

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes

Departamento de Ingeniería Forestal



TESIS DOCTORAL

Protocolo de Restauración Ecológica para Zonas de Alta Montaña en la Región Norte de los Andes Colombianos

Autor: Jesús Oswaldo Velásquez Restrepo

Directores: Dr. Miguel Ángel Herrera Machuca
Dr. César Augusto Velásquez Ruíz

Septiembre 2015
Córdoba-España

TITULO: *Protocolo de restauración ecológica para zonas de alta montaña en la región norte de los Andes Colombianos.*

AUTOR: *Jesús Osvaldo Velasquez Restrepo*

© Edita: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. 2015
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

www.uco.es/publicaciones
publicaciones@uco.es

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes

Departamento de Ingeniería Forestal

Protocolo de Restauración Ecológica para Zonas de Alta Montaña en la Región Norte de los Andes Colombianos

Tesis Doctoral presentada por Jesús Oswaldo Velásquez Restrepo,
para optar al grado de Doctor por la Universidad de Córdoba.

El Doctorando:



Fdo. Jesús Oswaldo Velásquez Restrepo

Septiembre 2015
Córdoba-España



TÍTULO DE LA TESIS:

Protocolo de Restauración Ecológica para Zonas de Alta Montaña en la Región Norte de los Andes Colombianos

DOCTORANDO: Jesús Oswaldo VELÁSQUEZ RESTREPO

INFORME RAZONADO DE LOS DIRECTORES DE LA TESIS

(se hará mención a la evolución y desarrollo de la tesis, así como a trabajos y publicaciones derivados de la misma).

Los recursos forestales tienen un papel fundamental en el mantenimiento de la calidad de vida para la humanidad, ya que no solo son productores de bienes sino que además generan una serie de servicios ecológicos que solo se pueden dar en estas áreas. Desde este punto de vista, es fundamental realizar un cuidadoso trabajo cuando se desea establecer estrategias de recuperación de este patrimonio. La región norte de los Andes Colombianos, objeto central de esta Tesis Doctoral, posee una gran importancia hídrica y también un alto valor biológico como se puede observar por la riqueza en su biodiversidad con la presencia de más de seiscientas especies vegetales reunidas en más de un centenar de familias lo que constituye un 30,5% de las familias conocidas a nivel mundial. Estos bosques alto andinos corresponden a bosques montanos que se encuentran seriamente amenazados además de tener una reducida presencia en la actualidad.

Esta Tesis se ha estructurado en base a dos estudios diferentes y complementarios, para así elaborar un protocolo de Restauración Ecológica para bosques alto andino en la Región Norte de los Andes de Colombia. En el primero de ellos, se realiza una caracterización de los boques alto Andinos en términos de diversidad, biomasa y dinámica, para lo que se utilizó la información acumulada de diferentes tipos de parcelas permanentes de investigación instaladas desde finales de los años 90 del pasado siglo. En el segundo estudio, se tuvo como objetivo la elaboración de un Protocolo de Restauración Ecológica para los Bosques Altoandinos de la Región Norte de Colombia. Para ello se hizo una revisión completa de modelos establecidos anteriormente y evaluadas en los años 2000, 2006 y 2014, evaluándose las especies de mayor éxito, en términos de crecimiento dimétrico, incremento en altura, menores tasas de mortalidad y mejor adaptación exhibida a las condiciones ambientales de la zona.

Parte de los resultados de la investigación, han permitido generar una publicación científica en la Revista de Biología Tropical de junio de 2012 (Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 60 (2): 000-000, June 2012), que se encuentra indexada en el Journal of Citation Report (JCR). Por todo ello, se autoriza la presentación de la tesis doctoral.

En Córdoba, a 23 de julio de 2015

Firma del codirector

Fdo.: Miguel Ángel Herrera Machuca



TÍTULO DE LA TESIS:

Protocolo de Restauración Ecológica para Zonas de Alta Montaña en la Región Norte de los Andes Colombianos

DOCTORANDO: Jesús Oswaldo VELÁSQUEZ RESTREPO

El bosque Andino es de suprema importancia para Colombia y en general, toda América del Sur, por su gran diversidad biológica, reserva hídrica y minera, captación de gas carbónico, paisaje, etc. En Colombia, la región andina es una de las más degradadas por efecto de ganadería, cultivos, extracción de madera y minerales y su destrucción progresiva limita cada vez más el uso de sus recursos. Por lo tanto, la recuperación de las enormes áreas degradadas en esta región es prioritaria, requiere de un gran esfuerzo científico y político y su implementación tendrá un gran impacto en el bienestar de las generaciones venideras.

El presente estudio, llevado a cabo en zonas alteradas del bosque Subandino de Antioquia-Colombia, la biozona con más presión antrópica en nuestro país, marca un hito en la historia de la restauración ecológica de ecosistemas de montaña; pues no solo es la primera en realizarse en nuestro país sino que presenta una metodología de trabajo muy definida y extrapolable a otros ecosistemas. El conocimiento detallado de la vegetación (diversidad, biomasa, dinámica) a través de un periodo de tiempo considerable (15 años) y la posterior aplicación de un protocolo de restauración usando muchas parcelas con repeticiones; el uso de plantas pioneras, secundaria y climácicas en distintos modelos de propagación y, el seguimiento de la dinámica sucesional en las mismas; dan seguridad de que los resultados obtenidos son sólidos y aplicables en otros escenarios.

La publicación realizada de los resultados de la primera fase de la investigación y la preparación de otra publicación relacionada directamente con el protocolo de restauración, permitirán una rápida difusión del conocimiento adquirido y la aplicación de los mismos, para empezar a resolver la problemática que tiene nuestra región en este sentido.

Considero que el aporte al conocimiento realizado con esta investigación, aunado a otros requisitos del programa, da méritos suficientes para que Jesús Oswaldo Velásquez Restrepo sea distinguido con el título de doctor, una vez se realice la respectiva defensa, para la cual cuenta con mi autorización.

CÉSAR AUGUSTO VELÁSQUEZ RUIZ
Codirector

Miguel Ángel Herrera Machuca, Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Forestal de la Universidad de Córdoba, y César Augusto Velásquez Ruíz, Profesor Asociado, Escuela de Biociencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia.

AUTORIZAN A

D. Jesús Oswaldo Velásquez Restrepo, Ingeniero Forestal, para la presentación del trabajo que con el título “**Protocolo de Restauración Ecológica para Zonas de Alta Montaña en la Región Norte de los Andes Colombianos**” ha sido realizado bajo su dirección como Tesis para optar al grado de Doctor por la Universidad de Córdoba.

Córdoba, Julio de 2015



Fdo. Miguel Ángel Herrera Machuca



Fdo. César Augusto Velásquez Ruíz

“NUESTRA LEALTAD ES PARA LAS ESPECIES Y
EL PLANETA. NUESTRA OBLIGACIÓN DE
SUPERVIVIR NO ES SOLO PARA NOSOTROS SINO
TAMBIÉN PARA ESE COSMOS, ANTIGUO Y VASTO
DEL CUAL DERIVAMOS.”

Carl Sagan.

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

JESÚS ANTONIO VELÁSQUEZ OSPINA (Q.E.P.D.):

Por todo su amor y apoyo.

ANA JUDITH RESTREPO ESCOBAR:

Por su guianza desde mis primeras letras.

A MI FAMILIA:

MARIELA, CAMILO Y DAVID:

POR SER LA RAZÓN Y ESENCIA DE TODO

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Miguel Ángel Herrera Machuca, por su apoyo, estímulo, y disposición para acompañar todo el proceso en el Programa de Doctorado.

Al Profesor Darío Sánchez Sánchez, por su colaboración en el montaje de las parcelas e identificación de material vegetal.

Al Tecnólogo Forestal Juan Esteban Marín, por su valiosa colaboración en campo.

Al Profesor Guillermo Correa, por su valiosa colaboración y aporte en los tratamientos estadísticos del estudio dos.

A la Ingeniera Agrónoma Sandra Lucía Muñoz Obando, por toda su colaboración en campo y oficina que hicieron posible la realización del Proyecto.

Al Profesor Jorge Andrés Pérez por su aporte en la remediación de parcelas e identificación de material botánico.

Al Señor Jesús María Marín y su Familia por permitir el establecimiento y monitoreo de las parcelas permanentes de investigación.

Al Profesor César Augusto Velásquez Ruíz, por su apoyo y colaboración en la ejecución de este proyecto.

Al Profesor Guillermo Yepes, por sus valiosos aportes e ideas al igual que su constante estímulo para adelantar este trabajo.

Al Profesor Álvaro Javier Duque, por su colaboración y participación en el estudio uno, al igual que por su apoyo en la publicación en la Revista de Biología Tropical del mismo.

A la Facultad de Ciencias, a la Escuela de Biociencias de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín por su apoyo constante.

A la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, por posibilitar todo el crecimiento personal e intelectual durante gran parte de mi vida.

A la Estudiante de Ingeniería Agronómica Lady Johana Posada Marulanda, por su colaboración en la edición del trabajo.

A la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes y a sus profesores, por permitir el avance y culminación de este proyecto.

A todas las personas, estudiantes, Ingenieros y amigos, que colaboraron de manera directa e indirecta; parcial o de lleno en la elaboración de este trabajo, y que tienen su valioso aporte impreso en él.

A todos ellos: sinceros agradecimientos.

ÍNDICE

Índice

	Páginas
0. RESUMEN Y ABSTRACT	1
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	12
1.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	18
1.2 DEFORESTACIÓN A NIVEL MUNDIAL	20
1.3 TASAS DE DEFORESTACIÓN A NIVEL DE COLOMBIA	23
1.4 ESTRATEGIAS FUTURAS	25
1.5 NORMATIVIDAD EN COLOMBIA	26
1.6 CARACTERIZACIÓN FORESTAL DE COLOMBIA	33
1.6.1 Generalidades	33
1.6.2 Clasificación de Ecosistemas en Colombia	36
1.6.3 Normativa Ambiental	39
1.6.4 Dinámica de Deforestación en Colombia	43
1.6.5 El Plan Nacional de Restauración (PNR) En Colombia: La compensación como fuente de financiación	55
1.6.5.1 Zonificación y ordenación para El Plan Nacional de Restauración	56
1.6.5.2 Fundamentos del plan nacional de restauración	57
1.6.5.2.1 Objetivo general	58
1.6.5.2.2 Objetivos específicos	58
1.6.5.3 Estructura del plan de acción	59
1.6.5.4. Impulsores de transformación	59
1.6.5.4.1 Áreas disturbadas por pérdida de coberturas vegetales	60
1.6.5.4.2 Áreas disturbadas por minería a cielo abierto	63
1.6.5.4.3 Áreas disturbadas por incendios forestales y quemas	66
1.6.5.4.4 Áreas disturbadas por degradación y cambio en los regímenes hídricos	68

1.6.5.4.5 Áreas disturbadas por eventos naturales	70
2. ESTUDIO UNO: DIVERSIDAD Y DINÁMICA DE UN BOSQUE SUBANDINO DE ALTITUD EN LA REGIÓN NORTE DE LOS ANDES COLOMBIANOS	74
2.1. ABSTRACT	74
2.2. RESUMEN	75
2.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES Y OBJETIVOS	75
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS	78
2.4.1. Área de estudio	78
2.4.2. Descripción general de la vegetación	79
2.4.3. Censos de vegetación	79
2.4.4. Diversidad	81
2.4.5. Dinámica	81
2.4.6. Biomasa	81
2.5. RESULTADOS	82
2.5.1. Diversidad	82
2.5.2. Dinámica	83
2.5.3. Biomasa	84
2.6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	85
2.6.1. Diversidad	85
2.6.2. Dinámica	86
2.6.3. Biomasa	87
3. ESTUDIO DOS: APLICACIÓN DE MODELOS EXPERIMENTALES EN LA ELABORACIÓN DE UN PROTOCOLO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA PARA BOSQUES ALTOANDINOS DE LA REGIÓN NORTE DE COLOMBIA	90
3.1. ABSTRACT.....	90
3.2. RESUMEN.....	92
3.3. INTRODUCCIÓN	95
3.4. PRECISIONES CONCEPTUALES EN RESTAURACIÓN ECOLÓGICA	96

3.5. SUCESIÓN ECOLÓGICA Y RESTAURACIÓN: BENEFICIOS SOCIALES Y AMBIENTALES .	103
3.6. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA.....	109
3.7. MODELOS EXPERIMENTALES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN LA RESERVA NATURAL FARALLONES DEL CITARÁ. MUNICIPIO DE ANDES (ANTIOQUIA, COLOMBIA) ..	114
3.7.1 Antecedentes Históricos	114
3.7.2. Ubicación de los Modelos de Restauración Ecológica	116
3.7.3. Objetivo	116
3.7.4. Materiales y métodos	116
3.7.5. Resultados preliminares	119
3.7.5.1. Mortalidad	119
3.7.5.2. Avances de la sucesión secundaria	120
3.7.5.3. Aporte de materia orgánica y banco de semillas	121
3.7.5.4. Fauna Asociada	122
3.8. PROTOCOLO DE RESTAURACION ECOLÓGICA PARA BOSQUES ALTOANDINOS DE LA REGIÓN NORTE DE COLOMBIA.....	124
3.8.1. Evaluación inicial	124
3.8.2. Parámetros de evaluación de los modelos de restauración ecológica finca la secreta	128
3.8.2.1 Altura	128
3.8.2.2. Diámetro	129
3.8.2.3. Supervivencia	130
3.9. PROTOCOLO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA	135
3.9.1. Selección de especies	135
3.9.2 Especies alternas	138
3.9.3. Tratamientos	139
3.9.4. Ensamble especies-tratamientos	139
3.10 CONSIDERACIONES FINALES	141

4. DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES FINALES	145
4.1. DISCUSIÓN GENERAL	145
4.2. CONCLUSIONES FINALES	153
5. BIBLIOGRAFÍA.....	156
ANEXOS	175
ANEXO 1. Estado actual (para el año 2014) de las especies en las Parcelas de Restauración Ecológica, Finca la Secreta, Municipio de Andes, Antioquia, Colombia	175
ANEXO 2. Descripción de las especies utilizadas para el Protocolo de Restauración Ecológica	179
ANEXO 3. Recorrido fotográfico de aspectos relevantes del estudio.....	192

Índice de Figuras

	Páginas
Figura 1. Ubicación geográfica y límites de Colombia.....	14
Figura 2. Población mundial y deforestación acumulada, 1800-2010. Fuentes: Williams 2002; FAO 2010.....	22
Figura 3. Mapas de cambio de cobertura multitemporal en Colombia	46
Figura 4. Cambios en las coberturas de bosque, períodos 1990 y 2000 para Colombia. Tomado de: Cabrera et al, 2011.....	47
Figura 5. Tasas de mortalidad, reclutamiento e individuos supervivientes (%), durante cada uno de los periodos de medición. Mortalidad y reclutamiento (%).....	84
Figura 6. Biomasa aérea total en t/ha. En cada uno de los censos y parcelas, y promedio en los Farallones del Citará, Municipio de Betania, Antioquia	84
Figura 7. Balance Promedio Neto (t/ha) de la biomasa aérea total, de ingresos e individuos muertos, entre periodos de medición, para las dos parcelas de 1-ha monitoreadas en los Farallones del Citará, Antioquia.....	85
Figura 8. Localización del área de estudio. Fuente: (SIDAP 2010)	110

Figura 9. Especies de aparición espontanea en las parcelas de estudio. a. <i>Ladenbergia</i> sp., b. <i>Myrsine</i> sp., c. <i>Alchornea</i> sp.	120
Figura 10. Acumulación de materia orgánica y banco de semillas en las parcelas de estudio. a. Hojarasca producida por Roble.; b. Frutos y semillas de Encenillo.....	121
Figura 11. Fauna asociada al proceso sucesional. a. Individuo de cacique candela (<i>Hypopyrrhus pyrohypogaster</i>); b. Anfibio presente en las parcelas	121
Figura 12. Comportamiento del parámetro altura para los diferentes tratamientos en las parcelas de Restauración Ecológica	129
Figura 13. Comportamiento del parámetro diámetro para los diferentes tratamientos en las parcelas de Restauración Ecológica	130

Índice de Tablas

	Páginas
Tabla 1. Tipificación del cambio de coberturas boscosas por deforestación Tabla de coberturas boscosas adaptada de: Cabrera et al, 2011	50
Tabla 2. Estimación de cubierta forestal para 1990, 2000, 2005 Y 2010 Adaptado de: Informe nacional, Colombia FRA 2010	54
Tabla 3. Número de individuos observado en cada uno de los años de medición en las dos parcelas de 1 ha establecidas.	83
Tabla 4. Especies por grupo ecológico utilizadas en los modelos de Restauración Ecológica, Finca la Secreta, Municipio de Andes, Antioquia, Colombia	117
Tabla 5. Descripción de los diferentes tratamientos o modelos de Restauración Ecológica, Finca la Secreta, Municipio de Andes, Antioquia, Colombia	118
Tabla 6. Supervivencia por especies para el año 2000 en las diferentes parcelas	133
Tabla 7 Supervivencia por especies para el año 2006 en las diferentes parcelas	134
Tabla 8. Supervivencia por especies para el año 2014 en las diferentes parcelas	135

RESUMEN Y ABSTRACT

RESUMEN

La Reserva Forestal protectora Regional Farallones del Citará, zona objeto de este estudio, se localiza en la Cordillera Occidental de Colombia y representa uno de los refugios más importantes de flora y fauna silvestres, además de representar una gran riqueza en agua y suelos en la región norte de los Andes Colombianos. La región posee una gran importancia hídrica y un alto valor biológico representado en su biodiversidad con la presencia de 620 especies vegetales reunidas en 118 familias lo que constituye un 30,5% de las familias conocidas a nivel mundial. Los estudios concluyen que los bosques alto andinos de la región corresponden a los bosques montanos, de los cuales muy poco de ellos persisten aún en Colombia y lo que queda se encuentra seriamente amenazado. En estos ecosistemas se presentan altas tasas de deforestación con la consecuente fragmentación y un incremento en los disturbios ecosistémicos y una drástica reducción de los bienes y servicios derivados de estos. Por las anteriores razones se consideró de suma urgencia e importancia iniciar acciones encaminadas a la caracterización de estos ecosistemas y adelantar investigación buscando su recomposición a través de la restauración ecológica con lo cual se pretende reparar el daño, las pérdidas económicas y las disrupciones socioeconómicas causadas por los abusos en el uso del suelo.

La presente investigación, consta de dos estudios diferentes pero complementarios, con el fin último de elaborar un protocolo de Restauración Ecológica para bosques alto andino en la Región Norte de los Andes de Colombia.

El estudio **uno** consiste en hacer una caracterización de los boques alto Andinos en términos de diversidad, biomasa y dinámica.

Se parte, en este estudio, de utilizar la información acumulada de diferentes tipos de parcelas permanentes de investigación instaladas desde finales de los

años 90. Esta zona está ubicada en la vertiente oriental de la cordillera Occidental, dentro la región de los Farallones del Citará, en el municipio de Betania (Antioquia, Colombia), en la vereda Pedral Arriba, predio Agua linda. La zona de vida se clasifica como Bosque muy Húmedo Montano Bajo (bmh-MB), denominada comúnmente como Bosque de Niebla; las parcelas parecen pertenecer a una zona de transición entre el bosque muy húmedo y húmedo. La región de los Farallones del Citará se caracteriza por tener una topografía abrupta donde predominan relieves con fuertes pendientes y escarpados cerros con alturas hasta los 4.000 msnm en el Cerro de San Nicolás. La precipitación media anual en la región es de 2.800 mm distribuida en forma bimodal, con dos períodos extremadamente lluviosos intercalados con dos períodos con menor cantidad de precipitación. De esta manera, la zona posee un clima no estacional con ausencia de meses secos y sin presentarse déficit hídrico para las plantas, característica clave para entender la diversidad de estos bosques.

Los bosques sub-Andinos poseen alta diversidad biológica, de los cuales poco se conoce sobre su dinámica natural. En las parcelas permanentes de investigación se evaluaron patrones de diversidad y biomasa, tasas de mortalidad y reclutamiento en dos parcelas permanentes de una hectárea cada una, establecidas en bosques en altitudes entre los 2.000-2.200 msnm, en la vertiente Oriental de la cordillera Occidental del norte de los Andes en Colombia. En total, para ambas parcelas, se hallaron 1.964 individuos con un diámetro a la altura del pecho superior a 10 cm pertenecientes a 222 especies, 113 géneros y 60 familias. La riqueza media de especies fue de 156 especies por hectárea. Las tasas de mortalidad y reclutamiento fueron de 0,88% y 1,16% respectivamente, lo cual no indica que se presente un efecto externo proveniente del calentamiento global sobre la dinámica del bosque. La biomasa aérea promedio fue de $243,44 \pm 9,82$ toneladas/ha con un incremento anual promedio de 2,9 toneladas/ha, valor superior a los reportados, lo cual sugiere

que el equilibrio para este bosque no se ha alcanzado. De acuerdo con las observaciones de campo, este bosque parece estar recuperándose de una alteración pasada.

El estudio **uno** fue publicado en la Revista de Biología Tropical de junio de 2012, reseñada bibliográficamente como: Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 60 (2): 000-000, June 2012

El estudio **dos** tuvo como objetivo elaborar un Protocolo de Restauración Ecológica para los Bosques Altoandinos de la Región Norte de Colombia. Para ello se hizo una revisión completa de los modelos establecidos en el año 1998, evaluadas en los años 2000, 2006 y 2014 en el área de amortiguación de la Reserva Forestal Protectora Regional Farallones del Citará. En el año 2014 se evaluaron las especies más exitosas en términos de crecimiento dimétrico, incremento en altura, menores tasas de mortalidad y mejor adaptación exhibida a las condiciones ambientales de la zona; mostrando en la actualidad una característica definida de estructura, función y servicios ecosistémicos deseables y necesarios en las áreas de esta zona de estudio que actualmente presentan índices avanzados de degradación y por tanto requieren urgentemente acciones encaminadas a su restauración ecológica.

Conjuntamente con los resultados anteriores y como apoyo fundamental para la elaboración del protocolo recomendado para utilizarse en bosques alto Andinos de la región norte de Colombia, se realizó una serie de análisis estadísticos utilizando el programa estadístico SAS, calculando diámetros, alturas, Supervivencia, mortalidad, pruebas de medias Tukey y Duncan, para los años 2000,2006,2014 respectivamente.

Se consolidaron los parámetros de incremento diámetro y en altura desde el establecimiento-2000-2006-2014. De igual manera, se realizó un cuadro consolidado de Supervivencia por especie en los diferentes tratamientos donde se encontraba la especie en al menos dos tratamientos y con esta Tabla se

hizo evaluación mediante dos enfoques, así: 1. En el mismo tratamiento, se comparó Supervivencia de las especies. Y, 2. En diferentes tratamientos comparar como las especies se comportaron en Supervivencia. Para ambos casos se realizaron pruebas de Anova y Tukey; los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros hacen parte de la discusión y son la base para el protocolo final.

En el estudio, se planteó dar respuesta a las siguientes preguntas:

- 1) ¿Existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos establecidos como modelos de restauración ecológica?
- 2) ¿Es posible elaborar un protocolo de restauración ecológica, con base en los resultados obtenidos, para la zona de alta montaña en la región norte de los Andes Colombianos?

Los resultados obtenidos a partir de los análisis estadísticos indican que: la variable Altura no presentó diferencias significativas para los tres periodos analizados, y solo para el periodo 2006 el tratamiento 4 mostró una leve diferencia significativa. Para la variable diámetro, en los años 2000 y 2006 no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos; mientras que para el año 2014 los tratamientos 3, 4, 6 y 8 mostraron una leve diferencia significativa. Al aplicarle la prueba estadística al comportamiento de la variable Diámetro de los diferentes tratamientos, se encontró que para los años 2006 y 2014 los tratamientos 4, 6 y 8 presentaron diferencias superiores a los demás tratamientos.

En síntesis, las variables seleccionadas para la elaboración del protocolo tanto a nivel de especies como la de tratamientos son, en primera instancia, Supervivencia y en segunda instancia el diámetro. Las razones por las cuales se seleccionaron estas variables, tienen que ver con que éstas fueron las que permitieron detectar diferencias. La variable altura no se consideró para la

elaboración del protocolo debido a que a lo largo de los periodos de tiempo evaluados no mostró diferencias significativas.

De igual manera, con base en los resultados obtenidos a lo largo del tiempo durante los periodos 2000, 2006 y 2014, los tratamientos que mostraron una mejor adaptación y comportamiento, fueron en su orden: Tratamiento 4: Grupo de combinación de especies P-P-S-P-P, plantadas al cuadro a 2 m x 2 m.; tratamiento 6: Grupo de combinación de especies P-P-C-P-P, plantadas al cuadro a 2 m x 2 m.; tratamiento 8: Grupo de especies combinadas en forma de rombo, P-P-P/S-P/S/C-S/C-C-S/C-P/S/C-P/S-P-P, plantadas al cuadro a 2 m x 2 m.

Al combinar las mejores especies y el arreglo de estas en los tratamientos se presentan varias alternativas a utilizar como protocolo de restauración ecológica en el área de estudio.

Una primera opción siguiendo El arreglo de tratamiento 4 donde pueden emplearse las especies pioneras, Olivo de Cera, Surrumbo y/ o Encenillo, en combinación con algunas de las especies secundarias como el Arrayan, Cedro, Cardenillo, Chagualo y Sauco; plantadas en cuadro a una distancia de 2 m x 2 m.

La segunda opción consiste en un arreglo de las especies pioneras utilizadas en la primera alternativa (Olivo de Cera, Surrumbo y/ o Encenillo) en combinación con las especies climácicas Quimulá, Chaquiro y/o Roble; plantadas en cuadro a una distancia de 2 m x 2 m; de acuerdo con el arreglo planteado en el tratamiento 6.

La tercera opción posibilita la utilización de una gran cantidad de especies pertenecientes a los grupos ecológicos de pioneras, secundarias y climácicas combinadas en forma de rombo, tal como se planteó para el tratamiento 8 evaluado en esta investigación. Las especies pioneras que se pueden seleccionar para este arreglo son: Olivo de Cera, Surrumbo y Encenillo; las

especies secundarias son: Arrayán, Cochobo, Cedro, Cardenillo, Chagualo y Sauco de Monte; y finalmente, las especies climáticas se pueden seleccionar entre: Quimulá, Chaquiro, Roble y Comino. La forma de sembrar las especies de este arreglo conformado por un rombo es al cuadrado a una distancia de 2 m x 2 m.

Se debe enfatizar en que las alternativas planteadas en este protocolo deben utilizarse no sólo basándose en la parte experimental; que tiene un alto componente ambiental, sino que debe contemplar otra serie de elementos de tipo social, económico y político, que permitan emprender exitosamente prácticas de restauración que redunden en beneficios para la sociedad.

Palabras claves:

Áreas degradadas, Biomasa Aérea, Bosques Altoandinos, Cambio Climático, Deforestación, Estructura, Mortalidad, Reclutamiento, Restauración Ecológica, Servicios Ambientales.

ABSTRACT

Ecological Restoration protocol for high mountain areas in the northern region of the Colombian Andes

Ecological Restoration emerges as a solution alternative to a number of cumulative human impacts on ecosystems, of which is currently of great importance: the global climate change, which affects species composition, structure and of the ecosystems.

Restoration of degraded ecosystems is difficult in regions like the Farallones of Citará, Antioquia, Colombia, where much of the natural vegetation was converted to pastures and crops, and conditions are hostile to the plants growing.

The “Reserva Forestal protectora Regional Farallones del Citará” constitutes the object under study, located in the Western Cordillera of Colombia and is one of the most important refuges for wildlife, besides being rich in water and soil in the northern region of the Colombian Andes. The region has a great hydric importance and a high biological value, represented on its biodiversity with the presence of 620 plant species gathered in 118 families, which constitutes a 30.5% of the families known worldwide. The studies conclude that the high Andean forests in the region correspond to the montane kind, of which few still remain in Colombia and are seriously endangered. There are, in these ecosystems, high rates of deforestation with subsequent fragmentation and increased ecosystem disturbances and a drastic reduction in the goods and services derived from these. Therefore, it was considered of utmost urgency and importance initiate actions aimed at the characterization of these ecosystems and advance research seeking their restructuring through ecological restoration, which intends to repair the damage, the economic losses and the social and economic disruption caused by abuses in land use.

This research consists of two different but complementary studies, with the ultimate aim of developing a protocol for the Ecological Restoration of high Andean forests in the northern region of the Colombian Andes.

The first study contains a characterization of the Andean forests in terms of diversity, biomass and dynamics, starting from the accumulated information of different types of plots dedicated to permanent research installed since the late 90s. This area is located on the eastern slopes of the western Cordillera, in the region Farallones del Citara, located in the municipality of Betania (Antioquia, Colombia), in the village Pedral Arriba and the Agua Linda property. The life zone of the area is classified as very humid low montane forest (bmh-MB), commonly known as Cloud Forests; the plots are in a transition zone between the very humid forest and the rain forest.

The Farallones del Citara region is characterized by an abrupt topography, dominated by a high steep slopes and sheer hills relief with heights up to 4,000 meters above sea level on the Cerro de San Nicolas. The average annual rainfall in the region is 2,800 mm, distributed in two different ways with two extremely rainy periods interspersed with other two periods that have less precipitation. Thus, the area has a non-seasonal climate with no dry months, therefore, there is not present a water deficit for plants, key feature to understand the diversity of these forests.

The sub-Andean forests have high biodiversity, of which little is known about its natural dynamics. Biomass and diversity patterns, mortality and recruitment rates were evaluated in two permanent plots of one hectare each, established in forests at altitudes between 2,000-2,200 meters above sea level, in the Eastern slope of the Western Cordillera of the northern region of the Colombian Andes. The forest dynamics was assessed by three censuses for nine years. In total, 1964 individuals with a diameter at breast height $DAP \geq 10\text{cm}$ were found, belonging to 222 species, 113 genera and 60 families. The average species

richness was 156 species per hectare. Rates of mortality and recruitment were 0.88% and 1.16% respectively, which does not indicate that an external impact from global warming on forest dynamics is present. The average air biomass was 243.44 ± 9.82 t / ha with an average annual increase of 2.9ton / ha, higher than the reported value, suggesting that the balance for this forest has not been reached. According to field observations, the forest seems to be recovering from a past alteration.

This first study was published in the Journal of Tropical Biology in June of 2012, reviewed bibliographically as Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop Biol. ISSN-0034-7744...) Vol. 60 (2): 000-000, June 2012.

The second study aimed to develop a protocol for the Ecological Restoration of high Andean forests in the northern region of the Colombian Andes. For this purpose, a complete review of the models established in 1998, assessed in 2000, 2006 and 2014 in the buffer zone of the Reserva Forestal Protectora Regional Farallones del Citará was made. In 2014, the most successful species were evaluated in the areas which now have advanced levels of degradation and therefore require urgent measures addressed to its ecological restoration. This evaluation was made in terms of diameter growth, height increment, lower mortality rates and better adaptation to environmental conditions in the area; currently showing distinct features of structure, function and desirable and necessary ecosystem services.

The coordinates for the location of the plots are, respectively: $0.5^{\circ}38'33.4''$ N and $75^{\circ}58'52.1''$ W, from 2278 above sea level, in the municipality of Andes, Antioquia, Colombia, in the village Quebrada Arriba. In the property of La Secreta ranch, 24 plots of 22 x 22 m were established, for a total of 484 m² each, corresponding to eight treatments with three replicates respectively, distributed randomly in the field, with 19 woody species, divided into ecological

groups according to their appearance in the succession process and the review of their autoecological aspects.

The main objective of the project was to investigate the best combinations of species in ecological restoration models, in order to achieve benefits related to the buffering of the erosive processes and the re-establishment of water and nutrient regimes. Meanwhile, recovering the ecosystem function in degraded areas in the buffer zone of the Forest Reserve and eventually developing a protocol for the Ecological Restoration of high Andean areas in Colombia.

Together with the previous results and as a fundamental support for the development of the protocol, a series of statistical analysis were performed using the SAS statistical software, calculating diameters, heights, survival, mortality, Tukey and Duncan mean test, for the years 2000, 2006 and 2014 respectively

Parameters in diameter increment and height increment were consolidated from the establishment-2000-2006-2014 and the selected variables for the development of the protocol, both species and treatments, are survival and diameter, since these variables allowed to detect differences.

Based on the results the Ecological Restoration protocol was developed, and the species that performed better were Quimulá (*Citharexylum montanum*), Chaquiro (*Podocarpus oleifolius*), Arrayán (*Myrcia popayanensis*), Olivo de cera (*Myrica pubescens*), Cochobo (*Eugenia sp.*), zurrumbo (*Trema micrantha*), Roble (*Quercus humboldtii*).

By combining these species and the best treatments, several alternatives are presented to use as a protocol for ecological restoration in the study area. These alternatives should not be used based only on the experimental segment, which has a high environmental component, but should also include a number of other elements such as social, economic and political, that allow to

successfully undertake restoration practices that can result beneficial for society.

The protocol developed in this research can be applied to any project implicated in the regional level of high Andean forests, and it works as much as for the watershed level as at the Reserva Forestal Protectora Regional Farallones del Citará level or in similar environments, since it considers all potential sites for restoration and is flexible enough to incorporate decision-making criteria in all its stages.

Key words:

Aerial biomass, Climate change, Deforestation, Degraded areas, Ecological restoration, Environmental services, Forest recruitment, Forest structure, High Andean forests, Mortality.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Las aceleradas tasas de cambio de los ecosistemas a nivel global y en particular en las regiones de América tropical se reflejan claramente en las estadísticas para Colombia donde en el período 2011-2012 se deforestaron, según el IDEAM (2013) , un total de 147.946 ha por causas diversas, donde se destaca principalmente los cambios en los usos del suelo con vegetación hacia ganadería extensiva, expansión de la frontera agrícola por colonización, minería y cultivos ilícitos (IDEAM, 2013).

La distribución de esta tasa de deforestación en el país durante este tiempo por regiones establece que para la Amazonía fue del 49%, la región Andina contribuyó con 43.279 ha correspondientes al 19% del total, la región Caribe con el 12% y la región Pacífica con una fuerte tendencia minera con el 4%. El porcentaje restante se encuentra distribuido en menor proporción en el resto del territorio nacional. Se destaca de este reporte, el fuerte avance del proceso de deforestación en la Región Andina, debido a que allí se encuentran ecosistemas claves para la provisión de bienes y servicios ambientales demandados cada vez en mayor medida por las poblaciones aledañas, en particular y en general, por la sociedad.

La diversidad biológica en los Andes tropicales está bajo una continua amenaza por las actividades antropogénicas. Los cambios en el clima probablemente agudicen esta situación.

Los Ecosistemas Altoandinos, particularmente los páramos, punas y bosques montanos se consideran como claves para la provisión de servicios ambientales en la región y se proyectan para experimentar cambios negativos en la riqueza de especies y en su estructura, lo cual implica que para que se adapten a estos cambios se necesita una visión de sistema desde la conservación, que incluya áreas protegidas con sus respectivas zonas de

amortiguación y el establecimiento de corredores biológicos que posibiliten continuidad (Ramírez *et al.*, 2014). Un aspecto fundamental es la implementación del manejo integrado y sostenible del paisaje con prácticas de restauración que cubran áreas cada vez mayores a las que actualmente se intervienen.

Las altas tasas actuales de cambio en los usos del suelo que conllevan a diferentes estados de degradación ambiental, conducen inevitablemente a que se mire hacia el campo de la restauración ecológica desde una perspectiva funcional y de paisaje, mediante el empleo de muchas técnicas que son comunes a la silvicultura con el fin de incrementar la sostenibilidad de los ecosistemas y los servicios que de ellos se generan y de los cuales el hombre y las sociedades humanas necesitan y demandan cada vez más, por tanto la restauración debe ser abordada como un proyecto social amplio, con la expectativa de un futuro mejor.

Es común, a nivel mundial, el empleo del concepto de capital natural, el cual necesita en su definición, acentuar la relación con el concepto de servicios ecosistémicos, de los cuales depende la sostenibilidad y Supervivencia de las especies vivas y las sociedades humanas, por tanto, solo se puede esperar un futuro mejor si se conserva, se hace un uso sostenible o restaura el capital natural. Incrementar el capital natural mediante la restauración ecológica requiere de una participación interdisciplinaria.

En un mundo congestionado con múltiples problemas ambientales y con una creciente población humana se requiere pensar en actividades que puedan contribuir a conservar y mejorar el capital natural. Por tanto, acciones como la restauración ecológica pueden llevar rápidamente a que los ecosistemas sean auto sostenibles. El uso de la herramienta de los servicios de los ecosistemas resulta novedosa e interesante y exige que cada caso deba revisarse y

estudiarse en profundidad, con el propósito de incrementar cada vez más y de manera eficaz el capital natural que garantice un futuro mejor.



Figura 1. Ubicación geográfica y límites de Colombia.

La Reserva Forestal Protectora Regional Farallones del Citará, objeto del presente estudio, se localiza en la Cordillera Occidental y representa uno de los refugios más importantes de flora y fauna silvestres, agua y suelos de la región norte de los Andes Colombianos. La región posee una gran importancia hídrica y un alto valor biológico representado en su biodiversidad con la presencia de 620 especies vegetales reunidas en 118 familias lo que representa un 30,5% de las familias conocidas a nivel mundial.

En un estudio de Sánchez y Velásquez (1997), se encontró que los bosques alto Andinos de la región corresponden a los bosques montanos, de los cuales, muy poco de ellos persisten aún en Colombia y lo que queda se encuentra seriamente amenazado (Gentry, 1995). En estos ecosistemas se presentan altas tasas de deforestación con la consecuente fragmentación e incremento en las perturbaciones ecosistémicas, junto a una drástica y alarmante reducción de estos.

Por estas razones, diversos autores, coinciden en que se requiere con urgencia y prioridad iniciar acciones encaminadas a la recomposición de estos ecosistemas estratégicos a través de la restauración ecológica con lo cual se

pretende reparar el daño, las pérdidas económicas y las interrupciones socioeconómicas causadas por los abusos en el uso del suelo (Bennet y Balvanera, 2007, Turpie *et al.*, 2008, Aronson *et al.*, 2010).

Con base en todas estas consideraciones se realizó la presente investigación, la cual es el resultado de dos estudios complementarios, titulados en su orden: diversidad y dinámica de un bosque subandino de altitud en la región norte de los andes colombianos, para la primera parte y la segunda: modelos experimentales de restauración ecológica en la reserva natural farallones del citará. Tópicos aplicados a ecosistemas de montaña en Colombia para la elaboración de un protocolo de restauración ecológica.

El tema central del primer estudio tuvo como objetivo responder las siguientes preguntas:

- 1) ¿Sigue el patrón de diversidad la tendencia encontrada para otros bosques sub Andinos de altitud?,
- 2) ¿La dinámica observada de individuos y biomasa indica alguna señal de respuesta al cambio climático?

Este estudio confía contribuir al conocimiento de la estructura y funcionamiento de los bosques de alta montaña de la región neotropical, con el fin de promover acciones para su conservación y restauración. Se espera que la estructura, función, dinámica y servicios ecosistémicos derivados de este tipo de ecosistema, sirvan como base para la elaboración del Protocolo de Restauración ecológica planteado en el segundo trabajo.

El segundo estudio, tuvo como objetivo responder estas preguntas:

- 1) ¿Existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos establecidos como modelos de restauración ecológica en términos de crecimiento en diámetro, altura y supervivencia?

- 2) ¿Se presentan diferencias significativas en el comportamiento de las diferentes especies ubicadas en diferentes grupos ecológicos, según el orden de aparición durante el proceso dinámico de la sucesión?
- 3) ¿Es posible elaborar un protocolo de restauración ecológica, con base en los resultados obtenidos, para la zona de alta montaña en la región norte de los Andes Colombianos que sirva de base para emprender actividades de Restauración ecológica en la zona o en áreas degradadas en condiciones similares en Colombia?

La zona donde se adelantó la investigación corresponde Reserva Forestal Protectora Regional Farallones del Citará en donde se instalaron diferentes tipos de parcelas de investigación desde finales de los años 90. Allí se establecieron parcelas permanentes de investigación (PPI), en bosque alto andino con el fin de evaluar y monitorear las características estructurales y de dinámica de estos bosques. Esta zona está ubicada en la vertiente oriental de la cordillera Occidental, dentro la región de los Farallones del Citará, en el municipio de Betania (Antioquia), en la vereda Pedral Arriba, predio Agua linda (Sánchez y Velásquez, 1997). La zona de vida se clasifica como Bosque muy Húmedo Montano Bajo (bmh-MB), denominada comúnmente como Bosque de Niebla (Espinal *et al.*, 1977); las parcelas se encuentran ubicadas en la zona de transición entre el bosque muy húmedo y húmedo (Sánchez y Velásquez, 1997). La región de los Farallones del Citará se caracteriza por tener una topografía abrupta donde predominan relieves con fuertes pendientes y escarpados cerros con alturas hasta los 4.000 msnm en el Cerro de San Nicolás. La precipitación media anual en la región es de 2.800 mm distribuida en forma bimodal, con dos períodos extremadamente lluviosos intercalados con dos períodos con menor cantidad de precipitación. De esta manera, la zona posee un clima no estacional con ausencia de meses secos y sin presentarse déficit hídrico para las plantas (Sánchez y Velásquez, 1997).

La información acumulada en el tiempo de las parcelas permanentes de investigación, fue la base para la ejecución del primer estudio, el cual fue publicado en la Revista de Biología Tropical del mes de junio de 2012 (Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 60 (2): 000-000, June 2012, en coautoría con los Ingenieros Forestales Lorena Maniguaje y Álvaro Duque.

Para la realización de la segunda investigación se tomó la base de datos acumulados durante un período amplio de tiempo (2000, 2006 y 2014) de las parcelas de Restauración Ecológica ubicadas en la zona de amortiguación de la Reserva Forestal Protectora Regional Farallones del Citará.

Históricamente el desarrollo de la investigación se materializó mediante convenio interinstitucional realizado entre la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín y la Corporación Regional del Centro de Antioquia Corantioquia, responsable en la región de la vigilancia y gestión de los recursos naturales y del medio ambiente. En el año 1996, fue posible el inicio de los estudios biofísicos sociales y económicos preliminares de la región de los Farallones del Citará; con el objeto de declarar la región mencionada como área de Reserva Natural, propuesta que fue acogida positivamente por parte de la Corporación.

A partir de los estudios biofísicos y socioeconómicos surgen propuestas planteadas por parte de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, a Corantioquia, sobre estudios a realizarse en la región de los Farallones del Citará. En el año 1997, se iniciaron investigaciones acerca de las mejores combinaciones de especies o modelos de restauración ecológica, con el fin de evitar erosión, de restablecer el régimen hídrico y de nutrientes y en general de permitir la conservación de la diversidad y el equilibrio de estos ecosistemas, alterados por la tala del bosque nativo y la subsiguiente actividad ganadera.

Durante la realización de estos estudios se llevó a cabo el montaje, evaluación y monitoreo del crecimiento en diámetro y altura, adaptación y mortalidad de las especies plantadas en parcelas de restauración ubicadas en la vereda

Quebrada Arriba, finca La Secreta, en jurisdicción del municipio de Andes (Universidad Nacional, Corantioquia 2000, 2002).

El montaje inicial de las parcelas de restauración ecológica, se realizó con material vegetal obtenido en diferentes viveros de la zona, intentado tener material homogéneo en tamaño (25 – 30 cm). Una vez transportado el material a campo se procedió a su trasplante sin bolsa en los diferentes huecos distribuidos en el terreno de acuerdo con el diseño del experimento en términos de tratamientos, distancia de siembra y replicaciones.

Posteriormente, en el año 2000, se retoman las labores de monitoreo, remediación y mantenimiento de las parcelas de restauración y se plantea la posibilidad de realizar otros ensayos o estudios similares en áreas diferentes, considerándose sitios en los Municipios de Ciudad Bolívar y Andes. Luego de haber evaluado los sitios en los municipios antes mencionados, se decide implementar unas nuevas parcelas de restauración en el predio La Reina, ubicado en la vereda La Soledad, Corregimiento de Santa Rita, de propiedad y en Jurisdicción del Municipio de Andes.

En el año 2002, se inicia el nuevo ensayo en dicho predio; el cual se vio afectado por la situación de orden público reinante en la zona en su momento, por lo que se suspendieron las actividades que se venían adelantando. Durante el año 2005, dada la mejoría en cuanto a orden público y a las ventajas que ofrece este sitio, en términos de garantizar la permanencia de los ensayos y gracias al respaldo por parte del municipio, de la Junta de Acción Comunal y de la comunidad en general, se retomaron actividades relacionadas con los ensayos de restauración en los predios de la finca La reina.

