



**Evaluación de estrategias para la restauración ecológica del bosque húmedo montano bajo
ubicado en el Parque Comfama Arví**

Herney Sánchez Zuleta

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Ambiental

Asesores

Zorayda Restrepo Correa, Est. Doctora (PhD) en Ingeniería Ambiental

Javier Infante Sarmiento, Magister (MSc) en Innovación de Negocios

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Ambiental

Medellín, Antioquia, Colombia

2021

Cita	(Sánchez Zuleta, 2021)
Referencia	Sánchez Zuleta, H. (2021). <i>Evaluación de estrategias para la restauración ecológica del bosque húmedo montano bajo ubicado en el Parque Comfama Arví</i> . [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Línea de Investigación: Restauración Ecológica



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>



Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano Facultad de Ingeniería: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe Escuela Ambiental: Diana Catalina Rodríguez Loaiza.

comfama

Caja de Compensación Familiar de Antioquia - COMFAMA - www.comfama.com

Líder Parque Comfama Arví: Javier Infante Sarmiento.

Supervisor Proceso Ambiental Parque Comfama Arví: Alexander de Jesús Gómez González

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedico este trabajo de grado a mi padre, mi madre y mi hermana, quienes siempre han sido compañía y soporte incondicional en cada una de las etapas de mi vida. Comparto con ellos este logro pues sin su apoyo no hubiera sido posible.

Agradecimientos

Agradezco primeramente a Dios pues de Él proviene la inteligencia y el conocimiento, a mi familia por su apoyo, a mis asesores por su acompañamiento en la recta final de mi formación profesional, a los docentes que a lo largo de la carrera me impartieron sus conocimientos y a mis amigos quienes hicieron de esta etapa de mi vida algo inolvidable.

Tabla de contenido

Resumen	9
Abstract	10
Introducción	11
1 Objetivos	13
1.1 Objetivo general	13
1.2 Objetivos específicos.....	13
2 Marco teórico	14
3 Metodología	17
3.1 Caracterización Ambiental	17
3.2 Priorización de áreas a restaurar.....	19
3.3 Selección de especies	19
3.4 Evaluación de estrategias de restauración.....	20
4 Resultados y Análisis	21
4.1 Caracterización Ambiental.....	21
4.2 Priorización de áreas a restaurar.....	31
4.3 Selección de especies	33
4.4 Evaluación de estrategias de restauración.....	38
5 Conclusiones	42
Referencias	44

Lista de tablas

Tabla 1	Porcentaje del área total por tipo de cobertura.....	29
Tabla 2	Clasificación según el potencial de restauración ecológica	32
Tabla 3	Selección de especies según el Índice de Valor de Importancia - IVI.....	35
Tabla 4	Selección de especies según la Biomasa Aérea – BA.....	37
Tabla 5	Especies seleccionadas según el Índice de Crecimiento - IC.....	38
Tabla 6	Estrategias activas y pasivas de restauración ecológica.....	39
Tabla 7	Grupo ecológico a utilizar según el tipo de cobertura o sitio a intervenir	40
Tabla 8	Principales actividades de restauración a aplicar según el potencial de restauración	41

Lista de figuras

Figura 1	Mapa de localización y delimitación del Parque Comfama Arví.....	21
Figura 2	Ciclo anual de Precipitación para las estaciones Mazo (azul claro) y Santa Elena (azul oscuro).....	22
Figura 3	Ciclo anual de temperatura máxima (rojo) y de temperatura mínima (azul) para la estación Santa Elena.....	23
Figura 4	Modelo de elevación digital del Parque Comfama Arví	24
Figura 5	Mapa de cuerpos de agua del Parque Comfama Arví	25
Figura 6	Mapa de tipos de suelo del Parque Comfama Arví	27
Figura 7	Mapa de coberturas del Parque Comfama Arví.....	28
Figura 8	Mapa de infraestructura del Parque Comfama Arví.....	30
Figura 9	Mapa de vestigios arqueológicos del Parque Comfama Arví.....	31
Figura 10	Mapa de áreas según su potencial de restauración del Parque Comfama Arví	33
Figura 11	Mapa de parcelas de referencia.....	34

Siglas, acrónimos y abreviaturas

AMVA	Área Metropolitana del Valle de Aburrá
Ar	Abundancia Relativa
bh-MB	Bosque Húmedo Montano Bajo
BA	Biomasa Aérea
CIFOR	Center for International Forestry Research
cm	Centímetro
cm/año	Centímetro por año
COL-TREE	Red de Monitoreo de los Bosques de Colombia
COMFAMA	Caja de Compensación Familiar de Antioquia
DAP	Diámetro a la Altura del Pecho
DEM	Modelo de Elevación Digital
Dr	Dominancia Relativa
EPM	Empresas Públicas de Medellín
FAO	Food and Agriculture Organization
Fr	Frecuencia Relativa
g	Gramo
g/cm³	Gramo sobre centímetro cúbico
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IC	Índice de Crecimiento
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
IVI	Índice de Valor de Importancia
kg	Kilogramo
m	Metro
mm	Milimetro
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
msnm	Metros sobre el nivel del mar
MSc	Magister Scientiae
PhD	Philosophiae Doctor
PIMF	Plan Integral de Manejo Forestal

SER Society for Ecological Restoration

ρ Densidad de la Madera

$^{\circ}\text{C}$ Grados Celsius

Resumen

La restauración ecológica tiene como propósito restablecer ecosistemas que han sido degradados implementando estrategias que ayuden a recuperar las condiciones que se tenían antes del disturbio. El Parque Comfama Arví se encuentra en una región que ha sido altamente intervenida a través de agricultura, ganadería, minería y plantaciones forestales, por lo que las características actuales de la zona de estudio no corresponden a la condición original del ecosistema. En el presente informe, se evalúan las estrategias de restauración ecológica que pueden ser implementadas en el área de estudio, la cual se encuentra en una zona de vida tipo bosque húmedo montano bajo. En la caracterización ambiental, se realiza un análisis de los tipos de coberturas y de factores condicionantes para la restauración tales como sitios con vestigios arqueológicos y con infraestructura del parque, con el fin de clasificar zonas según su potencial de restauración teniendo en cuenta criterios de conectividad. Además, se seleccionan 46 especies según el índice de valor de importancia, 20 según la biomasa aérea y 17 según el índice de crecimiento, clasificándolas en pioneras, secundarias y climácicas, las cuales serán utilizadas según su función en diferentes coberturas. Las estrategias evaluadas se clasifican en estrategias activas, tales como eliminación de tensionantes, control de tensionantes y reintroducción de material vegetal nativo, y en estrategias pasivas, tales como incorporación de enmiendas al suelo, manejo de semillas y manejo plántulas. Este estudio es un primer paso en la elaboración y posterior implementación de un plan de restauración ecológica.

Palabras clave: bosques nativos, ecología de la restauración, ecosistemas degradados, estrategias de restauración, restauración ecológica, sucesión ecológica.

Abstract

Ecological Restoration has as purpose restore ecosystems that have been degraded implementing strategies that help to recover the conditions that were had before the disturbance. The Comfama Arví Park is located in a region that has been highly intervened through agriculture, livestock, mining and forest plantations, therefore the current characteristics of the study area do not correspond to the original condition of the ecosystem. In this report, the restoration strategies that can be implemented in the study area which is located in a lower montane humid forest type life zone, are evaluated. In the environmental characterization, an analysis of the types of land cover and conditioning factors for restoration such as sites with archaeological remains and park infrastructure is performed, in order to classify areas according to their restoration potential taking into account connectivity criteria. In addition, 46 species are selected according to the importance value index, 20 according to the aerial biomass and 17 according to the growth index, classifying them into pioneer, secondary and climax, which will be used according to their function in different land cover. The strategies evaluated are classified into active strategies, such as elimination of stressors, control of stressors and reintroduction of native plant material, and in passive strategies, such as incorporation of soil amendments, seed management and seedling management. This study is a first step in the development and subsequent implementation of an ecological restoration plan.

Keywords: degraded ecosystems, ecological restoration, ecological succession, native forests, restoration ecology, restoration strategies.

Introducción

A través de la historia, la intervención del ser humano en los ecosistemas ha derivado en problemáticas ambientales como la erosión del suelo, escasez y contaminación del agua, contaminación atmosférica, pérdida de biodiversidad, deforestación, desertificación y cambio climático (Food and Agriculture Organization [FAO], 1996). Estos problemas son el resultado de la sobreexplotación de recursos naturales a través de actividades como la expansión de la frontera agropecuaria, extracción de minerales, expansión de la infraestructura y extracción de madera; que a su vez son los agentes directos de la deforestación en Colombia (González et al., 2018). Partiendo de esto, es evidente la correlación que existe entre la pérdida y fragmentación de cobertura boscosa y las principales problemáticas ambientales mencionadas, por lo que, se vuelve importante evaluar estrategias para la restauración ecológica con el fin de reestablecer el ecosistema degradado a una condición similar a la que tenía antes del disturbio (Society for Ecological Restoration [SER], 2004).

El tramo alto de la cuenca piedras blancas, localizado al oriente del Valle de Aburrá, bajo la jurisdicción de los municipios de Medellín y Guarne (Área Metropolitana del Valle de Aburrá [AMVA], 2018), clasificado de acuerdo a las zonas de vida propuestas por Holdridge (Holdridge, 1978) como un bosque húmedo montano bajo (bh-MB), es ejemplo de un proceso de transformación en el que actividades de minería de oro, de producción agrícola y ganadera a pequeña escala, de extracción de musgo, zarro y tierra de capote, de cultivos forestales con pino pátula, ciprés y eucalipto a gran escala, han alterado las condiciones naturales del ecosistema, generando procesos erosivos, pérdida de biodiversidad y de cobertura arbórea (Roldán et al, 1997).

Dadas estas alteraciones y teniendo en cuenta la importancia de este ecosistema, se han generado acciones para su protección, entre las que se encuentran la declaración como Zona de Reserva Forestal Protectora (Colombia. Ministerio de Agricultura, 1970), la declaración como Monumento Nacional (Colombia. Ministerio de Cultura, 1988), la creación del Parque Ecoturístico Regional Arví (Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2009) y la formulación del Plan Integral de Manejo Forestal para las plantaciones propiedad de EPM ubicadas en la zona de Piedras Blancas – La Honda, las cuales han generado cambios significativos en el manejo de los recursos naturales, encaminados hacia la preservación, la restauración y el uso sostenible (Empresas Públicas de Medellín [EPM], 2013).

La Caja de Compensación Familiar de Antioquia – Comfama, es un actor con presencia en 130,59 hectáreas ubicadas en la cuenca de piedras blancas, las cuales fueron entregadas en comodato por parte de EPM (Comodato CT-80000835699), y en las que se encuentran las instalaciones del Parque Comfama Arví, el cual tiene como responsabilidades el manejo ecoturístico sostenible, ejecutar acciones que garanticen la conservación y protección de los bosques naturales, secundarios, rastrojeras y plantaciones forestales y realizar acciones para la restauración del bosque nativo (EPM, 2013). Actualmente, en el parque Comfama Arví se realizan actividades de remoción de individuos arbóreos de especies foráneas en la etapa temprana de crecimiento y de especies invasoras, así como compensaciones con árboles nativos, pero es necesaria una estructuración de estas actividades y de otras que se pueden implementar para así realizar un proceso efectivo de restauración ecológica.

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente proyecto tiene como objetivo evaluar diferentes estrategias para la restauración del bosque nativo delimitado por la jurisdicción del Parque Comfama Arví, considerando: factores bióticos como la identificación de especies de flora importantes en el proceso de restauración así como los tipos de coberturas de línea base; factores físicos como los tipos de suelos, la red hídrica y las condiciones climáticas de temperatura y precipitación; factores socioeconómicos como las zonas de importancia arqueológica y la actividad económica que se desarrolla dentro del área de estudio junto con la infraestructura asociada. La unión de estos factores permitirá conocer las condiciones de línea base, para así evaluar cuales estrategias de restauración ecológica son más adecuadas.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Evaluar estrategias para la restauración ecológica según las características ambientales del estado actual del bosque húmedo montano bajo ubicado en el Parque Comfama Arví.

1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar ambientalmente el área de estudio teniendo en cuenta los factores bióticos, abióticos y socioeconómicos de línea base.
- Analizar las condiciones de línea base determinantes para la aplicación de actividades de restauración activa y restauración pasiva.
- Priorizar las zonas objeto de restauración de acuerdo con las características ambientales del área de estudio.
- Definir las especies arbóreas nativas aptas para el proceso de restauración ecológica.

