

**EVALUACIÓN DEL GRADO DE FRAGMENTACIÓN DE UN ÁREA DE BOSQUE
ANDINO, PREDIO CASCADAS DEL PUCARÁ, MUNICIPIO DE QUETAME-
CUNDINAMARCA**



LAURA ALEJANDRA ROJAS DE LOS RÍOS



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO
2019**

Evaluación del grado de fragmentación bosque Andino

**EVALUACIÓN DEL GRADO DE FRAGMENTACIÓN DE UN ÁREA DE BOSQUE
ANDINO, PREDIO CASCADAS DEL PUCARÁ, MUNICIPIO DE QUETAME-
CUNDINAMARCA**

LAURA ALEJANDRA ROJAS DE LOS RÍOS

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniera Ambiental

Asesor

RODRIGO ISAAC VELOSA CAICEDO

Biólogo M.Sc. in Wildlife Resource

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO**

2019

Evaluación del grado de fragmentación bosque Andino

AUTORIDADES ACADÉMICAS

P. JUAN UBALDO LÓPEZ SALAMANCA, OP.

Rector General

P. MAURICIO ANTONIO CORTES GALLEGO, O.P.

Vicerrector Académico General

P. JOSE ARTURO RESTREPO RESTREPO, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. RODRIGO GARCIA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana de la Facultad de Ingeniería Ambiental

Evaluación del grado de fragmentación bosque Andino

NOTA DE ACEPTACIÓN

NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana de Facultad

RODRIGO ISAAC VELOSA CAICEDO

Director Trabajo de Grado

FIRMA NOMBRE

Jurado

FIRMA NOMBRE

Jurado

Evaluación del grado de fragmentación bosque Andino

Dedicatoria

A Dios por permitirme llegar hasta este punto, por poner en mi camino personas maravillosas que me brindaron su amor y apoyo incondicional durante este proceso, a mis padres por creer siempre en mí, por todo el amor, el esfuerzo, gracias a ellos he podido sacar mi carrera adelante, todo lo que soy, se lo debo a Dios y a mis padres

Evaluación del grado de fragmentación bosque Andino

Agradecimientos

Quiero agradecerle a mis padres y a mi hermanita Isabela, por estar siempre conmigo, por todo el apoyo durante este proceso de formación, son el motor de mi vida.

A mi director de trabajo, Biólogo M.Sc. Rodrigo Isaac Velosa Caicedo, por el acompañamiento y los conocimientos brindados en el desarrollo de este proyecto.

A la decana de la facultad, por todos los conocimientos ofrecidos en este trabajo de grado, agradecer también al profesor Jorge Pardo por el apoyo en este proyecto.

Muchas gracias a todas las personas que me apoyaron en cada proceso de mi trabajo de grado, a la Alcaldía de Quetame Cundinamarca, por toda la ayuda ofrecida en el desarrollo de este.

Gracias a todos los profesores de la facultad de ingeniería ambiental por los conocimientos y acompañamiento en el transcurso de estos años.

Evaluación del grado de fragmentación bosque Andino

Tabla de contenido

	Pág.
Resumen.....	1
Abstract.....	2
1. Introducción.....	3
2. Planteamiento problema.....	5
2.2. Hipótesis.....	6
3. Objetivos.....	7
3.1. Objetivo General.....	7
3.2. Objetivos Específicos.....	7
4. Justificación.....	8
5. Alcance.....	9
5.1. Limitaciones.....	10
6. Antecedentes.....	11
7. Marco de referencia.....	13
7.1. Pérdida de hábitat.....	13
7.2. Restauración ecológica.....	15
7.3. Fragmentación.....	15
7.4. Bosques Andinos.....	16
7.5. Diversidad de especies.....	16
7.6. Índices de forma.....	16
7.6.1. Índice de forma de Patton.....	17
7.6.2. Índice de compactación.....	17
7.6.3. Índice de continuidad.....	18
7.7. Variables de vegetación para medir la diversidad de especies.....	18
7.7.1. Diversidad Alfa.....	19
7.7.2. Índice de margalef (Dmg).....	19

Evaluación del grado de fragmentación bosque Andino

7.7.3.	Índice de Menhinick	20
7.7.4.	Índice de Simpson (λ)	20
7.7.5.	Índice de Shannon-wiener (H')	21
7.7.6.	Índice de Chao-1	21
7.7.7.	Números de diversidad de Hill	22
7.7.8.	Curvas de acumulación de especies.....	22
7.7.9.	Curvas de rango-abundancia	23
7.7.10.	Índice de equidad de Pielou	23
7.8.	Índice de similitud de Jaccard (Coeficiente de similitud I_j)	23
7.9.	Análisis de Correspondencia Simplificado (Detrended)-DCA	24
7.10.	Marco Legal:.....	24
8.	Metodología	27
8.1.	Área de estudio	27
8.2.	Fase 1: Métricas de paisaje.....	28
8.3.	Fase 2: Métricas de diversidad de especies	29
8.4.	Fase 3: Análisis de paisaje y de parcela	30
9.	Resultados	31
9.1	Fragmentación a escala paisaje	31
9.1.1.	Comparación de fotografía aérea en 3 temporalidades	31
9.1.2.	Cambios en las coberturas vegetales de los fragmentos en 3 temporalidades.....	32
9.1.3	Cambios en los Índices de fragmentación en 3 temporalidades	34
9.2	Fragmentación a escala parcela	36
9.2.1	Composición de la vegetación	36
9.2.2.	Diversidad beta.....	39
9.2.3.	Diversidad alfa	40
9.3	Análisis de paisaje y de parcela.....	41
10.	Discusión.....	44

Evaluación del grado de fragmentación bosque Andino

11. Conclusiones	46
12. Recomendaciones	48
13. Referencias bibliográficas	50

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Ubicación del área de estudio, predio Cascadas del Pucará, Quetame-Cundinamarca. Por Rojas L, 2019	9
Figura 2. Distribución de fragmentos de bosque identificados en el área de estudio, predio Cascadas del Pucará. Por Rojas L, 2018	27
Figura 3. Cobertura vegetal presente en el predio Cascadas del Pucará, año 2009. (a. IGAC, 2009), imagen satelital, año 2014. (b. Sasplanet, 2014), imagen satelital, año 2018. (c. Google Earth, 2018). Por Rojas L, 2018	31
Figura 4. Mapas de cobertura vegetal para identificación del grado de fragmentación a escala paisaje presente en el bosque andino (a. año 2009), (b. año 2014) y (c. año 2018). Por Rojas L, 2018	32
Figura 5. Variación en el número de especies de plantas discriminada por familias dominantes en los 3 fragmentos estudiados. Por Rojas L, 2019.....	36
Figura 6. Curvas de saturación o acumulación de especies en los fragmentos de 1 (3 ha), 2 (5 ha) y 3 (2 ha), predio Cascadas del Pucará. Por Rojas L, 2019.....	37
Figura 7. Curvas de rango-abundancia para la distribución de plantas en los fragmentos 1(3ha) con 7 transectos, 2(5ha) con 12 transectos y 3(2ha) con 5 transectos 50 m de longitud, predio Cascadas del Pucará. Por Rojas L, 2019	38
Figura 8. Dendrograma de la similitud en la abundancia promedio de especies, en tres fragmentos de tamaño pequeño entre 2 a 5 ha, predio Cascadas del Pucará. Por Rojas L, 2019	39
Figura 9. Análisis de Correspondencia Simplificado (Detrended), ilustración de la distribución de 35 especies de plantas, 3 variables de fragmentación y 7 variables de diversidad en los fragmentos 1(3ha), 2(5ha) y 3(2ha) (las variables con más relación se encuentran encerradas con un círculo). Por Rojas L, 2019	41

Evaluación del grado de fragmentación bosque Andino

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Pérdida de cobertura vegetal del año 2009 al año 2018	33
Tabla 2. Índice de forma de Patton.	34
Tabla 3. Índice de compactación.....	35
Tabla 4. Índice de continuidad de Vogelmann.	35
Tabla 5. Variación en los índices de diversidad alfa.....	40

Evaluación del grado de fragmentación bosque Andino

Lista de anexos

	Pág.
Anexo 1. Forma de fragmentos según el índice de diversidad de formas de Patton. (Vogelmann, 1995).....	50
Anexo 2. Cobertura vegetal presente del año 2009 al 2018. Por Rojas L, 2019	55
Anexo 3. Zonas de potrero presentes en el año 2009. Por Rojas L, 2019	56
Anexo 4. Zonas de potrero presente en el año 2014. Por Rojas L, 2019	56
Anexo 5. Zonas de potrero presente en el año 2018. Por Rojas L, 2019	57
Anexo 6. Datos ilustrados en las curvas de acumulación de especies. Por Rojas L, 2019	58
Anexo 7. Listado de especies de plantas y los 24 transectos realizados en el área de estudio. Por Rojas L, 2019.....	59

Evaluación del grado de fragmentación bosque Andino

Lista de ecuaciones

Pág.

Ecuación 1. Cálculo del índice de forma de Patton (Lozano, Gómez & Valderrama, 2011).....	17
Ecuación 2. Cálculo del índice de compactación (Lozano, Gómez & Valderrama, 2011)	18
Ecuación 3. Cálculo del índice de continuidad (Lozano, Gómez & Valderrama, 2011)	18
Ecuación 4. Cálculo del índice de margalef (Villareal, et al., 2004)	19
Ecuación 5. Cálculo del índice de Menhinick (Villareal, et al., 2004).	20
Ecuación 6. Expresa el cálculo del índice de Simpson. (Villareal, et al., 2004)	20
Ecuación 7. Cálculo del índice de Simpson en caso de presentarse sesgos en los datos obtenidos (Villareal, et al., 2004)	21
Ecuación 8. Expresa el cálculo del índice de Shannon-wiener. (Villareal, et al., 2004).....	21
Ecuación 9. Cálculo del índice de Chao-1 (Villareal, et al., 2004).....	21
Ecuación 10. Cálculo del índice de equidad de Pielou (Magurran, 1998).	23
Ecuación 11. Expresa el cálculo del índice de similitud de Jaccard. (Moreno, 2001).....	23

Resumen

Esta investigación fue realizada en el predio Cascadas del Pucará, Municipio de Quetame Cundinamarca, en la cual, se evaluó el grado de fragmentación en este bosque nativo. Inicialmente se empleó las métricas de paisaje mediante la delimitación fotográfica del IGAC año 2009, Sasplanet año 2014 y Google Earth año 2018, de tal forma que, se identificó la pérdida de cobertura en tres temporalidades, debido a la deforestación indiscriminada y la inclusión de especies invasoras en este ecosistema estratégico, se utilizó el programa Arcgis, por medio del cual, se hizo el procesamiento de información. Se identificó tres fragmentos de bosque en el predio, permitiendo determinar que durante los últimos nueve años se ha ido perdiendo de a 2 ha de bosque cada cuatro a cinco años, es decir de 14.75 ha en el año 2009 paso a 10.43 ha en el año 2018. En estos fragmentos identificados, se realizaron en total 24 transectos, con una medida de 50 x 2 m, procedimiento establecido por el manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad (Villareal, et al., 2004), con los cuales fue posible hacer el levantamiento de vegetación (composición de las especies) y variables de diversidad. Los resultados muestran una variabilidad significativa estadísticamente, lo cual indica que las especies presentes en el ecosistema, se pueden ver afectadas por la deforestación y fragmentación del área de estudio.

Palabras clave: Bosque andino, diversidad de especies, fragmentación, ecosistema.

Abstract

This research was carried out in the sites waterfalls of Pucará, Municipality of Quetame Cundinamarca, in which the degree of fragmentation in this native forest was evaluated. Initially, the landscape metrics were used through the photographic delimitation of the IGAC year 2009, Sasplanet year 2014 and Google Earth year 2018, in such a way that the loss of coverage was identified in three temporalities, due to indiscriminate deforestation and the inclusion of species invasive in this strategic ecosystem, the Arcgis program was used, through which information processing was done. Three fragments of forest were identified in the property, allowing to determine that during the last nine years it has been losing 2 ha of forest every four to five years, that is to say of 14.75 ha in the year 2009 step to 10.43 ha in the year 2018. In these identified fragments, a total of 24 transects were performed, with a measurement of 50 x 2 m, a procedure established by the manual of methods for the development of biodiversity inventories (Villareal, et al., 2004), with which it was possible to do the vegetation survey (composition of the species) and diversity changeable. The results show a statistically significant variability, which indicates that the species present in the ecosystem can be affected by deforestation and fragmentation of the study area.

Key words: Andean forest, diversity of species, fragmentation, ecosystem.

1. Introducción

Actualmente, la principal causa de la disminución de cobertura vegetal de los bosques andinos en Colombia es la indiscriminada deforestación y sobreexplotación de los servicios ecosistémicos que estos ofrecen, llevando a la degradación de la cobertura boscosa debido a su fragmentación (Ardila, 2003). Es importante resaltar que un ecosistema fragmentado se conforma de parches de bosque de diferente tamaño, separados entre sí y con un área diferente a la del bosque original (Ardila, 2003).

Lo anterior conlleva a graves efectos ambientales sobre el ecosistema, debido a que se altera la continuidad entre ellos, que es de gran importancia para la conservación de las especies de plantas que allí se encuentren. Por lo tanto, se presenta una reducción en la cobertura vegetal del bosque en pequeñas unidades, generando una matriz de transformación con áreas de cultivo o pastizal rodeando los remanentes de vegetación nativa (Vargas & Velasco, 2008). Estas modificaciones causadas por la fragmentación ocasionarán un mayor impacto, dependiendo de sus características tales como número, área, forma y grado de aislamiento de los parches de bosque, su ubicación respecto a otros parches y el tipo de matriz paisajística (Villegas & Villalobos, 2014).

Colombia es un país que se caracteriza por tener una gran diversidad de ecosistemas; entre sus biomas más afectados se encuentran los bosques andinos los cuales han sido deforestados en gran medida en algunas zonas del país, reduciendo la vegetación natural a pequeños relictos de bosque (Ardila, 2003). La problemática de esta investigación se relaciona con el análisis de las consecuencias que ha traído la fragmentación presente en el bosque andino, ubicado en el predio Cascadas del Pucará en el municipio de Quetame, Cundinamarca. Diversos estudios han establecido que la fragmentación tiene severos efectos en la dinámica de las poblaciones; por lo tanto, al reducir el hábitat disponible se afectan tanto las especies que necesitan un hábitat continuo como las que requieren de condiciones especiales y tienen dificultades para atravesar los hábitats transformados por el hombre (Vargas & Velasco, 2008).

La evaluación del grado de fragmentación se llevó a cabo mediante levantamientos de vegetación en cada fragmento del bosque estudiado, con el fin, de determinar en cada uno de ellos cual ha sido el cambio en la vegetación presente. De esta manera se dejan bases sólidas sobre el

estado en que se encuentra actualmente estos bosques, para una futura restauración ecológica en este ecosistema de bosque andino.

2. Planteamiento problema

2.1. Descripción del problema

En la actualidad, “el aumento de la deforestación en los bosques andinos ha generado la formación de paisajes fragmentados (Ardila, 2003)”, considerándose como una de las principales causas de la actual crisis por pérdida de biodiversidad. En Colombia, la tala acelerada de los bosques nativos, ha traído como resultado la conformación de una matriz espacial de parches o fragmentos de bosque, cada vez con menor conectividad biológica entre ellos, derivándose en una pérdida o disminución de biodiversidad, que se refleja en cambios en la abundancia y composición de especies de plantas y de otros organismos (Bustamante & Grez, 1995).