1.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

En términos generales la zona donde se adelantaron los estudios corresponde a los denominados ecosistemas tropicales de montaña los cuales varían

considerablemente tanto en su extensión vertical como en su ocurrencia continental. Los rasgos característicos y fisionómicos de estos ecosistemas es que se presentan en la zona templada tropical por encima de franjas altitudinales frías y se caracterizan por una estructura variada y un nivel discontinuo del dosel que fluctúan desde bosques siempre verdes de hoja ancha con muchas especies de árboles y una riqueza de plantas vasculares y de criptógamas epífitas bajo condiciones per húmedas; hasta condiciones de espacios abiertos pobres en especies bajo condiciones semiáridas. En el primer caso los árboles alcanzan alturas de hasta 40 m mientras que en el último caso los individuos, mayores a 15 m son escasos (Richter, 2008).

Se considera que a nivel de la diversidad global de especies de plantas vasculares las áreas tropicales de montaña se catalogan como los puntos calientes más importantes de la diversidad.

Para explicar el papel de los bosques de montaña para la riqueza de especies de plantas se apuntan, de acuerdo con Richter (2008), diferentes razones como son: el mayor tiempo de evolución efectiva bajo unas condiciones térmicas relativamente constantes, bajas intensidades de competencia interespecífica y bajas frecuencias e intensidades de disturbios; además los suelos infértiles pueden incrementar la diversidad de plantas en los trópicos debido a que los competidores fuertes no son hábiles para dominar muy rápidamente, permitiendo que muchas especies coexistan en una condición de no equilibrio. Finalmente la hipótesis de la “Diversidad de lluvia” establece que la más alta riqueza de especies se alcanza en bosques húmedos con altas lluvias anuales no estacionales conduciendo a una alta biodiversidad de epífitas y helechos terrestres, que le confieren un paisaje característico a éstas zonas.

Por otro lado, la compleja topografía de las montañas tropicales es de fundamental importancia para la diversidad de estructuras petrográficas, edáficas, climáticas y fitogeográficas.

Esta heterogeneidad de ambientes acompañado de un alto grado de fragmentación en áreas de frecuentes deslizamientos dan una explicación suplementaria de la alta diversidad de especies de muchos ecosistemas forestales tropicales de montaña, especialmente en aquellos ambientes caracterizados por condiciones perhúmedas.

En contraste a la alta diversidad de especies, estas áreas han sido afectadas históricamente por diferentes factores tales como la conversión agrícola del bosque a cultivos de café que tienen impactos significativos en el uso del suelo y en los regímenes de precipitación, que trae como consecuencia la pérdida de suelos, la erosión y el incremento de sedimentación en los cuerpos de agua, por tal razón es una necesidad urgente el mejoramiento del conocimiento local y la apreciación de los valores ecológicos de los bosques en éstas áreas de montaña tropical altamente vulnerables.

1.2 DEFORESTACIÓN A NIVEL MUNDIAL

Los procesos de deforestación a nivel mundial establecen unos estrechos vínculos históricos entre el uso de los bosques y el desarrollo económico y social y entre la destrucción de los bosques y el deterioro económico. Los tomadores de decisiones regularmente se encuentran ante la paradoja de que, aunque los bosques, los productos forestales y los servicios ecosistémicos son fundamentales, la tierra, ocupada por los bosques es, en ocasiones, objeto de demandas más acuciantes (FAO, 2012).

La historia de la humanidad es también la historia de la deforestación y las graves consecuencias ambientales que ésta puede tener, siendo causa en ocasiones, del colapso de una sociedad. Para contribuir a la adopción de una

perspectiva a mediano y largo plazo que posibilite el manejo sostenible de los ecosistemas AltoAndinos en la Región Antioqueña Farallones del Citará, se plantea un protocolo de restauración ecológica en áreas degradadas de esta región, el cual se constituye en el objetivo final del presente estudio.

De acuerdo con la FAO (2010), los bosques ocupaban para ese año, unos 4 mil millones de ha, representando cerca del 31% de la superficie del planeta. El aumento progresivo de la población y la actividad económica ha presionado la manipulación de la naturaleza materializado en el desmonte de terrenos boscosos. La deforestación, esto es, el desmonte orientado a destinar los terrenos a otros usos, es una de las modificaciones antropogénicas de la superficie terrestre más generalizada e importante.

Se estima que a lo largo de 5 mil años la desaparición total del terreno forestal en el mundo ha ascendido a 1.800 millones de ha, lo cual supone un promedio neto anual de pérdida de 360 mil ha (Williams, 2002).

El crecimiento demográfico y el auge de la demanda de alimentos, fibra y combustible ha incrementado el ritmo de deforestación al punto que en los últimos 10 años el promedio neto anual de desaparición de bosques llegó a los 5,2 millones de ha.

De acuerdo con la FAO para el periodo 2000-2010, a nivel mundial se perdieron al año aproximadamente 13 millones de ha de selvas, bosques y otros ecosistemas arbolados, en tanto que se recuperaron en este mismo periodo aproximadamente 5 millones de ha en forma de vegetación secundaria, zonas reforestadas y plantaciones forestales, esto plantea un claro desbalance que va en contra de los bienes y servicios ambientales que proveerían las áreas boscosas a una sociedad cada vez demandante de ellos.

La trayectoria de la deforestación a escala mundial sigue un modelo similar al del crecimiento de la población, denotando, según la Figura N°. 2, que el ritmo

de la deforestación superaba al del crecimiento de la población antes de 1950 y empezó a disminuir desde entonces. (FAO, 2012), sin embargo las tendencias de ambos comportamientos siguen la misma trayectoria ascendente, lo cual deja una seria reflexión en torno a la disponibilidad de bienes y servicios y de los ecosistemas que provean de estos para las comunidades, a la par que se agudizan las problemáticas ambientales asociadas a estas interacciones y las cuales también deben resolverse en el corto plazo para posibilitar una adecuada sostenibilidad para las próximas generaciones.

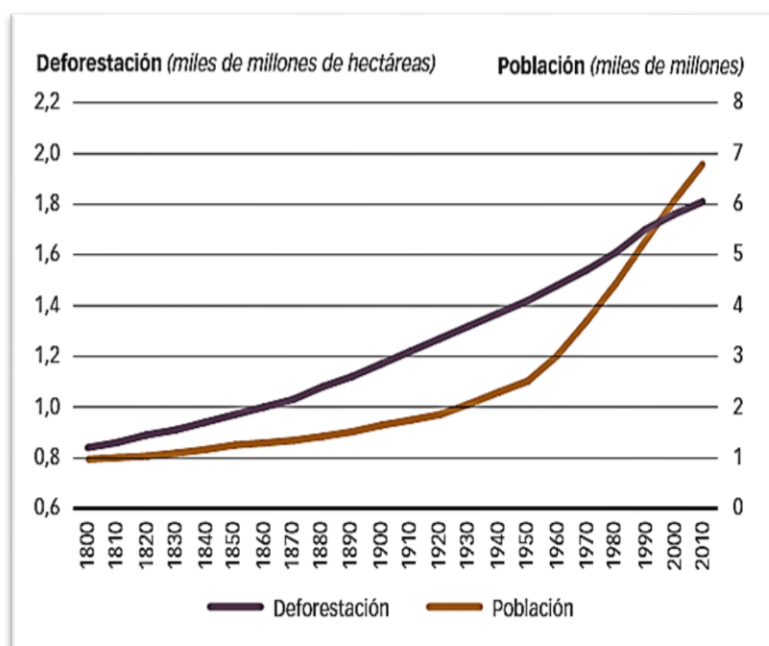


Figura 2. Población mundial y deforestación acumulada, 1800-2010. Fuentes: Williams 2002; FAO 2010.

Entre las problemáticas generadas por la deforestación se encuentra la contribución de esta actividad con la emisión de gases efecto de invernadero.

En la mayoría de los bosques tropicales densos la biomasa viva es el componente más importante de la reserva de carbono y se estima, de acuerdo con Blaser *et al.* (2011), que la deforestación tropical ha liberado entre mil y dos mil toneladas de carbono aproximadamente al año en los últimos 20 años

y se calcula que la emisiones de gases de efecto invernadero a escala mundial por esta actividad han sido de hasta un 20% del total, siendo la principal fuente de emisión de estos gases en mayoría de las zonas tropicales por la deforestación y la degradación forestal. Estos datos señalan claramente el beneficio directo en ambas vías de los proyectos de restauración ecológica en el sentido de captura de carbono y de mitigación en la emisión de gases efecto invernadero.

A las muchas otras causas humanas de los impactos padecidos por los ecosistemas se superpone el cambio climático mundial, que añaden incertidumbre al reconocimiento de los puntos de inflexión de los ecosistemas, esto es, su capacidad de recuperación o resiliencia (Thompson, 2009).

Se reconoce ampliamente que la diversidad juega un papel fundamental en el funcionamiento de los ecosistemas y por lo tanto puede influir positivamente la provisión de servicios ecosistémicos que benefician a la sociedad. Quijas *et al.* (2010), al evaluar la diversidad solo de plantas encontraron un claro efecto positivo de la diversidad en el abastecimiento de productos de plantas, control de la erosión, resistencia a la invasión la regulación de plagas y enfermedades y la regulación de la fertilidad del suelo. Por tanto, estos autores remarcan la importancia del mantenimiento de la diversidad de plantas para asegurar e incrementar la provisión de servicios ecosistémicos que favorecen el bienestar humano.

1.3 TASAS DE DEFORESTACIÓN A NIVEL DE COLOMBIA

En Colombia particularmente, se estimaba que para el año 1995, existían 48 millones de hectáreas de bosques en pie en el país y que se había destruido más del 30% de la cobertura forestal nativa. La tasa de deforestación era alta y la reforestación de los últimos 6 años fue apenas de 94.000 ha.

Las principales causas de la deforestación, según Sánchez (2002) con datos del Ministerio de Minas y Energía para el año 1994, fueron la expansión de la frontera agropecuaria y la colonización (73,3%), producción de madera (11,7%), consumo de leña (11%), incendios forestales (2%), y cultivos ilícitos (2%).

Para conservar la riqueza natural, se ha venido desarrollando un sistema nacional de áreas protegidas que contaba, para 1995, con 33 parques nacionales, dos reservas naturales, 7 santuarios de flora y fauna y una Zona ecológica especial. Sin embargo, también se ha presentado deterioro al interior de estas áreas “protegidas” porque el Estado ha sido incapaz de impedir en ellas la acción depredadora de los colonos.

Colombia es uno de los países más ricos del mundo en biodiversidad. Sin embargo, de continuar las tasas de deforestación, solamente en el Chocó biogeográfico desaparecerán en el próximo quinquenio entre el 10% y el 22% de las especies de la zona. Además, el bajo conocimiento e investigación no permite generar productos provenientes del aprovechamiento sostenible de la oferta ambiental biodiversa, con valor comercial en los mercados internacionales. Los suelos están en constante degradación. El 45% de éstos son usados para fines distintos de su vocación y, por lo menos, el 8,5% del territorio nacional presenta erosión severa o muy severa. Se estima que anualmente entre 170.000 y 200.000 hectáreas de terreno quedan sujetas a erosión y existen alrededor de 700.000 hectáreas en vía de desertización y se presentan síntomas de este proceso en 16 millones de hectáreas más.

Con base en los datos del IDEAM (2010), para la cuantificación de la tasa de deforestación para Colombia período 1990-2000, 2000-2005, se encontró que las coberturas de bosque que presentaron mayores pérdidas en superficie de ese periodo fueron el bosque andino con cerca de 56 mil ha, el bosque basal amazónico con 50 mil ha y el bosque basal del Pacífico con 12 mil ha. Sin

embargo se reportan otros datos para Colombia con valores que varían desde 600 mil ha al año, reportadas por el IGAC y el ICA en 1987, las 221 mil ha reportadas al año por el IGAC en 2002 y las 991.932 ha por año señaladas por IDEAM en 2002. Las divergencias en las dos cifras se pueden deber a factores de orden técnico o metodológico que dificultan la tenencia de cifras comparables.

De acuerdo con otro estudio de carácter internacional, como el de la World Resources Institute (WRI) reportaron que en 1991 la deforestación del país era de 380 mil ha/año, y estudios de la FAO reportan una tasa de deforestación en el periodo de 1981-1990 de 367 mil ha /año.

Con los datos obtenidos por el IDEAM (2010), se identifica en el periodo 1990-2000 una pérdida de 3.227.570 ha de la cobertura de bosque, lo que equivale a una tasa promedio anual de pérdida de la cobertura boscosa de 322.757 ha. De acuerdo a la misma referencia, para el periodo 2000-2005, se identificó una pérdida de cobertura de bosque de 1.366.671 ha, obteniéndose una tasa promedio anual de pérdida de cobertura boscosa de 273.334 ha.

Cabe destacar que la proporción de área boscosa deforestada para la Región Andina correspondió en el periodo 1990-2000 a 100.903 ha/año; y en el periodo 2000-2005 la tasa de deforestación promedio anual para esta zona ascendió a 73.999 ha. La pérdida de bosques primarios de niebla, dentro de su rango de ocurrencia, experimenta una de las tasas más altas a lo largo del mundo. (Avendaño-Yañez *et al.*, 2014).

Las principales causas de deforestación en el país son: los cambios hacia pastos y áreas agrícolas heterogéneas, en las cuales es característica la intensificación en el uso del suelo, denotándose en esta región que además de la deforestación se presentan procesos de degradación y desertización de suelos. Por otro lado, con respecto a las actividades de plantación forestal o reforestación en el país en el periodo 2000-2005, para la región Andina solo se

establecieron 501 ha, dando un promedio de 50 ha/año, lo cual al compararse con las tasas de deforestación antes referenciadas demuestra claramente la tendencia al desbalance ambiental en el país.

1.4 ESTRATEGIAS FUTURAS

Para hacer realidad la contribución de los bosques a un futuro sostenible, las estrategias a utilizar deben comprender entre otras, la mejora en la cantidad y calidad de los bosques y la inversión en servicios ecosistémicos.

Actividades como la plantación de árboles y la restauración ecológica se constituyen en las formas más rápidas y eficaces de producir nueva biomasa, lo cual contribuye a contrarrestar la pérdida de carbono resultante en la deforestación de otros sitios. La inversión en unas reservas de carbono presenta enormes posibilidades de tener repercusiones considerables, rápidas y cuantificables en el cambio climático sin necesidad de transformaciones radicales de las políticas, las culturas o las economías nacionales (FAO, 2012).

La Región altoandina en Colombia, afectada por severos procesos de transformación del paisaje por cambios en los usos del suelo que contraen altas tasas de deforestación, requiere con urgencia que se planteen alternativas para el freno, la mitigación y restauración de sus valiosos ecosistemas que permitan la sostenibilidad en el uso de los bienes y servicios que estos proporcionan. Por tal razón, se propone en esta investigación, la formulación de un protocolo de Restauración que emplea las mejores combinaciones de especies y tratamientos con base en los resultados obtenidos en el tiempo a partir de los Modelos experimentales establecidos en la Zona de amortiguación de la Reserva Forestal Protectora Regional Farallones del Citará.

1.5 NORMATIVIDAD EN COLOMBIA

De acuerdo con estudios adelantados en Colombia por el Instituto Alexander Von Humboldt en el año 2014, la degradación de los suelos se considera un problema globalizado que tiene importantes ramificaciones sociales, económicas y políticas como resultado de muchos factores confluyentes donde se incluyen las variaciones climáticas, ecológicas y factores antrópicos que conllevan cambios en las coberturas y usos del suelo.

Los cambios que se presentan en las coberturas del suelo pueden darse por múltiples factores entre los cuales las actividades humanas insostenibles como el sobrepastoreo y la ampliación de la frontera agrícola mediante la corta de la vegetación natural generan la degradación de los terrenos y su proceso hacia la desertización como etapa final del proceso.

La restauración ecológica, como tal, también trae cambios en las coberturas y usos del suelo y por tanto, se requiere que dentro de sus actividades contemple la evaluación del éxito o fracaso de las mismas para encontrar soluciones ecológicas efectivas y así poder tomar medidas correctivas y a tiempo. Este es uno de los retos que se plantean con la elaboración del “Protocolo de Restauración Ecológica para bosques altoandinos de la Región Norte de los Andes Colombianos”.

Se reconoce y acepta que existe una clara relación entre la degradación ambiental y la pobreza, por tanto, se requiere que en términos de la restauración ecológica se plantee afrontar de manera conjunta la conservación y la reducción de la pobreza.

¿Cómo los ecosistemas responden a los cambios naturales y antropogénicos? Cualquier estrategia de restauración debe tener en cuenta la evaluación del

entendimiento de estas dinámicas en diferentes escalas desde lo local a lo regional y nacional y tanto desde la perspectiva ecológica como humana.

De acuerdo con el IAv H (2014), Instituto Alexander Von Humboldt en Colombia (2014), el manejo y el uso del territorio están influenciados por distintos factores sociales, culturales, económicos y ambientales, los cuales generan diversas dinámicas de aprovechamiento y de degradación en los ecosistemas.

En términos de normatividad en Colombia, como principal fuente regulatoria de estos procesos se encuentra la Constitución Política (1991), en la cual, se presentan normas y principios fundamentales que de manera general, orientan a las demás fuentes normativas, donde se destacan una serie de artículos sobre la protección del medio ambiente (Art. 8, 49, 58, 79, 80, 87, 88 y 95), la regulación del uso del suelo, subsuelo y destinación de recursos para la protección del ambiente (Art. 80, 311, 330, 332, 334, 366), y algunos mecanismos para garantizar la sostenibilidad ambiental como derecho colectivo (Art. 88). Asimismo, la Constitución Política reconoce que el Estado colombiano tiene la obligación de preservar un ambiente sano (Art. 49 y Art. 79) y la responsabilidad “de planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución (Art. 80). Igualmente, establece que la sociedad en general tiene el deber de proteger los recursos naturales y velar por la conservación de un ambiente sano, siendo tanto el Estado como la sociedad, responsables de la restauración o sustitución de áreas con especial importancia ecológica, que hayan sido degradadas o destruidas (Art. 95).

Claramente se nota que mediante la Constitución se tienen principios fundamentales que contribuyen a fomentar la conservación y uso sostenible del ambiente. Sin embargo, existen normas específicas que regulan la protección de ecosistemas estratégicos como son los páramos y que establecen la

obligatoriedad de recuperar funciones y servicios ambientales, mediante los procesos de restauración en estos ecosistemas.

El marco jurídico ambiental general Gestión de ecosistemas estratégicos, en el caso de los Páramos, surgió mediante la ley 99 de 1993 con la creación del Sistema Nacional Ambiental (SINA); uno de los principios de esta ley es que “las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial” (Art. 1 sección 4). Además, esta ley manifiesta que “La acción para la protección y recuperación ambiental del país es una tarea conjunta y coordinada entre el Estado, la comunidad, las organizaciones no gubernamentales y el sector privado” (Art. 1 sección 10). Por su parte, el artículo 50 (Ley 99 de 1993) establece que los beneficiarios de licencias ambientales tienen el deber de prevenir, mitigar, corregir, compensar y manejar todos los efectos ambientales de la obra o actividad autorizada. Con los anteriores instrumentos legales, se reconoce la necesidad y la responsabilidad de invertir en la recuperación y restauración ecológica de los recursos naturales degradados, para reincorporarlos a la cadena de bienes y servicios que la sociedad requiere o requerirá.

El decreto 1900 de 2006 reglamenta que todo proyecto, obra o actividad que involucre en su ejecución y operación el uso de agua proveniente de fuentes naturales y que esté sujeto a la obtención de una licencia ambiental, tiene la obligación de designar el 1% de la inversión total para la recuperación, conservación, preservación y vigilancia de la cuenca hidrográfica que alimenta la respectiva fuente hídrica. La sentencia C-367 del 2011, modifica el artículo 34 de la Ley 685 de 2001 Reforma al Código de Minas, el cual menciona que “...Las zonas de exclusión minera serán las que han sido constituidas y las que se constituyan, conforme a las disposiciones vigentes, como áreas que integran el sistema de parques nacionales naturales, parques naturales de carácter regional, zonas de reserva forestal protectora y demás zonas de

reserva forestal, ecosistemas de páramo y los humedales dentro de la lista de la Convención Ramsar...”.

En 2013 se publica el decreto 0953, que reglamenta el artículo 111 de la ley 99 de 1993 en el cual se propone “promover la conservación y recuperación de las áreas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos que surten de agua a acueductos municipales, distritales, regionales, mediante la adquisición y mantenimiento de dichas áreas y la financiación de los esquemas de pago por servicios ecosistémicos”.

Lo anterior es responsabilidad de las entidades territoriales, los distritos de riego que no requieren licencia ambiental y de las autoridades ambientales (Instituto von Humboldt, 2014).

En términos generales para Colombia, la Constitución se caracteriza por tener una fuerza vinculante, es decir, que dentro de la normatividad nacional se adoptan tratados, convenios y acuerdos internacionales a favor de los principios y derechos de los ciudadanos, como son los derechos ambientales. Es por esto que la ley 162 de 1994 adopta el Convenio de Diversidad Biológica de Río de Janeiro (1992) cuyo principio es la conservación de la diversidad biológica, el uso sostenible de sus componentes y la participación justa de los beneficiarios. Esta a su vez, fomenta la rehabilitación y restauración de ecosistemas degradados, mediante los planes de ordenación territorial (Art. 8 párrafo f). En este mismo año, se acoge mediante la ley 164, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, en el cual uno de sus compromisos es el “desarrollo y elaboración de planes apropiados e integrados para la gestión y para la protección y rehabilitación de las zonas” (Art. 4 párrafo 1. e). Asimismo, la ley 357 de 1997 adopta la Convención de Ramsar, cuya estrategia para el manejo sostenible de los humedales es la intervención activa mediante procesos de restauración.

La ley 1450 de 2011 que adopta El Plan Nacional de Desarrollo (MADS 2010) se centra en fortalecer la protección y la restauración de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos, así como en la gestión integral del recurso hídrico, la mejora de la gestión sectorial frente a las locomotoras de desarrollo (en especial a la Minera) y establece como propósito y objetivo nacional a 2014 la restauración de 90.000 ha degradadas.

Adicionalmente, se implementa la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE 2012-2020) (MADS 2012), la cual plantea la necesidad de adelantar acciones que fortalezcan la protección y la restauración de la biodiversidad y de sus servicios ecosistémicos. La PNGIBSE como herramienta política y administrativa de orientación, articulación, planificación y de ordenamiento y sostenibilidad territorial, asume que la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sostenible del país son el resultado de la promoción e implementación conjunta de acciones de preservación, uso sostenible, generación de conocimiento y de restauración ecológica.

Adicionalmente esta política integra las metas Aichi 2020 como punto de referencia para la gestión de la biodiversidad y para alcanzar el estado ambiental socialmente deseado, en la que, puntualmente la meta 14 se propone “la restauración de los ecosistemas, principalmente aquellos que brindan servicios ecosistémicos esenciales”, y la meta 15 cuyo objetivo es la restauración de al menos el 15% de los ecosistemas degradados para el año 2020.

Por otra parte, dentro de la actual normatividad que regula el sector minero, se plantea el Plan de Abandono de Minas y los términos de referencia de los Estudios de Impacto Ambiental (EIA), en los cuales se propone a la restauración ecológica como la estrategia principal para mitigar los impactos sobre los ecosistemas. Lo anterior se reglamenta en el Decreto 1503 de 2010.

Mediante la resolución 1517 de 2012 se adopta el Manual para la Asignación de Compensaciones por pérdida de Biodiversidad para las obras minero-energéticas y de mega infraestructura, se obliga a las empresas a adoptar tres opciones para compensar: el fortalecimiento de las Áreas Protegidas, la conservación mediante pago por servicios ambientales y la adquisición de predios, o la restauración de ecosistemas degradados. Específicamente, en el desarrollo minero-energético del país, se contempla la utilización de las regalías provenientes de estos sectores económicos específicamente para proyectos de conservación y restauración ecológica, debido a la pérdida de biodiversidad que supone el establecimiento y funcionamiento de dichos sectores económicos.

Finalmente, el Plan Nacional de Restauración Ecológica (Minambiente, 2013) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2013), define una serie de elementos conceptuales que permiten entender cómo la restauración se convierte en una herramienta de gestión y planificación de acciones que orientan y promueven el restablecimiento de la biodiversidad y de los bienes y servicios ecosistémicos. Dicho documento está estructurado en tres en fases temporales que buscan ordenar las acciones y priorizar ecosistemas.

El Plan de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía en Colombia (PAN 2010) establece: “que para el año 2020 Colombia habrá avanzado en la implementación de estrategias, acciones y mecanismos para la prevención, corrección, restauración, recuperación y/o detención de los procesos de degradación de tierras, desertificación y mitigación de la sequía, especialmente en las zonas secas, de manera articulada con las instancias internacionales, nacionales, regionales y locales, teniendo en cuenta una visión ecosistémica que garantice la gestión integrada y sostenible de la tierra, el agua, los recursos vivos y ecosistemas, considerando los factores ecológicos, socioeconómicos y culturales del país”. Como resultado de estas reuniones internacionales y los sub-consecuentes compromisos aceptados y ratificados

por las naciones asistentes, se reconoció el vínculo entre la ecología y la economía para el desarrollo, convirtiéndose en un fundamento básico para la formulación de posibles soluciones. Igualmente, se reconoce la restauración ecológica entre las estrategias actuales más concretas para mitigar y adaptarse al cambio global.

De esta manera, el Estado colombiano se traza diferentes objetivos y metas para generar el desarrollo sostenible de la nación sobre la base de la conservación, conocimiento y uso de la biodiversidad, así como de la recuperación, restauración y rehabilitación de ecosistemas degradados, dañados o destruidos y de los bienes y servicios ambientales asociados a esos ecosistemas. Para facilitar su cumplimiento, se producen entonces varios documentos nacionales de gestión de la biodiversidad que se relacionan clara y directamente con la restauración ecológica.

En el país, existen diferentes entes que tanto a nivel nacional como regional, expiden actos administrativos como: decretos, resoluciones, ordenanzas y acuerdos, los cuales determinan el manejo y uso del territorio.

A nivel nacional, se expiden decretos por parte de la Presidencia y los Ministerios, y resoluciones por los Institutos y Unidades adscritas a los ministerios.

A nivel regional, se disponen de resoluciones elaboradas por Gobernaciones y Alcaldías, de ordenanzas publicadas por la Asamblea y los acuerdos realizados por los Concejos. Las Corporaciones Autónomas Regionales expiden resoluciones y son las principales autoridades ambientales a nivel regional.

Se deduce claramente de todo lo anterior, que para Colombia existen elementos normativos claros y precisos que a nivel nacional y local regulan y orientan las acciones requeridas para la conservación de la diversidad

biológica, el manejo de los ecosistemas y las actividades orientadas a la restauración y recomposición de ecosistemas, clave del bienestar general para las comunidades humanas asociadas a estos.

1.6 CARACTERIZACIÓN FORESTAL DE COLOMBIA.

1.6.1 Generalidades

Para realizar un análisis de Colombia en términos de la situación forestal en el país y de planeación forestal, se requiere inicialmente hacer una caracterización del país con respecto a su área total, los ecosistemas presentes, el cambio de los usos del suelo en el tiempo y las políticas esbozadas en el Plan Nacional de Restauración.

Colombia se caracteriza por ser un país que cuenta con una de las mayores expresiones de la diversidad biológica en todos los niveles. Los datos obtenidos de inventarios sobre la biodiversidad de plantas en el país, señalan la existencia de cerca de 1000 comunidades vegetales, definidas con criterios ecológicos, fitosociológicos o fisionómicos e incluyen plantas superiores o inferiores como musgos, líquenes, hepáticas y helechos (Rangel *et al.*, 1997)

Para el presente año, 2015, la Universidad Nacional de Colombia, publicó El Catálogo de plantas y líquenes de Colombia, el cual reúne la más completa y exhaustiva lista jamás documentada de las plantas y los líquenes que crecen en el país. El catálogo se considera el inventario de la flora nacional y que posiciona a Colombia como el segundo país con mayor diversidad de plantas del planeta.

Esta obra es el resultado del meticuloso trabajo de investigación de 180 especialistas botánicos de 20 países a lo largo de 13 años. La investigación de estos científicos, a su vez, estuvo basada en los especímenes y datos sobre

nuestra flora obtenidos por varias generaciones de botánicos colombianos y extranjeros a lo largo y ancho del país.

El Catálogo documenta la presencia en Colombia de 22.840 angiospermas, 45 gimnospermas y 1643 helechos y afines, para un total de 24.528 especies de plantas vasculares; de estas, 769 especies son cultivadas, lo que deja 23.759 especies de plantas vasculares nativas o naturalizadas. Se documentan además 13 antocerotas, 932 musgos, 704 hepáticas y 1674 líquenes, para un total de 27.860 especies. De las 769 especies cultivadas hay al menos 15 que ya se han naturalizado en el país, por lo que ahora hacen parte de la flora silvestre de Colombia. La cifra total de especies del Catálogo incluye 496 especies que no han sido halladas todavía en Colombia, pero cuya presencia en el país es esperada, pues han sido recolectadas en áreas fronterizas vecinas, la mayoría de ellas a menos de 10 km de la frontera. En muchos casos, como sucede con numerosas plantas de Carchi (Ecuador) o de Amazonas (Venezuela), la especie ha sido recolectada en el país vecino, justo al otro lado del río que marca la frontera (Bernal *et al.*, 2015)

Colombia es uno de los países con mayor diversidad de plantas en todo el planeta. Esa enorme riqueza vegetal, que fue la base sobre la que florecieron en esta parte del mundo centenares de civilizaciones indígenas, constituye un patrimonio de valor incalculable, al cual nuestro país debe volver ahora la mirada para asegurar su futuro. La conservación y el adecuado aprovechamiento de nuestra flora deberán hacer parte de nuestra agenda en las próximas décadas. De no hacerlo, el país estaría desaprovechando una excelente oportunidad para su desarrollo sostenible.

Es fundamental entender que para lograr la conservación y el uso sostenible de los recursos es imperioso su real conocimiento. En el caso de las plantas, un inventario básico de la flora colombiana, constituye la base fundamental para planear su manejo. Pero un inventario de esta naturaleza no existía hasta

ahora en Colombia, a pesar de la larga historia del estudio de la flora de nuestro país, que se remonta a la Real Expedición Botánica que inició José Celestino Mutis a finales del siglo XVIII.

De acuerdo con Bernal *et al.* (2015) esta obra es, quizás la empresa botánica más ambiciosa que se haya culminado en el país, recopila, por primera vez en nuestra historia, las 28.000 especies de plantas y líquenes que se han identificado hasta ahora en Colombia, suministrando para cada una de ellas información sobre el tamaño de la planta, las regiones ecológicas en las que se encuentra, el rango de elevación en el que crece, los departamentos en los que ha sido hallada, su actual estado de conservación y la distribución global de la especie, cuando esta crece en otros países.

En síntesis, como resultado del trabajo, se encontraron 26.186 especies de plantas y 1.674 líquenes.

1.6.2 Clasificación de Ecosistemas en Colombia.

Colombia cuenta con una superficie total de 2.070.408 km² o su equivalente en hectáreas, a 207.040.800, distribuidas en un área continental de 1.141.748 km² (114.174.800 has.) y un área marítima de 928.660 km² (92.866.000 ha) el cual representa el 44,5% de la superficie total del país (IDEAM et al., 2007)

Para la zona donde se llevó a cabo la presente investigación, las estadísticas reportan que el Departamento de Antioquia posee una extensión territorial de 6.310.516 ha con un área en bosque de 2.245.965 ha. Correspondiente al 35,59% incluyendo páramos, bosques, rastrojos altos, humedales, entre otros. El área restante, 4.063.424 ha (64,4%), corresponde a áreas transformadas a humedales artificiales, áreas agrícolas heterogéneas, áreas urbanas, bosques

plantados, cultivos anuales o transitorio, cultivos semipermanentes o permanente y pastos. (IDEAM *et al.*, 2007)

Históricamente en el país, se han realizado una gran cantidad de trabajos orientados a generar clasificaciones de los ecosistemas y aunque los enfoques metodológicos han sido diferentes, evidencian de manera común la amplia diversidad del país. Entre otros, la clasificación de Cuatrecasas (1958); el mapa de Zonas de Vida o Formaciones Vegetales de Colombia (Espinal y Montenegro 1963), el mapa de Bosques de Colombia (IGAC *et al.*, 1984), el mapa de Unidades Biogeográficas y Biomas Terrestres de Colombia (Hernández y Sánchez 1992), el mapa de Cobertura Vegetal, Uso y Ocupación del Territorio, el mapa General de Ecosistemas de Colombia elaborado a escala 1:2.000.000 (Etter, 1998), en el cual se identificaron un total de 21 biomas y 62 ecosistemas terrestres naturales. Adicionalmente se han realizado clasificaciones a nivel regional (Márquez, 2003), en zonas como los Andes (Rodríguez *et al.*, 2004) y el Orinoco (Romero *et al.*, 2009) o a escala nacional como la Zonificación de Ecosistemas Continentales desarrollada por Fandiño y Van Wingaarden (2005), con el objeto de definir las prioridades de conservación biológica para Colombia, en la que se identifican cerca de 323 diferentes clases ecosistémicas y su agregación en alrededor de 63 tipos corológicos.

En 2007 concluyó la construcción del Mapa de Ecosistemas Continentales, Marinos y Costeros de Colombia, elaborado a una escala de 1:500.000, en el que se determinó que Colombia contiene en un 68,7% ecosistemas naturales y cerca del 23,6% por áreas transformadas. Dentro de los ecosistemas considerados naturales, se encuentran los bosques localizados en regiones de la Amazonia, el Pacífico y Andina. Igualmente está constituido por herbazales que incluyen sabanas, y áreas de páramo, arbustales de la región Amazónica y enclaves secos. También se encuentra la cobertura de manglar y las áreas naturales desprovistas de vegetación (glaciares, nieves perpetuas,

afloramientos rocosos y zonas desnudas). Por su parte, las áreas transformadas están constituidas principalmente por pastos manejados y no manejados, áreas agrícolas heterogéneas, cultivos anuales o transitorios, cultivos semipermanentes y permanentes, áreas urbanas y áreas mayores alteradas, principalmente por minería.

Para la zona marina-costera, áreas coralinas, pastos marinos, litorales rocosos y fondos sedimentarios, este mapa identifica nueve ecoregiones marinas y costeras en el Caribe (Guajira, Palomino, Tayrona, Magdalena, Golfo de Morrosquillo, archipiélagos coralinos, Darién, Archipiélago de San Andrés y Providencia y Caribe Oceánico) y nueve en el Pacífico (Pacífico norte, Baudó, Buenaventura, Naya, Sanquianga, Tumaco, Gorgona, Malpelo y Pacífico Oceánico (IDEAM *et al.*, 2007). Se debe anotar que este Mapa es el adoptado por el Plan Nacional de Restauración (PNR), para su implementación.

Con respecto a la división del país en regiones biogeográficas, en el estudio realizado por Bernal *et al.* (2015), se estableció que de las 10 regiones biogeográficas, la Región de los Andes es la que cuenta con el mayor número de especies de plantas y líquenes, 18.377; Pacífico con 6.052; Región de la Amazonía con 5.822; Valle del Magdalena 3.437; Guayana y Serranía de la Macarena con 3.205; llanura del Caribe con 2.912; Orinoquia 2.841; Sierra Nevada de Santa Marta 2.513 y Valle del Cauca con 1.414 especies de plantas y líquenes. La región andina tiene 94 especies de plantas en peligro crítico. Se encontraron 8.764 especies de plantas y líquenes que viven por debajo de los 100 metros sobre el nivel del mar, 22 especies que habitan por encima de los 4.900 metros y existen en Colombia 5 plantas carnívoras.

Otros estudios publicados con anterioridad, coinciden en afirmar que, Colombia, se ha considerado como uno de los 12 países llamados “megadiversos” en el mundo; condición que se ve reflejada en la amplia variedad de ecosistemas representados en el territorio colombiano, desde

páramos, hasta bosques andinos, selvas húmedas tropicales, bosques secos, humedales, sabanas y zonas áridas (Romero *et al.*, 2009). Sin embargo, la mayoría de los ecosistemas naturales de Colombia han sido transformados y degradados por la deforestación, causada entre otras, por el establecimiento de cultivos ilícitos, el uso inadecuado del suelo en actividades agroindustriales, la producción agropecuaria, la minería a cielo abierto, el desarrollo urbano, la construcción de obras de infraestructura, la urbanización e introducción de especies, que en algunos casos son invasoras afectando el equilibrio de los sistemas ecológicos.

La rápida conversión y deterioro de los ecosistemas originales, ha generado pérdida de biodiversidad, disminución en calidad y cantidad de los recursos hídricos, degradación de los suelos, contaminación de aguas tanto marinas como continentales. En este marco de condiciones de deterioro, surge la necesidad de elaborar el presente Plan Nacional de Restauración, en adelante PNR, que busca a partir de la restauración ecológica, la rehabilitación y la recuperación articulándose a las estrategias del Gobierno Nacional, con el fin de contrarrestar los efectos negativos que se han ido acumulando y deteriorando los ecosistemas y la calidad de vida de las comunidades humanas.

1.6.3 Normativa Ambiental

Para que cualquier modelo social y económico alcance a ser sostenible se requiere que el crecimiento económico se acompañe de la conservación o de la recuperación/restauración de una parte importante de su capital natural, por tanto, se requiere partir de una normatividad clara desde lo ambiental. De no ser así, las acciones emprendidas por el hombre conllevan inevitablemente al incremento paulatino de la degradación del ambiente, el cual culmina en la etapa final de desertización, punto de difícil retorno a la sostenibilidad ambiental.

Para el desarrollo de la Política de Bosques en Colombia se establecieron una serie de disposiciones dentro del marco legal partiendo desde la Constitución de 1991, la cual estableció un conjunto de deberes ambientales a cargo del Estado.

Entre ellos sobresalen: “Planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, conservación, restauración o sustitución” (artículo 80); “Proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para lograr estos fines” (artículo 79); “Prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones y exigir la reparación de los daños causados” (artículo 80); “Regular el ingreso y salida del país de recursos genéticos y su uso, de acuerdo con el interés nacional” (artículo 81). Los desarrollos de la Constitución incluyen la expedición de la Ley 99 de 1993.

El establecimiento de la Política Nacional de Bosques en Colombia, se fundamentó en los siguientes principios:

1) Los bosques como parte integrante y soporte de la diversidad biológica, étnica y de la oferta ambiental son un recurso estratégico de la Nación y por lo tanto su conocimiento y manejo son tarea esencial del Estado con apoyo de la sociedad civil. Por su carácter de recurso estratégico, su utilización y manejo debe darse dentro de los principios de sostenibilidad que consagra la Constitución como base del desarrollo nacional.

2) Las acciones para el desarrollo sostenible de los bosques son una tarea conjunta y coordinada entre el Estado, la comunidad y el sector privado, quienes propenderán a su uso óptimo y equitativo.

3) El aprovechamiento sostenible de los recursos forestales es una estrategia de conservación de los bosques, que requiere un ambiente propicio para las inversiones.

4) Gran parte de las áreas boscosas del país se encuentran habitadas, por lo que se apoyará el ejercicio de los derechos de sus moradores.

5) La investigación científica de los ecosistemas boscosos tropicales es indispensable para avanzar hacia el desarrollo sostenible del sector forestal.

6) Las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales cumplen una función fundamental en la producción de energía renovable, el abastecimiento de materia prima, el mantenimiento de los procesos ecológicos, la ampliación de la oferta de recursos de los bosques, la generación de empleo y el desarrollo socio-económico nacional, por lo cual se estimularán dichas actividades.

7) Las líneas de política nacional se desarrollarán regionalmente, atendiendo a las particularidades de cada región.

Dentro de la Política se trazó como objetivo general, alcanzar el uso sostenible de los bosques con el fin de conservarlos, consolidar la incorporación del sector forestal en la economía nacional y mejorar la calidad de vida de la población.

De igual manera se establecieron una serie de objetivos específicos, como:

- reducir la deforestación mediante la armonización y reorientación de las políticas intersectoriales.
- incentivar la reforestación, recuperación y conservación de los bosques para rehabilitar las cuencas hidrográficas, restaurar ecosistemas forestales degradados y recuperar suelos.
- fortalecer y racionalizar procesos administrativos para el uso sostenible del bosque, tanto de los recursos madereros como de otros productos y servicios.
- atender los problemas culturales, sociales, económicos que originan la dinámica no sostenible de uso del bosque.

En la Ley 99 de 1993 se determinaron, entre otros aspectos: las competencias y funciones en materia de bosques; creó en el Ministerio del Medio Ambiente una Dirección, encargada de ejercer las competencias encomendadas a éste en la materia; determinó la participación de un representante de los gremios de la actividad forestal dentro del Consejo Nacional Ambiental; trasladó al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales las investigaciones sobre recursos forestales; encargó al Instituto Alexander von Humboldt realizar la investigación sobre recursos genéticos y levantar el inventario científico de la biodiversidad en el país y creó el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas “SINCHI” y el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico “John von Neumann”.

Adicionalmente, la Ley 99/93 estableció que es función de Minambiente coordinar la elaboración del Plan Nacional de Desarrollo Forestal y estructurar, implementar y coordinar el Servicio Forestal Nacional (SFN). También consagró que la biodiversidad del país es patrimonio nacional y que el

patrimonio natural de la Nación es un elemento integrante de la soberanía nacional (artículo 103), por lo cual todos los colombianos tienen igual oportunidad de acceso a dicho patrimonio. Algunas normas relacionadas con comunidades indígenas y negras contienen previsiones relativas a los recursos naturales renovables que se encuentran en sus territorios.

La Ley 70 de 1993 reconoce a las comunidades negras de las zonas rurales ribereñas de los ríos de la Cuenca del Pacífico el derecho a la propiedad colectiva, de acuerdo con sus prácticas tradicionales de producción. En cuanto a las comunidades indígenas, se destaca la Ley 21 de 1991, aprobatoria del Convenio 169 de 1989 de la OIT sobre pueblos indígenas y tribales en países independientes, que establece el derecho de estos pueblos a participar en la utilización, administración y conservación de los recursos naturales de sus territorios (artículos 14 y 15). En el sector agrario se promulgaron la Ley 101 de 1993, que contiene los artículos 64, 65 y 66 de la Carta, con los propósitos de crear las bases de un sistema de incentivos a la capitalización rural y a la protección de los recursos naturales; la Ley 160 de 1994 que prevé el establecimiento de Zonas de Reserva Campesina para el fomento de la pequeña propiedad rural, con sujeción a las políticas de conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables y dicta nuevas disposiciones en materia de resguardos indígenas; y la Ley 139 de 1994 que creó el Certificado de Incentivo Forestal (CIF), como un reconocimiento a los beneficios sociales y ambientales de la reforestación, y para promover la realización de inversiones directas en plantaciones de carácter protector-productor en terrenos de aptitud forestal.

A manera de síntesis, en términos forestales se puede diagnosticar para Colombia, que el 69% de la superficie continental en el país, es de aptitud forestal, pero sólo el 46% de dicha área está cubierta por bosques. Un buen

porcentaje de las tierras incorporadas a actividades agropecuarias son de aptitud forestal, y su inadecuado manejo ha llevado a la pérdida de los nutrientes del suelo, la erosión y la alteración de las cuencas. Aunque no existe información precisa sobre la magnitud de la deforestación en el país, se estima que Colombia tiene una de las cinco mayores tasas de deforestación de bosque húmedo tropical en el mundo. En la mayoría de los casos se ha desconocido el potencial de uso del bosque, que además de ser hábitat de asentamientos humanos y proveer materias primas como madera, resinas, cortezas y semillas, contribuye al desarrollo económico y social del país, y presta otros importantes servicios ambientales como ser hábitat de la flora y fauna silvestre, proteger y regular las cuencas hidrográficas, evitar y mitigar la erosión de los suelos, y ofrecer posibilidades para actividades recreativas y turísticas. Factores económicos, políticos y sociales, promovidos legal e institucionalmente, han contribuido al deterioro de los bosques.

1.6.4 Dinámica de Deforestación en Colombia

La dinámica de la deforestación ha sido la mayoría de las veces resultado de políticas sectoriales (sociales, infraestructura, agrarias, mineras, energéticas, crediticias y de colonización). De igual forma, las políticas de administración de los bosques han sido, en muchos casos, contraproducentes para su conservación.

Tal como se consideró anteriormente, a nivel nacional, las principales causas de la deforestación son, en orden de incidencia: la expansión de la frontera agropecuaria, la colonización, la construcción de obras de infraestructura, los cultivos ilícitos, el consumo de leña, los incendios forestales y la producción maderera para la industria y el comercio. A nivel regional estas mismas causas pueden tener variación en su orden de incidencia.

