



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Análisis del fortalecimiento de servicios ecosistémicos asociados a la implementación de una restauración ecológica en un bosque seco tropical en Cali, Valle del Cauca**

**Juan David Patiño Murillas**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad, de Ingeniería y Administración  
Palmira, Colombia

2024

# **Análisis del fortalecimiento de servicios ecosistémicos asociados a la implementación de una restauración ecológica en un bosque seco tropical en Cali, Valle del Cauca.**

**Juan David Patiño Murillas**

Tesis de investigación presentada(o) como requisito para optar al título de:

**Maestría en Ingeniería Ambiental**

Director:

Joel Tupac Otero PhD. Biología

Línea de Investigación:

Restauración de Ecosistemas

Grupo de Investigación: Grupo De Investigación en Orquídeas y Ecología

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad, de Ingeniería y Administración  
Palmira, Colombia  
2024

*Dedicatoria:*

*"Dedico este trabajo a aquellos que creen en el poder del esfuerzo y la perseverancia. A lo largo de este viaje, he aprendido que cada desafío es una oportunidad para aprender y crecer. Cada paso, cada obstáculo superado, es un peldaño en la escalera hacia el éxito. Este logro es solo el primer paso de muchos en el camino hacia nuestras metas más grandes. Quiero expresar mi profunda gratitud a mi familia y a todas las personas importantes en mi vida, cuyo apoyo incondicional ha sido la fuerza impulsora detrás de mis logros. Que esta tesis sirva como recordatorio de que el esfuerzo constante, el aprendizaje continuo y la voluntad inquebrantable, respaldados por el amor y el apoyo de nuestra familia y seres queridos, son las llaves que abren las puertas hacia un éxito verdadero y duradero."*

# Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



---

JUAN DAVID PATIÑO MURILLAS

Fecha 23/01/2024

# Agradecimientos

Agradezco profundamente al equipo de profesionales y al personal de la Secretaría de Infraestructura de la Alcaldía de Santiago de Cali por brindarme acceso a información vital y por su inquebrantable apoyo durante esta investigación. Su dedicación y disposición para compartir su experiencia han sido fundamentales para enriquecer este proyecto.

Mi gratitud se extiende al personal de la Parcelación Chorro de Plata, quienes generosamente permitieron el acceso a un bosque lleno de vida y de historias. Su colaboración, junto a las personas de la comunidad fue esencial para obtener datos significativos y valiosos para este trabajo.

Quiero reconocer especialmente a mi profesor Joel Tupac, cuyo apoyo incondicional ha sido un pilar fundamental en todo el proceso. Su orientación y dedicación han guiado mis esfuerzos, y su compromiso con mi aprendizaje ha dejado una marca indeleble en mi experiencia académica.

También agradezco a Jackeline J. Cañon, debido a que ha sido un apoyo importante en un proceso que ni siquiera estuvo planeado, pero gracias a las decisiones, experiencias y apoyo, fue posible demostrar que con perseverancia y mucho esfuerzo podemos llegar más lejos que lo que hubiese alguna vez imaginado, gracias Chinita porque al final después de los malos momentos llenos de estrés, siempre fue posible ver una luz de esperanza y tranquilidad.

Por último, a mi familia, a mi mamá Roció, a mi papá Juan Esteban, y a mis hermanos Jorge Eduardo y Carlos Alfredo, a quien dedico en especial este trabajo, porque los admiro y me siento orgulloso de todo lo que hemos vivido para poder seguir adelante, para hacerlos sentir cada vez más orgullosos.

A todos ellos, mi más profundo agradecimiento. Sus contribuciones han sido cruciales en el desarrollo de este proyecto. Gracias por ser parte fundamental de este logro.

## Resumen

### **Análisis del fortalecimiento de servicios ecosistémicos asociados a la implementación de una restauración ecológica en un bosque seco tropical en Cali, Valle del Cauca.**