2 Marco teórico

El ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (MADS), en el enfoque conceptual del plan nacional de restauración reúne las definiciones de varios autores sobre el concepto de restauración ecológica; la sociedad internacional para la restauración ecológica (SER), la define como el proceso de ayudar al restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido (SER, 2004, citados por Ospina et al, 2015); Bradshaw considera que es el proceso de cambiar la trayectoria de un ecosistema de una condición degradada a una condición similar a la original (Bradshaw, 1987, citado por Ospina et al, 2015), mientras que otros autores plantean que la restauración no lleva necesariamente a la condición original puesto que puede tomar diferentes trayectorias (Zedler & Callaway, 1999, citados por Ospina et al, 2015).

Teniendo en cuenta lo anterior, se podría decir que el objetivo de la restauración ecológica es restablecer total o parcialmente la estructura y función del ecosistema degradado (Salamanca & Camargo, 2000). El ecosistema objeto de restauración puede ser llevado a una condición similar al predisturbio, con el fin de sustentar y garantizar la conservación de las especies, del ecosistema, sus bienes y servicios (Ospina et al, 2015), tales como el aprovisionamiento de agua y alimentos, la regulación de los procesos de inundación y degradativos del suelo, el apoyo a los procesos de fotosíntesis, el ciclo de nutrientes, formación y almacenamiento de materia orgánica y los servicios culturales relacionados con lo espiritual, lo estético y oportunidades de recreación (Center for International Forestry Research [CIFOR], 2011).

Ahora bien, para dar garantía en el cumplimiento de los objetivos de restauración, las estrategias a plantear deben ser de carácter interdisciplinario, en el cual se articule el conocimiento científico teniendo en cuenta los diferentes componentes del ecosistema (Ospina et al, 2015). Estas disciplinas, para efectos prácticos, se pueden agrupar en los medios físico, biótico y socioeconómico con las cuales se puede caracterizar la zona de estudio para conocer su estado actual y así, realizar acciones como priorizar las áreas objeto de restauración, seleccionar especies arbóreas adecuadas y evaluar que estrategias de restauración son más acertadas (Restrepo et al, 2016).

La caracterización del medio físico permite analizar: los tipos de suelos, la fertilidad, contenido de materia orgánica y compactación (Martínez & García, 2007), la morfología del territorio y las condiciones topográficas específicas que los diferentes tipos de vegetación requieren

(Li et al, 2020), y las condiciones de luz, temperatura, precipitación y humedad necesarias para el crecimiento de la vegetación propia del ecosistema (Vargas et al, 2012). El conocimiento de las especies de flora y fauna, sus características y la forma en que se relacionan, los tipos de cobertura, la distribución y conectividad entre fragmentos boscosos permiten que la caracterización biótica sea crucial en la determinación las estrategias de restauración adecuadas (Ospina et al, 2015). El análisis del componente socioeconómico, teniendo en cuenta los factores humanos relacionados con la degradación, las actividades económicas que se desarrollan en la zona de estudio, los limitantes y oportunidades que ofrece el entorno social y los intereses de tipo histórico y cultural, constituyen las características que el plan de restauración ecológica debe tener en cuenta (Ospina et al, 2015).

Dadas las características ambientales del área de estudio, se pueden evaluar estrategias de restauración, las cuales pueden ser clasificadas como pasivas, por medio de las cuales se eliminan los factores generadores de la degradación, permitiendo que el ecosistema se regenere por sí mismo (Salamanca & Camargo, 2000), o estrategias activas, en las que se llevan a cabo técnicas de manejo como la siembra, la tala, el deshierbe, la quema y el aclareo (McIver & Starr, 2001). Dentro de las estrategias activas se pueden considerar diferentes alternativas tales como la reforestación con especies forestales económicas nativas en coberturas de tipo rastrojo bajo y helechales, enriquecimiento con especies forestales nativas en rastrojos altos, bosques secundarios y bosques primarios degradados, rehabilitación de áreas degradadas preparando el suelo y realizando siembras sistemáticas o aleatorias. Estas y otras estrategias deben ir acompañadas de una correcta selección de especies según la necesidad, las cuales pueden clasificarse según su grupo ecológico en pioneras, secundarias y climácicas (Restrepo et al, 2016).

Cada grupo ecológico tiene sus propias características; las especies pioneras son de rápido crecimiento, tienen bajo valor maderero y son tolerantes a la luz, las especies secundarias pueden adaptarse a diferentes condiciones de luminosidad y aportan a la conformación de coberturas con estados de sucesión más avanzados y las especies climácicas, generalmente, son tolerantes a la sombra, de lento crecimiento y su desarrollo maderero es mayor. Desde el punto de vista de la sucesión ecológica, las especies pioneras preceden a las especies secundarias, y estas a las especies climácicas, por lo que clasificar las especies en cada uno de estos grupos toma importancia para definir las diferentes etapas del proceso de restauración (Kemp et al, 1995) (Restrepo et al, 2016).

Por otro lado, es importante conocer los diferentes potenciales de restauración de la zona de estudio, puesto que en zonas de mayor potencial suelen usarse estrategias de restauración pasiva, siendo este el enfoque más rentable, mientras que en las zonas de menor potencial es necesario implementar estrategias activas, las cuales requieren un mayor grado de inversión (Gann et al, 2019).

La zona objeto de estudio del presente proyecto tiene ciertas particularidades para tener en cuenta dentro de su caracterización. Se clasifica en la zona de vida bosque húmedo montano bajo, tiene un clima tropical con influencia de montaña, frío y húmedo, con bajas variaciones anuales de temperatura, pero notables en cuanto a su variación diurna-nocturna. Es un territorio con un largo prontuario en el aprovechamiento de recursos naturales, que se remonta hasta la época precolonial cuando fue ocupada por agricultores, alfareros, mineros de oro y comerciantes, lo que se evidencia en los vestigios arqueológicos que actualmente se encuentran en la zona, también, ha sido objeto de reforestación por medio de plantaciones forestales las cuales se mantienen hasta la actualidad y, en las últimas décadas ha sido testigo del crecimiento ecoturístico del cual Comfama Parque Arví hace parte (EPM, 2013).

3 Metodología

3.1 Caracterización Ambiental

- Clima

Para la caracterización climática de la zona de estudio se solicitó al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) datos de precipitación diaria para la estación climatológica ordinaria Santa Elena (Código 27010810) y la estación pluviográfica Mazo (Código 27010340), los cuales se procesaron en Microsoft Excel para obtener el ciclo anual de precipitación para cada estación, haciendo la sumatoria de precipitación total para cada mes y obteniendo el promedio mensual multianual de precipitación en milímetros el cual arroja doce datos correspondientes a los doce meses del año. Estos datos se utilizaron para generar una gráfica en Python por medio de la cual se aprecia el régimen de precipitación a lo largo del año. También, se solicitaron datos de temperatura máxima diaria y temperatura mínima diaria para la estación climatológica ordinaria Santa Elena (Código 27010340) de los cuales se hizo un ciclo anual de temperatura promediando las temperaturas máximas diarias y las temperaturas mínimas diarias durante cada mes respectivamente y después un promedio mensual multianual para así obtener doce datos de temperatura máxima y doce datos de temperatura mínima en grados Celsius correspondientes a los doce meses del año. Estos datos se procesaron en Python para obtener una gráfica del ciclo anual de temperatura máxima y temperatura mínima.

- Suelos

El mapa con los tipos de suelos se obtuvo a partir de los datos abiertos compilados en el geoportal del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), específicamente de los mapas de suelos del territorio colombiano a escala 1:100000, para el departamento de Antioquia, del cual se procesó un mapa para la zona de estudio usando el sistema de información geográfica QGIS.

- Morfología

Para el modelo de elevación digital (DEM), se descargó un ráster del Satélite Alos Palsar a una escala de 12.5 metros desde el portal Alaska Satellite Facility y por medio de este se hizo el procesamiento en QGIS para la zona de estudio obteniendo así las diferentes alturas sobre el nivel del mar para el área de estudio.

- Coberturas

A partir del Plan Integral de Manejo Forestal (PIMF) para las plantaciones propiedad de EPM ubicadas en la zona de Piedras Blancas – La Honda, en el cual se encuentra el mapa de zonificación por coberturas, se extrajo el mapa de coberturas para el área de estudio usando QGIS.

- Flora

Se usaron bases de datos de la red de monitoreo de los bosques de Colombia COL-TREE, por medio de las cuales se tuvo un inventario de especies arbóreas y arbustivas de un ecosistema de referencia.

- Arqueología

Considerando las zonas arqueológicas delimitadas por la Resolución 2236 del 4 de diciembre de 2008 del Ministerio de Cultura (Colombia. Ministerio de Cultura, 2008) y a partir de una visita de campo, se hizo la georreferenciación de los vestigios arqueológicos que se encuentran en la zona de estudio y posteriormente se realizó un mapa usando el sistema de información geográfica QGIS.

- Actividades económicas

Teniendo en cuenta que este proyecto se realizó en un parque recreativo ecoturístico, por medio de QGIS se hizo un mapa con la delimitación de las zonas que tienen esta vocación y la infraestructura asociada.

3.2 Priorización de áreas a restaurar

Para la priorización de áreas a restaurar se tuvo en cuenta los mapas de coberturas, sitios arqueológicos e infraestructura, así como un análisis multicriterio que incluyó análisis de conectividad entre bosques y el grado de intervención humana en los procesos de restauración. Con dicha información y usando QGIS se realizó un mapa de zonas de potenciales de restauración.

3.3 Selección de especies

A partir de los inventarios obtenidos de la red de monitoreo de los bosques de Colombia COL-TREE, se realizó una clasificación de las especies arbóreas y arbustivas según su índice de valor de importancia (Ecuación 1), índice de crecimiento (Ecuación 2) y biomasa aérea a partir de la ecuación alométrica para el bosque húmedo montano bajo en Colombia (Ecuación 3).

Ecuación 1. Índice de Valor de Importancia - IVI

$$IVI(\%) = Ar(\%) + Fr(\%) + Dr(\%)$$

Donde, Ar (Abundancia Relativa) es el número de individuos de cierta especie como una porción del número total de individuos, Fr (Frecuencia Relativa) es la frecuencia de cierta especie como la proporción de la suma de las frecuencias de todas las especies, Dr (Dominancia Relativa) es la dominancia de cierta especie como la proporción del área basal de una especie respecto a la suma de las áreas basales de todas las especies. A su vez el área basal se calcula a partir del diámetro a la altura del pecho (DAP).

Ecuación 2. Ecuación alométrica para la estimación de la biomasa aérea en el bosque húmedo montano bajo - BA

$$BA = e^{(2.225 - 1.552 \times \ln(DAP) + 1.236 \times (\ln(DAP))^2 - 0.126 \times (\ln(DAP))^3 - 0.237 \times \ln(\rho))}$$

Donde, DAP es el diámetro a la altura del pecho en cm y ρ la densidad de la madera según Global Wood Density Database en g/cm³.

Ecuación 3. Índice de Crecimiento

$$IC = \frac{DAP_2 - DAP_1}{N}$$

Donde, DAP1 es el diámetro a la altura del pecho en centímetros para un tiempo inicial, DAP2 es el diámetro a la altura del pecho en centímetros para un tiempo posterior y N es el número de años transcurridos entre la toma de las dos medidas, arrojando así un resultado en cm/año.

También, se realizó una clasificación de las especies según su grupo ecológico teniendo en cuenta dos parámetros: la densidad de la madera y el índice de crecimiento. Respecto a la densidad de la madera aquellas especies con valores menores o iguales a 0.5 g/cm³ fueron clasificadas como pioneras, especies con valores entre 0,5 g/cm³ y 0.7 g/cm³ como secundarias y especies con valores mayores o iguales a 0.7 g/cm³ como climácicas. Por otro lado, respecto al índice de crecimiento, aquellas especies que tuvieran valores menores al tercer percentil fueron clasificadas como climácicas, especies con valores entre el tercer y el séptimo percentil como secundarias y especies con valores mayores al séptimo percentil como pioneras.

3.4 Evaluación de estrategias de restauración

Como fuentes de información de las posibles estrategias de restauración a elegir se consultó en el Plan Nacional de Restauración del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Ospina et al, 2015) y el artículo sobre corredores biológicos como estrategia para la restauración de servicios ecosistémicos en bosques andinos (Restrepo et al, 2016). Para la elección de las estrategias de restauración pasivas y activas se tuvo en cuenta el análisis de las características de línea base de la zona de estudio, así como las áreas priorizadas según su potencial de restauración.

