

**DISEÑO DE UN PLAN DE MONITOREO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA PARA LA RESERVA
BIOLÓGICA ENCENILLO EN GUASCA, CUNDINAMARCA**



PRESENTADO POR:

Miguel Leonardo Reyes Hernández 20152010065

Laura Andrea Mora Medina 20152010058

INGENIERÍA FORESTAL
FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
BOGOTÁ D.C
2022

**DISEÑO DE UN PLAN DE MONITOREO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA PARA LA RESERVA
BIOLÓGICA ENCENILLO EN GUASCA, CUNDINAMARCA**

**Documento para optar por el título de Ingeniero Forestal
Modalidad de trabajo de grado: Pasantía**

ESTUDIANTES:

Miguel Leonardo Reyes Hernández

Código: 20152010065

Laura Andrea Mora Medina

Código: 20152010058

DIRECTOR INTERNO:

Ph. D. Edgar Andrés Avella Muñoz

DIRECTOR EXTERNO:

M Sc. Carlos Francisco Castillo Sánchez

**Proyecto Curricular: Ingeniería Forestal
Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales
Universidad Distrital Francisco José de Caldas**

Bogotá D.C

2022

Tabla de contenido

1	RESUMEN	6
2	INTRODUCCIÓN	7
3	OBJETIVOS	8
3.1	Objetivo general	8
3.2	Objetivos específicos	8
4	MARCO TEÓRICO	9
4.1	Bosque altoandino: Aspectos ecológicos y estado de conservación	9
4.2	Restauración ecológica	10
4.3	Ecosistema de referencia	12
4.4	Monitoreo a la restauración	14
4.5	Metodologías para el diseño de un programa de monitoreo	17
5	METODOLOGÍA	19
5.1	Área de estudio	19
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
6.1	Metabase de investigaciones previas recientes	21
6.2	Objetivos	24
6.2.1	De la restauración	24
6.2.2	Del Monitoreo	25
6.3	Zonificación de la restauración	25
6.4	Ecosistema de referencia	28
6.5	Fases, etapas y alcances del plan de monitoreo de la RBE	30
6.7	Guía metodológica para el registro de información	38
6.8.	Variables priorizadas para el desarrollo del monitoreo	40
7.	ANÁLISIS	41
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
9.	REFERENCIAS	44
	ANEXOS	48

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación del área de estudio. Fuente: Acuña, 2010.....	19
Figura 2. Zonificación de los procesos de restauración en la Reserva Biológica El Encenillo (RBE). Fuente: Autores.....	26
Figura 3. Línea del tiempo de la historia ecológica en la Reserva Biológica El Encenillo (RBE). Fuente: Autores.....	28

Lista de tablas

Tabla 1. Metabase de estudios previos de caracterización de la restauración en la Reserva Biológica Encenillo. Fuente: Autores.	22
Tabla 2. Datos generales de los sitios de referencia. Fuente: Autores.	29
Tabla 3 ecosistema de referencia	32
Tabla 4. Etapas y fases propuestas para el programa de monitoreo de la RBE (modificado de Díaz-Triana et al. 2019)	34
Tabla 5. Parámetros de medición sugeridos al programa de monitoreo de la restauración en la RBE. (basado en González et al. 2015 y Aguilar et al, 2015)	34
Tabla 6. Indicadores y cuantificadores sugeridos para el monitoreo de la restauración ecológica en la RBE (basado en González et al. 2015 y Aguilar et al, 2015)	36
Tabla 7. Distribución de las parcelas para cada estrato en la RBE (Modificado de Cuellar & Cano. 2017)	38
Tabla 8. Localización geográfica de las parcelas de monitoreo presentes en la RBE (Modificado de Rueda & Rocha. 2019).....	39
Tabla 9. Parámetros con sus respectivas variables a medir en campo. Fuente: Autores.....	41

1 RESUMEN

La Reserva Biológica Encenillo es un área protegida privada de la sociedad civil, la cual se encuentra en el municipio de Guasca (Cundinamarca), se constituyó en el año 2007 con el propósito de conservar los bosques de encenillo, la fauna y flora presente en ellos. En este territorio se han desarrollado en los últimos diez años actividades de restauración ecológica, por parte de la Fundación Natura. Se reconoce que el monitoreo de los procesos de restauración ecológica es fundamental para la toma de decisiones y la implementación de posibles acciones que permitan mejorar las condiciones en las que se encuentra el área intervenida siguiendo los objetivos establecidos. En esta propuesta de práctica profesional a través de la modalidad de pasantía se diseñó un plan de monitoreo para el proceso de restauración ecológica desarrollado en la Reserva Biológica El Encenillo, a partir de un diagnóstico del área de estudio y los objetivos que propusieron en el momento de establecer acciones para su restauración. Teniendo claro conceptos claves para el proceso de monitoreo y evaluación de la restauración, se definieron las fases y los alcances, al igual que los parámetros, indicadores y cuantificadores que le permitan a la Fundación Natura determinar si los procesos que se vienen desarrollando en la reserva están generando los resultados esperados; de no ser así poder reconocer en que se está fallando y tomar las medidas correctivas necesarias. Finalmente se diseñó un formato para estandarizar la toma de datos en el marco del proceso de monitoreo de la restauración. Se espera que la implementación del proceso de monitoreo permita identificar las acciones de mejora ideales para el desarrollo eficiente de la recuperación de la zona.

2 INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de alta montaña, como son los páramos y el bosque alto andino se caracterizan por ser sistemas dinámicos interconectados, los cuales están altamente amenazados por la destrucción masiva de hábitats naturales y se le suma la vulnerabilidad biológica a causa de sucesos de extinción, esto se traduce en una pérdida de cobertura natural superior al 70 % (Minambiente et al., 2002). La Reserva Biológica Encenillo, fundada como proyecto de la Fundación Natura, propende la existencia de estos lugares para que se potencialice atributos importantes, en términos biológicos y ecológicos, y también con fines importantes para llevar a cabo estudios sobre los bosques andinos. Además, es un banco genético de especies con importancia ecológica y económica, un centro para la recuperación de áreas degradadas y para la prestación de servicios de educación ambiental y ecoturismo (Martínez et al., 2005).

Los bosques de la región donde se encuentra la Reserva Biológica Encenillo, están altamente fragmentados e intervenidos por procesos de cacería y entresaca llevados a cabo en los últimos 50 años; también se señala un período continuo de extracción de piedra caliza, y se reconoce la fuerte invasión de retamo espinoso (*Ulex europaeus* L.), aunque los bosques de las zonas circundantes y los de la Reserva misma están en proceso de regeneración natural y de recuperación de suelos (Martínez et al., 2005); en este territorio se han desarrollado en los últimos años actividades para la restauración ecológica, por parte de la Fundación Natura.

En este sentido, el monitoreo de los procesos de restauración es en sí, una herramienta esencial que permite identificar si un sistema se está alejando del objetivo deseado, mide el éxito de las acciones de manejo y detecta los efectos de la restauración ecológica y de nuevos disturbios o alteraciones (Ramírez et al. 2015), de esta manera proveer de las bases necesarias a los planificadores y tomadores de decisiones para los ajustes correspondientes (Doren et al. 2009). Con el ánimo de aportar al proceso de evaluación del programa de restauración ecológica que se lleva en la actualidad en la Reserva Biológica Encenillo se pretende contribuir con insumos científicos y técnicos relacionados con el diseño un plan de monitoreo el cual permita determinar, en distintos hitos de la ejecución, si se están cumpliendo o se han cumplido los objetivos a corto y largo plazo de la restauración en términos de un ecosistema de referencia y de esta manera facilitar una gestión adaptativa que permita hacer ajustes en respuesta a amenazas o resultados inesperados.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Diseñar un programa de monitoreo del proceso de restauración del bosque Alto andino realizado en la Reserva Biológica Encenillo (Guasca, Cundinamarca).

3.2 Objetivos específicos

- ✓ Realizar una síntesis de la información generada en investigaciones previas que permitan caracterizar los diferentes ensayos de restauración ecológica adelantados desde el año 2011.
- ✓ Diseñar las etapas, fases y alcances del Plan de Monitoreo, basado en la selección de metas, valores de referencia, criterios, indicadores y cuantificadores del proceso de restauración.
- ✓ Seleccionar la metodología para la toma y el análisis de información en lo que tiene que ver con unidades de muestreo, medidas y frecuencia de toma de datos.
- ✓ Identificar las variables priorizadas en el monitoreo a la restauración para la posterior evaluación preliminar de la eficiencia del modelo propuesto.

4 MARCO TEÓRICO

4.1 Bosque altoandino: Aspectos ecológicos y estado de conservación

Se considera a los Andes colombianos una de las áreas más biodiversas y completas del planeta, donde se han conformado Bosques Tropicales de zonas bajas (0-1.000 msnm), Bosques Tropicales Andinos y Subandinos (1.000-2.300 msnm), Bosques Tropicales Andinos o montes superiores (2.300 y 3.200-3.900 msnm), Bosques Altos Andinos (3.000-3.500/3.900 msnm), Páramos (sub, centro y súper páramo, 3.200-3.00 msnm, en adelante), y Cumbres Nivales a partir de 4.300 msnm (MinAmbiente et al., 2002). Sin embargo, los límites entre los sistemas de alta montaña (Páramos y Bosque Alto Andino) no son constantes (Sturm y Rangel, 1985), y la vegetación depende de las condiciones climáticas y topográficas, la exposición a las corrientes eólicas, los suelos, la transformación antrópica y la altitud máxima de la formación montañosa (Rangel-Ch, 2000).

En términos de vegetación, el Bosque Altoandino se caracteriza por contar con comunidades vegetales que presentan dominancia de encenillos (*Weinmannia* sp), con un dosel superior que puede alcanzar los 25 m en los bosques más conservados y maduros, acompañados de cucharos (*Myrsine* sp), canelo de páramo (*Drimys granadensis*) y miconias (*Miconia ligustrina*) (Cortés, 2008). Rangel (2002) mencionó la presencia de 5168 especies en la gran región de vida Paramuna, de las cuales las más diversificadas eran Asteraceae (141 géneros /1165 especies); Orchidaceae (60 géneros/661 especies) y Poaceae (56 géneros / 292 especies). Los géneros más diversificados eran Espeletia (133) y Epidendrum y Miconia (116). Se consideran como los ambientes de montaña más ricos en especies y géneros del mundo en comparación con otras floras de alta montaña

Los ecosistemas altoandinos son reconocidos como centros de diversidad y especialización a nivel mundial; sin embargo, estos han sido sometidos a disturbios debido al pastoreo de ganado vacuno y ovino, a los cultivos de papa, a las quemadas periódicas y la invasión de especies exóticas, entre otros (Cortés, 2008). Una de las principales consecuencias de las actividades extractivas y los ecosistemas de reemplazo como la ganadería y la agricultura dentro de la región altoandina es la fragmentación de extensas áreas de bosque (Velazco y Vargas, 2008). Diferentes estudios consideran que el ecosistema andino es uno de los más fragmentados en Colombia, en esta región se concentra gran parte del desarrollo industrial y urbano, con prácticas agropecuarias que incluso se extienden al páramo (Andrade, 2003). Durante los últimos milenios, Colombia ha sufrido varios periodos históricos de la transformación del paisaje humano, incluidos los periodos precolombinos y coloniales, que han llevado a una huella humana acumulativa que se extiende sobre gran parte de

su territorio, especialmente las regiones Andina y Caribe (Etter et al, 2017). Una de las principales consecuencias es el impacto sobre la biodiversidad, ya que un gran número de especies, en especial en la región Andina, tiene rangos de distribución pequeños (Etter et al, 2014).

En la zona de Bosque Alto Andino se evidencian estas perturbaciones al ecosistema, que deterioran los servicios ambientales que éste ofrece a las comunidades locales, sin embargo, éstas perturbaciones tienen un origen antrópico debido a la explotación de los recursos naturales, por esta razón, los tipos de disturbios frecuentemente encontrados en estos lugares son la extracción de especies forestales, quemas, plantaciones de especies exóticas, zonas con pastoreo y agricultura intensiva; estas dos últimas, se tratarán en esta investigación debido a que influyen principalmente en la disminución de los límites del Bosque Alto Andino debido a que generan ingresos a la comunidad local y son aplicados sin ningún tipo de manejo (Etter, 1998)

La presión demográfica ha llevado a la destrucción y fragmentación de muchos de estos ecosistemas naturales, que llegaron originalmente a ocupar altitudes hasta de 3.600 m, sin embargo, la intervención humana, el pastoreo y las quemas, combinados con el crecimiento lento de las especies que conforman este tipo de ecosistema, han llevado a su considerable reducción (Van der Hammen 1998). Los Orobionomas del Zonobionoma de Bosque Húmedo Tropical con paisajes de Colinas y montañas altoandinas paramunas que son los que se encuentran en el rango altitudinal del Bosque alto andino se clasifica según las categorías de la UICN como preocupación menor (Etter et al, 2014).

4.2 Restauración ecológica

La evolución del concepto de restauración ecológica se refleja en las definiciones que al respecto ha propuesto la Sociedad para la Restauración Ecológica (SER, por su nombre en inglés). Inicialmente, la restauración fue definida como “el proceso de alterar intencionalmente un lugar para establecer un ecosistema definido, nativo e histórico. El objetivo de este proceso es emular la estructura, funcionamiento, diversidad y dinámica del ecosistema especificado”. Finalmente, la definición se aleja de la idea del ecosistema original, haciéndola más amplia y menos rígida: “La restauración ecológica es el proceso de asistencia a la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido” (SER, 2004).

La restauración es una estrategia de carácter interdisciplinario, en la cual se articula el conocimiento científico para dar respuestas a procesos de gestión y manejo de los ecosistemas, ante las necesidades de restablecer los ecosistemas degradados y prevenir futuros daños (Hobbs y Harris,

2001). Además de una estrategia práctica de manejo que restablece los procesos ecológicos para mantener la composición, estructura y función del ecosistema en diferentes unidades de paisaje y a distintas escalas, mediante el desarrollo de estrategias participativas (Apfelbaum y Chapman, 1997).