El predio Cascadas del Pucará, a una altura de 1.490 msnm en áreas de bosque andino del municipio de Quetame, está inmerso en una matriz fragmentada con remanentes de bosque nativo de diferente tamaño. El principal problema ambiental del área es de tipo socio-ambiental producto de la falta de concientización y poco cuidado con los recursos naturales, desconocimiento de normatividad ambiental, falta de cultura ambiental, desarticulación institucional etc. Lo anterior también se asocia a una serie de acciones del pasado que han afectado la estabilidad de los terrenos y la sostenibilidad de los bosques; además la zona estuvo afectada por el sismo del 2008, el cual desestabilizó el suelo y ocasionó un aumento de los procesos erosivos en la región; sin embargo, el impacto de este evento fue moderado debido a que la magnitud fue baja y de extensión puntual (Alcaldía de Quetame Cundinamarca, 2018).

La mayor parte del área del Municipio de Quetame, Cundinamarca, corresponde a bosques naturales intervenidos, con una extensión de 7951.59 ha equivalentes al 57.42% del área total del municipio. Esta cobertura está integrada por bosques plantados, bosques naturales y bosques secundarios. La segunda mayor área corresponde al grupo de tierras en pastos con un 20.94% del área total; corresponde a 2898.18 ha compuestas por pastos naturales y pastos con rastrojos. En seguida se encuentra las tierras utilizadas para agricultura que ocupan 1575.75 ha, representando el 11.36% del área total. En menor proporción están las tierras con otros usos, con 1421.20 ha, correspondientes al 10.27% del total (Alcaldía de Quetame Cundinamarca, 2018).

Al ser una región de tradición agrícola y ganadera, los campesinos han extendido el área de potreros con sus consecuentes afectaciones: deforestación y llegada de especies invasoras al bosque nativo; en el predio estudiado se han sembrado 1000 pinos en un área de 1 hectárea, representando un grave problema para la zona debido a que la introducción de especies invasoras es un fenómeno global asociado a pérdida de la diversidad biológica; las invasiones biológicas pueden tener efectos desde cambios en la biodiversidad hasta modificaciones de los procesos ecosistémicos (Pauchard, et al., 2014). La plantación de pinos se ha generado en el predio con el fin, de hacer un uso comercial para extraer la madera; sin embargo, la siembra de estas plantas exóticas puede alterar las condiciones físicas y ecológicas del ecosistema de bosque andino.

Adicionalmente, se ha evidenciado en 7 predios del área de influencia del estudio, la realización de actividades de tala selectiva de árboles, cuya madera es utilizada para postes con fines divisorios de potreros y como fuente de combustible para leña, generando erosión en los lugares donde ha sido removidos (Alcaldía de Quetame Cundinamarca, 2018). El presente trabajo realiza una evaluación del grado de fragmentación del área de bosque andino presente en el predio Cascadas del Pucará, teniendo en cuenta las causas por las cuales se ha presentado esta fragmentación y así mismo informar acerca del estado actual de este ecosistema.

2.2. Hipótesis

El hipotético que se mantuvo a lo largo de esta investigación fue la variación en la composición y diversidad de especies de plantas, de acuerdo al tamaño y número de los fragmentos presentes en el Predio Cascadas del Pucará. Se partió del supuesto de que a menor tamaño de los fragmentos se presenta una reducción de la composición y diversidad de especies de plantas.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Evaluar el grado de fragmentación de un área de bosque andino, mediante el uso de índices de paisaje e índices ecológicos de diversidad de plantas, como aporte a un plan de restauración ecológica del municipio de Quetame.

3.2. Objetivos Específicos

- Valorar la fragmentación del bosque andino a escala paisaje por medio de métricas espaciales (número de fragmentos, tamaño, forma).
- Valorar la fragmentación a escala parcela por medio de indicadores ecológicos de diversidad.
- Hacer una valoración de la calidad del bosque a partir del análisis del paisaje y de los cambios en la diversidad de especies de plantas.

4. Justificación

La evaluación del grado de fragmentación de las áreas de bosque andino del predio Cascadas del Pucará constituye un aporte al plan de desarrollo de la alcaldía de Quetame, Cundinamarca, en su eje estratégico “Un futuro para Quetame”; este programa tiene como meta reforestar el 30% de las áreas desprotegidas de la reserva hídrica del municipio y de gestionar la inclusión de áreas para el esquema de pago por servicios ambientales entre otros (Alcaldía Quetame Cundinamarca, 2018). A partir de los resultados de este proyecto se establecen lineamientos para poder realizar un proceso de restauración ecológica, facilitando la toma de decisiones en los procesos de conservación en esta área de estudio. Adicionalmente, se amplía la base de información de la fragmentación actual del predio, las causas por las que se da, y las posibles soluciones a esta problemática.

A partir del inventario florístico generado en esta investigación, se obtuvo el listado de especies de plantas presentes en el predio, facilitando la implementación futura de procesos de conservación, ya que, se pueden determinar las especies que se presentan en menor abundancia e identificar las especies de plantas que puedan servir para restaurar el predio. Lo anterior coadyuva la implementación de procesos de restauración, contribuyendo al aumento de la sostenibilidad de este ecosistema de bosque andino. En este predio actualmente no existen estudios ambientales acerca del tema de la fragmentación del bosque; por tal motivo fue importante evaluar la situación actual de este bosque e identificar el grado de degradación del mismo. Dado que, por el predio en estudio, pasa la quebrada Blanca que abastece al municipio de Quetame, un proceso de rehabilitación a futuro contribuiría a mejorar en cantidad y calidad el suministro de agua al municipio.

5. Alcance

El predio Cascadas del Pucará comprende una superficie total de 28 hectáreas y se encuentra ubicado en el municipio de Quetame, Cundinamarca (Figura 1). La investigación abarca un área de bosque andino que presenta fragmentación debido a actividades antrópicas de la región como la ganadería y la agricultura (Alcaldía de Quetame Cundinamarca, 2018). Esta situación ha generado transformaciones en el ecosistema, el cual muestra un paisaje con diferentes parches de bosque.

Debido a esto, se hizo un seguimiento de la vegetación presente en este ecosistema de bosque andino, durante un periodo de 6 meses, en tres (3) fragmentos de diferentes tamaños, los cuales según Granados et al. (2014) están clasificados en tamaño pequeño, ya que, tienen un área menor a 6 ha.

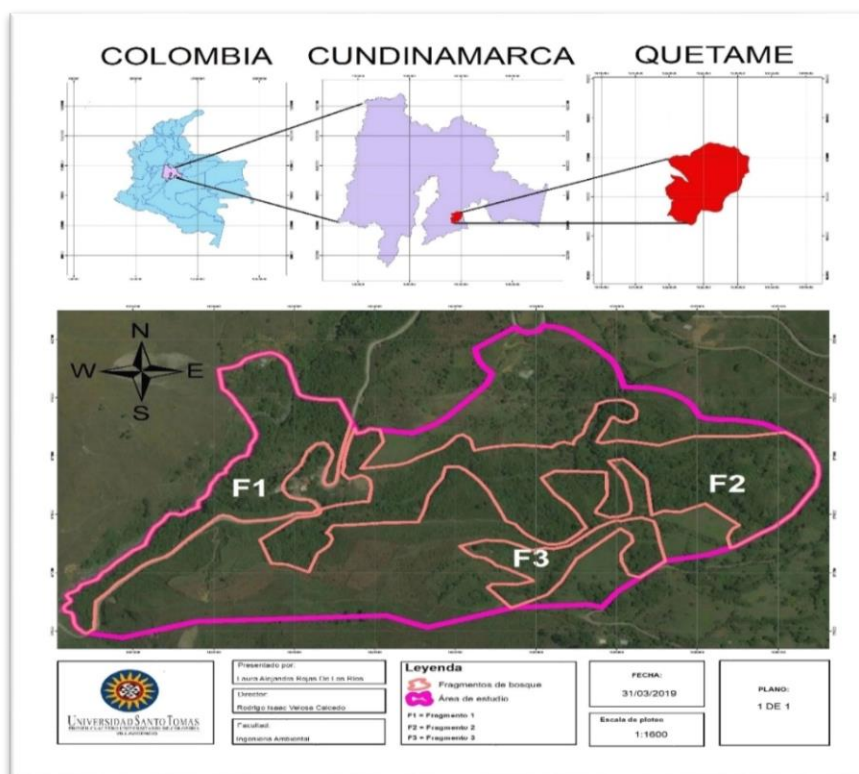


Figura 1. Ubicación del área de estudio, predio Cascadas del Pucará, Quetame-Cundinamarca.
Por Rojas L, 2019

5.1. Limitaciones

- Falta de ayuda en el esfuerzo de muestreo.
- Dificultad para el levantamiento de la vegetación en los puntos de muestreo, debido a la topografía del área.

6. Antecedentes

La fragmentación es una de las principales causas por las cuales se presenta la pérdida de biodiversidad ya que se alteran procesos ecológicos vitales para la regulación de ecosistemas conduciendo en algunos casos a la extinción de especies, especialmente en áreas con altos índices de diversidad biológica (Kattan, 2002; Quintero, Domínguez & Valenzuela, 2012). Por tal motivo el fenómeno de la fragmentación se ha transformado en uno de los principales temas de investigación debido a que sus efectos negativos sobre la diversidad de especies generan una amenaza significativa para grupos taxonómicos como los especialistas en hábitat (Fazey, Fisher & Lindenmayer, 2005).

La creación literaria en temas de fragmentación se ha desarrollado rápidamente en los últimos años. Brasil y México son los países con mayor cantidad de estudios relacionados con la fragmentación, donde se han publicado hasta la fecha según la base de datos ISI Web of Science entre 217 y 130 artículos (2002-2012). Hasta hace unas décadas el número de investigaciones sobre fragmentación en cordillera de los Andes era relativamente bajo, a pesar de haber estado sometida a procesos de modificación antrópica desde tiempos precolombinos (Etter & Wyngaarden, 2000).

En el 2011 se realizó una investigación sobre los efectos de borde ocasionados por la fragmentación en poblaciones de anuros de los bosques de nieva colombianos, lo que ha llevado a la conformación de conjuntos bióticos empobrecidos a lo largo de matrices fragmentadas en gradientes altitudinales (Isaacs & Urbina, 2011). La perturbación antropogénica en el paisaje, asociada a los efectos de borde ha afectado la presencia de dos especies raras de anuros (anfibios) (*Pristimantis ptochus* y *Pristimantis kelephas*), lo que sugiere que estas especies muestran un alto grado de sensibilidad a la transformación del bosque nuboso (Isaacs & Urbina, 2011). Asimismo, la revista Scielo publicó el artículo “Estado de Conservación de los Bosques de niebla de los andes colombianos, un análisis Multiescalar” en el año 2013 contemplando variables de tipo físico, como la altitud y métricas de paisaje en la valoración de los efectos de la fragmentación (Morales & Armenteras, 2013).

En el año 2015 se documentaron movimientos de una especie de ave migrante de larga distancia (*Catharus ustulatus*) y de dos especies residentes del sotobosque (*Arremon brunneinuchus* y *Thripadectes variegaticeps*) en un paisaje fragmentado dominado por una matriz de pastizal en una región andina de Colombia central; este estudio fue realizado con el fin de proporcionar escalones como cercas vivas y árboles aislados para mantener corredores que pueden mejorar la conectividad funcional en regiones con bosques fragmentados, ayudando a la conservación de las especies de aves (Suarez et al., 2015).

En el año 2017 un estudio sobre modelos de conectividad ecológica en fragmentos de bosque andino en Santa Elena, Medellín, resalta que la fragmentación forestal y la posible pérdida potencial de hábitat es una de las principales causas de la pérdida de biodiversidad. (Colorado, Vásquez, & Mazo, 2017). Una estrategia que promueve el mantenimiento a escala de paisaje de la conectividad, es el establecimiento de corredores biológicos que mejoran la conexión estructural y funcional de los componentes bióticos; estos autores desarrollaron una propuesta teórica de conectividad ecológica para el pueblo de Santa Elena, municipio de Medellín, Colombia, utilizando herramientas de ecología del paisaje (Colorado, Vásquez, & Mazo, 2017).

En el año 2018 se realizó un estudio acerca de la estructura poblacional y estructura espacial de roble negro, especie endémica en fragmentos de bosque andino colombiano; en este estudio se afirma que los bosques andinos colombianos son reconocidos por su gran biodiversidad y endemismo; sin embargo, han sufrido un severo proceso de fragmentación debido a factores antrópicos. Como resultado, muchas especies vulnerables se han visto especialmente afectadas. Ese es el caso del roble negro *Colombobalanus excelsa*, una especie endémica y poco estudiada de los Andes colombianos, que tiene una distribución restringida a solo cuatro áreas en el país, uno de los cuales es la región sureste de Huila (Aguirre & Botero, 2018).

7. Marco de referencia

7.1. Pérdida de hábitat

La pérdida de hábitat y la fragmentación tienen efectos con respecto a las relaciones entre poblaciones de la misma especie, porque se generan cambios en la biología, comportamiento, alteraciones del rango vital, la fenología o interrupción en los patrones de distribución y dispersión entre otros factores de cada especie en particular (Anker, Rosltad, & Wegge, 1993). Por otra parte, la fragmentación puede alterar las relaciones entre conspecíficos, convirtiendo las características endógenas de las especies en posibles factores de amenaza para la supervivencia de las poblaciones en el tiempo, en hábitats fragmentados (Rubinstein & Harvey, 1994) (Fazey, Fisher & Lindenmayer, 2005).

Sin embargo, sistemas fragmentados con remanentes lo suficientemente grandes para mantener poblaciones locales viables, teniendo en cuenta la dinámica de las metapoblaciones, aumentan la probabilidad de sobrevivencia a eventos tanto determinísticos como estocásticos tales como depresión por endogamia, epidemias, perturbaciones naturales y antrópicas (Fazey, Fisher & Lindenmayer, 2005).

Los bosques que inicien desde una altura de 1000 y 1200 msnm, hasta los 1800 o 2000 msnm son denominados según el ministerio de medio ambiente como bosques andinos, los cuales tienen arboles de 20 m de altura, con la finalidad de recolectar el agua, aumentar el caudal de los cuerpos de agua, que nacen de los páramos y dar origen a nuevos manantiales (Gobierno de Colombia, 2015).

Conforme a la gran importancia que los bosques andinos representan, como provisoros de servicios ambientales, en la actualidad concurren un sinnúmero de proyectos y programas nacionales e internacionales en los países andinos, orientados en desarrollar políticas sobre el manejo adecuado de los recursos hídricos (como, por ejemplo, el Programa Regional ECOBONA) (Tobon, 2009). Por tal razón la necesidad de defender, preservar y conservar estos bosques nativos.

Además, los bosque andinos son de vital importancia, debido a que, su función principal es regular el flujo hídrico que desciende de los páramos, tienen una relación estrecha con este ecosistema, ya que, la fauna presente en los páramos es pequeña, muchas especies necesitan de la

existencia y subsistencia de los bosques andinos para su supervivencia como comunidades biológicas (Gobierno de Colombia, 2015). Por ello la importancia de evaluar el grado de fragmentación presente en el bosque nativo, siendo un método importante, debido a que, ayuda a valorar la calidad del bosque, los servicios ecosistémicos que estos bosques andinos representan, concurriendo acciones que disminuyan la deforestación presente en esta zona.