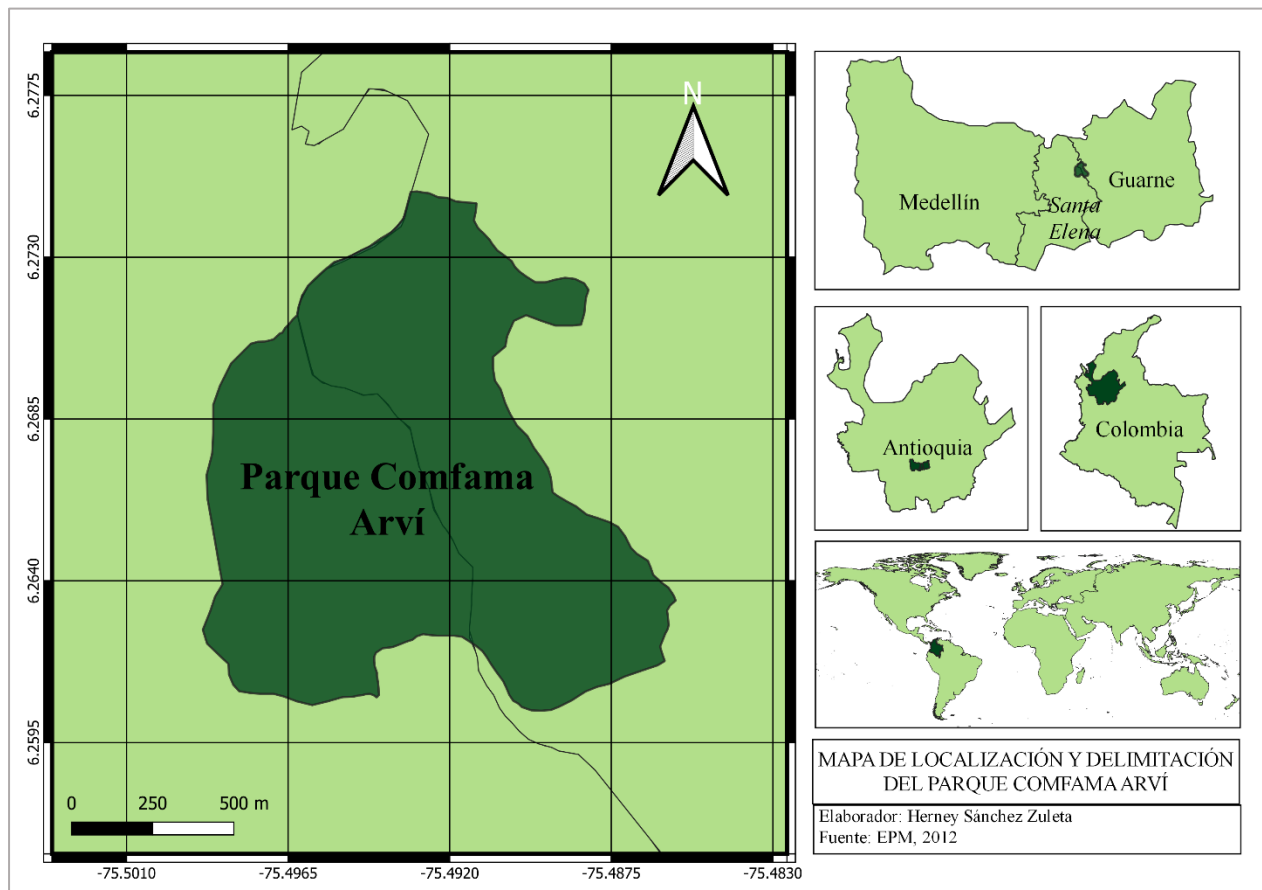
4 Resultados y Análisis

4.1 Caracterización Ambiental

El Parque Comfama Arví se encuentra distribuido entre el municipio de Guarne y el corregimiento de Santa Elena, municipio de Medellín, en el departamento de Antioquia, Colombia (**Figura 1**). Cuenta con una extensión de 130.59 hectáreas entregadas en comodato por parte de EPM. El parque en su extensión cuenta con áreas destinadas al manejo ecoturístico sostenible y zonas de restauración (EPM, 2013).

Figura 1

Mapa de localización y delimitación del Parque Comfama Arví



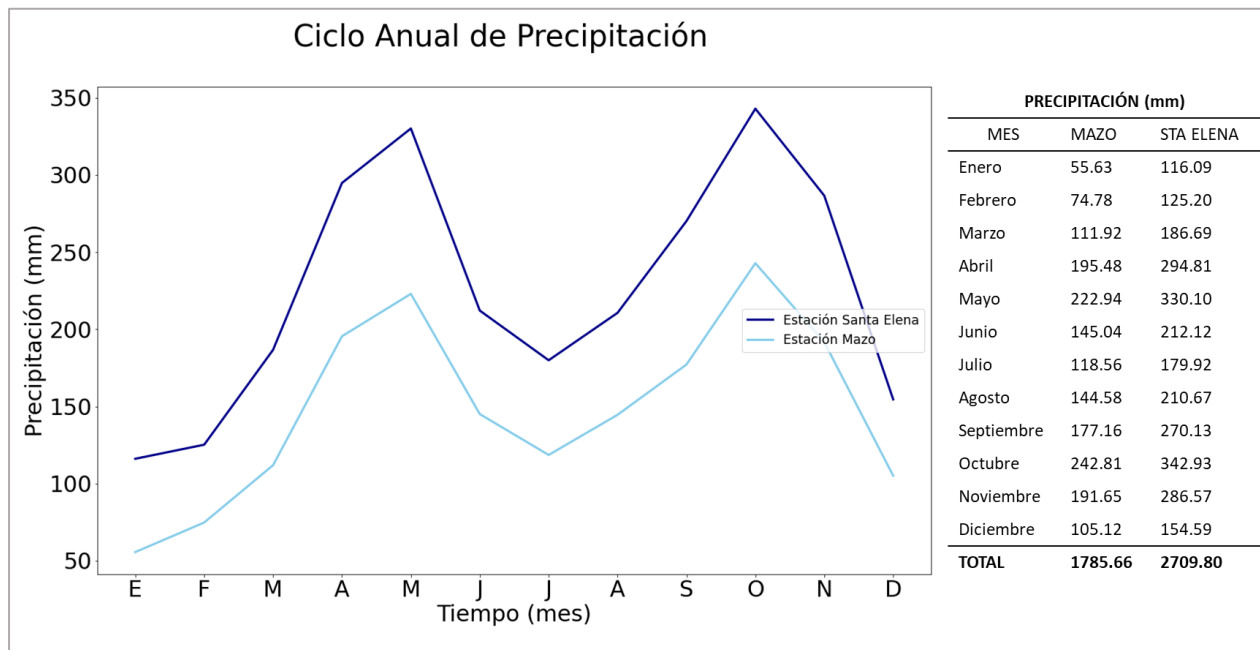
Nota. Fuente (EPM, 2013)

El área de estudio se caracteriza por un régimen de precipitación bimodal, con dos picos de precipitación en el año, el primero en el mes de mayo y el segundo en el mes de octubre. Para la estación Mazo, ubicada en una vereda aledaña al parque, los picos de precipitación son de 222.94 mm para el mes de mayo y 242.81 mm para el mes de octubre. La estación Santa Elena, ubicada en el corregimiento del que hace parte el Parque Comfama Arví, cuenta con un pico de precipitación de 330.10 mm en el mes de mayo y otro de 342.93 mm en el mes de octubre. La precipitación total promedio en un año es de 1785.66 mm para la estación Mazo y de 2709.80 mm para la estación Santa Elena (**Figura 2**).

De las dos estaciones la que queda más cerca al área de estudio es la estación Mazo, por lo que se espera que los valores de precipitación para el Parque Comfama Arví sean similares a los obtenidos para esta estación, aunque se podrían esperar valores que se encuentren dentro del rango formado entre los dos ciclos anuales. Es de resaltar que sin importar cual estación representa mejor el área de estudio, se cuenta con valores importantes de precipitación durante todo el año con un comportamiento muy marcado, lo cual es un factor para tener en cuenta para llevar a cabo ciertas actividades de restauración ecológica.

Figura 2

Ciclo anual de Precipitación para las estaciones Mazo (azul claro) y Santa Elena (azul oscuro)

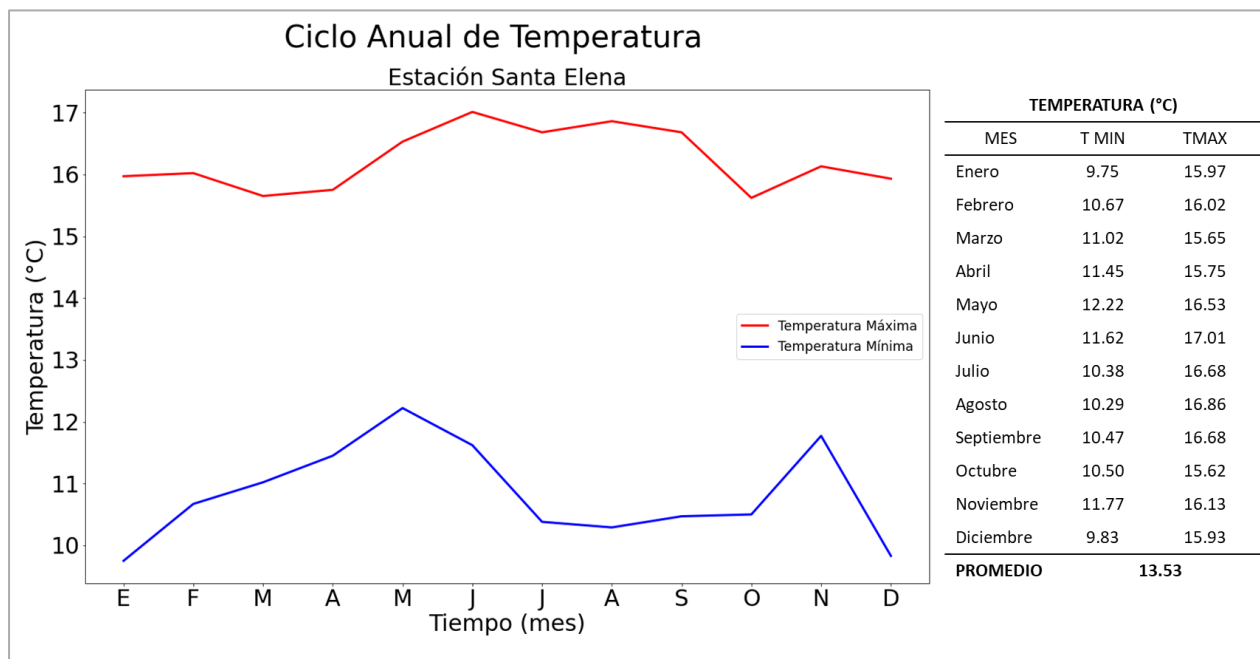


Nota. Fuente Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

El ciclo anual de temperatura obtenido a partir de los datos de la estación Santa Elena muestra para la temperatura mínima valores entre 9.75 °C y 12.22 °C, para la temperatura máxima valores entre 15.62 °C y 17.01 °C y el valor promedio entre los datos del ciclo anual de temperatura mínima y máxima es de 13.53 °C (**Figura 3**). Como es de esperarse no hay grandes variaciones en los ciclos de temperatura esto debido a que el área de estudio se localiza una región tropical.