Toda definición de restauración ecológica implica per se una actividad de intervención humana en el sistema ecológico. La definición de la restauración ecológica como una actividad humana tiene implicaciones para el alcance mismo de dicha actividad, al mismo tiempo que plantea cuestionamientos acerca de la finalidad última de la restauración y de los criterios que guían al proceso (Vargas & Mora, 2008). En este sentido se menciona que, aunque la restauración pasiva, en la que la tierra se abandona por un uso intensivo, como la agricultura, y se permite que se desarrolle sin intervención, se remonta a milenios (Flinn y Vellend, 2005), los enfoques modernos de la restauración son más activos. Estos enfoques activos incluyen métodos tradicionales, como la forestación; y enfoques emergentes, como la migración asistida como estrategia de adaptación al cambio climático (Stanturf et al, 2014).

El Plan Nacional de restauración ecológica, plantea tres objetivos/enfoques válidos para la rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas (MADS, 2015):

Restauración Ecológica (ecological restoration): restablecer el ecosistema degradado a una condición similar al ecosistema predisturbio respecto a su composición, estructura y funcionamiento. Además, el ecosistema resultante debe ser un sistema autosostenible y debe garantizar la conservación de especies, del ecosistema en general, así como de la mayoría de sus bienes y servicios.

Rehabilitación ecológica (rehabilitation): llevar al sistema degradado a un sistema similar o no al sistema predisturbio, éste debe ser autosostenible, preservar algunas especies y prestar algunos servicios ecosistémicos.

Recuperación ecológica (reclamation): recuperar algunos servicios ecosistémicos de interés social. Generalmente los ecosistemas resultantes no son autosostenibles y no se parecen al sistema predisturbio.

Sin embargo, Stanturf et al. (2014) proponen recategorizar los enfoques de la restauración en cuatro grandes paradigmas: Revegetación, Restauración Ecológica, Restauración del Paisaje Forestal y Restauración Funcional) los cuales se pueden diferenciar por su objetivo o medida del éxito de la

restauración. La revegetalización se centra en reducir la erosión del suelo y la degradación del sitio y basta con plantar algunas especies. En el otro extremo del espectro, la restauración ecológica busca restaurar la estructura y composición de la vegetación tal como era antes de la perturbación o manipulación humana. Los dos paradigmas intermedios son la restauración del paisaje forestal entendida como un proceso planeado que pretende recobrar la integridad ecológica y mejorar el bienestar humano en tierras deforestadas o degradadas y la restauración funcional, se concentran en la restauración a gran escala y en la inclusión de las necesidades humanas, se desarrollan cambios en el enfoque de los objetivos estructurales estáticos a la dinámica de los procesos del ecosistema (Stanturf et al, 2014).

Finalmente es válido mencionar que los acelerados cambios ambientales a nivel global han incrementado la demanda para el establecimiento de planes de restauración en las últimas décadas; esto se ve reflejado en los objetivos ambientales a nivel mundial, en los cuales la restauración se convierte en el eje central para los planes de manejo ambiental, forestal, compensación, y una estrategia para contrarrestar la pobreza (Evaluación de Ecosistemas del Milenio – MEA, 2005), por ende la restauración tiene otras dimensiones además de la ecológica, como la social, la política, la económica y la ética (Vargas 2007) y es un proceso complejo, integral, cuyos objetivos se logran a mediano y largo plazo, y su propósito va más allá de la simple revegetación o reforestación de áreas mediante plantaciones de especies arbóreas (MADS, 2015).

4.3 Ecosistema de referencia

Según Gann et al (2019), en su documento sobre los estándares internacionales para la práctica de la restauración ecológica los modelos de referencia para la restauración ecológica se construyen a partir de múltiples sitios de referencia y de forma teórica con base en la mejor información que se encuentre disponible, es decir, ya que no se tienen sitios idénticos se considera que la mejor opción parte de hacer uso de varios sitios de referencia para desarrollar un modelo, esto así concordando con RuizJaen & Aide, (2005) donde mencionan que es importante considerar la variación que ocurre entre los sitios de referencia; por lo tanto, se debe utilizar más de un sitio de referencia para estimar el éxito de la restauración. Todo lo anterior teniendo en cuenta los múltiples atributos de los ecosistemas y su variación en el ecosistema objeto, así como las dinámicas generales del mismo y sus cambios a través del tiempo.

El modelo ideal incorpora un conjunto de atributos diversificado del ecosistema, como lo es la composición de especies, la estructura de la comunidad, las condiciones físicas y funciones

ecosistémicas, haciendo mención de que algunos de estos atributos, como la estructura de la comunidad, es decir, la arquitectura con respecto a los estratos vegetales, los niveles tróficos y los patrones espaciales, y la composición de especies, es decir, los tipos de especies presentes son relativamente sencillos de evaluar, mientras que otros, como las funciones ecosistémicas, son más complejos, pero igualmente importantes. Esto lo que permite es trazar trayectorias y condiciones de referencia sobre las cuales diseñar y elegir elementos de importancia para el cumplimiento de las metas de restauración (Rueda & Rocha, 2019).

Se busca la integración de forma holística en términos de composición, estructura y función, por medio de la medición y análisis conjunto de estos atributos con el fin de relacionar la riqueza y/o abundancia, estructura y funcionamiento del ecosistema, de forma tal que determinan cuando y donde pueden existir los individuos y cómo es que estos interactúan con otras especies. Este enfoque resulta importante durante los procesos de conservación y restauración de hábitats, para que se puedan tomar las mejores decisiones (Cordova & Zambrano, 2015) respecto al direccionamiento de la vegetación específicamente en los procesos de restauración a partir de un bosque de referencia (SER, 2004). Aun así, pocos estudios incorporan las tres dimensiones de la diversidad para la evaluación de procesos de restauración (Gatica-Saavedra et al., 2017), concordando con Manzon et al., (2019) y Crouzeilles et al., (2016) donde mencionan que la mayoría de los estudios solo incorporan la composición y la estructura, excluyendo la función.

Siendo así, válido mencionar que en ecosistemas de páramo y bosques altoandinos de Cundinamarca la biodiversidad, que usualmente se estima mediante variables como número, abundancia, composición y distribución de organismos presentes en un ecosistema (Hooper et al., 2005), se ha evaluado de forma considerable (Lequerica et al, 2017; Silva & Gómez, 2018; Castellanos & Bonilla, 2011; Rodríguez & Guerrero, 2015; Restrepo, 2016; Cuellar & tejada, 2017). Sin embargo, en estos ecosistemas poco o nada se ha investigado el funcionamiento sistémico o la prestación de servicios ambientales y de manera general en los procesos competentes de evaluación y monitoreo de la diversidad desde una perspectiva funcional dejan en evidencia una Colombia rezagada respecto a las acciones que involucren su restauración (Murcia, 2018).

Por otro lado Green y Sadedin, (2005) menciona que además de incorporar como elemento individual los componentes anteriormente mencionados se debe buscar reflejar la complejidad del ecosistema y las relaciones entre sus componentes, sin embargo es válido mencionar que el incluir todo el conjunto de componentes e interacciones en el modelo es imposible por lo tanto se debe

aspirar a desarrollarlo con tantos como sea posible, incluyendo como mínimo uno para cada atributo clave mencionado y finalmente en cuanto al factor de cambio ecosistémico, se tiene que este es impulsado por procesos sucesionales, por ende es vital considerar la etapa sucesional del sitio de restauración al seleccionar los sitios de referencia (Gann et al, 2019).

Cuando el ecosistema está bien desarrollado (clímax), es más resistente a los disturbios y logra auto regenerarse. Un ecosistema en las primeras fases de sucesión puede ser alterado con facilidad (White & Jentsch, 2001 en Barrera et al., 2010), lo cual impide el establecimiento de los procesos sucesionales naturales. En este mismo sentido la hipótesis del desequilibrio afirma que luego de un disturbio la probabilidad de que la composición florística de un bosque retorne a su estado original (o similar) es muy remota (Hubbell, 1979). Sin embargo, lo que se busca con el modelo de referencia es establecer la condición en la que estaría el ecosistema objeto si no se hubiera producido la degradación, es decir, no representar una condición del pasado (Gann et al, 2019).

4.4 Monitoreo a la restauración

El monitoreo es el proceso de identificar y calcular, mediante el empleo de indicadores, la respuesta del ecosistema y la gestión de las prácticas de restauración. El monitoreo es la plataforma para evaluar el avance hacia los objetivos y metas de la restauración, que además permite tomar decisiones sobre la efectividad, costos y aplicabilidad de las estrategias en diferentes ecosistemas y contextos (Douglas, 2002).

El monitoreo de un área en proceso de restauración se desarrolla para evaluar en qué medida se están cumpliendo los objetivos y las metas que se plantearon al comienzo del proceso (Yoccoz et al, 2001). Para esto se requiere que los proyectos tengan objetivos claros y realistas, metas concretas y un conjunto de indicadores y cuantificadores precisos que permitan calcular el progreso de la restauración en el tiempo y tomar las decisiones de gestión pertinentes para hacer posibles ajustes en las medidas de restauración que se implementaron (Herrick, 2006). En ese orden de ideas el monitoreo permite evaluar, por un lado, cuánto ha cambiado el mismo con respecto a su condición inicial y, por otro lado, si ha cambiado en la dirección esperada hacia un estado ideal o de referencia y qué tan cerca está de ese estado (Ferraro y Pattanayak 2006).

De acuerdo a Legg y Nagy (2006), el monitoreo en un proceso de restauración permite: i) controlar, durante la implementación del proyecto, que la inversión se haya hecho de la forma planificada en monto y tiempo; ii) determinar, en distintos hitos de la ejecución, si se están cumpliendo o se han

cumplido los objetivos a corto plazo y las metas a largo plazo; iii) administrar el proyecto de forma adaptativa para hacer ajustes en respuesta a amenazas o resultados inesperados; y iv) extraer lecciones aplicables a otros proyectos. A pesar de los potenciales beneficios de realizar monitoreo, esta no es una práctica frecuente, y cuando se realiza adolece de problemas de diseño y rigurosidad en la obtención, manipulación y procesamiento de la información (Legg y Nagy 2006).

Por otro lado, se tiene que normalmente el éxito de un plan de restauración se evalúa basado en la presencia de ciertas especies, la densidad de las mismas y la biomasa o la cobertura vegetal. Sin embargo, en el Plan Nacional de Restauración, existen dos limitantes importantes en este enfoque: de un lado se limitan las metas de restauración, desconociendo variables relacionadas con el paisaje o con los servicios ecosistémicos, y de otro lado, no se considera que la estructura y composición de las comunidades vegetales pueden ser restaurada parcialmente, sin que eso implique la restauración de los servicios ecosistémicos asociados a esas comunidades. Otra gran limitante del uso de este esquema es que se ignoran los procesos ecológicos de los cuales dependen estas comunidades vegetales, ya que muchos proyectos enfatizan en los primeros estados de la sucesión vegetal pero no tienen en cuenta evaluaciones del éxito de la restauración a largo plazo (Herrick et ál., 2006).

Algunas consideraciones mínimas para el montaje de este tipo de sistemas de monitoreo están asociadas al objetivo de la restauración, al análisis de paisaje del área del proyecto, a la selección de indicadores robustos y de fácil medición y finalmente un levantamiento robusto y estandarizado de los datos de línea base, que permitirán comparar los cambios a mediano y largo plazo (e.g.: parcelas permanentes). Algunos autores recomiendan hacer las mediciones de las variables al menos trimestralmente durante el primer año, luego cada año hasta los cinco años y luego cada cinco años como largo plazo (Herrick et ál., 2005)

Además, debido a que los procesos de restauración presentan cierto nivel de incertidumbre y se fundamentan en bases experimentales, los principios de un manejo adaptativo son potencialmente útiles desde la planeación, implementación y monitoreo, lo cual incrementa la probabilidad de éxito del proceso (Tom, 2000). El manejo adaptativo consiste en combinar apropiadamente la investigación y el monitoreo con un manejo flexible de las prácticas de restauración como insumo para la toma de decisiones que permitan alcanzar los objetivos planteados (Gayton, 2001). De acuerdo a Tom (2000) y Douglas (2002), la restauración adaptativa que está basada en la recolección de evidencia suficiente y veraz para soportar decisiones que demanden acciones, debe articularse

al componente de monitoreo, ya que está basada en un continuo aprendizaje y mejoramiento del proceso en el corto, mediano y largo plazo; esto se logra a través de:

- ✓ Medición de las condiciones del sistema en las diferentes fases del proyecto mediante el uso de indicadores.
- ✓ Evaluación de la información que permita medir el progreso hacia los objetivos y el desempeño de los criterios aplicados en la restauración.
- ✓ Información que respalde la toma de decisiones con respecto a las acciones de restauración

Existen dos tipos de monitoreo relacionados con la restauración ecológica; por un lado, se encuentra el monitoreo de implementación o de corto plazo y por el otro se presenta el monitoreo de efectividad o de largo plazo (Block et al., 2001). El monitoreo de implementación busca evaluar si los tratamientos de restauración se llevaron a cabo como fueron diseñados, cuantificando los cambios que ocurren en el ecosistema inmediatamente después de los tratamientos. Este seguimiento de los primeros cambios en el ecosistema en restauración, permite determinar si la estrategia de manejo implementada está cumpliendo con el objetivo propuesto, como es el caso de la plantación de individuos y su posterior evaluación del establecimiento óptimo de las plántulas, lo cual se logra a través del análisis de la respuesta del sistema ecológico a escalas espaciales y temporales pequeñas.

En el monitoreo de efectividad se busca determinar si se cumplió con el objetivo último de la restauración, mediante análisis realizados a escalas espacio-temporales más grandes. En este monitoreo se evalúa si los principales patrones y procesos ecológicos del ecosistema se recuperaron. La información obtenida en este monitoreo, permite además redefinir los objetivos de restauración ecológica y ajustar la estrategia de manejo (Herrick et al., 2006). Esto así, siguiendo un marco de monitoreo adaptativo, ya que es aquel que permite que los programas de monitoreo evolucionen iterativamente a medida que surge nueva información, conduciendo de forma eventual a ese planteamiento del monitoreo a largo plazo en conjunto con procesos de investigación (Lindenmayer y Linkens 2009).