Otros factores de orden público como la violencia y el narcotráfico han acelerado los procesos de desplazamiento de grupos humanos hacia áreas de bosque. La política de reforma agraria de 1961 preveía que el colono debía hacer mejoras en el área que iba a ser adjudicada. La falta de una reforma agraria efectiva se refleja en que se ha sustraído el 20% de las reservas forestales de la Ley 2 de 1959 con fines de colonización. La leña es el principal combustible utilizado en la cocción de alimentos por los habitantes del sector rural, debido principalmente a la falta de alternativas energéticas. A esto se suma el consumo de leña por sectores productivos, en particular el sector panelero. Para los próximos años, el requerimiento de leña asciende a 11 millones de toneladas/año, concentrándose en las zonas Andina y Atlántica.

Históricamente, por causa de cultivos ilícitos se han destruido miles de hectáreas de cobertura boscosa. En 1991 se encontraban afectados 323 municipios, y en 1994 eran 385. Los ecosistemas amazónicos y andinos han sido los más afectados por las actividades ilícitas. Se calcula que por cada hectárea de coca sembrada se destruyen 2 hectáreas de bosque, y por cada hectárea de amapola se destruyen 2,5 hectáreas de bosque. Según estimaciones, durante 1992 se talaron 11 mil hectáreas de bosques primarios alto Andinos para cultivar amapola. No se han seguido en el país, para el abastecimiento de la industria y el comercio de maderas, criterios de sostenibilidad. Se estima que el abastecimiento de la industria forestal afecta de forma negativa entre 40 mil a 68 mil hectáreas al año de bosques naturales. Más del 50% de la materia prima proviene de los bosques naturales de la costa Pacífica.

Ante la limitada competencia, baja inversión extranjera, aplicación de tecnologías inadecuadas y el atraso tecnológico, el sector forestal se ha caracterizado por su baja calidad y eficiencia. La mayoría de los productos del

sector se dirigen al mercado interno, la comercialización de productos forestales presenta un escaso desarrollo, en particular la de los no maderables. La falta de un adecuado aprovechamiento y comercialización de estos últimos ha contribuido a la degradación de los bosques. Al proceso de deforestación se suma la escasa reforestación y la falta de manejo de la sucesión vegetal para los bosques y áreas secundarias que quedan posteriormente al aprovechamiento forestal.

En la figura 3, se observa la evolución en el tiempo, del cambio de las coberturas de bosque y no bosque, que permiten tener una clara visión de la forma en la cual los diferentes procesos de transformación en los usos del suelo han operado en Colombia.

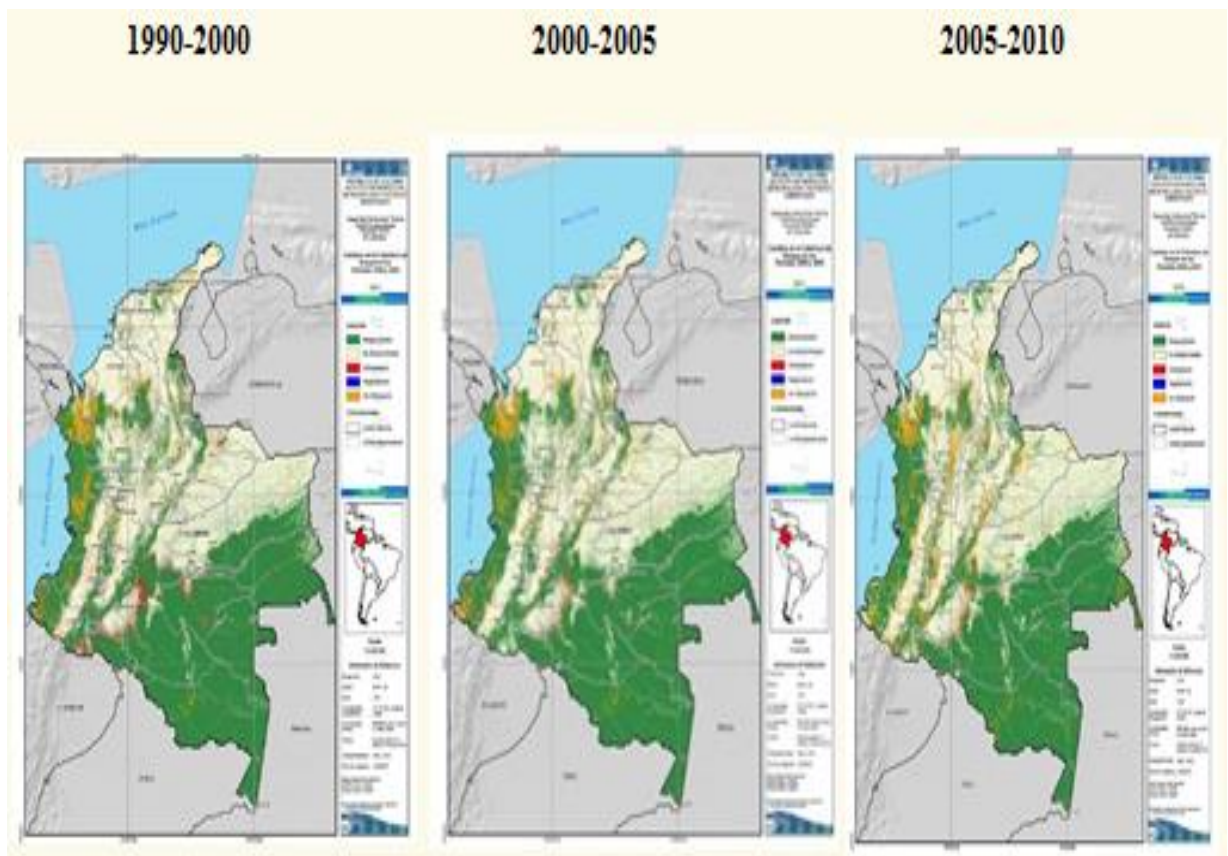


Figura 3. Mapas de cambio de cobertura multitemporal en Colombia. Tomado de: Cabrera *et al.*, 2011.

En forma contraria y de acuerdo con los datos existentes, durante los últimos seis años sólo se plantaron 94 mil hectáreas y el total reforestado en las dos últimas décadas no supera las 300 mil hectáreas. Entre las políticas de administración de los bosques, el sistema de permisos y concesiones ha favorecido la proliferación de permisos sin ningún rigor en especial para explotaciones pequeñas y de corta duración asignados por volumen de madera y no por área, lo que ha resultado en una baja eficiencia en la extracción de madera. La aplicación de técnicas de extracción inapropiadas para bosques tropicales, la imposibilidad de las autoridades ambientales de actuar eficientemente frente al incumplimiento de los compromisos de los permisionarios y las dificultades técnicas de las entidades responsables del seguimiento y la evaluación de concesiones y permisos ha significado también aprovechamientos forestales con bajas especificaciones ambientales, lo cual trae consigo un panorama poco alentador a nivel general de Colombia.

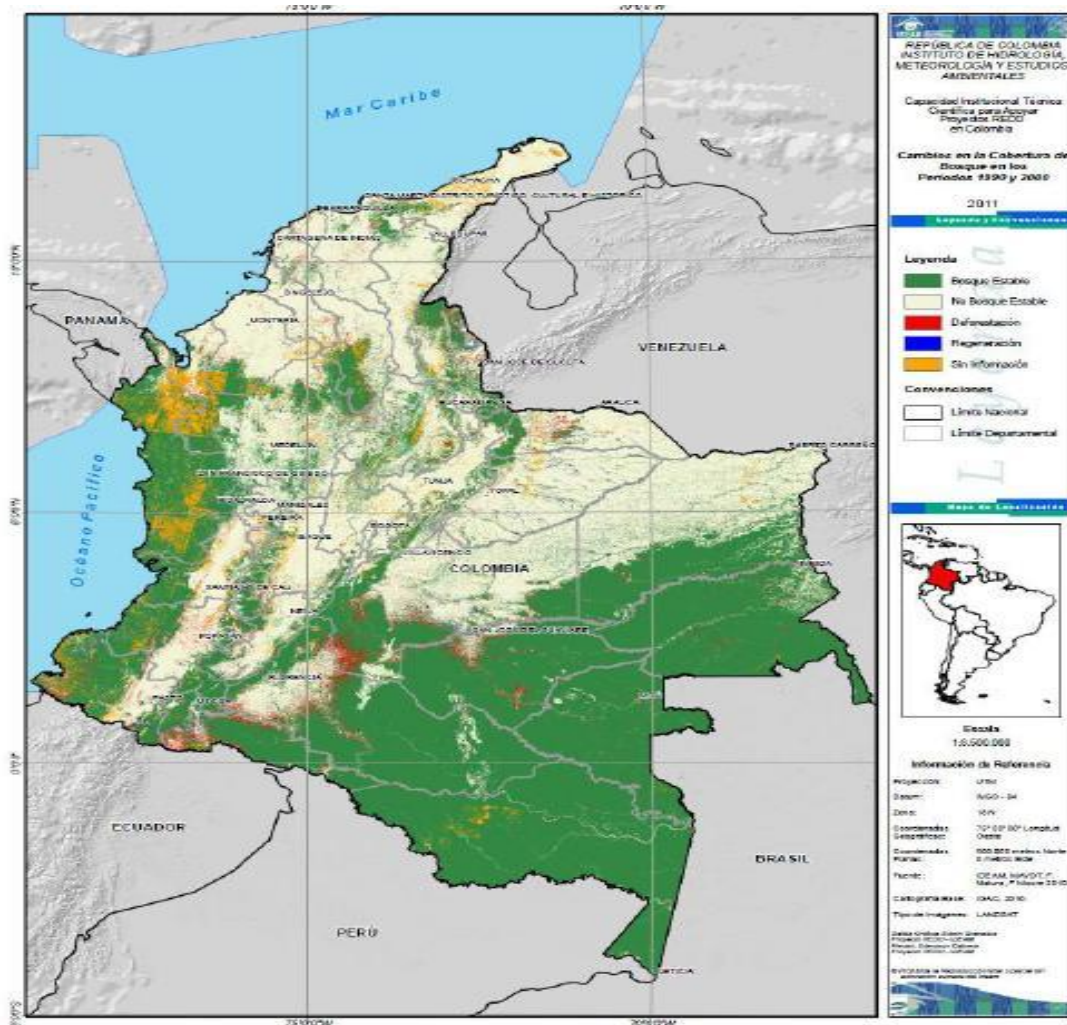


Figura 4. Cambios en las coberturas de bosque, períodos 1990 y 2000 para Colombia. Tomado de: Cabrera *et al*, 2011.

La primera estimación de la deforestación a nivel nacional, se realizó en 2009 a escala 1:500.000, a partir de imágenes MODIS para los años 2000 y 2007, dando como resultado que entre estos años, se perdieron aproximadamente 2.000.000 de hectáreas, con una pérdida anual de 336.000 hectáreas/año. A escala fina (1:100.00) y a una mayor resolución (30 metros) se identificó que para el período 1990-2000 se perdieron 2.798.639 hectáreas, dando como resultado una tasa promedio anual de pérdida de la cobertura de bosque de 279.864 hectáreas por año (Cabrera *et al.*, 2011). Haciendo un análisis de los resultados obtenidos, se observa que para este período los mayores niveles de transformación se presentan en la Región Amazónica con una deforestación

promedio de 119.802 hectáreas por año; y que los menores niveles de pérdida de la cobertura boscosa se presentan en la región del Pacífico con 140.426 hectáreas al año en promedio (Ver Tabla 1. Proporción del área boscosa deforestada por regiones naturales).

En cuanto al período 2000-2005, se perdieron 1.575.599 hectáreas de superficie de bosque, es decir que durante los cinco (5) años de análisis, la tasa promedio anual de pérdida fue de 315.120 hectáreas/año. Este mismo análisis se realizó para el período 2005-2010, permitiendo identificar que la superficie de cambio fue de 1.191.365 hectáreas y que aplicando una relación lineal de pérdida se obtiene que durante este período se perdieran anualmente 238.361 hectáreas de bosque natural. A continuación, la zonificación de cambio de coberturas de bosque/No bosque para los períodos 1990-2000 y 2005-2010. En la Figura 3 se observan los diferentes cambios en las coberturas boscosas para diferentes períodos de tiempo.

La FAO a través del programa FRA ha coordinado la evaluación de los recursos forestales mundiales cada cinco a diez años desde 1946. Las evaluaciones de los recursos forestales mundiales (FRA) están basadas en información suministrada a la FAO por los países, respondiendo a un cuestionario común. La FAO consolida y analiza la información y presenta el estado actual de los recursos forestales mundiales y sus cambios.

En Colombia, el mapa de Cobertura y Uso de la Tierra en Colombia está basado en la adaptación del estándar europeo CORINE Land Cover, realizada en conjunto por 13 instituciones públicas bajo la coordinación técnica del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC (IDEAM, IGAC, IAvH, SINCHI, UAESPNN, INVEMAR y UPTC. En prensa). El mapa de cobertura de la tierra, se elabora con base en una leyenda de 63 clases (ver Tabla 6) basada en la interpretación visual asistida por computador de imágenes Landsat TM y

Landsat ETM+ a una escala de 1:100.000 y con una unidad mínima de mapeo de 6,25 - 25 ha.

Los cambio por deforestación durante los diferentes períodos, señalan que para el periodo 2000 – 2005 la cobertura de bosque fue transformada principalmente hacia coberturas de pastos, correspondiendo al 39.7% del área de cambio, seguido por cambios hacia Vegetación secundaria y áreas agrícolas heterogéneas, con el 35,1% y el 12,3% respectivamente, como se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Tipificación del cambio de coberturas boscosas por deforestación. Tabla de coberturas boscosas adaptada de: Cabrera *et al.*, 2011.

Periodo Cobertura	2000-2005		2005-2010	
	Área ha	% Área	Área ha	% Área
Áreas Urbanizadas	9.585	0,6	123	0,0
Cultivos Transitorios	6.989	0,4	2.197	0,2
Cultivos permanentes	3.750	0,2	873	0,1
Pastos	625.833	39,7	663.901	55,5
Áreas agrícolas heterogéneas	194.064	12,3	104.852	8,8
Plantación forestal	40	0,0	144	0,0
Herbazales	19.256	1,2	19.539	1,6
Arbustales	77.125	4,9	129.648	10,8
Vegetación secundaria	552.495	35,1	241.764	20,2
Zonas quemadas	5.296	0,3	3.531	0,3
Otras áreas sin vegetación	3.785	0,2	7.670	0,6
Vegetación acuática	1,7	0,1	11.192	0,9
Superficies de agua	14.950	0,9	10.898	0,9
Total	1,574,953	100	1,196,331	100

Actualmente, el interés por los bosques del mundo ha alcanzado una cota sin precedentes, lo que se debe especialmente a una mayor concienciación sobre el vital papel que desempeñan los bosques en el ciclo global del carbono.

La posibilidad de mitigar el cambio climático mediante la reducción de las emisiones de carbono causadas por la deforestación y la degradación de los bosques (REDD), así como mediante el aumento de la captura de carbono gracias a la forestación y la gestión forestal sostenible, destaca la función esencial de los bosques para sostener la vida en la Tierra.

Pero los bosques son algo más que carbono. El Año Internacional de la Biodiversidad en 2010 puso de manifiesto que los bosques representan algunos de los ecosistemas más diversos de la Tierra. En una época de crisis económica, hay que recordar también que los bosques facilitan empleo y medios de vida a gran parte de la población, especialmente en países en desarrollo, y que a menudo suponen una red de seguridad económica en tiempos de penuria.

La Evaluación de los recursos forestales mundiales de la FAO (FRA), que se realiza a intervalos de cinco años, suministra los datos y la información necesarios para prestar apoyo a programas, decisiones y negociaciones en relación con los bosques y las actividades forestales.

Cada evaluación sucesiva es más completa que la anterior. FRA (2010), estructurada en torno a siete elementos temáticos de la ordenación forestal sostenible, contiene información que permite llevar a cabo el seguimiento del progreso hacia la consecución de metas y objetivos internacionales, entre los que destacan los Objetivos de Desarrollo del Milenio, la Meta de Biodiversidad 2010 del Convenio sobre la Diversidad Biológica y los cuatro Objetivos mundiales sobre los bosques definidos en el Instrumento jurídico no vinculante sobre todos los tipos de bosques, adoptado por la Asamblea General de Naciones Unidas en enero de 2008. De modo adicional, las estadísticas sobre tendencias en los depósitos de carbono de los bosques sustentarán las predicciones de cambio climático y el desarrollo de medidas adecuadas de mitigación y adaptación.

Además, en FRA (2010) se incluye información sobre variables como la salud de los bosques, sus aportes a las economías nacionales y el marco legal e institucional que gobierna la ordenación y uso de los bosques del mundo.

Los datos presentados en este informe se sustentan en un proceso sólido de recopilación, procesamiento, validación, compilación y análisis de datos. La participación de expertos nacionales de prácticamente todos los países y principales organizaciones internacionales relacionadas con los bosques garantiza la comunicación y aplicación de los datos más exactos y actualizados, y asegura también que esta información será utilizada en los procesos de formulación de políticas nacionales.

La FAO, a la solicitud de sus países miembros, evalúa regularmente el estado de los bosques del mundo, así como su ordenación y sus usos, a través del Programa de Evaluación de los Recursos Forestales. La Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2010 ha sido solicitada por el Comité Forestal de la FAO en 2007 y será basada en un extenso proceso de recopilación de información nacional, complementado por una evaluación global de los bosques con teledetección.

La evaluación abarcará los siete elementos temáticos de la ordenación forestal sostenible incluyendo variables relativas al marco político, legal e institucional. FRA 2010 también pretende proporcionar información que facilite la evaluación del progreso hacia el logro de los Objetivos mundiales en materia de bosques establecidos por el Foro de las Naciones Unidas sobre los Bosques y de la Meta Biodiversidad 2010 del Convenio sobre la Diversidad Biológica. La publicación de los resultados ha sido prevista para 2010.

El Programa de Evaluación de los Recursos Forestales está coordinado por el Departamento Forestal desde la sede de la FAO, en Roma.

Para nuestro caso, fue necesario primero realizar la reclasificación del sistema de clasificación del país a las categorías FRA

Reclasificación a las categorías de FRA 2010	
Categoría FRA	
Nombre de la cobertura	Área (ha)
Bosques plantados	161.161,0
Bosques naturales	61.246.659,3
Subtotal Bosques	61.407.820,3
Arbustales	2.205.715,8
Herbáceas y arbustivas costeras	89.409,9
Herbazales	12.283.957,2
Otras Tierras Boscosas	
Vegetación secundaria	8.148.153,5
Subtotal Otras Tierras Boscosas	22.727.236,4
Zonas desnudas, sin o con poca vegetación	216.924,6
Pastos	17.313.886,0
Hidrofitia continental	760.944,1
Glaciares y nieves	8.566,9
Cultivos semipermanentes y permanentes	1.057.223,7
Cultivos anuales o transitorios	3.315.042,9
Áreas urbanas	284.323,8
Áreas mayormente alteradas	16.500,0
Áreas agrícolas heterogéneas	4.974.681,7
Afloramientos rocosos	15.708,7
Otras Tierras	
Sin información (Nubes)	125.412,4
Subtotal Otras Tierras	28.089.214,7
Lagunas costeras	158.103,6
Aguas continentales naturales	1.727.526,8
Aguas Continentales	
Aguas continentales artificiales	64.898,3
Subtotal Aguas Continentales	1.950.528,7
Total Nacional	114.174.800,0

La superficie total según los datos nacionales corresponde a la superficie del país según FAOSTAT. Por lo tanto se ha utilizado los datos de bosques y de otras tierras boscosas sin calibrar. La superficie de aguas según FAOSTAT es 3.225.000 hectáreas, y para utilizar esta cifra se hizo un ajuste en la superficie de otras tierras, cuya superficie ajustada es 26.814.943 hectáreas.

Estimación y proyección

Para la estimación de cubierta forestal para 1990, 2000 y 2005 se utilizaron los datos del año 2001 y se aplicó la tasa de deforestación oficialmente utilizada por el gobierno de Colombia que es de 101,000 hectáreas/año. Las otras tierras boscosas se consideraron constantes para todos los años a informar ya

que no se cuenta con suficiente información que permita hacer cálculos sobre la tasa de cambio de esta categoría. Los resultados finales se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Estimación de cubierta forestal para 1990, 2000, 2005 y 2010. Adaptado de: Informe nacional, Colombia FRA 2010.

Categoría FRA	1990	2000	2005	2010
	área (1000) ha			
Bosque	62.519	61.509	61.004	60.499
Otras tierras boscosas	22.727	22.727	22.727	22.727
Otras tierras	25.704	26.714	27.219	27.724
con cubiertas de árboles	n.d	n.d	n.d	n.d
Total aguas continentales	3.225	3.225	3.225	3.225
Total	114.175	114.175	114.175	114.175

Este trabajo fue financiado por la Fundación Gordon y Betty Moore, proyecto “Capacidad Institucional Técnica y Científica para Apoyar Proyectos de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación –REDD– en Colombia”, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), Fundación Natura.

Tomando como punto de partida el ejercicio de planeación “Visión Colombia Segundo Centenario”, en 2019 Colombia deberá alcanzar sus metas de desarrollo económico y social con fundamento en el aprovechamiento sostenible del medio ambiente, los recursos naturales y la biodiversidad. Aunado a lo anterior, el presente plan da respuesta a la estrategia dirigida a Promover la restauración de ecosistemas degradados y de especies amenazadas” de la Política Nacional de Biodiversidad PNB, 1998 y a la de adoptar e implementar el Plan Nacional de Restauración para el desarrollo de procesos de recuperación, rehabilitación y restauración de áreas disturbadas, incluida en la propuesta actual de la Política Nacional para la Gestión integral

de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos 2010, en adelante PNGIBSE.

1.6.5 El Plan Nacional de Restauración (PNR) En Colombia: La compensación como fuente de financiación.

El Plan Nacional de Restauración propone la compensación como uno de los mecanismos de financiación de acciones, teniendo en cuenta que actualmente los proyectos, obras o actividades sujetas a licenciamiento por cambio de uso están sujetas a compensación y que el MAVDT por medio de la resolución 1503 de 2010 adoptó la metodología general para la presentación de estudios ambientales, en la cual se acoge el plan de manejo ambiental (PMA) como instrumento (MAVDT, 2010).

Se incluye para el PMA las medidas para reducir o evitar impactos mediante estrategias o alternativas de localización, cambios en el diseño o configuración del proyecto, cambios en los métodos o procesos, tratamiento de vertimientos y emisiones, cambios en los planes y prácticas de implementación, medidas para reparar o remediar impactos y medidas para compensar impactos, entre otros.

Las medidas de compensación por pérdida de biodiversidad se realizarán inicialmente de acuerdo con la metodología, criterios y procedimientos para la determinación y cálculo de medidas de compensación desarrollada por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) a través de convenio con The Nature Conservancy (TNC), World Wildlife Fund (WWF) y Conservación Internacional (CI); que establece de manera general el cálculo y la determinación de las medidas de compensación por pérdida de biodiversidad en términos de área para proyectos sometidos a licencia ambiental, en la que se tendrá en cuenta la equivalencia ecológica, entendida como el criterio que permite identificar el tipo de elementos de la biodiversidad

a compensar y el área geográfica en la cual efectuar la respectiva compensación.

Estas equivalencias ecológicas se establecerán en el ecosistema perdido y la compensación deberá realizarse o localizarse en fragmentos del mismo tipo de ecosistema que formen parte del Portafolio de Áreas Prioritarias para la Conservación establecido por la respectiva autoridad ambiental, considerando la viabilidad, la riqueza de especies y el nivel de amenaza del ecosistema perdido con su correspondencia en el área propuesta. La valoración de la significancia nacional de la biodiversidad afectada, será establecida por la respectiva autoridad ambiental.

1.6.5.1 Zonificación y ordenación para El Plan Nacional de Restauración

Teniendo en cuenta los diferentes niveles de degradación de las áreas disturbadas y la necesidad de poseer fundamentos para lograr su adecuada conservación y uso sostenible, el PNR pretende adelantar la priorización de áreas disturbadas para restauración a escala nacional, regional y local a partir de la realización de estudios, de la elaboración de propuestas de zonificación que fundamenten la toma de decisiones, generen lineamientos y directrices de manejo. La estructuración y definición de la zonificación de las áreas disturbadas del país, contribuirá a incentivar la conservación y el manejo de dichas áreas en el marco de un desarrollo sostenible que tenga en cuenta la participación activa de las comunidades locales y de las instituciones en el proceso de zonificación. Logrando orientar los planes, programas y proyectos planteados, en función de garantizar los beneficios de la ordenación y el manejo de los recursos.

Finalmente se espera lograr que desde los instrumentos de planificación del territorio se incorporen las áreas para restauración tomando como base para la

articulación los POMCA, POT, y planes de ordenación forestal, Zonificación y ordenación, Motores de pérdida y transformación, Compensación, Sistema de Gestión de Calidad MAVDT, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial República de Colombia (MAVDT, 2010).

1.6.5.2 Fundamentos del plan nacional de restauración (PNR)

- Considera los principios del enfoque ecosistémico, así como lo adoptado en relación con el tema en los tratados internacionales de carácter ambiental de los cuales Colombia sea país signatario.
- Reconoce la diversidad cultural y multiétnica de la Nación, respetando los derechos, los conocimientos y tradiciones de los pueblos y comunidades en cuanto al uso, preservación, protección y restauración de los ecosistemas y demás recursos naturales renovables.
- Se articula con los instrumentos de planificación y gestión de orden nacional, regional y local, en cuanto a sus componentes ambiental, territorial y social.
- Promueve la construcción de conocimiento e impulsa la investigación a partir de las experiencias y lecciones aprendidas en procesos de restauración.
- Considera aspectos como las dinámicas sucesionales, los ecosistemas de referencia, y el manejo adaptativo a diferentes escalas.
- Considera que la restauración incurre sobre el mantenimiento y la sostenibilidad de la oferta de bienes y servicios ambientales.
- Busca a través de acciones de restauración ecológica mejorar la calidad de vida de las comunidades.
- Considera la participación de todos los sectores de la sociedad en los procesos de restauración. El enfoque ecosistémico se define como una estrategia para la gestión integrada de tierras, extensiones de aguas y

recursos vivos por la que se promueve la conservación y el uso sostenible. A través de este enfoque se reconoce como componente integral de los ecosistemas a los seres humanos con su diversidad cultural.

- Hace parte del Sistema Nacional Ambiental, el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología y el Sistema Nacional de Educación como política para la Restauración ecológica.

1.6.5.2.1 Objetivo general

Orientar y promover la restauración ecológica, la recuperación y la rehabilitación de áreas disturbadas, que conlleven a la distribución equitativa de beneficios, a la conservación de la diversidad biológica y a la sostenibilidad y mantenimiento de bienes y servicios ambientales, en un marco de adaptación a los cambios globales.

1.6.5.2.2 Objetivos específicos

Para desarrollar el objetivo general, se deberán alcanzar los siguientes objetivos específicos:

1. Profundizar el conocimiento de las áreas disturbadas estableciendo estrategias, lineamientos y propuestas para su restauración.
2. Promover la generación de beneficios asegurando la participación de todos los sectores de la sociedad, la diversidad cultural y multiétnica a lo largo de la implementación de procesos de restauración.
3. Desarrollar estrategias de restauración en áreas disturbadas priorizadas por medio de proyectos piloto y acciones a gran escala enfocados a la conservación de la diversidad biológica y a la sostenibilidad y mantenimiento de bienes y servicios ambientales.

1.6.5.3 Estructura del plan de acción.

El desarrollo del Plan Nacional de Restauración 2010- 2030 se estructuró teniendo en cuenta las directrices establecidas en los objetivos específicos, mediante la ejecución de acciones puntuales en tiempos definidos. Por tal razón, se proponen tres fases a ejecutarse en un plazo de 20 años. Cada una de las fases propuestas tendrá un sistema de seguimiento y evaluación que garantice la adaptabilidad del proceso.

1.6.5.4. Impulsores de transformación.

Se identifican en Colombia una serie de impulsores o motores de transformación y pérdida, considerado a escala global, estos son:

Cambio de uso de la tierra, ocupación del territorio y fragmentación de los ecosistemas que producen transformación o pérdida de biodiversidad, transformación y pérdida de ecosistemas y hábitats naturales, estos a su vez se diferencian en: Transformación directa y pérdida de ecosistemas naturales o seminaturales. Transformación de sistemas productivos que mantienen elementos y procesos de la biodiversidad. Desarrollo de infraestructura lineal. Represamientos. Disminución, pérdida o degradación de elementos de los ecosistemas nativos y agroecosistemas. Por sobre utilización de poblaciones de especies. Pastoreo, fuego o erosión. Pérdida de diversidad genética y variedades por sobre-explotación. Invasiones biológicas. Contaminación y toxificación. Contaminación orgánica de aguas y eutrofización (Nitrógeno y Fósforo). Contaminación química y otra Contaminación. Cambio climático.

Teniendo en cuenta los cinco impulsores o motores de pérdida y transformación en Colombia, una buena proporción de la superficie se encuentra actualmente en áreas de paisajes rurales dominadas por agroecosistemas (Arango *et al.*, 2003). A partir de los análisis espaciales y la reconstrucción de la historia ambiental (procesos de colonización, tenencia de

la tierra, expansión de la frontera agropecuaria, etc.) se ha conocido el impacto que sobre la transformación de hábitats y ecosistemas naturales ha tenido las actividades antrópicas (MAVDT, 2010). Se ha determinado que los ecosistemas transformados ocupan un 34.1% (localizados en la región Andina y Caribe) y un 65.9% ubicados en la región Pacífica, Amazónica y Orinoquense del territorio nacional. Según Etter and van Wyngaarden (2000) el área en pastos para el país es superior a 40 millones de hectáreas (Santamaría *et al.*, 2006). Sin embargo, el grado de transformación de regiones como el Caribe (82,3%), Andes (61,8%) y Orinoquia (59,9%) revelan cifras dramáticas según las cuales los procesos antrópicos han convertido extensas zonas en paisajes rurales (Lozano-Zambrano, 2009). El sector agropecuario aporta el 55.2% en producción agrícola y 44.8% en producción pecuaria (IGAC, 2002b).

Según el DANE (2007) la ocupación de tierras a nivel nacional involucra tres problemas: La ocupación agropecuaria de laderas empinadas y ríos; los conflictos por la ocupación del suelo de actividades agrícolas y pecuarias y la ocupación por parte de las comunidades pobres de tierras de productividad agropecuaria marginal expuestas a la violencia. Además, se estima que el 73.3% de la deforestación en Colombia es causada por la expansión de la frontera agrícola y la colonización; siendo la conversión para uso ganadero la principal causa (Guevara, 2002).

1.6.5.4.1 Áreas disturbadas por pérdida de coberturas vegetales

El PNR aborda las causas relacionadas con cultivos ilícitos, aprovechamiento forestal insostenible, tala ilegal, procesos agroindustriales y fragmentación.

Las áreas degradadas por este disturbio se ven afectadas parcialmente en los compartimentos de la vegetación, la fauna y el suelo, así como las condiciones microclimáticas (Barrera y Valdés, 2007). En Colombia la deforestación es el principal disturbio antrópico que afecta a todos los ecosistemas terrestres y algunos costeros; la destrucción y los cambios en la cobertura vegetal son

causa directa de la pérdida de biodiversidad. Las actividades que mayor deforestación generan en los bosques tropicales son la extracción selectiva de maderas de gran valor económico, el establecimiento de sistemas de producción agrícolas y ganaderos y cultivos ilícitos, la explotación de minerales a cielo abierto, la expansión urbana, la construcción de obras de infraestructura, entre ellas carreteras y embalses, así como la extracción de leña para combustible y cercas vivas, cuyo impacto es a menor escala que todas las anteriores (Etter 1998, Guariguata y Kattan, 2002, Rodríguez y Van Hoof, 2004).

En los últimos años, bajo diferentes enfoques, se ha intentado determinar la transformación en las coberturas vegetales causadas por deforestación, algunos documentos de referencia varían desde 600.000 ha. Al año reportadas por IGAC e ICA en 1987, a 221.000 ha reportadas por IGAC en 2002 y 91.932 ha por año reportadas por IDEAM en 2002. Estas divergencias pueden obedecer a factores de orden técnico o metodológico que dificultan contar con cifras concretas y comparables. La proyección de la superficie de bosques transformada a otros usos del suelo entre los años 1986 y 2001, utilizando los mapas de Coberturas Vegetales, Uso y Ocupación del Territorio, ascendía a 118.000 hectáreas anuales de bosque. El registro más reciente fue desarrollado por el proyecto REDD20 en Colombia, obteniendo un cambio de cobertura para el 2000 de 60.818.739 hectáreas, y de 58.853.397 hectáreas para 2007; reflejando una pérdida de la cobertura boscosa de 2.356.445 hectáreas en el periodo analizado, es decir, aplicando una relación lineal de pérdida se obtiene una tasa promedio anual de 336.581 hectáreas por año.

Por otra parte, el establecimiento de cultivos de coca (*Erythroxylon coca*) y marihuana (*Cannabis indica*) da lugar a la deforestación de grandes áreas, perdiendo enormes cantidades de biomasa, al ser en su mayoría suelos que no tienen aptitud agrícola y que son de mayor valor si están cubiertos por

vegetación natural y aumentando el riesgo de extinción de numerosas especies de fauna y flora (Díaz-Piedrahíta, 1998).

El aporte de los cultivos ilícitos en la deforestación se estimó para el 2006 en 77.870 hectáreas, los cuales se establecieron en 23 de los 32 departamentos del país. De éstas, 9.451 ha. Corresponden al 12,1% del total del área cultivada y se encuentran en la región de los Andes colombianos.

El Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos, SIMCI, en el periodo 2007-2008, los departamentos de Amazonas, Antioquia, Arauca, Caquetá, Cundinamarca, Guainía, Guaviare, Meta, Putumayo y Vichada, presentaron una disminución considerable en el área sembrada por coca. El aumento se presentó en los departamentos de Cauca, Córdoba, Norte de Santander, Santander, Boyacá, Caldas, Chocó, La Guajira, Magdalena, Valle del Cauca y Vaupés y se mantuvo estable con 2789 hectáreas respecto al periodo 2006-2007. Se evidenció un aumento de 75% de nuevos cultivos en relación con el 2007. Con respecto a la afectación de la vegetación, el SIMCI, registra para este periodo un cambio de cobertura del 15% para el bosque primario, del 10% para el bosque secundario y de un 3 % para rastrojo.

Otra causa de deforestación es el aprovechamiento forestal, que está sustentado en la extracción selectiva de especies nativas, que suplen la demanda de madera aserrada y rolliza, pulpa para papel, chapas para tríplex, tableros aglomerados, taninos, leña y carbón.

En la década del noventa, de una demanda anual de 4 millones de m³, sólo 1,5 millones de m³ se extrajeron de plantaciones, quedando un remanente de por lo menos 2,5 millones de m³ que provienen de bosques naturales. Se estima que cerca del 60% de la madera aprovechada a comienzos de los años noventa provino de los bosques del Pacífico y aunque el aprovechamiento de las áreas naturales ha disminuido, aún se extraen volúmenes (Guevara, 2002). La eliminación total o parcial del bosque compromete la subsistencia de otros

subsistemas, afectando a los habitantes que han hecho el tránsito de la extracción de maderas hacia el desarrollo incipiente de prácticas agropecuarias.

Los ecosistemas marino costeros también se ven afectados por este disturbio, su efecto es la invasión gradual del mar y la ruptura de las barras de suelo, que traen como consecuencia el transporte de materiales, el aumento de salinidad y la pérdida de sustentación de los materiales en proceso de consolidación, que finalmente, aumenta los procesos de erosión. Otro ejemplo, es la ampliación gradual de dunas y playones desérticos, como se observa en la isla de Providencia donde se talaron completamente algunos bosques y la mayor parte ha sido transformada en playones (Márquez, 1987). En el ecosistema de manglar del Pacífico y el Atlántico la tala se ha realizado no sólo para el aprovechamiento directo de la madera sino también para cambios en el uso del suelo, convirtiéndose áreas de manglar en grandes cultivos de palma, cultivos tradicionales, pastizales, estanques para producción de sal y camaroneras (Zambrano y Rubiano, 1996). El helecho *Acrostichum* sp, puede formar parches que generan condiciones limitantes para el desarrollo de las plántulas de mangle.

Otro ejemplo se observa en los cuangariales adyacentes a manglares que están siendo seriamente amenazados por la extracción de madera; con la apertura de canales de transporte drenan los pantanos, los cuales son colonizados posteriormente por otra cobertura, en especial por palmas como *Mauritiella* y *Manicaria* (Prah *et al.*, 1990)

1.6.5.4.2 Áreas disturbadas por minería a cielo abierto.

Esta actividad afecta drásticamente todos los compartimientos del ecosistema (suelo, vegetación y fauna y recurso hídrico) las geoformas del terreno y las condiciones microclimáticas. Los ecosistemas cambian su condición primaria, muchas veces de manera irreversible, cambiando su topografía e hidrología.

La minería trae consigo cambios drásticos en la estructura del suelo, por cuanto la maquinaria pesada empleada ejerce grandes presiones sobre este y es inevitable la compactación. Adicionalmente, factores climáticos como el viento y la precipitación contribuyen aceleradamente al proceso de erosión. Los efectos producidos por la minería en los ecosistemas incluyen destrucción del paisaje, degradación del entorno visual, disturbios en cursos de agua, destrucción de tierras destinadas a la agricultura y la cobertura en áreas de reserva forestal, daño de tierras con propósitos de recreación, ruido, polvo, tráfico de camiones y maquinaria pesada, sedimentación y erosión, hundimientos de tierra y vibración por explosiones. En general, las áreas de extracción de materiales denominadas comúnmente canteras se encuentran localizadas en los límites de las ciudades.

Cuando finaliza la extracción, la mayoría de las veces los taludes quedan inestables y se producen volcamientos, hundimiento del terreno y movimiento del macizo rocoso que a su vez pueden generar pérdidas humanas (Barrera y Valdés, 2007).

Cuando se analiza el componente hídrico, la minería afecta la dinámica de las aguas superficiales y subterráneas, la interrupción, redireccionamiento de flujos, extracción y desecación de acuíferos y la capacidad de almacenamiento y regulación del agua. Adicionalmente, el incremento en la sedimentación y la contaminación por mezclas con aguas industriales de mala calidad. Otras afectaciones asociadas están relacionadas con la remoción del suelo y la vegetación; la compactación y el desecamiento; la modificación del relieve, la inestabilidad de laderas, el aumento de erosión de suelos, la emisión de gases y material particulado; la generación de estériles y escombros; la desertificación y la contaminación del suelo. Específicamente, en la actividad aurífera, los procesos de cloruración, lixiviación por cianuro y amalgamación con mercurio, los procesos pirometalúrgicos y la disposición de colas, generan residuos tóxicos que repercuten en el incremento de la morbilidad y mortalidad

de la población presente en la zona de esta actividad minera. También han producido problemas relacionados con la erosión hídrica superficial, cárcavamiento, derrumbes y deslizamientos, contaminación por polvo y deterioro del paisaje. Esta situación está acompañada por la microsismicidad ocasionada por el uso de la dinamita, lo que genera remoción en masa pendiente abajo.

Sin embargo, la problemática se extiende a las ciudades, por ejemplo, en los cerros de Bogotá el 60% de las canteras se han desarrollado en antiguas zonas de bosques y rastrojos nativos, el 14% en bosques artificiales y el 26% en áreas de uso agropecuario.

Otro ejemplo del impacto de la minería se observa en el páramo, afectado en su cobertura y función, esta actividad representa el 9,5% del área total de éste ecosistema. A finales del 2008 se encontraban en trámite de solicitud minera el 46,8%, es decir 667.932 ha. del total de los páramos (1.187.343 ha). Las áreas disponibles para adjudicación de contratos mineros en 2005 alcanzaban las 30.895 ha.

Se afectan todos los compartimentos del sistema, principalmente el suelo y agua en los sistemas acuáticos. El desarrollo de infraestructura ha degradado muchos de los ecosistemas del país, un ejemplo es el manglar en la Ciénaga Grande de Santa Marta, que fue alterado en su régimen hídrico por la construcción de la carretera Barranquilla-Santa Marta en 1956, que pasó por extensas formaciones de manglar en el delta exterior del río Magdalena, interrumpiendo severamente el balance hídrico del sistema, aunado con el cierre y desvío de canales del río Magdalena, generando la hipersalinización de los suelos y una consecuente mortandad masiva de manglares. La cobertura de manglar ascendía a 51.150 ha. En 1956 y en 1993 se registraron tan solo 23.500 ha., reduciéndose en un 54 %, con una tasa de mortalidad de 1.531 ha/año (Botero y Mancera-Pineda 1996; MAVDT, 2010). Ésta trajo como

consecuencia colateral la pérdida de biodiversidad reflejada en la destrucción de hábitats y una reducción notable de la fauna terrestre y acuática asociada a los manglares, además de la formación de playones salinos de muy baja productividad y disminución de la pesca (Botero y Marshall 1994).

Una situación similar se presentó con la construcción de la carretera Tolú-Coveñas y la apertura del anillo vial Cartagena Barranquilla (IGAC, NDERENA and CONIF, 1984). Así mismo, la adecuación de áreas para la construcción de hoteles y condominios ha destruido áreas de manglar, como es el caso de la Isla de San Andrés, Tolú, Bocacanoa (Cartagena), Isla Barú, entre otros. La construcción de hidroeléctricas ha ocasionado la pérdida de la biodiversidad íctica, la fragmentación de su hábitat, modificando su dinámica poblacional.

En relación con los grandes centros urbanos, la expansión de la frontera urbana tiene graves repercusiones sobre los sistemas naturales, debido a que la mayoría de las necesidades son extraídas de recursos que se encuentran en las inmediaciones de los centros urbanos, sumado a la demanda de servicios de agua, luz, alcantarillado, etc. Otro factor importante es que la expansión ocurre en la mayoría de las veces sobre reservas forestales y áreas de manejo especial del suelo rural o suelos con inestabilidad geotécnica, lo que pone en riesgo la calidad de vida de los habitantes y la sobreexplotación de recursos.

1.6.5.4.3 Áreas disturbadas por incendios forestales y quemadas.

Las áreas disturbadas por incendios forestales, afectan el compartimiento de la vegetación y de la fauna silvestre principalmente. Dentro de las causas que los originan se encuentran las naturales y las antrópicas que en un alto porcentaje son producidos por descuidos, por la intención de ampliar la frontera agrícola, por negligencia, por accidente y sobre todo en las quemadas agrícolas con lo cual su magnitud y escala suelen ser más intensas (Zuluaga, 2001).

Las quemadas como práctica agropecuaria están arraigadas culturalmente en algunas zonas del país; en el páramo y en las sabanas del Vichada y Casanare por ejemplo, se usa para la renovación de rebrotes con fines de pastoreo de ganado vacuno, afectando grandes extensiones e impactando todos los componentes de los ecosistemas allí presentes. En zonas cañeras de Cundinamarca se realizan como parte de la preparación de sus tierras. En la Costa Atlántica, el Chocó y los Llanos orientales se utiliza para la caza. Los incendios aumentan su frecuencia e intensidad por altas temperaturas en épocas de verano y con mayor intensidad cuando hay presencia del fenómeno de El Niño.

En el informe de la implementación del sistema de información estadística forestal para Colombia, Anzola y González (2003), muestran que entre 1986 y 2002, el departamento más afectado por incendios en ecosistemas naturales fue el Cesar, seguido por Meta y Cundinamarca. A su vez, en el informe anual sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables en Colombia, se reporta que los ecosistemas más afectados por incendios entre los años 2000 a 2003 fueron sabanas y pastizales, en especial en 2002 con 56.946 ha., seguidos por bosques y páramos. Se tienen cifras reportadas de los incendios ocurridos en el país divulgadas en el Plan Nacional de Prevención, Control de Incendios forestales y Restauración de áreas afectadas –PNPCIFRA, entre 1986 y 2002, en el cual se reportaron 14.492 eventos de incendios con afectación de cerca de 400.788 hectáreas. Durante el periodo comprendido entre 2001 y 2005 la presencia de eventos es de 250 incendios, con una afectación a nivel nacional de 1200 ha al año en promedio.

En este mismo periodo se incluyen la afectación sobre el sistema de áreas protegidas, en los Parques Naturales Nacionales de la Macarena, Nevados, Sumapáz, Galeras, Chingaza, Pisba y en el Santuario de Fauna y Flora Iguaque. La Dirección de Gestión del Riesgo y el IDEAM reportaron que de 2002 a 2007, se presentaron 6.193 eventos, que afectaron un total de

273.437,5 ha, entre diferentes tipos de coberturas y para el primer semestre de 2010 se han afectado 65.744 ha., principalmente en los departamentos de Arauca (22.056 ha.), Casanare (12.278 ha) y Cundinamarca (6.927 ha.). Lo anterior evidencia que la información existente en el país sobre incendios muestra cómo sus efectos son estudiados solamente en términos de número de hectáreas afectadas en general o por ecosistema. No obstante, los efectos directos sobre los ecosistemas y su funcionamiento han sido poco evaluados, al igual que sus efectos sobre la biodiversidad (Santamaría *et al.*, 2005).