Figura 3

Ciclo anual de temperatura máxima (rojo) y de temperatura mínima (azul) para la estación Santa Elena



Nota. Fuente Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

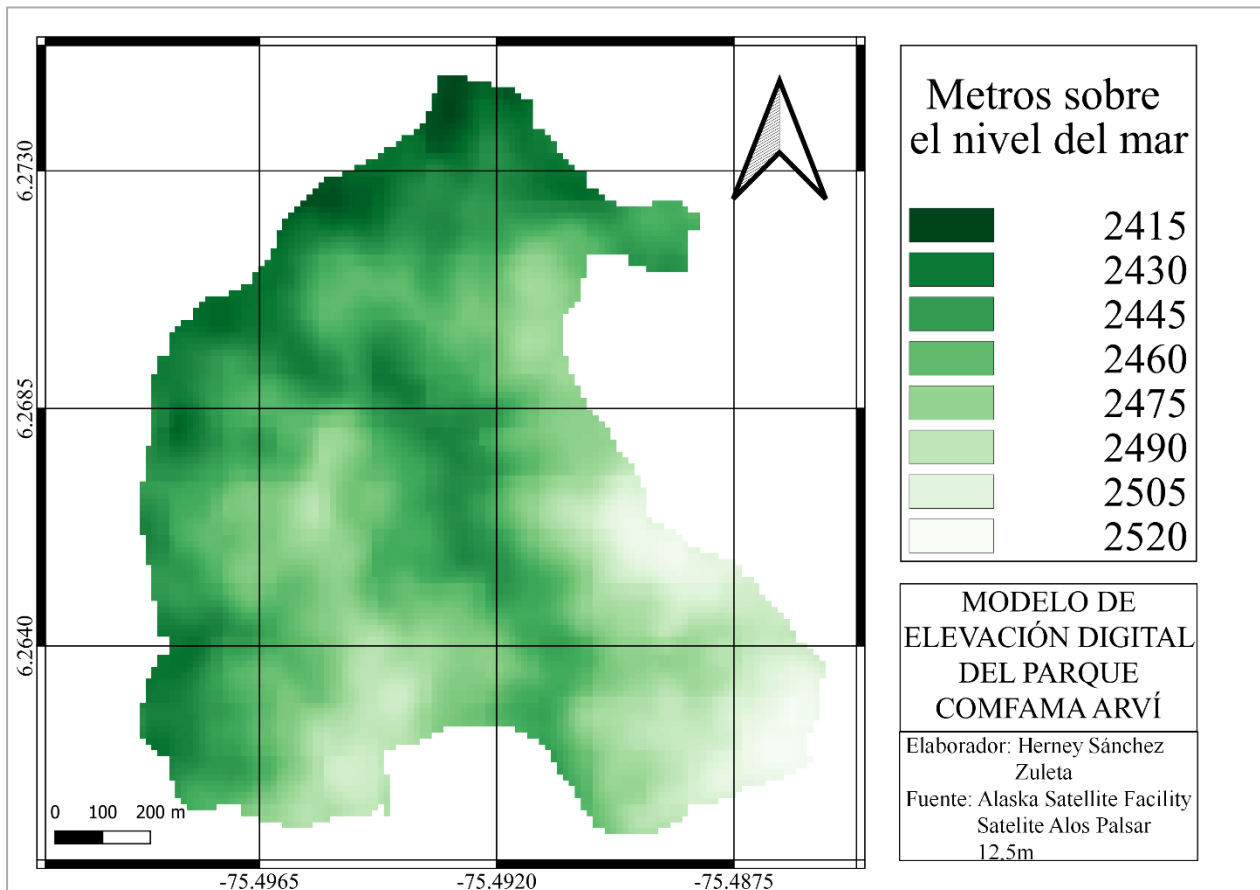
Por otro lado, el modelo de elevación digital muestra variaciones altitudinales entre los 2415 msnm y los 2520 msnm, específicamente una variación de 105 metros (**Figura 4**).

Teniendo en cuenta que el valor de precipitación anual promedio es de 1785.66 mm, la temperatura anual promedio es de 13.53 °C y altitud se encuentra entre los 2415 msnm y los 2520 msnm, se puede clasificar el área de estudio como un bosque húmedo montano bajo, según el método de estratificación de los bosques naturales basado en las zonas de vida de Holdridge.

La identificación de la zona de vida es clave para escoger ecosistemas de referencia, de los cuales se puede extraer información acerca de las especies de flora que serán seleccionadas en el presente proyecto.

Figura 4

Modelo de elevación digital del Parque Comfama Arví



Nota. Fuente Alaska Satellite Facility, Satélite Alos Palsar, Resolución 12.5 m

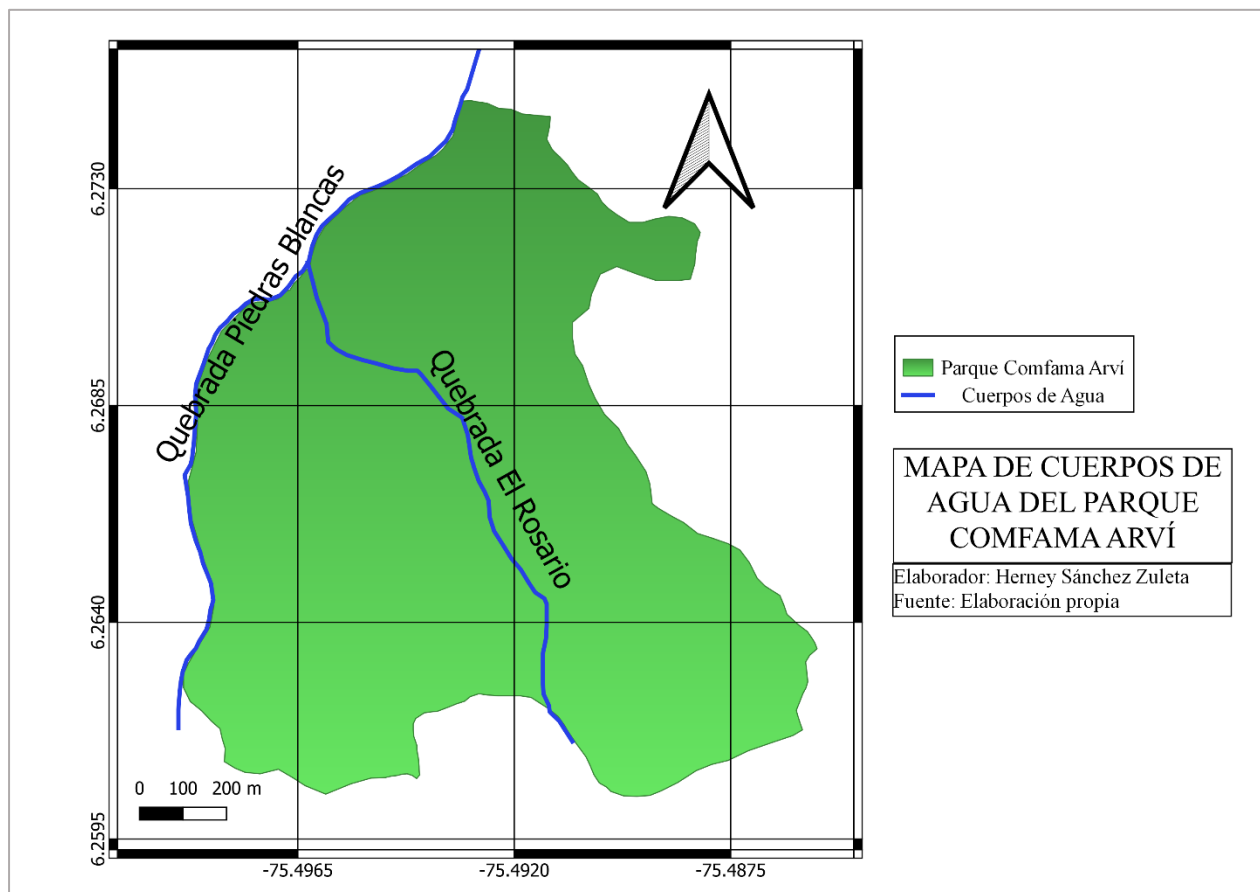
Las zonas bajas del área de estudio representadas en el modelo de elevación digital con verdes en tonos oscuros corresponden a los sectores por los que pasan las quebradas Piedras Blancas y El Rosario (**Figura 5**), las cuales son los cuerpos de agua más importantes dentro del Parque Comfama Arví, siendo la extensión, durante su transcurso por el mismo, de 1686 metros para la quebrada Piedras Blancas y de 1379 metros para la quebrada El Rosario.

Estos cuerpos de agua hacen parte de la microcuenca de la quebrada piedras blancas, la cual está localizada en la jurisdicción de los municipios de Copacabana, Guarne y Medellín. Su tramo

más alto se encuentra en las veredas Piedra Gorda, Mazo y Piedras Blancas hasta el embalse de EPM; es en este tramo de cuenca en el que se encuentra el sitio de estudio. El tramo medio se encuentra desde la antigua vía a Guarne hasta el cruce de la Autopista Medellín – Bogotá. Por último, el tramo bajo se encuentra desde el cruce de la Autopista Medellín – Bogotá hasta su desembocadura en el río Medellín.

Figura 5

Mapa de cuerpos de agua del Parque Comfama Arví

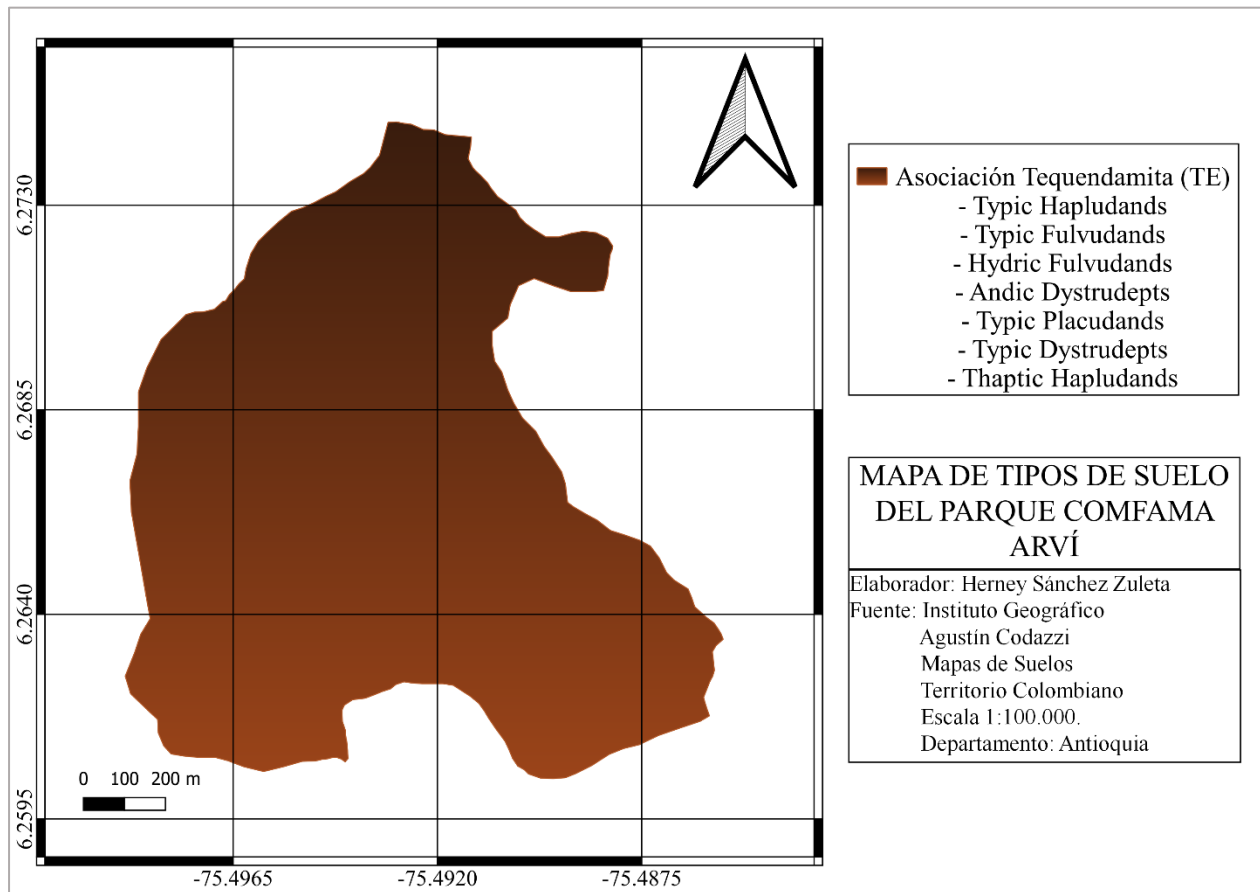


Nota. Cuerpos de agua más importantes dentro del Parque Comfama Arví

Respecto a la caracterización de los suelos, se identifica para la zona de estudio la presencia de una asociación tequendamita en toda el área (**Figura 6**). Esta asociación está conformada por Typic Hapludands, Typic Fulvudands, Hydric Fulvudands, Andic Dystrudepts, Andic Dystrudepts, Typic Placudands, Typic Dystrudepts y Thaptic Hapludands. Litológicamente se origina a partir de rocas metamórficas (esquistos, neisses) con cobertura de cenizas volcánicas, Son suelos

profundos a moderadamente profundos, bien drenados, con texturas medias, reacción muy fuerte a fuertemente ácida, fertilidad baja a moderada y erosión ligera a moderada.