Estudios como la estructura poblacional y distribución espacial del roble negro (*Colombobalanus excelsa*, Fagaceae), especie endémica, en fragmentos de bosque andino colombiano, dicen que estos bosques son reconocidos por su gran biodiversidad y endemismo; sin embargo, han sufrido un severo proceso de fragmentación debido a factores antrópicos (Aguirre & Botero, 2018). Como resultado, muchas especies vulnerables se han visto especialmente afectadas. Ese es el caso del roble negro, una especie endémica y poco estudiada de los Andes colombianos, que tiene una distribución restringida a solo cuatro áreas en el país, uno de los cuales es la región sureste de Huila (Aguirre & Botero, 2018).

Para examinar las poblaciones de encina negra en la Serranía Peñas Blancas (Huila), en 2006 se estudió la estructura por edad y la distribución espacial en parcelas de 50 x 20 m (1,6 ha) en fragmentos de bosque, en distribución sur. En total, se registraron 1228 especies de roble negro entre brinzales, juveniles y adultos, y tienen patrones de distribución Gamma y Weibull. Estos resultados confirman que la mayoría de los individuos están en la primera clase diametral. Además, estas poblaciones muestran un patrón de distribución adicional debido al proceso de extracción de madera (Aguirre & Botero, 2018).

En la capital nacional se han realizado estudios, para valorar los impactos que se presentan en los bosques andinos por causa de la fragmentación, debido a esto se han generado estudios acerca de cómo se puede conservar y restaurar este ecosistema estratégico de tanta importancia, teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, para el año 2013 se publicó el artículo “Facilitación entre plantas: una estrategia para la restauración ecológica del bosque altoandino en Bogotá Colombia con el fin de evaluar la cobertura vegetal presente en este bosque nativo, para realizar los tratamientos correspondientes a la restauración ecológica de este (Gómez, Cisneros & Orlando, 2013).

Estudios como el estado de fragmentación de los bosques naturales en el norte del departamento del Tolima-Colombia, se analiza el grado de fragmentación de estos bosques, determinando, la densidad, la forma, la conectividad espacial o conectividad de bosques, y la fragmentación,

entendida como la relación entre el área con bosque, para entender los efectos que causaron la fragmentación en este bosque (Lozano, Gómez & Valderrama, 2011).

Estudios como la diversidad ecosistémica en Colombia, a pesar de que esta ha sido reconocida desde el siglo XVIII-XIX por A. Von Humboldt y otros naturalistas, no se le ha dado suficiente énfasis a su caracterización, ni a los estudios de distribución, en comparación con los estudios convencionales acerca de la diversidad de especies, siendo, sin embargo, la primera, un marco de referencia importante para entender y contextualizar globalmente los diferentes niveles de biodiversidad. Ha habido por lo tanto una tendencia de trabajar separadamente la diversidad de especies y la de ecosistemas, pasando por alto la necesaria relación que existe entre estas (Etter & Wyngaarden, 2000). Teniendo en cuenta el nivel de interrelación existente entre la diversidad de ecosistemas y la de las especies (Etter & Wyngaarden, 2000).

7.2. Restauración ecológica

De acuerdo con la definición del Instituto Alexander Von Humboldt, esta consiste en recomponer y reparar un ecosistema estratégico degradado por diferentes factores (Velandia, 2019). Por otra parte, según el plan nacional de restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas degradadas (PNR) la restauración ecológica da como resultado un ecosistema sostenible, garantizando la conservación, preservación de las especies, adicionalmente de los bienes y servicios ecosistémicos, generando a su vez que el ecosistema regrese a una condición similar a la que se encontraba antes de su degradación ecológica (MADS, 2019).

7.3. Fragmentación

La pérdida y fragmentación de un ecosistema estratégico es estimada, como una de las principales causas de la actual crisis de diversidad, los procesos que son responsables de la pérdida de cobertura vegetal en un ecosistema estratégico son múltiples como, por ejemplo, la pérdida regional del hábitat, reducción y aislamiento progresivos de los fragmentos de hábitat, efectos de borde, etc. (Santos & Telleria, 2006)

7.4. Bosques Andinos

Son los ecosistemas más diezmados en Colombia de los cuales solo subsisten el 4%. Entre estos bosques andinos se acentúan ranas y aves, dos grupos en los cuales Colombia es el primero en el mundo, también son denominados bosques nubosos o de niebla, desde los 1000 a los 4000 msnm contienen alta humedad y niebla. Conservan la biodiversidad, capturan y almacenan carbono, adicionalmente regulan y aseguran el abastecimiento hídrico (Bosques andinos, 2019)

7.5. Diversidad de especies

Es aquella por la cual, se expresa la riqueza o número de especies diferentes presentes en un determinado ecosistema, región o país. Esta riqueza ha sido estudiada tan solo en parte, y prueba de ello, es que cada vez que hay un inventario en nuevas zonas se descubren nuevas especies (Perú Ministerio de agricultura y riego , 2015). De acuerdo al ministerio de medio ambiente la diversidad biológica es la variación de las formas de vida y se presenta en la diversidad genética, de poblaciones, especies, ecosistemas y paisajes. Colombia al tener una extensión continental de 114'174.800 hectáreas, representa cerca del 0,7% de la superficie continental mundial. Encontrándose el 10% de la biodiversidad mundial, haciendo de Colombia un país “megadiverso”. (MADS, 2019).

7.6. Índices de forma

La forma de los fragmentos para bosques puede determinarse desde la tipología o matriz circundante a estos, y es admitido que esta forma puede afectar significativamente, la dinámica del ecosistema que estos fragmentos componen, ya que, formas compactas son resistentes a los efectos negativos de esta matriz, mientras que las formas irregulares, pueden tener un perímetro más largo por unidad de área y ser significativamente sensibles a los efectos negativos externos (Lozano, Gómez & Valderrama, 2011). Por ello, para la evaluación de los fragmentos presentes en predio Cascadas del Pucará, se utilizaron los siguientes índices:

7.6.1. Índice de forma de Patton

Este es un método que fue útil para evaluar la fragmentación del bosque andino presente en el predio Cascadas del Pucará; fue utilizado por (Lozano, Gómez & Valderrama, 2011) con la ecuación (1), de igual manera este procedimiento se tuvo en cuenta para un estudio de fragmentación de los bosques en el estado Paraná Brasil (Ferreira et al., 2018); En Indonesia también se utilizó este método para estudios sobre la fragmentación (Sharp et al., 2018).

Ecuación 1. Cálculo del índice de forma de Patton (Lozano, Gómez & Valderrama, 2011)

$$DI = \frac{P}{2 * \sqrt{3,1416} * \sqrt{a}}$$

Donde:

DI: Índice de diversidad de Patton

P: Perímetro de cada fragmento

a: Área de cada fragmento

El índice de diversidad se agrupa en 5 rangos, como se muestra en el anexo 1 (Lozano, Gómez & Valderrama, 2011). De acuerdo a lo observado, Cuando el índice de diversidad es 1, la forma del fragmento es similar a un círculo; a medida que este aumenta, la forma se vuelve más compleja e incrementa el efecto de borde de las áreas circundantes o adyacentes. Es importante considerar que los índices de diversidad superiores a 2 reflejan formas amorfas o irregulares (Vogelmann, 1995).

7.6.2. Índice de compactación

Con este índice se puede determinar el grado de fragilidad de cada uno de los fragmentos, los valores se encuentran entre 0 y 1 siendo los frágiles los más cercanos o con valor igual a 0; y los

más cercanos, o con un valor igual a uno, los menos frágiles y con menos exposición a los efectos negativos de la matriz (Lozano, Gómez & Valderrama, 2011). Como se expresa en la ecuación 2:

Ecuación 2. Cálculo del índice de compactación (Lozano, Gómez & Valderrama, 2011)

$$\frac{1}{DI}$$

Donde:

DI: Índice de diversidad de Patton

7.6.3. Índice de continuidad

Este es un índice importante, ya que la continuidad espacial de un bosque en este caso del bosque andino presente en el predio Cascadas del Pucará, garantiza la supervivencia de las especies tanto vegetales como animales, por tal motivo para la evaluación de la continuidad espacial (Lozano, Gómez & Valderrama, 2011), como indicador de fragmentación se aplica la ecuación 3:

Ecuación 3. Cálculo del índice de continuidad (Lozano, Gómez & Valderrama, 2011)

$$FCI = \ln(\Sigma A / \Sigma P)$$

Donde:

FCI: Índice de continuidad de Vogelmann

ΣA : Área total de parches de bosque del paisaje, en metros cuadrados

ΣP : Perímetro total de parches de bosque del paisaje en metros

7.7. Variables de vegetación para medir la diversidad de especies

En diferentes estudios para comparar y analizar la diversidad de especies, con el fin de sugerir prioridades en la conservación de especies, en los últimos años, se han propuesto medidas que pueden ayudar a lograr este objetivo, a través de los indicadores ecológicos de diversidad (García, Moreno & Bello, 2011), tales como:

7.7.1. Diversidad Alfa

Es la riqueza de especies de una comunidad determinada la cual se considera homogénea, por lo tanto, esta es a nivel local. Una comunidad es dependiente de los objetivos y escala de trabajo, en este caso, el manual de inventarios de biodiversidad del instituto Von Humboldt que se realice a nivel de una unidad de paisaje (Villareal, et al., 2004).

Actualmente existen varios índices para medir la diversidad alfa, ligado al tipo de información que se desea analizar, si las variables que se van a analizar son los números de especies presentes en cada transecto (riqueza específica) y datos estructurales, es decir abundancias, cada una de estas variables se analizarán diferencialmente, para obtener más información complementaria (Villareal, et al., 2004).

7.7.2. Índice de margalef (D_{mg})

Relaciona el número de especies de acuerdo con el número total de individuos (Villareal, et al., 2004) ecuación 4.

Ecuación 4. Cálculo del índice de margalef (Villareal, et al., 2004)

$$Dm = \frac{S - 1}{\ln N}$$

Donde:

S= es el número de especies

N= número total de individuos

Esto supone una relación entre el número de especies y el número total de individuos. Si no es así, el índice varía con el tamaño de la muestra de forma desconocida, si se utiliza S-1 en lugar de S, D_{mg} es igual a (0) cuando hay una sola especie (Villareal, et al., 2004).

7.7.3. Índice de Menhinick

El índice de diversidad de Menhinick (D_{Mn}) al igual que el índice de Margalef se fundamenta en la relación entre el número de especies y el número total de individuos observados, que aumenta al extender el tamaño de la muestra, ecuación 5 (Villareal, et al., 2004).

Ecuación 5. Cálculo del índice de Menhinick (Villareal, et al., 2004).

$$D_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

Donde:

S = número de especies.

n = número total de individuos.

7.7.4. Índice de Simpson (λ)

Ecuación 6. Expresa el cálculo del índice de Simpson. (Villareal, et al., 2004)

$$\lambda = \sum \left(\frac{n^2}{N^2} \right) = \sum p_i^2$$

Donde:

P_i = abundancia proporcional de la especie i, lo cual implica obtener el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra (Villareal, et al., 2004).

Sin embargo, se pueden presentar sesgos en los datos obtenidos y se debería utilizar mejor la siguiente formula, ecuación (7) (Villareal, et al., 2004):

Ecuación 7. Cálculo del índice de Simpson en caso de presentarse sesgos en los datos obtenidos (Villareal, et al., 2004)

$$D = \sum((n_i^2 - n_i)/(N^2/N))$$

Donde:

n_i = número de individuos de la misma especie.

N = número total de individuos en la muestra.

7.7.5. Índice de Shannon-wiener (H')

Ecuación 8. Expresa el cálculo del índice de Shannon-wiener. (Villareal, et al., 2004)

$$H' = -\sum p_i \ln p_i \text{ y } \sum p_i = 1$$

Donde:

P_i = abundancia proporcional de la especie i , lo cual implica obtener el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra (Villareal, et al., 2004).

Este índice asume que todas las especies están representadas en las muestras y que todos los individuos fueron muestreados al azar (Villareal, et al., 2004).

7.7.6. Índice de Chao-1

Este es un modelo no paramétrico, el cual estima el número de especies basado en el número de especies raras en la muestra, ecuación 9 (Villareal, et al., 2004).

Ecuación 9. Cálculo del índice de Chao-1 (Villareal, et al., 2004).

$$Chao\ 1 = S + \frac{a^2}{2b}$$

Donde

S = número de especies en una muestra

a = número de especies que están representadas por un único individuo en la muestra.

b = número de especies representadas por exactamente dos individuos en la muestra.

7.7.7. Números de diversidad de Hill

Estos números de diversidad, miden lo que se denomina el número efectivo de especies presentes en una muestra, y son una medida del grado de distribución de las abundancias relativas entre las especies (Hill, 1973).

Nº0 = número total de especies.

7.7.8. Curvas de acumulación de especies

Esta se utiliza, para estimar el número esperado de especies, mediante un muestreo. A través de estas curvas, se puede observar como el número de especies se va acumulando, en función del número de muestras acumuladas (Villareal, et al., 2004). Para estas curvas se emplean métodos no paramétricos tales como:

- Jackknife (Jack 1 en el programa Estimates) = mediante el cual se estima el número de especies esperadas, considerando el número de especies que ocurren solamente en una muestra (Villareal, et al., 2004).
- Bootstrap (Bootstrap en el programa Estimates) = “estima la riqueza de especies a partir de la proporción de muestras que contienen a cada especie” (Villareal, et al., 2004).
- MM mean = estimador cuya curva asintótica es similar a la producida mediante los datos observados (Villareal, et al., 2004).

7.7.9. Curvas de rango-abundancia

Estas se obtienen a partir de ordenar jerárquicamente a las especies presentes en cada unidad de muestreo. Whittaker (1965) propuso el uso de estas curvas, para así determinar los patrones de distribución de la abundancia de las especies en comunidades ecológicas. Para poder obtener estas curvas es necesario organizar jerárquicamente a las especies presentes en cada muestreo, se obtiene un perfil de abundancias por rango (Barrientos, Leinara & Navarro, 2016).

7.7.10. Índice de equidad de Pielou

Esta mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada, su valor va desde 0 a 0,1 de forma que 0,1 corresponde a situaciones, donde todas las especies son igualmente abundantes, ecuación 10 (Magurran, 1998).

Ecuación 10. Cálculo del índice de equidad de Pielou (Magurran, 1998).

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

Donde:

$$H'_{max} = \ln(S)$$

7.8. Índice de similitud de Jaccard (Coeficiente de similitud l_j)

Ecuación 11. Expresa el cálculo del índice de similitud de Jaccard. (Moreno, 2001)

$$l_j = \frac{c}{a + b - c}$$

Donde:

a= número de especies en el sitio A

b= número de especies en el sitio B

c= número de especies presentes en ambos sitios A y B, es decir que están compartidas

El rango de este índice va desde cero (0) cuando no hay especies compartidas, hasta uno (1) cuando los dos sitios comparten las mismas especies, midiendo las diferencias en la presencia o ausencia de especies (Moreno, 2001).

7.9. Análisis de Correspondencia Simplificado (Detrended)-DCA

Este análisis es una mejora de la técnica de ordenación (RA), el rendimiento del DCA, es una de las mejores técnicas de ordenación probadas, ya que, tanto las ordenaciones de las especies, como las de las muestras, se producen simultáneamente, los ejes se escalan en unidades de desviación estándar con un significado definido, este facilita los resultados de ordenación más interpretables (Hill & Gauch, 1980).

7.10. Marco Legal:

Las presentes normas de conservación y restauración ecológica de ecosistemas estratégicos, fueron fundamentales para el presente trabajo ya que por medio de esta normatividad se establece la importancia de evaluar el grado de fragmentación actual del bosque andino en el predio Cascadas del Pucará, con el fin de que la Alcaldía de Quetame Cundinamarca, realice el proceso de conservación y restauración ecológica de este bosque andino a través de la normatividad presente para este tema de conservación.