Criterios, indicadores y cuantificadores

Lammerts van Bueren y Blom (1997) definen a los principios como reglas o leyes fundamentales que sirven como base de razonamiento o acción. Los principios son elementos explícitos de la meta superior. La meta es formulada como un ideal, y para hacerla manejable y operativa hace falta dividir

en componentes separados, pero la suma de todos los principios deberá cubrir completamente el significado de la meta superior. La definición de Lammerts van Bueren y Blom (1997) de un criterio es una situación o un aspecto del proceso dinámico del ecosistema forestal, o una situación del sistema social que interactúa, el cual debería ser ubicado como un resultado de la adherencia a un principio. Un indicador es un parámetro cualitativo o cuantitativo que sirve para verificar el cumplimiento de un criterio. Con relación a los cuantitativo esto, expresan y evalúan en términos de cantidades, número, volúmenes, porcentajes, etc. Por otra parte, un indicador cualitativo se expresa como situación, objeto o proceso, y se evalúa en términos de bueno, suficiente, satisfactorio, sí, no, etc.

Según Noss (1990) Los indicadores son sustitutos medibles de criterios de valoración ambientales, como la biodiversidad, que se supone son valiosos para el público. Idealmente, un indicador debería ser (1) suficientemente sensible para proporcionar una advertencia temprana de cambio; (2) distribuidos en un área geográfica amplia, o de otra manera ampliamente aplicable; (3) capaz de proporcionar una evaluación continua sobre una amplia gama de tensiones; (4) relativamente independiente del tamaño de la muestra; (5) fácil y rentable de medir, recopilar, analizar y/o calcular; (6) capaz de diferenciar entre ciclos o tendencias naturales y aquellos inducidos por el estrés antropogénico; y (7) relevante para fenómenos ecológicamente significativos (Cook 1976; Sheehan 1984). Dado que ningún indicador posee todas estas propiedades deseables, se requiere un conjunto de indicadores complementarios.

4.5 Metodologías para el diseño de un programa de monitoreo

Se tiene el modelo establecido por Herrick et al. (2006), que plantea los siguientes pasos para el diseño y evaluación de un programa de monitoreo.

- ✓ Definición de objetivos de restauración y del monitoreo
- ✓ Zonificación de restauración diferenciando las unidades de actuación
- ✓ Diagnóstico del estado del ecosistema antes y después de implementar las técnicas y estrategias de restauración
- ✓ Selección de metas, criterios, indicadores y cuantificadores, así como de la metodología para la toma y el análisis de información (unidades de muestreo, medidas, frecuencia de muestreo)
- ✓ Selección de lugares de muestreo por unidad de actuación
- ✓ Establecimiento de las plataformas para la toma de datos del de acuerdo con la periodicidad establecida
- ✓ Toma y análisis de datos del monitoreo a corto plazo

- ✓ Ajustes de manejo adaptativo de acuerdo con los resultados del Programa de monitoreo de corto plazo
- ✓ Repetición de la toma de datos y análisis de los resultados del programa de monitoreo y seguimiento a mediano y largo plazo

Por otro lado, la guía “Estructura y contenidos básicos para el programa de monitoreo”, diseñada por el Instituto Humboldt (Aguilar et al. 2015), plantea las siguientes fases y actividades:

Fase analítica

- ✓ Búsqueda de información
- ✓ Definición de ecosistemas de referencia, teniendo en cuenta la función, composición y estructura
- ✓ Metas de restauración

Fase diagnóstico paisaje, socioeconómico, suelo, vegetación y fauna

- ✓ Definición Historia de disturbio
- ✓ Zonificación y priorización
- ✓ Evaluación, factores de degradación

Fase implementación de las prácticas de restauración

- ✓ Ajuste de objetivos y metas, selección de técnicas
- ✓ Diseño de las prácticas de Restauración Ecológica
- ✓ Definición de criterios, indicadores y cuantificadores para el monitoreo

Fase monitoreo

- ✓ Evaluar y seguir los cuantificadores
- ✓ Verificar metas al corto, mediano y largo plazo
- ✓ Comprobar la ejecución del proceso de Restauración Ecológica
- ✓ Establecer la efectividad de las medidas adoptadas
- ✓ Identificar las causas de éxito o fracaso
- ✓ Implementar la gestión adaptativa

Morán et al, (2016) desarrolló una metodología para diseñar estándares de principios, criterios e indicadores basados en un esquema jerárquico. En un estándar, los principios, los criterios y los indicadores constituyen los parámetros. Cada uno de ellos tiene una función específica. El reto de un estándar de PC&I es que cubra completamente de manera operativa los objetivos de sostenibilidad que se persiguen en el manejo de los recursos naturales. El estándar de PC&I no debe confundirse con un manual de cumplimiento de acciones. Los principios son leyes fundamentales, los criterios son descriptores de la sostenibilidad y los indicadores sirven para evaluar; pero ninguno de ellos tiene la función de determinar acciones. Los estándares sólo indican hasta donde se ha avanzado en relación con ciertas metas o valores de referencia.

5 METODOLOGÍA

5.1 Área de estudio

La Reserva Biológica Encenillo, se localiza en la región de los Andes colombianos, cordillera Oriental, en la región de El Guavio, municipio de Guasca, departamento de Cundinamarca, vereda La Trinidad. Limita con las veredas Santa Helena de Guasca y Santa Ana Baja, y con los municipios de La Calera y de Sopó.

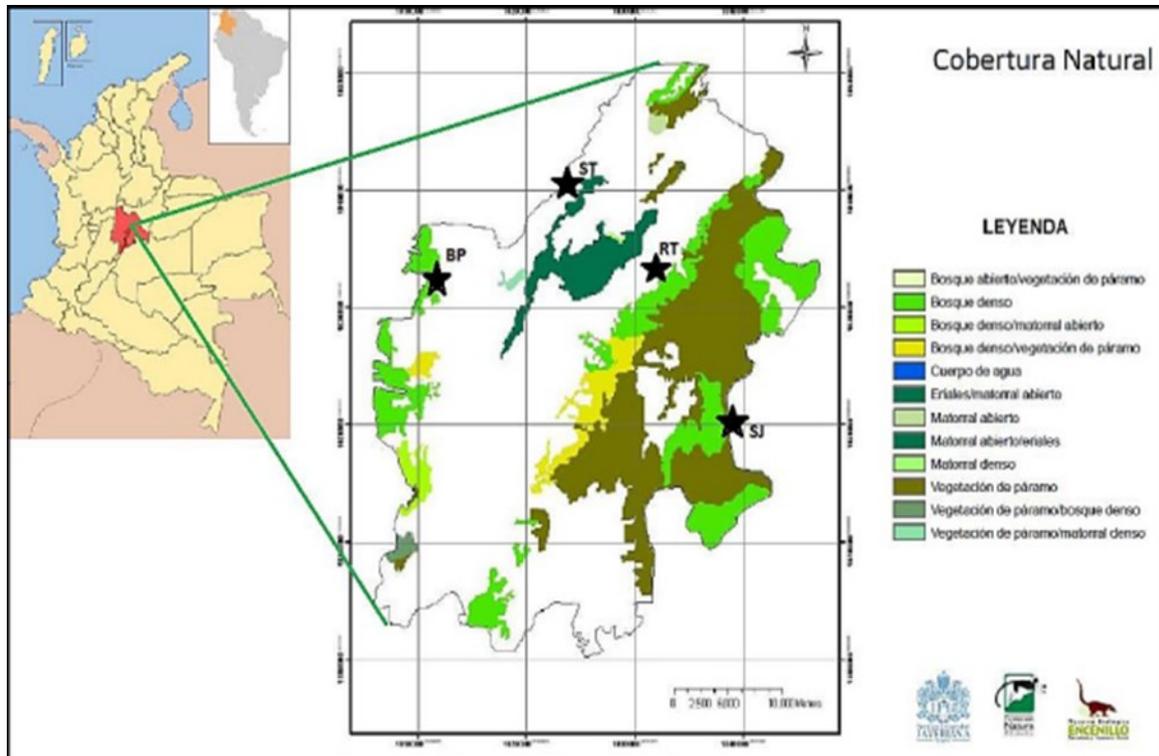


Figura 1. Ubicación del área de estudio. Fuente: Acuña, 2010

Las coordenadas de ubicación se encuentran entre un rango mínimo de: 73° 55'12" W; 4° 46'48" N, y un rango máximo: 73° 53'W; 4° 48' N, su límite altitudinal está entre los 2800 y los 3000 msnm. La temperatura oscila entre 4°C y 21°C, y la precipitación promedio es de 773 mm/año 2008 (IGAC, 2000).

Los procesos que se desarrollaron para dar cumplimiento a los objetivos de la pasantía dieron inicio con la elaboración de una síntesis de información generada en investigaciones previas, es aquí donde se solicitó el apoyo de la Fundación Natura para que nos suministraran los diferentes estudios de los que como institución, tenían conocimiento que se habían elaborado en la reserva, se hizo una

depuración de los mismos y se sintetizaron solo los que tenían un carácter de investigación que aportará en términos de la restauración ecológica en la reserva.

Para la formulación de un programa de monitoreo de la restauración ecológica dentro de la Reserva Biológica Encenillo, se siguió el modelo establecido por Herrick et al. (2006), y las fases planteadas por Aguilar et al. (2015) que se presentan a continuación:

Fase analítica, en donde se hizo una búsqueda de información con el fin de:

- **Identificar los objetivos, enfoques de restauración, así como también del proceso de monitoreo.**

Se partió de la obtención de la información, con la colaboración de la Fundación Natura mediante sus funcionarios, para la posterior, construcción conjunta de forma tal que se plasmaron los ideales de la restauración allí instaurada, bajo particularidades un poco más técnicas, siguiendo el carácter cualitativo que lo caracterizaba, posterior a esto se definió el objetivo general y el alcance del programa de monitoreo planteado.

- **Zonificar el área de restauración diferenciando las unidades de actuación**

Se realizó a partir de la actividad conjunta, donde mediante el jefe de la RBE, la Fundación Natura nos facilitó diferentes shape-files los cuales fueron procesados y organizados de tal manera que se evidenciaron las zonas en las cuales se han implementado siembras en el marco de la restauración, información la cual se complementó mediante la obtención de información secundaria tanto de informes de gestión de la Fundación Natura como de investigaciones previas.

- **Definir de manera general los ecosistemas de referencia, teniendo en cuenta la función, composición y estructura.**

Esto se realizó siguiendo los estándares propuestos por Gann, et al, (2019) y con base en los parámetros de Hobbs y Harris (2001).

Fase de diseño de monitoreo, en la cual se buscó:

- **Definir etapas, fases y alcances.**

Para determinar las etapas, fases y alcances del programa de restauración se tuvo en cuenta la clasificación de Díaz-Triana et al. (2019)

- **Seleccionar criterios, indicadores y cuantificadores**

En el caso de los criterios, indicadores y cuantificadores seleccionados se tuvieron en cuenta los sugeridos por González et al. (2015) y Aguilar et al, (2015), se describió, y se justificó cada uno.

- **Selección de lugares de muestreo por unidad de actuación**

En este apartado se describió con claridad la forma, unidad de muestreo, número y tamaño de la muestra, clasificando 4 estratos correspondientes a la restauración de los años 2011 a 2019 (Reportados hasta la fecha de realización de este documento), en los cuales se encuentran distribuidas las unidades de muestreo, bajo la modalidad de parcela permanente, siendo así hasta el estrato 3 (2015 – 2016), ya establecidas en la reserva por (Cuellar y Cano, 2017) los cuales se basaron en la metodología de Lohr, 1999. Los autores lo ajustaron bajo la misma metodología para el estrato 4 (2018 – 2019).

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Metabase de investigaciones previas recientes

Respecto al primer objetivo de realizar una síntesis de la información generada en investigaciones previas que permitieran caracterizar los diferentes ensayos de restauración ecológica adelantados desde el año 2008, esta información se encuentra compilada en la tabla 1; cabe aclarar que el compendio de información relacionada con análisis previos son los relacionados con temas de restauración en la reserva y por este motivo desde el inicio de los procesos de RE y hasta la fecha, solo se tiene registro de tres investigaciones vinculadas con esta temática. Restrepo (2016), denominado Caracterización vegetal del Bosque Altoandino en diferentes estados sucesionales de la Reserva Biológica “Encenillo” en el cual se realizó un estudio de la vegetación con el objeto de definir la estructura y la composición de la vegetación de la zona y se identificaron cuatro estados sucesionales que corresponden a rastrojo, bosque secundario joven, bosque secundario tardío y bosque primario. La caracterización de la vegetación se realizó en cuatro zonas en la reserva donde finalmente se concluyó y se relacionaron las especies potenciales que inicialmente eran necesarias, para incluirlas en planes próximos de restauración en la reserva.

Otro de los estudios importantes realizado en la zona fue desarrollado por Cuellar y Cano en el (2017), titulado “Evaluación de los procesos de restauración ecológica en la reserva biológica Encenillo” en el que establecieron parcelas permanentes de monitoreo en tres áreas de la reserva en la que se desarrollaron procesos de restauración activa durante el periodo 2011 a 2016; en este

trabajo se evaluó la estructura, composición florística y diversidad de los ensayos de restauración realizados, donde finalmente la comparación y análisis con un bosque de referencia evidencio que la zona evaluada poseía una menor riqueza de especies, lo cual sugirió un redireccionamiento de los procesos de restauración en relación al enfoque composicional para el alcance de las metas planteadas en el plan de restauración de la RBE, determinado por la Fundación Natura.