El perfil de suelos en la cuenca de la quebrada piedras blancas se caracteriza por tener un horizonte O rico en materia orgánica compuesto por biomasa viva, residuos parcial o totalmente descompuestos y productos biosintetizados por organismos del suelo, aunque en algunos sectores no hay un horizonte O enriquecido a causa de la intervención antrópica y en sitios de alta pendiente. En el horizonte A1 está conformado por depósitos de ceniza volcánica acumulada en diferentes periodos proveniente de emisiones volcánicas del macizo Ruiz – Tolima. En el horizonte A2 hay presencia de lateralitas y costras de hierro, con una coloración marrón, originadas por las fluctuaciones del nivel freático el cual facilita la movilización de hierro obtenido de minerales ferromagnesianos de la roca que suprayace o del lavado de minerales férricos en la ceniza volcánica. El horizonte A3 es de tipo gley y tiene una coloración gris a a gris-azulado debido a una redistribución de iones de hierro por acción del cambio en el nivel freático. El horizonte A4 es una línea de piedra constituida en su gran mayoría por clastos de cuarzo y nódulos de hierro. Por último, el horizonte C se compone de anfibolita meteorizada de color pardo amarillento o pardo rojizo (Sánchez, 2016).

Figura 6*Mapa de tipos de suelo del Parque Comfama Arví*

Nota. Fuente Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Mapas de Suelos Territorio Colombiano. Departamento Antioquia. Escala 1:100000

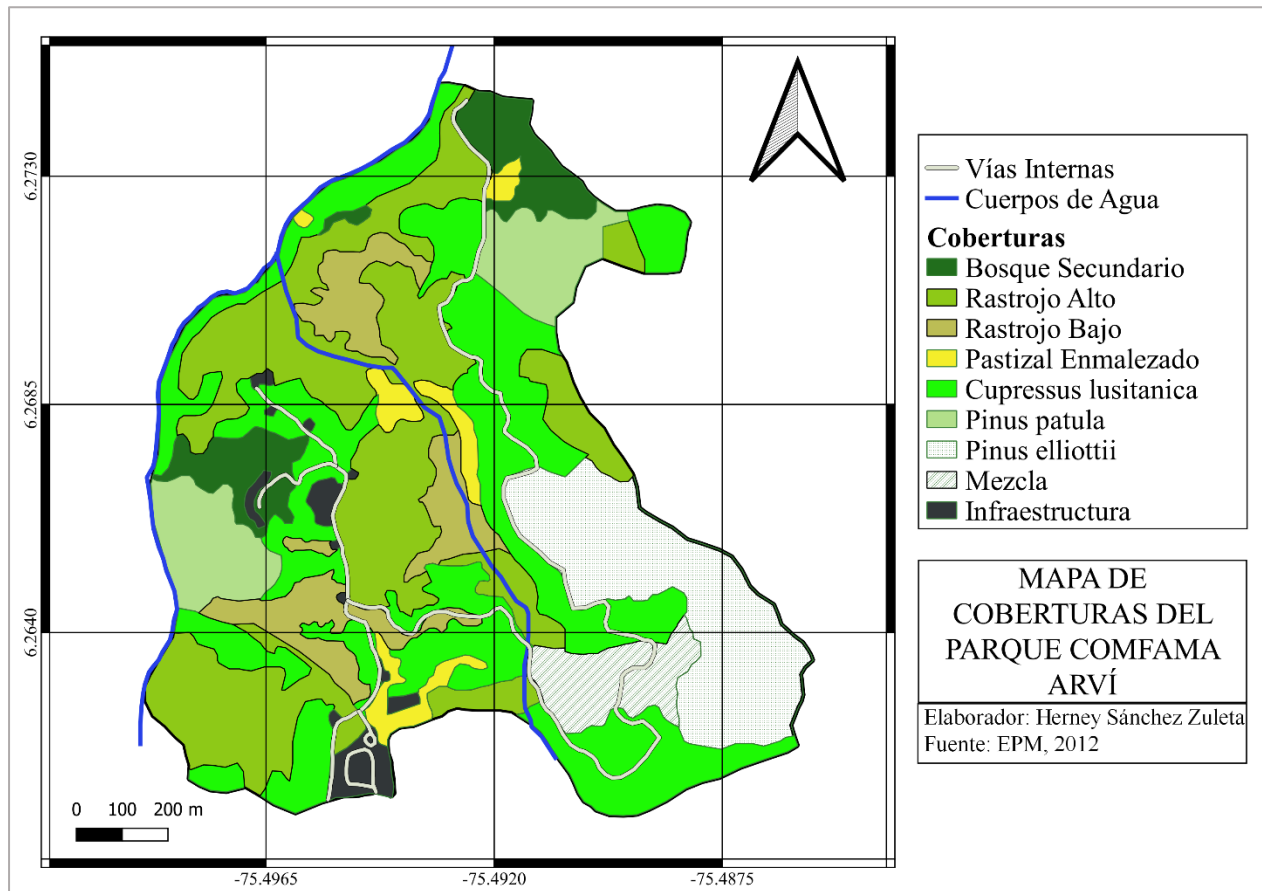
El suelo en el parque arví está destinado actualmente para uso sostenible y restauración (EPM, 2013), pero a través de la historia ha tenido uso agropecuario, forestal y minero. En el área de estudio existen aún antiguas plantaciones forestales de *Cupressus Lusitanica*, *Pinus patula* y *Pinus elliottii*, en su gran mayoría, pero también existen zonas de rastrojo alto, rastrojo bajo, pastizal enmalezado y bosque secundario (**Figura 7**).

Tal como se muestra en la *Tabla 1*, un 54% del área total del Parque Comfama Arví está cubierta por antiguas plantaciones forestales un 31% de Ciprés (*Cupressus lusitánica*), 13% de Pino Elioti (*Pinus elliottii*), un 7% de Pino Pátula (*Pinus patula*) y un 4% de mezcla de las anteriores. Del área total un 6% corresponde a bosque secundario, 27% a rastrojo alto, 8 % a

rastrojo bajo y 3% a pastizal enmalezado, para un total de 44% cubierto por coberturas en diferentes estados de sucesión. Por último, un 2% está cubierto por la infraestructura del parque.

Figura 7

Mapa de coberturas del Parque Comfama Arví



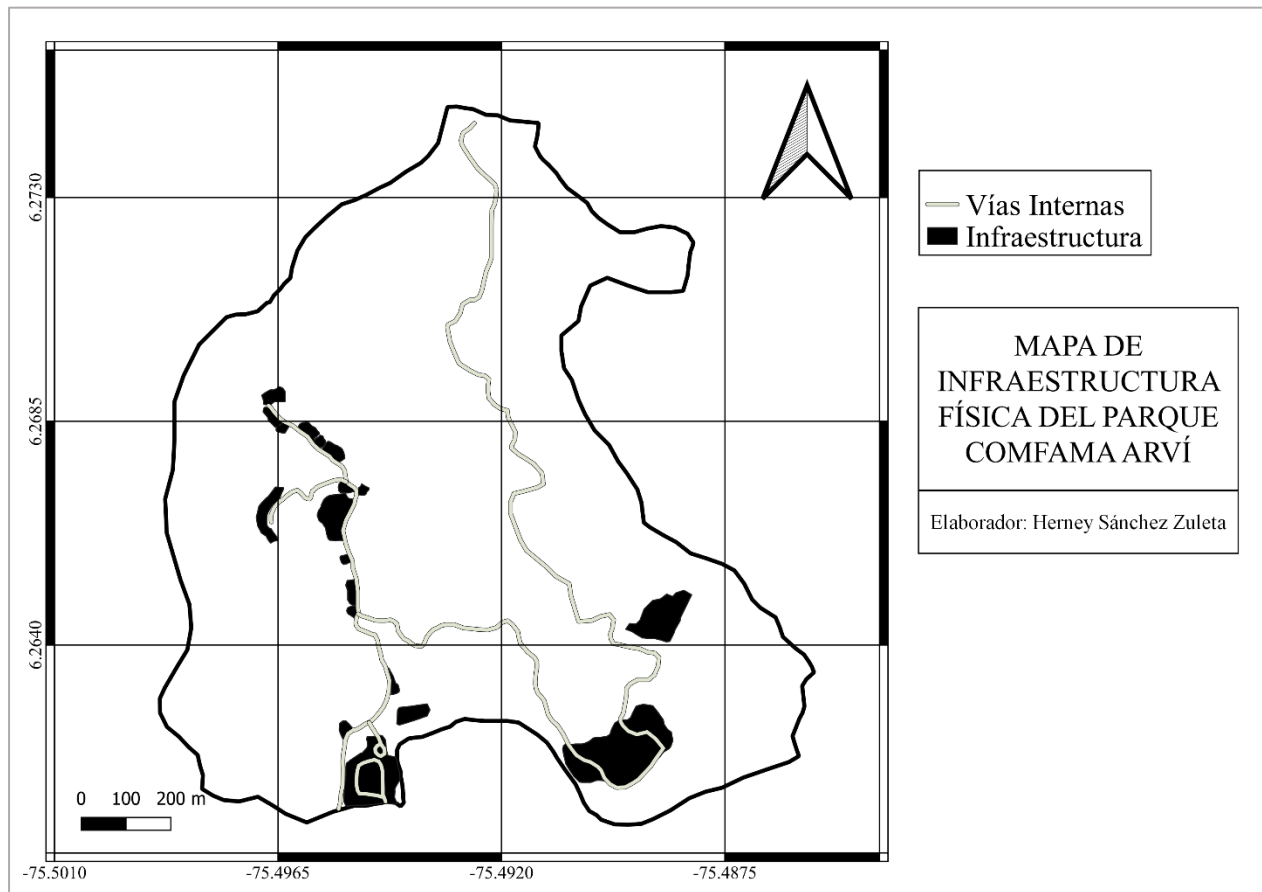
Nota. Adaptado del Mapa de coberturas vegetales en los predios propiedad de EPM en la zona Piedras Blancas – La Honda. Año 2012. (EPM, 2013).

Tabla 1*Porcentaje del área total por tipo de cobertura*

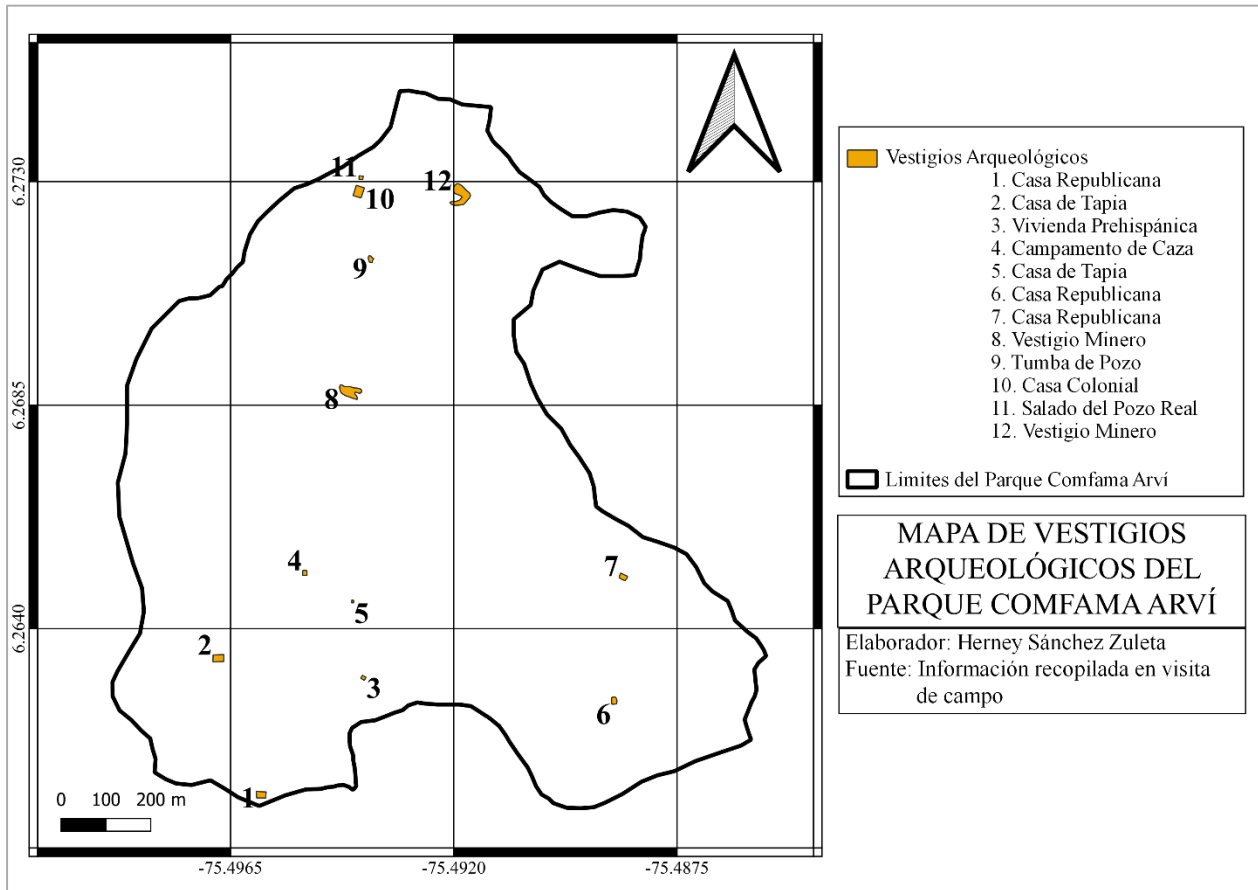
Cobertura	% de Área
Bosque secundario	6%
Rastrojo alto	27%
Rastrojo bajo	8%
Pastizal enmalezado	3%
Cupressus lusitanica	31%
Pinus patula	7%
Pinus elliottii	12%
Mezcla*	4%
Infraestructura	2%

* Diferentes tipos de especies forestales cubriendo esta área

Como se observa en la **Figura 8**, además del 2% en infraestructura mencionado anteriormente, existen otras zonas de infraestructura inmersa dentro de la vegetación, la cual no se observa desde imágenes satelitales pero que están asociadas a la actividad económica de servicio en turismo y recreación, y que no podrían destinarse a actividades de restauración ecológica.