En el artículo 1 del numeral 7, de la Ley 99 de 1993, “se dice que el estado impulsará la incorporación de costos ambientales e incentivos económicos para la corrección, prevención y restauración del deterioro ambiental, asimismo la conservación de los recursos naturales” cabe destacar que esta ley es muy importante ya que en esta se crea el ministerio de medio ambiente y organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA)

En el artículo 13, del Decreto 2811 de 1974 en el cual se dicta el código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente es de vital importancia para esta investigación, ya que, “se tiene como objetivo fomentar la conservación, mejoramiento y restauración del ambiente y los recursos naturales renovables”.

Un decreto fundamental para este proyecto, es el Decreto 1996 de 1999 ya que por medio de este, el predio Cascadas del Pucará puede declararse zona de conservación civil, por la importancia ecológica que representa para este municipio al encontrarse allí un ecosistema de bosque andino, “Por el cual en el artículo cuarto del presente decreto se establece la zonificación de las reservas naturales de la sociedad civil, adicionalmente podrán contener las zonas que se consideren concluir como: la zona de conservación, zona de amortiguación y manejo especial, zona de agrosistemas, zona de uso intensivo o de infraestructura, la zona de conservación civil, debe tener como mínimo una zona de conservación”.

Otra figura fundamental para este marco legal es el Decreto 607 de 2011, ya que, a partir de este, en la capital del departamento de Cundinamarca “Se adopta la política pública para la gestión de la conservación de la biodiversidad en el distrito capital, que según el artículo 1, se adopta la política para la gestión de la conservación de la biodiversidad [...]”

Para el tema de conservación y restauración ecológica que abarca esta investigación es esencial tener en cuenta el sector administrativo de ambiente y desarrollo sostenible los cuales están integrados en el Decreto 3570 de 2011 “por el cual en su artículo 1 del se establecen los objetivos del ministerio, encargado de orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y adicionalmente, definir las políticas para la recuperación, conservación, protección, manejo y uso de los recursos naturales renovable, asegurando el desarrollo sostenible [...]”.

Para definir los alcances de un proceso de restauración ecológica, es importante tener en cuenta el Decreto 1374 de 2013 “En el cual se establecen parámetros para el señalamiento de unas reservas de recursos naturales de manera temporal y se dictan otras disposiciones, para proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservando áreas de gran importancia ecológica, con el fin de garantizar su conservación y restauración, adicionalmente, prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental [...]”, debido a que, en el área de estudio al presentarse un ecosistema de bosque andino, se refleja la importancia de cuidar, proteger y preservar este ecosistema estratégico.

El pago por servicios ambientales se estableció a través del Decreto 870 de 2017, adicionalmente se dan otros incentivos a la conservación. Teniendo en cuenta que el predio Cascadas del Pucará presenta un ecosistema estratégico importante para la región, esta área se puede declarar zona de protección al presentar un bosque andino, mediante la Resolución 705 de

2013 “Se establecen unas reservas de recursos naturales de manera temporal, como protección y desarrollo de los recursos naturales renovables y se dictan otras disposiciones”.

8. Metodología

8.1. Área de estudio

En la Figura 2 se ilustra la distribución de los fragmentos estudiados en el predio Cascadas del Pucará, municipio de Quetame, Cundinamarca.

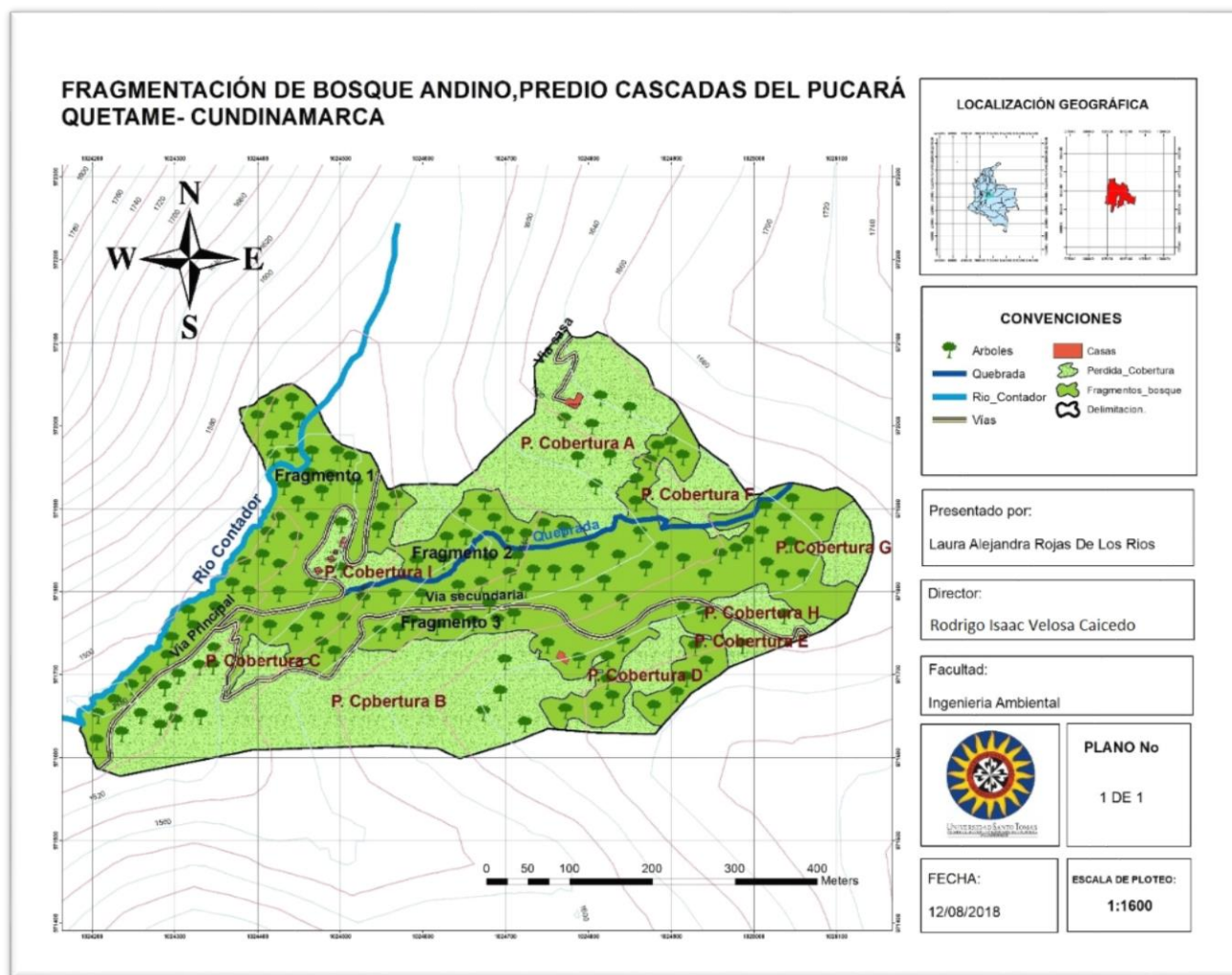


Figura 2. Distribución de fragmentos de bosque identificados en el área de estudio, predio Cascadas del Pucará. Por Rojas L, 2018

El Departamento de Cundinamarca hace parte de la región andina, se ubica en la parte central del país entre los 03°40'14'' y 05°50'11'' de latitud norte y los 73°03'08'' y 74°53'35'' de longitud

oeste. Tiene una superficie de 24.210 km² representando el 2.12 % del territorio nacional (Departamento de Cundinamarca , 2018). Limita por el norte con el departamento de Boyacá; por el este con los departamentos de Boyacá y Meta; por el sur con los departamentos de Meta, Huila y Tolima, y por el oeste con el río Magdalena, que lo separa de los departamentos de Tolima y Caldas (Departamento de Cundinamarca , 2018)

El territorio del departamento de Cundinamarca presenta “relieves bajos, planos y montañosos, todos correspondientes a la cordillera Oriental en ambos flancos. En este contexto, en el departamento, se pueden distinguir cuatro regiones fisiográficas denominadas flanco occidental, altiplano de Bogotá, flanco oriental y el piedemonte llanero”. (Departamento de Cundinamarca , 2018).

El área de estudio se encuentra en el municipio de Quetame Cundinamarca, ubicado en la provincia de oriente, a 55km de Bogotá; cuenta con una altura de 1500 msnm y una temperatura de 21,1 °C. En la región se evidencian extensas áreas de potreros como consecuencia de las actividades agrícolas y ganaderas presentes en la zona, generando afectaciones como la deforestación e inclusión de especies invasoras en los bosques nativos de este municipio. (Alcaldia Quetame Cundinamarca, 2018).

En la Figura 2 se ilustran tres (3) fragmentos con una extensión entre 2 - 5 ha para el año 2018, según la evaluación de la fragmentación a escala paisaje presente en este ecosistema. A partir de estas áreas y de los perímetros obtenidos se calcularon los índices de forma de Patton, índice de compactación y los índices basados en sistemas de información geográfica (SIG). Adicionalmente se realizó una comparación de tres años 2009, 2014 y 2018 para ver como se ha ido perdiendo la cobertura vegetal de este bosque a lo largo del tiempo.

8.2. Fase 1: Métricas de paisaje

Inicialmente se tomaron las coordenadas del área de estudio para la obtención de la fotografía aérea del instituto geográfico Agustín Codazzi y realizar la revisión inicial del área de estudio. Esta se llevó a cabo mediante imágenes satelitales derivados del software Google Earth y

Sasplanet, identificando los fragmentos de bosque; estos se delimitaron, se obtuvieron las áreas y perímetros de cada fragmento, y se clasificaron de acuerdo al tamaño (Granados, et al., 2014).

En la identificación de los fragmentos se utilizaron los índices de Patton, de compactación y de continuidad (Lozano, Gómez & Valderrama, 2011).

8.3. Fase 2: Métricas de diversidad de especies

Posteriormente se realizó un levantamiento de vegetación en cinco salidas de campo, con el fin de identificar las especies de plantas mayores a 5 cm de CAP presentes en el área de estudio. la identificación de las especies se llevó a cabo con la alcaldía de Quetame, Cundinamarca, la cual facilito el acompañamiento del señor Miguel Cruz conocedor de las especies de plantas del municipio, adicionalmente se utilizaron textos de taxonomía vegetal, identificando la especie y familia de cada individuo.

La ubicación de los transectos en cada uno de los fragmentos identificados fue de manera aleatoria en función del área de cada fragmento (Villareal, et al., 2004). En el fragmento 1 de 3 ha se distribuyeron 7 transectos de 50 m de largo por 2 m de ancho; en el fragmento 2 de 5 ha se ubicaron 12 transectos de 50 x 2 m, y por último en el fragmento 3 de 2 ha, se situaron 5 transectos con 50 x 2 m. En total se completaron 24 transectos en toda el área de estudio.

El muestreo se dividió en dos partes: El primero a escala paisaje en el cual mediante información geográfica se determinó la fragmentación, y el segundo a escala parcela, en la cual se hizo el levantamiento de vegetación para identificar las especies presentes en cada uno de los fragmentos encontrados.

El análisis de la información en todos los fragmentos identificados se realizó con las abundancias acumuladas de cada especie identificada.

Para las variables de diversidad alfa en el programa PAST 3 se obtuvieron los índices de riqueza (Menhinick y Margalef), índice de dominancia (Simpson 1-D), índices de heterogeneidad (Shannon Wiener, Numero de Hill y Chao-1), índice de equidad (Shannon J'). De igual manera

para detectar diferencias en las abundancias entre los fragmentos se empleó la prueba de Kruskal-Wallis (análisis de varianza ANOVA no paramétrico).

Asimismo, para obtener el dendrograma de similitud de Jaccard se utilizó el programa PAST 3. Para obtener las curvas de acumulación de especies se empleó el programa Stimates 6.0, por medio del cual se identificaron los índices no paramétricos como ACE, Jack 1, Booststrap Mean y MM Mean, con el objeto de determinar si el muestreo que se realizó por fragmentos fue adecuado estadísticamente.

8.4. Fase 3: Análisis de paisaje y de parcela

Con el objeto de agrupar las métricas de paisaje y de diversidad de especies en campo, se realizó un Análisis de Correspondencia Detrended DCA. Para ello se tuvo en cuenta las variables de fragmentación mencionadas en la fase 1 y las variables de diversidad alfa tales como índices de riqueza (Menhinick y Margalef), índice de dominancia (Simpson 1-D), índices de heterogeneidad (Shannon Wiener, Numero de Hill y Chao-1), índice de equidad (Shannon J'). A través de este análisis se determinaron las relaciones de cada una de las variables y se analizó que tanto influye la fragmentación en ellas.

9. Resultados

9.1 Fragmentación a escala paisaje

9.1.1. Comparación de fotografía aérea en 3 temporalidades

En la Figura 3 se ilustra los cambios en las coberturas de bosque en 3 temporalidades (2009, 2014 y 2018) con las que es posible identificar la pérdida de cobertura y aumento de la fragmentación en el área de estudio

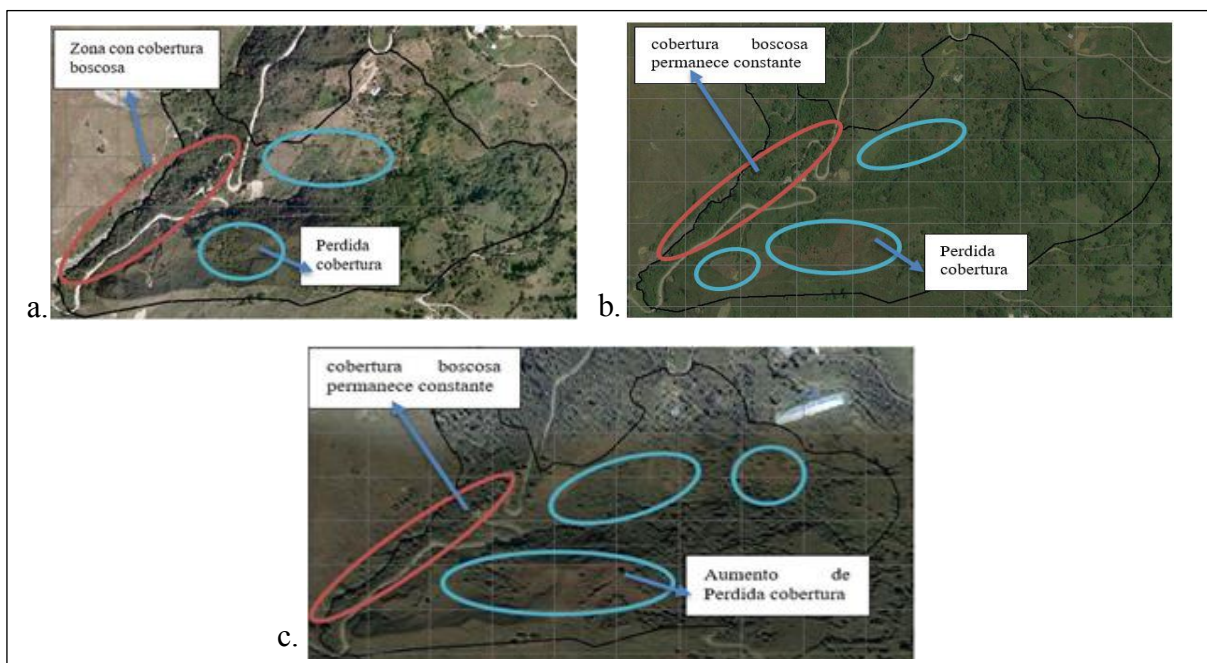


Figura 3. Cobertura vegetal presente en el predio Cascadas del Pucará, año 2009. (a. IGAC, 2009), imagen satelital, año 2014. (b. Sasplanet, 2014), imagen satelital, año 2018. (c. Google Earth, 2018). Por Rojas L, 2018

Como se puede observar en la figura 3, están señaladas algunas áreas del bosque nativo, que tuvieron mayor impacto. Para el año 2009 (sección a) en las zonas destacadas con círculos azules, no hay presencia de cobertura vegetal, en el año 2014 (sección b) se presentó un aumento de pérdida de esta, en diferentes zonas del predio, disminuyendo la vegetación que se encontraba presente en el año 2009. En el año 2018 se puede evidenciar que la cobertura boscosa permaneció

constante; sin embargo, en 2009 y 2014, se registró un aumento notable de la zona de potreros (sección a y b). Es decir que en los últimos nueve años aumentó la deforestación en esta zona por actividades propias de la región, tales como la ganadería y la agricultura.