1.6.5.4.4 Áreas disturbadas por degradación y cambio en los regímenes hídricos.

Las áreas disturbadas en sus regímenes hídricos, se ven afectadas en el compartimiento del agua, suelo y vegetación, así como a la fauna acuática. La actividad agropecuaria, el abastecimiento de agua potable para la población, los procesos industriales y la generación de energía eléctrica hacen parte de la problemática general.

Los humedales son ejemplo claro de la actividades mencionadas anteriormente, en primer lugar la actividad agropecuaria específicamente, la ganadería extensiva de bovinos irrumpe en las zonas inundables bien sea para usarlas como pastos de verano y luego, mediante la desecación sistemática y la introducción de pastos resistentes a la humedad afecta toda su dinámica.

El abastecimiento de agua potable para la población y los procesos industriales afectan a los humedales cuando éstos son desecados y rellenados, fragmentados o reemplazados, alterando la dinámica hidráulica y modificando la geomorfología que a su vez transforma drásticamente el entorno y propicia la extinción de hábitat y especies, causando alteración de los regímenes hidrológicos y aumentando la potencialidad de riesgos como las inundaciones.

Asimismo, la alteración física de los cauces afecta la morfodinámica, por distorsión de los regímenes hidráulicos y/o por acciones que modifiquen el hidroperiodo o el recambio hídrico, que ponen en riesgo los ciclos ecológicos de las especies adaptadas a la sincronía de las fluctuaciones de épocas lluviosa y Sistema de Gestión de Calidad MAVDT épocas secas. El desarrollo de actividades económicas de aprovechamiento desmesurado y no planificada de volúmenes de agua altera el régimen de caudales y pone en riesgo la capacidad de resiliencia del ecosistema y con ello amenazan su estructura ecológica.

La construcción de represas de abastecimiento de agua y embalses para producción de hidroeléctricas, los distritos de riego con inadecuado manejo hidráulico, constituye uno de los principales factores de afectación a gran escala de complejos hidrológicos, pues además de modificar el hidroperiodo, también afecta los caudales ambientales, poniendo en riesgo conjuntos ecológicos completos de hábitat y especies que pueden ser muy representativas a escala nacional e incluso global, en el caso en que contengan especies endémicas con rangos geográficos limitados, llegando a alterar de manera general toda una cuenca y en gran parte su funcionalidad ecohidrológica y por ende sociocultural de una región.

Además de estas actividades, los humedales se ven afectados por los vertidos ocasionales de basuras y otros residuos (no peligrosos); el aumento de las tasas de sedimentación por incremento de la erosión en la cuenca (ej: minería); la destrucción de la vegetación nativa de la ronda (tala, roza, quemadas, etc.); el pastoreo en la ronda (destruye vegetación, compacta suelo y deposita estiércol en el agua); la introducción intencional o accidental de flora exótica; la destrucción de hábitats de fauna; la depredación de fauna nativa por animales domésticos u otros asociados al hombre (cerdos, gatos, perros, ratas); la fragmentación y desaparición de los corredores boscosos de conexión entre las tierras altas y los humedales; la alteración hidráulica de las entradas al

humedal por obras viales, por canalización o por obstrucción con intención de desecar; la alteración hidráulica del régimen de inundaciones en proyectos de ampliación de superficies cultivables o de prevención de desastres o por construcción de embalses aguas arriba; la contaminación con derrames de hidrocarburos (errores de operación, robo de combustible y atentados en oleoductos y poliductos); entre otros (Van Der Hammen *et al.*, 2008).

La degradación de los humedales presenta dos tendencias generales en Colombia: La formación de focos de contaminación hídrica y la terrificación. Ambas comprometen la seguridad hídrica a mediano y largo plazo, en especial en las regiones más pobladas, así como la salud pública, el empleo y el desarrollo económico de las regiones afectadas. Debido a los patrones de ocupación y alteración anteriormente expuestos, muchos humedales se convierten en focos de ocupación o vecindario de los mismos, presentando tensionantes más severos como los rellenos sistemáticos con basuras, tierras y escombros; la desestabilización hidrológica por minería y urbanización en las cuencas tributarias; la alteración hidráulica (pérdida del ritmo de inundaciones por obras de regulación); el avenamiento o drenaje artificial (ej: construcción de canales vecinos por debajo del nivel de aguas del humedal); los vertimientos de aguas servidas domésticas e industriales y la contaminación.

Otro desbalance en los regímenes hídricos se observa con las inundaciones y deslizamientos que afectan la oferta hídrica al contaminar con sedimentos las fuentes de agua. De acuerdo con el Sistema de Inventario de Desastres - DESINVENTAR, los principales eventos registrados en el periodo de 1987 al 2007 asociados al recurso hídrico corresponden a inundaciones con el 59%, deslizamientos el 27%, incendios forestales 7% y avenidas torrenciales 4%, mientras que eventos de sequía solo alcanza el 2% y la contaminación el 1%. De acuerdo con el IDEAM (2007) y el mapa de zonas morfogénicas en Colombia se presentan extensas áreas susceptibles de inundación asociadas a las planicies aluviales y los valles interandinos. El fenómeno del Niño y La

Niña, son los fenómenos de la mayor variabilidad climática interanual, en la zona tropical y tiene influencia directa en el país en la generación de eventos extremos de temperatura y precipitación y a los cuales están asociados los episodios más conocidos de desabastecimiento de agua para el sector energético del país y las frecuentes inundaciones del Magdalena. De otro lado, en el país se ha avanzado en la elaboración de estudios de susceptibilidad y amenaza por remoción en masa (deslizamientos), incendios forestales y avalanchas en áreas específicas.

1.6.5.4.5 Áreas disturbadas por eventos naturales.

Entre los principales disturbios naturales se encuentran las inundaciones, deslizamientos, vulcanismos, incendios, huracanes, tormentas, lluvias y vientos fuertes, heladas, sequía y procesos erosivos; disturbios producidos por animales y fuegos naturales. Aunque algunos de estos disturbios fueron tratados anteriormente, son nombrados al presentarse también sin intervención antrópica. Sin embargo en el PNR debido a su relevancia y cobertura se consideró necesario abordar los huracanes y la sequía.

Los huracanes y las tormentas tropicales están considerados entre los agentes naturales de perturbación más frecuentes y de mayor impacto en los ecosistemas marinos y costeros (Blasco, 1984; Rogers *et al.*, 1991; van Tussenbroek, 1994; Scheffer *et al.*, 2001).

En particular en la región Caribe, los huracanes han afectado notablemente ecosistemas claves como los arrecifes coralinos (Brown, 1997; Buddemeier *et al.*, 2004; Gardner *et al.*, 2005), provocando pérdidas de cobertura coralina viva (hasta del 50%) y alteraciones en el crecimiento, zonación y estructura (Woodley *et al.*, 1981; Hughes, 1994; Rogers 1997; Treml *et al.*, 1997). También se han registrado daños sobre los manglares y las praderas de pastos marinos (van Tussenbroek y Rogers 1993, 1994; Roth, 1997; Ross *et al.*, 2001; Salazar-Vallejo, 2002), mientras que las playas han sido fuertemente

erosionadas (Cambers, 1997). Según el informe del Estado de los Ambientes y Recursos Marinos y Costeros (2008), es una problemática que se ha incrementado en los últimos años y ha puesto en riesgo la calidad de vida de las poblaciones costeras por la afectación de la infraestructura física y actividades productivas. Esto ha contribuido al aumento de la erosión costera (Posada y Henao, 2008) como es el caso del Pacífico donde aproximadamente 1.600km. de línea de costa, el 22% presenta procesos de erosión asociados al litoral.

Los impactos ocasionados por los huracanes en los ecosistemas marinos están asociados a los fuertes vientos, ya que éstos modifican la dinámica del agua y generan un incremento significativo en la intensidad y frecuencia del oleaje (Stoddart, 1985; Brown, 1997; Salazar-Vallejo, 2002). Los impactos del coletazo del huracán Lenny en 1999 en las estaciones de monitoreo de arrecifes coralinos y manglares de la bahía de Chengue (Parque Nacional Natural Tayrona), incluyeron una pérdida de la cobertura coralina viva cercana al 4%, un aumento significativo en las tasas de sedimentación en los arrecifes (20 veces mayor) y un incremento en la producción de hojarasca del manglar superior al doble del promedio (Rodríguez-Ramírez y Garzón-Ferreira, 2003). Parte del deterioro del complejo arrecifal de la Isla de San Andrés ha sido atribuido a la acción de tormentas y huracanes (Bernal *et al.*, 1994), mientras que la notable y reciente colonización de sustratos arrecifales (e.g. de fragmentos muertos de *Acropora palmata* por la esponja *Cliona tenuis* ha sido mediada por eventos como tormentas o huracanes en las Islas del Rosario y San Andrés (López-Victoria y Zea, 2004, 2005). Según los registros históricos de huracanes para el área de San Andrés y Providencia, entre 1918 y 1988 se presentaron siete huracanes, siendo “Hattie” (1961) y “Joan” (1988) los de mayor impacto (Geister, 1992).

Finalmente, dentro de los eventos naturales se registra la sequía, definida como el fenómeno que se produce naturalmente cuando las lluvias han sido

considerablemente inferiores a los niveles normales registrados, causando un agudo desequilibrio hídrico que perjudica los sistemas de producción de recursos de tierras. La desertificación se refiere a la disminución o destrucción del potencial biológico de la Tierra, que puede desembocar definitivamente en condiciones de tipo desértico y constituye un aspecto del deterioro generalizado de los ecosistemas. Sus causas son variadas y con frecuencia están interconectadas, entre ellas el sobrepastoreo, la tala para uso de leña como combustible o para construcción, el uso de técnicas inadecuadas de cultivo, el manejo deficiente de irrigación, actividades de urbanización, la construcción de vías y el cambio climático (Bainbridge, 2007).

La desertificación puede presentar varios efectos: reducción y degradación de hábitats de peces y fauna silvestre; déficit de alimentos y agua potable; aumento de la mortalidad debido a un mayor contacto con productores agrícolas; aumento de la exposición a enfermedades; aumento de la vulnerabilidad a la depredación (de especies concentradas cerca de cuerpos de agua); migración y concentración (pérdida de fauna silvestre en algunas zonas y sobrepoblación en otras); mayor presión sobre las especies en peligro de extinción y pérdida de biodiversidad. Teniendo en cuenta la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y la Sequía (UNCCD), Colombia catalogó al bosque seco tropical y al bosque muy seco tropical como ecosistemas prioritarios para la conservación, debido a su alto grado de fragmentación, degradación y desconocimiento.

Es este, en definitiva, el escenario en el cual se debe actuar de manera muy efectiva en el Plan nacional de Restauración en Colombia, para lograr mantener la condición de país mega-diverso y además poder tener ecosistemas no solamente saludables sino también que los servicios y funciones derivados de ellos tengan una plena función social, objetivo final de la sostenibilidad ambiental.

ESTUDIO UNO

2. ESTUDIO UNO: DIVERSIDAD Y DINÁMICA DE UN BOSQUE SUBANDINO DE ALTITUD EN LA REGIÓN NORTE DE LOS ANDES COLOMBIANOS.

2.1. ABSTRACT

Diversity and dynamics of a high sub-Andean forest from Northern Andes, Colombia. The sub-Andean forests are characterized by a high biodiversity, but little is known about their natural dynamics. In order to generate new information, this study assessed two permanent plots of one hectare each, in the Northern Andean area of the Western Cordillera, Colombia. Methodology included the evaluation of diversity patterns, above ground biomass (AGB) dynamics, and mortality and recruitment rates. Forest dynamics and AGB were evaluated in both plots by means of three censuses carried out within a nine years period. In total, we found 1.664 individuals with diameter at breast height (DBH) ≥ 10 cm belonging to 222 species, 113 genera and 60 families. Mean species richness was of 156 species/ha and a mean Fisher's Alpha index of 56.2/ha. The mortality rate was 0.88% and recruitment was 1.16%, which did not allow to lay any external effect of global warming or climate change on individual forest dynamics. However, the mean AGB was 243.44 ± 9.82 t/ha; with an annual average increase of 2.9 t/ha, a higher value than the one reported in other studies of high sub-Andean forests, which suggests that equilibrium in terms of the AGB have not yet been reached. Besides, according to field observations, a recovery process, from a disturbance that occurred in the past, might be on his way.

Key words: above ground biomass, mortality, recruitment, climate change, lower montane forests.

2.2. RESUMEN

Los bosques sub-Andinos poseen alta diversidad biológica, de los cuales poco se conoce sobre su dinámica natural. Se evaluaron patrones de diversidad y biomasa, tasas de mortalidad y reclutamiento en dos parcelas permanentes de una hectárea cada una, establecidas en bosques en altitudes entre los 2 000-2 200msnm, en la vertiente Oriental de la cordillera Occidental del norte de los Andes en Colombia. Se determinó diversidad de especies mediante el índice alpha de Fisher, la dinámica del bosque se evaluó mediante tres censos durante nueve años. En total, se hallaron 1 964 individuos con un diámetro a la altura del pecho $DAP \geq 10$ cm. pertenecientes a 222 especies, 113 géneros y 60 familias. Las tasas de mortalidad y reclutamiento fueron de 0,88% y 1,16% respectivamente, lo cual no indica que se presente un efecto externo proveniente del calentamiento global sobre la dinámica del bosque. La biomasa aérea promedio fue de $243,44 \pm 9,82$ t/ha con un incremento anual promedio de 2,9 t/ha, valor superior a los reportados, lo cual sugiere que el equilibrio para este bosque no se ha alcanzado. De acuerdo con las observaciones de campo, este bosque parece estar recuperándose de una alteración pasada.

Palabras clave: biomasa aérea, mortalidad, reclutamiento, cambio climático, bosques Andinos.

2.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES Y OBJETIVOS.

Los bosques Andinos han sido reconocidos como uno de los principales centros de diversidad del mundo (Myers *et al.*, 2000, Brown y Kappelle, 2001). De acuerdo con Birdlife International, Boyla y Estrada (2005), la región de los andes tropicales es la más rica y diversa del mundo desde un punto de vista biológico. En esta región, Perú, Colombia, Ecuador, Venezuela y Bolivia, han

sido incluidos en la lista de los 17 países megadiversos, los cuales mantienen dentro de sus fronteras más de dos terceras partes de la riqueza biológica del planeta (Myers *et al.*, 2000).

Según la mayoría de estudios, la riqueza y diversidad de especies decrece sistemáticamente a medida que se incrementa la altitud (Gentry, 1995, Rosenzweig, 1995); no obstante, algunos sugieren en cambio que la riqueza y diversidad de especies se magnifica en alturas intermedias como producto de la respuesta a restricciones fisiográficas asociadas con la topografía de las montañas (McCain, 2004). En los bosques de montaña de los Andes (por encima de los 1 800msnm), la alta variación ambiental parece promover cambios abruptos en la estructura, composición y dinámica de la vegetación, incluso a escalas espaciales relativamente pequeñas (Homeier *et al.*, 2010, López y Duque, 2010, Rangel-Ch *et al.*, 2005).

A diferencia de lo que ocurre con la diversidad, los estudios de la dinámica natural de los bosques de montaña han recibido muy poca atención a pesar de la importancia que tienen para la conservación. Aspectos concretos como conocer las tasas de mortalidad y reclutamiento de especies y la biomasa de estos ecosistemas han sido muy poco estudiados (Sierra *et al.*, 2007). Lo anterior, resulta especialmente cierto en Colombia, donde los bosques Andinos han perdido aproximadamente un 70% de la cobertura original (Rodríguez *et al.*, 2004, Chaves y Santamaría, 2006). Una de las zonas mejor estudiadas en cuanto a la dinámica de los bosques subAndinos proviene del bosque de La Planada, en Colombia, donde se ha estimado una tasa de mortalidad anual de 3,22% (± 0.47) (Condit *et al.*, 2006). A pesar de que se esperaría que las condiciones topográficas con altas pendientes promuevan el incremento de la mortalidad, las tasas arriba reportadas no difieren sustancialmente de las de otros bosques tropicales, como por ejemplo, los bosques secos de tierras bajas de la Isla de Barro Colorado (Condit *et al.*, 2006, Cantillo y Rangel-Ch 2008).

El cambio climático, además de las altas tasas de deforestación y cambio de uso del suelo, aparecen como amenazas para la sostenibilidad de los bosques tropicales de montaña (Colwell *et al.*, 2008), a estos factores se suman la cacería, el comercio de especies silvestres y sus productos derivados. Los modelos actuales, sugieren que los bosques tropicales están experimentando cambios en su capacidad de almacenar y fijar carbono (Phillips *et al.*, 1998), como producto del incremento en CO₂ en la atmósfera (Eggleston *et al.*, 2006).

Sin embargo, la mayor parte de la discusión se ha enfocado en los ecosistemas de tierras bajas (Condit *et al.*, 2004a, Phillips *et al.*, 2004). En los bosques subAndinos de La Planada en Colombia, por ejemplo, se ha reportado una tendencia al incremento en biomasa aérea de un 0,72% año, que equivale a 1,27 t/ha/año (Chave *et al.*, 2008), lo cual está dentro de los rangos reportados para tierras bajas (Phillips *et al.*, 2009). Aunque el aumento de la temperatura y concentración de CO₂ favorecería teóricamente el crecimiento de los bosques montanos, la evidencia global (Chave *et al.*, 2008), y la escasez de estudios de monitoreo en este tipo de bosque tropical, no es aún suficiente para validar esta tendencia.

El presente estudio, fue llevado a cabo en bosques de montaña localizados en la Reserva Natural Farallones del Citará, en el municipio de Betania (Antioquia-Colombia), en dos parcelas permanentes de una hectárea, ubicadas en alturas entre los 2.000 y 2.200 msnm, y que fueron analizadas por un período de nueve años. El objetivo fue responder a las siguientes preguntas:

- 1) ¿Sigue el patrón de diversidad la tendencia encontrada para otros bosques subandinos de altitud?,
- 2) ¿La dinámica observada de individuos y biomasa indica alguna señal de respuesta al cambio climático? Este estudio espera contribuir con el conocimiento de la estructura y funcionamiento de los bosques de alta

montaña de la región neotropical con el fin de promover acciones para su conservación y restauración.

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1. Área de estudio

La zona de estudio está ubicada en la vertiente oriental de la cordillera Occidental, dentro la región de los Farallones del Citará, en el municipio de Betania (Antioquia), en la vereda Pedral Arriba, predio Agualinda (Sánchez y Velásquez, 1997). La zona de vida se clasifica como Bosque muy Húmedo Montano Bajo (bmh-MB), denominada comúnmente como Bosque de Niebla (Espinal *et al.*, 1977); las parcelas parecen pertenecer a una zona de transición entre el bosque muy húmedo y húmedo (Sánchez y Velásquez, 1997a).

La región de los Farallones del Citará se caracteriza por tener una topografía abrupta donde predominan relieves con fuertes pendientes y escarpados cerros con alturas hasta los 4.000 msnm en el Cerro de San Nicolás. La precipitación media anual en la región es de 2.800 mm, según datos tomados en la estación pluviográfica Ventanas ubicada a una altitud de 2.850 msnm en la misma cuenca hidrográfica del área de estudio, y se distribuye de forma bimodal con dos períodos extremadamente lluviosos intercalados con dos períodos con menor cantidad de precipitación. De esta manera, la zona posee un clima no estacional con ausencia de meses secos y sin presentarse déficit hídrico para las plantas (Sánchez y Velásquez, 1997). Desde el punto de vista geológico, en estas zonas se presentan rocas sedimentarias datadas como del período Juratriásico, compuestas por arcillositas pizarrosas, capas de areniscas y algunos conglomerados. Se han determinado algunos sedimentos tales como la formación Penderisco del Grupo Cañasgordas y de origen cretácico, y las graníticas, que fueron asociadas al batolito de farallones del

Mioceno superior, se ha señalado también la presencia de un pequeño sector de rocas volcánicas jóvenes, posiblemente del Plioceno (Parra, 1997).

En lo que se refiere a los suelos, para la zona de los Farallones del Citará se reconocen como superficiales a moderadamente profundos, ácidos y de fertilidad baja a moderada y pendientes por encima del 75% que a veces se entremezclan con afloramientos rocosos (Vanegas, 1997). Las principales clases son: Udorthents, Dystrudepts y Hapludands.

2.4.2. Descripción general de la vegetación

Los ecosistemas boscosos de la Región de los Farallones del Citará corresponden a los denominados bosques montanos, los cuales no contienen un tipo específico de vegetación sino que se encuentran grandes mezclas de especies conformando ecosistemas de los cuales muy poco queda de ellos en Colombia y los que quedan están seriamente amenazados (Sánchez y Velásquez, 1997b).

2.4.3. Censos de vegetación

Los datos sobre composición florística y de la vegetación se tomaron en dos parcelas ubicadas a una altura de 2030msnm (altura de la línea base) ($5^{\circ}44'545''$ N - $76^{\circ}01'100''$ W) (Sánchez y Velásquez, 1997). En la zona de estudio se demarcó una parcela de 500x500m (25 ha). La línea base se dividió en 25 transectos de 20m cada uno, los cuales se identificaron con letras (desde la A hasta la Y). Las parcelas en estudio fueron de 20x500 m (una ha), en disposición perpendicular a la línea base, la primera se ubicó entre los 80 y 100 m (llamada parcela E, en adelante) y la segunda entre los 400 y 420 m (llamada parcela U, en adelante). Cada una de las parcelas fueron divididas en 25 cuadrantes de 20x20 m, y estos a su vez se dividieron en sub-cuadrantes de 10x10m, marcados de uno a cuatro en el sentido de las manecillas del reloj. En cada uno de ellos se midieron, marcaron y mapearon todos los árboles con

diámetro normal $\geq 10\text{cm}$ (DAP). La colección botánica se realizó para todos los árboles, se tomaron de tres a cinco ejemplares para la colección general del herbario Gabriel Gutiérrez Medel (MEDEL). La identificación se realizó por comparación en los herbarios MEDEL, Universidad de Antioquia (HUA), Jardín Botánico de Medellín Joaquín Antonio Uribe (JAUM) y el Herbario Nacional Colombiano (COL) de la Universidad Nacional de Colombia. Adicionalmente, se utilizaron claves y la colaboración de especialistas.

El establecimiento de las parcelas se inició en el año 1996 (censo uno, en adelante C1), dentro del proyecto Biopacífico (Sánchez y Velásquez 1997 a). En los años 1998 (C2) y 2000 (C3), la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín en convenio con Corantioquia, realizaron una nueva medición de las parcelas. La cuarta, y última medición de los árboles se realizó en el año 2005 (C4), durante las labores de mantenimiento de las parcelas. Así, los periodos de medición serán 1996-1998 se citará como P1, 1998-2000 como P2 y 2000-2005 como P3. Sin embargo, es importante anotar que en los sitios para el establecimiento de las parcelas se buscó un área donde se evidenciara una estructura y estado de conservación del bosque lo más ideal o representativo de los ecosistemas alto Andinos de la región.

Para el análisis de datos se emplearon las siguientes ecuaciones e índices:

2.4.4. Diversidad

La diversidad de plantas se estimó en las parcelas mediante el uso del índice

$$S = \alpha \ln \left(1 + \left(\frac{N}{\alpha} \right) \right)$$

Alfa de Fisher (Condit *et al.*, 1996), el cual se define por:

Donde S es el número de especies en una muestra de N individuos y α (Alfa de Fisher). Es una constante independiente de N. Se halló el índice para cada parcela y el promedio por hectárea utilizando los respectivos promedios de número de especies e individuos. El alfa de Fisher se calculó utilizando el método de Newton (Condit *et al.*, 1996).

2.4.5. Dinámica

Para el cálculo de las tasas de mortalidad (m) y reclutamiento (r) se utilizaron

$$m = \frac{\left[\ln \left(\frac{N_0}{S} \right) \right]}{T}, \quad r = \frac{\left[\ln \left(\frac{N_t}{S} \right) \right]}{T}$$

las ecuaciones estándar:

Donde T es el intervalo de tiempo entre censos, N_0 y N_t son los tamaños poblacionales en el censo cero y en el censo t respectivamente, y S es el número de sobrevivientes en el tiempo t. Además, se halló el crecimiento poblacional como, Es decir, $\lambda = r - m$

$$\lambda = \frac{\left[\ln \left(\frac{N_t}{N_0} \right) \right]}{T}$$

2.4.6. Biomasa

La biomasa de todos los individuos se calculó usando la ecuación:

$\ln B = -2.286 + 2.471 \ln D$ ($n=140$, $R^2=97.9\%$), donde B es la biomasa en kg y D es el diámetro a la altura del pecho (DAP) en cm (Zapata *et al.*, 2003). Aunque esta ecuación proviene de un tipo de bosque diferente, donde existe un clima estacional y una mayor temperatura, la cercanía geográfica del sitio donde fue elaborada y su condición de bosque de montaña, fueron los criterios seleccionados para su elección ante la inexistencia de modelos alométricos de biomasa específicos para bosques de alta montaña. La biomasa total para cada parcela y por periodos de censo, se calculó como la suma de la biomasa de todos los árboles vivos. Se estimó el balance de la dinámica de la biomasa aérea del bosque (ΔBA) como: $\Delta BA = \Delta S + I - M$ donde ΔS es el incremento de la biomasa de las plantas sobrevivientes entre censos; I es la biomasa de los árboles que ingresaron y, M es la biomasa de los árboles que murieron entre dos mediciones.

2.5. RESULTADOS

2.5.1. Diversidad

En el censo correspondiente al año 2005 se registraron un total de 1.664 individuos con $DAP \geq 10$ cm, distribuidos en 222 especies, 113 géneros y 60 familias. En la tabla 3 se observa el número de individuos, especies, géneros y familias en cada uno de los censos y parcelas.

Tabla 3. Número de individuos observado en cada uno de los años de medición en las dos parcelas de 1 ha establecidas.

Parcela	Censo	N.º familias	N.º especies	N.º individuos
E	1996	50	128	881
	1998	50	127	880
	2000	50	127	873
	2005	49	129	902
U	1996	56	173	737
	1998	54	168	749
	2000	53	166	728
	2005	52	175	762
Promedio por ha	1996	53	150,5	809
	1998	52	147,5	814,5
	2000	51,5	146,5	800,5
	2005	50,5	152	832

Las especies más representativas en el último censo fueron: *Alfaroa colombiana* (11,19% del total de los individuos), *Croton smithianus* (3,97%), *Chrysochlamys colombiana* (2,71%), *Calophyllum brasiliense* (2,11%), *Pouteria lucuma* (2,05%) y *Ocotea costulata* (2,04%). En el sitio de estudio las familias con mayor número de especies fueron: *Lauraceae* (31 especies), *Rubiaceae* (17), *Euphorbiaceae* (14), *Melastomataceae* (14) y *Clusiaceae* (9).

El valor total de individuos en el año 2005 para la parcela E fue de 902 y para la U fue de 762; para las dos hectáreas el valor conjunto fue de 1664 individuos, tal como se puede ver en la Tabla 3.

2.5.2. Dinámica

Las tasas de mortalidad (m) y reclutamiento (r) durante los cuatro censos mostraron valores entre 1,21-1,63% y 0,44 – 2,10%, respectivamente. En el periodo global 1996-2005 la tasa de mortalidad fue de 0,88% y la de reclutamiento 1,16%. El crecimiento poblacional para el periodo total fue 0,28%; entre censos fue 0,28% para 1996- 1998, 0,77% para 1998-2000 y 0,71% para 2000-2005 (Fig. 5).

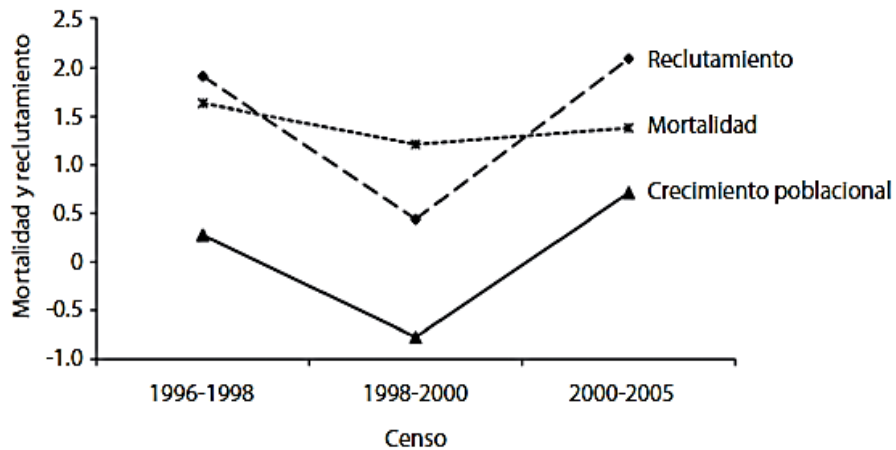


Figura 5. Tasas de mortalidad, reclutamiento e individuos supervivientes (%), durante cada uno de los periodos de medición. Mortalidad y reclutamiento (%).

2.5.3. Biomasa

La biomasa aérea total en promedio para el sitio de estudio fue de $243,44 \pm 9,82$ t/ha (IC 95%) para el periodo entre 1996-2005, con valores entre 229,05-266,25 t/ha. El valor más alto se presentó en el año 2005 con una biomasa aérea total de 260,44 t/ha y el más bajo fue de 231,33 t/ha en el primer censo (Fig. 6).

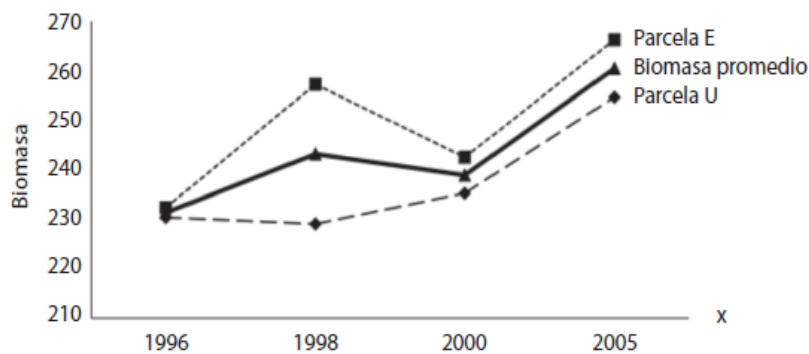
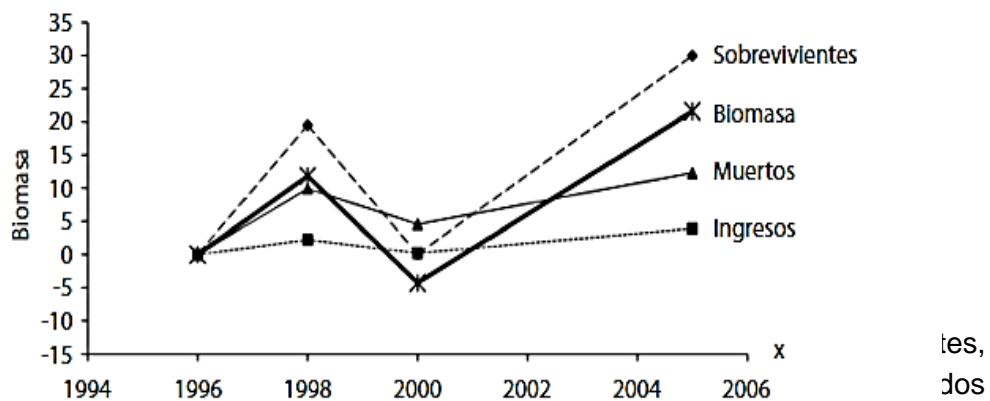


Figura 6. Biomasa aérea total en t/ha. En cada uno de los censos y parcelas, y promedio en los Farallones del Citará, Municipio de Betania, Antioquia.

El incremento anual promedio en la biomasa aérea fue de 2,9 t/ha (1,2%); el mayor valor se presentó en el primer periodo con un incremento de 5,9 t/ha año y en el periodo entre 1998-2000 se presentó una pérdida en biomasa de 2,14 t/ha año (Fig. 7)



Figura

Figura 7. Balance Promedio Neto (t/ha) de la biomasa aérea total, de supervivientes, de ingresos e individuos muertos, entre periodos de medición, para las dos parcelas de 1-ha monitoreadas en los Farallones del Citará, Antioquia.

2.6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

2.6.1. Diversidad

Los resultados de este estudio, difieren significativamente de lo esperado en cuanto a la riqueza de especies y diversidad en ecosistemas de alta montaña, ya que igualan e incluso superan la riqueza de especies reportada para ecosistemas húmedos de tierras bajas (Condit *et al.*, 2004b) y para bosques montanos neotropicales (Cascante-Marín *et al.*, 2011).

Cuando se reportan valores de hasta 175spp/ha en bosques a más de 2.000 msnm, aparece una alta incertidumbre en la posibilidad de identificar el mecanismo fundamental que promueve semejante diversidad. Cifras tan altas en el número de especies en bosques de tierras altas, podrían conducir a

especular que se deben en buena parte a errores en la identificación, posiblemente debido a un menor conocimiento de la flora de estas zonas que la de los bosques de tierras bajas. Sin embargo, la taxonomía de estas plantas ha sido controlada por los mismos curadores desde la primera medición, incluyendo las otras dos re-mediciones, lo cual disminuye significativamente el margen de error en la identificación.

Es de anotar que los porcentajes de especies indeterminadas estuvieron entre 25-30%, el cual se considera dentro de los rangos esperados para este tipo de estudios (Ruokolainen *et al.*, 2002), lo cual le resta a su vez incertidumbre a este aspecto. Por este motivo, la más plausible explicación para tan alta riqueza de especies se puede adjudicar a la posición biogeográfica de estos bosques localizados en el puente conector entre América del Sur y América Central, que se caracterizan por un alto endemismo y diversidad (Gentry, 1982, López y Duque, 2010). De hecho, estudios de mamíferos y aves realizados en esta misma zona (Cuadros, 1997) han, a su vez, reportado registros y valores de diversidad en la misma línea de los reportados en este estudio para plantas leñosas.

2.6.2. Dinámica

La dinámica natural de este bosque, según sus tasas de mortalidad y reclutamiento, aunque presentó un incremento neto Poblacional de 0,28 %/año, se puede considerar incluso como bajo para ecosistemas localizados en zonas de pendientes de hasta 68°. Una mortalidad de individuos de un 0,88% en promedio anual, se encuentra por debajo de la media reportada para bosques tropicales (Condit *et al.*, 2006) y para bosques premontanos para los cuales se reportan valores de 2,3% (Cascante-Marín *et al.*, 2011). De esta manera, los resultados de este estudio, no permiten identificar ningún efecto externo proveniente de la variación climática como determinante de cambios

en la densidad y patrón de reclutamiento de individuos arbóreos en este bosque subAndino alto.

Las razones para explicar la dinámica reportada, proviene de la posible recuperación del bosque luego de un disturbio natural a escala menor, lo cual no permite inferir efectos de cambio climático en este ecosistema. Sin embargo, cuando se analizó la dinámica del bosque en función de la biomasa aérea, los resultados fueron lo contrario.

2.6.3. Biomasa

En este bosque, la cantidad de biomasa aérea almacenada ($243,44 \pm 9,82$ t/ha) tuvo un comportamiento similar a lo reportado para la diversidad de especies, siendo en términos generales extremadamente alta. Cuando comparamos este valor con el de otros bosques en la misma zona de estudio, se evidencia que el bosque de Los Farallones dobla la biomasa esperada de bosques a una altitud similar (Yepes *et al.*, 2011, com. pers.), aunque asemeja lo reportado para bosques premontanos en la misma cordillera central (Sierra *et al.*, 2007).

Una posible explicación a este fenómeno podría deberse a que los sitios donde se establecieron las parcelas fueron seleccionados siguiendo criterios que buscaban encontrar un bosque maduro y en buenas condiciones de conservación (majestic forest effect, sensu Phillips *et al.*, 2004), el cual sólo es posible de encontrar en ciertas áreas aisladas. No obstante, su localización en zonas distantes de poblados y de difícil acceso, lo cual ha evitado que estos bosques se hayan visto sometidos a disturbios provenientes del aprovechamiento maderero, podría ser una buena explicación de la diferencia con respecto a otras áreas localizadas dentro de la misma franja ambiental.

Datos recientes de la distribución de la biomasa en Colombia sugieren que los bosques húmedos montanos albergan en promedio por unidad de área una

biomasa similar a los bosques húmedos de tierra bajas, lo cual sustenta los registros aquí reportados (Sánchez y Velásquez, 1997).

El incremento en biomasa reportado para este bosque (2,9 t/ha /año), dobla en magnitud lo reportado para otros bosques subandinos como por ejemplo el de La Planada y puede considerarse dentro del límite superior reportado para bosques tropicales de tierras bajas, superando en porcentaje (1,2%) casi todos los registros recientes para bosques tropicales (Chave *et al.*, 2008); no obstante, valores similares en incremento de biomasa han sido reportados para bosques amazónicos (Phillips *et al.*, 2004). Sin embargo, aunque según lo observado en el campo este bosque simplemente parece encontrarse en una dinámica de recuperación hacia el equilibrio luego del desplome de grandes árboles en el periodo 1998-2000, el promedio anual del incremento en biomasa reportado (2,9 t/ha/año), resulta totalmente opuesto a la tendencia de la densidad. Bajo este escenario, podría argumentarse que factores externos como el calentamiento global sí podrían estar influenciando el incremento en biomasa de este bosque, lo cual hace este reporte aún más extremo y difícil de explicar por las limitaciones climáticas, topográficas y fisiológicas de las especies para aumentar la capacidad de carga del sistema.

En síntesis, los resultados de este estudio no parecen evidenciar un posible efecto proveniente del calentamiento global sobre la dinámica y capacidad de almacenamiento del carbono de los bosques de alta montaña (Phillips *et al.*, 2004). No obstante, los datos aquí presentados simplemente resaltan el alto desconocimiento que se tiene de éstos ecosistemas del norte de los Andes, los cuales parecen poseer la capacidad de poner a prueba muchos paradigmas de la ecología, aumentando así la incertidumbre acerca de lo que sería su respuesta al cambio climático.

Según este estudio, los bosques montanos de los Andes, podrían incluso servir como refugio de la flora y el carbono, asumiendo eso sí, que debido al área

total que cubren, éstos no podrían contrarrestar las pérdidas totales en magnitud que eventualmente sufriera su contraparte de tierras bajas. Las acciones encaminadas a la conservación y al entendimiento de la dinámica de estos ecosistemas comprenden la declaratoria de la zona como Área de Reserva Natural y al avance de la investigación sobre la autoecología de muchas de las especies encontradas en la zona con el fin de preparar protocolos de Restauración Ecológica en áreas degradadas de la Reserva, que permitan avanzar en el conocimiento de estas prácticas y a su vez posibiliten su conservación y recuperación.

ESTUDIO DOS

3. ESTUDIO DOS: APLICACIÓN DE MODELOS EXPERIMENTALES EN LA ELABORACIÓN DE UN PROTOCOLO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA PARA BOSQUES ALTOANDINOS DE LA REGIÓN NORTE DE COLOMBIA.

3.1 ABSTRACT

The ecological restoration appears as an alternative solution to a number of cumulative human impacts on ecosystems, one of which currently represents great threat is the global climate change, which affects species composition, structure and functioning of ecosystems.

The restoration of degraded ecosystems is difficult in regions like Farallones del Citará, Antioquia, Colombia, where much of the natural vegetation was transformed to pastures and crops; also, the conditions are hostile to the growth of new plants.

The Regional Protective Forest Reserve of the Farallones del Citará and its environmental transition zone constitute an excellent setting since it is a haven for flora, fauna, water and soil, in a 30.075 hectares area with a great biological diversity. This diversity represents the 30,5% of plant families known worldwide and it presents a series of threats leaving a large environmental footprint corresponding to impoverished and degraded large areas on which it's possible to bring forward the research in the field of ecological restoration, draw from the knowledge of succession dynamics of the ecosystems founded in the region.

It is presented in this study, an updated review of the issue of ecological restoration with emphasis on social and environmental services; a general description of the ecological restoration experimental models developed in the Reserve, with its objectives, materials, methods and preliminary results and the development of the Ecological Restoration Protocol, which is the main objective of the study.

In altitude, the plots are located at 2.278 meters above sea level marking the location point in the project's indicator fence. The coordinates for the plots, are respectively: 0.5° 38'33.4" N 75° 58' 52.1" W. In the municipality of Andes, Antioquia, Colombia, region Quebrada Arriba, in the premises of La Secreta ranch, 24 plots of 22 x 22 meters were established, for a total of 484 m² each, corresponding to eight treatments with three replicates respectively, distributed randomly in the field, with 19 woody species, divided into ecological groups according to their appearance in the succession process and the revision of their autoecological aspects.

The project's objective was to develop research about the best combinations or consortium of species in ecological restoration models. Thus, obtaining benefits related to the control of erosion, water and nutrients regimes restoration; as well as to recover the ecosystem functionality in degraded areas from the buffer zone of the Forest Reserve, and to, eventually, develop a protocol for ecological Restoration in Andean highlands in Colombia.

Based on the results, the Ecologic Restoration protocol was developed, the behavior of the species was evaluated based on these variables: Diametric increase (diameter), height increase (H) and Survival percentage. The species that yielded better results were: Quimulá (*Citharexylum montanum*), Chaquiro (*Podocarpus oleifolius*), Arrayán (*Myrcia popayanensis*), Olivo de cera (*Myrica pubescens*), Cochobo (*Eugenia sp.*), zurrumbo (*Trema micrantha*), Roble (*Quercus humboldtii*).

By combining these species with the best treatments, several alternatives for the ecological restoration protocol are presented for the study field.

The alternatives posed in this protocol should not be used based only on the experimental part, which has a high environmental component, but should include a number of other elements such as social, economic and political, that

allow to successfully undertake restoration practices that result in benefits for society.

The protocol developed in this research can be applied to any project developed at a regional level in high Andean forests. Both in the watershed level and at the level of Regional Protection Forest Reserve Farallones del Citará or similar settings; because it considers all potential sites for restoration and is flexible enough to incorporate decision-making criteria in all its stages.

Keywords: Ecological Restoration, lower montane forests, climate change, ecological restoration protocol, ecosystem benefits.

3.2 RESUMEN

La Restauración ecológica surge como alternativa de solución a una serie de impactos acumulativos del hombre sobre los ecosistemas, de los cuales uno que actualmente representa mayor severidad es, el de cambio climático global, el cual afecta la composición de especies, la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas.

La Restauración de ecosistemas degradados es difícil en aquellas regiones como en los Farallones del Citará, Antioquia, Colombia, donde buena parte de la vegetación natural fue transformada para pastos y cultivos y las condiciones son hostiles para el crecimiento de las plantas.

La Reserva Forestal Protectora Regional Farallones del Citará y su zona de transición ambiental, se constituyen en un excelente escenario por ser un refugio de flora, fauna, aguas y suelos de una extensión de 30.075 hectáreas donde se alberga una gran diversidad biológica representada en el 30,5% de las familias botánicas conocidas a nivel mundial y sobre las cuales actúan y se abaten una serie de amenazas que dejan una gran huella ambiental representada en extensas áreas pauperizadas y degradadas sobre las cuales

se puede adelantar investigación en el campo de la Restauración ecológica a partir del conocimiento de la dinámica sucesional propia de los ecosistemas encontrados en la región.

Se presenta en este estudio, una revisión actualizada del tema de restauración ecológica con énfasis en los servicios sociales y ambientales; una descripción general de los modelos experimentales de restauración ecológica adelantados en la Reserva con sus objetivos, materiales, métodos y resultados preliminares y la elaboración del Protocolo de Restauración ecológica, objetivo principal de este estudio.

Altitudinalmente, las parcelas se encuentran ubicadas a 2.278 msnm marcando el punto de ubicación en la valla indicadora del proyecto. Las coordenadas que ubican las parcelas, son, respectivamente: $0,5^{\circ}38'33,4''N$ y $75^{\circ}58'52.1''W$. En el Municipio de Andes, Antioquia, Colombia, vereda Quebrada Arriba, en predio de la finca La Secreta se establecieron 24 parcelas de 22 x 22 m. para un total de 484 m² cada una, correspondientes a ocho tratamientos con tres réplicas respectivamente, distribuidas en el campo al azar, se utilizaron la 19 especies leñosas, distribuidas en grupos ecológicos de acuerdo a su aparición en el proceso sucesional y a la revisión de sus aspectos autoecológicos.

El objetivo del proyecto consistió en adelantar investigación sobre las mejores combinaciones o consorcio de especies en modelos de Restauración ecológica, con el fin de lograr beneficios relacionados con el amortiguamiento de los procesos erosivos, restablecimiento de regímenes hídricos y de nutrientes, a la vez que obtener la recuperación de la funcionalidad ecosistémica en áreas degradadas en la zona de amortiguación de la Reserva Forestal y poder, finalmente, elaborar un protocolo de Restauración ecológica para zonas altoandinas en Colombia.