Por otro lado, tenemos el estudio de Rueda y Rocha (2019) que lleva como título “Diversidad funcional asociada a biomasa en procesos de restauración del bosque altoandino en la Reserva Encenillo (Guasca-Cundinamarca)”, documento en el que se evaluó la composición, estructura y diversidad funcional asociada la biomasa aérea en diferentes procesos de restauración del bosque alto andino de la reserva ; en este escrito se concluye que los procesos de restauración que se han venido adelantando han alcanzado la riqueza y aparentemente la equidad a nivel de composición, sin embargo, no se ha podido alcanzar la dominancia a nivel de composición, ni la riqueza, equidad y dominancia a nivel estructural teniendo como punto de comparación el ecosistema de referencia.

Tabla 1. Metabase de estudios previos de caracterización de la restauración en la Reserva Biológica Encenillo. Fuente: Autores.

Año	Nombre del estudio	Autor(s)	¿Qué se hizo?	Fuente
2016	Caracterización vegetal del Bosque Altoandino en diferentes estados sucesionales de la Reserva Biológica “Encenillo”, Guasca-Cundinamarca	Juan Felipe Restrepo Abadía	Se realizó un estudio de la vegetación en la Reserva Biológica de Encenillo, ubicada en Guasca (Cundinamarca, Colombia), con el objeto de definir la estructura y la composición de la vegetación de la zona, esto debido a que se presentan en la reserva perturbaciones, de tipo natural y antrópico. Este trabajo se enfocó en la perturbación de la potrerización y se identificaron cuatro estados sucesionales que corresponden a rastrojo, bosque secundario joven, bosque secundario tardío y bosque primario. La caracterización de la vegetación se realizó en cuatro zonas en la reserva, en parcelas de 50x20 (0.1ha) tipo Whittaker, con delimitación para fustales, latizales y brinzales respectivamente. Se midieron parámetros como el CAP, altura y cobertura para luego hallar el DAP, área basal, densidad y dominancia. Se emplearon los índices de equidad como Shannon, dominancia como Simpson, riqueza específica como Margalef y de similitud como Jaccard, además se realizó un análisis de NMDS para identificar qué tan próximas en términos de composición estaban las	Restrepo Abadía, J. F. (2016). Caracterización vegetal del bosque altoandino en diferentes estados sucesionales de la reserva biológica Encenillo, Guasca-Cundinamarca.

			zonas muestreadas. Con este trabajo se concluye y se relacionan las especies que son necesarias, inicialmente, para incluirlas en planes próximos de restauración en la reserva.	
2017	Evaluación de los procesos de restauración ecológica en la reserva biológica encenillo	Jaime Andrés Cuéllar Tejada & Luis Augusto Cano Moreno	Este estudio consistió en la evaluación del estado de 3 sitios de restauración activa en el bosque altoandino de la Reserva Biológica El Encenillo (Guasca, Cundinamarca), en el periodo 2011-2016. Los parámetros que se tuvieron en cuenta para esta evaluación fueron: estructura, composición florística y diversidad. La metodología consistió en el establecimiento de 12 parcelas permanentes, (500m2 cada una), en las cuales se marcaron y midieron todos los individuos ≥ 30 cm de altura. Las mediciones incluyeron: altura total, DAP, diámetro de copas, estado fitosanitario, identificación taxonómica y observaciones generales. La comparación y análisis con un bosque de referencia (el cual posee 65 especies) mostró una menor riqueza de especies en la zona restaurada, lo cual demostró que los procesos de restauración, en relación al enfoque compositivo, requerían de un redireccionamiento que permitiera obtener las metas planteadas en el plan de restauración de la Reserva Biológica Encenillo, establecido por la Fundación Natura.	Cuéllar Tejada, J. A., & Cano Moreno, L. A. (2017). Evaluación De Los Procesos De Restauración Ecológica En La Reserva Biológica El Encenillo.
2019	Diversidad funcional asociada a biomasa en procesos de restauración del bosque altoandino en la Reserva Encenillo (Guasca-Cundinamarca)	Rueda Baracaldo, Diego Felipe & Rocha Jiménez, Héctor Daniel	Este estudio evalúa la composición, estructura y diversidad funcional asociada al servicio ecosistémico de biomasa aérea en diferentes procesos de restauración del bosque alto andino, en la reserva biológica El Encenillo (Guasca-Cundinamarca). El estudio comprendió la elaboración de un inventario forestal con la tecnología Field-Map de un área de 1.6 ha compuesto por tres procesos de restauración (E1, E2 y E3) y el ecosistema de referencia (E0). Se tomaron 17 rasgos funcionales (3 de hoja, 13 de madera y 1 estructural) de las 20 especies de mayor importancia ecológica (IVI) las cuales en conjunto abarcan más del 80% del índice en cada uno de los estratos. Muestras de madera y muestras foliares fueron obtenidas para medición de rasgos funcionales. La biomasa se calculó a partir de ecuaciones alométricas locales. Se evaluó la	Rueda Baracaldo, D. F., & Rocha Jiménez, H. D. (2019). Diversidad funcional asociada a biomasa en procesos de restauración del bosque altoandino en la Reserva Encenillo (Guasca-Cundinamarca).

			composición y estructura por estrato, se compararon los procesos de restauración con el ecosistema de referencia. Se seleccionaron los rasgos funcionales asociados al proceso de biomasa a partir de test de correlación de Spearman y se evaluó la diversidad funcional desde el enfoque de TFPs, a partir de un análisis de Clúster, e Índices multirasgo. Finalmente se evaluó los procesos de restauración desde la composición, estructura y función de forma simultánea a partir de 12 índices.	
--	--	--	--	--

6.2 Objetivos

6.2.1 De la restauración

Con el apoyo correspondiente de la entidad Fundación Natura y sus respectivos colaboradores en la reserva biológica Encenillo , pudimos establecer los objetivos de restauración ecológica que se habían planteado para la zona, al desarrollar una investigación conjunta con los funcionarios de la fundación nos dimos cuenta que estos objetivos de cierta manera no han sido plasmados acorde a los planes de restauración ecológica; es por esto que se tomó la decisión de tener como base las metas propuestas para la RE y con esta información reorganizar los objetivos con el fin de que estos sean de mayor calidad y cumplan con las expectativas de la reserva, algunas de los conceptos que se llevaron a discusión fue que solo se hablaba de bosque en la reserva, cuando en realidad se podría decir que es más un mosaico de vegetación; ya que aparte de ser un área con características de bosque alto andino también presenta afloraciones rocosas, y en algunas partes se pueden llegar a reconocer vegetación de subpáramo, es por esto que se tomó en consideración el emplear el mosaico de vegetación en lugar de sesgar y cerrar el concepto a solo la restauración de un bosque alto andino ; este junto con algunos otros conceptos se evaluaron y discutieron para poder estructurar objetivos de la restauración que den respuesta a las necesidades de la reserva Encenillo. Se propusieron cuatro objetivos de carácter cualitativo:

1. Favorecer el proceso de recuperación de los ecosistemas afectados por diferentes tipos de disturbio a partir de intervenciones de restauración asistida y no asistida centradas en los atributos de composición florística y función.
2. Aumentar la oferta del mosaico de vegetación natural presente en la reserva con el fin de que se asemeje al sistema de referencia definido.

3. Mejorar la conectividad del paisaje con el fin de promover las dinámicas ecológicas dentro del ecosistema.
4. Garantizar la oferta de servicios ecosistémicos en la zona de influencia de la Reserva.

6.2.2 Del Monitoreo

Tener claros los objetivos de la restauración ecológica de la reserva es de vital importancia para un posterior monitoreo de los mismos, ya que estos son los que marcan la hoja de ruta de los procesos esperados en el ecosistema respecto al comportamiento de la vegetación en términos de la composición, estructura y función, teniendo como meta un ecosistema de referencia, para determinar qué avances tanto positivos como negativos existen y cómo para estos últimos se podrían generar soluciones.

En consecuencia con lo anterior, se hace la salvedad de que en el plan de monitoreo propuesto por los autores, se evaluará los objetivos de restauración planteados previamente en términos de; composición, función, estructura y criterios paisajísticos que evalúen la conectividad del ecosistema, finalmente respecto a la oferta de bienes y servicios ambientales, se plantea la valoración en función de la biomasa (CO₂ capturado), dejando para futuras investigaciones la priorización de los bienes y servicios de interés para la RBE.

6.3 Zonificación de la restauración

En el marco del cumplimiento de los objetivos propuestos, uno de los resultados obtenidos fue una zonificación de la restauración que se ha desarrollado en la reserva, donde mediante el jefe de la RBE, la Fundación Natura nos facilitó diferentes shape-files los cuales fueron procesados y organizados de tal manera que se evidenciaran las zonas en las cuales se han implementado siembras de las diferentes especies representativas del bosque alto andino, este proceso ha sido implementado en la reserva con el fin de contribuir a la restauración en estas zonas, el mapa elaborado con las capas suministradas por la fundación se encuentra en la figura 2.

Según las capas suministradas por la Fundación Natura ,la reserva tiene en total 227,10 ha, de las cuales en procesos de restauración se encuentran alrededor de 21 ha, se puede observar también en la figura 2 que en la parte Noreste de la reserva se han generado algunas cercas vivas con un área aproximada de 5.900 m²; con el fin de complementar la elaboración de la zonificación en la reserva realizada con las capas, se indago acerca de los procesos de restauración asistida que se han venido realizando a lo largo de los años desde el momento en el que la Fundación Natura obtuvo las tierras

que hoy en día se conocen como Reserva Biológica Encenillo; estos procesos se encuentran resumidos en la figura 3, la cual es una línea del tiempo que muestra a grosso modo los diferentes procesos de RE por los cuales ha pasado la reserva.

Estos procesos dieron inicio en el año 2008 donde se sembraron cerca de 10.000 individuos entre los que habían algunas especies como el aliso, arrayán, cajeto, cedro entre otras; estas especies fueron empleadas a lo largo de los años , con algunas modificaciones como el distanciamiento de siembra que se dio cada 3 metros, se han desarrollado algunos procesos poco favorables para la restauración en los que a causa del alto número de individuos plantados de aliso, se generó la consolidación de esta especie, y por esta situación fue necesario realizar enriquecimientos en algunas de las áreas afectadas esto fue para el año 2011.

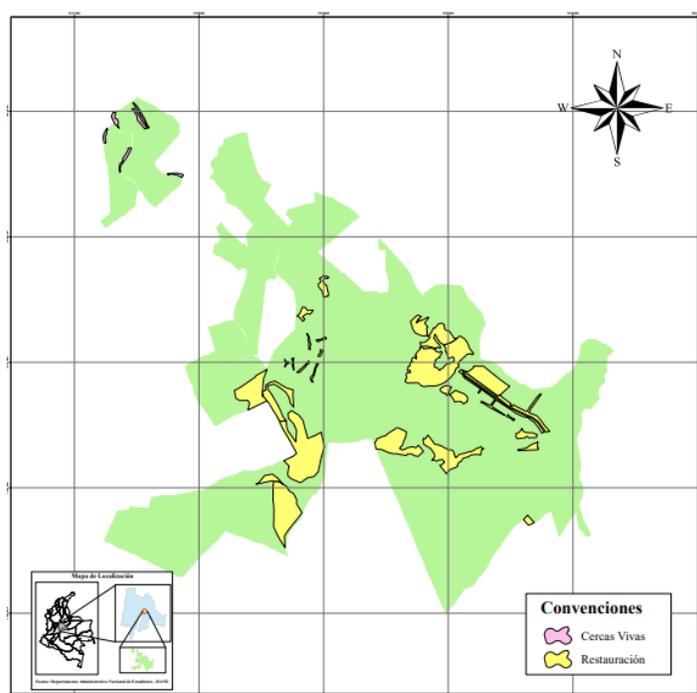


Figura 2. Zonificación de los procesos de restauración en la Reserva Biológica El Encenillo (RBE). Fuente: Autores.

Después de esto se seleccionaron 20 especies diferentes variando el distanciamiento de siembra a 1.5 m en tres bolillos; algunas de las especies que se siguieron sembrando en la reserva fueron *Alnus acuminata*, *Baccharis latifolia* y *Dodonaea viscosa*. Para el año 2015 se desarrollaron procesos de siembra aumentando el número de especies y reduciendo la distancia entre plántulas (tres bolillos de 1x1x1m) se destaca la implementación de siembras teniendo en cuenta arreglos florísticos

establecidos por la reservas; en los años posteriores se implementó el uso de especies como el duraznillo, el ciro y tibar teniendo en cuenta los arreglos florísticos predeterminados ;el representante en Colombia de la empresa Toyota, se alió en el 2018 con la Fundación Natura para desarrollar acciones relacionadas con las iniciativas de responsabilidad social y ambiental global; gracias a esta alianza se diseñó un plan de restauración ecológica en la RBE. A la fecha se han plantado cerca de 4.400 árboles que forman parte de la rehabilitación de un área perturbada por minería.

Toda esta información fue recolectada de estudios previos en la reserva y de los informes de gestión anual que la Fundación Natura pública; se puede ver más a detalle año a año las actividades realizadas para la restauración de Encenillo y las respectivas citas bibliográficas en el anexo 1; esta recopilación de información nos permitió determinar que los proceso de restauración que se han desarrollado en la reserva a lo largo de los años, en términos generales han sido óptimos en cuanto a la escala de paisaje se refiere; con esta información de base se estableció las zonas óptimas en las cuales se debe implementar el monitoreo de la restauración empleando información con la que cuenta la Fundación Natura y poder generar una comparación que permita identificar cómo se encuentra hoy en día el ecosistema evaluado.