9.1.2. Cambios en las coberturas vegetales de los fragmentos en 3 temporalidades

Se realizó un análisis de los cambios de los fragmentos en los años de las imágenes aéreas procesadas: 2009, 2014 y 2018 (Figura 4). Los fragmentos de bosque aumentaron notoriamente, como se observa en los mapas, ya que, la cobertura vegetal relacionada al bosque andino tiene una tendencia marcada a disminuir. Esto se debió principalmente a la ampliación de potreros por la ganadería y la agricultura. En la figura 4 se aprecia los cambios en las coberturas vegetales de la zona de estudio.

Cada una de las fotografías fueron debidamente georreferenciadas, se determinaron las áreas de potrero, los fragmentos de bosque identificados, cada una de las vías de acceso, y adicionalmente los cuerpos de agua que atraviesan el bosque nativo.

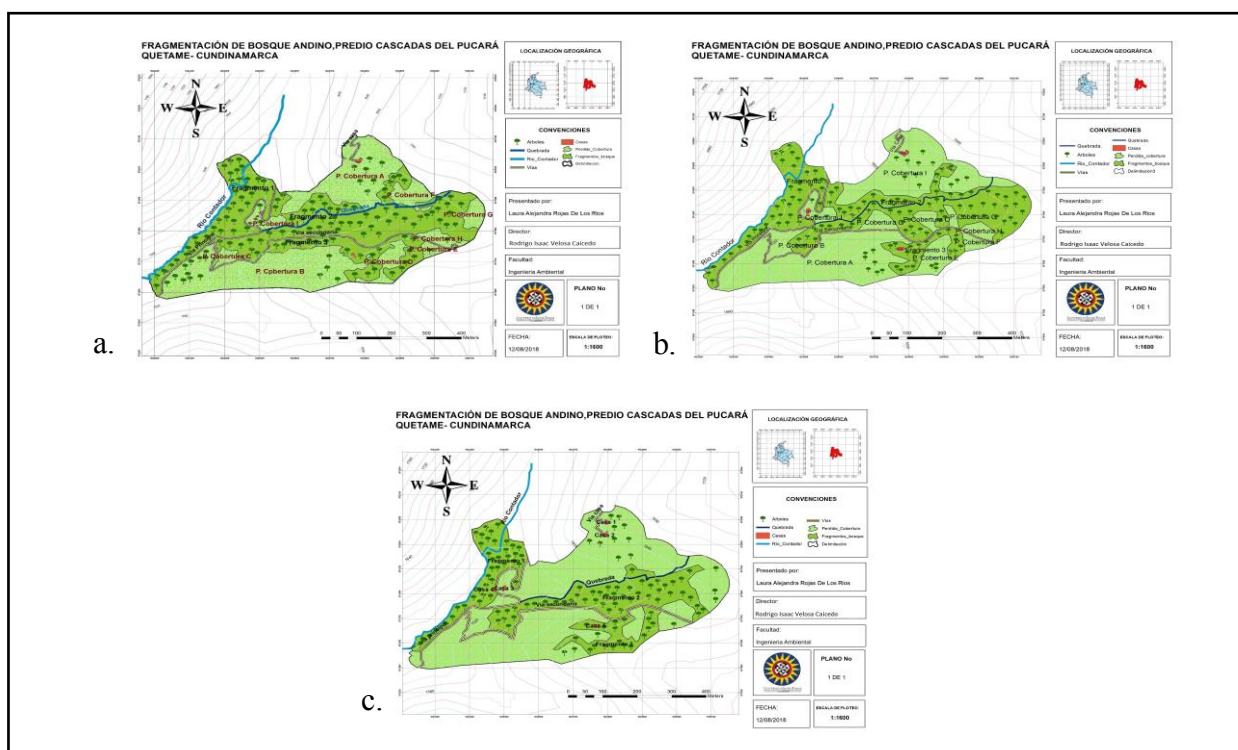


Figura 4. Mapas de cobertura vegetal para identificación del grado de fragmentación a escala paisaje presente en el bosque andino (a. año 2009), (b. año 2014) y (c. año 2018). Por Rojas L, 2018

A continuación, en la tabla 1, se describen los cambios que se presentaron en los fragmentos de cobertura vegetal del bosque andino:

Tabla 1. *Perdida de cobertura vegetal del año 2009 al año 2018*

Cobertura	Año 2009		Año 2014		Año 2018	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
C.V	14.75	52%	12.58	45%	10.43	37%
P.C	13.44	48%	15.47	55%	17.59	63%

Nota: Comparación de la pérdida de la cobertura boscosa en tres temporalidades, en el bosque andino presente en el predio Cascadas del Pucará. Por Rojas L, 2019

Donde:

CV: Cobertura vegetal (en hectáreas)

P.C: Perdida cobertura vegetal (en hectáreas)

Durante los últimos 9 años se ha venido presentando un aumento en los cambios de las coberturas de bosque andino, mostrando un incremento de las zonas de potrero, que además son aprovechadas en las actividades de ganadería también típicas en la región, ganando mucho más espacio esta actividad. (Tabla 1)

De acuerdo a los resultados obtenidos de la tabla 1 (anexo 2 al anexo 5), para el año 2009 el 52% de área del predio estaba ocupada de bosque con 14.75 ha y el 48% restante presentó una pérdida de cobertura vegetal con 13.44 ha. En el año 2014 la pérdida de cobertura vegetal aumentó a un 55% ocupando un área de 15.47 ha; de igual manera en el año 2018 se incrementó la pérdida de cobertura boscosa pasando a 17.59 ha, lo que quiere decir que en los últimos 9 años se han ido perdiendo 2 ha de bosque cada 4 - 5 años.

Lo anterior indica que se presenta una presión antrópica en este ecosistema, lo que ha permitido la pérdida del hábitat, esto genera que las especies de plantas se confinen en parches pequeños de bosque, produciendo pérdidas irreversibles en las especies nativas que no se alcanzan a adaptar a estos cambios tan drásticos (Menesses y Armbrrecht, 2018)

9.1.3 Cambios en los Índices de fragmentación en 3 temporalidades

9.1.3.1 Índice de forma de Patton

En la tabla 2 se registran los valores del índice de forma de Patton para los fragmentos 1, 2 y 3 en tres temporalidades con una diferencia de cuatro a cinco años, predio Cascadas del Pucará.

Tabla 2. Índice de forma de Patton.

Año 2009			Año 2014			Año 2018		
Fragmento 1	2.2583	Irregular	Fragmento 1	2.2925	Irregular	Fragmento 1	2.2122	Irregular
Fragmento 2	3.1150	Irregular	Fragmento 2	2.8349	Irregular	Fragmento 2	2.3153	Irregular
Fragmento 3	3.2122	Irregular	Fragmento 3	2.1400	Irregular	Fragmento 3	2.6928	Irregular

Nota: Comparación índice de forma de Patton en tres temporalidades (2009, 2014 y 2018). Por Rojas L, 2019

Como se observa en la tabla 2, la forma de los fragmentos de bosque presentes en el predio Cascadas del Pucará es irregular, lo cual indica que la cobertura boscosa esta espacialmente fragmentada, siendo critica (Galván, Gastón y Ossa, 2015), respecto a la relación Perímetro/Área, al tener estos fragmentos formas irregulares, presentan un mayor efecto de borde, aumentando la influencia sobre la matriz paisajística, esto puede afectar directa e indirectamente las especies de plantas que habitan en este bosque, ya que, se ocasionan cambios ambientales, tales como desbalance en la abundancia de especies de plantas, composición y distribución de las mismas, afectando las interacciones entre ellas (Galván, Gastón y Ossa, 2015).se puede evidenciar que a lo largo de los últimos 9 años se ha permanecido constante en cada uno de estos.

Este índice de diversidad tiene una gran importancia para la ecología del paisaje, debido a que, puede asociarse con los efectos de borde, puesto que, al presentarse fragmentos irregulares hay una mayor longitud y área de borde que genera cambios en las condiciones bióticas y abióticas teniendo efectos sobre la riqueza y composición de especies (Colorado, Vázquez y Mazo, 2017).

9.1.3.2 Índice de compactación

En la tabla 3 se registran los valores del índice de compactación para los fragmentos 1, 2 y 3 en tres temporalidades con una diferencia de cuatro a cinco años, predio Cascadas del Pucará.

Tabla 3. Índice de compactación.

Año 2009			Año 2014			Año 2018		
Fragmento	0.4428	Frágil	Fragmento	0.4361	Frágil	Fragmento	0,4520	Frágil
1			1			1		
Fragmento	0.3210	Frágil	Fragmento	0.3527	Frágil	Fragmento	0,4318	Frágil
2			2			2		
Fragmento	0.3113	Frágil	Fragmento	0.4672	Frágil	Fragmento	0,3713	Frágil
3			3			3		

Nota: Comparación del índice de compactación en los años 2009, 2014 y 2018. Por Rojas L, 2019

Como se puede observar en la tabla 3, los fragmentos tuvieron unos resultados cercanos a cero, lo cual explica la fragilidad del bosque andino a ser afectado por la matriz paisajística, o uso del suelo circundante a este debido a actividades como la ganadería y la agricultura. Adicionalmente es evidente que del año 2009 al 2018 la fragilidad del bosque permaneció igual durante los últimos 9 años.

9.1.3.3 Índice de continuidad

En la tabla 4 se registran los valores del índice de continuidad para los fragmentos 1, 2 y 3 en tres temporalidades con una diferencia de cuatro a cinco años, predio Cascadas del Pucará.

Tabla 4. Índice de continuidad de Vogelmann.

Sumatoria fragmentos de bosque	Área en (m ²)	Perímetro (m)	Índice de Vogelmann
Año 2009	147552,4	6603,945	3,106
Año 2014	125872,45	5213,753	3,183
Año 2018	104390,78	4622,49	3,117

Nota: Índice de continuidad en tres temporalidades, predio Cascadas del Pucará. Por Rojas L, 2019

Según los resultados obtenidos en la tabla 4, los fragmentos presentes en este bosque andino son discontinuos, debido a que, los valores que se presentaron fueron mayores a cero, reflejando una mayor fragmentación y discontinuidad en las coberturas boscosas.

Al compararse con la escala logarítmica natural que indica Vogelmann, los valores obtenidos, estuvieron mayores de cero, presentando discontinuidad en cada uno de los fragmentos, en las tres temporalidades estudiadas, resaltando la importancia de restaurar este ecosistema nativo tan importante para el municipio.

9.2 Fragmentación a escala parcela

9.2.1 Composición de la vegetación

En la figura 5 se ilustra las familias de especies de plantas registradas en 24 transectos de 50 m de longitud en los tres fragmentos presentes en el predio Cascadas del Pucará.

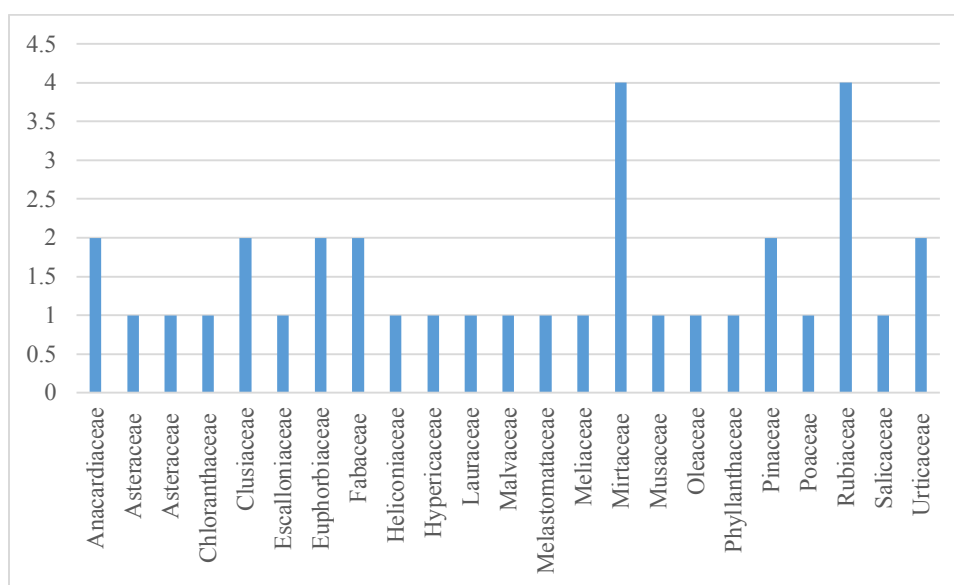


Figura 5. Variación en el número de especies de plantas discriminada por familias dominantes en los 3 fragmentos estudiados. Por Rojas L, 2019

En total se encontraron 23 familias de plantas que englobaron a 35 especies, de las cuales, las de mayor riqueza fueron Mirtaceae con 4 especies (11,43% del total) y Rutaceae con 3 especies

(8,57% del total). Se identificaron 1.294 individuos distribuidos en las 35 especies determinadas, siendo las especies de mayor abundancia *Tetrorchidium boyacanum* con 212 individuos (16,38% del total), *Pinus oocarpa* con 143 individuos (11,05% del total), *Hedyosmum translucidum* con 99 individuos (7,65% del total) y *Vismia baccifera* con 92 individuos (7,10% del total). Adicionalmente, se identificó en la familia Meliaceae la especie *Cedrela odorata* (1,54% del total), según el libro rojo de plantas de Colombia, en categoría global este, se encuentra vulnerable y en categoría nacional está en peligro de extinción (Cárdenas y Salinas, 2007) (ver anexo 7).

En la figura 6 se ilustran las curvas de acumulación de especies en 24 transectos de 50 m de longitud en tres fragmentos menores a 6 ha cada uno, a través de estimadores utilizados en el programa Stimates 6.0, herramienta útil para realizar curvas de acumulación y estimaciones de la riqueza esperada de acuerdo con modelos (Villareal, et al., 2004).