Con base en los resultados se elaboró el protocolo de Restauración Ecológica, se evaluó el comportamiento de las especies a las variables: Incremento

Diámetro (Diámetro), Incremento en Altura (Altura) y Supervivencia en porcentaje, obteniéndose que las especies que arrojaron mejores resultados fueron: Quimulá (*Citharexylum montanum*), Chaquiro (*Podocarpus oleifolius*), Arrayán (*Myrcia popayanensis*), Olivo de cera (*Myrica pubescens*), Cochobo (*Eugenia sp.*), zurrumbo (*Trema micrantha*), Roble (*Quercus humboldtii*).

Al combinar estas especies y los mejores tratamientos, se presentan varias alternativas a utilizar como protocolo de restauración ecológica en el área de estudio.

Las alternativas que se plantean en este protocolo deben utilizarse no sólo basándose en la parte experimental, que tiene un alto componente ambiental, sino que debe contemplar otra serie de elementos de tipo social, económico y político, que permitan emprender exitosamente prácticas de restauración que redunden en beneficios para la sociedad.

El protocolo desarrollado en la presente investigación, se puede aplicar en cualquier proyecto que se desarrolle a nivel regional para bosques alto Andinos, tanto a nivel de cuenca hidrográfica, como a nivel de la Reserva Forestal Protectora Regional Farallones Del Citará o en ambiente similares; porque considera todos los potenciales sitios para restaurar y es suficientemente flexible para incorporar criterios de toma de decisión en cualquiera de sus etapas.

Palabras Claves: Restauración ecológica, Bosques altoandinos, cambio climático, protocolo de restauración ecológica, beneficios ecosistémicos.

3.3. INTRODUCCIÓN

Uno de los temas que más aplicaciones prácticas tienen en la ecología y al que se le ha dedicado durante mucho tiempo mayor atención es el de la Sucesión Ecológica, tópico este que permite desde su comprensión holística, desarrollar investigación en el campo de la Restauración ecológica con el objetivo de lograr una serie de beneficios sociales y ambientales tangibles que tienen que ver con el desarrollo y que redundan finalmente en la calidad de vida y bienestar humano de las sociedades vinculadas estrechamente con la región donde estos se llevan a cabo.

Se considera a la restauración ecológica como un elemento muy determinante en el desarrollo sostenible de una región y a la vez recoge el conocimiento acumulado, durante mucho tiempo, de una serie de disciplinas interrelacionadas en un campo que se caracteriza por involucrar procesos dinámicos.

La Restauración ecológica surge como alternativa de solución a una serie de impactos acumulativos del hombre sobre los ecosistemas, de los cuales uno que actualmente representa mayor severidad es el del cambio climático global, el cual afecta la composición de especies, la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas.

La Reserva Forestal Protectora Regional Farallones del Citará y su zona de transición ambiental, se constituyen en un excelente escenario por ser un refugio de flora, fauna, aguas y suelos de una extensión de 30.075 hectáreas donde se alberga una gran diversidad biológica representada en el 30,5% de las familias botánicas conocidas a nivel mundial y sobre las cuales actúan y se abaten una serie de amenazas que dejan una gran huella ambiental representada en extensas áreas pauperizadas y degradadas sobre las cuales

se puede adelantar investigación en el campo de la Restauración ecológica a partir del conocimiento de la dinámica sucesional propia de los ecosistemas encontrados en la región.

Se presenta en este capítulo una revisión actualizada del tema de restauración ecológica con énfasis en los servicios sociales y ambientales; una descripción general de los modelos experimentales de restauración ecológica adelantados en la Reserva con sus objetivos, materiales y métodos y resultados preliminares y la elaboración del Protocolo de Restauración ecológica, objetivo principal de este estudio.

3.4. PRECISIONES CONCEPTUALES EN RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

La restauración ecológica es el proceso de asistir a la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido (SER, 2004).

La actividad de restauración tiene la característica de ser intencional para la recuperación de un ecosistema que ha sido alterado como resultado directo o indirecto de las actividades humanas. En muchas situaciones tales como ambientes altamente modificados por la agricultura o en zonas periurbanas la transformación es de tal magnitud que solamente la restauración de las funciones ecosistémicas se constituye en una prioridad de conservación (*Bennett et al., 2009*). Por esto, según estos autores es importante reconocer algunos factores del funcionamiento de los ecosistemas tales como que éstos son temporal y espacialmente dinámicos; que los componentes del ecosistema en formas diversas y complejas para contribuir y sostener la biodiversidad y finalmente que los procesos pueden actuar como fuerzas selectivas para las cuales las especies en particular se adaptan constantemente (*Bennett et al., 2009*).

En términos de la restauración ecológica de un ecosistema (SER,2004), establece que un ecosistema se ha recuperado y restaurado cuando contiene

suficientes recursos bióticos y abióticos como para continuar su desarrollo sin ayuda o subsidio adicional.

La Sociedad Internacional de Restauración Ecológica (SER, 2004), propone nueve atributos como base para determinar el éxito de la restauración, ellos son:

1. El ecosistema restaurado contiene un ensamble característico de especies que le proveen una estructura apropiada a la comunidad.
2. En este nuevo ecosistema se presentan especies propias de la zona en un grado máximo factible.
3. Todos los grupos funcionales esenciales para el desarrollo y/o estabilidad del ecosistema restaurado se encuentran representados y si no los grupos faltantes tienen el potencial para colonizar por medios naturales.
4. El ambiente físico del ecosistema restaurado es capaz de sostener poblaciones reproductivas de las especies necesarias para el desarrollo del ecosistema.
5. El nuevo ecosistema funciona normalmente en sus diferentes etapas de desarrollo y los signos de disfunción no se presentan.
6. Se presenta una integración adecuada del ecosistema restaurado con la matriz de paisaje o ecológica estableciendo flujos e intercambios bióticos o abióticos.
7. Se han eliminado al máximo posible las amenazas potenciales del paisaje circundante.
8. Este ecosistema es suficientemente resiliente para soportar eventos estresantes periódicos y normales del ambiente local.

9. El ecosistema restaurado es auto sostenible y tiene el potencial de persistir indefinidamente bajo las condiciones ambientales existentes.

Con el fin de demostrar los avances en la restauración (SER, 2004) aclara y especifica que no es esencial la expresión completa de todos (9) los atributos citados, solo se requiere que estos atributos demuestren una trayectoria apropiada del desarrollo del ecosistema hacia la meta o referencia deseada. Al respecto, Ruiz-Jaen y Aide (2005), puntualizan, que aunque la medida de estos atributos posibilitan una excelente evaluación del éxito de la restauración, pocos estudios tienen los recursos financieros suficientes para monitorearlos a todos.

Por su parte McDonald (2010), puntualiza que parte del ciclo de restauración es constructivo como por ejemplo la recuperación de suelos, la colonización de las plantas, la propagación, la producción de semillas, y la plantación, a la cual se le da menor atención de identificar las causas del daño. La importancia de frenar el daño no puede ser sobre estimada en restauración y se debe establecer que la mitigación o el freno del daño es el primer paso en los proyectos de restauración.

Las medidas del avance de la Restauración, evaluadas en la práctica, según Ruiz-Jaen y Aide (2005), se pueden categorizar en tres grandes atributos de los ecosistemas, que son: diversidad, estructura de la vegetación y procesos ecológicos. La diversidad se determina por la riqueza y abundancia de organismos pertenecientes a diferentes niveles tróficos, la estructura de la vegetación se determina usualmente por la medición de la cobertura vegetal, por densidad de plantas, por la biomasa o mediante perfiles de vegetación, y los procesos ecológicos, tales como el ciclaje de nutrientes, interacciones biológicas, presencia y acumulación de materia orgánica y/o de banco de semillas; son importantes porque proveen información sobre la resiliencia del ecosistema restaurado.

Al elaborar propuestas de restauración en las cuales se plantean algunos modelos a seguir en ellas se involucran una variedad de disciplinas que van desde las ciencias sociales hasta la ecología aplicada. De acuerdo con Williams, 2009, los proyectos de restauración se guían por la estructura de las comunidades originales de plantas, las cuales a menudo se miran en el abstracto por fuera de la esfera de la manipulación humana. Y por lo tanto los ecosistemas restaurados resultan en nuevos tipos de paisajes y al mismo tiempo nuevas formas de paisajes culturales.

Las experiencias acumuladas en la práctica de la restauración ecológica se han basado principalmente en el método de prueba y error y por tanto, de acuerdo con Ulian *et al.* (2008), es fundamental y útil que las experiencias obtenidas en cualquier parte del mundo se ordenen y transmitan, así por ejemplo estos mismos autores, consideran que la selección de especies propicias para la restauración ecológica son aquellas que tengan un interés ecológico por ser de crecimiento rápido o resistencia a determinadas condiciones ambientales, un interés de conservación por características propias de cada especie o de interés social por ser especies maderables, medicinales o comestibles. Es fundamental un amplio conocimiento de la autoecología de las especies a emplear en los proyectos de restauración, incluyendo estrategias de reintroducción en ambientes degradados.

En muchas áreas de los países tropicales se ha tenido un incremento de tierras abandonadas por la agricultura, el cual tiende a continuar; por lo cual se presenta un interés creciente para restaurar estas áreas. Vieira *et al.*, (2009), proponen, una técnica novedosa de restauración denominada Restauración Agrosucesional, la cual incorpora técnicas agroecológicas y agrosilviculturales como una fase transicional temprana en la restauración del bosque y que puede ser usada más ampliamente para superar obstáculos socioeconómicos y ecológicos en la restauración de estos terrenos. Se considera que la técnica de restauración agrosucesional beneficia la producción de cultivos para los

pequeños propietarios y ayuda a conservar la biodiversidad a lo largo del paisaje. Este tipo de práctica puede adelantarse en las regiones tropicales de países como Colombia, donde se presentan los escenarios óptimos para ello.

Esta técnica incorpora una idea nueva de que los tipos de sistemas agroforestales se pueden utilizar como fases transicionales en la restauración ayudando simultáneamente a proveer bienes, reducir los costos iniciales de restauración y extender los periodos de manejo para la restauración vinculando a los pequeños propietarios en actividades de restauración.

De acuerdo con Vieira *et al.* (2009). Esta técnica implica que el éxito de la restauración tropical a futuro, requiere la integración de la ecología, la agronomía y el conocimiento tradicional de manera que comprometa a los propietarios en la conservación. La restauración agrosucesional incorpora a la agricultura como una fase transicional ofreciendo muchos beneficios entre los cuales se cuenta la seguridad alimentaria para los pequeños propietarios, involucrándolos, a su vez en los procesos de restauración.

Cuando se adelantan procesos de restauración ecológica el objetivo principal es reparar el daño y detener o reducir las pérdidas económicas y las interrupciones socioeconómicas causadas por los abusos en el uso del suelo.

De acuerdo con Aronson y Alexander (2013), la restauración de los ecosistemas se reconoce actualmente como un componente clave en los programas de conservación y esencial para la búsqueda en el largo plazo de la sostenibilidad de nuestro planeta dominado por el hombre. Muchos ecosistemas se han transformado o degradado por el uso humano y la restauración ofrece una oportunidad para recobrar los servicios y beneficios de los ecosistemas, sin mencionar los valores intrínsecos. (Aronson *et al.*, 2010). La Restauración ecológica, entre otras cosas, se requiere para reparar el daño y para amortiguar o disminuir las pérdidas económicas y las alteraciones que trae consigo los abusos en el uso del suelo por parte del hombre.

Al enunciar los diferentes beneficios directos de la restauración ecológica es necesario señalar los impactos socioeconómicos y la conservación en el largo plazo de los recursos naturales, las oportunidades de la creación de nuevos empleos, la mejora en la calidad de vida de las sociedades dentro y cerca al área de influencia del proyecto de restauración. Otros beneficios tangibles tienen que ver con el desarrollo y crecimiento de puntos de mercadeo de productos provenientes de las áreas naturales y la legislación para proveer el pago de los servicios de los ecosistemas (Bennett y Balvanera 2007, European Communities 2008, Turpie *et al.*, 2008, Aronson *et al.*, 2010).

Otros importantes beneficios de la restauración y que deben tenerse en cuenta al emprender un proyecto de manera holística, tienen que ver con las conexiones e integración entre la ciencia y la práctica de la restauración ecológica y la sociedad, asunto fundamental cuando se involucran agentes de la sociedad encargados de la toma de decisiones para el manejo de ecosistemas.

En cualquier proyecto de restauración, un aspecto clave es la habilidad para medir el éxito de la restauración y tal medida involucra la evaluación del ensamble de especies resultante (Brewer y Menzel, 2009). Se ha puesto demasiada atención a responder en cómo determinar el ensamble apropiado para persistir en la restauración ecológica (Jordan *et al.*, 1987, Pickett and Parker 1994, Aronson V 1995, Palmer *et al.*, 1997, White and Walker V, Swetnam *et al.*, 1999, Block *et al.*, 2001, Brewer y Menzel, 2009).

Una de las formas para valorar el ensamble de especies resultante de la restauración ecológica que debe ser cuantificado es mediante una evaluación de cómo los cambios en la composición de especies local afecta la biodiversidad regional. Los esfuerzos para proteger biodiversidad se ha enfocado típicamente en especies que se cree con mayor valor, y las especies que tienden a concentrar la mayor atención por los conservacionistas son

aquellas con distribuciones limitadas. Estas especies endémicas son usualmente especialistas restringidas a ciertos hábitats debido a sus raras cualidades.

Si la preservación de la biodiversidad requiere la protección de especies que son indicativas o restringidas a ciertos hábitats, entonces quizás uno de los objetivos más urgentes de la restauración ecológica es incrementar la abundancia y la frecuencia de especies que son indicadores de ambientes raros y relativamente indisturbados. (Brewer y Menzel, 2009).

Gorrod y Keith (2009), establecen que con frecuencia se requieren estimativos cuantitativos de los atributos de la vegetación que ayuden en la toma de decisiones para la conservación de la diversidad biológica, al igual que para alcanzar metas en términos de políticas de conservación se desarrollan diferentes protocolos para cuantificar el valor de la biodiversidad a escala de sitios específicos, lo cual incentiva y estandariza procedimientos de campo eficaces para el logro de las metas propuestas.

Al emprender actividades de restauración, la condición deseable es que se tenga algún conocimiento o referencias del sitio a intervenir, situación que no siempre es posible, en esta condición se pueden emplear metodologías que evalúan las respuestas de especies indicadoras a los tratamientos de restauración. El éxito de la restauración se evalúa no en términos de la similaridad del sitio restaurado con sitios de referencia específicos sino mejor en términos de los incrementos netos en la abundancia y frecuencia de especies indicadoras de áreas de interés o motivo de conservación.

Un posible resultado de la restauración debe ser el incremento de la diversidad de plantas al favorecer el establecimiento de especies que en condiciones abiertas no lo pueden hacer.

Algunos resultados inciertos de los esfuerzos de restauración con relación a las especies de plantas se convierten en una buena aproximación para predecir y evaluar las respuestas de las especies en un contexto regional de la comunidad esencial de especies (Brewer y Menzel, 2009).

Las metodologías que se emplean en restauración pueden tener un gran impacto en la comunidad de plantas resultante, de manera que en el monitoreo realizado en los proyectos de restauración debe evaluarse tal efecto (Middleton *et al.*, 2010)

Un objetivo fundamental de la restauración es el reestablecimiento de la diversidad de plantas representativas de remanentes nativos. (Kline, 1997), de manera que redunde en alcanzar las metas trazadas al inicio del proyecto de restauración.

3.5. SUCESIÓN ECOLÓGICA Y RESTAURACIÓN: BENEFICIOS SOCIALES Y AMBIENTALES

Se presentan a continuación algunos de los principales tópicos que con respecto a la restauración ecológica se pueden aplicar a los ecosistemas alto andinos o de montaña en la Región de los Farallones del Citará, Antioquia, Colombia. Corresponde a una revisión actualizada de bibliografía sobre el tema en cuestión.

Los recursos de la naturaleza han experimentado un alarmante proceso de deterioro en todo el planeta. La presión humana reduce dramáticamente la capacidad de los bosques de proveer bienes y servicios. (Orsi y Geneletti, 2010).

Al analizar los métodos y procedimientos a emplear para enfrentar los diferentes factores que influyen y afectan la estabilidad en los ecosistemas y en particular la diversidad de especies de plantas Zhang y Dong (2010)

consideran que la restauración de los ecosistemas degradados es un elemento muy importante para el desarrollo sostenible de una región. La degradación regional de la tierra causada por los disturbios y su manejo es uno de los problemas más desafiantes.

Al proteger bosques primarios o al restaurar ecosistemas manejados o degradados se hace una vital contribución, tanto, a reducir emisiones antropogénicas y a ayudar a una adaptación social al inevitable cambio climático, esto es inherente a la resiliencia de ecosistemas intactos, que proveen el mejor seguro o la mejor defensa contra el cambio climático y proyectar la conservación de estos ecosistemas requiere del compromiso de las generaciones presentes y futuras. (Thompson *et al.*, 2009).

Simmons *et al.* (2007) y Emilsson (2008), conjuntamente con Zhang y Dong (2010), establecen que la restauración ecológica recoge el conocimiento acumulado en décadas de ciencias de la ecología, biología, clima y suelo y de intentar colocar las partes más relevantes juntas para reconstruir o reparar el ecosistema., sin embargo de mayor importancia es el proceso ecológico durante la restauración, para indicar su aspecto dinámico. Por su parte, McDonald (2010) afirma que el inicio de la restauración y la rehabilitación de zonas degradadas se inician solamente en el momento en el cual se frene el daño que se le infringe a los ecosistemas.

Para mitigar o evitar impactos negativos en la naturaleza, se han desarrollado desde diferentes alternativas de solución; es el caso que desde las actividades del ecoturismo se planean estrategias consistentes en restaurar terrenos y recursos afectados. Los ingresos por ecoturismo y cooperación, además de labores voluntarias de éstas actividades pueden servir para financiar y llevar a cabo programas de restauración (Blangy y Mehta, 2006).

La práctica de la Restauración Ecológica lucha con problemas de diseño de los modelos a emplear los cuales se enfatizan en la innovación, creatividad y

oportunidad para lograr objetivos funcionales en los ecosistemas restaurados los cuales se convierten en nuevos tipos de paisajes y al mismo tiempo en nuevas formas de paisajes culturales (Williams, 2009).

La Restauración de ecosistemas degradados es difícil en aquellas regiones como en los Farallones del Citará, donde buena parte de la vegetación natural fue transformada para pastos y cultivos y las condiciones son hostiles para el crecimiento de las plantas.

Desde cuando se definió por parte de Clements (1928, 1936), uno de los temas clásicos de la investigación ecológica es la sucesión en la comunidad de plantas, el cual se ha estudiado durante mucho tiempo. La restauración de la vegetación es un tipo de sucesión secundaria, la cual se inicia cuando en un área se retira total o parcialmente la vegetación debido a un disturbio (Leenderste, 1997). Muchos estudios previos de sucesión secundaria se han enfocado sobre la restauración de bosques luego de la tala y muchos otros han examinado la sucesión secundaria de cultivos abandonados, tales como Der Veen y Grootjans (1997), Sarmiento *et al.* (2003), Laliberte y Payette (2008), Dolle y Schmidt (2007), Galvanek y Leps (2008) y Zhang Dong (2010). Sin embargo, a pesar que para Colombia se han presentado algunos trabajos en restauración ecológica, no existen estudios en este sentido para los bosques alto andinos o de montaña de la región antioqueña de los Farallones del Citará en Colombia.

Aunque la conversión de áreas con vegetación natural a uso agrícola amenaza la biodiversidad, los terrenos que quedan pos agricultura se convierten en una excelente oportunidad para preservarla si se destinan para la restauración y regeneración. (Zafra-Calvo *et al.*, 2010).

En áreas destinadas a la conservación, se presenta una clara diferencia entre la zona de reserva la cual se maneja con el objetivo de proteger plantas, animales y recursos genéticos, la zona de amortiguación o de transición

donde algunas actividades extractivas tales como la agricultura son permitidas, Stanvliet *et al.* (2004), citados por Zafra-Calvo *et al.* (2010). El núcleo de la zona de reserva representa generalmente los sitios con el mayor número de especies raras. (Méndez-Larios *et al.*, 2006).

Se debe presentar una diferencia muy grande en beta-diversidad entre el núcleo de la zona de reserva y la zona de amortiguación (Striganova *et al.*, 2001, Zafra-Calvo *et al.*, 2010), lo cual sirve como indicador claro sobre dónde iniciar las actividades de restauración ecológica y debe ser una herramienta a tener en cuenta en el proceso de emprender proyectos de restauración de ecosistemas degradados, puesto que la amplia diferencia en valores de índices de diversidad beta muestra claramente que los ecosistemas comparados difieren ampliamente.

Se reconoce que los bosques del mundo son los principales reservorios de la biodiversidad terrestre ya que contienen cerca del 50% de las existencias de carbono de la biomasa global terrestre (IPCC, 2007; FAO 2000).

Las emisiones por la deforestación y la degradación están entre el 18-20% como fuente de las emisiones de gases efecto de invernadero a la atmósfera (IPCC, 2007), por lo que actividades de conservación, manejo apropiado y la restauración de bosques puede hacer una contribución significativa a la mitigación del cambio climático.

Al hacer un análisis retrospectivo de los impactos del hombre en los ecosistemas de la tierra, se nota que estos han tenido una tendencia acumulativa a largo plazo mediante actividades de explotación, consumo y mecanismos indirectos que influyen en el clima global. Los mayores impactos de los humanos sobre los ecosistemas de bosques incluyen pérdida del área de bosque, fragmentación de hábitats, degradación de suelos, deflexión de la biomasa con sus cantidades asociadas de carbono, transformación de la estructura y la composición de especies, pérdida de especies, la introducción

de especies y los efectos en cascada consecuentes tales como el incremento en el riesgo de incendios (Uhl y Kauffman, 1999, Gerwing, 2002). Como resultado se ha presentado un gran interés de la capacidad a largo plazo de los bosques para mantener su biodiversidad y las tasas asociadas a la oferta de bienes y servicios, incluyendo almacenamiento de carbono, alimento, agua y recreación. Este interés se ha amplificado al seguir los impactos observados a los bosques del mundo como resultado del cambio climático (Phillips, 1997, Kellomaki *et al.*, 2008, Phillips *et al.*, 2008, Malhi *et al.*, 2009).

Uno de los impactos antropogénicos más importantes es el cambio climático global el cual tiene una mayor influencia sobre las tasas de fotosíntesis y respiración (Law *et al.*, 2002) y sobre otros procesos del bosque, actuando a través de la temperatura, la radiación y los regímenes de humedad en períodos de mediano y largo plazo, lo cual puede influir en cambios en la tolerancia fisiológica de las especies que puede excederse y las tasas de los procesos biofísicos del bosque ser alterados (Olesen *et al.*, 2007, Kellomaki *et al.*, 2008, Malhi *et al.*, 2009). En la medida que se presente cambio climático puede darse una reducción significativa en la disponibilidad del agua y el bosque cambiará naturalmente su composición de especies, donde los bosques pueden ser reemplazados por las sabanas o por los pastizales o en un caso extremo por desiertos como punto final de la degradación de los terrenos.

Los cambios que se pueden experimentar en los bosques pueden también influir en los climas regionales dependiendo de la extensión considerada. Existen numerosos estudios donde se evidencian interacciones de retroalimentación entre los bosques y el clima los cuales ocurren mediante cambios en el albedo, en la alteración de la dinámica del ciclo del carbono, flujos de energía e intercambio de humedad y herbivoría, por tanto el mantenimiento la resiliencia del bosque resulta ser un mecanismo importante para mitigar y adaptar al cambio climático, lo cual es una resultante de las actividades de la

restauración ecológica adelantada en aquellas áreas de interés (Thompson *et al.*, 2009).

Como resultado de las actividades humanas muchos ecosistemas han sido transformados o degradados, por tanto la restauración ofrece una oportunidad para recuperar servicios y beneficios sin mencionar los valores intrínsecos. Con base en este razonamiento, Aronson *et al.* (2010) plantean la necesidad de incluir la cuantificación de los beneficios socioeconómicos en las actividades de restauración, ya que actualmente la evaluación económica de los servicios ecosistémicos y su pago financiero están ganando importancia como herramienta disponible para combatir la pérdida global de la biodiversidad y el deterioro en los servicios de los ecosistemas, especialmente a través de la conservación, mitigación o compensación (Bennett and Balvanera 2007, MA 2005, Balmford *et al.*, 2002, Constanza y Daly 1992, Aronson *et al.*, 2010). El pago por servicios de los ecosistemas puede y debe desarrollarse de manera que ayude a pagar y estimule la restauración ecológica, constituyéndose en herramienta valiosa para la conservación.

Existen muchos y obvios beneficios directos de la restauración ecológica para la sociedad, tales como la protección de cuencas hidrográficas, el tratamiento de residuos, productividad secundaria para el uso de la gente y el secuestro de carbono para mitigar el calentamiento global. (Rey Benayas *et al.*, 2009, Aronson 2010). La restauración ecológica puede llevar a mejorar o a incrementar la oferta y calidad de los servicios ecosistémicos para la sociedad perceptibles en el corto plazo, y localmente incrementar productividad de terrenos agrícolas y ganaderos, reducir la erosión del suelo y derrumbes e incrementar protección contra inundaciones y tormentas.

Algunas de las mejor documentadas causas de la degradación ambiental son el sobrepastoreo y la cosecha de leña en áreas donde las tasas exceden la productividad primaria. La deforestación y la conversión de los bosques nativos

en áreas agrícolas o urbanas se dan a altas tasas. Los estimativos indican que en el período 2000-2005 la deforestación alcanzó una tasa anual de aproximadamente 13 millones de hectáreas (FAO, 2005).

Es claro que este conjunto de síntomas ecológicos son causados por necesidades y presiones económicas, tal como lo documentan diversos autores como Ayyad (2003) Duraiappahn (1998), Geerken y Ilawi (2004), Mahiri y Howorth (2001), Wessels *et al.* (2004), Wezel y Bender (2004), al igual que Aronson *et al.* (2010).

3.6. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA

La Reserva Forestal Protectora Regional Farallones del Citará y su zona de transición ambiental se encuentra localizada en la Cordillera Occidental de Colombia en la Región del suroeste de Antioquia, estableciendo límites entre los Departamentos de Antioquia, Chocó y Risaralda por encima de los 2.200 msnm y comprende un área de 30.075 ha y representa uno de los refugios más importantes de flora y fauna silvestres, agua y suelos de la región (SIDAP, 2010). Es una zona de topografía abrupta, donde predominan relieves con fuertes pendientes y escarpados cerros, donde sobresalen el Cerro San Nicolás con 4000 msnm y el Cerro Caramanta con una altura de 3800 msnm. (Figura, 8).

En la figura 9 se encuentra la ubicación exacta del sitio de estudio. En el anexo 3 se tiene una panorámica de las características de la zona.

En esta región se encuentran tanto las parcelas permanentes de Investigación, objeto del primer estudio de la presente investigación, como las parcelas de Restauración Ecológica, base para el desarrollo de la investigación del segundo estudio.

La región posee una gran importancia hídrica y a su vez se presentan serios problemas para su conservación y sostenibilidad, por tanto es imprescindible adelantar acciones para el ordenamiento y manejo integral de las cuencas hidrográficas presentes en la Reserva. En un estudio realizado por Sánchez y Velásquez (1997b), con respecto a la vegetación y Ecología de la zona, se encontró que los bosques alto andinos de la región de los farallones del Citará no contienen un tipo específico de vegetación, sino por el contrario presentan grandes mezclas tanto de especies como de ecosistemas y ambientes potenciando una gran diversidad biológica. Estos ecosistemas corresponden a los bosques montanos, de los cuales muy poco de ellos persisten aún en Colombia y lo que queda se encuentra seriamente amenazado.

Los ecosistemas de esta región alto andina, no se han considerado con condiciones favorables para la ocupación del hombre por su alejamiento, por las altas pendientes que los caracteriza y por la alta fragilidad que poseen, características que limitan cualquier perspectiva de uso diferente al de su manejo con miras a su conservación, investigación científica, regulación climática e hídrica, conocimiento de la biodiversidad y banco genético al igual que objeto de educación y apreciación ambiental.

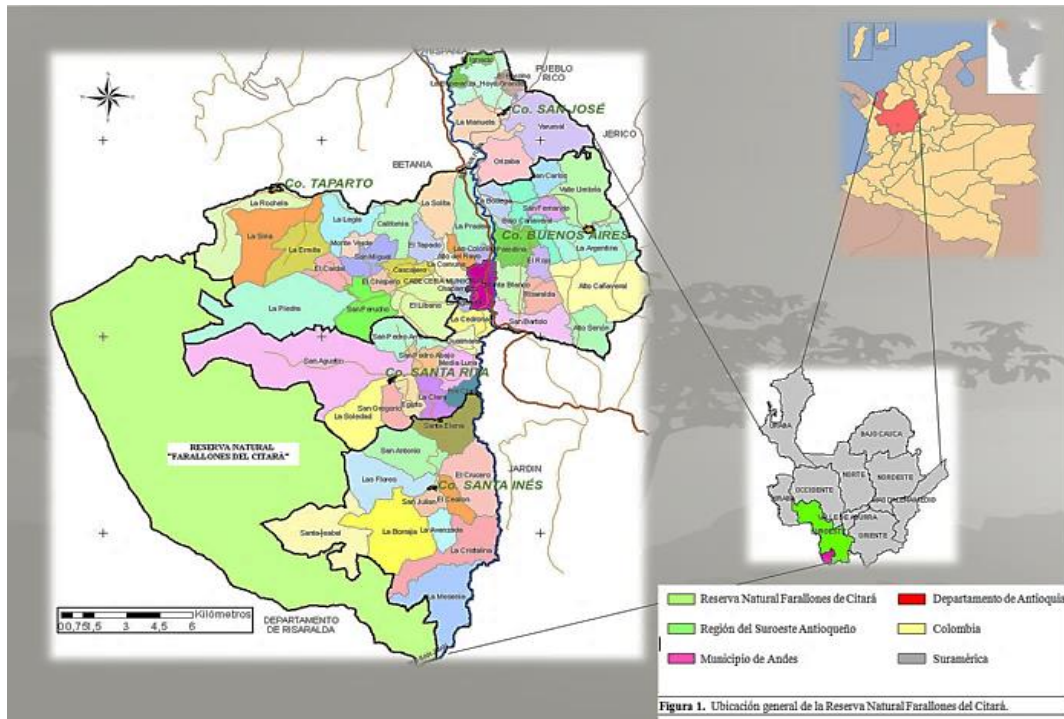


Figura 1. Ubicación general de la Reserva Natural Farallones del Citará.

Figura 8. Localización del área de estudio. Fuente: (SIDAP 2010).

Se presentan una serie de características de estos ecosistemas por las cuales se hace valiosa su investigación y conocimiento para un apropiado manejo. Entre las características más relevantes, de acuerdo con Sánchez y Velásquez (1997a), se tienen:

La alta tasa de deforestación de los ecosistemas de alta montaña lo cual trae como consecuencia una acelerada fragmentación, un incremento de los disturbios del ecosistema y una drástica reducción de estos.

El alto valor que poseen este tipo de ecosistemas para la ciencia y el poco estudio desarrollado hasta el momento de estos, razón que hace imperativa la necesidad de incrementar su entendimiento, lo cual solo es posible mediante la vía de la conservación.

El importante rol hidrológico de estos ecosistemas para las sociedades humanas.

El alto valor biológico representado en su biodiversidad, el cual ha sido históricamente subestimado.

Los ecosistemas alto andinos se han convertido en áreas de refugio para muchas especies provenientes de ecosistemas de menor elevación como consecuencia de los cambios climáticos y de la presión y transformación severa a la cual han sido sometidos estos ambientes.

Se abaten sobre estas regiones una serie de amenazas tales como la conversión del bosque para el uso ganadero, la expansión de cultivos agrícolas, la obtención de leña como combustible directo; aprovechamiento de maderas comerciales mediante la extracción de los mejores árboles de las especies más valiosas dejando como consecuencia la erosión genética, empobrecimiento y cambios en la estructura y función de los ecosistemas; explotación de recursos no maderables, establecimiento de cultivos ilícitos; entre las más importantes.

Se constituyen estos ecosistemas en excelentes escenarios para los estudios ecológicos en general y para el monitoreo de cambio climático.

Los estudios ecológicos realizados en la zona determinaron que en la Reserva Forestal Protectora Regional Farallones del Citará se encuentran una serie de formaciones vegetales pertenecientes a las siguientes zonas de vida:

Bosque Húmedo Premontano (bh-PM) y Bosque muy Húmedo Premontano (bmh-PM): correspondiente a la tierra cafetera, la cual se encuentra completamente deteriorada debido a la severa transformación de la vegetación natural para el establecimiento de cultivos extensivos de café, frutales y potreros.

Bosque Húmedo Montano bajo (bh-MB) y Bosque muy Húmedo Montano bajo (bmh-MB): comprende bosque de niebla donde predominan altas pendientes y se encuentran ecosistemas boscosos mejor conservados con explotación selectiva de especies maderables valiosas.

Bosque muy Húmedo Montano (bmh-M): conocido también como subpáramo y caracterizado por poseer bosques achaparrados en buen estado de conservación.

Páramo Subandino (p-SA) y Páramo Pluvial Subandino (pp-SA): franja de subpáramo y páramo propiamente dicho donde predominan los frailejonales dominados por Espeletia occidentales y es común la presencia de cardonales, pajonales, sphagnales y matorrales en buen estado de conservación debido a su alejamiento y las condiciones de altas pendientes.

De estos estudios se infiere que en la región de los Farallones del Citará existe una alta diversidad vegetal donde se determinaron 620 especies reunidas en 118 familias lo que representa un 30,5% de las familias conocidas a nivel mundial.

Desde el punto de vista edáfico, de acuerdo con Sánchez y Velásquez (1997a), la región se caracteriza por poseer suelos pertenecientes a las unidades Chinchiná (CH) y Salgar (SG), las cuales se identifican por tener, respectivamente, material parental proveniente de cenizas volcánicas depositadas sobre formaciones geológicas antiguas y , para la unidad Salgar, derivados de rocas metamórficas, cuyo material parental está conformado por esquistos arcillosos y pizarras arcillosas con intercalaciones de cuarcitas.

Un alto porcentaje de la zona se encuentra en pendientes fuertes (Superiores al 70%), razón por la cual los productos de transformación se lavan rápidamente originando un suelo cascajoso, con buen movimiento de agua, aire y alta susceptibilidad a la erosión. El contenido pedológico está constituido por Typic Dystropept (30%), Typic troporthent (25%), Typic Dystrandept (15%) y otros (30%) (Parra, 1997).

Las condiciones físicas, la susceptibilidad a la erosión, las fuertes pendientes y la alta precipitación son condiciones que en su conjunto determinan que estas

áreas se deben conservar permanentemente con bosque protectores, ya que cualquier actividad agropecuaria conlleva a su deterioro y estado de degradación, razón por la cual se convierte en un escenario propicio para la restauración ecológica (Sánchez y Velásquez, 1997b).

Con respecto a la fauna de la región de los Farallones del Citará se registraron 124 especies de Aves, donde sobresalen la presencia de poblaciones localizadas de Gallito de Roca (*Rupícola peruviana*), especie que por su tamaño y comportamiento social resulta ser seriamente afectada por actividades humanas y que por lo tanto se puede considerar como especie indicadora de bosques maduros y poco degradados, al igual que el registro en dos ocasiones del tinámido *Nothocercus julius*, especie de la cual existen pocos registros y que es indicadora de ambientes poco alterados. De igual manera se registró una especie de Gallinaciega (*Podager nacunda*) en la zona alta de la región, cuando los registros existentes de la especie, solo se conoce para tierras bajas del Caribe y Oriente Colombiano, razón por la cual se hace imperativo profundizar en estudios más detallados de este componente.

Con respecto a los mamíferos de la zona se reportó la presencia de Cusumbo de montaña (*Nassuela olivacea*), Jaguarandi (*Felis yagouaroundi*), Zarigüeya (*Didelphys marsupiales*), Guagua (*Agouti paca*) y Ñeque (*Dasyprocta punctata*) entre otros. Cabe resaltar que la observación de un felino en la zona permite suponer la existencia de otros felinos ya que estos son muy exigentes cuanto a calidad de hábitat. (Cuadros, 1997).

Se concluye de los estudios de fauna que el área de los Farallones del Citará conserva una alta riqueza de Aves, Mamíferos y Vertebrados sustentada por la heterogeneidad del hábitat y la estabilidad microclimática. No obstante los estudios geomorfológicos y florísticos comprueban que estos ecosistemas son muy frágiles y por tanto no podrían soportar una excesiva extracción ni de productos vegetales y animales ni de recursos minerales. De igual manera las

conclusiones apuntan hacia la necesidad de profundizar en los estudios de diversidad de la zona y del diseño cuidadoso de planes para el manejo y aprovechamiento de esta área de tal manera que se garantice la conservación y sostenibilidad de su biodiversidad.

3.7. MODELOS EXPERIMENTALES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN LA RESERVA NATURAL FARALLONES DEL CITARÁ. MUNICIPIO DE ANDES (ANTIOQUIA, COLOMBIA).

3.7.1 Antecedentes Históricos

Mediante convenio interinstitucional realizado entre La Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín y la Corporación Regional del Centro de Antioquia Corantioquia, responsable en la región de la vigilancia y gestión de los recursos naturales y del medio ambiente, en el año 1996, hizo posible el inicio de los estudios biofísicos sociales y económicos preliminares de la región de los Farallones del Citará; con el objeto de declarar la región mencionada como área de Reserva Natural, propuesta que fue acogida positivamente por parte de la Corporación.

A partir de los estudios biofísicos y socioeconómicos surgen propuestas planteadas por parte de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, a Corantioquia, sobre estudios a realizarse en la región de los Farallones del Citará; iniciándose en el año 1997 las investigaciones acerca de las mejores combinaciones de especies o modelos de restauración ecológica, con el fin de evitar erosión, de restablecer el régimen hídrico y de nutrientes y en general de permitir la conservación de la diversidad y el equilibrio de estos ecosistemas, alterados por la tala del bosque nativo y la subsiguiente actividad ganadera. Durante la realización de estos estudios se llevó a cabo el montaje, evaluación y monitoreo del crecimiento en diámetro y altura de la adaptación y mortalidad de las especies plantadas en parcelas de restauración ubicadas en la vereda

Quebrada Arriba, finca La Secreta, en jurisdicción del municipio de Andes(Universidad Nacional, Corantioquia 2000, 2002)

Posteriormente, en el año 2000, se retoman las labores de monitoreo, remediación y mantenimiento de las parcelas de restauración y se plantea la posibilidad de realizar otros ensayos o estudios similares en áreas diferentes, considerándose sitios en los Municipios de Ciudad Bolívar y Andes. Luego de haber evaluado los sitios en los municipios antes mencionados, se decide implementar unas nuevas parcelas de restauración en el predio La Reina, ubicado en la vereda La Soledad, Corregimiento de Santa Rita, de propiedad y en Jurisdicción del Municipio de Andes.

En el año 2002, se inicia el nuevo ensayo en dicho predio; el cual se vio afectado por la situación de orden público reinante en la zona en su momento, por lo que se suspendieron las actividades que se venían adelantando. Durante el año 2005, dada la mejoría en cuanto a orden público y a las ventajas que ofrece este sitio, en términos de garantizar la permanencia de los ensayos y gracias al respaldo por parte del municipio, de la Junta de Acción Comunal y de la comunidad en general, se reiniciaron actividades relacionadas con los ensayos de restauración en los predios de la finca La reina.

3.7.2. Ubicación de los Modelos de Restauración Ecológica

El área de estudio se localiza en la vertiente Oriental de la Cordillera Occidental, en las estribaciones del sector conocido como Farallones del Citará, en el Suroeste de Antioquia. El primer ensayo se desarrolló en la Vereda Quebrada Arriba finca La Secreta en el año 1998, posteriormente en el 2005 el segundo en la vereda La Soledad en la finca La Reina, ambas en

Jurisdicción del Municipio de Andes (Universidad Nacional, Corantioquia 2000, 2002).

Altitudinalmente, las parcelas se encuentran ubicadas a 2278 msnm marcando el punto de ubicación en la valla indicadora del proyecto. Las coordenadas que ubican las parcelas, son, respectivamente: 0.5°38'33.4"N y 75°58'52.1"W.

3.7.3. Objetivo

El objetivo plantado al inicio del proyecto consistió en adelantar investigación sobre las mejores combinaciones o consorcio de especies en modelos de Restauración ecológica, con el fin de lograr beneficios relacionados con el amortiguamiento de los procesos erosivos, restablecimiento de regímenes hídricos y de nutrientes, a la vez que obtener la recuperación de la funcionalidad ecosistémica en áreas degradadas en la zona de amortiguación de la Reserva Forestal.

3.7.4. Materiales y métodos

En el Municipio de Andes, vereda Quebrada Arriba, en predio de la finca La Secreta se establecieron 24 parcelas de 22 x 22 m. para un total de 484 m² cada una, correspondientes a ocho tratamientos con tres réplicas respectivamente, distribuidas en el campo al azar, se utilizaron las siguientes 19 especies leñosas, distribuidas en grupos ecológicos de acuerdo a su aparición en el proceso sucesional y a la revisión de sus aspectos autoecológicos, discriminadas, así:

Pioneras: *Albizzia lophanta* (acacia), *Myrica pubescens* (Olivo de cera), *Trema micrantha* (Zurrumbo), *Croton magdalenensis* (drago), *Weinmannia pubescens* (Encenillo), *Miconia theazens* (nigüito), *Guazuma ulmifolia* (guásimo).

Secundarias: *Ilex laurina* (cardenillo), *Schefflera sp.* (pategallina), *Clussia spp* cf *Clussia multiflora* (chagualo), *Viburnum anabaptista* (sauco de monte),

Myrcia popayanensis (arrayán), *Cedrela de montaña* (cedro de montaña), *Eugenia sp.* (cochobo)

Climácicas: *Aniba perutilis* (laurel comino), *Persea spp. Cf Persea caerulea* (aguacatillo), *Quercus humboldtii* (roble), *Decussocarpus rospigliossi* (chaquiro), *Citharexylum montanum* (quimulá). En la Tabla 4 se detallan las especies empleadas en la investigación, de acuerdo a su ubicación en los diferentes grupos ecológicos.

Especie	Familia	Grupo ecológico	Nombre Vulgar
<i>Albizzia lophanta</i>	<i>Mimosoidae</i>	Pionera	Acacia
<i>Myrica pubescens</i>	<i>Myricaceae</i>	Pionera	Olivo de cera
<i>Trema micrantha</i>	<i>Ulmaceae</i>	Pionera	Zurrumbo
<i>Croton magdalenensis</i>	<i>Euphorbiaceae</i>	Pionera	Drago
<i>Weinmannia pubescens</i>	<i>Cunoniaceae</i>	Pionera	Encenillo
<i>Miconia theazens</i>	<i>Melastomataceae</i>	Pionera	Nigüito
<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Sterculiaceae</i>	Pionera	Guásimo
<i>Ilex laurina</i>	<i>Aquifoliaceae</i>	Secundaria	Cardenillo
<i>Schefflera sp.</i>	<i>Araliaceae</i>	Secundaria	Pategallina
<i>Clussia spp cf Clussia multiflora</i>	<i>Guttiferae</i>	Secundaria	Chagualo
<i>Viburnum anabaptista</i>	<i>Caprifoliaceae</i>	Secundaria	Sauco de monte
<i>Myrcia popayanensis</i>	<i>Myrtaceae</i>	Secundaria	Arrayán
<i>Cedrela montana</i>	<i>Meliaceae</i>	Secundaria	Cedro de montaña
<i>Eugenia sp.</i>	<i>Myrtaceae</i>	Secundaria	Cochobo
<i>Aniba perutilis</i>	<i>Lauraceae</i>	Climácicas	Laurel comino
<i>Persea spp. Cf Persea caerulea</i>	<i>Lauraceae</i>	Climácicas	Aguacatillo
<i>Quercus humboldtii</i>	<i>Fagaceae</i>	Climácicas	Roble
<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	<i>Podocarpaceae</i>	Climácicas	Chaquiro
<i>Citharexylum montanum</i>	<i>Verbenaceae</i>	Climácicas	Quimulá

Tabla 4. Especies por grupo ecológico utilizadas en los modelos de Restauración Ecológica, Finca la Secreta, Municipio de Andes, Antioquia, Colombia.

En la Tabla 5 se encuentran especificados los diferentes tratamientos o modelos empleados en la investigación, con la respectiva distancia o método de siembra aplicado. En la metodología se encuentra debidamente explicado el

procedimiento que se siguió en cada uno de los 8 tratamientos y en las 3 réplicas de ellos.