Historia ecológica

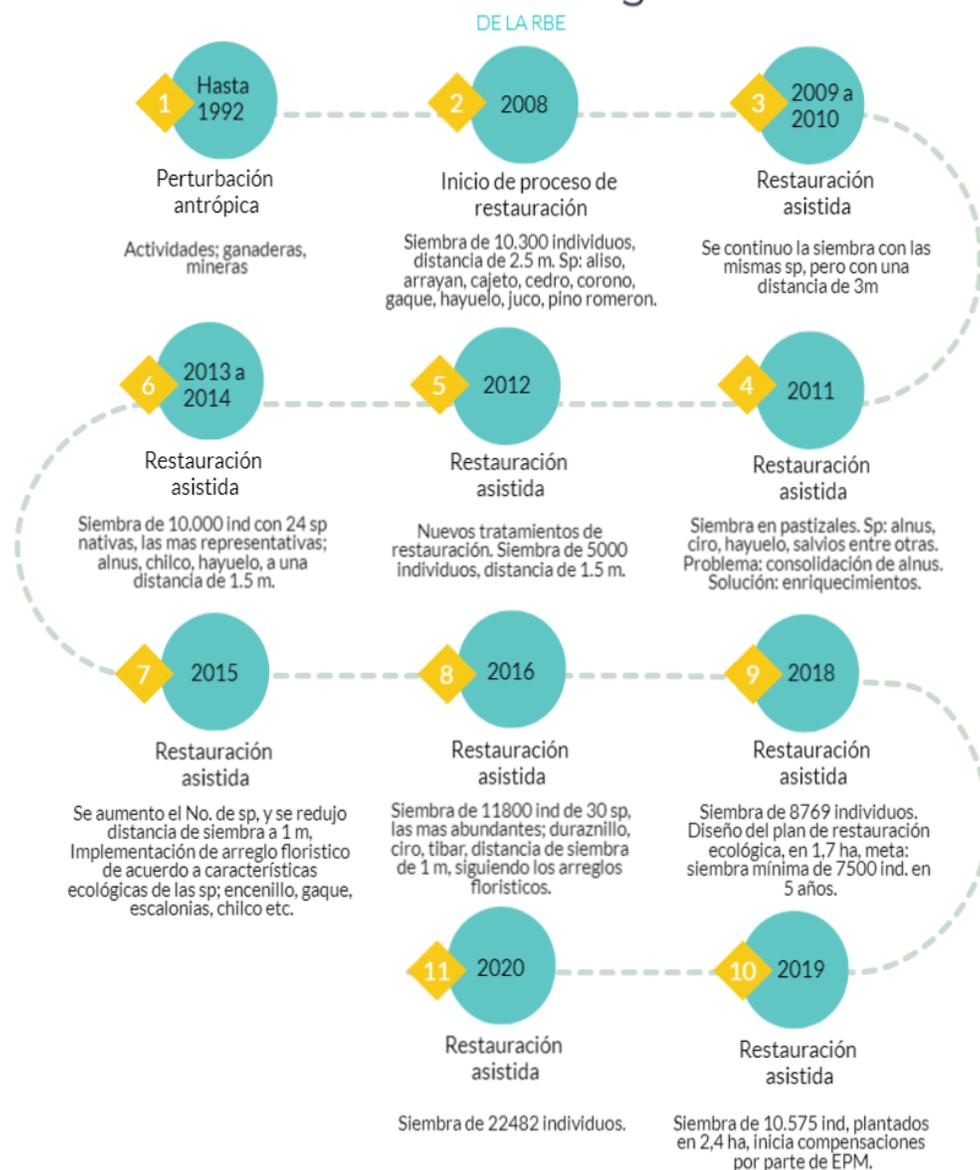


Figura 3. Línea del tiempo de la historia ecológica en la Reserva Biológica El Encenillo (RBE). Fuente: Autores.

6.4 Ecosistema de referencia

Siguiendo los estándares propuestos por Gann et al. (2019), la construcción del modelo de referencia nace a partir de la mejor información con la que se cuente, por lo tanto se tomó como base para la identificación de múltiples sitios de referencia la información generada en algunos ejercicios de caracterización ecológica que se han realizado dentro de la RBE o en su área de

influencia directa en el marco de algún proceso de investigación académica (i.e. Silva & Gómez, 2016; Lequerica et al, 2017; Sanabria y Puentes, 2017; Muñoz et al, 2017; Rueda y Rocha, 2019). De esta manera y de acuerdo a lo propuesto por RuizJaen y Aide (2005) lo que hicimos fue tomar varios estudios que comprendían diferentes sitios y así definir una trayectoria de referencia, como ha sido utilizado en otras investigaciones relacionadas con el tema. Estos sitios se pueden detallar en la tabla 2 y fueron escogidos siguiendo los parámetros de Hobbs y Harris (2001), es decir que se encontraran en la misma zona de vida y cerca del proyecto de restauración.

Tabla 2. Datos generales de los sitios de referencia. Fuente: Autores.

Autor	Silva y Gómez (2016)	Lequerica et al (2017)	Muñoz et al (2017)	Sanabria y Puentes (2017)	Rueda y Rocha (2019)
Zona de vida	Bosque alto andino	Bosque alto andino	Bosque alto andino	Bosque alto andino	Bosque alto andino
Lugar	Gachetá, Cundinamarca	Granada, Cundinamarca	San francisco, Cundinamarca	Guasca, Tabio y los cerros de Torca	Guasca, Cundinamarca
Altura (msnm)	2818 - 3110	2961	2600	2600 - 3100	2800 - 3000
No. parcelas	6	6	18	6	10
Tamaño	10 transectos de 50m x 2m (100m ²)	20mx50m (1000m ²)	20mx20m (400 m ²)	20mx20m (400m ²)	10x100m (1000m ²)

Lo anterior permitió construir el referente de restauración o escenario objetivo, en termino de los atributos correspondientes; composición, estructura y función. Por otro lado, en función de lo mencionado por Green y Sadedin, (2005), el incorporar como elemento individual los atributos mencionados anteriormente, se busca que se refleje la complejidad del ecosistema y las relaciones entre sus componentes, sin embargo es válido mencionar que el incluir todo el conjunto de componentes e interacciones en el referente es imposible por lo tanto se trató de desarrollar con tantos como fue posible, incluyendo como mínimo uno para cada atributo como se puede detallar en la tabla 3.

En la construcción de este modelo pudimos encontrar que en ecosistemas de páramo y bosques altoandinos de Cundinamarca la biodiversidad, que usualmente se estima mediante variables como número, abundancia, composición y distribución de organismos presentes en un ecosistema, se ha evaluado de forma considerable (Lequerica et al, 2017; Silva & Gómez, 2018; Cuellar & tejada, 2017).

Lo cual coincide con Murcia, (2018) que afirma que en estos ecosistemas poco o nada se ha investigado el funcionamiento sistémico o la prestación de servicios ambientales y de manera general en los procesos competentes de evaluación y monitoreo de la diversidad desde una perspectiva funcional dejan en evidencia una Colombia rezagada respecto a las acciones que involucren su restauración.

Finalmente en cuanto al factor de cambio ecosistémico, se tiene que este es impulsado por procesos sucesionales, por ende, fue vital considerar la etapa sucesional del sitio de restauración al seleccionar los sitios de referencia (Gann et al, 2019) como se muestra en tabla 3, obteniendo como resultado una caracterización para los estadios sucesionales: Inicial / temprano de sucesión secundaria; Intermedio de sucesión secundaria, Intermedio / avanzado de sucesión secundaria y finalmente Bosque maduro, la información utilizada para este último estadio de la sucesión corresponde a la determinada en campo por Rueda y Rocha (2019), dentro de la misma RBE donde se asegura que pertenece a una zona dentro de la reserva plenamente conservada y con baja o nula perturbación reciente.

Este ecosistema de referencia se espera que cumpla con la función de permitir trazar trayectorias y condiciones de referencia sobre las cuales diseñar y definir elementos de importancia para el cumplimiento de los objetivos de restauración.

6.5 Fases, etapas y alcances del plan de monitoreo de la RBE

Para el programa propuesto, el monitoreo de efectividad es el ideal, debido a que los procesos adelantados en la reserva como las actividades de siembra dieron inicio hace varios años; teniendo esto como punto de partida se ejecutarán dos etapas de monitoreo: i) la de implementación y ii) la de validación. La primera se compone de tres fases en las cuales se pretende demostrar el éxito del establecimiento de los individuos y cuáles han sido los efectos de los procedimientos desarrollados en la reserva (véase tabla 4); en la etapa de validación se analiza a mayor profundidad las relaciones de causa-efecto del proceso de restauración, es decir entre las acciones ejercidas mediante la implementación de los diferentes arreglos florísticos y el impacto que estas tuvieron en la recuperación de los atributos del ecosistema, por ende es ideal que en esta etapa se demuestren los impactos del proceso de restauración. Adicionalmente y teniendo en cuenta, que los procesos de siembra para la restauración en la RBE siguen su curso, se propone una etapa de implementación en la que se consideren los ajustes correspondientes a los arreglos florísticos. Además, se estableció

el marco temporal para cada una de las fases del monitoreo, comprendido entre el corto y largo plazo; así como también su temporalidad, como se puede evidenciar en la tabla 4.

Tabla 3 ecosistema de referencia

Ecosistema de referencia			
Estadio Sucesional	Composición	Estructura	Función*
Inicial / temprano de sucesión secundaria	<p>Lequerica et al (2017) reportan: Que se caracteriza por sp como: <i>Baccharis latifolia</i>, <i>Macleania rupestris</i>, <i>Miconia biappendiculata</i>, <i>Ageratina asclepiadea</i>, <i>Myrsine coriácea</i>, <i>Morella parvifolia</i>, <i>Weinmannia tomentosa</i>.</p>	<p>Lequerica et al (2017) reportan: H promedio: 2,48 a 4,15 (m) y H máx: 6 a 7,4 (m), Área basal promedio: 0,302 (m²)/ha</p> <p>Muñoz et al (2017) reportan: Predomina el estrato herbáceo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estado juvenil <p>Riqueza de sp: 39 (9,1) Índice de Shannon Wiener (H'): 3,12 (0,33) Índice de Simpson (1/D): 16,5 (6,5)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estado adulto: <p>Riqueza de sp: 25,3 (6) Índice de Shannon Wiener (H'): 2,72 (0,38) Índice de Simpson (1/D): 11,7 (3,7)</p>	----
Intermedio de sucesión secundaria	<p>Silva y Gómez (2016) reportan: Familias más características: LAURACEAE, MELASTOMATACEAE, CUNONIACEAE, SYMPLOCACEAE.</p> <p>Sanabria y Puentes (2017) reportan la presencia de 48 sp y 31 familias/ha, donde destacan las sp <i>Weinmannia tomentosa</i>, <i>Viburnum triphyllum</i>, <i>Drimys granadensis</i>, <i>Bejaria resinosa</i> y <i>Clusia multiflora</i>.</p>	<p>Silva y Gómez (2016) reportan ind con DAP: 2,5 distribuidos en 38 sp, 30 géneros y 19 familias. ≤ 10 cm distribuidos en 33 sp, 27 géneros y 17 familias. ≥ 10 cm distribuidos en 24 sp, 19 géneros y 13 familias.</p> <p>Sp con > # de ind: <i>Hedyosmum colombianum</i> (45.4%), <i>Weinmannia balbisiana</i> (12.4%), <i>Miconia cundinamarzensis</i> (7.5%) y <i>Brunellia propinqua</i> (7.5%).</p> <p>Familias con > # de ind: CUNONIACEAE, ERICACEAE y ADOXACEAE.</p> <p>Sp con > importancia (IVI): <i>Clusia multiflora</i> (68.6%), <i>Hedyosmum colombianum</i> (58.6%), <i>Weinmannia balbisiana</i> (23,8%) y <i>Brunellia propinqua</i> (22.3%).</p> <p>Sanabria y Puentes (2017) reportan: Estratos: domina subarboreo; (CR:64%), h: 5 a 12 (m), arbustivo; (CR:28%), h: 1,5 a 5 (m) y el arbóreo inferior; (CR:8%), h: 12,1 a 25 (m).</p> <p>Sp con > # de ind: <i>Weinmannia tomentosa</i> (27%) y <i>Viburnum triphyllum</i> (8%) Sp con > área basal: <i>Weinmannia tomentosa</i> (38%) y <i>Drimys granadensis</i> (6%)</p>	<p>Sanabria y Puentes (2017) reportan la biomasa aérea total estimada es de 141,46 t ha⁻¹ que equivale aproximadamente a un promedio de 70,73 t C ha⁻¹.</p>