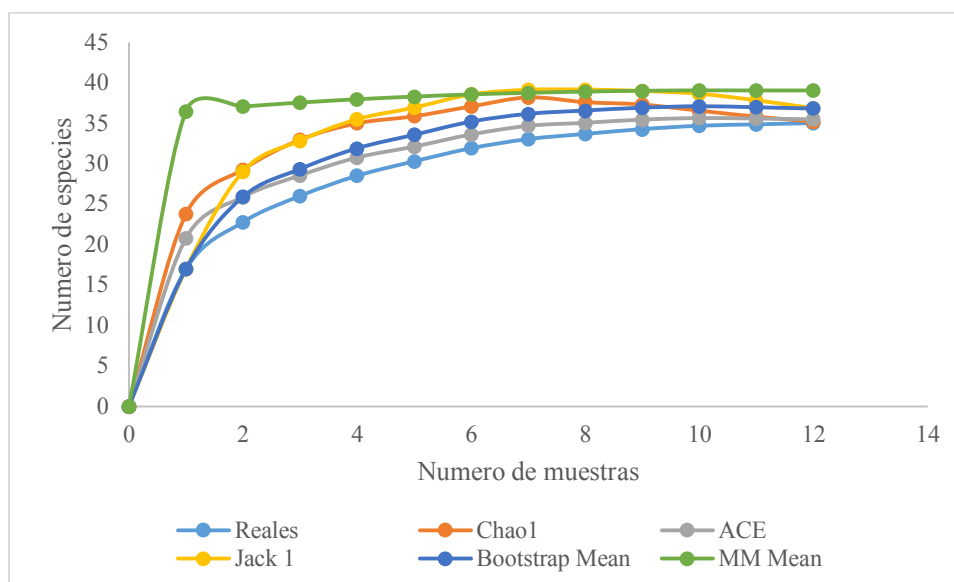


Figura 6. Curvas de saturación o acumulación de especies en los fragmentos de 1 (3 ha), 2 (5 ha) y 3 (2 ha), predio Cascadas del Pucará. Por Rojas L, 2019

En las curvas de acumulación de especies se observa que estas tienen una forma asintótica, lo cual indica que, aunque se aumente el número de muestreos, no se incrementará el número de especies (Villareal, et al., 2004)

Por lo que la figura 6, indica que se tuvo un muestreo representativo en los fragmentos 1(3ha), 2(5ha) y 3(2ha). Mediante el programa Stimates 6.0 se calcularon los estimadores Chao1, el cual

tuvo una eficiencia de muestreo del 99,51%, ACE con 98,70%, Jack 1 con 95,03%, Bootstrap Mean con 95,13% y MM Mean con 89,67 %, lo cual indica que la eficiencia del muestreo fue alta, es decir que se censo un número suficiente de individuos para generar una representatividad de la muestra (ver anexo 6).

Las curvas de rango abundancia para la distribución de plantas en tres fragmentos en 24 transectos de 50 m de longitud, se registran en la figura 7.

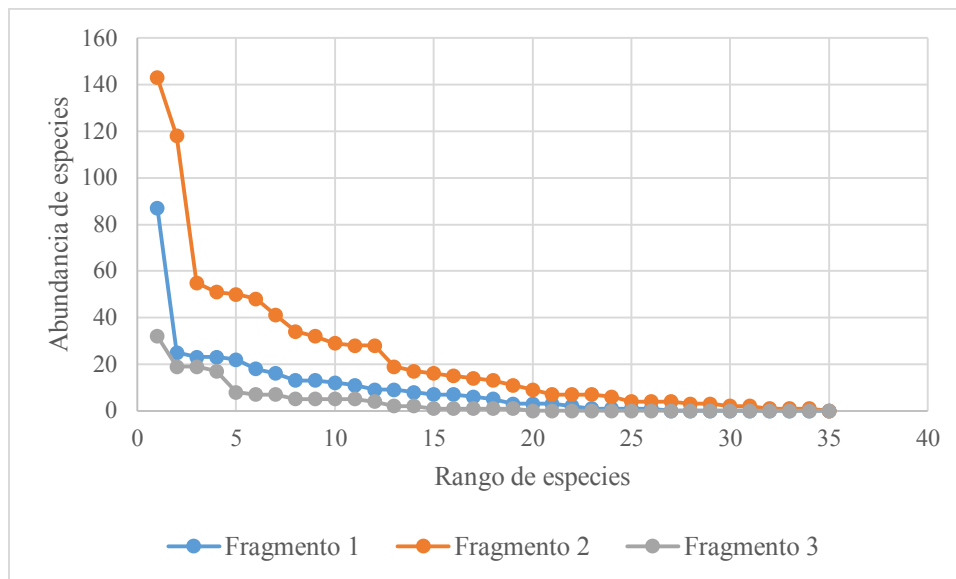


Figura 7. Curvas de rango-abundancia para la distribución de plantas en los fragmentos 1(3ha) con 7 transectos, 2(5ha) con 12 transectos y 3(2ha) con 5 transectos 50 m de longitud, predio Cascadas del Pucará. Por Rojas L, 2019

Las curvas de rango abundancia representadas en la figura 7 muestran un esquema diferencial para las especies distribuidas en el fragmento 2 (5ha) en comparación de los otros fragmentos, ya que, este presenta una mayor abundancia de especies; entre estas sobresalen *Pinus Oocarpa* con 143 individuos y *Tetrorchidium boyacanum* con 118 individuos. Seguidamente en el fragmento 1 (3ha) vuelve a tener mayor dominancia la especie *Tetrorchidium boyacanum* con 87 individuos al igual que en el fragmento 3 (2ha) pero con una abundancia de 32 individuos, es decir que esta es la especie que presenta mayor abundancia en toda el área de estudio (ver anexo 7)

9.2.2. Diversidad beta

En la figura 8, se establece la relación de la similitud en la abundancia promedio de especies de plantas en 24 transectos de 50 m de longitud, distribuidos a lo largo de 3 fragmentos entre 2 a 5 ha cada uno (tamaño pequeño)

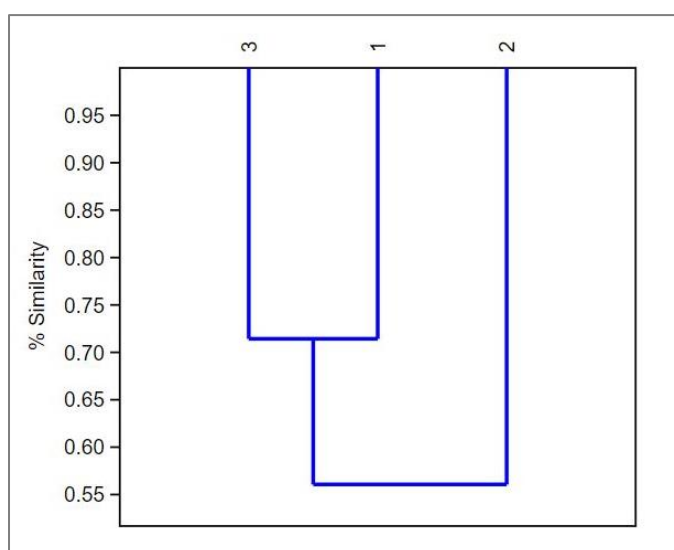


Figura 8. Dendrograma de la similitud en la abundancia promedio de especies, en tres fragmentos de tamaño pequeño entre 2 a 5 ha, predio Cascadas del Pucará. Por Rojas L, 2019

El Dendrograma de la figura 8, indica que hay un (1) grupo muy definido de acuerdo a la composición y abundancia de especies en los fragmentos de tamaño pequeño. Este grupo está conformado por las especies distribuidas en los fragmentos 1(3ha) y 3(2ha) con una similitud del 71% con respecto al fragmento 2(5ha), esto se debe, ya que, en este se encuentran especies que no están presentes en los otros fragmentos, es decir, es el que presenta una mayor diferencia. Entre las especies registradas en el fragmento 2, sobresalen *Pinus oocarpa*, *Baccharis latifolia*, *Escallonia paniculata*, *Heliconia sp*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Musa balbisiana* y *Phyllostachys aurea*, especies que no se identificaron en los fragmentos 1 y 3, adicionalmente, se encontraron especies que no son pertenecientes a este ecosistema de bosque andino, como *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus camaldulensis* que fueron introducidas con una mayor abundancia.

9.2.3. Diversidad alfa

En la tabla 5 se registran diversos índices de diversidad alfa para los fragmentos 1 (3ha), 2 (5ha) y 3 (2ha)

Tabla 5. Variación en los índices de diversidad alfa

Diversidad	Fragmentos de 1 a 8 ha		
	Fragmento 1 (3 ha)	Fragmento 2 (5 ha)	Fragmento 3 (2 ha)
Índices de riqueza			
Menhinick	3,792	4,106	3,565
Margalef	6,923	8,235	5,823
Índice de dominancia			
Simpson 1-D	0,8952	0,9217	0,8846
Índices de heterogeneidad			
Shannon Wiener (H')	2,714	2,915	2,453
Numero de Hill	15	18	12
Chao-1	27	34	25
Índice de equidad			
Shannon-J'	0,833	0,8267	0,8332

Nota: Variación en los índices de diversidad alfa en los fragmentos 1(3ha) con 7 transectos, 2(5ha) con 12 transectos y 3(2ha) con 5 transectos 50 m de longitud, predio Cascadas del Pucará. Por Rojas L, 2019

De acuerdo con la tabla 5, los índices de diversidad muestran que hay diferencia en la diversidad de especies en los tres fragmentos identificados. Como se puede observar en los índices de Menhinick y Margalef la riqueza de las especies es similar en los fragmentos 1(3ha) y 3(2ha) en comparación del fragmento 2 que presenta una mayor riqueza. De acuerdo con el ANOVA no paramétrico en los índices de Shannon se evidencian diferencias (Kruskal-Wallis $H= 7.374$, $H_c= 7.427$, $P= 0.006427$) en los fragmentos 2(5ha) y 3(2ha), lo cual indica que las muestras no son muy parecidas. De igual manera las dominancias en los diferentes fragmentos son similares en los fragmentos 1(3ha) y 3(2ha), esto demuestra que el fragmento 2(5ha) sobresale de los otros dos, puesto que, la cantidad de individuos es mayor, lo que muestra una distribución equitativa en el modelo de abundancia de las especies en los fragmentos 1(3ha) y 3(2ha).

9.3 Análisis de paisaje y de parcela

Para establecer el análisis de paisaje y de parcela es necesario hacer una relación entre la composición de las especies de plantas, las variables de fragmentación y de diversidad, en los tres fragmentos de bosque identificados, por lo tanto, se realizó un Análisis de Correspondencia Simplificado (Detrended)-DCA.

En la figura 9 se representa el biplot del Análisis de Correspondencia Simplificado (Detrended) para un total de 35 especies de plantas, 3 variables de fragmentación y 7 variables de diversidad en los fragmentos 1(3ha), 2(5ha) y 3(2ha), incluidos en los análisis.

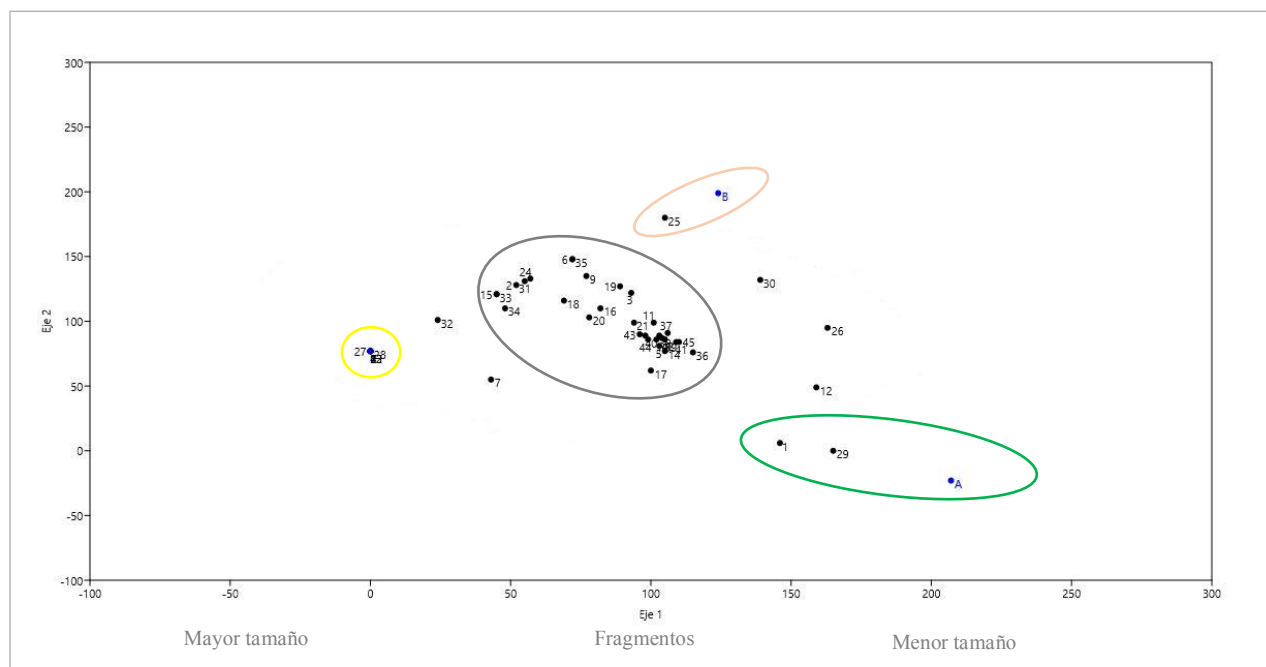


Figura 9. Análisis de Correspondencia Simplificado (Detrended), ilustración de la distribución de 35 especies de plantas, 3 variables de fragmentación y 7 variables de diversidad en los fragmentos 1(3ha), 2(5ha) y 3(2ha) (las variables con más relación se encuentran encerradas con un círculo). Por Rojas L, 2019

En la figura 9, se ilustra la distribución de los tres fragmentos presentes en el área de estudio (representados por puntos azules), su relación con variables biológicas (35 especies), 3 variables de fragmentación y 7 variables de diversidad (representadas por puntos negros).

Se evidencia un grupo de puntos encerrados en el círculo negro con un alto grado de correlación, dada la proximidad de ellos (entre variables biológicas, de fragmentación y diversidad, engloban el 95% de los datos incluidos).

En la gráfica biplot (figura 9), se definen 2 ejes de ordenación, el eje 1, tuvo un resultado de 0.1226, el cual representa al 20.26% de la variabilidad, el eje 2 obtuvo un resultado de 0.02921, el cual representa el 48.27% de la variabilidad, son los que tienen una mayor varianza acumulada, la cual explica el 68% de la variabilidad entre los datos.

En el análisis DCA los fragmentos están distanciados uno de otro, a lo largo de los dos ejes de ordenación, esto presupone la existencia de diferencias en la composición de especies asociadas a cada fragmento. De acuerdo con los resultados obtenidos del test ANOVA (Kruskal-Wallis $H=7.374$, $H_C=7.427$, $P=0.006427$), los tamaños de los fragmentos están asociados a los cambios en la abundancia de las especies.

Tal como se ilustra en la figura 9, las variables incluidas en el círculo amarillo, en el caso del punto C equivalente al fragmento 2 de 5ha se asocia con las abundancias de la especie 27 (*Pinus oocarpa*), la especie 28 (*Phyllostachys aurea*), y la especie 22 (*Eucalyptus camaldulensis*), es decir que este fragmento se relaciona más con la abundancia de especies introducidas, mas no con especies nativas del ecosistema.

En el punto B el cual, pertenece al fragmento 1 de 3ha se relaciona con la abundancia de la especie 25 (*Hieronyma sp*), por último, el punto A que equivale al fragmento 3 de 2ha, se puede observar que este, está relacionado con las abundancias de la especie 29 (*Coffea arabica*) y la especie 1 (*Mangifera indica*).

Con respecto a los índices de fragmentación, los cuales son, el 36 (índice de forma), 37 (índice de compactación) y 38 (índice de continuidad) como se observa en la nube de puntos negros, estos están directamente asociados con los índices de diversidad, es decir, con el punto 45 (índice de Pielou), 39 (índice de Menhinick), 40 (índice de Margalef), 41 (índice de Simpson 1-D), 42 (índice de Shannon), 43 (números efectivos de Hill) y 44 (índice de Chao-1).

La cercanía que hay entre los índices de fragmentación y diversidad de especies, refleja una relación entre las dos métricas.