En el anexo 3 se encuentra un consolidado de imágenes donde se tiene una perspectiva panorámica de la zona de estudio, de las parcelas de Restauración Ecológica y de las especies al inicio y al final de la evaluación, objeto del presente trabajo.

Tratamiento	Descripción
1	Grupo de pioneras solas plantadas al cuadro a 2 m x 2 m
2	Mezcla de especies secundarias y climácicas solas, plantadas por el métodos de tresbolillo a 2,8 m , 2,8 m
3	Grupo de especies mezcladas entre climácicas y secundarias, plantadas por el método de tresbolillo a 2,8 m x 2,8 m.
4	Grupo de combinación de especies P-P-S-P-P, plantadas al cuadro a 2 m x 2 m.
5	Grupo de especies mezcladas, P-S-C-P-S-C, plantadas al cuadro a 2 m x 2 m.
6	Grupo de combinación de especies P-P-C-P-P, plantadas al cuadro a 2 m x 2 m.
7	Grupo de mixtura de especies: P-P-S-C-P-P-S-C-P-P, plantadas al cuadro a 2 m x 2 m.
8	Grupo de especies combinadas en forma de rombo, P-P-P/S-P/S/C-S/C-C-S/C-P/S/C-P/S-P-P, plantadas al cuadro a 2 m x 2 m.

Tabla 5. Descripción de los diferentes tratamientos o modelos de Restauración Ecológica, Finca la Secreta, Municipio de Andes, Antioquia, Colombia.

3.7.5. Resultados preliminares

Preliminarmente, para el año 2006 se realizó un análisis de mortalidad acumulada para los diferentes tratamientos que sirvió de base en su momento para la toma de decisiones sobre la continuidad del estudio y para el montaje

de parcelas réplica de Restauración Ecológica en otra área perteneciente también a la zona de amortiguación de la Reserva Forestal Protectora Regional.

De igual manera para ese mismo año se realizó una evaluación de una serie de parámetros que en términos de restauración de los bienes y servicios ecosistémicos sirven de indicativo del avance del proceso sucesional. Entre los parámetros analizados se tuvo el avance de la sucesión en término de facilitación del sitio al establecimiento espontáneo de otras especies propias de la zona, aporte de materia orgánica, aparición de banco de semillas y la presencia de fauna asociada.

3.7.5.1. Mortalidad

El tratamiento 2 presentó la menor mortalidad, con un promedio de 48,47% correspondiente a la mezcla de especies secundarias (S) y climácicas (C), plantadas al tresbolillo. La mayor mortalidad se dio en el tratamiento 1, con un promedio de 83,25%, correspondiente especies pioneras (P) solamente, plantadas en cuadro, lo cual es explicable en razón al ciclo de vida corto característico de ellas.

Un análisis alternativo que puede hacerse al de mortalidad es el de supervivencia, en el cual las especies que mejores resultados presentaron, fueron Quimulá con porcentajes de mortalidad por debajo de 3,5%, Arrayán con 15%, Cochobo 18%, Chaquiro 3,5%, y el Zurrumbo 14%, estas especies en virtud de su grado de adaptabilidad y persistencia son recomendables para implementar en procesos de restauración ecológica, en esta zona y otras que presenten características ambientales similares.

3.7.5.2. Avances de la sucesión secundaria

Durante el proceso de medición se observó regeneración espontánea de algunas especies de los géneros *Elaeagia sp.*, *Ladenbergia sp.*, *Piper sp.*, *Vismia sp.*, *Brunellia sp.*, *Weinmannia sp.*, *Myrsine sp.*, *Croton sp.*; *Ilex sp.*, *Alcornea sp.* y *Saurauia sp.* las cuales son un indicio importante del avance sucesional que se viene dando dentro del proceso de restauración del ensayo (Fig. 9),.



Figura 9. Especies de aparición espontanea en las parcelas de estudio. a. *Ladenbergia sp.*, b. *Myrsine sp.*, c. *Alchornea sp.*

3.7.5.3. Aporte de materia orgánica y banco de semillas

Se evidenció el aporte significativo de hojarasca al suelo en especies como el roble (*Quercus humboldtii*) y el Quimulá (*Citharexylum montanum*) principalmente, presentando un manto de hojarasca que cubría el suelo en el área de influencia de la copa lo cual aunado a la sombra proporcionada por los árboles disminuye la posibilidad de crecimiento de algunas plantas herbáceas invasoras como el helecho marranero (*Pteridium sp.*) y algunas gramíneas (Fig. 10).

Algunas especies como los Encenillos, Dragos y Quimulás, se encontraron en estado reproductivo, por cuanto muchas de sus semillas pasan a ser parte del banco de semillas e incluso a regenerar nuevos individuos, especialmente en especies como el Drago y Encenillo.



Figura 10. Acumulación de materia orgánica y banco de semillas en las parcelas de estudio. a. Hojarasca producida por Roble.; b. Frutos y semillas de

3.7.5.4. Fauna Asociada

En la figura 11, se observa parte de la fauna presente en el ecosistema evaluado, como individuos de Cacique candela (*Hypopyrrhus pyrohypogaster*) visitando árboles de Surrumbo (Fig. 11a), una especie de ave reportada en peligro de extinción en el país.

Además se evidenció la presencia de nidos en algunos de los árboles sembrados y algunos anfibios como el reportado en la Figura 11 b.



Figura 11. Fauna asociada al proceso sucesional. a. Individuo de cacique candela (*Hypopyrrhus pyrohypogaster*); b. Anfibio presente en las parcelas.

Como indicadores de éxito en las actividades de restauración ecológica en el sitio, se evidenció la presencia en las parcelas de algunas especies

importantes de fauna tales como el loro oreji-amarillo, y oso de anteojos; los cuales son propios de ecosistemas maduros pertenecientes a la misma zona de vida.

En general la zona muestra en el sitio de establecimiento de las parcelas una recuperación importante de las características estructurales y funcionales de los ecosistemas propios de alta montaña en la región andina del norte de Colombia.

Las características del dosel se han recuperado alcanzando una altura promedio de 10 a 12 m con algunos individuos dominantes entre 14 y 16 m. Con base en este desarrollo, las características microclimáticas dentro de las parcelas, han experimentado cambios importantes, donde se destaca la poca incidencia de radiación solar en el sotobosque lo cual ha dado como resultado la eliminación de la dominancia del helecho marranero (*Pteridium aquilinum*), del tabaquillo (*Macrocarpaea macrophila*), del yarumo (*Cecropia sp*), manzanillo (*Toxicodendron striatum*); permitiendo el desarrollo de especies nativas tales como siete cueros (*Tibouchina lepidota*), niguito (*Miconia theazens*), guayabo de monte (*Psidium sp*), las cuales acompañan a las especies exitosas resultantes de los modelos de restauración ecológica establecidos. Se detallan en el anexo 1 las características de diámetro y altura para los individuos encontrados en las parcelas de restauración para el año 2014.

Asociado a estos eventos se encuentra una acumulación sustancial de la materia orgánica del suelo, lo cual permite un avance en la recuperación de las características del suelo sometido históricamente a una intensificación de su uso en la agricultura y la ganadería, como se puede observar en la figura 10.

Con base en estos resultados preliminares y con un análisis completo para los diferentes tratamientos y para las especies durante todos los períodos contemplados en la investigación, esto es, años 2000, 2006 y 2014; se elaboró

el protocolo de Restauración Ecológica, propuesto como uno de los objetivos del presente trabajo.

3.8. PROTOCOLO DE RESTAURACION ECOLOGICA PARA BOSQUES ALTOANDINOS DE LA REGION NORTE DE COLOMBIA

3.8.1. Evaluación inicial

Con el objetivo de establecer un Protocolo de Restauración Ecológica para los Bosques Altoandinos de la Región Norte de Colombia, se hizo una revisión completa de los modelos establecidos en el año 1998, evaluadas en los años 2000, 2006 y 2014 en el área de amortiguación de la Reserva Forestal Protectora Regional Farallones del Citará, y en el año 2014 se evaluaron las especies más exitosas en términos de crecimiento diámetro, incremento en altura, menores tasas de mortalidad y mejor adaptación exhibida a las condiciones ambientales de la zona; mostrando en la actualidad una característica definida de estructura, función y servicios ecosistémicos deseables y necesarios en las áreas de esta zona de estudio que actualmente presentan índices avanzados de degradación y por tanto requieren urgentemente acciones encaminadas a su restauración ecológica.

Se muestran a continuación los resultados de las primeras mediciones realizadas en el año 1998 cuyos parámetros evaluados a tener en cuenta se realizaron en el año 2000, ellos fueron: tasas de mortalidad acumulada, incremento en altura, incremento diámetro y adaptación mostrada a las condiciones ambientales del lugar de estudio, para cada uno de los ocho (8) Tratamientos, con sus respectivas repeticiones en cada parcela (P1; P2; P3) así:

TRATAMIENTO 1: zurrumbo 48, Encenillo 48, Nigüito 15, Acacia 31, Guácimo, 7. Para un total de 149 individuos.

Mortalidad Acumulada para cada parcela:

T1-P1: 66,4%

T1-P2: 29,5%

T1-P3: 71%

Lo que indica que la parcela #3. Presentó la tasa más alta de mortalidad (71%). Debido a encontrarse en una zona de alta pendiente que no permitió el establecimiento de los individuos.

TRATAMIENTO 2: el número de individuos por especie para este tratamiento fueron:

Chagualo 14, Aguacatillo 7, Comino 19, Cardenillo 11, Cochobo 11, Arrayan 18, Chaquiro 10, Cedro 18. Para un total de 108 individuos.

Mortalidad Acumulada para cada parcela:

T2-P1: 15%

T2-P2: 25,3%

T2-P3: 28,3%

La distribución en porcentaje para cada especie fue la siguiente:

Aguacatillo: 40%; Comino: 15%; Cochobo: 20%; Chaquiro: 5%; Cedro: 20%; Chagualo: 7%.

TRATAMIENTO 3: el número de individuos por especie para este tratamiento fue:

Aguacatillo 6, Chagualo 17, Pategallina 6, Cochobo 10, Arrayan 25, Quimulá 7, Cedro 8, Roble 9, Cardenillo 5, Comino 16, Chaquiro7, Sauco 5. Para un total de 121 individuos.

Mortalidad Acumulada para cada parcela:

T3-P1: 20,8%

T3-P2: 32,7%

T3-P3:30,6%

En este tratamiento la mayor mortalidad se concentró principalmente en las especies sauco de monte, Pategallina y Aguacatillo.

TRATAMIENTO 4: el número de individuos por especie para este tratamiento fueron:

Surrumbo 42, Encenillo 33, Olivo de cera 5, Nigüito 12, Acacia 26. Para un total de 118 Individuos.

Mortalidad Acumulada para cada parcela:

T4-P1: 49 %

T4-P2: 45.2 %

T4-P3: 60 %

Para este tratamiento se presentó una alta mortalidad concentrada principalmente en Nigüito: 70%, Acacia: 50%; Encenillo: 30% zurrumbo: 30%. La parcela #3 presentó un alto valor de mortalidad por corresponder a una zona de alta pendiente en el terreno donde son mayores las dificultades para restaurar.

TRATAMIENTO 5: el número de individuos por especie para este tratamiento fueron:

Nigüito 5, Encenillo 24, Olivo de cera 30, Surrumbo 18, Acacia 10. Para un total de 87 Individuos.

Mortalidad Acumulada para cada parcela:

T5-P1: 46,9 %

T5-P2: 40 %

T5-P3: 45%

Para este tratamiento la mayor mortalidad en porcentaje la presentó Nigüito: 70%, y el de menor mortalidad acumulada fue Olivo de Cera: 15%.

TRATAMIENTO 6: el número de individuos por especie para este tratamiento fueron:

Acacia 22, Drago 26, Encenillo 30, zurrumbo 38, Nigüito 11, Guácimo 31. Para un total de 158 Individuos.

Mortalidad Acumulada para cada parcela:

T6-P1: 43,3 %

T6-P2: 42,7 %

T6-P3: 35,4 %

La mayor mortalidad en porcentaje por especie fue, Acacia: 60%; y la especie de menor mortalidad fue, Drago: 0%; Encenillo: 40%; Guácimo: 15%; Nigüito: 40%; zurrumbo: 30%.

TRATAMIENTO 7: el número de individuos por especie para este tratamiento fueron:

Acacia 25, Nigüito 20, Surrumbo 20, Encenillo 35, Guácimo 15. Para un total de 115 Individuos.

Mortalidad Acumulada para cada parcela:

T7-P1: 45,3 %

T7-P2: 37,8 %

T7-P3: 52,4 %

Las especies que tuvieron mayor mortalidad en su orden decreciente fueron:

Nigüito: 62%; Guácimo: 60%; Acacia: 50%; Encenillo: 22% y Surrumbo: 15%.

TRATAMIENTO 8: el número de individuos por especie para este tratamiento fueron:

Acacia 27, zurrumbo 45, Guácimo 20, Encenillo 22, Nigüito 13. Para un total de 127 Individuos.

Mortalidad Acumulada para cada parcela:

T8-P1: 29,5 %

T8-P2: 39,3 %

T8-P3: 59,7 %

Por especie, la mayor mortalidad se concentró: Nigüito: 70%; Acacia: 50%; Encenillo: 40%, Guácimo: 30; zurrumbo: 12%.

Se infiere de los anteriores resultados que, para el año 2000, las especies que mostraron menor tasa de mortalidad o mayor tasa de supervivencia fueron

en su orden, de acuerdo con la figura 10, Chaquiro, Olivo de Cera, Quimulá, Arrayan, Chagualo, Comino y Roble.

Para el año 2006 los correspondientes resultados de supervivencia, con base a la figura 10 nos muestra que las especies con menor tasa de mortalidad fueron: Chaquiro, Quimulá, Olivo de Cera, Arrayan y Chagualo.

Los resultados de supervivencia para el año 2014, como se puede observar en la tabla 7, fueron: Olivo de Cera, Arrayán, Chaquiro y Quimulá.

3.8.2. Parámetros de evaluación de los modelos de restauración ecológica finca la secreta.

Conjuntamente con los resultados anteriores y como apoyo fundamental para la elaboración del protocolo recomendado para utilizarse en bosques alto Andinos de la región norte de Colombia, se hicieron una serie de análisis estadísticos utilizando el programa estadístico SAS, calculando diámetros, alturas, Supervivencia, mortalidad, pruebas de medias Tukey y Duncan, para los años 2000, 2006, 2014 respectivamente.

Los resultados obtenidos de acuerdo con estos análisis, fueron:

3.8.2.1 Altura

Para el año 2000 con respecto a las pruebas de altura, se encontró que no hubo diferencias significativas, resultado lógico, debido a que el material vegetal utilizado inicialmente en los modelos de restauración, era completamente homogéneo.

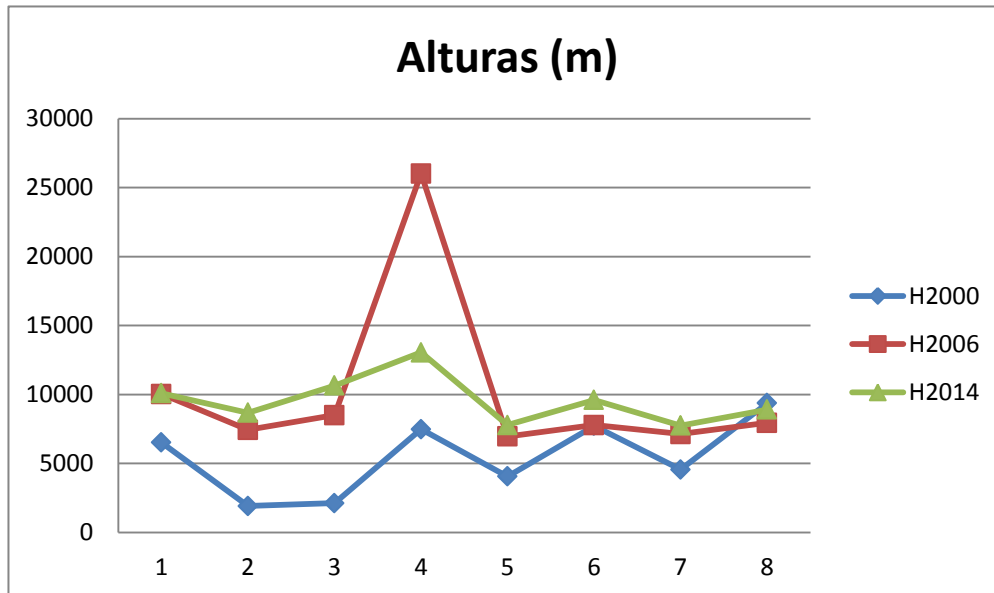


Figura 12. Comportamiento del parámetro altura (m.) para los diferentes tratamientos en las parcelas de Restauración Ecológica.

Para los años 2006 y 2014, con respecto a la variable altura, no se encontraron diferencias significativas, tal como se puede observar en la figura 10. Estos resultados no permiten utilizar esta variable como determinante en la selección de especies o de tratamientos en el diseño del protocolo de Restauración Ecológica.

3.8.2.2. Diámetro

Con respecto al comportamiento de la variable Diámetro para el año 2000, no se encontraron diferencias significativas, debido a la homogeneidad del material utilizado al inicio de la investigación. Para el año 2006 tampoco se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ni en las especies para esta variable. Para el año 2014 a pesar de que tampoco se presentan diferencias significativas, tal como se muestra en la figura 10 para la variable

diámetros, sin embargo los tratamientos 3, 4, 6 y 8 muestran una leve diferencia con respecto a los demás tratamientos.

Al analizar conjuntamente los periodos 2006 y 2014 con respecto al diámetro al aplicar la prueba de Tukey se encontró que los tratamientos 4, 6 y 8 mostraron diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos y al realizar la prueba de medias de Tukey los tratamientos 7, 5 y 1 presentaron los diámetros menos considerables a pesar que dentro de ellos se mostró homogeneidad.

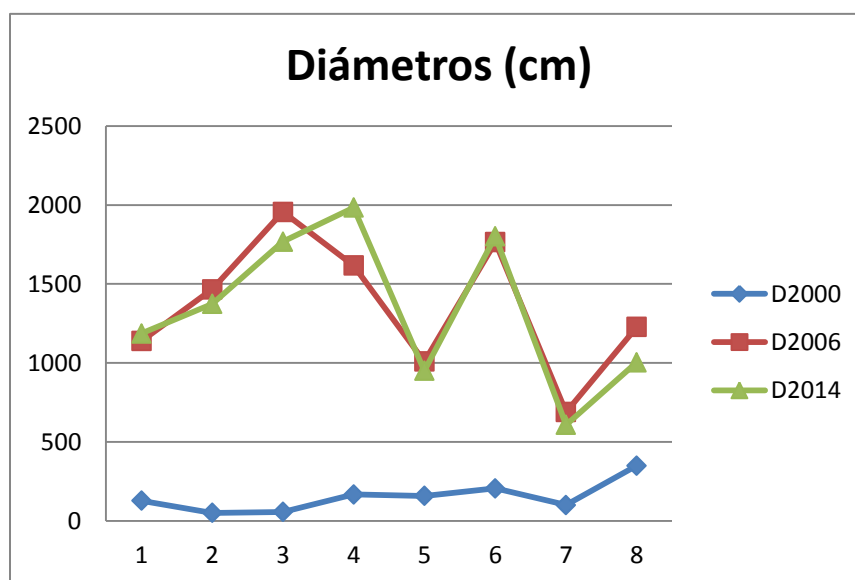


Figura 13. Comportamiento del parámetro diámetro (cm) para los diferentes tratamientos en las parcelas de Restauración Ecológica

3.8.2.3. Supervivencia.

Para evaluar el comportamiento de esta variable se empleó el programa estadístico SAS para las 24 parcelas y se realizaron pruebas de Tukey para evaluar la Supervivencia por especie, arrojando resultados de las mejores especies en porcentaje de Supervivencia, lo cual sirvió como base para la selección de las especies recomendadas en el protocolo de restauración ecológica para la zona de estudio.

Con base en los resultados para el año 2006, en términos de Supervivencia, el tratamiento que mostro mejores resultados en esta variable, fue el tratamiento 2 con el 48,5% de Supervivencia; este tratamiento estaba conformado por la combinación de especies secundarias y climácicas; por el contrario el tratamiento que para este periodo alcanzó un mayor valor de mortalidad fue el tratamiento 1 conformado por especies pioneras solas con un porcentaje del 83,25% resultado que es consistente y sólido, debido a que en estos primeros 8 años muchas de las especies pioneras han cumplido su ciclo de vida, facilitando las condiciones ambientales y el espacio para las especies secundarias y climácicas, cumpliendo de esta manera con el objetivo planteado al inicio de la investigación.

En síntesis, las mejores especies para este periodo con base en los resultados de mortalidad y Supervivencia fueron en su orden:

(Quimulá) *Citharexylum montanum*, del 3,5% de mortalidad

(Chaquiro) *Podocarpus oleifolius*, 3,5% de mortalidad

(Surrumbo) *Trema micrantha*, 14 % de mortalidad

(Arrayán) *Myrcia popayanensis*, 15% de mortalidad

(Cochobo) *Eugenia sp.*, 18% de mortalidad.

Con base en estos resultados, se recomienda para el protocolo de restauración ecológica de los bosques alto Andinos de la región norte de Colombia, el uso de estas especies debido a su alto grado de adaptabilidad y persistencia. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Kiehl *et al.* (2010), en el sentido de que el uso de métodos de restauración similares al proceso natural de sucesión permiten el establecimiento en altos porcentajes de especies objetivo, logrando altos valores de conservación natural, pocos años luego de su introducción, cuando se da un manejo adecuado.

Los resultados consolidados para el año 2014, nos muestran que a lo largo de los años 2000-2006-2014, no se observó un cambio significativo en alturas para los diferentes tratamientos, sin embargo los tratamientos 1,2,6,7 y 8 no presentaron cambios significativos; los tratamientos 3 y 5 mostraron cambios, mas no altamente significativos, mientras que el tratamiento 4 si obtuvo el mayor crecimiento en altura; cabe anotar que el tratamiento 4 consistió en la combinación de especies pioneras y secundarias.

Al analizar la variable Supervivencia se encontró para el año 2000 que, al comparar el comportamiento entre las especies de acuerdo con las pruebas de Tukey, el chaquiro fue significativamente superior a la (Acacia) *Albizzia lophanta*, (Quimulá) *Citharexylum montanum* superior a la Acacia y (Olivo de cera) *Myrica pubescens* superior que la Acacia.

Los resultados evaluados para este periodo en términos de supervivencia mostró que las mejores especies en su orden fueron (Chaquiro) *Podocarpus oleifolius*, (Quimulá) *Citharexylum montanum*, (Olivo de cera) *Myrica pubescens*, (Arrayán) *Myrcia popayanensis*, (Roble) *Quercus humboldtii*, (Chagualo) *Clussia spp cf Clussia multiflora*.

En la Tabla 6 se encuentran los resultados para este período, demostrando claramente que las especies chaquiro, olivo de cera, quimulá, arrayán, chagualo y laurel común, tienen una neta superioridad en esta variable sobre las demás especies.

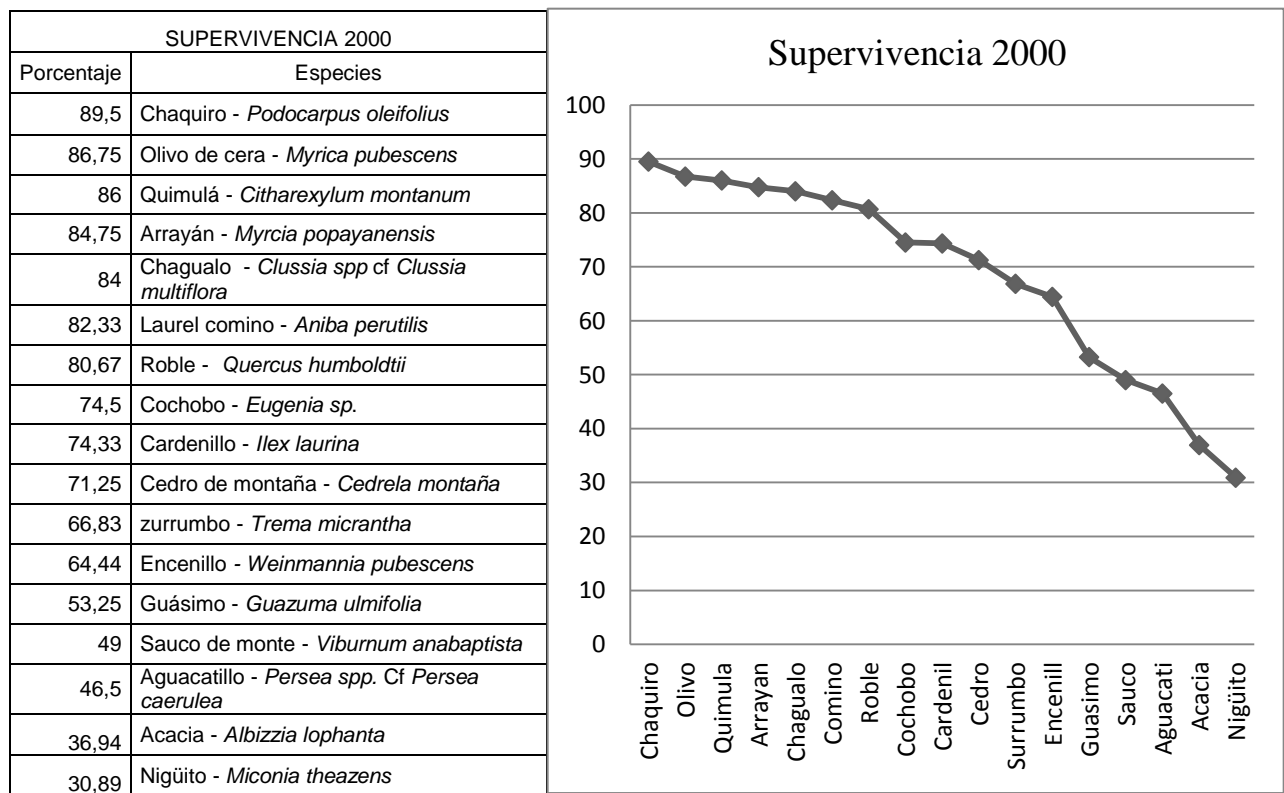


Tabla 6. Supervivencia por especies para el año 2000 en las diferentes parcelas.

Para el periodo 2006 se encontraron diferencias significativas, mediante la prueba de Tukey para las especies (Quimulá) *Citharexylum montanum*, y (Chaquiro) *Podocarpus oleifolius*. Se presentaron diferencias significativa de estas con respecto a (Nigüito) *Miconia theazens*, (Guásimo) *Guazuma ulmifolia* y (Surrumbo) *Trema micrantha*. En la Tabla 7, puede observarse claramente el comportamiento de estas especies en este período.

Se infiere, luego de realizar el análisis de los resultados de Supervivencia para este periodo, que las especies Quimulá, Chaquiro, zurumbo, Cochobo y Arrayán fueron las especies que mejor respuesta presentaron para esta variable y por tanto, deben ser consideradas para la elaboración del protocolo de Restauración.

Por el contrario, especies como acacia, Nigüito y Guásimo, al exhibir tan pobres resultados en términos de Supervivencia para este período, plantean

grandes dudas para su selección en las alternativas para la elaboración del protocolo.

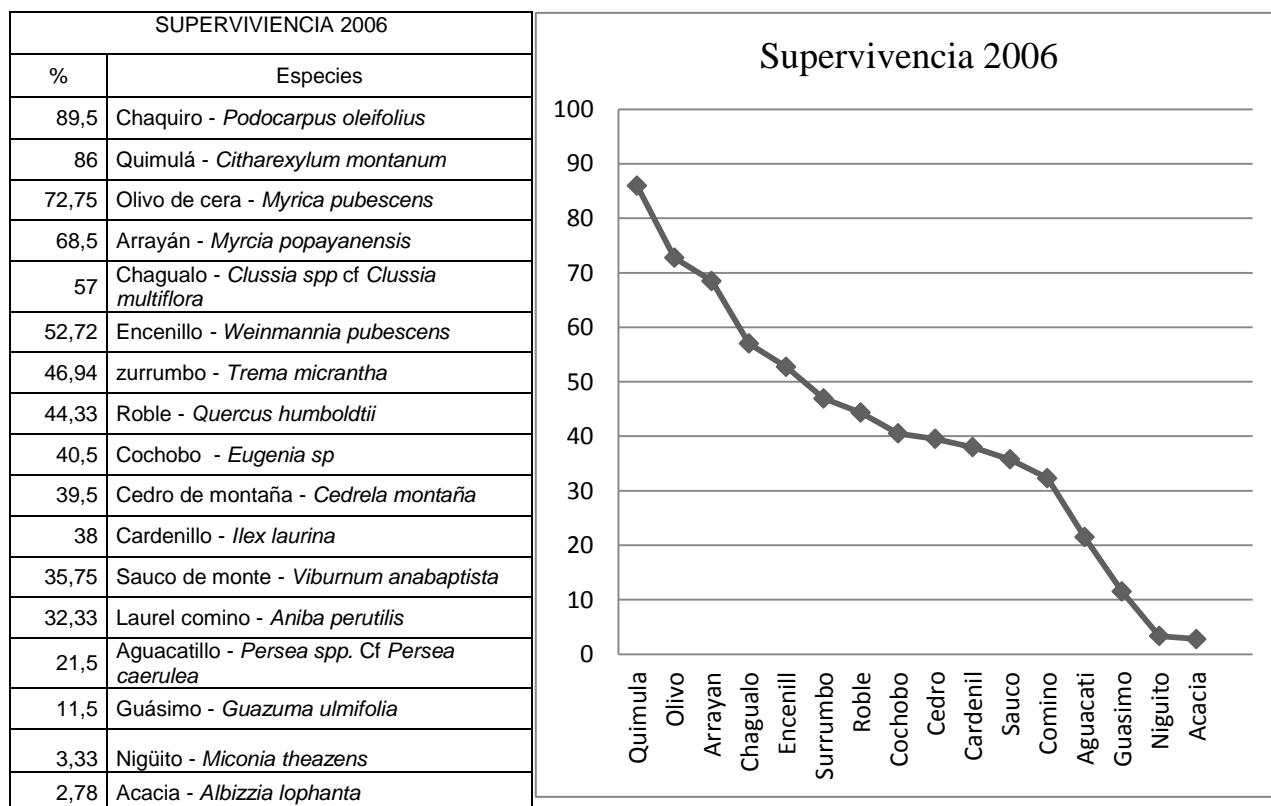


Tabla 7. Supervivencia por especies para el año 2006 en las diferentes parcelas

Los resultados en esta variable para los datos obtenidos en 2014, muestran que las especies con mejores resultados fueron en su orden, Olivo de cera, Arrayán, Chaquiro, Quimulá, Chagualo y Encenillo, sin presentarse diferencias significativas estadísticamente entre ellas.

En la Tabla 8 se encuentran los resultados de supervivencia para el año 2014.

De nuevo, al igual que para el período anterior, se encuentra que las especies acacia, nigüito y guásimo, al presentar los resultados más bajos en Supervivencia, se deben descartar en una posible alternativa dentro del protocolo de Restauración Ecológica para la zona objeto de la presente investigación.

SUPERVIVENCIA 2014	
%	Especies
70,5	Olivo de cera - <i>Myrica pubescens</i>
68,5	Arrayán - <i>Myrcia popayanensis</i>
68,5	Chaquiro - <i>Podocarpus oleifolius</i>
61	Quimulá - <i>Citharexylum montanum</i>
55	Chagualo - <i>Clussia spp cf Clussia multiflora</i>
46,72	Encenillo - <i>Weinmannia pubescens</i>
40,5	Cochobo - <i>Eugenia sp</i>
35,17	zurumbo - <i>Trema micrantha</i>
34,75	Cedro de montaña - <i>Cedrela montaña</i>
33,33	Roble - <i>Quercus humboldtii</i>
33	Sauco de monte - <i>Viburnum anabaptista</i>
31,33	Cardenillo - <i>Ilex laurina</i>
27,33	Laurel comino - <i>Aniba perutilis</i>
17,5	Aguacatillo - <i>Persea spp. Cf Persea caerulea</i>
5	Guásimo - <i>Guazuma ulmifolia</i>
2,39	Nigüito - <i>Miconia theazens</i>
1	Acacia - <i>Albizzia lophanta</i>

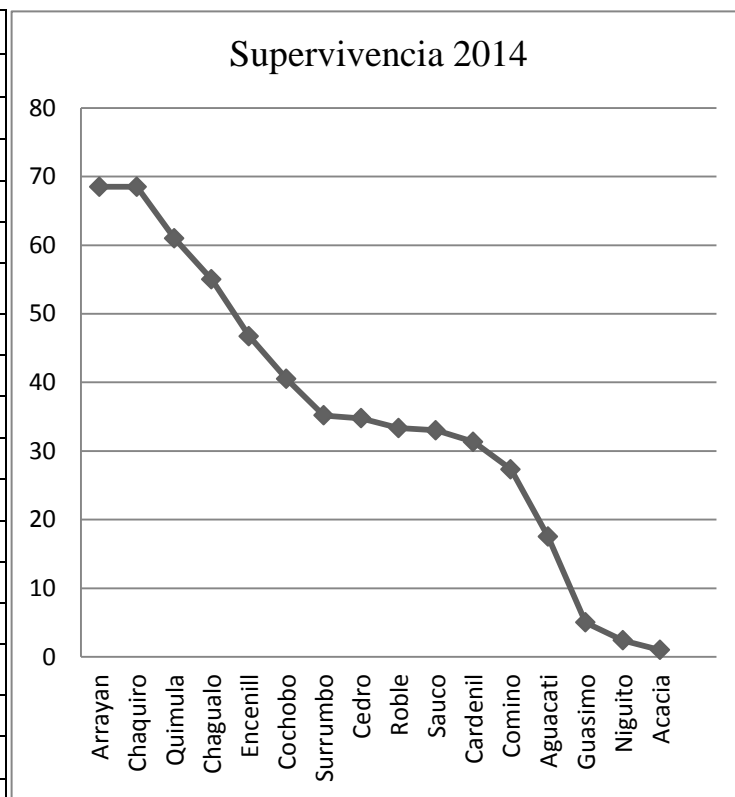


Tabla 8. Supervivencia por especies para el año 2014 en las diferentes parcelas.

3.9. PROTOCOLO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

3.9.1. Selección de especies

Las variables evaluadas con base en el monitoreo realizado a los tratamientos y a las especies a lo largo del tiempo durante los periodos 2000,2006 y 2014 fueron:

Incremento Diamétrico (Diámetro)

Incremento en Altura (Altura)

Supervivencia en porcentaje

Los resultados obtenidos a partir de los análisis estadísticos indican que:

La variable Altura no mostro diferencias significativas para los tres periodos analizados, y solo para el periodo 2006 el tratamiento 4 mostro una leve diferencia significativa.

Para el variable diámetro, en los años 2000 y 2006 no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos; mientras que para el año 2014 los tratamientos 3, 4, 6 y 8 mostraron una leve diferencia significativa.

Al aplicarle la prueba de Tukey al comportamiento de la variable Diámetro de los diferentes tratamientos, se encontró que para los años 2006 y 2014 los tratamientos 4, 6 y 8 tuvieron Diferencias superiores a los demás tratamientos.

En síntesis las variables seleccionadas para la elaboración del protocolo tanto a nivel de especies como la de tratamientos son, en primera instancia, Supervivencia y en segunda instancia el diámetro. Las razones por las cuales se seleccionaron estas variables, tienen que ver con que estas fueron las que permitieron detectar diferencias. La variable altura no se consideró para la elaboración del protocolo debido a que a lo largo de los periodos de tiempo evaluados no mostro diferencias significativas.

De los anteriores resultados y luego de analizar los mejores comportamientos, se puede establecer como base del protocolo que las especies más recomendadas para adelantar tratamientos de Restauración Ecológica en las áreas degradadas de la Zona de Amortiguación de la Reserva Forestal Protectora Regional Farallones del Citará, en particular y en general para las áreas degradadas aledañas a los bosques alto Andinos de la Región Norte de Colombia, son:

Quimulá, *Citharexylum montanum*: Especie ubicada en el grupo ecológico de las climácicas, de acuerdo a su ocurrencia en el proceso sucesional de las comunidades vegetales de la zona.

Chaquiro, *Podocarpus oleifolius*: considerada como perteneciente al grupo ecológico de las climácicas y especie representativa de Colombia por ser considerada como el pino Colombiano.

Arrayán, *Myrcia popayanensis*: Especie Secundaria, según su orden de aparición en el proceso sucesional.

Olivo de cera, *Myrica pubescens*: Catalogada como especie pionera y de gran importancia para utilizarse en programas de Restauración ecológica por su gran valor como especie que provee alimento y refugio para la avifauna de la región.

Cochobo, *Eugenia sp*: Especie ubicada por sus características en el grupo ecológico de las secundarias.

Zurrumbo, *Trema micrantha*: Especie calificada como pionera, importante para iniciar los procesos de Restauración por su gran capacidad de almacenamiento de biomasa, rapidez de crecimiento, adecuando el sitio y facilitando el hábitat para especies de ocurrencia posterior en el proceso sucesional.

Roble, *Quercus humboldtii*: Especie simbólica de los bosques Altoandinos de Colombia que conforma grandes masas homogéneas denominados robledales por su característica dominancia. Calificada por sus características como especie climácica que acumula grandes volúmenes de biomasa, por tanto los servicios ambientales derivados de su uso en programas de Restauración están asegurados.

En el número 2 se encuentran detalladas las principales características botánicas y ecológicas de las especies seleccionadas para emplearse en el Protocolo de Restauración Ecológica.

3.9.2 Especies alternas

Adicional a este primer grupo calificado como especies más importantes a utilizar en programas de restauración, se seleccionó otro grupo de especies alternas que mostraron un comportamiento medio con respecto a las variables evaluadas. Estas especies no pueden ser descartadas de plano y antes por el contrario se pueden tener como alternativas viables en los programas de Restauración.

El grupo de especies alternas lo conforman:

Encenillo, *Weinmannia pubescens*: Especie pionera, representativa de los ecosistemas de altitud en los andes Colombianos.

Cedro, *Cedrela montaña*: Especie secundaria, apetecida por el valor de su madera, por lo cual se puede incluir en programas de Restauración con objetivos múltiples donde el final sea la obtención de madera.

Cardenillo, *Ilex laurina*: Especie ubicada en el grupo de secundarias de acuerdo con su aparición dentro del proceso sucesional.

Comino, *Aniba perutilis*: especie climática de madera muy fina y apetecida por lo cual se encuentra en la lista roja de especies en peligro de extinción. Con esta especie al igual que con el cedro se pueden obtener múltiples propósitos, entre los cuales uno de gran importancia es el de la conservación in-situ.

Chagualo, *Clussia spp cf Clussia multiflora*: especie secundaria.

Sauco, *Viburnum anabaptista*: especie secundaria y representativa de los ecosistemas forestales de la región.

En el anexo 2, se encuentra también la descripción botánica y las principales características de las especies alternativas empleadas en el presente protocolo.

3.9.3. Tratamientos

De igual manera, con base en los resultados obtenidos a lo largo del tiempo durante los períodos 2000, 2006 y 2014, los tratamientos que mostraron una mejor adaptación y comportamiento, fueron en su orden:

Tratamiento 4: Grupo de combinación de especies P-P-S-P-P, plantadas al cuadro a 2 m x 2 m.

Tratamiento 6: Grupo de combinación de especies P-P-C-P-P, plantadas al cuadro a 2 m x 2 m.

Tratamiento 8: Grupo de especies combinadas en forma de rombo, P-P-P/S-P/S/C-S/C-C-S/C-P/S/C-P/S-P-P, plantadas al cuadro a 2 m x 2 m.

3.9.4. Ensamble especies-tratamientos

Al combinar las mejores especies y el arreglo de estas en los tratamientos se presentan varias alternativas a utilizar como protocolo de restauración ecológica en el área de estudio.

Una primera opción siguiendo El arreglo de tratamiento 4 donde pueden emplearse las especies pioneras, Olivo de Cera, Zurrumbo y/ o Encenillo, en combinación con algunas de las especies secundarias como el Arrayan, Cedro, Cardenillo, Chagualo y Sauco; plantadas en cuadro a una distancia de 2 m x 2 m.

La segunda opción consiste en un arreglo de las especies pioneras utilizadas en la primera alternativa (Olivo de Cera, Zurrumbo y/ o Encenillo) en

combinación con las especies climácicas Quimulá, Chaquiro y/o Roble; plantadas en cuadro a una distancia de 2 m x 2 m; de acuerdo con el arreglo planteado en el tratamiento 6.

La tercera opción posibilita la utilización de una gran cantidad de especies pertenecientes a los grupos ecológicos de pioneras, secundarias y climácicas combinadas en forma de rombo, tal como se planteó para el tratamiento 8 evaluado en esta investigación. Las especies pioneras que se pueden seleccionar para este arreglo son: Olivo de Cera, Zurrumbo y Encenillo; las especies secundarias son: Arrayán, Cochobo, Cedro, Cardenillo, Chagualo y Sauco de Monte; y finalmente, las especies climácicas se pueden seleccionar entre: Quimulá, Chaquiro, Roble y Comino. La forma de sembrar las especies de este arreglo conformado por un rombo es al cuadrado a una distancia de 2 m x 2 m.

Los nombres científicos de las especies empleadas en las opciones de protocolo corresponden a las especies mencionadas inicialmente en el esbozo de los tratamientos.

Las alternativas que se plantean en este protocolo deben utilizarse no sólo basándose en la parte experimental, que tiene un alto componente ambiental, sino que debe contemplar otra serie de elementos de tipo social, económico y político, que permitan emprender exitosamente prácticas de restauración que redunden en beneficios para la sociedad.

3.10 CONSIDERACIONES FINALES:

La restauración ecológica con base en la definición de SER (2004) es el proceso de asistir la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido, y su meta u objetivo final es crear un ecosistema que sea autosostenible y resiliente a las perturbaciones sin asistencia ulterior.

De acuerdo con Anam (2005), el costo de conservación de áreas protegidas en Panamá y América Latina, es del orden de \$US 432 por km² en forma pasiva, pero si se implementan objetivos planteados en planes de manejo ese costo se incrementa a \$US 709 por km². En países como en Colombia, estos costos tienden a incrementarse en áreas donde los recursos son limitados y la capacidad institucional es débil, con lo cual, se puede anticipar que en países como Colombia, la pérdida de bosques continuara su avance aun en aquellas áreas protegidas como es el caso de la Reserva Forestal Protectora Regional Farallones del Citará, objeto de esta investigación, si no se toman las medidas correctivas a tiempo.

En la elaboración de un protocolo en España, adelantado por Comín *et al.* (2014), para la Restauración de humedales a nivel de cuenca hidrográfica, se propone que este debe constar de una serie de etapas sucesivas para seleccionar los potenciales sitios de restauración y de diferentes componentes sociales, técnico-científicas y económicos. Estos criterios se consideran básicos y fundamentales para garantizar que las actividades emprendidas en el campo de la Restauración puedan tener mayores probabilidades de alcanzar las metas propuestas en su elaboración.

El protocolo desarrollado en la presente investigación, se puede aplicar en cualquier proyecto que se desarrolle a nivel regional para bosques alto Andinos, tanto a nivel de cuenca hidrográfica, como a nivel de la Reserva Forestal Protectora Regional Farallones Del Citará o en ambiente similares; porque considera todos los potenciales sitios para restaurar y es

suficientemente flexible para incorporar criterios de toma de decisión en cualquiera de sus etapas.

Con una adecuada planificación las actividades de restauración ecológica de bosques alto Andinos en Colombia, puede generar herramientas útiles para el mejoramiento de la calidad de los ecosistemas y por tanto una adecuada provisión de bienes y servicios ambientales necesarios y requeridos por la sociedad.

La restauración ecológica se identifica como una disciplina científica que utiliza los sitios restaurados como ecosistema modelo que permiten clarificar y probar mecanismos ecológicos y de funcionamiento de ecosistemas, lo cual requiere de una cerrada cooperación entre diferentes ramas de conocimiento científico y de la práctica.

El uso de metodologías similares a la restauración natural, esto es, empleando especies propias de la región, conlleva a que se presenten altas tasas de establecimiento de especies objetivo, según el grupo ecológico, que tienen las habilidades de ocupar los sitios degradados sometidos a restauración, con la proyección de que mucho de estos sitios a los cuales se le aplica técnicas de restauración ecológica logren altos valores de conservación natural en pocos años.

Un reto de importancia que se plantea o se presenta en las prácticas de restauración ecológica consiste en identificar las oportunidades presentadas en las proyecciones de los cambios en los usos del suelo, acoplados con prácticas de bajo costo para restaurar terrenos degradados en grandes unidades de paisaje, como se presenta en el área de amortiguación de la reserva Forestal protectora regional Farallones del Citará, objeto de estudio de la presente investigación.

