266
<i>Bejaria mathewsii</i> Fielding & Gardner	7	156,98	0,00908	0,02899	0,00235	0,04042
<i>Phyllomona ruscifolia</i> Will ex Roem&Schult	9	306,42	0,01167	0,01449	0,00459	0,03076
<i>Guatteria goudotiana</i> Triana & Planch.	5	107,49	0,00649	0,02174	0,00161	0,02983
<i>Condylopodium cuatrecasasii</i> R.M. King & H. Rob.	10	22,1	0,01297	0,01449	0,00033	0,02779
<i>Lepidaploa lehmannii</i> (Hieron.) H. Rob.	4	27,71	0,00519	0,02174	0,00042	0,02734
<i>Cupania americana</i> L.	13	81,12	0,01686	0,00725	0,00122	0,02532

<i>Acalypha macrostachya</i> Jacq	6	11,18	0,00778	0,01449	0,00017	0,02244
<i>Ageratina popayanensis</i> (Hieron.) R.M. King & H. Rob.	3	64,22	0,00389	0,01449	0,00096	0,01935
<i>Miconia</i> sp1	3	38,78	0,00389	0,01449	0,00058	0,01896
<i>Calea colombiana</i> Gand.	2	66,74	0,00259	0,01449	0,001	0,01809
<i>Ilex laurina</i> Kunth	2	35,26	0,00259	0,01449	0,00053	0,01761
<i>Cinchona pubescens</i> Vahl	2	1,65	0,00259	0,01449	0,00002	0,01711
<i>Passiflora cf.emarginata</i> Bonpl	4	128,34	0,00519	0,00725	0,00192	0,01436
<i>Elaeagia myriantha</i> (Standl.) C.M. Taylor & Hammel	3	69,83	0,00389	0,00725	0,00105	0,01218
<i>Cordia resinosa</i> J. Estrada	2	18,74	0,00259	0,00725	0,00028	0,01012
<i>Piper phytolaccifolium</i> Opiz	2	14,38	0,00259	0,00725	0,00022	0,01006
<i>Nectandra</i>	2	7,68	0,00259	0,00725	0,00012	0,00996
<i>Persea</i> sp1	1	45,88	0,0013	0,00725	0,00069	0,00923
<i>Vismia</i> sp1	1	28,52	0,0013	0,00725	0,00043	0,00897
<i>Cecropia</i> sp1	1	2,38	0,0013	0,00725	0,00004	0,00858
<i>Acalypha</i> sp1	1	2,22	0,0013	0,00725	0,00003	0,00858
<i>Ilex</i> sp2	1	1,6	0,0013	0,00725	0,00002	0,00857
<i>Inga densiflora</i> Benth.	1	1,98	0,0013	0,00725	0,00003	0,00857
<i>Hedychium coronarium</i> J. König	1	1,46	0,0013	0,00725	0,00002	0,00857
<i>Rubus adenotrichos</i> Schltld.	1	0,81	0,0013	0,00725	0,00001	0,00856
Total	771		1	1	1	3

Anexo 5. Parámetros estructurales calculados por familia (Bosque denso)

Familia	Dr	Dor	Dir	IVF
Fagaceae	0,265	0,782	0,021	1,068
Rubiaceae	0,185	0,023	0,106	0,314
Melastomataceae	0,105	0,017	0,106	0,229
Clusiaceae	0,087	0,023	0,064	0,173
Asteraceae	0,080	0,008	0,085	0,172
Clethraceae	0,076	0,059	0,021	0,157
Myrsinaceae	0,065	0,009	0,064	0,138
Piperaceae	0,020	0,002	0,085	0,107
Caprifoliaceae	0,051	0,007	0,021	0,079
Euphorbiaceae	0,005	0,001	0,064	0,069
Loranthaceae	0,004	0,027	0,021	0,052
Aquifoliaceae	0,006	0,021	0,021	0,048
Annonaceae	0,003	0,000	0,043	0,045
Ericaceae	0,012	0,003	0,021	0,036
Lauraceae	0,006	0,003	0,021	0,031
Verbenaceae	0,003	0,005	0,021	0,029
Actinidaceae	0,002	0,006	0,021	0,029

Anacardiaceae	0,006	0,001	0,021	0,029
Sapindaceae	0,005	0,003	0,021	0,029
Rhamnaceae	0,006	0,001	0,021	0,027
Myrtaceae	0,004	0,000	0,021	0,025
Cyatheaceae	0,002	0,001	0,021	0,024
Mimosaceae	0,001	0,000	0,021	0,023
Cunoniaceae	0,001	0,000	0,021	0,022
Boraginaceae	0,001	0,000	0,021	0,022
Gesneriaceae	0,001	0,000	0,021	0,022
Total	1	1	1	3

Anexo 6 . Parámetros estructurales calculados por familia (Bosque abierto).

Familia	Dr	Dor	Dir	IVF
Fagaceae	0,3502	0,7682	0,0244	1,143
Euphorbiaceae	0,0441	0,0066	0,0732	0,124
Melastomataceae	0,1284	0,0479	0,0732	0,249
Rubiaceae	0,0195	0,0030	0,0976	0,120
Myrsinaceae	0,0104	0,0028	0,0488	0,062
Clusiaceae	0,0713	0,0114	0,0488	0,131
Asteraceae	0,0454	0,0066	0,0976	0,150
Clethraceae	0,0584	0,0353	0,0244	0,118
Caprifoliaceae	0,0363	0,0059	0,0244	0,067
Chloranthaceae	0,0337	0,0055	0,0244	0,064
Lauraceae	0,0999	0,0454	0,0488	0,194
Aquifoliaceae	0,0921	0,0408	0,0488	0,182
Rhamnaceae	0,0052	0,0176	0,0244	0,047
Verbenaceae	0,0104	0,0105	0,0244	0,045
Sapinadaceae	0,0169	0,0012	0,0244	0,042
Boraginaceae	0,0169	0,0003	0,0244	0,042
Grosulariaceae	0,0117	0,0046	0,0244	0,041
Anacardiaceae	0,0104	0,0033	0,0244	0,038
Ericaceae	0,0091	0,0024	0,0244	0,036
Annonaceae	0,0065	0,0016	0,0244	0,032
Pacifloraceae	0,0052	0,0019	0,0244	0,032
Piperaceae	0,0026	0,0002	0,0244	0,027
Cecropiaceae	0,0013	0,0000	0,0244	0,026
Mimosaceae	0,0013	0,0000	0,0244	0,026
Zingiberaceae	0,0013	0,0000	0,0244	0,026
Rosaceae	0,0013	0,0000	0,0244	0,026
Total	1	1	1	3