La intervención antrópica en sitios de interés ecológico como lo es la Parcelación Chorro de plata ha generado un detrimento de los servicios ecosistémicos (SE). Es por ello que esta investigación tiene como objetivo determinar el fortalecimiento en los servicios ecosistémicos asociados a la implementación del proceso de restauración ecológica en el bosque seco tropical, ubicado en el Distrito Regional de Manejo Integrado Pance (DRMI). Para ello se realizó la caracterización de la zona de estudio durante el año 2019, donde se efectuaron monitoreos de fauna por medio de la observación y captura en campo, parcelas para caracterización de flora (fustal, latizal y brinzal), finalmente se tomaron 120 muestras de suelo, las cuales se enviaron a laboratorio para su análisis físico químico, estas características influyeron en la selección de los sitios para efectuar la restauración ecológica (RE), Otoño, Tanque, Antena, Administración y Charco. Los resultados mostraron que el área presentaba amplias coberturas de Helecho marranero, gran cantidad de nidos de hormiga arriera y suelos con condiciones de acidez, estos factores se tuvieron en cuenta para elegir las coberturas vegetales que pudiesen dar comienzo al proceso de sucesión primaria, en los 4 años de monitoreo se evidencio un fortalecimiento de los SE debido al incremento de la cobertura boscosa, la cual ha servido para fortificar las interacciones del ecosistema atrayendo nuevas especies de fauna. Adicionalmente se pudo dilucidar que el sitio denominado tanque presentó mayores alturas promedio en individuos forestales, siendo  $223.74 \pm 49.39$  cm, siendo también el sitio con mayor riqueza y diversidad en cuanto a estas especies de acuerdo a los índices de diversidad de SHANNON (1.23) y SIMPSON ( $8.77E+01$ ). Esto indica que la (RE) es un mecanismo eficaz para regenerar las dinámicas de los ecosistemas y fortalecer así los SE.

**Palabras clave:** restauración ecológica, bosque seco tropical, servicios ecosistémicos, componentes ambientales, biodiversidad, individuos forestales.

## Abstract

### **Analysis of the Strengthening of Ecosystem Services Associated with the Implementation of Ecological Restoration in a Tropical Dry Forest in Cali, Valle del Cauca.**

Anthropic intervention in sites of ecological interest such as the Chorro de Plata Parcelation has generated a detriment to ecosystem services (ES). That is why this objective is to determine the strengthening of ecosystem services associated with the implementation of the ecological restoration process in the tropical dry forest, located in the Pance Regional Integrated Management District (DRMI). For this purpose, the characterization of the study area was carried out during 2019, where fauna monitoring was carried out through observation and capture in the field, plots for flora characterization (bustle, latizal and sapling), finally 120 soil samples were taken, which were sent to the laboratory for physical and chemical analysis, these characteristics influenced the selection of the sites to carry out ecological restoration (ER), Otoño, Tanque, Antena, Administración and Charco. The results showed that the area had extensive coverage of pig fern, a large number of leaf-leaf ant nests and soils with acidic conditions. These factors were taken into account to choose the vegetal coverage that could begin the process of primary succession, in the 4 years of monitoring show a strengthening of the ES due to the increase in forest cover, which has served to fortify ecosystem interactions by attracting new species of fauna. Furthermore, it was possible to elucidate that the site called tank has higher average heights in forest individuals, being  $223.74 \pm 49.39$  cm, being also the site with the greatest richness and diversity in terms of these species according to the diversity indices of SHANNON (1.23) and SIMPSON ( $8.77E+01$ ). This indicates that (ER) is an effective mechanism to regenerate ecosystem dynamics and thus strengthen ES.

**Keywords:** Ecological restoration, tropical dry forest, ecosystem services, environmental components, biodiversity, forest individuals.

# Contenido

<b>Lista de figuras.....</b>	<b>10</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>12</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>13</b>
<b>1. Capítulo 1. Caracterización del área empleada para el establecimiento de la restauración Ecológica en un bosque seco tropical .....</b>	<b>19</b>
1.1    Introducción.....	19
1.2    Materiales y métodos .....	20
1.2.1    Área de estudio.....	20
1.2.2    Fase de campo.....	22
1.2.2.1. Caracterización fisicoquímica del suelo del área de estudio .....	22
1.2.2.2. Criterios de selección de áreas a restaurar.....	23
1.2.2.3. Caracterización de Fauna.....	25
1.2.2.4. Caracterización de Flora.....	26
1.2.2.5. Caracterización de servicios ecosistémicos presentes en el área de estudio.....	28
1.2.3    Análisis de datos.....	29
1.3    Resultados .....	30
1.3.1    Condiciones Fisicoquímicas del suelo en el área de estudio .....	30
1.3.2    Presencia del Helecho Marranero ( <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn) y organismos competitivos en el área de estudio .....	30
1.3.3    Monitoreo de la flora en el área de estudio .....	31
1.3.4    Monitoreo de Fauna en el área de estudio.....	36
1.3.5    Evaluación de servicios ecosistémicos en el área de estudio .....	44
1.4    Discusión .....	46
1.4.3    Monitoreo de Flora en el área de estudio.....	48
1.4.4    Monitoreo de fauna en el área de estudio.....	49
1.4.5    Servicios ecosistémicos asociados a la Flora y Fauna presente en el área de estudio .....	51
1.5    Conclusiones y recomendaciones .....	52
1.6    Referencias bibliográficas .....	54
<b>2. Capítulo 2. Impacto de la restauración ecológica: Evaluación de resultados y servicios ecosistémicos fortalecidos en un bosque seco tropical.....</b>	<b>60</b>
2.1    Introducción.....	60
2.2    Materiales y Métodos .....	62
2.2.1    Área de estudio.....	62
2.2.2    Fase de campo.....	62
2.2.3    Tratamiento de los datos .....	67
2.3    Resultados .....	67
2.3.1    Ejecución de la restauración ecológica (RE).....	67
2.3.2    Monitoreo de Fauna en las zonas de la restauración ecológica (RE).....	70
2.3.3    Análisis comparativo de parámetros previo y posterior a la ejecución de la restauración ecológica (RE) .....	78