		<p>Sp > frecuentes: <i>Myrsine guianensis</i>, <i>Frangula goudotiana</i> y <i>Weinmannia tomentosa</i>.</p> <p>Sp con > importancia (IVI): <i>Weinmannia tomentosa</i> (67,9 %), <i>Viburnum triphyllum</i> (20,2%), <i>Drimys granadensis</i> (13,6%), <i>Bejaria resinosa</i> (12,6%) y <i>Clusia multiflora</i> (11%).</p>	
Intermedio / avanzado de sucesión secundaria.	<p>Lequerica et al (2017) reportan que se caracteriza por sp como: <i>Gaiadendron punctatum</i>, <i>Viburnum lasiophyllum</i>, <i>Myrsine coriacea</i>, <i>Oreopanax bogotensis</i>, <i>Oreopanax incisus</i>, <i>Frangula sphaerosperma</i>, <i>Hyeronima macrocarpa</i>, <i>Macleania rupestris</i>, <i>Ageratina asclepiadea</i>, <i>Clusia multiflora</i>, <i>Piper bogotense</i> (entre otras); además especies de borde tales como <i>Miconia biappendiculata</i>, <i>Morella parvifolia</i> y <i>Weinmannia tomentosa</i></p>	<p>Lequerica et al (2017) reportan: H promedio: 6,11 a 7,36 (m) y H máx: 15 a 17 (m), Área basal promedio: 0,418 (m²)/ha Índice de Shannon Wiener promedio (H'): 2,64 Número efectivo de especies promedio: 7,17 Sp características por etapa: plántula (<i>Asplenium aureum</i>, <i>Richardia scabra</i>, <i>Nertera granadensis</i>, <i>Myrcianthes leucoxylla</i>, <i>Selaginella sp</i>, <i>Lachemilla pectinata</i>), juvenil (<i>Macleania rupestris</i>, <i>Miconia biappendiculata</i>, <i>Drymis granadensis</i>, <i>Palicourea angustifolia</i>), adulta (<i>Gaiadendron punctatum</i>, <i>Viburnum lasiophyllum</i>, <i>Morella parvifolia</i>, <i>Miconia biappendiculata</i>, <i>Weinmannia tomentosa</i>, <i>Myrsine coriacea</i>).</p>	----
Bosque maduro → Sucesión primaria.	<p>Rueda y Rocha (2019) reportan que se caracteriza por sp como: <i>Weinmannia tomentosa</i>, <i>Bejaria resinosa</i>, <i>Drymis granadensis</i>, <i>Cavendishia bracteata</i>, <i>Clethra fimbriata</i>, <i>Hesperomeles goudotiana</i>, <i>Macleania rupestris</i>, <i>Vallea stipularis</i>, <i>Myrsine dependens</i> y más, distribuidos en 16 familias, 20 géneros.</p>	<p>Rueda y Rocha (2019) reportan: Familias con > # de ind: CUNONIACEAE, ERICACEAE Y WINTERACEAE. Géneros con > # de ind: <i>Weinmannia</i>, <i>Bejaria</i> y <i>Drymis</i>. Estratos: herbáceo; (CR: 79,99%), h: 0,31 a 1,5m (cm), arbóreo inferior; (CR:15,89%), h: 12,1 a 25 (m), sub-arboreo; (CR:10,25%), h: 5,1 a 12 (m), arbustivo; (CR:0,8%), h: 1,51 a 5 (m) y arbóreo superior; (CR:0,07%), h: >25 (m) Distribución: J invertida (Bosque primario sin intervención). Equidad estructural: 2.35, área basal inequitativa entre especies; se concentra en <i>Weinmannia tomentosa</i>. Sp con > importancia (IVI): <i>W. tomentosa</i> (60.54%), <i>D. granadensis</i> (6.94%), <i>B. resinosa</i> (6.80%), <i>C. bracteata</i> (2.94%), <i>C. caracasana</i> (2.64%), <i>C. fimbriata</i> (2.48%), <i>H. goudotiana</i> (2.21%), <i>M. rupestris</i> (1.92%), <i>V. stipularis</i> (1.89%), <i>M. dependens</i> (1.89%), y <i>D. rosmarinifolium</i> (1.36%)</p>	<p>Rueda y Rocha (2019) reportan: la biomasa aérea total estimada de 152.69 (±2.76) Ton/ha, con una tasa de incremento promedio de 1.04 (±0.03).</p>

*Datos limitados: pocos estudios incorporan las tres dimensiones de la diversidad para en la evaluación de procesos de restauración (Gatica-Saavedra et al., 2017; Manzón et al., 2019; Crouzeilles et al., 2016) la mayoría de los estudios excluyen la función.

Tabla 4. Etapas y fases propuestas para el programa de monitoreo de la RBE (modificado de Díaz-Triana et al. 2019)

Etapas de monitoreo	Fase	Alcance	Marco temporal	Temporalidad
Implementación	I1	Adecuación de arreglos florísticos de restauración en términos de densidad de siembra y composición de especies.	Corto plazo (5 años)	Durante el primer año
Efectividad	E1	Comprobación del éxito del establecimiento del tratamiento de restauración	Corto plazo (5 años)	Posterior a la fase I1, desde el primer al tercer año.
	E2	Demostración de efectos locales del arreglo florístico implementado en la sucesión ecológica	Corto a mediano plazo (5 a 10 años)	Posterior a la fase I1, desde el tercer al quinto año.
	E3	Demostración de los efectos a escala de paisaje del tratamiento	Corto a largo plazo (5 a 10+ años)	Posterior a la fase I1, desde el quinto año.
Validación	V	Evidencia del éxito de la implementación de acciones de restauración. Valoración de la recuperación de atributos, acorde al ecosistema de referencia.	Mediano a largo plazo (6 a 10+ años)	A lo largo del programa de monitoreo

Los parámetros propuestos para el proceso de monitoreo de la RE en la reserva se formularon teniendo en cuenta cada uno de los objetivos de restauración planteados, así como también a la fase de monitoreo a la que responden, teniendo en cuenta los tres atributos del ecosistema: composición, estructura y función como se reconoce en la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros de medición sugeridos al programa de monitoreo de la restauración en la RBE. (basado en González et al. 2015 y Aguilar et al, 2015)

Objetivos de restauración	Fase de monitoreo	Atributo	Parámetro
Favorecer el proceso de recuperación de los ecosistemas afectados por diferentes tipos de disturbio a partir de intervenciones de restauración asistida y no asistida centradas en los atributos de composición florística y función	E1	Estructura	Sobrevivencia
			Crecimiento y desarrollo
	E2	Composición	Riqueza
		Estructura - Función	Estado fitosanitario
		Estructura - Función	Reclutamiento o colonización

		Estructura	Abundancia
	V	Función	Biomasa
Aumentar la oferta del mosaico de vegetación natural presente en la reserva con el fin de que se asemeje al sistema de referencia definido	E2	Composición	Riqueza
		Estructura	Desarrollo
	E2 y V	Estructura	Abundancia
	E2 y V	Composición - Estructura	Diversidad
	V	Composición - Estructura	Crecimiento
Mejorar la conectividad del paisaje con el fin de promover las dinámicas ecológicas dentro del ecosistema.	E3	Estructura	Fragmentación
		Función	
		Estructura	Presencia de manchas
			Dimensiones del parche
Garantizar la oferta de servicios ecosistémicos en la zona de influencia de la Reserva	V	Función	Biomasa

Teniendo en cuenta lo descrito por González et al. (2015), los indicadores y cuantificadores de la restauración ecológica se desarrollaron desde los criterios de composición, función y estructura, teniendo en cuenta que la evaluación de la composición florística, es insuficiente como escala de medición del éxito de un proceso de restauración (LERF, 2013). Para el procesamiento de los datos se tuvo en cuenta un análisis de los cuantificadores dependiendo de criterios funcionales, estructurales y de composición de la vegetación con el fin de garantizar observaciones científicas que permitan dar una respuesta a los comportamientos presentados en la reserva y así poder brindar posibles soluciones que garanticen el logro de los objetivos propuestos por la Fundación Natura en la RBE; para la selección de los criterios y el cálculo de los cuantificadores, se adaptaron

algunos propuestos por literatura científica especializada (González et al 2015;Aguilar et al 2015) y que se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Indicadores y cuantificadores sugeridos para el monitoreo de la restauración ecológica en la RBE (basado en González et al. 2015 y Aguilar et al, 2015)

Parámetro	Indicador	Cuantificador	Análisis	Frecuencia
Sobrevivencia	Tasa de mortalidad	Porcentaje de individuos muertos por unidad de área	TM	Trimestral hasta los dos años y en adelante semestral.
Crecimiento y desarrollo	Crecimiento vertical	Incremento en altura (cm) ICA-IMA (Contreras, 1998)	Altura - número de Individuos (Contreras, 1998)	Anual los primeros dos años y en adelante cada 2 años
	Desarrollo del tallo	Incremento diamétrico (mm) ICA-IMA (diámetro)	Diámetro - número de individuos (Contreras, 1998)	
	Ocupación del espacio	ICA (cobertura)	Cobertura de copa - número de individuos (Contreras 1998)	
	Indicador de posición sociológica	Distribución por clases diamétricas, alturas y coberturas	Diámetro - altura - cobertura de copa - número de Individuos (Rangel y Velázquez, 1997)	
Riqueza	Número de especies por unidad de área	Familia, género, especie	Índice de riqueza, (Moreno 2001)	Semestral el primer año y en adelante anual
Estado fitosanitario	Indicador de adaptación de la vegetación	Número de individuos - estado fitosanitario	Grado medio de síntomas sanitarios o afecciones físicas (GM) Incidencia (INC) Intensidad o severidad (I)	Semestral los primeros dos años y en adelante anual
Reclutamiento o colonización	Tasa de reclutamiento	Número de individuos reclutados	TR	Semestral el primer año y en adelante anual

Abundancia	Índice de densidad	Número de individuos por unidad de área	Número de individuos - Localización Espacial (Rangel-Ch y Velázquez 1997)	Semestral el primer año y en adelante anual
Diversidad	Índice de diversidad y abundancia proporcional (equidad)	Shannon–Wiener (H') Pielou (J')	Familias - especies - número de individuos	Semestral el primer año y en adelante anual
Biomasa	CO2 Capturado	Toneladas de CO2 / ha	Cantidad de CO2 capturado	Cada 5 años
Desarrollo	Hábito	Herbazal (0,25 - 1.5 m), arbustal (1,51 - 5 m), sub-arboreo (5.1 - 12 m), arbóreo inferior (12.1 - 25 m), arbóreo superior(<25m).	Tipos de hábitos presentes	Cada 2 años
Crecimiento	Índice de valor de importancia de las especies	Abundancia, frecuencia, área basal	IVI, Rangel-Ch y Velázquez 1997	Cada 5 años
		Abundancia, frecuencia, cobertura	IVI, Rangel-Ch y Velázquez 1997	
	Índice de predominio fisionómico	Cobertura relativa, densidad relativa y área basal relativa	IPF, Rangel-Ch y Velázquez 1997.	
Fragmentación	Índice de fragmentación	Porcentaje de fragmentación del paisaje	F (Índice de fragmentación)	Cada 5 años
	Número de parches	Cantidad de parches en la superficie del área de estudio	Np (Número de parches)	
	Dispersión de las manchas	Relación entre distancia media y densidad media de manchas	Rc (Dispersión de las manchas)	
Presencia de manchas	Densidad media de manchas	Número medio de manchas por unidad de área	Densidad media de las manchas	Cada 3 años
Distancia entre parches	Distancia media de manchas	Distancia media desde una mancha (su centro o centroide) hasta la mancha más cercana.	Dc (Distancia entre parches)	Cada 3 años

Dimensiones del parche	Forma del parche	Cálculo de la forma según área y perímetro	F (Forma del parche)	Cada 5 años
	Tamaño del parche	Área en ha del parche	Área (Ha)	
		Perímetro en ha del parche	Perímetro (Ha)	
Biomasa	CO2 Capturado	Toneladas de CO2 / ha	Cantidad de CO2 capturado	Cada 5 años

6.7 Guía metodológica para el registro de información

El número de parcelas se determinó según lo dispuesto por Cuellar & Cano (2017), basados en la metodología de Lohr (1999); Cochran (1977); siguiendo con estos parámetros ya establecidos para el año 2017, se empleó una metodología para la recolección de información la cual consiste en un muestreo en zonas de actuación con diferentes periodos de tiempo (del 2011 al 2019), donde se manejó un diseño sistemático estratificado. En la tabla 7 se encuentra consignada la información referente a el estrato, área y número de parcelas de las tres zonas de actuación que datan desde el año 2011 hasta el 2016, con las cuales cuenta la reserva, en esta tabla se añadió el estrato que se encuentra comprendido entre los años 2018 a 2019, debido a que para la fecha la Fundación Natura no cuenta con parcelas establecidas para el sector en donde se ha venido desarrollando la restauración para los años en mención.

Tabla 7. Distribución de las parcelas para cada estrato en la RBE (Modificado de Cuellar & Cano. 2017)

Estrato	Área (ha)	Número de parcelas	Área por parcela (ha)	Área total muestreada (ha)
Estrato 1 (2011 - 2012)	1,16	3	0,05	0,15
Estrato 2 (2013 - 2014)	1,39	4	0,05	0,20
Estrato 3 (2015 - 2016)	2,1	5	0,05	0,25
Estrato 4 (2018 - 2019)	2,4	6	0,05	0,30
Total	7,05	18	0,2	0,90

Los estratos con los que cuenta la reserva Encenillo de los procesos de restauración hasta el año 2016 se encuentran consignadas en la tabla 8, la selección de dichas parcelas se realizó debido a que presentan procesos de restauración asociados al bosque alto andino en la reserva; el tamaño

de cada una de las unidades muestrales es de 500 m² (10x50 m), teniendo en cuenta la facilidad para el muestreo y la ubicación de cada uno de los individuos, se plantea una subdivisión de estas parcelas en 5 subparcelas de 10x10 m; a su vez para evaluar la regeneración natural se propone establecer una parcela de 1x1m para la medición de brinzales y renuevos (< 2,5cm y HT < 0,3m), adaptando la metodología descrita por Sáenz & Finegan (2000), para el muestreo de regeneración natural. En total el muestreo estratificado se compone de 4 estratos de 18 parcelas de 0.05 ha lo cual da como resultado un total de área muestreada de 0,90 ha.

En este momento la reserva cuenta con 12 parcelas permanentes en la restauración asistida de los periodos de tiempo 2011-2016, estas fueron ubicadas en 2017 de acuerdo con el diseño de muestreo propuesto por Cuellar & Cano (2017), la información de su ubicación por coordenadas geográficas Magna Colombia-Bogotá se encuentran en la Tabla 8 .Como se cuenta solo con el montaje de las parcelas hasta el año 2016, se propone el establecimiento de parcelas para el monitoreo de la restauración que se viene dando desde el año 2017, esto con el fin de llevar un seguimiento de las siembras adelantadas en los años 2018 - 2019 y tener estos años como el nuevo estrato a monitorear empleando para esto seis (6) parcelas de 0.05 ha como se había mencionado con anterioridad.

Tabla 8. Localización geográfica de las parcelas de monitoreo presentes en la RBE (Modificado de Rueda & Rocha. 2019)

Estrato	Punto	Coordenada Y	Coordenada X	Altura Z
Reserva	CRBE	1021949,10	1018730,00	3078
Proceso de restauración (2011-2012)	P1	1021731,25	1019203,68	3092
	P2	1021657,40	1019195,40	3088
	P3	1021657,40	1019210,80	3084
Proceso de restauración (2013-2014)	P4	1021562,10	1019035,20	3104
	P5	1021605,37	1019096,14	3107
	P6	1021626,60	1019087,60	3103
	P7	1021546,80	1019201,60	3063
Proceso de restauración	P8	1021556,00	1019084,50	3091
	P9	1021559,10	1019161,50	3070

(2015-2016)	P10	1021221,10	1018570,00	3176
	P11	1021132,00	1018545,30	3168
	P12	1021110,50	1018529,90	3176

6.8. Variables priorizadas para el desarrollo del monitoreo

El estudio dasométrico se refiere a la medición del arbolado para conocer las variables de interés, como son diámetro normal (cm), altura fustal (m) y altura total (m), edad (años) y posteriormente, estimar área basal (m²), volumen (m³), densidad (número de árboles por hectárea), categorías diamétricas, entre otros (Diéguez et al., 2003).