Lo cual indica, que de la forma, fragilidad y continuidad de los fragmentos están relacionados con la riqueza, dominancia y heterogeneidad de las especies de plantas, en este caso, en el que los fragmentos presentes en el área de estudio son discontinuos como se observa en la tabla 4, esto puede afectar las variables de diversidad anteriormente mencionadas.

Las especies de plantas que se encuentran en el círculo negro de la figura 9 son las que se pueden ver afectadas, por los efectos de la fragmentación, se evidencia que, entre ellas, se encuentra en el punto 18, la especie *Cedrela odorata* que está en peligro de extinción de acuerdo al libro rojo de plantas de Colombia (Cárdenas y Salinas, 2007), lo cual indica, que tanto la riqueza, como la dominancia y la heterogeneidad de estas especies, tendrán cambios negativos, si continua la fragmentación por pérdida de cobertura vegetal en el área de estudio.

10. Discusión

En los resultados obtenidos del estudio, se evidencia una variabilidad significativa estadísticamente en la composición y diversidad de especies en los fragmentos presentes en el predio, comprobando la hipótesis planteada, que a menor tamaño de los fragmentos se presenta menor diversidad, generando un cambio en la variación de las especies de plantas. Diversos estudios han evidenciado, que al presentarse fragmentos irregulares se incrementa el efecto de borde; esto reduce el área central o núcleo del fragmento generando una mayor afectación respecto a la composición y abundancia de especies, lo cual, en el largo plazo, puede desencadenar procesos de extinción local (León, 2013; Ferreira et al., 2018).

En el caso de esta investigación, las curvas de rango abundancia (figura 7) ilustran la dominancia de solo dos especies (*Pinus oocarpa* y *Tetrorchidium boyacanum*) en los tres fragmentos estudiados, lo cual, refleja la irregularidad de los mismos y las consecuencias del efecto de borde.

Según estudio de dimensión paisajística de métricas espaciales en Brasil, “el efecto de borde no solo está directamente relacionado con valores altos de índice de diversidad de Patton, sino que también corresponde al tamaño de los parches, es decir, parches pequeños, tienen áreas centrales pequeñas lo que hace que sean menos eficaces y ecológicamente más vulnerables a la invasión o la dominación de otras especies” (Ferreira et al., 2018). Esto se pudo evidenciar, en la presente investigación con la inclusión de la especie *Pinus oocarpa* en el ecosistema, la cual en el fragmento 2 (5ha) tuvo una mayor dominancia.

Estos resultados indican que las especies presentes en el ecosistema, se pueden ver afectadas por la deforestación y fragmentación del área de estudio, ya que, se identificó que en los fragmentos más pequeños como el 1(3ha) y el 3(2ha) la abundancia y variedad de especies es mucho menor en comparación del fragmento 2 (5ha).

Según resultados obtenidos en un estudio de conectividad ecológica de fragmentos de bosque andino en Medellín, la continuidad de los procesos ecológicos que sostienen la riqueza de las especies, se puede ver afectada con la pérdida de hábitat y la fragmentación (Colorado, Vásquez, & Mazo, 2017).

Para este estudio, según lo mencionado anteriormente, la falta de continuidad de los fragmentos, expresada en los valores del índice de continuidad en las tres temporalidades y los resultados del dendrograma (figura 8), indican que hay un efecto del tamaño sobre la riqueza y abundancia de las especies.

A medida que los fragmentos van disminuyendo van desapareciendo especies, y especies como *Cedrela odorata* que es una especie maderable de gran valor, son más susceptibles a estos cambios. Cabe resaltar que se encuentra catalogada como especie en categoría de En Peligro (EN) según el libro rojo de plantas de Colombia (Cárdenas y Salinas, 2007), debido a la disminución de sus poblaciones silvestres principalmente por la fragmentación del hábitat y deforestación (Sharp et al., 2018). Lo anterior se demuestra en este ecosistema, dado que, esta especie en el fragmento 2(5ha) presenta una abundancia de 13 individuos, 65% del total de individuos, pero conforme van disminuyendo las hectáreas de los fragmentos esta especie también se va perdiendo, en el fragmento 1(3ha) se encuentran 6 individuos, 35% del total de individuos y en el fragmento 3(2ha) solo se encuentra 1 individuo de esta especie, 5% del total de individuos de esta especie.

El tamaño de cada uno de los transectos realizados para la identificación de las especies, coincide con el manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad, del instituto Von Humboldt (Villareal, et al., 2004). Puesto que, se tuvo una unidad de muestreo de 0.24 ha en cada fragmento con un total de 24 transectos de 50 x 2m. Esta coincidencia indica que el tamaño de muestra realizado fue adecuado, ya que, supera el valor de 0.1 ha definido en las evaluaciones ecológicas rápidas utilizadas por el instituto Humboldt para establecer la representatividad de los muestreos.

La diversidad tuvo variación en los sitios de estudio, de acuerdo a los índices de diversidad alfa, esta variación es más notoria en los fragmentos 1 y 3 con respecto al fragmento 2 que tiene más variedad y diversidad de especies, esto se debe a que, es el fragmento con más hectáreas en el área de estudio, presentando mayor riqueza en la abundancia de especies.

11. Conclusiones

En la zona de estudio los mayores impactos que se observan sobre el bosque andino, son el aumento de la fragmentación y la pérdida de cobertura vegetal con un porcentaje del 63% y un valor de 17.59 ha, una presencia de cobertura boscosa de 10.43 ha con un porcentaje del 37%, debido a las actividades agrícolas y ganaderas de la región.

Lo anterior sumado a procesos de remoción en masa del sismo ocurrido en el año 2008, aumenta los procesos erosivos disminuyendo la cobertura vegetal. El sistema productivo que más impactos ambientales genera es la ganadería en un 42%, seguido la agricultura en un 11%, presentando impactos que están reflejados en deslizamientos, erosión y fragmentación del paisaje, ocasionando la pérdida de cobertura vegetal, incrementando la fragmentación, asimismo contribuyendo al deterioro de este bosque nativo.

El análisis de la evolución de los fragmentos presentes en la zona, fue fundamental para este estudio, ya que, permitió determinar los cambios más significativos en el área de estudio en tres temporalidades, conociendo su relación con la intervención antrópica, lo cual permite entender la evolución de las problemáticas, para buscar a través de procesos planificados, la solución de las mismas.

El índice de forma fue fundamental para evaluar la fragmentación presente en este ecosistema de bosque andino, ya que, se identificó la forma de cada fragmento que en este caso de acuerdo a los resultados obtenidos al tener valores superiores a 2 para los tres años es irregular demostrando que este, está espacialmente fragmentado. Lo anterior es coincidente con lo establecido con (Ferreira et al., 2018), el cual afirma que cuanto mayor sea el valor del índice, es más compleja la forma del fragmento que resulta en una mayor probabilidad de múltiples micro-hábitats y mayores efectos de borde.

en cuanto a su compactación se identificó que tanto para el 2009, 2014 y 2018 al obtener valores cercanos a cero, determinó que este ecosistema nativo es frágil debido a que, es afectado por el uso del suelo circundante a este por actividades como la ganadería y agricultura.

En los fragmentos identificados en el predio, se presentó una disminución en la abundancia de las especies de acuerdo al tamaño de los fragmentos. En los fragmentos 1(3ha) y 3(2ha) se evidencio la disminución en la abundancia de las especies con respecto al fragmento 2(5ha), que fue el que presento un mayor número de individuos.

Las curvas de rango-abundancia realizadas en este estudio, para el fragmento 2(5ha) se reportan un mayor número de especies de plantas dominantes en la zona de estudio, entre ellas sobre salen, *Pinus oocarpa*, *Tetrorchidium boyacanum* y *Hedyosmum translucidum*, con altas abundancias en este fragmento de bosque. Pero se pudo identificar, al tener el total de individuos en el bosque andino, que la especie que más dominancia y abundancia tiene es la *Tetrorchidium boyacanum*.

Se encontraron diferencias significativas en los valores de diversidad alfa y beta en los fragmentos 1(3ha) y 3(2ha), con respecto al fragmento 2(5ha), es por ello que en el dendrograma presente en la figura 8 se evidencia la agrupación de las abundancias de las especies, entre el fragmento 1(3ha) y 3(2ha) que son los que mayor similitud tienen.

El análisis de correspondencia DCA indica una relación clara de todas las variables analizadas, por agrupaciones; en conclusión, la fragmentación del bosque andino es evidente, cabe resaltar que las variaciones en las abundancias de las especies están relacionadas de acuerdo al tamaño de cada uno de los fragmentos. Adicionalmente las variables de fragmentación, intervienen con las variables de diversidad.

El bosque andino presente en el predio Cascadas del Pucará está fragmentado con valores altos del índice de diversidad de Patton. La mayor parte de los fragmentos son pequeños, lo que puede reflejar la pérdida de la diversidad local. El área total de bosque y el tamaño de las coberturas boscosas, puede influir en el efecto de borde, que a su vez puede aumentar la vulnerabilidad de los fragmentos y limitar la diversidad local (Ferreira et al., 2018).

La posterior investigación presento efectos ecológicos de acuerdo al tamaño de los fragmentos con la diversidad local; este estudio, puede contribuir a una mejor comprensión de los procesos de fragmentación. El uso de SIG y la ecología de las métricas de paisaje permite a los efectos de la fragmentación ser evaluados de forma rápida y eficiente.

12. Recomendaciones

De acuerdo a los resultados obtenidos se manifestó una diferenciación significativa estadísticamente, esto comprobó la hipótesis planteada, ya que, al presentarse un menor tamaño de los fragmentos se generó un cambio en la variación de especies de plantas, presentando en este ecosistema una menor diversidad.

En esta investigación, se dio cumplimiento al segundo paso para poder realizar una restauración ecológica, debido a que se evaluó el estado en el que se encuentra actualmente este ecosistema, con el fin de que las autoridades correspondientes puedan seguir con los otros pasos de restauración para mejorar la calidad del ecosistema.

En el estudio se identificó que el fragmento 2(5ha), posee una gran variedad de especies, de abundancias, pero, este presenta una mayor abundancia de especies introducidas, es decir, que no pertenecen al ecosistema, para ello, es recomendable generar un enriquecimiento en este fragmento con las especies que fueron de mayor abundancia en los fragmentos 1(3ha) y 3(2ha) en este caso *Tetrorchidium boyacanum*.

Las zonas de potrero, es recomendable reforestarlas con especies endémicas del área de estudio y que se encuentran en los fragmentos identificados, especies como *Clusia multiflora* se usa con fines de protección, debido a sus características, se debe incluir permanentemente en los programas de repoblamiento.

De igual manera, sucede con la especie *Escallonia paniculata*, la cual es una especie representativa de los bosques andinos, adicionalmente, en el municipio es utilizada con fines de conservación de cuencas hidrográficas (Alcaldía de Quetame Cundinamarca, 2018), es así, como la siembra de esta especie contribuirá a procesos de repoblamiento, en este caso en áreas en las que no se presenta cobertura vegetal.

Una especie también muy importante para el proceso de restauración es *Myrciantes leucoxylla*, ya que, es una especie que conserva las fuentes de agua, además proporciona alimento a las aves, asimismo se conserva como protectora del suelo en el curso de las quebradas, rondas de humedales,

cercas vivas en los linderos de fincas y delimitación de potreros (Alcaldía de Quetame Cundinamarca, 2018).

Es importante lograr la participación comunitaria, evaluar el potencial de regeneración del ecosistema, y dar cumplimiento a los demás pasos para poder realizar una restauración ecológica.

13. Referencias bibliográficas

- Ley 99 (1993). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. Retrieved 22 April, 2018, from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>
- Decreto 607 (2011). Por medio del cual se adopta la Política Pública para la Gestión de la Conservación de la Biodiversidad en el Distrito Capital. Retrieved 16 April, 2018, from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=45095>
- Alcaldía de Quetame Cundinamarca. (2018). Plan de desarrollo. Consultado el 1 de enero de 2018, de www.quetame-cundinamarca.gov.co
- Agencia nacional de minería. (2013). Anmgovco. Retrieved 16 April, 2018, from <https://www.anm.gov.co/?q=content/decreto-1374-de-2013>
- Aguirre, N & Botero, J. (2018). Estructura poblacional y distribución espacial del roble negro (*Colombobalanus excelsa*, Fagaceae), especie endémica, en fragmentos de bosque andino colombiano. *Biología tropical*, 66(2), 486-494 pp.
- Anker, F, Rosltad, J & Wegge, P. (1993). Predicting space use responses to habitat fragmentation: can voles *Microtus oeconomus* serve as an experimental model system (EMS) for Capercaillie Grouse *Tetrao urogallus* in boreal forest? *Biological Conservation*, 63(3), 261-268 pp.
- Ardila Otálora, A. (2003). Mamíferos de los bosques de roble. *Acta Biológica Colombiana*, 8(2), 57-71 pp.
- Barrientos, R, Leirana, J & Navarro, J. (2016). Métodos gráficos para la exploración de patrones de diversidad en Ecología. *Bioagrociencias*, 9(2), 11-18 pp.
- Bermúdez, E. (2013). Análisis multitemporal en la cobertura boscosa de la zona norte del departamento del chocó, 1990 – 2014 (Trabajo de grado, especialista en información geográfica). Universidad de Manizales facultad de ciencias e ingeniería.
- Bosquesandinosorg. (2019). Bosques Andinos. Retrieved 4 March, 2019, from <http://www.bosquesandinos.org/>
- Bustamante, R & Grez, A. (1995). Consecuencias ecológicas de la fragmentación de los

- bosques nativos. *Ambiente y Desarrollo*, 11(2), 58-63 pp.
- Bustamante, C & Rojas, L. (2018). Reflexiones sobre transiciones ganaderas bovinas en Colombia, desafíos y oportunidades. *Revista Biodiversidad en la práctica Von Humboldt*, 3(1), 1-29 pp.
- Cárdenas L., D. & N.R Salinas (eds.). 2007. Libro de plantas de Colombia. Volumen 4. Especies maderables amenazadas: Primera parte. Serie libros rojos de especies amenazadas de Colombia. Bogotá, Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones científicas SINCHI – Ministerio de ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 232 pp.
- Colorado, G, Vásquez, J & Mazo, I. (2017). Modelo de conectividad ecológica de fragmentos de bosque andino en Santa Elena (Medellín, Colombia). *Acta biológica colombiana*, 22(3), 379-393.
- Cundinamarcagovco. (2018). Departamento de Cundinamarca. Retrieved 10 November, 2018, from <http://www.cundinamarca.gov.co/>
- Etter, A & Wyngaarden, W. (2000). Patterns of Landscape Transformation in Colombia, with Emphasis in the Andean Region. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 29(7), 432-439 pp.
- Fazey, I, Fisher, J & Lindenmayer, D.B. (2005). What do conservation biologists publish? *Biological Conservation*, 124(1), 63-73 pp.
- Ferreira et al. (2018). Spatial dimension landscape metrics of Atlantic Forest remnants in Paraná State, Brazil. *Geography*, 40(10), 2-8 pp.
- Galván, G, Gastón, B & Ossa, J. (2015). Determinación de la fragmentación del bosque seco del arroyo Pechelín, Montes de María, Caribe, Colombia. *Biota Colombiana*, 16(2), 149-157 pp.
- García, R, Moreno, C & Bello, J. (2011). Renovando las medidas para evaluar la diversidad en comunidades ecológicas: El número de especies efectivas de murciélagos en el sureste de Tabasco, México. *THERYA*, 2(3), 205-215 pp.
- Gómez, P, Cisneros, R & Orlando, V. (2013). Facilitation among plants: A strategy for the ecological restoration of the high-andean forest (Bogotá, DC—Colombia). *Ecological Engineering*, 57(1), 267-275 pp.
- Gobierno de Colombia. (2015). Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). Consultado el 4 de marzo de 2019, de