Figura 8*Mapa de infraestructura del Parque Comfama Arví*

Otras zonas que no pueden destinarse a las diferentes actividades de restauración ecológica son los sitios en los que se encuentran los 12 vestigios arqueológicos puntuales que se muestran en la **Figura 9**. Estos vestigios corresponden a diferentes tipos de viviendas de épocas prehispánicas, coloniales y republicanas, sitios en los que se desarrolló minería en la época colonial, un campamento de caza, una tumba indígena y un sitio del cual se extraía sal en la época prehispánica. Estos sitios deben ser conservados como parte de la riqueza histórica y arqueológica de la zona de estudio.

Figura 9*Mapa de vestigios arqueológicos del Parque Comfama Arví*

4.2 Priorización de áreas a restaurar

Para la priorización de las áreas sobre las que se pueden realizar actividades de restauración ecológica se tuvieron en cuenta el grado de sucesión y el tipo de cobertura mostrado en la **Figura 7**, la posibilidad de crear corredores ecológicos entre núcleos con estados de sucesión avanzados y la cercanía a zonas con un grado de sucesión mayor.

Por otro lado, dentro del área total del parque existen zonas sobre las cuales no se pueden realizar procesos de restauración ecológica, tales como los sitios en los que hay infraestructura asociada a la operación turística y recreativa del parque mostrados en la **Figura 8** y los lugares donde hay vestigios arqueológicos de la **Figura 9**. Estas son clasificadas como zonas de no restauración.

Según estos criterios, en la **Tabla 2** se cuenta con una clasificación según el potencial de restauración con calificaciones de muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo y de no restauración. En la **Figura 10** se puede apreciar visualmente dicha clasificación dentro Comfama Parque Arví.

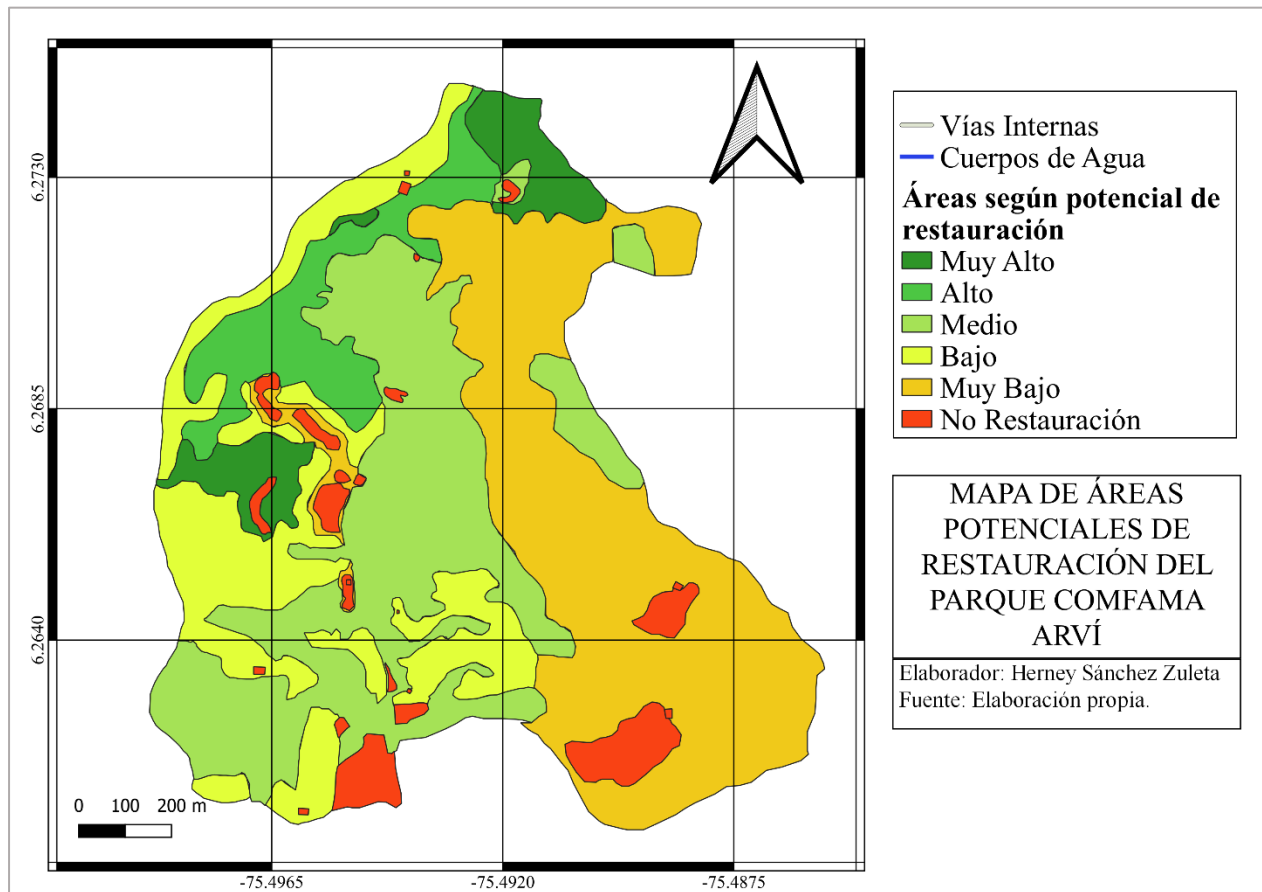
Tabla 2

Clasificación según el potencial de restauración ecológica

Potencial de restauración	Asignación de criterios
Muy Alto	Bosques secundarios.
Alto	Rastrojos altos en los que existe la posibilidad de crear corredores entre núcleos con estados de sucesión más avanzados.
Medio	Rastrojos bajos y pastizales enmalezados.
Bajo	Áreas cubiertas por especies forestales introducidas como cipreses o pinos pero que están rodeadas o tienen bastante conexión con núcleos en los que ya existe cierto grado de sucesión ecológica.
Muy Bajo	Grandes extensiones cubiertas por especies introducidas como cipreses o pinos.
No Restauración	Áreas con presencia de infraestructura asociada al servicio del parque y zonas con vestigios arqueológicos.

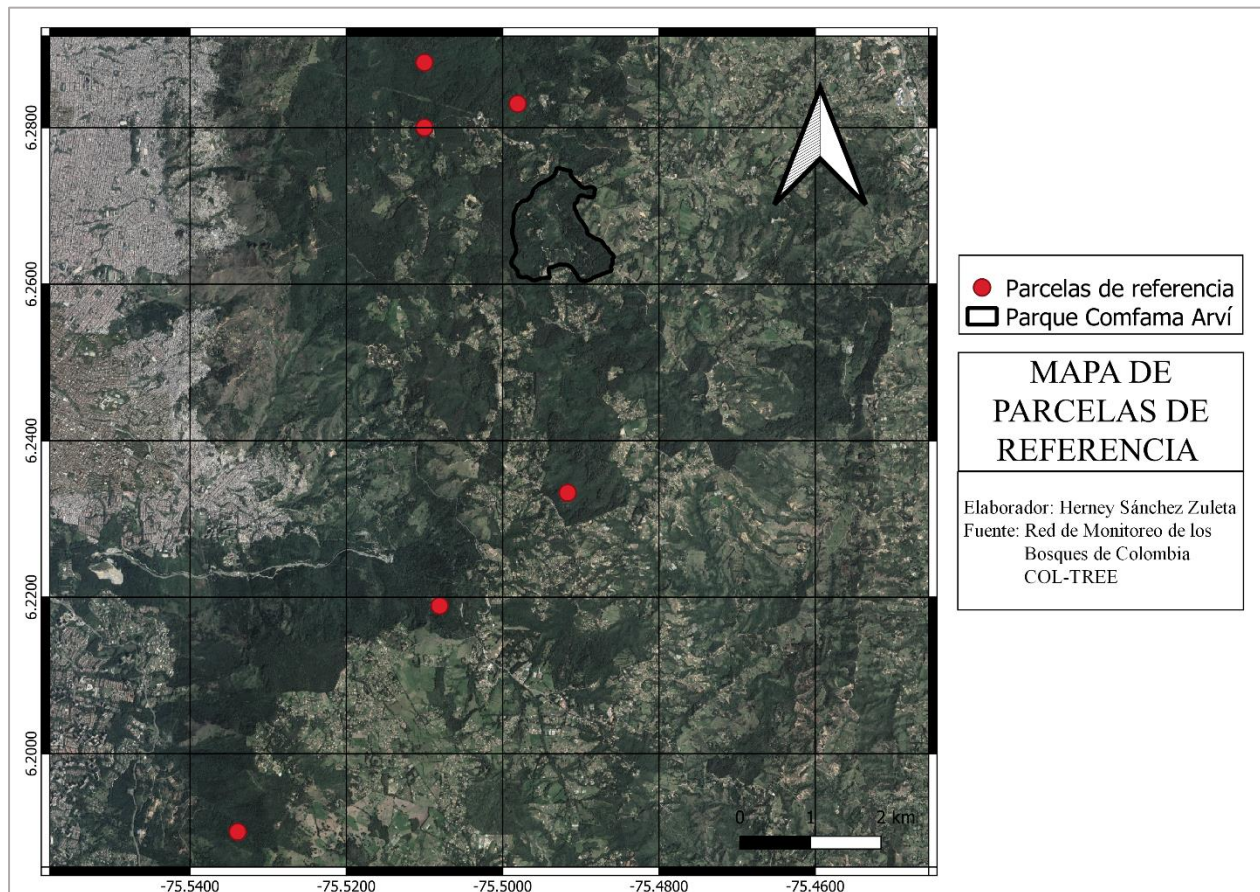
Figura 10

Mapa de áreas según su potencial de restauración del Parque Comfama Arví



4.3 Selección de especies

Las parcelas de referencia de las que se tomaron los inventarios de especies cumplen con la condición de estar en una zona de vida de bosque húmedo montano bajo, incluso todas ellas se encuentran dentro del corregimiento de Santa Elena, tal como se muestra en la *Figura 10*. Esto otorga a la selección de especies un buen nivel de confianza.

Figura 11*Mapa de parcelas de referencia*

Nota. Fuente Red de Monitoreo de los Bosques de Colombia COL-TREE

En la **Tabla 3** se encuentra la selección de aquellas especies que cuentan con un mayor índice de valor de importancia, es decir, las que en términos generales tienen mayor abundancia, dominancia y frecuencia en las parcelas de referencia. Se podría decir que estas especies son más exitosas propagándose en la región de la cual hace parte el Parque Comfama Arví.

En la misma tabla, se tienen las especies que cuentan con un menor índice de valor de importancia, dicho de otra forma, las que en términos generales tienen menor abundancia, dominancia y frecuencia. Esto no quiere decir que estas especies no sean importantes en el sentido literal de la palabra, sino que por el contrario pueden ser especies que no han sido tan exitosas propagándose en el territorio o que podrían estar dentro de alguna categoría de riesgo, por lo que sería importante ayudar en su propagación.

Como información adicional en la **Tabla 3** se indica el nombre común de la especie, el hábito de crecimiento, el grupo ecológico al cual pertenece cada una y el valor del IVI.