Para la toma de decisiones en restauración ecológica, debe entenderse que el protocolo empleado, debe tener presente no sólo los problemas de restauración como tal, sino que se deben tener prioridades que atender mediante una decisión de objetivos múltiples que permita tener mayores posibilidades de éxito en su ejecución.

La primera tarea a adelantar en un sitio en el cual se van a implementar estrategias de Restauración ecológica consiste en hacer un diagnóstico claro y preciso de las condiciones iniciales del sitio, considerando que cada sitio tiene sus propias características y ha sido sometido a lo largo del tiempo a regímenes de uso diferente al igual que su cercanía o lejanía con respecto a relictos de vegetación que permitan una restauración natural sin necesidad de intervención por parte del hombre. Esto implica que la toma de decisiones sobre cómo actuar en restauración ecológica parte de la certeza del diagnóstico del sitio, lo cual posibilita resultados exitosos de acuerdo a los objetivos múltiples planteados al inicio del proyecto.

Los estudios adelantados en el campo de la Restauración Ecológica en el Colombia son aún muy incipientes, particularmente para ecosistemas de montaña, por tanto se espera que con la consolidación en el tiempo de estas investigaciones, se aporte sustancialmente en el conocimiento no solo de la autoecología de las especies tropicales y autóctonas del país, sino también en dilucidar qué consorcios de especies representan mayores potenciales en la recuperación de áreas degradadas de ecosistemas de alta montaña en nuestro territorio.

A pesar de las dificultades de orden público presentados en el país, se ha podido iniciar experimentalmente en campo investigación en el campo de la Restauración Ecológica con especies agrupadas según su aparición en la dinámica sucesional, lo cual se espera a futuro, aporte conocimiento para

aplicar a mayor escala en proyectos de recomposición de ecosistemas que redunde en beneficios sociales, ambientales y económicos.

Quedan, finalmente, una serie de consideraciones con respecto a los estudios relacionados con la sucesión ecológica y su aplicación práctica en restauración ecológica, que deben servir como elementos de indagación e investigación futura:

Se debe reconocer la importancia del conocimiento de las teorías sucesionales, y con base en este conocimiento poder tener aplicaciones prácticas.

¿Qué papel juega el conocimiento de la Autoecología de las especies? Este es un aspecto fundamental para entender todos los procesos asociados a la dinámica sucesional.

¿Cuál es el papel de los disturbios y perturbaciones en la dinámica de los ecosistemas?

¿Cómo cambia la dinámica trófica durante la sucesión?

¿Cómo cambian los intercambios de energía y agua en ella?

La identificación clara y precisa de las aplicaciones, el beneficio y los métodos en restauración ecológica se constituyen en la base para la elaboración, diseño e implementación de protocolos para el adecuado manejo de los ecosistemas y sus recursos naturales.

Estas consideraciones deben tenerse en cuenta para dar continuidad a investigaciones en Restauración Ecológica, que permitan tener un panorama amplio y completo, para tener mayor certeza en la aplicación de los protocolos y por tanto obtener resultados exitosos que redunden no solo en el mejoramiento de la calidad ambiental sino también de las sociedades humanas que dependen en su calidad de vida de ella.

***DISCUSIÓN GENERAL Y
CONCLUSIONES FINALES***

4.0 DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES FINALES

4.1 DISCUSIÓN GENERAL

Entender los mecanismos ecológicos que conlleva la sucesión ecológica en áreas degradadas por acciones antrópicas es un prerrequisito clave para el diseño de técnicas de restauración de la diversidad biológica y de los procesos ecológicos.

Grandes extensiones de territorio en la región tropical ha sido aclareada y degradada. Lo cual trae como consecuencia la pérdida de diversidad biológica y de los bienes y servicios ecosistémicos, los cuales, en la medida que la degradación se agudice, empuja a los ecosistemas o a las áreas que quedan a una recuperación cada vez más lenta o imposible. Aunque las áreas abandonadas en el trópico no se miran con buenos ojos, cuando se reforesten o restauren proveerán bienes y servicios valiosos para el hombre, en particular para las comunidades locales que se encuentran cerca a las áreas a intervenir.

Los resultados de este estudio, difieren significativamente de lo esperado en cuanto a la riqueza de especies y diversidad en ecosistemas de alta montaña, ya que igualan e incluso superan la riqueza de especies reportada para ecosistemas húmedos de tierras bajas. Cuando se reportan valores de hasta 175 Especies por hectárea en bosques tropicales ubicados a más de 2000 msnm, se plantean interrogantes con respecto a las razones de ello. La más plausible explicación para tan alta riqueza de especies se puede adjudicar a la posición biogeográfica de estos bosques localizados en el puente conector entre América del Sur y América Central, que se caracterizan por un alto endemismo y diversidad (Gentry, 1982, López y Duque, 2010). De hecho, estudios de mamíferos y aves realizados en esta misma zona (Cuadros, 1997) han, a su vez, reportado registros y valores de diversidad en la misma línea de los reportados en este estudio para plantas leñosas.

La dinámica natural de este bosque, según sus tasas de mortalidad y reclutamiento, aunque presentó un incremento neto Poblacional de 0.28% año, se puede considerar incluso como bajo para ecosistemas localizados en zonas de pendientes de hasta 68°. Una mortalidad de individuos de un 0.88% en promedio anual, se encuentra por debajo de la media reportada para bosques tropicales (Condit *et al.*, 2006) y para bosques premontanos para los cuales se reportan valores de 2,3% (Cascante-Marín *et al.*, 2011). De esta manera, los resultados de este estudio, no permiten identificar ningún efecto externo proveniente de la variación climática como determinante de cambios en la densidad y patrón de reclutamiento de individuos arbóreos en este bosque subandino alto.

Las razones para explicar la dinámica reportada, proviene de la posible recuperación del bosque luego de un disturbio natural a escala menor, lo cual no permite inferir efectos de cambio climático en este ecosistema.

En este bosque, la cantidad de biomasa aérea almacenada ($243,44 \pm 9,82$ t/ha) tuvo un comportamiento similar a lo reportado para la diversidad de especies, siendo en términos generales extremadamente alta. Cuando comparamos este valor con el de otros bosques en la misma zona de estudio, se evidencia que el bosque de Los Farallones dobla la biomasa esperada de bosques a una altitud similar (Yepes *et al.*, 2011, com. pers.), aunque asemeja lo reportado para bosques premontanos en la misma cordillera central (Sierra *et al.*, 2007).

Datos recientes de la distribución de la biomasa en Colombia sugieren que los bosques húmedos montanos albergan en promedio por unidad de área una biomasa similar a los bosques húmedos de tierra bajas, lo cual sustenta los registros aquí reportados (Sánchez y Velásquez 1997).

El incremento en biomasa reportado para este bosque (2,9 t/ha/año), dobla en magnitud lo reportado para otros bosques subandinos como por ejemplo el de La Planada y puede considerarse dentro del límite superior reportado para bosques tropicales de tierras bajas, superando en porcentaje (1,2%) casi todos los registros recientes para bosques tropicales (Chave *et al.*, 2008); no obstante, valores similares en incremento de biomasa han sido reportados para bosques amazónicos (Phillips *et al.*, 2004). Sin embargo, aunque según lo observado en el campo este bosque simplemente parece encontrarse en una dinámica de recuperación hacia el equilibrio luego del desplome de grandes árboles en el periodo 1998-2000, el promedio anual del incremento en biomasa reportado (2,9 t/ha/año), resulta totalmente opuesto a la tendencia de la densidad. Bajo este escenario, podría argumentarse que factores externos como el calentamiento global sí podrían estar influenciando el incremento en biomasa de este bosque, lo cual hace este reporte aún más extremo y difícil de explicar por las limitaciones climáticas, topográficas y fisiológicas de las especies para aumentar la capacidad de carga del sistema.

En síntesis, los resultados de este estudio no parecen evidenciar un posible efecto proveniente del calentamiento global sobre la dinámica y capacidad de almacenamiento del carbono de los bosques de alta montaña (Phillips *et al.*, 2004). No obstante, los datos aquí presentados simplemente resaltan el alto desconocimiento que se tiene de éstos ecosistemas del norte de los Andes, los cuales parecen poseer la capacidad de poner a prueba muchos paradigmas de la ecología, aumentando así la incertidumbre acerca de lo que sería su respuesta al cambio climático.

Según este estudio, los bosques montanos de los Andes, podrían incluso servir como refugio de la flora y el carbono, asumiendo eso sí, que debido al área total que cubren, éstos no podrían contrarrestar las pérdidas totales en magnitud que eventualmente sufriera su contraparte de tierras bajas. Las

acciones encaminadas a la conservación y al entendimiento de la dinámica de estos ecosistemas comprenden la declaratoria de la zona como Área de Reserva Natural y al avance de la investigación sobre la autoecología de muchas de las especies encontradas en la zona con el fin de preparar protocolos de Restauración Ecológica en áreas degradadas de la Reserva, que permitan avanzar en el conocimiento de estas prácticas y a su vez posibiliten su conservación y recuperación.

La Reserva Forestal Protectora Regional Farallones del Citará y su zona de transición ambiental se encuentra localizada en la Cordillera Occidental de Colombia en la Región del suroeste de Antioquia, estableciendo límites entre los Departamentos de Antioquia, Chocó y Risaralda por encima de los 2.200 msnm y comprende un área de 30.075 ha y representa uno de los refugios más importantes de flora y fauna silvestres, agua y suelos de la región

Como indicadores de éxito en las actividades de restauración ecológica en el sitio, se evidenció la presencia en las parcelas de algunas especies importantes de fauna tales como el loro orejiamarillo, y oso de anteojos; los cuales son propios de ecosistemas maduros pertenecientes a la misma zona de vida.

En general la zona muestra en el sitio de establecimiento de las parcelas una recuperación importante de las características estructurales y funcionales de los ecosistemas propios de alta montaña en la región andina del norte de Colombia. Las características del dosel se han recuperado alcanzando una altura promedio de 10 a 12 m con algunos individuos dominantes entre 14 y 16 m. Con base en este desarrollo, las características microclimáticas dentro de las parcelas, han experimentado cambios importantes, donde se destaca la poca incidencia de radiación solar en el sotobosque lo cual ha dado como resultado la eliminación de la dominancia del helecho marranero (*Pteridium aquilinum*), del tabaquillo (*Macroparpea macrophila*), del yarumo (*Cecropia*

sp.), manzanillo (*Toxicodendron striatum*); permitiendo el desarrollo de especies nativas tales como siete cueros (*Tibouchina lepidota*), niguito (*Miconia theazens*), guayabo de monte (*Psidium sp.*), las cuales acompañan a las especies exitosas resultantes de los modelos de restauración ecológica establecidos. Se detallan en el anexo 1 las características de diámetro y altura para los individuos encontrados en las parcelas de restauración para el año 2014.

Asociado a estos eventos se encuentra una acumulación sustancial de la materia orgánica del suelo, lo cual permite un avance en la recuperación de las características del suelo sometido históricamente a una intensificación de su uso en la agricultura y la ganadería, como se puede observar en la Tabla.

Durante el proceso de medición se observó regeneración espontánea de algunas especies de los géneros *Elaeagia sp.*, *Ladenbergia sp.*, *Piper sp.*, *Vismia sp.*, *Brunellia sp.*, *Weinmannia sp.*, *Myrsine sp.*, *Croton sp.*; *Ilex sp.*, *Alcornea sp.* Y *Saurauia sp.*; las cuales son un indicio importante del avance sucesional que se viene dando dentro del proceso de restauración del ensayo.

Con base en estos resultados preliminares y con un análisis completo para los diferentes tratamientos y para las especies durante todos los períodos contemplados en la investigación, esto es, años 2000, 2006 y 2014; se elaboró el protocolo de Restauración Ecológica, propuesto como uno de los objetivos del presente trabajo.

Al combinar las mejores especies y el arreglo de estas en los tratamientos se presentan varias alternativas a utilizar como protocolo de restauración ecológica en el área de estudio.

Una primera opción siguiendo El arreglo de tratamiento 4 donde pueden emplearse las especies pioneras, Olivo de Cera, Surrumbo y/ o Encenillo, en combinación con algunas de las especies secundarias como el Arrayan, Cedro,

Cardenillo, Chagualo y Sauco; plantadas en cuadro a una distancia de 2 m x 2 m.

La segunda opción consiste en un arreglo de las especies pioneras utilizadas en la primera alternativa (Olivo de Cera, Surrumbo y/ o Encenillo) en combinación con las especies climácicas Quimulá, Chaquiro y/o Roble; plantadas en cuadro a una distancia de 2 m x 2 m; de acuerdo con el arreglo planteado en el tratamiento 6.

La tercera opción posibilita la utilización de una gran cantidad de especies pertenecientes a los grupos ecológicos de pioneras, secundarias y climácicas combinadas en forma de rombo, tal como se planteó para el tratamiento 8 evaluado en esta investigación. Las especies pioneras que se pueden seleccionar para este arreglo son: Olivo de Cera, Surrumbo y Encenillo; las especies secundarias son: Arrayan, Cochobo, Cedro, Cardenillo, Chagualo y Sauco de Monte; y finalmente, las especies climácicas se pueden seleccionar entre: Quimulá, Chaquiro, Roble y Comino. La forma de sembrar las especies de este arreglo conformado por un rombo es al cuadrado a una distancia de 2 m x 2 m.

Las alternativas que se plantean en este protocolo deben utilizarse no sólo basándose en la parte experimental, que tiene un alto componente ambiental, sino que debe contemplar otra serie de elementos de tipo social, económico y político, que permitan emprender exitosamente prácticas de restauración que redunden en beneficios para la sociedad.

El protocolo desarrollado en la presente investigación, se puede aplicar en cualquier proyecto que se desarrolle a nivel regional para bosques alto Andinos, tanto a nivel de cuenca hidrográfica, como a nivel de la Reserva Forestal Protectora Regional Farallones Del Citará o en ambiente similares; porque considera todos los potenciales sitios para restaurar y es

suficientemente flexible para incorporar criterios de toma de decisión en cualquiera de sus etapas.

Con una adecuada planificación las actividades de restauración ecológica de bosques alto Andinos en Colombia, puede generar herramientas útiles para el mejoramiento de la calidad de los ecosistemas y por tanto una adecuada provisión de bienes y servicios ambientales necesarios y requeridos por la sociedad.

La primera tarea a adelantar en un sitio en el cual se van a implementar estrategias de Restauración ecológica consiste en hacer un diagnóstico claro y preciso de las condiciones iniciales del sitio, considerando que cada sitio tiene sus propias características y ha sido sometido a lo largo del tiempo a regímenes de uso diferente al igual que su cercanía o lejanía con respecto a relictos de vegetación que permitan una restauración natural sin necesidad de intervención por parte del hombre. Esto implica que la toma de decisiones sobre cómo actuar en restauración ecológica parte de la certeza del diagnóstico del sitio, lo cual posibilita resultados exitosos de acuerdo a los objetivos múltiples planteados al inicio del proyecto.

Los estudios adelantados en el campo de la Restauración Ecológica en el Colombia son aún muy incipientes, particularmente para ecosistemas de montaña, por tanto se espera que con la consolidación en el tiempo de estas investigaciones, se aporte sustancialmente en el conocimiento no solo de la autoecología de las especies tropicales y autóctonas del país, sino también en dilucidar qué consorcios de especies representan mayores potenciales en la recuperación de áreas degradadas de ecosistemas de alta montaña en nuestro territorio.

A pesar de las dificultades de orden público presentados en el país, se ha podido iniciar experimentalmente en campo investigación en el campo de la Restauración Ecológica con especies agrupadas según su aparición en la dinámica sucesional, lo cual se espera a futuro, aporte conocimiento para aplicar a mayor escala en proyectos de recomposición de ecosistemas que redunde en beneficios sociales, ambientales y económicos.

4.2 CONCLUSIONES FINALES

La Reserva Forestal Protectora Regional Farallones del Citará y su zona de transición ambiental que se encuentra localizada en la Cordillera Occidental de Colombia en la Región del suroeste de Antioquia, con límites entre los Departamentos de Antioquia, Chocó y Risaralda por encima de los 2.200 msnm y que comprende un área de 30.075 ha, representa uno de los refugios más importantes de flora y fauna silvestres, agua y suelos de la región.

En los bosques remanentes del área, se encontró una biomasa aérea almacenada superior a las 240 t/ha, cifra similar a lo reportado para la diversidad de especies, siendo en términos generales extremadamente alta. Al comparar este valor con el de otros bosques en la misma zona de estudio, se evidencia que el bosque de Los Farallones dobla la biomasa esperada de bosques a una altitud similar, aunque asemeja lo reportado para bosques premontanos en la misma cordillera central.

El incremento en biomasa reportado para este bosque (2,9 t/ha/año), dobla en magnitud a lo encontrado en otros bosques subandinos como por ejemplo el de La Planada y puede considerarse dentro del límite superior reportado para bosques tropicales de tierras bajas, superando en porcentaje (1,2%) casi todos los registros recientes para bosques tropicales.

Los resultados de este estudio no parecen evidenciar un posible efecto proveniente del calentamiento global sobre la dinámica y capacidad de almacenamiento del carbono de los bosques de alta montaña. No obstante, los datos aquí presentados simplemente resaltan el alto desconocimiento que se tiene de estos ecosistemas del norte de los Andes, los cuales parecen poseer la capacidad de poner a prueba muchos paradigmas de la ecología, aumentando así la incertidumbre acerca de lo que sería su respuesta al cambio climático.

Con base en estos resultados preliminares y con un análisis completo para los diferentes tratamientos y para las especies durante todos los períodos contemplados en la investigación, esto es, años 2000, 2006 y 2014; se elaboró el protocolo de Restauración Ecológica, el cual resulta de combinar las mejores especies y el arreglo de éstas en los tratamientos, presentándose varias alternativas a utilizar como protocolo de restauración ecológica en el área de estudio.

Una primera opción la constituye el arreglo del tratamiento 4 donde pueden emplearse las especies pioneras, Olivo de Cera, Surrumbo y/ o Encenillo, en combinación con algunas de las especies secundarias como el Arrayan, Cedro, Cardenillo, Chagualo y Sauco; en un marco de plantación cuadrado a una distancia de 2 m x 2 m.

La segunda opción consiste en un arreglo de las especies pioneras utilizadas en la primera alternativa (Olivo de Cera, Surrumbo y/ o Encenillo) en combinación con las especies climácicas Quimulá, Chaquiro y/o Roble; en un marco de plantación cuadrado a una distancia de 2 m x 2 m; de acuerdo con el arreglo planteado en el tratamiento 6.

La tercera opción posibilita la utilización de una gran cantidad de especies pertenecientes a los grupos ecológicos de pioneras, secundarias y climácicas combinadas en forma de rombo, tal como se planteó para el tratamiento 8 evaluado en esta investigación. Las especies pioneras que se pueden seleccionar para este arreglo son: Olivo de Cera, Surrumbo y Encenillo; las especies secundarias son: Arrayán, Cochobo, Cedro, Cardenillo, Chagualo y Sauco de Monte; y finalmente, las especies climácicas se pueden seleccionar entre: Quimulá, Chaquiro, Roble y Comino. La forma de plantar las especies de este arreglo conformado por un rombo es a una distancia de 2 m x 2 m.

Las alternativas que se plantean en este protocolo deben utilizarse no sólo basándose en la parte experimental, que tiene un alto componente ambiental, sino que debe contemplar otra serie de elementos de tipo social, económico y político, que permitan emprender exitosamente prácticas de restauración que redunden en beneficios para la sociedad.

El protocolo desarrollado en la presente investigación, se puede aplicar en cualquier proyecto que se desarrolle a nivel regional para bosques alto Andinos, tanto a nivel de cuenca hidrográfica, como a nivel de la Reserva Forestal Protectora Regional Farallones Del Citará o en ambiente similares; porque considera todos los potenciales sitios para restaurar y es suficientemente flexible para incorporar criterios de toma de decisión en cualquiera de sus etapas, lo cual debe generar herramientas útiles para el mejoramiento de la calidad de los ecosistemas y por tanto una adecuada provisión de bienes y servicios ambientales necesarios y requeridos por la sociedad.

BIBLIOGRAFÍA

5. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, L., Sanín, D., Alzate, N., Castaño, R., Mancera, S. y , O. González. 2007. Plantas de la región Centro-Sur de Caldas-Colombia.: Manizales. Editorial Universidad de Caldas. 126 p.
- Anam, 2005. Plan de manejo del Parque Nacional Chagres: Documento técnico. Autoridad Nacional del Ambiente, Panamá.165 p.
- Anzola M.A y Y. González. 2003. Incendios: Una amenaza más para los bosques tropicales. Instituto de hidróloga, meteorología y estudios ambientales. Bogotá, Colombia.
- Arango, N., Armenteras, D., Castro, M., Gottsmann, T., Hernandez, O.L., Matallana, C.L., Morales, M., Naranjo, L.G., Rengifo, L.M., Trujillo, A.F., y H. Villarreal. 2003. Vacíos de conservación del sistema de parques nacionales naturales de Colombia desde una perspectiva ecorregional. WWF Colombia, Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 64 p.
- Araujo, N. y I. Esqueree. 2004. Experiencias técnicas en promoción de especies en la conservación de cuencas hidrográficas en Mérida – Venezuela. En: Revista Forestal Latinoamericana No. 35 pp. 63 - 66.
- Aronson, J., Dhillion, J. y E. Floc'h. 1995. On the need to select an ecosystem of reference, however imperfect: a reply to Pickett and Parker. *Restoration Ecology* 3, 1-3.
- Aronson J., Blignaut, J., Milton, S., Le Maitre, D., Esler, K., Limouzin, A., Fontaine, Ch., De Wit, M., Mugido, W., Prinsloo, P., Van der Elst, L y N. Lederer. 2010. Are socioeconomic benefits of restoration adequately quantified? A meta-analysis of recent papers (2000-2008) in *Restoration Ecology and 12 others scientific journals*. *Restoration Ecology* vol. 18, no 2, pp 143 – 154.
- Aronson, J. y S. Alexander. 2013. Ecosystem Restoration is now a global priority: time to roll up our sleeves *Restoration Ecology* vol. 21, No. 3, pp. 293-296.
- Avendaño-Yañez, M., Sánchez, L., Meave, J. y M. Pineda. 2014. Is facilitation a promising strategy for cloud forest restoration? *Forest Ecology and*

Management (2014). Available on line: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2014.01.051>

- Ayyad, M.A., 2003. Case studies in the conservation of biodiversity: degradation and threats. *Journal of arid environments* 54, 165-182.
- Balmford, A., Bruner, A., Cooper, P., Costanza, R., Farber, S., Green, R.S., Jenkins, M., Jefferiss, P., Jessamy, V., Madden, J., Munro, K., Myers, N., Naeem, S., Paavola, J., Rayment, S.G., Sergio Rosendo, M., Roughgarden, J., Trumper, K. y R. K. Turner. 2002. Economic reasons for conserving wild nature. *Science* 297, 950-953.
- Bainbridge, D. A. 2007. *A Guide for Desert and Dryland Restoration: A new hope for Arid Lands*. Society for Ecological Restoration International. Island Press. Washington D. C. USA.
- Barrera-Cataño J. I., C. Valdés-López, 2007. Herramientas para abordar la restauración ecológica de áreas disturbadas en Colombia. *UNIVERSITAS SCIENTIARIUM, Revista de la Facultad de Ciencias Edición especial II*, Vol. 12, 11-24.
- Bennett, A., Haslem, A., Cheal, D., Clarke, M., Jones, R., Koehn, J., Lake, P., Lumsden, L., Lunt, I., Mackey, B., Mac Nally, R., Menkhurst, P., New, T., Newell, G., O'Hara, T., Quinn, J., Radford, J., Robinson, D., Watson, E. y Yen, A. 2009. Ecological processes: a key element in strategies for nature conservation. *Ecological Management and Restoration*. Vol. 10 No. 3. Pp.192-199.
- Bennett, E.M., y P. Balvanera. 2007. The Future of production system in a globalized world. *Frontiers in Ecology and the environment* 5, 191-198.
- Benjumea. 2007. Total carbon stocks in a tropical forest landscape of the Porce region, Colombia. *For. Ecol. Manage.* 243: 299-309.
- Bernal, R., S.R. Gradstein and M. Celis. 2015. *Catálogo de plantas y líquenes de Colombia*. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Catalogoplantascolumbia.unal.edu.co
- Bernal, A. R., B. Werding y S. Zea. 1994. Variación espacial y temporal de biomasa zooplanctónica en el sector nerítico del mar Caribe colombiano. 187-196. En: Campos, N. H. y A. Acero (Eds.) *Contribuciones en ciencias del mar en Colombia Investigación y desarrollo de territorios promisorios*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 262 p.

- BirdLife International y Conservation International. Boyla, K. y A. Estrada. 2005. Áreas importantes para la conservación de las aves en los Andes Tropicales: sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad. BirdLife Conservation Series No. 14, BirdLife International and Conservation International, Quito, Ecuador. Quito, Ecuador: BirdLife International (series de conservación de BirdLife No. 14: 1-9).
- Botero, I. y E. Mancera-Pineda, 1996 Síntesis de los cambios antrópicos ocurridos en los últimos cuarenta años en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. Rev. de la Acad. Col. de Cien. Exac., 20 (78): 465-474 p.
- Buddemeier, R.W., J.A. Kleypas y R.B. Aronson. 2004. Coral reefs and global climate change. Potencial contributions of climate change to stress on coral reef ecosystems. Pew Center on Global Climate Change, Arlington. 44p
- Blangy, S. y H. Mehta. 2006. Ecotourism and ecological restoration, Journal for nature conservation 14. Pp 233 – 236.
- Blaser, J., Sarre, A., Poore, D. y S. Johnson. 2011. Estado de la ordenación de los bosques tropicales 2011. Serie técnica OIMT no 38. Organización Internacional de las Maderas Tropicales, Yokohama, Japón. 393 p.
- Blasco, F. 1984. Climatic factors and the biology of mangrove plants. 18-35. En: Snedaker S.C. y J.G. Snedaker (Eds.). The mangrove ecosystem: research methods. Monographs on Oceanographic Methodology 8. UNESCO, Paris. 251 p.
- Block, W.M., Franklin, A.B., Ward, J.P., y J.L. Gagney. 2001. Design and implementation of monitoring studies to evaluate the success of ecological restoration on wildlife, Restoration Ecology 9, 293-303.
- Brewer, J.S., y T. Menzel. 2009. A method for evaluating outcomes of restoration when no references sites exist. Restoration Ecology vol.17, No. 1, pp 4-11.
- Brown, A.D. y M. Kappelle. 2001. Introducción a los bosques nublados del neotrópico: una síntesis regional, p. 25-40. In M. Kappelle and A.D. Brown (eds.). Bosques nublados del neotrópico. Instituto Nacional de Biodiversidad (INBIO), Santo Domingo de Heredia, Costa Rica.

- Brown, B.E. 1997. Disturbances to reefs in recent times. 354- 379. En: Birkeland, C. (Ed.). Life and death of coral reefs. Chapman and Hall, Nueva York. 536 p.
- Cabrera E., Vargas D. M., Galindo G. García, M.C., Ordoñez, M.F., Vergara, L.K., Pacheco, A.M., Rubiano, J.C. y P. Giraldo. 2011. Memoria técnica de la cuantificación de la deforestación histórica nacional – escalas gruesa y fina. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM. Bogotá D.C., Colombia. 106 p.
- Cantillo, E.E y J.O. Rangel-Ch. 2008. Aspectos de la estructura y del patrón de riqueza de la vegetación del transecto Sumapaz, p. 529-564. In T. Van der Hammen and A. Cleef (eds.). La Cordillera Oriental (Colombia). Transecto Sumapaz. Estudio de ecosistemas TropAndinos-Ecoandes.
- Cárdenas L. y N. Salinas. (eds.). 2007. Libro rojo 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.
- Cascante-Marín, A., Meza, V. y A. Estrada. 2011. Tree turnover in a premontane tropical forest (1998-2009) in Costa Rica. *Plant Ecol.* 212: 1101-1108.
- Cambers, G. (Ed.). 1997. Managing beach resources in the smaller Caribbean islands: Coastal region and small island papers N° 1. UNESCO, Puerto Rico. 269 p.
- Cuatrecasas, J., 1958. Aspectos de la vegetación natural de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Bogotá, 10 (40): 221-26
- Chave, J., R. Condit, H.C. Muller-Landau, S.C. Thomas, P.S. Ashton, S. Bunyavejchewin, L.L. Co, H.S. Datta-rajá, S.J. Davies, S. Esufali, C.E.N. Ewango, K.J. Feeley, R.B. Foster, N. Gunatilleke, S. Gunatilleke, P. Hall, T.B. Hart, C. Hernández, S.P. Hubbell, A. Itoh, S. Kiratiprayoon, J.V. LaFrankie, S.L. de Lao, J.R. Makana, Md.N. upardi Noor, A. Rahman-Kassim, C. Samper, R. Sukumar, H.S. Suresh, S. Tan, J. Thompson, M.D.C. y R. Tongco. 2008. Assessing Evidence for a Pervasive Alteration in Tropical Tree Communities. *PLoS Biology*. Vol: 6 pp: 455-462.

- Chaves, M.E. y M. Santamaría. 2006. Informe nacional sobre el avance en el conocimiento y la información de la biodiversidad 1998-2004. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá D.C., Colombia.
- Clements, F.E., 1928. Plant succession and indicators. Wilson, New York, 453 pp.
- Clements, F.E., 1936. Nature and structure of the climax. *J. Ecol.* 24, 252-284.
- Colwell, R.K., G. Brehm, C.L. Cardelús, A.C. Gilman y J.T. Longino. 2008. Global warming, elevational range shifts, and lowland biotic attrition in the wet tropics. *Science* 322: 258-261.
- Comín, F., Sorando, N., Darwiche-Criado, N., García, M. y A. Masip. 2014. A protocol to prioritize wetland restoration and creation for water quality improvement in agricultural watersheds. *Ecological Engineering* 66(2014) 10-18.
- Condit, R., S.P. Hubbell, J.V. Lafrankie, R. Sukumar, N. Manokaran, R. Foster y P. Ashton. 1996. Species- Area and Species-Individual relationships for tropical trees: A comparison of three 50-ha plots. *J. Ecol.* 4: 549-562.
- Condit, R., S. Aguilar, A. Hernandez, R. Pérez, S.L. de Lao, G. Angehr, S.P. Hubbell y R.B. Foster. 2004a. Tropical Forest dynamics across a rainfall gradient and the impact of an El Niño dry season. *J. Trop. Ecol.* 20: 51-72.
- Condit, R., L. Giles Jr., S.L. de Lao, M.S. Ashton, N.V.L. Brokaw, R. Bunyavejchwin, G.B. Chuyong, L.L. Co, H.S. Dattaraja, S.J. Davies, S. Esufali, C.E.N. Ewango, R.B. Foster, N. Gunatilleke, S. Gunatilleke, T.H. Hart, C. Hernández, S.P. Hubbell, A. Itoh, R. John, M. Kanzaki, D. Kenfack, S. Kiratiprayoon, J.V. LaFrankie, H.S. Lee, I. Liengola, J.R. Makana, N. Manokaran, M. Navarette Hernandez, T. Ohkugo, R. Pérez, N. Pongpattananurak, C. Samper, K. Sri-nger-nyuang, R. Sukumar, I.F. Fun, H.S. Sureh, S. Tan, D.W. Thomas, J.D. Thompson, M.I. Vallejo, G.V. Muñoz, R. Valencia, T. Yamakura y J. K. Zimmer-man. 2004b. Species-area relationships and diversity measures in the forest dynamics plots, p. 79-89. In E.C. Losos y E.G. Leigh (eds.). *Tropical forest diversity and dynamism: Findings from a large-scale plot network*. University of Chicago, Chicago, EEUU.
- Condit, R., P. Ashton, S. Bunyavejchewin, H. Dattaraja, S. Davies, S. Esufali, C. Ewango, R. Foster, I. Gunati-illeke, C. Gunatilleke, P. Hall, K. Harms, T.

- Hart, C. Hernandez, S. Hubbell, A. Itoh, S. Kiratiprayoon, J. Lafrankie, S.L. de Lao, M. Loo, N. Jean-Remy, K.M.D. Nur Supardi, R. Abdul, S. Russo, R. Suku-mar, C. Samper, H. Suresh, S. Tan, T.S. Homas, R. Valencia, M. Vallejo, G. Villa y T. Zillio. 2006. The importance of demographic niches to tree diversity. *Science* 313: 98-101.
- Constanza, R., y H.E. Daly. 1992. Natural capital and sustainable development. *Conservation Biology* 6. 37-46.
- Cuadros, T. 1997. Aspectos faunísticos. Reserva natural Farallones del Citará, p. 129-145. In *Estudios biofísicos y socioeconómicos. Informe técnico.* Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Colombia.
- Der Veen, A., Groorjans, A.P., 1997. Reconstruction of an interrupted primary beach plain succession using a GIS. *J. Coastal Conserv.* 3, 71-78.
- Díaz, Piedrahíta, S. 1998. El medio ambiente colombiano y los cultivos ilícitos. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* XXII (83): 174-186.
- Dolle, M., Schmidt, W., 2007. Changes in plant species diversity during thirty-six years of undisturbed old-field succession. *Allgemeine Forst Jagdzeitung* 178, 225-232.
- Duraiappah, A.K., 1998. Poverty and environmental degradation: a review and analysis of the nexus. *World development* 26, 2169-2179.
- DNE, Departamento Nacional de Estupefacientes. 2007. Informe Anual.
- Eggleston, H.S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara y K. Tanabe. 2006. IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. National greenhouse gas inventories program, IGES, Japón.
- Emilsson, T., 2008. Vegetation development on extensive vegetated green roofs: influence of substrate Composition, establishment method and species mix. *Ecol. Eng.* 33, 265-277.
- Espinal LS, Montenegro E. 1963. Bosque seco tropical. Pp. 22-67. En: Espinal LS (ed.). *Formaciones vegetales de Colombia.* Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia.
- Espinal, L.S., J. Tosi, E. Montenegro, G. Toro y D. Diazgranados. 1977. Mapa ecológico de Colombia, p. 201. Planchas 1:500.000 (21 planchas). Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia.
- Etter, A. 1998. Mapa General de Ecosistemas de Colombia. En: Chaves y Arango (1998)

- Etter A. 1998. Mapa general de ecosistemas de Colombia. En: Chaves. M. E. y Arango N. (Eds.). 1998. Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad – Colombia. Tomo I. Causas de pérdida de la biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, PNUMA y Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá, D. C., Colombia.
- Etter, A. y W. van Wyngaarden 2000. Patterns of landscape transformation in Colombia, with emphasis in the Andean Region. *Ambio* 29(7): 443-450.
- European communities. 2008. The economics of ecosystems and biodiversity: an interim report. Brussels, Belgium.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2000. Global forest resources assessment. FAO Forestry Paper 140. Rome.
- FAO. 2005. Global Forest Resources Assessment 2005. Progress towards sustainable forest management. FAO Forestry Paper No. 147. Rome. www.fao.org/docrep/008/a0400e/a0400e00.htm.
- FAO. 2010. Global Forest Resources Assessment 2010 – main report. FAO Forestry Paper No. 163. Rome. www.fao.org/docrep/013/i1757e/i1757e00.htm
- FAO. 2012. State of the world's forests 2012. Food and agriculture organization of the United Nations. Rome, 60 p. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2012
- FRA 2010, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Departamento Forestal. Evaluación de los recursos Forestales mundiales 2010 Informe nacional.
- Gardner, T.A., I.M. Côté, J.A. Gill, A. Grant y A.R. Watkinson. 2005. Hurricanes and Caribbean coral reefs: impacts, recovery patterns, and role in long-term decline. *Ecology*, 86 (1): 174- 184.
- Galvanek, D., y Leps, J., 2008. Changes of species richness pattern in mountain grass-land: abandonment versus restoration. *Biodivers. Conserve.* 17, 3241-3253.
- Geerken, R., y M. Ilawi. 2004. Assessment of rangeland degradation and development of a strategy for rehabilitation. *Remote sensing of environment* 90, 490-504.

- Geister, J. 1992. Modern reef development and Cenozoic evolution of an oceanic island/reef complex: Isla de Providencia (Western Caribbean Sea, Colombia). *Facies*, 27:1-70
- Gentry, A.H. 1982. Patterns of neotropical plant species diversity, p. 1-84. In M.K. Hecht, B. Wallace and E.T. Prance (eds.). *Evolutionary biology*, Plenum, Nueva York, EEUU.
- Gentry, A.H. 1995. Patterns of diversity and floristic composition in Neotropical Montane Forests, p. 103-126. In S. Churchill, H. Balslev, E. Forero and J. Luteyn (eds.). *Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests*. The New York Botanical Garden, Bronx, EEUU.
- Gerwing, J.J. 2002. Degradation of forests through logging and fire in the eastern Brazilian Amazon. *For. Ecol. Manage.* 157: 131-141.
- Giraldo, D. 2001. Análisis florístico y fitogeográfico de un bosque secundario pluvial Andino, cordillera Central (Antioquia, Colombia). *Darwiniana* 39(3-4): 187-199.
- Goorrod, E.J, y Keith, D., 2009. Observer variation in field assessment of vegetation condition: Implications for biodiversity conservation. *Ecological management and restoration* vol 10 No 1. Pp 31 -40.
- Guariguata, Manuel R. (ed.), Kattan, Gustavo H. (ed.) 2002. *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. 1º Edición, Ediciones LUR. Cartago.
- Guevara O. 2002. Deforestación y medio ambiente en Colombia. En: *Economía colombiana y coyuntura política*. Revista de la Contraloría General de la República. Junio de 2002 - Edición 290.
- Guevara, O. 2002. Deforestación y medio ambiente en Colombia. *Economía colombiana y coyuntura política*. Revista de la Contraloría General de la República. Junio 2001- Edición 291.
- Hernández-Camacho, J., y H. Sánchez-Páez. 1992. Biomas terrestres de Colombia. pp. 153-173 en: G. Halffter (editor). 1992. *La diversidad biológica iberoamericana I*. Acta Zoológica Mexicana, México. 390 pp. + 3 mapas. ISBN 968-7213-31-0.
- Homeier, J., S.W. Breckle, S. Gunter, R.T. Rollenbeck y C. Leuschner. 2010. Tree diversity, forest structure and productivity along altitudinal and topographical gradients in a species-rich Ecuadorian montane rain forest. *Biotropica* 42: 140-148.

- Hughes, T.P. 1994. Catastrophes, phase shifts, and large-scale degradation of a Caribbean coral reef. *Science*, 265: 1547-1551.
- Idárraga, A., Ortiz, R., Callejas, R. y Merello, M. (eds.). 2011. *Fl. Antioquia: Cat. 2: 9–939*. Universidad de Antioquia, Medellín. 145 p.
- IDEAM. 2002. *Páramos y ecosistemas Alto Andinos de Colombia en condición HotSpot and Global Climatic Tensor*. Cali: Banco de Occidente. 26 p.
- IDEAM, IGAC, IAVH, INVEMAR, I. Sinchi e liap. 2007. *Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico John von Neumann, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andreis e Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Bogotá, D. C, 276 p. + 37 hojas cartográficas.
- IDEAM. 2010, *Resumen ejecutivo de la memoria técnica de la cuantificación de la deforestación histórica para Colombia*, Bogotá. 17 p.
- IDEAM. 2013. Dorado, J. y Ruíz, J. *Manual de usuario Apply Kalman Filter Linux*. Grupo de Modelamiento de Tiempo y Clima. Subdirección de Meteorología. IDEAM 2013.
- (IAvH). 2014. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Cabrera, M. y Ramirez, W. (Eds). *Restauración ecológica de los páramos de Colombia. Transformación y herramientas para su conservación*. Bogotá, D.C. Colombia. 296 pp.
- IGAC *et al.*, 1984. *Bosques de Colombia*. Bogotá D.E., Colombia. 206 p.
- IGAC, INDERENA, CONIF. 1984. *Bosques de Colombia. Memoria Explicativa*. Bogotá, D.C.
- IGAC, INDERENA Y CONIF. 1984. *Mapa de bosques de Colombia memoria explicativa*. Bogotá, D. C., Colombia. Instituto Colombiano de Desarrollo Rural-INCODER and Corporación Colombia Internacional-CCI 2008. *Pesca y acuicultura, Colombia*. 70 p. “Informe Técnico Regional Cuencas del Magdalena, Sinú y Atrato”
- IGAC. 1991. *Meta: Características geográficas*. Bogotá, D.C.
- IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corpoica – Corporación colombiana de investigación agropecuaria. 2002b. *Vocación actual del*

uso de la tierra en Colombia. Volumen 3. Subdirección de agrología, IGAC. Subdirección de investigación en sistemas de producción, Corpoica. Bogotá, Colombia.

IDEAM, IGAC, IAVH, INVEMAR, I. SINCHI e IIAP. 2007. Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. . Bogota, D. C,276 p. + 37 hojas cartograficas.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Online at: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>

Jordan, W.R., Gilpin M.E. y J.D. Albert. 1987. Restoration ecology: a synthetic approach to ecological research. Cambridge University press, Cambridge, United Kingdom.

Kellomaki, S., H. Peltola, T. Nuutinen, K.T. Korhonen y H. Strandman. 2008. Sensitivity of managed boreal forests in Finland to climate change, with implications for adaptive management. *Phil. Trans. Roy. Soc. B*: 363: 2341-2351.

Kiehl, K., Kirmer, A., Donath, T., Rasran, L. y Hözel, N. 2010. Species introduction in restoration projects-evaluation of different techniques for the establishment of semi-natural grasslands in Central and Northwestern Europe. *Basic and Applied Ecology* 11(2010)285-299.

Kline, V.M. 1997. Planning a restoration. S. Packard and C.F Mutel, editors. *The tallgrass restoration handbook for prairies, Savannas, and woodlands*. Island press, Washington D.C, Pages 31-46.

Laliberte, A.C., y S. Payette. 2008. Primary succession of subartic vegetation and soil on the fast-rising coast of eastern Hudson Bay, Canada. *J. Biogeogr.* 35, 1989-1999.

Law, B.E. Falge, E.; Gu, L.; Baldocchi, D. D.; Bakwin, P.; Berbigier, P.; Davis, K.; Dolman, A. J.; Falk, M.; Fuentes, J. D.; Goldstein, A.; Granier, A.; Grelle, A.; Hollinger, D.; Janssens, I. A.; Jarvis, P.; Jensen, N. O.; Katul, G.; Mahli, Y.; Matteucci, G.; Meyers, T.; Monson, R.; Munger, W.; Oechel, W.; Olson, R.; Pilegaard, K. Paw K.T., Thorgeirsson H., Valentini R., Verma S., Vesala T., Wilson K. y S. Wofsy. 2002. Environmental controls over carbon dioxide and water vapour exchange of terrestrial vegetation. *Agric For Meteor* 113: 97-120.

- Laurance, H.E.M. Nascimento, W. Palacios, S. Patiño, N. Pitman, J. Olivier, C.A. Quesada, M. Saldias, A. Torres-Lezama y B. Vinceti. 2004. Pattern and process in Amazon tree turnover, 1976-2001. *Philos. Trans. R. Soc., B.* 359: 381-407.
- Leendertse, P.C., 1997. Long-term changes (1953-1990) in the salt marsh vegetation at the Boshplaat on Terschelling in relation to sedimentation and flooding. *Plant Ecol.* 132, 49-58.
- López-Victoria, M. y S. Zea. 2004. Storm-mediated coral colonization by annexing excavating Caribbean sponge. *Clim. Res.*, 26: 251-256.
- López, Victoria, M. y S. Zea. 2005. Current trends of space occupation by encrusting excavating sponges on Colombian coral reefs. *Mar. Ecol.*, 26:36-41.
- López, W. y A.J. Duque. 2010. Patrones de diversidad alfa en tres fragmentos de bosques montanos en la región norte de los Andes, Colombia. *Rev. Biol. Trop.* 58: 483-498.
- Lozano-Zambrano, F.H. (eds.). 2009. Herramientas de manejo para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). Bogotá, D. C., Colombia. 238 pp.
- Luteyn, J. 1999. Páramos, a checklist of plant diversity, geographical distribution, and botanical literature. *Mem. New York Bot. Gard.* 84: viii–xv, 1–278.
- MA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. Ecosystems and human well-being: Multiscale assessments, vol 4. Synthesis report series. Island Press, Washington D.C, 28-30.
- MADS. 2012. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Informe del estado de los Recursos Naturales y del Ambiente 2012-2013. Contraloría General de la República de Colombia. 412 p.
- MAVDT, 2010. Documento propuesta para el ajuste de la política de Biodiversidad.
- Mahiri, I., y C. Howorth., 2001. Twenty years of resolving the irresolvable: approaches to the fuelwood problem in Kenya. *Land Degradation and Development* 12, 205-215.