Los sensores remotos son una herramienta de amplia utilización en estudios ecológicos, debido a la posibilidad de cuantificar cambios de cobertura del suelo y monitorear los patrones de fragmentación del paisaje (Turner, 2005). Ecólogos definen la fragmentación como el proceso de reducción de áreas contiguas al hábitat, formando pequeños parches y espacialmente diferentes (Collinge, 2009).

Para determinar si el plan de monitoreo propuesto es eficiente, se recomendó emplear variables dasométricas las cuales fueran de fácil obtención en campo y que a su vez fueran relevantes para el posterior análisis de como se ha venido desarrollando el proceso de restauración en la zona. Adicional a esto, se determinó un tamaño de parcela más reducido para la evaluación de la regeneración en cada una de las parcelas permanentes, ya que el tamaño que se tiene de parcelas para cada uno de los estratos de la reserva es viable pero para parámetros como crecimiento y desarrollo, estado fitosanitario, riqueza y abundancia; aparte de las variables dasométricas se propone evaluar variables relacionadas con la fragmentación en el ecosistema, para esto es necesaria la interpretación de imágenes aéreas de la zona en diferentes años, que permita determinar cómo se ha venido desarrollando de manera macro la restauración ecológica en cuanto a cobertura se refiere.

En la tabla 9 se presentan las variables dasométricas a tomar en campo para su posterior análisis; en el anexo 2 esta consignado el formato de toma de datos que se diseñó en el marco de esta pasantía, en este se solicita información de cada uno de los individuos arbóreos encontrados en las parcelas permanentes de monitoreo, se requiere de datos específicos de las parcelas como número,

latitud y longitud; en cuanto a las características de los árboles se necesita saber el nombre científico de cada uno de los individuos, su familia, el diámetro a la altura del pecho, la altura total y el diámetro de copa; en cuanto al estado fitosanitario se plantea evaluar la parte afectada entendida esta como el tallo, las ramas o las hojas, el grado de afectación el cual se estima en porcentajes los cuales se encuentran en rangos de entre menos del 25% de afectación hasta más del 75%, por último es necesario reconocer cual es el agente causal de esta afectación el cual puede estar representado por hongos o insectos.

Tabla 9. Parámetros con sus respectivas variables a medir en campo. Fuente: Autores.

Evaluación en campo	
Parámetro	Variable
Riqueza	Familia
	Genero
	Especie
Sobrevivencia	No. de individuos persistentes en la parcela
Crecimiento y desarrollo	Altura (m)
	DAP (cm)
	Diámetro de copa (m)
Estado fitosanitario	Agente causal
	Parte afectada
	Grado de afectación
Reclutamiento o colonización	No. de individuos reclutados
Fragmentación*	Numero de parches
	Distancia entre parches (m)
	Forma del parche
	Área del parche (ha)
	Perímetro del parche (ha)

*Parámetro y variables a evaluar mediante interpretación de fotografía aérea de los estratos establecidos

7. ANÁLISIS

7.1. Alcances e Impactos del trabajo de grado

En el proceso previo a la construcción del plan de monitoreo de la restauración de la RBE se consolidó la información relacionada con investigaciones sobre ecología forestal y restauración

ecológica con las que contaba la RBE; así mismo se definieron los objetivos de la restauración dándoles un mejor enfoque y alcance, lo cual desempeñara un papel clave en el direccionamiento de la misma, es decir, que les trazara una hoja de ruta clara a los encargados de este proceso dentro de la RBE respecto a lo se planea lograr con dicha restauración, por otro lado, se recopiló toda la información de los sucesos relevantes dentro de la misma, así como también de los esfuerzos de la Fundación Natura en términos de restauración activa, lo cual les proporcionara sin duda un panorama claro de sus acciones año a año y enfatizar además en sus aciertos, desaciertos y los con notables logros y avances en el proceso de restauración que han llevado a cabo en la RBE.

Otro de los impactos importantes, recae en la construcción del modelo de referencia, necesario para el diseño de este plan, ya que el monitoreo no solo les permitirá evaluar cómo ha cambiado la RBE con respecto a su condición inicial, si no también les permitirá, evidenciar si esta ha cambiado en la dirección esperada, es decir el estado ideal y además evaluar que tan cerca esta del mismo en cada estadio sucesional. También se espera que todos los parámetros, indicadores y cuantificadores determinados en la construcción del plan, correspondientes con un levantamiento robusto y estandarizado de los datos, permitan calcular el progreso de la restauración en las fases temporales corto, mediano y largo plazo.

Por otro lado, el encaminar el proceso de restauración a un manejo adaptativo, es potencialmente útil desde el proceso de planeación e implementación, ya que se combinan; las investigaciones y el monitoreo, esto apoyado en la recolección de evidencia veraz y suficiente como un insumo para la posterior toma de decisiones que demanden acciones, incrementando así el éxito del proyecto ya que se basa en un espacio continuo de aprendizaje y mejoramiento en todas las fases temporales.

En términos más generales, la construcción del documento, que dio como resultado el plan de monitoreo de la restauración ecológica en la RBE, donde se presentan las etapas, con sus respectivas fases comprendidas entre el corto, mediano y largo plazo que es una herramienta sumamente necesaria y útil, les brindara las bases necesarias a los encargados del proceso de restauración promovido por la Fundación Natura en la RBE, para evaluar el éxito y el cumplimiento de sus acciones de restauración además de permitirles hacer los ajustes necesarios para encaminarse al cumplimiento de los objetivos del mismo en el corto, mediano y largo plazo. En este sentido, este documento permitirá tomar decisiones en términos de efectividad, costos y aplicabilidad del proceso de restauración, además sentará un precedente en términos de desarrollo de este tipo de

herramientas en ecosistemas alto andinos, ya que, a pesar de los beneficios potenciales de los planes de monitoreo, no es una práctica frecuente.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ El contar con una síntesis de la información generada en investigaciones previas, relacionadas con la RE de la zona contribuyo con un panorama preliminar de las fortalezas y debilidades de los esfuerzos de restauración activa en la RBE, para la posterior orientación del plan de monitoreo.
- ✓ Establecer las etapas fases y alcances del plan de monitoreo se constituyó en un insumo clave para la reserva ya que son el punto de partida para la evaluación del monitoreo, el determinar cada uno de ellos y reconocer su importancia y funcionalidad le da bases sólidas al monitoreo para su posterior implementación, adicional a esto el proponer los indicadores y cuantificadores con los cuales medir el éxito de la restauración, permitirá identificar los parámetros mínimos para determinar que procesos evidencian avances significativos y cuáles son los que requieren ajuste, para encaminarlos en pro del cumplimiento de los objetivos de la RBE en función de la RE.
- ✓ En términos de toma y análisis de la información, se fijó el tamaño de parcela en 0,05 ha para la evaluación de la RE, donde el número de parcelas es directamente proporcional al tamaño de cada uno de los estratos variando entre 3 a 6 parcelas por estrato, por otro lado el tipo de muestreo que se propone es el estratificado, lo cual es relevante, ya que se ha determinado desde procesos de evaluaciones previas, lo cual permitirá unificar la información con la que ya cuenta la RBE y la referente a las próximas tomas de información que se realicen como seguimiento a los procesos de restauración activa, además de optimizar en términos presupuestales.
- ✓ Se recomienda a la Fundación Natura, directamente a la Reserva Biológica Encenillo, se preste especial atención en adecuar y estructurar el plan de restauración ecológica, en el que se tenga de manera explícita los objetivos, metas y estrategias, para continuar los procesos de restauración, de forma consecuente a los resultados esperados.
- ✓ Se recomienda que para el corto plazo se retroalimente el programa de monitoreo según sean sus resultados en la fase de implementación, teniendo en cuenta los hallazgos preliminares del trabajo de campo y los datos obtenidos, con el fin de generar un seguimiento de este proceso de forma más eficiente.

9. REFERENCIAS

- Aguilar-Garavito, M. & Ramírez, W.** (2015). Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D.C., Colombia. 250 pp.
- Andrade, G. I.** (2003). Selvas sin ley. Conflicto, drogas y globalización de la deforestación de Colombia. Bogotá: Foro Nacional Ambiental.
- Block, W. M., Franklin, A. B., Ward, J. P., Ganey, J. L., & White, G. C.** (2001). Design and Implementation of Monitoring Studies to Evaluate the Success of Ecological Restoration on Wildlife. *Restoration Ecology*, 9(3), 293–303. doi:10.1046/j.1526-100x.2001.009003293.x
- Castellanos-Castro, C., & Bonilla, M. A.** (2011). Grupos funcionales de plantas con potencial uso para la restauración en bordes de avance de un bosque altoandino. *Acta Biológica Colombiana*, 16 (1), 153 – 174.
- Collinge, S.** (2009). *Ecology of fragmented landscapes*. The Johns Hopkins University Press.
- Contreras F.** (1998). ¿Cómo determinar la tasa de crecimiento de los árboles? *Notas Técnicas*, 2, 1-2.
- Cook, S. E. K.** (1976). Quest for an index of community structure sensitive to water pollution. *Environmental Pollution*, 11, 269- 288.
- Cortés, S. P.** (2008). La vegetación boscosa y arbustiva de la cuenca alta del río Bogotá. *Botanical Gazette*, 31, 73-108.
- Crouzeilles, R., Curran, M., Ferreira, M.S., Lindenmayer, D.B., Grelle, C.E.V. & Rey Benayas, J.M.** (2016). A global meta-Analysis on the ecological drivers of forest restoration success. *Nature Communications*, 7, 1-8.
- Cuéllar Tejada, J. A., & Cano Moreno, L. A.** (2017). *Evaluación De Los Procesos De Restauración Ecológica En La Reserva Biológica El Encenillo*. (Trabajo de grado, Ingeniería Forestal). Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Díaz-Triana, J. E., Torres-Rodríguez, S., & Muñoz, L.** (2019). Monitoreo de la restauración ecológica en un bosque seco tropical interandino (Huila, Colombia): programa y resultados preliminares. *Caldasia*, 41(1), 60-77.
- Diéguez-Aranda, U., Dorado, F. C., Anta, M. B., & Murias, M. B.** (2003). Estimación del diámetro normal y del volumen del tronco a partir de las dimensiones del tocón para seis especies forestales comerciales de Galicia. *Forest Systems*, 12(2), 131-139.
- Etter A.** (1998). *Mapa general de ecosistemas de Colombia* (1:2,000,000).
- Etter A., Andrade A., Amaya P. & Arévalo P.** (2014). Estado de los ecosistemas colombianos: Una aplicación de la metodología de lista roja de ecosistemas. *Pontificia Universidad Javeriana y Conservación Internacional Colombia*, 2, 108.

- Etter A., Andrade A., Saavedra K., Amaya P. y P. Arévalo** (2017). Estado de los Ecosistemas Colombianos: una aplicación de la metodología de la Lista Roja de Ecosistemas. *Pontificia Universidad Javeriana y Conservación Internacional Colombia*, 2, 138.
- Ferraro P. J. y S. K. Pattanayak.** (2006). Money for nothing? A call for empirical evaluation of biodiversity conservation investments. *PLoS biology*, 4, 482-488.
- Flinn, K. M., & Vellend, M.** (2005). Recovery of forest plant communities in post-agricultural landscapes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3 (5), 243–250.
- Fundación Natura Colombia.** (2019, 14 Nov). Reserva Biológica Encenillo (Revisado 26 de noviembre, 2021) De: <https://natura.org.co/reservas/reserva-biologica-encenillo/>.
- Gann, G. D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C. R., Jonson, J, & Dixon, K. W.** (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. *Restoration Ecology*. 27 (S1): S1-S46., 27(S1), S1-S46.
- Gatica-Saavedra, P., Echeverría, C., Nelson, C.R.** (2017). Ecological indicators for assessing ecological success of forest restoration: a world review. *Restoration Ecology*, 25 (6), 850-857. doi: 10.1111/rec.12586
- González, R., Avella, A., & Díaz-Triana, J. E.** (2015). Plataformas de monitoreo para vegetación: toma y análisis de datos. *Monitoreo a procesos de restauración ecológica*, 87-107.
- Green, D. G., & Sadedin, S.** (2005). Interactions matter—complexity in landscapes and ecosystems. *Ecological Complexity*, 2(2), 117-130.
- Herrick J. E., G. E. Schumanb y A. Rango.** (2006). Monitoring ecological processes for restoration projects. *Journal of Nature Conservation*, 14, 161-171.
- Hobbs, R. J., and J. A. Harris.** (2001). Restoration ecology: repairing the earth’s ecosystems in the new millennium. *Restoration Ecology*, 9, 239–246.
- IGAC.** (2000). Estudio general de suelos y zonificación de tierras de Cundinamarca.
- Lammerts van Bueren, E; Blom, EM.** (1997). Hierarchical Framework for the formulation of sustainable forest management standards. Principles criteria indicators. *The Tropenbos Foundation*.
- Legg C. J. & L. Nagy.** (2006) Why most conservation monitoring is, but need not be, a waste of time. *Journal of Environmental Management*, 78, 194-199.
- Lequerica, M., Bernal, M. & Stevenson, P.** (2017). Evidencia de direccionalidad del proceso de sucesión temprana del bosque altoandino. *Colombia Forestal*, 20(1),63-84.
- MADS.** (2015). Plan Nacional de Restauración: restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas, Bogotá, D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 92 p.
- Martínez, X. Rincón, D. Galvis, P. Monje, C.** (2005). Valoración biofísica y planificación predial para la conformación de la Reserva Encenillo. Fundación Natura, Bogotá, D. C.