Tabla 3

Selección de especies según el Índice de Valor de Importancia - IVI

Especies seleccionadas según el Índice de Valor de Importancia - IVI				
Especies con mayor IVI				
Nombre Científico	Nombre Común	Hábito	Grupo Ecológico	IVI
<i>Aegiphila novogranatensis</i>	Tabaquillo	Árbol	SECUNDARIA	63.5%
<i>Alchornea acutifolia</i>		Árbol	PIONERA	81.0%
<i>Baccharis 1</i>		Arbusto	PIONERA	80.3%
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	Cucharro	Árbol	PIONERA	84.3%
<i>Clethra fagifolia</i>	Chiriguaco	Árbol	SECUNDARIA	82.3%
<i>Clusia alata</i>	Chagualón	Árbol	SECUNDARIA	81.0%
<i>Eschweilera antioquiensis</i>	Olleto, Catelisoto, Olla de mono	Árbol	CLIMÁCICA	81.2%
<i>Hedyosmum bonplandianum</i>	Silbo-silbo	Árbol	PIONERA	82.9%
<i>Ilex danielis</i>	Huesito, Palo negro, Cardenillo	Árbol	SECUNDARIA	82.1%
<i>Ilex nervosa</i>	Cardenillo	Árbol	SECUNDARIA	81.0%
<i>Lozania mutisiana</i>	Café de monte	Árbol	SECUNDARIA	83.4%
<i>Miconia theizans</i>	Nigüito	Arbusto	SECUNDARIA	101.5%
<i>Miconia tinifolia</i>	Morochillo de montaña	Arbusto	SECUNDARIA	66.0%
<i>Myrcia popayanensis</i>	Arrayán	Árbol	CLIMÁCICA	109.5%
<i>Nectandra acutifolia</i>	Laurel amarillo, Laurel	Árbol	SECUNDARIA	85.9%
<i>Ocotea 1</i>		Árbol	SECUNDARIA	82.3%
<i>Palicourea garciae</i>	Cafecillo	Arbusto	SECUNDARIA	100.7%
<i>Piper archeri</i>	Cordoncillo	Arbusto	PIONERA	101.3%
<i>Piper calceolarium</i>	Cordoncillo	Arbusto	PIONERA	80.4%
<i>Prunus integrifolia</i>	Ojo de pava, Cerezo	Árbol	SECUNDARIA	81.9%
<i>Quercus humboldtii</i>	Roble de tierra fría, Roble blanco	Árbol	CLIMÁCICA	79.1%
<i>Rhamnus goudotiana</i>	Cabo de hacha	Árbol	SECUNDARIA	80.3%
<i>Turpinia occidentalis</i>	Mantequilla	Árbol	PIONERA	82.8%
Especies con menor IVI				
Nombre Científico	Nombre Común	Hábito	Grupo Ecológico	IVI
<i>Beilschmiedia pendula</i>	Laurel	Árbol	CLIMÁCICA	20.1%
<i>Brunellia subsessilis</i>	Cedrillo, Riñón	Árbol	PIONERA	20.0%
<i>Croton billbergianus</i>	Guacamayo	Árbol	SECUNDARIA	20.0%

<i>Dussia colombiana</i>		Árbol	SECUNDARIA	20.0%
<i>Gaiadendron punctatum</i>	Platero	Arbusto	SECUNDARIA	20.0%
<i>Ladenbergia macrocarpa</i>	Azuceno	Árbol	PIONERA	20.1%
<i>Lycianthes acutifolia</i>		Arbusto	PIONERA	20.0%
<i>Matayba 2</i>		Árbol	CLIMÁCICA	20.0%
<i>Meliosma sp.</i>		Arbusto	CLIMÁCICA	20.0%
<i>Miconia sp.</i>		Arbusto	SECUNDARIA	20.0%
<i>Ocotea 2</i>		Árbol	SECUNDARIA	20.0%
<i>Oreopanax incisus</i>	Mano de oso	Árbol	SECUNDARIA	20.0%
<i>Palicourea heterochroma</i>		Arbusto	SECUNDARIA	20.0%
<i>Palicourea sp</i>		Arbusto	SECUNDARIA	20.0%
<i>Persea subcordata</i>	Aguacatillo, Laurel, Mestizo	Árbol	SECUNDARIA	20.1%
<i>Piper sp</i>		Arbusto	PIONERA	20.0%
<i>Prunus sp.</i>		Árbol	SECUNDARIA	20.0%
<i>Prunus subcorymbosa</i>	Botundo, Cerezo, Duraznillo	Árbol	SECUNDARIA	20.0%
<i>Prunus urotaenia</i>	Truco	Árbol	SECUNDARIA	20.0%
<i>Siparuna echinata</i>	Surapanga	Arbusto	SECUNDARIA	20.0%
<i>Solanum sp</i>		Arbusto	PIONERA	20.0%
<i>Styrax pseudargyrophyllus</i>		Árbol	CLIMÁCICA	20.1%
<i>Zanthoxylum campicola</i>		Árbol	SECUNDARIA	20.0%

Nota. Fuente Red de monitoreo de los bosques de Colombia COL-TREE

* Nombre Común Fuente (

Usando la biomasa aérea calculada a partir de la ecuación alométrica para el bosque húmedo montano bajo en Colombia, fueron seleccionadas 20 especies. Específicamente, en la **Tabla 4** se muestran las 10 especies con mayor biomasa y que suman el 51% de la biomasa aérea total de las parcelas usadas y, por otro lado, las 10 especies con menor biomasa y que suman el 0.03% de la biomasa aérea total. Además, se indica el nombre común, hábito de crecimiento, grupo ecológico y biomasa aérea en kilogramos para cada especie.

Tabla 4
Selección de especies según la Biomasa Aérea – BA

Especies seleccionadas según la Biomasa Aérea – BA				
Especies con mayor BA				
Nombre Científico	Nombre Común	Habito	Grupo Ecológico	BA (kg)
<i>Clethra fagifolia</i>	Chiriguaco	Árbol	SECUNDARIA	6548.77
<i>Clusia multiflora</i>	Chagualo	Árbol	SECUNDARIA	6724.86
<i>Drimys granadensis</i>	Canelo de páramo	Árbol	PIONERA	28668.97
<i>Escallonia paniculata</i>	Chilco colorado	Árbol	SECUNDARIA	9392.12
<i>Hedyosmum</i> 1		Árbol	PIONERA	9253.25
<i>Morus insignis</i>	Lechudo	Árbol	SECUNDARIA	15726.18
<i>Myrcia popayanensis</i>	Arrayán	Árbol	CLIMÁCICA	8331.47
<i>Quercus humboldtii</i>	Roble de tierra fría	Árbol	CLIMÁCICA	24469.15
<i>Tibouchina lepidota</i>	Sietecueros	Árbol	SECUNDARIA	6672.69
<i>Weinmannia pubescens</i>	Encenillo	Árbol	SECUNDARIA	12140.42
Especies con menor BA				
Especie	Nombre Común	Habito	Grupo Ecológico	BA (kg)
<i>Baccharis</i> 1		Arbusto	PIONERA	6.35
<i>Chamaedorea pinnatifrons</i>	Molinillo, Palma molinillo	Palma	CLIMÁCICA	6.65
<i>Geonoma orbignyana</i>	Palmilla, Maraya, Maquenque	Palma	CLIMÁCICA	6.38
<i>Guarea kunthiana</i>	Cedro macho, Mestizo	Árbol	CLIMÁCICA	6.46
<i>Miconia</i> sp.		Arbusto	SECUNDARIA	6.52
<i>Palicourea heterochroma</i>		Arbusto	SECUNDARIA	6.50
<i>Pentacalia vulpinaris</i>		Arbusto	SECUNDARIA	6.11
<i>Phyllanthus popayanensis</i>		Arbusto	SECUNDARIA	6.41
<i>Schistocarpha</i> 1		Arbusto	SECUNDARIA	6.35
<i>Zanthoxylum campicola</i>		Árbol	SECUNDARIA	6.44

Nota. Fuente Red de monitoreo de los bosques de Colombia COL-TREE

Por otro lado, se realizó una selección de especies según el índice de crecimiento, teniendo en cuenta aquellas especies que coincidieran con el grupo ecológico asignado según la densidad de la madera. En la **Tabla 5** se muestran dichas especies, con su nombre común, hábito de crecimiento, grupo ecológico e índice de crecimiento en cm/año.

Tabla 5*Especies seleccionadas según el Índice de Crecimiento - IC*

Especies seleccionadas según el Índice de Crecimiento - IC				
Nombre científico	Nombre común	Hábito	Grupo Ecológico	IC (cm/año)
<i>Alchornea acutifolia</i>	Mestizo	Árbol	PIONERA	0.303
<i>Brunellia trianae</i>	Cedrillo, Riñón	Árbol	PIONERA	0.319
<i>Clethra fagifolia</i>	Chiriguaco	Árbol	SECUNDARIA	0.199
<i>Clusia ducuoides</i>	Chagualito	Árbol	SECUNDARIA	0.230
<i>Cordia cylindrostachya</i>		Árbol	SECUNDARIA	0.209
<i>Cyathea meridensis</i>		Helecho arboreo	SECUNDARIA	0.173
<i>Drimys granadensis</i>	Canelo de páramo	Árbol	PIONERA	0.256
<i>Hedyosmum 1</i>		Árbol	PIONERA	0.316
<i>Ilex caliana</i>	Cardenillo	Árbol	SECUNDARIA	0.200
<i>Myrcia popayanensis</i>	Arrayán	Árbol	CLIMÁCICA	0.122
<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	Guayabo de monte	Árbol	CLIMÁCICA	0.091
<i>Palicourea garciae</i>	Cafecillo	Arbusto	SECUNDARIA	0.205
<i>Schefflera multiflora</i>	Pategallina, chaflera	Árbol	PIONERA	0.340
<i>Thibaudia floribunda</i>	Uvo de monte	Arbusto	SECUNDARIA	0.255
<i>Tibouchina lepidota</i>	Sietecueros	Árbol	SECUNDARIA	0.154
<i>Viburnum pichinchense</i>	Doblador	Árbol	SECUNDARIA	0.151
<i>Weinmannia pubescens</i>	Encenillo	Árbol	SECUNDARIA	0.198

Nota. Fuente Red de monitoreo de los bosques de Colombia COL-TREE

4.4 Evaluación de estrategias de restauración

Las estrategias de restauración ecológica a considerar se encuentran clasificadas dentro de dos grupos: estrategias de restauración activa y estrategias de restauración pasiva. En la **Tabla 6** se muestran dichas estrategias junto con actividades puntuales a desarrollar.

La eliminación de tensionantes hace referencia a las actividades necesarias para disminuir el área cubierta por especies como el ciprés (*Cupressus lusitanica*), pino pátula (*Pinus patula*) y pino elioti (*Pinus elliottii*), especialmente en las zonas que estas especies predominan, aunque también incluye la tala de individuos que se encuentren en otras áreas con un tipo de cobertura diferente a las plantaciones. También hace parte de esta estrategia la remoción de helechos,

especialmente en coberturas de tipo rastrojo bajo y pastizales, en las cuales dominan algunas especies de esta clase.

El control de tensionantes como la erradicación de especies invasivas como el ojo de poeta (*Thunbergia alata*), la cual se encuentra extendida en la región dentro de la que se encuentra el Parque Comfama arví y la erradicación de plántulas de cipreses y pinos en zonas de plantaciones y en coberturas aledañas a ellas.

Tabla 6
Estrategias activas y pasivas de restauración ecológica

Estrategias de restauración ecológica	
Activas	
Eliminación de tensionantes	Tala de individuos de especies forestales introducidas
	Remoción de helechos
Control de tensionantes	Erradicación de plántulas de especies forestales introducidas
	Erradicación de especies invasivas
Reintroducción de material vegetal nativo	Reforestación con especies nativas seleccionadas en zonas taladas
	Enriquecimiento con especies nativas seleccionadas en zonas con algún estado de sucesión.
Pasivas	
Incorporación de enmiendas al suelo	Aplicación de productos orgánicos para incrementar la disponibilidad de nutrientes
	Aplicación de productos para modificar la acidez o alcalinidad del suelo.
Manejo de semillas	Análisis de fuentes semilleras y especies que pueden tener potencial genético para garantizar la diversidad
	Análisis de germinación y propagación
Manejo de plántulas	Monitoreo de plántulas sembradas
	Incentivos para el crecimiento de plántulas
	Rescate de plántulas deterioradas

Nota. Fuente (Ospina et al, 2015)

La reintroducción de material vegetal nativo está relacionada con las actividades de reforestación y enriquecimiento, las cuales deben realizarse en los diferentes tipos de cobertura existentes para ayudar, en menor o mayor medida, a su transición a estados de sucesión más avanzados. Es importante dentro de esta estrategia considerar las especies que han sido

seleccionadas en el presente estudio, según la necesidad específica de cada sitio a intervenir tal como se muestra en la **Tabla 7**.