- Malhi, Y., L.E.O.C. Aragão, D. Galbraith, C. Huntingford, R. Fisher, P. Zelazowski, S. Sitch, C. McSweeney y P. Meir. 2009. Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest. Proc. Nat. Acad. Sci. USA: online at: <http://www.pnas.org/content/early/2009/02/12/0804619106.full.pdf+html?sid=3978df7-646f-4d85-a9b8-e373ca183a9c>
- Marín, A. 1998. Ecología y silvicultura de las podocarpaceas andinas de Colombia. Smurfit Cartón de Colombia. 62p.
- Márquez, G. 1987. Las Islas de Providencia y Santa Catalina, Ecología Regional. Fondo FEN Colombia- Univ. Nacional de Colombia. Bogotá. 110 pp.
- Márquez, G. 2003. Colombia: un país irrepetible. Introducción a los ecosistemas tropicales. Universidad Nacional de Colombia - Instituto de Estudios Ambientales y Departamento de Biología. CD-ROM.
- McCain, C.M. 2004. The mid-domain effect applied to elevational gradients: species richness of small mammals in Costa Rica. J. Biogeogr. 31: 19-31.
- Mc Donald, T. 2010. Restoration and rehabilitation start with stopping the damage. Ecological management and restoration vol 11 No 1.
- Mendez-Larios, I., Lira, R y Godinez-Alvarez, H. 2006. Proposal for the establishment of the core zones in the biosphere reserve of Tehuacan-Cuicatlan, Mexico. Biodiversity and Conservation 15, 1627-1659.
- Middleton E., Bever, J. y P. Schultz. 2010. The effect of restoration methods on the quality of the restoration and resistance to invasion by exotics. Restoration Ecology Vol. 18, No 2. Pp 181-187.
- Minambiente 2013. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. República de Colombia. Plan nacional de Restauración. Restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas. 29 p.
- Muller, C. 1960. Flora of Panama, Part IV. Fascicle 2. Fagaceae. Ann. Missouri Bot. Gard. 47(2): 95–104.
- Muñoz. J. y Luna, C. 1999. Guía para el cultivo, aprovechamiento y conservación del laurel de cera (*Myrica pubecens* H.and.B. ex Willdenow). Convenio Andrés Bello. Serie Ciencia y Tecnología, No 73, Santafé de Bogotá, 48 p. ISBN 958-9089-52-6.

- Myers, N., R.A. Mittermeier, C.G. Mittermeier, G.A.B. da Fonseca y J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Olesen, J.E., T.R. Carter, C.H. Az-Ambrona, S. Fronzek, T. Heidmann, T. Hickler, T. Holt, M. Quemeda, M. Ruiz-Ramos, G.H. Rubeak, F. Sau, B. Smith y M.T. Sykes. 2007. Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and terrestrial ecosystems. *Climatic Change* 81: 123-143.
- Orsi, F., y D. Geneletti. 2010. Identifying priority areas for forest landscape restoration in Chiapas (Mexico): an operational approach combining ecological and socioeconomic criteria. *Landscape and urban Planning*, 94, 20-30.
- Palmer, M.A. Ambrose R.F. y LeRoy Poff, N. 1997. Ecological theory and community restoration ecology. *Restoration Ecology* 5, 75-79.
- Parra, N. 1997. Geología y geomorfología de los Farallones del Citará, p. 64-86. In *Estudios biofísicos y socioeconómicos. Informe técnico*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Colombia.
- Posada, B. y W. Henao. 2008. Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano. Serie de Publicaciones Especiales del Inveemar No. 13, Santa Marta. 124 p.
- Pickett, S.T.A., and V.T. Parker. 1994. Avoiding the old pitfalls: opportunities in a new discipline. *Restoration Ecology* 2, 75-79.
- Phillips, O.L. 1997. The changing ecology of tropical forests. *Biodiversity and Cons.* 6: 291-311.
- Phillips, O.L., Y. Malhi, N. Higuchi, W.F. Laurence, P.V. Núñez, R.M. Vásquez, S.G. Laurence, L.V. Ferreira, M. Stern, S. Brown y J. Grace. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forests: evidence from long-term plots. *Science* 282: 439-442.
- Phillips, O.L., S.L. Lewis, T.R. Baker, K.J. Chao y N. Higuchi. 2008. The changing Amazon forest. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 363: 1819–1827.
- Phillips, O.L., L. Aragão y S. Lewis. 2009. Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest. *Science* 323: 1344-1347.

- Prahl, H. von, J. R. Cantera y R. Contreras. 1990. Manglares y hombres del Pacífico colombiano. Fondo FEN Colombia. Editorial Presencia, Santafé de Bogotá, 193 p.
- Quijas, S., Schmid, B. y P. Balvanera. 2010. Plant diversity enhances provision of ecosystem services: A new synthesis. *Basic and Applied Ecology* 11(2010) 582-593.
- Rangel, Ch., J.O., P. Lowy, c. y M. Aguilar, P., 1997, "La distribución de los tipos de vegetación en las regiones naturales de Colombia", en J.O. Rangel-Ch., P. Lowy-C. and M. Aguilar-P., *Colombia Diversidad Biótica, II*, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia and IDeam: 383-403 pp., Santafé de Bogotá.
- Rangel-Ch, J.O., A.M. Cleef, S. Salamanca y C. Ariza. 2005. La vegetación de los bosques y selvas del Tatamá, p. 459-643. In: T. Van der Hammen, J.O. Rangel-Ch and A.M. Cleef (Eds.). *La Cordillera Occidental colombiana - Transecto de Tatamá. Estudios de Ecosistemas TropAndinos*, J. Cramer, Berlin-Stuttgart, Alemania.
- Rey Benayas, J.M., Newton, A.C., Diaz, A., y J. M. Bullock. 2009. Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: a meta-analysis. *Science* 325, 1121-1124.
- Richter, M. 2008. Tropical mountain forest distribution and general features. En: S.R. Grandstein, J. Homeier y D. Gansert (eds.). *The tropical montane forest. patterns and processes in a biodiversity hotspot*. Göttingen: Göttingen Centre for Biodiversity and Ecology, pp. 7-24.
- Rodríguez, Ramírez, A. y J. Garzón-Ferreira. 2003. Monitoreo de arrecifes coralinos, pastos marinos y manglares en la Bahía de Chengue (Caribe colombiano): 1993-1999. INVEMAR, Santa Marta. 170 p.
- Rodríguez, M., y B. Van Hoof. 2004. Desempeño ambiental del sector palmero en Colombia. Bogotá: Fedepalma. 157p.
- Rodríguez, N., D. Armenteras, M. Morales y M. Romero. 2004. Ecosistemas de los Andes Colombianos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia.
- Rogers, C.S., L.N. McClain y C.R. Tobias. 1991. Effects of Hurricane Hugo (1989) on a coral reef in St. John, USVI. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 78: 189-199.

- Rogers, C.S. 1993. Hurricanes and coral reefs: the intermediate disturbance hypothesis revisited. *Coral Reefs*, 12: 127-137.
- Rogers, C.S., V. Garrison y R. Grober-Dunsmore. 1997. A fishy story about hurricanes and herbivory: seven years of research on a reef in St. John, U.S. Virgin Islands. *Proc. 8th Int. Coral Reef Symp.*, 1: 555-560
- Romero M.H., J.A. Maldonado-Ocampo, J.D. Bogotá-Gregory, J.S. Usma, A.M. Umaña-Villaveces, J.I. Murillo, S. RestrepoCalle, M. Álvarez, M.T. Palacios-Lozano, M.S. Valbuena, S.L. Mejía, J. Aldana-Domínguez, y E. Payán (2009) Informe sobre el estado de la biodiversidad en Colombia 2007- 2008: piedemonte orinoquense, sabanas y bosques asociados al norte del río Guaviare. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá D.C., Colombia. 151pp.
- Rosenzweig, M.L. 1995. *Species diversity in space and time*. Cambridge University, Cambridge, United Kingdom.
- Ross, M.S., P.L. Ruiz, G.J. Telesnicki y J.F. Meeder. 2001. Estimating above-ground biomass and production in mangrove communities of Biscayne National Park, Florida (U.S.A.). *Wetlands Ecol. Manag.*, 9: 27–37.
- Roth, L. C. 1997. Implications of periodic hurricane disturbance for the sustainable management of Caribbean mangroves. 18-34. En: Kjerfve, B., L.D. de Lacerda y E.H.S. Diop (Eds.). *Mangrove ecosystem studies in Latin America and Africa*. UNESCO, Paris. 349 p.
- Ruiz-Jaen, M. y M. Aide. 2005. Restoration success: how is it being measured? *Restoration Ecology* vol. 13, No. 3, pp. 569-577.
- Ruokolainen, K., H. Tuomisto, J. Vormisto y N. Pitman. 2002. Two biases in estimating range sizes of Amazonian plant species. *J. Trop. Ecol.* 18: 935-942.
- Salazar-Vallejo, S.I. 2002. Huracanes y biodiversidad costera tropical. *Rev. Biol. Trop.*, 50 (2): 415-428.
- Sánchez, D. y O. Velásquez. 1997 a. Estudios de la diversidad florística de la región de los Farallones del Citará (Chocó Biogeográfico) Municipio de Betania-Antioquia. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología. Parte de: Informe convenio interadministrativo 117/95 Universidad Nacional-Corantioquia. Tomo II. 283 p.

- Sánchez, D. y J.O. Velásquez, J. O. 1997 b. Vegetación y ecología de los Farallones del Citará, p. 101-128. In Estudios biofísicos y socioeconómicos. Informe técnico. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Colombia.
- Sánchez, G. 2002. Desarrollo y Medio Ambiente: Una Mirada a Colombia. Fundación Universitaria Autónoma de Colombia. Revista: Economía y desarrollo Vol, 1 N° 1 PP 79-98.
- Santamaría M., C. Campos, y J.M Díaz. 2006. Transformación de hábitats y ecosistemas naturales. Tomo I. 151-161 p. En: Chaves, M.E. y Santamaría, M. (eds). 2006. Informe sobre el avance en el conocimiento y la información de la biodiversidad 1998-2004. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D.C., Colombia. 2 Tomos.
- Sarmiento, L., Llambi, L.D., Escalona, A. y N. Marquez. 2003. Vegetation patterns, regeneration rates and divergence in and old-field succession of the high tropical Andes. *Plant Ecol.* 166, 145-156
- Scheffer, M., S. Carpenter, J.A. Foley, C. Folke y B. Walker. 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, 413: 591-596.
- SER (Society for Ecological Restoration International Science and Policy Working Group) 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration (available from <http://www.ser.org>) accessed in July 2005. Society for Ecological Restoration International. Tucson, Arizona. Available in <http://www.ser.org/content/spanishprimer.asp>.
- SIDAP, 2010. Sistema departamental de áreas protegidas de Antioquia. Atlas áreas protegidas Departamento de Antioquia. Colombia. 151 p.
- Sierra, C.A., J.I. del Valle, S.A. Orrego, F.H. Moreno, M.E. Harmon, M. Zapata, G.J. Colorado, M.A. Herrera, W. Lara, D.E. Restrepo, L.M. Berrouet, L.M. Loaiza and J.F. Santamaría M, Campos C. y Díaz J.M. 2005. Transformación en la cobertura vegetal en ecosistemas naturales. En: Chaves, M. E. Y M. Santamaría. (eds.).
- Simmons, M.T, Venhaus, H.C. y S. Windhager. 2007. Exploiting the attributes of regional ecosystems for landscape design: the role of ecological restoration in ecological engineering. *Ecol. Eng.* 30 (3), 201-205.
- Stanvliet, R., Jackson, J. Davis, G. De Swardt, C. Mokhoele, J., Thom, Q. y B. D. Lane. 2004. The UNESCO biosphere reserve concept as a tool for

urban sustainability: the CUBES Cape town case study. *Annals of the New York academy of sciences* 1023, 80-104.

Stoddart, D.R. 1985. Hurricane effects on coral reefs. *Proc 5th Int. Coral Reef Cong.*, 5: 433-438

Striganova, B.R. Emets, V.M. y E.A. Starodubtseva. 2001. The recent trend of the biodiversity dynamic of biotic communities in forest-steppe oak forests. *Biology bulletin* 28, 508-516.

Swetnam, T.W., Allen C.D. y J. L. Betancourt. 1999. Applied historical ecology: using the past to manage the future. *Ecological applications* 9, 1189-1206.

Thompson, I., Mackey, B., McNulty, S., Mosseler, A. (2009). *Forest Resilience, Biodiversity, and Climate Change. A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems.* Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Technical Series no. 43, 67 pages.

Treml, E., M. Colgan y M. Keevican. 1997. Hurricane disturbance and coral reef development: a geographic information system (GIS) analysis of 501 years of hurricane data from the Lesser Antilles. *Proc. 8th Int. Coral Reef Symp.*, 1: 541-546.

Toro, J. L. 2000. *Árboles y arbustos del parque regional Arví.* Corporación autónoma regional del centro de Antioquia Corantioquia.. Medellín-Colombia. 281 p.

Turpie, J.K., Marais, C. y J. Blignaut., 2008. Evolution of a payments for ecosystem services mechanism that addresses both poverty and ecosystem service delivery in South Africa. *Ecological Economics* 65, 788-798.

Uhl, C. y J.B. Kauffman. 1999. Deforestation, fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the eastern Amazon. *Ecology* 71: 437-449.

Ulian, T., Rovere, A. y Muñoz, B. 2008. Taller sobre Conservación de Semillas para la Restauración Ecológica. *Ecosistemas* 17 (3): 147-148.

Universidad Nacional-Corantioquia. 2000. Modelos de restauración ecológica en áreas críticas de la reserva natural de los Farallones del Citará, Suroeste Antioqueño. Informe convenio Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín-Corantioquia. 130 p.

- Universidad Nacional-Corantioquia. 2002. Modelos de restauración ecológica en áreas críticas de la reserva natural de los Farallones del Citará, Suroeste Antioqueño. Informe convenio Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín-Corantioquia.152 p.
- Valencia, M. Vallejo, G. Villa, T. Yamakura, J.K. Zimmerman and E.C Losos. 2008. Assessing evidence for a pervasive alteration in tropical tree communities. *PLoS Biol.* 6: 455-462.
- Van Tussenbroek, B. 1994. The impact of Hurricane Gilbert on the vegetation development of *Thalassia testudinum* in Puerto Morelos Coral Reef Lagoon, Mexico: a retrospective study. *Bot. Mar.*, 37: 421-428.
- Vanegas, G.L.1997. Reserva natural Farallones del Citará. Suelos, p.83-87. In *Estudios biofísicos y socioeconómicos. Informe técnico.* Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Colombia.
- Vieira, L., Holl, K. and Peneireiro, F. 2009. Agro-sucesional restoration as a strategy to facilitate tropical forest recovery. *Restoration Ecology* vol. 17. No. 4, pp.451-459.
- Wessels, K.J. Prince S.D., P.E Frost, P.E. y D van Zyl. 2004. Assessing the effects of human-induced land degradation in the former homelands of northern South Africa with a 1 km AVHRR NDVI time-series. *Remote sensing of environment* 91, 47-67.
- Wezel, A., y S. Bender., 2004. Degradation of agro-pastoral village land in semi-arid southeastern Cuba. *Journal of arid environments* 59, 299-311.
- White, P.S., y J.L. Walker. 1997. Approximating nature's variation: selecting and using reference information in restoration ecology. *Restoration Ecology* 5, 338-349.
- Williams, C., 2009. 1750 in 2009: Reflections on research and design for restoration projects. *Ecological management and restoration* vol 10 No 3. Pp 172 -173.
- Woodley, J.D., E.A. Chornesky, P.A. Clifford, J.B.C. Jackson, L.S. Kaufman, N. Knowlton, J.C. Lang, M.P. Pearson, J.W. Porter, M.C. Rooney, K.W. Rylaarsdam, V.J. Tunnicliffe, C.M. Wahle, J.L. Wulff, A.S.G. Curtis, M.D. Dallmeyer, B.P. Jupp, M.A. R. Koehl, J. Neigel y E.M. Sides 1981. Hurricane Allen's impact on Jamaican coral reefs. *Science*, 214: 749-755.
- Zapata, M., G. Colorado and J.I. del Valle. 2003. Ecuaciones de biomasa aérea para bosques primarios intervenidos y secundarios, p. 87-120. In S.

Orrego, J.I. del Valle and F. Moreno (eds.). Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia, contribuciones para la mitigación del cambio climático. Universidad Nacional de Colombia Sede de Medellín, Departamento de Ciencias Forestales, Centro Andino para la Economía en el Medio Ambiente, Medellín, Colombia.

Zambrano, C. y D. Rubiano 1996. Mapas del bosque de manglar de la costa pacífica colombiana, 1969, 1996 y multitemporal. OIMT/MMA, Informe Técnico 7, Santafé de Bogotá, 40 p.

Zafra-Calvo, N., Cerro, R., Fuller, T., Lobo, J.M., Rodríguez, M.A. y S. Sarkar. 2010. Prioritizing areas for conservation and vegetation restoration in post-agricultural landscapes: A biosphere reserve plan for Bioko, Equatorial Guinea. *Biological conservation* 143, pp 787 – 794

Zuluaga J.A. 2001. Los incendios forestales: Un conflicto a escala Global. Mesa temática de medio ambiente. Universidad del Cauca. En: http://purace.unicauca.edu.co/visioncauca/noticias/Los_incendios_forestales_un_conflicto.pdf

Zhang, J., y Dong Y., 2010. Factors affecting species diversity of plant communities and the restoration process in the loess area of China. *Ecological engineering* 36, pp 345 – 350.

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO 1.

Estado actual (para el año 2014) de las especies en las Parcelas de Restauración Ecológica, Finca la Secreta, Municipio de Andes, Antioquia, Colombia.

PARCELAS DE RESTAURACION ECOLÓGICA EN LA ZONA DE AMORTIGUACIÓN DE LA RESERVA FORESTAL PROTECTORA FARALLONES DEL CITARÁ.

FINCA LA SECRETA MUNICIPIO DE ANDES, ANTIQUIA, COLOMBIA 2014.

Nombre Vulgar	Nombre Científico	Altura (m)	Diámetro (cm)	Observaciones
Zurrumbo	<i>Trema micrantha</i>	7,0	12,0	
Encenillo	<i>Weinmannia sp</i>	10,0	14,0	
Encenillo	<i>Weinmannia sp</i>	6,0	8,0	
Olivo de cera	<i>Myrica pubescens</i>	7,5	14,0	
Olivo de cera	<i>Myrica pubescens</i>	6,0	8,0	
Chagualo	<i>Clusia sp</i>	5,0	Promedio 22,0	Árbol de múltiple ramificación en la base
Chagualo	<i>Clusia sp</i>	4,0	18,0	Árbol de múltiple ramificación en la base
Arrayán	<i>Myrcia popayanensis</i>	3,0	14,0	
Chagualo	<i>Clusia sp</i>	6,0	Promedio 16,0	Árbol de múltiple ramificación en la base
Chagualo	<i>Clusia sp</i>	10,0	Promedio 22,0	Árbol de múltiple ramificación en la base
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	10,0	18,0	
Sauco de monte	<i>Viburnum anabaptista</i>	5,0	6,0	
Quimulá	<i>Citharexylum montanum</i>	12,0	20,0	
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	8,0	16 - 20	Árbol Bifurcado en la base
Cardenillo	<i>Ilex laurina</i>	7,0	10,0	

Sauco de monte	<i>Viburnum anabaptista</i>	12,0	12-14-10	Árbol trifurcado en la base
Chagualo	<i>Clusia sp</i>	4,0	7,0	
Cedro	<i>Cedrela montana</i>	14,0	15,0	
Quimulá	<i>Citharexylum montanum</i>	15,0	13,0	Árbol dominante
Arrayán	<i>Myrcia popayanensis</i>	6,0	promedio 10,0	Árbol con siete ramificaciones en su base.
Chagualo	<i>Clusia sp</i>	12,0	Promedio 12	Árbol con seis ramificaciones en su base.
Arrayán	<i>Myrcia popayanensis</i>	6,0	6,0 - 8,0	Árbol Bifurcado en la base
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	8,0	14,0	
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	7,0	12,0	
Sauco de monte	<i>Viburnum anabaptista</i>	5,0	12,0	
Sauco de monte	<i>Viburnum anabaptista</i>	6,0	16,0	
Sauco de monte	<i>Viburnum anabaptista</i>	12,0	9,0	
Sauco de monte	<i>Viburnum anabaptista</i>	11,0	9,0	
Cardenillo	<i>Ilex laurina</i>	7,0	4,0 - 5,0	Árbol Bifurcado en la base
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	12,0	22,0	
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	11,0	18,0	
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	9,0	20,0	
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	8,0	16,0	
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	12,0	16,0	
Cardenillo	<i>Ilex laurina</i>	12,0	8,0	
Olivo de cera	<i>Myrica pubescens</i>	5,0	10,0	
Cardenillo	<i>Ilex laurina</i>	7,0	6,0	
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	11,0	20,0	
Olivo de cera	<i>Myrica pubescens</i>	8,0	8,0	
Olivo de cera	<i>Myrica pubescens</i>	10,0	10,0	
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	11,0	16,0	
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	12,0	18,0	
Encenillo	<i>Weinmannia sp</i>	12,0	18,0	
Encenillo	<i>Weinmannia sp</i>	7,0	6,0	
Zurumbo	<i>Trema micrantha</i>	8,0	8,0	

Olivo de cera	<i>Myrica pubescens</i>	7,0	8,0	
Olivo de cera	<i>Myrica pubescens</i>	8,0	10,0	
Olivo de cera	<i>Myrica pubescens</i>	8,0	8,0	
Encenillo	<i>Weinmannia sp</i>	6,0	12,0	
Encenillo	<i>Weinmannia sp</i>	10,0	Promedio 12	Árbol con cuatro ramificaciones en su base
Zurrumbo	<i>Trema micrantha</i>	12,0	20,0	
Zurrumbo	<i>Trema micrantha</i>	12,0	22,0	
Zurrumbo	<i>Trema micrantha</i>	10,0	26,0	
Helecho arbóreo	<i>Cyathea sp</i>	8,0	25,0	Nativo de la zona
Encenillo	<i>Weinmannia sp</i>	8,0	10,0	
Zurrumbo	<i>Trema micrantha</i>	5,0	4,0	
Encenillo	<i>Weinmannia sp</i>	8,0	10,0	
Encenillo	<i>Weinmannia sp</i>	10,0	12,0	
Encenillo	<i>Weinmannia sp</i>	9,0	11,0	
Zurrumbo	<i>Trema micrantha</i>	12,0	9,0	
Zurrumbo	<i>Trema micrantha</i>	10,0	8,0	
Zurrumbo	<i>Trema micrantha</i>	11,0	7,0	
Helecho arbóreo	<i>Cyathea sp</i>	7,0	18,0	Nativo de la zona
Helecho arbóreo	<i>Cyathea sp</i>	8,0	19,0	Nativo de la zona
Roble	<i>Quercus humboldtii</i>	7,0	12,0 - 12,0	Árbol bifurcado en la base
Sauco de monte	<i>Viburnum anabaptista</i>	10,0	8,0	
Arrayán	<i>Myrcia popayanensis</i>	6,0	12,0	
Arrayán	<i>Myrcia popayanensis</i>	5,0	10,0	
Chagualo	<i>Clusia sp</i>	7,0	10,0	
Helecho arbóreo	<i>Cyathea sp</i>	8,0	14,0	Nativo de la zona
Arrayán	<i>Myrcia popayanensis</i>	6,0	10,0	
Arrayán	<i>Myrcia popayanensis</i>	7,0	12,0	
Arrayán	<i>Myrcia popayanensis</i>	5,0	9,0	
Quimulá	<i>Citharexylum montanum</i>	14,0	16;15;15; 14; 10,	Árbol con cinco ramificaciones en su base – Dominante de la zona,
Quimulá	<i>Citharexylum montanum</i>	16,0	22,0	Árbol dominante de la zona,
Quimulá	<i>Citharexylum montanum</i>	14,0	22; 20; 18,	Árbol con tres ramificaciones en su base – Dominante de la zona,
Comino	<i>Aniba perutilis</i>	7,0	8,0	
Comino	<i>Aniba perutilis</i>	12,0	14,0	

Comino	<i>Aniba perutilis</i>	8,0	10,0	
Comino	<i>Aniba perutilis</i>	5,0	4,0	
Comino	<i>Aniba perutilis</i>	8,0	6,0	
Comino	<i>Aniba perutilis</i>	7,0	4,0	
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	8,0	16,0	
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	10,0	17,0	
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	12,0	20,0	
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	12,0	22,0	
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	9,0	17,0	
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	10,0	16,0	
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	8,0	16,0	
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	11,0	15,0	
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	12,	24,0	
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	12,0	23,0	
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	11,0	21,0	
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	10,0	18,0	
Comino	<i>Aniba perutilis</i>	10,0	6,0	
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	12,0	45,0	Especimen de mayor diámetro alcanzado en las parcelas,
Cardenillo	<i>Ilex laurina</i>	6,0	8,0	
Cardenillo	<i>Ilex laurina</i>	8,0	6,0	
Quimulá	<i>Citharexylum montanum</i>	6,0	16,0	
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	10,0	32,0	Individuos de alto crecimiento dimétrico,
Pino romerón	<i>Decussocarpus rospigliossi</i>	12,0	34,0	Individuos de alto crecimiento dimétrico,
Quimulá	<i>Citharexylum montanum</i>	12,0	20,0	
Comino	<i>Aniba perutilis</i>	3,0	2,0	
Comino	<i>Aniba perutilis</i>	6,0	6,0	
Comino	<i>Aniba perutilis</i>	7,0	8,0	
Comino	<i>Aniba perutilis</i>	7,0	7,0	
Chagualo	<i>Clusia sp</i>	8,0	18,0	
Comino	<i>Aniba perutilis</i>	5,0	5,0	
Cardenillo	<i>Ilex laurina</i>	6,0	6,0	
Guayabo de monte	<i>Psidium sp</i>	8,0	8,0	Nativo de la zona

ANEXO 2.

Descripción de las especies utilizadas para el Protocolo de Restauración Ecológica.

CHAQUIRO

Nombre Científico: *Decussocarpus rospigliossi*

Familia: *Podocarpaceae*

Nombres Vulgares: Chaquiro, pino de cerro en Bolivia, Saucecillo en el Perú, romerillo, romerillo azuceno, sisin en Ecuador, pino colombiano, ají, hayuelo, pino criollo, pino real, pino amarillo en Colombia, cipresillo blanco de Costa Rica, ciprés de montaña, chilca, chilca real, ciprés y ciprés real en honduras (Cárdenas y Salinas, 2007).

DESCRIPCIÓN

Estos árboles pueden alcanzar 40 m de altura y 1 m de diámetro, su tronco es asimétrico, con corteza pardo-amarillenta, agrietada longitudinalmente. Copa grande irregular. Hojas densas. Hojas simples de distribución espiralada, coriáceas o subcoriáceas, elípticas, oblongo lanceoladas, hasta lanceoladas agudas, gradualmente hasta el ápice, atenuadas y subsésiles hacia la base, de 22 a 140 mm de longitud por 6 a 16 mm de ancho, con un canal bien marcado y angosto por encima de la vena media, ancho pero no muy prominente en la cara inferior, margen ligeramente revoluto (Marín, 1998).

OLIVO DE CERA

Nombre científico: *Myrica pubescens*

Familia: *Myricaceae*

Nombre Vulgar: Olivo de cera, laurel, laurel de cera

DESCRIPCIÓN

Es un arbusto que puede alcanzar hasta 4 metros de altura. Su copa es amplia, ya que ramifica desde temprana edad; las ramas están cubiertas por una capa densa de pelos simples glandulares blancos. La corteza es gris con múltiples lenticelas prominentes de color más claro.

Las hojas son simples alternas espiraladas, grandes, de forma elíptica a oblanceolada, coriáceas, estípulas pareadas, lineales; base cuneada, ápice agudo, borde irregularmente dentado; tanto el haz como el envés pubescentes y con puntos glandulares amarillos. Generalmente aglomeradas en los extremos de las ramas. Las flores son pequeñas, de color verde amarillento, agrupadas en espigas axilares hasta 2 cm de largo, ejes pubescentes.

El fruto es una drupa globosa que mide de 3,8 a 4,5 milímetros de diámetro, cubierta por una superficie cerosa de color morado al madurar; se agrupan formando racimos pequeños. Cada fruto posee una sola semilla con superficie rugosa de color marrón y de consistencia dura que tiene de 3,1 a 4,4 mm de longitud y de 2,2 a 3,4 mm de diámetro. Un kilogramo contiene entre 27.027 y 35.714 frutos de los cuales más del 50% es cera, por tanto en un kilogramo se pueden encontrar de 75.188 a 90.909 semillas limpias. (Toro, 2000, Araujo y Esquerre, 2004, Muñoz y Luna, 1999).

ROBLE

Nombre científico: *Quercus humboldtii*

Familia: *Fagaceae*

Nombre Vulgar: Roble, Roble de tierra fría

El roble colombiano o roble andino (*Quercus humboldtii*) es una especie de árbol de la familia *Fagaceae*. Está clasificada en la Sección Lobatae; del roble rojo de América del Norte, Centroamérica y el norte de América del Sur que tienen los estilos largos, las bellotas alcanzan su madurez en 18 meses y tienen un sabor muy amargo. Las hojas suelen tener lóbulos con las puntas afiladas, con cerdas o con púas en el lóbulo.

DESCRIPCION

Es un árbol perenne, que crece hasta una altura de 25 m y un diámetro de 1 m. Su corteza es gris rojizo o gris y con fisuras en escamas como cuadrículas. Las hojas son simples, alternas y lanceoladas, de 10 a 20 cm de longitud y agrupadas en los extremos de las ramas. Las flores son pequeñas, amarillas y unisexuales, con inflorescencia en racimo. El fruto es de color castaño claro, una cápsula ovoide o de bellota, con pericarpio coriáceo, de 20 a 25 mm de diámetro y 50 a 70 mm de largo, sobre una cúpula escamosa. (Muller, 1960, Cardenas y Salinas, 2007).

ENCENILLO

Nombre Científico:	<i>Weinmannia pubescens</i>
Familia:	<i>Cunoniaceae</i>
Nombre Vulgar:	Encenillo, Encenillo crespo, Carbonero

DESCRIPCIÓN

Árboles pequeños a medianos hasta de 16 m de altura y 30 cm de diámetro; ramas y hojas nuevas con pubescencia densa pardo dorada, las hojas de color rosado o granate. Hojas compuestas imparipinnadas, opuestas, decusadas, agrupadas al final de las ramas; con estípulas interpeciolares redondeadas; pecíolo 0.6-1.2 cm; raquis alado y pubescente, 2.0-7.0 cm de largo. Cada hoja con 7-13 folíolos opuestos, elípticos, folíolo terminal elíptico lanceolado, base obtuso a acuminado, borde aserrado, consistencia coriácea a subcoriácea; nerviación pinnada, nervaduras secundarias divididas y unidas antes de la margen; haz verde oscuro, envés pálido, con pubescencia dispersa. Las hojas viejas se torna rojas antes de caer. Inflorescencias en racimos largos densos, que semejan espigas, subterminales, 8-20 cm de largo, ejes pubescentes. Flores pequeñas, amarillentas, pedicelo 1-3 mm; cáliz con 4 sépalos triangulares, 1 mm; estambres numerosos sobresalientes. Florece y fructifica muy abundante. Fruto cápsula seca bivalvada, dehiscente, apiculada, 4-5 mm de largo. Café al madurar. Habita en bosques secundarios, rastrojos altos y áreas abiertas, entre 1.700-2.300 msnm. (Álvarez *et al.*, 2007, Giraldo, 2001)

CEDRELA MONTANA

Nombre científico: *Cedrela montana*

Familia: *Meliaceae*

Nombre vulgar: Cedro de tierra fría, cedro de montaña, cedro de altura.

DESCRIPCION

Árboles de aproximadamente 35 m de altura, con hojas entre 20 - 55 cm de longitud, con 8 - 13 pares de pinnas opuestas, subopuestas, en ocasiones alternas ovado - elípticas a ovado - oblongas, ápice acuminado, base redondeada a cordiforme, a veces desigual y con márgenes enteras, raquis lenticeloso de 13 - 48 cm de longitud, peciolo abultado basalmente. Inflorescencias terminales o subterminales tirsoideas, lenticeladas, glabras o con pubescencia suave dispersa; flores unisexuales blanco -amarillentas. Fruto capsular leñoso, lenticelado, ovoide a elipsoide y péndulo, dehiscente en 5 valvas leñosas de aproximadamente 6 cm de longitud, las semillas son aladas y numerosas, la columela es lisa y leñosa. La especie se usa como madera fina empleada para construcción, ebanistería y postes para cercas (Cárdenas y Salinas, 2007).

COMINO

Nombre científico: *Aniba perutilis*

Familia: *Lauraceae*

Nombre vulgar: Comino, Laurel Comino, Comino Crespo, Comino Canelo, Caparrapí, Aceite de Palo, Comino Real, Punte.

Árbol de 25 m de altura y 60 cm de diámetro. Hojas simples, alternas, coriáceas y lanceoladas, entre 9-15 cm de longitud por 4-6 cm de ancho. Base cuneada, ápice brevemente acuminado y margen entera, haz glabro con el nervio medio prominente. Flores pequeñas y poco vistosas, bisexuales o estaminadas de color marrón r raramente rojas. El fruto es una baya elipsoide lisa y mucronulada. La cúpula es espesa, hemisférica y engrosada irregularmente en la base, lisa o verrugosa. El fruto al madurar es morado y su pulpa posee olor a aguacate (Toro, 2000).

CHAGUALO

Nombre Científico: *Clusia multiflora*

Familia: *Clusiaceae*

Nombre Vulgar: Chagualo.

DESCRIPCION

Árbol dioico de tamaño medio que puede alcanzar 20 m de altura. El tronco, de corteza oscura y anillada, puede medir unos 20 cm de diámetro cuando el árbol es adulto. De las ramas inferiores surgen raíces aéreas que al llegar al suelo producen nuevos clones. Las hojas obovadas son simples y opuestas, miden entre 10 a 20 cm de largo por 8,5 cm de ancho; de textura coriácea con bordes enteros y agrupados en el extremo superior de las ramas. Exudan un látex abundante de color amarillo. Las grandes flores de 6 pétalos amarillo pálido surgen de una cima terminal de hasta 6 cm de largo. Sus frutos son cápsulas carnosas de forma oblonga cuyas semillas están recubiertas por un arilo rojo (Luteyn, 1999, Idárraga *et al.*, 2011).

SAUCO

Nombre científico: *Viburnum anabaptista*

Familia: *Caprifoliaceae*

Nombre vulgar: Sauco de monte, Pitá

DESCRIPCION

Árboles pequeños, hasta 12 m de altura y 25 cm de diámetro; ramas y hojas nuevas densamente cubiertas con pelos estrellados de color pardo dorado, que se conserva en el envés de las hojas. Hojas sin estípulas; simples, opuestas, decusadas. Lámina oblonga elíptica base redondeada, ápice redondeado, acuminado o abruptamente acuminado, borde dentado granular, consistencia coriácea; nerviación pinnada, nervaduras secundarias fuertemente arqueadas y únicas cerca de la margen; haz verde oscuro lustroso, envés densamente cubierto por indumento estrellado de color café claro. Inflorescencia en umbela, flores pequeñas, actinomorfas; cáliz gamosépalo. Fruto en drupa globosa uniseminada, de color morado o negro al madurar. Sus frutos son consumidos por aves. Su madera se utiliza para leña, construcción y cabos de herramientas. De los frutos se extrae un colorante morado usado para teñir (Toro, 2000).

QUIMULÁ

Nombre científico: *Citharexylum montanum*

Familia: *Verbenaceae*

Nombre Vulgar: Quimulá

DESCRIPCIÓN:

Arboles medianos a grandes, hasta 18 metros de altura y 35 cm de diámetro, corteza interna café amarillenta, se oxida al oscuro; ramas cuadrangulares; ramas y hojas nuevas con pubescencia densa estrellada, pardo amarillenta. Hojas simples opuestas decusadas, sin estipulas, pero las ramas con una línea interpeciolar. Flores tubulares, muy fragantes, olor a dulce, casi sésiles; cáliz gamosépalo en forma de copa. Fruto drupáceo, carnoso ovoide, de color rojo al madurar con pecas amarillas.

Especie distribuida en los bosques húmedos en los Andes de Colombia que crece en bosques mixtos y robledales, donde llega a formar parte del dosel. Se propaga por frutos los cuales se colectan del suelo, se lavan para extraer las semillas, se dejan en remojo un día antes de la siembra, no tolera almacenamiento prolongado.

Su madera se emplea en la elaboración de muebles, construcciones rurales y para obtención de leña y carbón. Los frutos son consumidos por aves silvestres (Toro, 2000).

ARRAYÁN

Nombre Científico: *Myrcia popayanensis*

Familia: *Myrtaceae*

Nombre Vulgar: Arrayan.

DESCRIPCION:

Árboles medianos hasta 16 metros de altura y 25 cm de diametro, copa amplia y redondeada. Hojas nuevas de color rosado o granate, se producen masivamente dando un aspecto rojizo a la copa. Hojas simples opuestas decusadas. Flores pequeñas, aromáticas, casi sésiles. Fruto o baya ovoide o piriforme. Árbol de fructificación abundante. Distribuida en las tres cordilleras de Colombia, entre los 2600 y 2900 metros especie abundante en bosques secundarios, robledales y áreas abiertas. Propagación por semillas sin tratamiento pregerminativo; las semillas no toleran almacenamiento prolongado.

Utilizada para cercas, postes, cabos de herramientas, torneado, construcción leña. Los frutos se usan en la elaboración de dulces, especie empleada como ornamental y los frutos son consumidos ampliamente por aves silvestres (Toro, 2000).

COCHOBO

Nombre Científico: *Myrcianthes sp.*

Familia: *Myrtaceae*

Nombre Vulgar: Cochobo.

DESCRIPCION:

Árboles medianos, hasta 15 metros de altura y 35 cm de diámetro, corteza externa café clara, ramas jóvenes de tonalidad granate, hojas nuevas de color rojizo marrón, hojas simples opuestas con tendencia a disponerse en un plano, hojas con gran cantidad de puntos traslucidos, Hojas pequeñas y aromáticas. Fruto drupa oblonga, carnosas, morada al madurar, uniseminada.

Especie abundante de la cordillera central del departamento de Antioquia, Colombia, entre los 2000 y los 2800 metros. Asociadas a robledales, bosques secundarios, rastrojos altos y áreas abiertas. Se propaga por semilla sin tratamiento pregerminativo. La semilla no tolera almacenamiento prolongado.

Se utiliza para estacones, cercas, cabos de herramientas, construcción y leña. Los frutos son consumidos por aves silvestres (Toro, 2000).

ZURRUMBO

Nombre científico: *Trema micrantha*

Familia: *Ulmaceae*

Nombres vulgares: Tortolero, sapán, atadijo, sapán de paloma, surrumbo

DESCRIPCIÓN

Es un árbol que alcanza los 5 a 13 m (hasta 30 m) de altura con un diámetro de hasta 70 cm de diámetro. La copa en forma de sombrilla, abierta e irregular. Las hojas estipuladas, simples, alternas; con un pecíolo largo de 5 a 8 cm de largo; y la lámina de 5 a 12 cm de largo por 2 a 4 de ancho; margen crenado-serrado; el envés con nerviación marcada. Las flores son actinomorfas y se producen en inflorescencias axilares. El fruto en forma de drupas carnosas, elipsoides o esféricas, de 1.5 a 3 mm de diámetro, de color verde al principio y rojo a anaranjado brillantes en la madurez, glabras, con una sola semilla (Toro, 2000).

CARDENILLO

Nombre científico: *Ilex laurina*

Familia: *Aquifoliaceae*

Nombre vulgar: Algodón

DESCRIPCION

Árboles medianos hasta 16 metros de altura y 0,3 metros de diámetro. Ramas abundantemente lenticeladas, hojas nuevas glabras y de color granate brillante, los árboles se ven rojizos a lo lejos. Hojas simples alternas y espiraladas, con estípulas pareadas diminutas; pecíolo acanalado; lámina foliar estrechamente elíptica, 5-25 cm de longitud y 1,5-4,0 cm de ancho, base y ápice agudos a acuminado, bordo aserrado, coriácea; nerviación pinnada; haz de color verde oscuro lustroso y envés verde pálido con puntos negros diminutos. Las flores son pequeñas y agrupadas en fascículos densos axilares o caulinares, cada eje posee de 2 a 3 flores. El fruto es una baya globosa con un pequeño micrón, el cual posee de 3 a 4 semillas, cáliz persistente en la base. Fructificación muy abundante.

ANEXO 3. Recorrido fotográfico de aspectos relevantes del estudio.



Figura 1 (Anexo).

Contexto geográfico del área de estudio.

- A. Farallones del citaró.
- B. Topografía de la zona.
- C. Interfase bosque de montaña – potrero.
- D. Cultivo de café en alta montaña

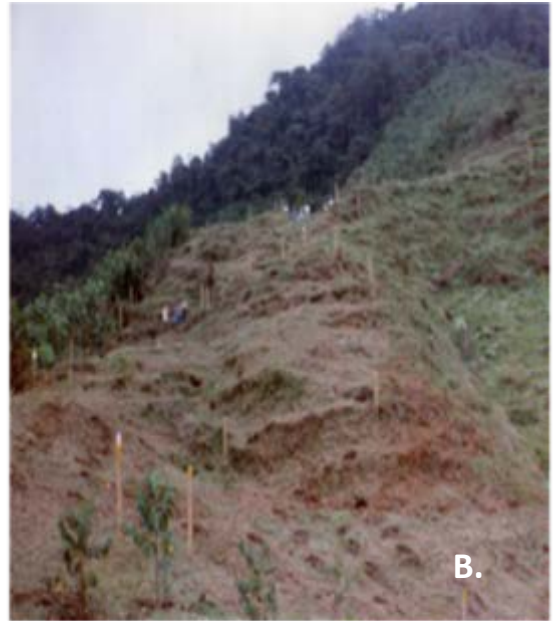


Figura 2 (Anexo).

Establecimiento de parcelas de Restauración Ecológica.

- A. Valla informativa
- B. Distribución de los modelos en campo.
- C. Separación de las parcelas.
- D. Ubicación de los ensayos.



Figura 3 (Anexo).

Algunas especies al inicio del estudio.

- A. *Weinmannia pubescens* (Encenillo).
- B. *Decussocarpus rospigliossi* (Pino romerón)
- C. Segunda medición de *Decussocarpus rospigliossi* (Pino romerón).
- D. *Trema micrantha* (zurumbo).



Figura 4 (Anexo).
Estado actual de las parcelas y algunas especies.

- A. Valla informativa.
- B. *Citharexylum montanum* (Quimulá).
- C. Estrato Cerrado de *Decussocarpus rospigliossi* (pino romerón).
- D. Tronco de *Aniba perutilis* (laurel comino).

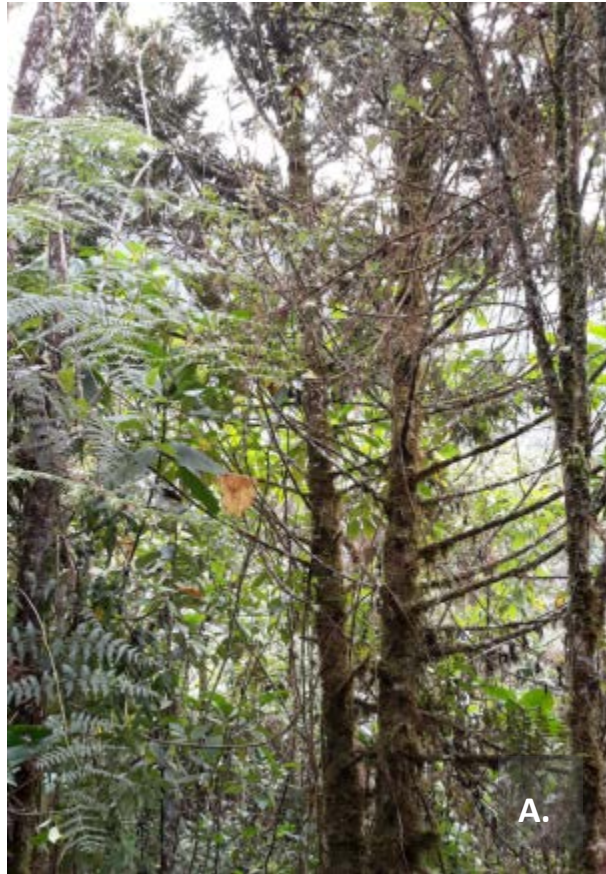


Figura 5 (Anexo).

Estructura del ecosistema A y B.

Decussocarpus rospigliossi (pino romerón).