- Mazón, M., Aguirre, N., Echeverría, C., Aronson, J.** (2019). Monitoring attributes for ecological restoration in Latin America and the Caribbean región. *Restoration Ecology*, 27(5), 992- 999
- Morán, M., Campos, J. J., & Louman, B.** (2006). Uso de principios, criterios e indicadores para monitorear y evaluar las acciones y efectos de políticas en el manejo de los recursos naturales. Turrialba, CR, CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico, (347).
- Moreno C.E.** (2001). Métodos para Medir la Biodiversidad. *M y T-Manuales y Tesis SEA*, 1.
- Murcia C. & Guariguata M.,** (2014). La restauración ecológica en Colombia: tendencias, necesidades y oportunidades. Documentos Ocasionales 107. Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Muñoz, J.C., A.B. Hurtado & N. Norden.** (2017). Composición florística de tres fragmentos de bosque altoandino en los alrededores de la Sabana de Bogotá. Parcelas permanentes del Proyecto Rastrojos. Informe técnico. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*.
- Noss. R. F.** (1990). Indicators for Monitoring Biodiversity: A Hierarchical Approach. *Conservation Biology*, 4 (4), 355-364
- Ramírez, W., Aguilar-Garavito, M., Calle, Z., & Cabrera, M.** (2015). Introducción al monitoreo en la restauración ecológica.
- Rangel-Ch J. O. y A. Velázquez.** (1997). *Métodos de estudio de la vegetación*.
- Rangel O. J.,** (2000). La región de vida paramuna de Colombia. *Colombia Diversidad Biótica III. Universidad Nacional de Colombia, instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*, Bogotá, D. C
- Rangel, J. O.** (2002). Biodiversidad en la región del páramo: con especial referencia a Colombia. *Memorias Congreso Mundial de Páramos*, 1, 168-200
- Restrepo Abadia, J. F.** (2016). Caracterización vegetal del bosque altoandino en diferentes estados sucesionales de la reserva biológica Encenillo, Guasca-Cundinamarca. (Trabajo de grado, Ecología) Pontificia Universidad Javeriana.
- Rodríguez Camacho, L. M., & Guerrero Urian, A. C** (2015), Composición y Diversidad Florística Vascular de Bosque Altoandino, en el Predio la Chorrera, Municipio Une, Cundinamarca, Colombia. (Trabajo de grado, Licenciatura en Biología) Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Rueda Baracaldo, D. F., & Rocha Jiménez, H. D** (2019). Diversidad funcional asociada a biomasa en procesos de restauración del bosque altoandino en la Reserva Encenillo (Guasca-Cundinamarca). (Trabajo de grado, Ingeniería Forestal) Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- SÁENZ, G.P.; FINEGAN, B.** (2000). Monitoreo de la regeneración natural con fines de manejo forestal. *Manejo Forestal Tropical (CATIE) (Turrialba.)* 8-15.

- SER. Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group.** (2004). The SER International Primer on Ecological Restoration. *Science & Policy Working Group, 2*, 1-13.
- Sheehan, P.J.** (1984). Effects on community and ecosystem structure and dynamics. *P. J. Sheehan, D.R. Miller, G. C. Butler, and P. Boudreau.*
- Silva, A. M., & Gómez, L. L.** (2016). Caracterización florística y estructural en bosques fragmentados del municipio de Gachetá, Cundinamarca habitados por el oso andino (*Tremarctos ornatus*). (Trabajo de grado, Licenciatura en biología) Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Stanturf, J. A., Palik, B. J., Williams, M. I., Dumroese, R. K., & Madsen, P.** (2014). Forest Restoration Paradigms. *Journal of Sustainable Forestry, 33*(1). <https://doi.org/10.1080/10549811.2014.884004>
- Sturm, H., & Rangel Ch, O.** (1985). Ecología de los páramos andinos: una visión preliminar integrada *Instituto de Ciencias Naturales- Universidad Nacional.*
- Turner, M,** (2005). Landscape ecology: what is the state of the science? *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics, 36*, 319-344. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.36.102003.152614>
- Van der Hammen, T.** (1998). Páramos. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.*
- Vargas, Orlando & Mora, Francisco.** (2008). La restauración ecológica. Su contexto, definiciones y dimensiones. Estrategias para la restauración ecológica del bosque altoandino. (pp.19 - 40)
- Velasco-Linares, Patricia & Vargas, Orlando.** (2008). Problemática de los bosques altoandinos. *Trends in Ecology and Evolution, 16*, 446-453.

ANEXOS

Anexo 1. Historia ecológica de la reserva Biológica Encenillo

Historia ecológica de la Reserva biológica Encenillo			
Año	Evento	Descripción	Fuente
1935 hasta 1992	Perturbación antrópica	Funcionamiento de la compañía Cales de Guasca explotó y transformó roca caliza, en parte de los actuales predios de la reserva. Al igual que parches destinados a la ganadería, actividades que tumbaron gran cantidad del bosque andino nativo.	Fundación Natura, (2018). Reserva Biológica Encenillo, On Line, Recuperado de: http://www.natura.org.co/reservas/reserva-biologica-encenillo .
2008	Inicio de proceso de restauración asistida	Siembra de individuos, que incluyen las siguientes especies: <i>Alnus acuminata</i> (aliso), <i>Myrcianthes leucoxylo</i> (arrayán), <i>Citharexylum subflavescens</i> (cajeto), <i>Cedrela montana</i> (cedro), <i>Xylosma spiculifera</i> (corono), <i>Clusia multiflora</i> (gaque), <i>Dodonaea viscosa</i> (hayuelo), <i>Viburnum triphyllum</i> (juco) y <i>Retrophyllum rospigliosii</i> (pino romerón). En total se sembraron 10.300 individuos con una altura que no superaba los 40 cm y con distancias de siembra de 2,5 m, método de siembra en tres bolillos. Para consolidar el establecimiento de los individuos se realizó un mantenimiento luego de 4 meses de establecida la plantación, además de labores tales como el aislamiento de los individuos para evitar la herbivoría (Torres, 2008)	Torres, F. (2008). Contrato de plantación y mantenimiento de 10.000 árboles nativos en la reserva biológica Encenillo – Guasca Cundinamarca, de la Fundación Natura. Bogotá, D.C.
2009 a 2010	Restauración Asistida	Se continuó con el proceso de restauración en áreas degradadas por cultivo de papa y ganadería, siguiendo la metodología empleada por Torres, (2008), aunque con distancias de siembra mayores (3 m). En este período, se ejecutaron tres mantenimientos; el primero se realizó a los cuatro meses y consistía en el plateo, el segundo, realizado a los ocho meses, consistió en plateo y abonado y el tercero, el cual incluyó el plateo y replante. (Beltrán y Vélez 2010).	Cuéllar Tejada, J. A., & Cano Moreno, L. A. (2017). Evaluación De Los Procesos De Restauración Ecológica En La Reserva Biológica El Encenillo.
2011	Restauración Asistida	Se realizaron siembras en pastizales, con especies como; <i>Alnus acuminata</i> (aliso), <i>Baccharis bogotensis</i> (ciro), <i>Dodonaea viscosa</i> (hayuelo), <i>Cordia</i> sp (salvios), entre otras, aunque no generaron los mejores resultados, a causa del alto número de individuos plantados de alisos, lo cual resultó en la consolidación de esta especie, por lo tanto características como su rápido crecimiento permitieron que dominara sobre las demás, en ese sentido fue necesario realizar enriquecimientos en algunas de las áreas afectadas.	Cuéllar Tejada, J. A., & Cano Moreno, L. A. (2017). Evaluación De Los Procesos De Restauración Ecológica En La Reserva Biológica El Encenillo.

2012	Restauración Asistida	Se implementaron nuevos tratamientos de restauración, aunque las técnicas ejecutadas en campo se mantuvieron. Se seleccionaron 20 especies para la siembra de cerca de 5000 individuos con distancias de siembra de 1.5 m en tres bolillos con alturas mayores de las plántulas (60 cm). El mantenimiento se hace 3 veces aproximadamente cada 8 meses.	Cuéllar Tejada, J. A., & Cano Moreno, L. A. (2017). Evaluación De Los Procesos De Restauración Ecológica En La Reserva Biológica El Encenillo.
2013 a 2014	Restauración Asistida	Se implementó una estrategia de restauración ecológica con la colaboración de entidades privadas. Se logró sembrar más de 10.000 individuos de 24 especies nativas. Las especies con mayor representatividad son <i>Alnus acuminata</i> , <i>Baccharis latifolia</i> y <i>Dodonaea viscosa</i> . Estas especies se sembraron con distancias de siembra en tres bolillos de 1.5 m y alturas entre 70 y 90cm.	Cuéllar Tejada, J. A., & Cano Moreno, L. A. (2017). Evaluación De Los Procesos De Restauración Ecológica En La Reserva Biológica El Encenillo.
2015	Restauración Asistida	Se iniciaron los procesos de restauración ecológica aumentando el número de especies y reduciendo la distancia entre plántulas (tres bolillos de 1x1x1m) y sembrando individuos con alturas de aproximadamente 1 m. En este período se destaca la implementación de siembras teniendo en cuenta arreglos florísticos. Los arreglos florísticos aplicados ubicaron las especies en ciertas áreas de acuerdo a sus características ecológicas, facilitando las asociaciones entre diferentes especies. En la parte central del arreglo se dispusieron especies de lento crecimiento, que requieren una menor cantidad de luz para establecerse y son poco resistentes a vientos fuertes y cambios microclimáticos, tales como <i>Weinmannia tomentosa</i> , <i>Clusia multiflora</i> y géneros como <i>Oreopanax</i> , <i>Clusia</i> y <i>Myrsine</i> . Posteriormente, en la parte media se ubican especies con un crecimiento acelerado, aunque frágiles ante vientos fuertes, como el <i>Baccharis bogotensis</i> , <i>Escallonia paniculata</i> , y <i>Abatia parviflora</i> . Finalmente, en la parte externa del arreglo se ubican especies resistentes, de un acelerado crecimiento y de mayor cobertura, resistentes a cambios microclimáticos y fuertes vientos como; <i>Baccharis latifolia</i> , <i>Smallanthus pyramidalis</i> y la <i>Verbesina crassiramea</i> .	Cuéllar Tejada, J. A., & Cano Moreno, L. A. (2017). Evaluación De Los Procesos De Restauración Ecológica En La Reserva Biológica El Encenillo.
2016	Restauración Asistida	En la restauración ecológica de este año se utilizaron cerca de 30 especies para un total de 11800 individuos sembrados, de estas las tres especies con mayor número de individuos son el duraznillo, con un 14.3%, seguido de ciro con 11.5% y tibar con 11.1 %. El aliso quedo en el puesto 14 con 2.5%. La distancia de siembra permaneció de 1m en tres bolillos, teniendo en cuenta los arreglos florísticos, la altura promedio de las plántulas al momento de la siembra fué de 1m.	Informe de gestión anual 2016 https://natura.org.co/wp-content/uploads/2018/04/Indicadores-2016-Fundacion-Natura-Colombia.pdf
2018	Restauración Asistida	Durante ese año se continuó con la propagación de individuos de especies nativas de los ecosistemas de páramo y bosque altoandino, proceso que se llevó a cabo en el vivero de la Reserva Biológica Encenillo (Guasca) y en el vivero de la vereda Roble Hueco (Bojacá). Se contó con la asesoría de expertos en la propagación de especies particulares (género <i>Cyathea</i>), con un total de 8769 árboles sembrados, el representante en Colombia de la empresa Toyota, Automotores Toyota Colombia	Informe de gestión anual 2018 https://natura.org.co/wp-content/uploads/2019/04/Infor

		(ATC), se alió en 2018 con la Fundación Natura para desarrollar acciones como parte de sus iniciativas de responsabilidad social y ambiental global. Bajo esta alianza se diseñó un plan de restauración ecológica de bosque altoandino en la RBE en 1,7 ha para plantar como mínimo 7 500 árboles en 5 años	me%20de%20gestion%20Fundacion%20Natura%202018.pdf
2019	Restauración Asistida	En materia de restauración en el 2019, 10 575 árboles fueron plantados en 2,4 ha. Para este año se reporta que tras 13 años de ejercicio de restauración ecológica en Encenillo se han intervenido 10 ha con 44 000 árboles, cuyo crecimiento se evidencia a escala de paisaje con la formación de arbustales y fustales. El esfuerzo de restauración ha estado acompañado de acciones de control de la especie invasora retamo espinoso (<i>Ulex europaeus</i>), que totaliza 4,2 ha intervenidas exitosamente. A la fecha se han plantado 4 401 árboles que forman parte de la rehabilitación de un área perturbada por minería. (campaña mi árbol), de la misma manera, bajo la alianza toyota, hasta ahora se han sembrado 3 693 árboles y se han sumado empresas que hacen parte de la cadena de valor de ATC, Al modelo de plantación de bosques corporativos con fines de restauración ecológica también se sumó, en 2019, la universidad Escuela de Administración de Negocios (EAN), como parte de sus objetivos de responsabilidad ambiental y sensibilización de la comunidad educativa. Se acordó un proyecto a cinco años con el objetivo de sembrar 8 000 árboles y ya se han realizado dos jornadas con la participación de más de 400 miembros de la institución, con un resultado de 1 563 árboles plantados. Además, se inició en la reserva Encenillo la implementación de compensaciones por parte de EPM.	Informe de gestión anual 2019: https://natura.org.co/wp-content/uploads/2020/07/2-informe-de-gestion-2019-julio17.pdf
2020	Restauración Asistida	Para el año 2020 según el informe de gestión se tiene que el número de árboles sembrados fue de 22482, y la procedencia de los mismos corresponde a la responsabilidad social empresarial, donaciones y compensaciones.	Informe de gestión anual 2020: https://natura.org.co/wp-content/uploads/2021/09/informe-de-gestion-Fundacion-Natura-2020.pdf