Tabla 7

Grupo ecológico a utilizar según el tipo de cobertura o sitio a intervenir

Tipo de cobertura o sitio	Grupo ecológico
Bosques secundarios	Secundarias (en menor medida) Climácicas
Rastrojos altos	Secundarias Climácicas
Rastrojos bajos	Pioneras (en menor medida) Secundarias Climácicas (en fases posteriores)
Pastizales	Pioneras Secundarias Climácicas (en fases posteriores)
Plantaciones forestales con <i>Cupressus lusitanica</i> , <i>Pinus patula</i> y <i>Pinus elliottii</i>	Pioneras (en mayor medida) Secundarias Climácicas (en fases posteriores)
Riberas de las quebradas	Secundarias Climácicas
Zonas con suelos degradados aledaños a los vestigios mineros	Pioneras Secundarias (en fases posteriores)

La incorporación de enmiendas en el suelo es una estrategia de importancia en zonas con suelos degradados tales como los que se encuentran en las áreas colindantes con los vestigios mineros o en las zonas de plantaciones donde el horizonte O no se encuentra muy desarrollado, con el fin de aumentar la disponibilidad de nutrientes y de modificar la alcalinidad o acidez del suelo según sea el producto aplicado.

El manejo de semillas es una estrategia que precede la reintroducción del material vegetal nativo y es de suma importancia si se quiere ser exitoso en cuanto la propagación de especies nativas y para el cumplimiento de los objetivos que se planteen en un posible plan de restauración ecológica. Este manejo requiere la utilización de viveros, composteras, sistemas de riego, entre otros.

El manejo de plántulas es un proceso que se realiza principalmente en el sitio de siembra, pues tiene que ver con el monitoreo del estado del individuo sembrado, su crecimiento y salud, para conocer si se requiere incentivar su crecimiento con nutrientes, agua o acceso a la luz solar, o si requiere ser rescatada y llevada al vivero para su recuperación.

Por otro lado, es importante considerar que actividades de restauración pueden ser aplicadas según el potencial de restauración mencionado anteriormente (**Tabla 2 y Figura 10**). En la **Tabla 8**, se muestra esta clasificación teniendo en cuenta las actividades pertenecientes a estrategias activas y los grupos ecológicos con los cuales se podría realizar la reforestación o el enriquecimiento. De las estrategias pasivas no se hace mención en esta clasificación pues algunas de ellas se realizan según necesidades específicas y no de forma general en cada una de las zonas, tal como es el caso de la incorporación de enmiendas, o también, son actividades transversales a los procesos de reforestación y enriquecimiento, por ejemplo, las actividades de manejo de semillas y plántulas.

Tabla 8

Principales actividades de restauración a aplicar según el potencial de restauración

Potencial de restauración	Principales actividades de restauración a aplicar
Muy alto	Enriquecimiento con especies nativas climáticas.
Alto	Enriquecimiento con especies nativas secundarias y climáticas.
Medio	Remoción de helechos
	Erradicación de plántulas de especies forestales introducidas
	Enriquecimiento con especies nativas pioneras, secundarias y climáticas
Bajo	Tala de individuos de especies forestales introducidas
	Erradicación de plántulas de especies forestales introducidas
	Reforestación con especies nativas pioneras y secundarias en fases iniciales.
	Enriquecimiento con especies nativas pioneras, secundarias y climáticas en fases posteriores.
Muy bajo	Tala de individuos de especies forestales introducidas
	Erradicación de plántulas de especies forestales introducidas
	Reforestación con especies nativas pioneras y secundarias en fases iniciales.
	Enriquecimiento con especies nativas pioneras, secundarias y climáticas en fases posteriores.

5 Conclusiones

Las estrategias de restauración consideradas en esta evaluación están ligadas con el análisis de las características ambientales del área de estudio, la definición de áreas según el potencial de restauración y la selección de las especies idóneas según la zona de vida en la que se encuentra el Parque Comfama Arví.

Factores mencionados en la caracterización, tales como la precipitación, la temperatura y la altitud sobre el nivel del mar, permiten conocer la zona de vida sobre la cual se aplicarán las estrategias; para el caso del presente estudio la zona de vida corresponde a un bosque húmedo montano bajo. A partir de esto, se pueden tener en cuenta ecosistemas de referencia que den información sobre cuales especies se deben utilizar en el proceso de restauración. Con esta metodología fueron seleccionadas 6 parcelas de referencia de las cuales se extrajo información sobre especies más importantes según diferentes criterios de selección. Con el índice de valor de importancia fueron seleccionadas 12 especies pioneras, 27 secundarias y 7 especies climácicas, para un total de 46 especies. Según la biomasa aérea fueron seleccionadas 20 especies distribuidas en 3 pioneras, 12 secundarias y 5 climácicas. Teniendo en cuenta el índice de crecimiento, 17 especies que corresponden a 5 pioneras, 10 secundarias y 2 climácicas fueron seleccionadas.

Cada grupo ecológico (pioneras, secundarias y climácicas) puede ser aplicado en diferentes tipos de cobertura considerando el estado de sucesión en el que se encuentra. Dicho de manera general, las pioneras pueden ser utilizadas en mayor medida en rastrojos bajos, pastizales y zonas degradadas; las secundarias para enriquecimiento de pastizales, rastrojos bajos y altos, incluso de forma paralela con las especies pioneras, y por último, las climácicas pueden usarse en rastrojos altos y bosques secundarios para aumentar la riqueza vegetal en conjunto con especies secundarias.

La clasificación de zonas según el potencial de restauración, realizada a partir del análisis de coberturas y criterios de conectividad, permite priorizar los sitios a intervenir en el proceso de restauración ecológica y cuáles son las estrategias que deben ser aplicadas. Para las zonas con potenciales altos no se requiere la implementación de todas las estrategias, pues estas se encuentran en estados avanzados de sucesión como bosques secundarios o rastrojos altos, mientras que para las zonas con potenciales bajos se requiere mayor intervención puesto que se encuentran degradadas o cubiertas por plantaciones forestales con *Cupressus lusitanica*, *Pinus patula* y *Pinus elliottii*. Es importante mencionar que el potencial de restauración tiene una relación inversa con el

grado de intervención a realizar, puesto que a menor potencial de restauración se debe hacer mayor intervención y viceversa. Teniendo en cuenta lo anterior, el concepto de prioridad depende del objetivo que se proponga en el plan de restauración ecológica, pues si se cuenta con los recursos de necesarios para realizar grandes intervenciones se podrían priorizar las zonas con potenciales bajos, mientras que, si no se cuenta con los recursos presupuestales y de mano de obra suficientes, lo que se traduce en un menor grado de intervención, se pueden priorizar las zonas con potenciales altos.

Los resultados del presente proyecto son un gran avance en cuanto a la formulación de un plan de restauración ecológica, para el cual ya se tendrían definidas las características ambientales del Parque Comfama Arví, así como las especies pioneras, secundarias y climácicas que pueden ser utilizadas para el enriquecimiento de las diferentes coberturas tales como plantaciones forestales, pastizales, rastrojos bajos, rastrojos altos y bosques secundarios, y además, la clasificación según el potencial de restauración que permite conocer que estrategias de restauración pueden ser aplicadas.

Referencias

- Área Metropolitana del Valle de Aburrá [AMVA]. (2018). *Quebrada Piedras Blancas*. Obtenido de <https://www.metropol.gov.co/noticias/quebrada-piedras-blancas>
- Bradshaw, A. D. (1987). *The reclamation of derelict land and the ecology of ecosystems*. Jordan WR, III, Gilpin ME, Aber JD. Restoration ecology: a synthetic approach to ecological research. Cambridge (UK): Cambridge University Press. p. 53-74
- Center for International Forestry Research [CIFOR]. (2011). *¿Qué son los servicios ecosistémicos?* Obtenido de https://www2.cifor.org/pes/_pf/1/_ref/sp/sobre/ecosystem_services.htm
- Colombia. Ministerio de Agricultura. (1970). *Acuerdo 31 de 1970 (noviembre 20). Por el cual se declara y reserva como Zona Forestal Protectora un área ubicada en jurisdicción de los Municipios de Medellín y Guarne, en el Departamento de Antioquia*. Diario Oficial.
- Colombia Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2009). *Resolución 1859 de 2009 (julio 28). Por la cual se sustrae un área de la Reserva Forestal Protectora del Río Nare, y se toman otras determinaciones*. Diario Oficial.
- Colombia. Ministerio de Cultura. (1998). *Resolución 0797 de 1998 (julio 31). Por la cual se declara como Bien de Interés Cultural de Carácter Nacional la Zona Arqueológica de la Cuenca Alta de la Quebrada Piedras Blancas, localizada en el corregimiento de Santa Elena del municipio de Medellín - Antioquia*. Diario Oficial.
- Colombia. Ministerio de Cultura. (2008). *Resolución 2236 de 2008 (diciembre 4). Por la cual se delimita las zonas de influencia de 25 inmuebles, localizados en el municipio de Medellín, declarados Bien de Interés Cultural de Ámbito Nacional*. Diario Oficial.
- Empresas Públicas de Medellín [EPM]. (2013). *Formulación del Plan Integral de Manejo Forestal para las plantaciones propiedad de EPM ubicadas en la zona de Piedras Blancas – La Honda*. Elaborado por el Departamento de Ciencias Forestales, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (1996). *Ecología y Enseñanza Rural: Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas* (Vol. 131). Roma, Italia: FAO. Obtenido de <http://www.fao.org/3/W1309S/w1309s00.htm#TopOfPage>
- Gann G. D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C. R., Jonson, J., Hallett, J. G., Eisenberg, C., Guariguata, M. R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K. & Dixon KW (2019) International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology* 27(S1): S1–S46.
- González, J., Cubillos, A., Chadid, M., Cubillos, A., Arias, M., Zúñiga, E., Joubert, F., Pérez, I., & Berrío, V. (2018). *Caracterización de las principales causas y agentes de la deforestación a nivel nacional período 2005-2015*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM-. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Programa ONU-REDD Colombia. Bogotá.

- Kemp, R. H., Namkoong, G., & Wadsworth, F. H. (1995). Conservación de los recursos genéticos en la ordenación de los bosques tropicales. Principios y conceptos. Food and Agriculture Organization [FAO]. (Vol. 107). Roma, Italia. Obtenido de <http://www.fao.org/3/T0743S/T0743S00.htm#TOC>
- Li, Q., Shi, X., & Wu, Q. (2020). Exploring suitable topographical factor conditions for vegetation growth in Wanhuigou catchment on the Loess Plateau, China: A new perspective for ecological protection and restoration. *Ecological Engineering*, (158), 106053.
- McIver, J., & Starr, L. (2001). Restoration of degraded lands in the interior Columbia River basin: passive vs. active approaches. *Forest Ecology and Management*, 153(1-3), 15-28.
- Ospina, O. L., Vanegas, S., Escobar, G. A., Ramírez, W., & Sánchez, J. J. (2015). *Plan Nacional de Restauración: restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá.
- Martínez, M., & García, X. (2007). *Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas*. Boletín de la sociedad Botánica de México, (80), 69-84
- Restrepo, Z., Aristizábal, C. M., Uribe, L. F., Tobón, M. P., Berrío, M. A., & Blaser, J. (2016) *Corredores biológicos como estrategia para la restauración de servicios ecosistémicos en bosques andinos*. Flora del Oriente Antioqueño: Biodiversidad, Ecología y Estrategias de Conservación, por: Quijano, M. A. Bogotá D.C. 181-198 p.
- Roldan, G., Gutiérrez, J. C., Castaño, R., Álvarez, L. F., Posada, J. A. (1997). *Caracterización limnológica de los recursos hídricos del parque de Piedras Blancas*. Universidad de Antioquia -UdeA-. Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia -CORNARE-. Medellín.
- Salamanca, B. & Camargo, G. (2000). *Protocolo distrital de restauración ecológica: guía para la restauración de ecosistemas nativos en las áreas rurales de Santa Fe de Bogotá*. Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (dama), Alcaldía Mayor. Bogotá.
- Sánchez, D. (2016). *Geomorfología del Parque Arví*. [Trabajo de grado profesional]. Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.
- Society for Ecological Restoration (SER) International, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. (2004). Principios de SER International sobre la restauración ecológica. www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Vargas, O., Díaz, J. E., Reyes, S., & Gómez, P. A. (2012). Guías técnicas para la restauración ecológica de los ecosistemas de Colombia. Bogotá: Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Grupo de Restauración Ecológica-Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/260365693>
- Zedler J. B. & J. C. Callaway. (1999). Tracking Wetland Restoration: Do Mitigation Sites Follow Desired Trajectories? *Restoration Ecology*. Vol. 7 No. 1, pp. 69–73.