- <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2170-colombia-pais-de-montanas>
- Hill, M & Gauch, H. (1980). Detrended correspondence analysis: An improved ordination technique. *Vegetatio*, 42(1-3), 47-58 pp.
- Hill, M. (1973). Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences. *Ecology*, 54: 427-432 pp.
- Isaacs, P & Urbina, J. (2011). Anthropogenic disturbance and edge effects on anuran assemblages inhabiting cloud forest fragments in Colombia. *Natureza & Conservacao*, 9(1), 39-46 pp.
- Resolución 705 (2013). Por medio de la cual se establecen unas reservas de recursos naturales de manera temporal como zonas de protección y desarrollo de los recursos naturales renovables o del ambiente y se dictan otras disposiciones. Retrieved 16 April, 2018, from https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambientes_0705_2013.htm
- Kattan, G. (2002). Fragmentación: patrones y mecanismos de extinción de especies. pp. 561-590 pp. En: Guariguata, M. R.; Kattan, G. H. (Eds.). *Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales*. Costa Rica, Libro Universitario Regional.
- León, S. (2013). Efecto de la forma de los fragmentos de un bosque andino transformado sobre una comunidad de aves, Suesca Cundinamarca, Colombia (Tesis de maestría, Ciencias Biológicas). Pontificia Universidad Javeriana.
- Lozano, L, Gómez, F & Valderrama, S. (2011). Estado de fragmentación de los bosques naturales en el norte del departamento del Tolima-Colombia. *Dialnet*, 1(6), 125-140 pp.
- MADS. (2019). Plan Nacional de Restauración Ecológica, Rehabilitación y Recuperación de Áreas Degradadas – PNR Retrieved 4 March, 2019, from <http://www.minambiente.gov.co/index.php/bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistematicos/gestion-en-biodiversidad/restauracion-ecologica>
- Magurran, A. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey, 179 pp.
- Meneses, R & Armbrrecht, I. (2018). Índice de intensificación agrícola y conservación vegetal en bosques y cafetales colombianos con diferentes estrategias de manejo. *Caldasia*, 40(1), 161-176 pp.
- Minambiente. (2015). Plan Nacional de Restauración ecológica, Rehabilitación y

- Recuperación de Áreas Disturbadas. (2 ed.). Bogotá Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Decreto 1996 (1999). Por el cual se reglamentan los artículos 109 y 110 de la Ley 99 de 1993 sobre Reservas Naturales de la Sociedad Civil. Retrieved 15 April, 2018, from http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Normativa/Decretos/dec_1996_151099.pdf
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2014). Decreto Ley 2811 de 1974. In sarmiento, L (Ed), Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (pp. 2-122)
- Decreto 3570 (2011). Por el cual se modifican los objetivos y la estructura del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y se integra el Sector Administrativo de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Retrieved 27 April, 2019, from http://www.minambiente.gov.co/images/Ministerio/Misi%C3%B3n_y_Vision/dec_3570_270911.pdf
- Morales, M & Armenteras, D. (2013). Estado de conservación de los bosques de niebla de los andes colombianos, un análisis multiescalar. Scielo, 17(1), 64-72 pp.
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 p.
- Pauchard, A et al. (2014). Invasiones de plantas en ecosistemas forestales: bosques y praderas invadidas. Ediciones Universidad Austral de Chile: Donoso C, González M.
- Perú ministerio de agricultura y riego (2015). Diversidad de especies. Retrieved 4 March, 2019, from <http://www.minagri.gob.pe/portal/47-sector-agrario/recurso-biodiversidad/345-diversidad-de-especies>
- Decreto Ley 870 (2017). Por el cual se establece el pago por servicios ambientales y otros incentivos a la conservación. Retrieved 16 April, 2018, from <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20870%20DEL%2025%20DE%20MAYO%20DE%202017.pdf>
- Quintero, A, Domínguez, O & Valenzuela, L. (2012). Algunas reflexiones sobre fragmentación y sus retos para la investigación. Dialnet, 2(1), 15-20 pp.
- Rubinstein & Harvey M (1994). Una Guía para la Planificación de Sitios y Construcción Paisajista, 4ta Edición. New York: Sistema de Información de Conservación de la

Biodiversidad (www.biodiversity.org/index_es.htm)

Santos T., Telleria J.L. 2006. Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas*. 2006/2 3-12 (URL: http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=423&Id_Categoria=2&tipo=portada)

Sharp et al. (2018). Forest quality, forest area and the importance of beta-diversity for protecting Borneo's beetle biodiversity. *BioRxiv*, 1(1), 1-28 pp.

Suarez et al. (2015). Returning home: Movement strategies of subandean birds in a modified landscape. *Tropical Conservation Science*, 8(4), 992-998 pp.

Tobón, C. (2009). Los bosques andinos y el agua. Serie investigación y sistematización #4. Programa Regional Ecobona – intercooperation, condesan. Quito, mayo 2009.

Vargas, O & Reyes, S. (2011). Memorias I Congreso Colombiano de restauración ecológica & segundo simposio nacional de experiencias en restauración ecológica. (1 ed.). Bogotá Colombia: Orlando Vargas Ríos y Sandra Paola Reyes B.

Vargas, O & Velasco, P. (2008). Problemática de los bosques altoandinos. *Universidad Nacional de Colombia*, 2(2), 41 – 56 pp.

Velandia. (2019). definición de la restauración ecológica según el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Retrieved 4 March, 2019, from <http://www.humboldt.org.co/es/actualidad/item/635-restauracion-eco>

Villegas, J & Villalobos, J. (2014). Avifauna del Caribe sur asociada a ecosistemas alterados en Limón, Costa Rica. *Research Journal of the Costa Rican Distance Education University*, 6(2), 187-196 pp.

Villareal H., M. Álvarez, S. Córdoba, F. Escobar, G. Fagua, F. Gast, H. Mendoza, M. Ospina y A.M. Umaña. (2004) Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de inventarios de biodiversidad. Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 236 pp.

Vogelmann, J. (1995). Assessment of forest fragmentation in southern New England using remote sensing and geographic information systems technology. *Conservation Biology*, 9(2), 439-449 pp.

Whittaker, R.H. (1965). Dominance and Diversity in Land Plant Communities. *Science*, 147(36), 250-260 pp.

Anexo 1. Forma de fragmentos según el índice de diversidad de formas de Patton. (Vogelmann, 1995).

Forma	Índice (D.I.)
Redondo	<1.25
Oval-redondo	$1.25 \leq 1.50$
Oval oblongo	$1.50 \leq 1.75$
Rectangular	$1.76 \leq 2$
Amorfo o irregular	> 2

Anexo 2. Cobertura vegetal presente del año 2009 al 2018. Por Rojas L, 2019

Zonas 2009	Área	Perímetro	Zonas	Área	Perímetro	Zonas	Área	Perímetro
	(ha)	(m)	2014	(ha)	(m)	2018	(ha)	(m)
Fragmento 1	3.90	1582.3	Fragmento 1	3.91	1607	Fragmento 1	3.25	1415
Fragmento 2	8.15	3154.2	Fragmento 2	7.29	2713	Fragmento 2	5.25	1880
Fragmento 3	2.68	1867.3	Fragmento 3	1.38	893	Fragmento 3	1.93	1326
Total	14.75	6603.9	Total	12.58	5213	Total	10.43	4622

Anexo 3. Zonas de potrero presentes en el año 2009. Por Rojas L, 2019

Zonas 2009	Área (ha)	Perímetro (m)
P. Cobertura A	3.85411153	1246.848299
P. Cobertura B	6.15595572	1719.628395
P. Cobertura C	0.2794343	315.88257
P. Cobertura D	0.667060783	696.773248
P. Cobertura E	0.271463284	280.283339
P. Cobertura F	0.76686586	572.513599
P. Cobertura G	0.480526995	310.341818
P. Cobertura H	0.432972255	374.397085
P. Cobertura I	0.538446076	525.295665
Total	13.4468368	6041.964018

Anexo 4. Zonas de potrero presente en el año 2014. Por Rojas L, 2019

Zonas 2014	Área (ha)	Perímetro (m)
P. Cobertura A	6.60949399	1744.650547
P. Cobertura B	0.660113531	507.896495
P. Cobertura C	0.475679008	321.876085
P. Cobertura D	0.320967387	270.801582
P. Cobertura E	0.882622489	488.60252
P. Cobertura F	0.319711844	278.597765
P. Cobertura G	0.179863973	213.077345

Anexo 4. Continuación. Por Rojas L, 2019

Zonas 2014	Área	Perímetro
	(ha)	(m)
P. Cobertura H	0.367742781	262.821759
P. Cobertura I	5.07956214	1672.736123
P. Cobertura J	0.58261868	405.221001
Total	15.4783758	6166.281222

Anexo 5. Zonas de potrero presente en el año 2018. Por Rojas L, 2019

Zonas 2018	Área	Perímetro
	(ha)	(m)
P. Cobertura A	6.45657211	2041.515551
P. Cobertura B	0.160378965	167.760218
P. Cobertura C	0.259607961	257.739194
P. Cobertura D	0.583753899	413.774411
P. Cobertura E	0.461188297	344.785404
P. Cobertura F	0.378718596	271.043498
P. Cobertura G	0.419741049	278.324458
P. Cobertura H	8.8757677	2303.617866
Total	17.5957286	6078.5606

Anexo 6. Datos ilustrados en las curvas de acumulación de especies. Por Rojas L, 2019

Samples	Reales	Chao1	ACE	Jack 1	Bootstrap Mean	MM Mean
0	0	0	0	0	0	0
1	16.97	23.74	20.76	16.97	16.97	36.47
2	22.76	29.26	25.86	29.02	25.89	37.04
3	25.99	32.94	28.53	32.82	29.32	37.53
4	28.49	34.97	30.74	35.47	31.88	37.94
5	30.27	35.84	32.09	36.91	33.55	38.27
6	31.89	37.05	33.59	38.54	35.18	38.54
7	33.02	38.17	34.66	39.11	36.14	38.74
8	33.66	37.58	35.03	39.14	36.55	38.89
9	34.25	37.29	35.43	38.97	36.9	38.99
10	34.67	36.53	35.62	38.62	37.08	39.04
11	34.84	35.79	35.56	37.81	36.95	39.03
12	35	35.17	35.46	36.83	36.79	39.03

Anexo 7. Listado de especies de plantas y los 24 transectos realizados en el área de estudio. Por Rojas L, 2019

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	FRAGMENTOS GRUPO 1 DE (3 ha)							Abunda ncia	FRAGMENTOS GRUPO 1 DE (2 ha)					Abunda ncia	FRAGMENTO GRUPO 2 (8 ha)												Abunda ncia
		1	2	3	4	5	6	7		8	9	10	11	12		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,08333
	<i>Mauria heterophylla</i>	1	1	0	0	0	1	0	0,42857	0	0	0	0	0	0	0	1	1	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0,58333
Asteraceae	<i>Piptocoma discolor</i>	0	15	3	3	0	0	2	3,28571	0	4	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	16	10	2,33333	
	<i>Baccharis latifolia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0,16667	
Chloranthaceae	<i>Hedyosmum translucid</i>	2	10	1	2	5	3	2	3,57143	3	2	1	1	12	3,8	3	1	3	3	12	6	7	2	4	14	0	4,58333	
Clusiaceae	<i>Clusia multiflora</i>	1	0	11	1	0	0	0	1,85714	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	2	8	0	0	0	1	0	1,33333	
	<i>Clusia grandiflora</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,2	0	0	1	3	3	1	1	0	0	0	0	0,75	
Escalloniaceae	<i>Escallonia paniculata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0,16667	
Euphorbiaceae	<i>Tetrorchidium boyacan</i>	2	26	28	9	13	3	6	12,4286	0	4	3	0	0	1,4	0	4	3	1	9	58	21	10	0	6	4	2	9,83333
	<i>Hevea brasiliensis</i>	0	0	1	0	2	0	0	0,42857	0	0	1	1	0	0,4	0	0	0	0	1	2	1	0	0	1	1	0,5	
Fabaceae	<i>Inga sp</i>	0	1	0	5	2	2	1	1,57143	0	4	0	0	1	1	0	2	1	0	3	4	4	2	0	0	0	1	1,41667
	<i>Erythrina rubrinervia</i>	0	3	2	0	0	0	0	0,71429	0	0	2	6	0	1,6	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0,33333
Heliconiaceae	<i>Heliconia sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	9	1,16667	
Hypericaceae	<i>Yismia baccifera</i>	0	3	3	3	10	1	2	3,14286	7	1	5	0	6	3,8	0	1	3	5	9	3	5	7	2	7	1	8	4,25
Lauraceae	<i>Persea americana</i>	0	0	0	1	0	0	0	0,14286	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25
Malvaceae	<i>Ochroma pyramidale</i>	1	5	1	1	3	4	3	2,57143	0	3	2	0	0	1	0	2	2	0	2	12	5	0	0	0	8	3	2,83333
Melastomataceae	<i>Miconia sp</i>	0	0	1	3	8	0	0	1,71429	1	7	4	0	5	3,4	0	2	3	1	5	6	2	1	3	9	2	14	4
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i>	0	2	2	1	0	1	0	0,85714	0	1	0	0	0	0,2	0	1	0	0	2	4	3	2	0	0	1	0	1,08333
Mirtaceae	<i>Psidium quajava</i>	5	4	1	2	5	4	2	3,28571	3	0	1	0	0	0,8	0	1	1	1	2	0	2	15	6	0	0	0	2,33333
	<i>Myrcianthes leucocarpa</i>	0	0	0	2	1	0	0	0,42857	1	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	3	1	1	2	0	0	0	0,58333
	<i>Myrcia cucullata</i>	1	1	10	0	0	0	4	2,28571	6	0	1	0	0	1,4	0	2	4	10	5	0	1	0	1	1	5	0	2,41667
	<i>Eucalyptus camaldulen.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,08333
Musaceae	<i>Musa balbisiana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	16	0	0	0	0	0	0	0	0	3,41667	
Oleaceae	<i>Fraxinus uhdei</i>	0	0	0	1	1	0	0	0,28571	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0,33333
Phyllanthaceae	<i>Hieronyma sp</i>	0	6	7	0	0	0	0	1,85714	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0,33333
Pinaceae	<i>Pinus radiata</i>	0	0	0	1	7	0	0	1,14286	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Pinus Occarpa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	99	0	0	0	11,9167	
Poaceae	<i>Phyllostachys aurea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,16667	
Rubiaceae	<i>Coffea arabica</i>	0	0	0	1	0	0	0	0,14286	0	5	10	17	0	6,4	0	7	8	0	0	0	3	1	0	0	0	0	1,58333
Rutaceae	<i>Citrus x aurantium</i>	0	0	0	4	3	0	0	1	2	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0,08333
	<i>Citrus x aurantifolia</i>	0	0	0	6	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	3	0	0	0	0	0	0	1,25
	<i>Citrus x limonia</i>	1	0	0	0	0	0	0	0,14286	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0,58333
Salicaceae	<i>Hasseltia crassa</i>	0	0	1	0	0	0	0	0,14286	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0,25
Urticaceae	<i>Cecropia peltata</i>	0	0	1	7	1	0	0	1,28571	0	1	0	0	0	0,2	0	0	2	0	0	3	0	0	0	0	6	21	2,66667
	<i>Urera baccifera</i>	0	1	0	5	3	0	0	1,28571	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0,91667