2.3.4	Análisis de los Servicios ecosistémicos asociados a la implementación de la RE.....	88
2.4	Discusión .....	89
	Monitoreo de Fauna en las zonas de la restauración ecológica (RE) .....	90
	Análisis comparativo de parámetros previo y posterior a la ejecución de la restauración ecológica (RE) .....	91
	Análisis de los Servicios ecosistémicos asociados a la implementación de la RE ....	93
2.5	Conclusiones y recomendaciones.....	95
2.6	Referencias bibliográficas .....	96

## Lista de figuras

Figura 1. Cronología de actividades contempladas por el proyecto.....	15
Figura 1-1. Zona de estudio parcelación Chorro de Plata, Cali.....	21
Figura 1-2. Áreas seleccionadas para el proceso de Restauración ecológica .....	24
Figura 1-3. Identificación de individuos forestales presentes en el área de estudio .....	28
Figura 1-4. Presencia del Helecho Marranero ( <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn) en el área de estudio.....	30
Figura 1-5. Presencia de nidos (hormigueros) de la Hormiga Arriera ( <i>Atta Cephalotes</i> ) en el área de estudio.....	31
Figura 1-6. Distribución de la abundancia en el bosque seco tropical.....	33
Figura 1-7. Porcentaje de distribución de la dominancia en el área de estudio.....	33
Figura 1-8. Índice de distribución (ID) en el bosque seco tropical.....	34
Figura 1-9. Porcentaje (%) de distribución de individuos por clase altimétrica en el área de estudio.....	35
Figura 1-10. Representatividad de órdenes y familias de mamíferos silvestres reportados en la zona de compensación Chorro de Plata, Pance. ....	36
Figura 1-11. Ardilla común ( <i>Sciurus granatensis</i> ) avistada .....	37
Figura 1-12. Fruto de <i>Siparuna laurifolia</i> parcialmente consumido posiblemente por <i>Dasyopus novemcinctus</i> .....	37
Figura 1-13. Familias de aves más representativas dentro del área de estudio.....	39
Figura 1-14. Abundancia relativa de las 20 especies de aves con mayor presencia dentro del estudio.....	41
Figura 1-15. Presencia de Chachalaca colombiana ( <i>Ortalis columbiana</i> ) en el área de estudio .....	42
Figura 1-16. Presencia de Tangara rastrojera ( <i>Stilpnia vitriolina</i> ) en el área de estudio..	43
Figura 1-17. Tangara negra ( <i>Tachyphonus rufus</i> ) y Mestizo ( <i>Cupania latifolia</i> ) .....	43
Figura 2-1. Actividad de retiro de la cobertura vegetal del Helecho marranero ( <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn), <i>plateo</i> y <i>hoyado</i> .....	64
Figura 2-2. Actividad de adecuación y siembra de especies forestales en el marco de la RE .....	65
Figura 2-3. Erradicación del Helecho marranero ( <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn) empleando guadaña.....	68
Figura 2-4. Control fitosanitario de la Hormiga arriera ( <i>Atta cephalotes</i> ).....	69
Figura 2-5. Especies sembradas en el proceso de restauración ecológica.....	70
Figura 2-6. Comparación de especies: mastofauna observada en los años 2019 y 2023	72
Figura 2-7. Avistamiento de Mono nocturno ( <i>Aotus lemurinus</i> ).....	73
Figura 2-8. Huella de Guatín ( <i>Dasyprocta punctata</i> ).....	73
Figura 2-9. Familias de fauna monitoreadas en el área de restauración ecológica .....	74
Figura 2-10. Tangara real ( <i>Stilpnia cyanicollis</i> ) alimentándose de <i>Miconia minutiflora</i> ....	75
Figura 2-11. Gráfico de crecimiento promedio por especie en el sitio de RE denominado “Charco” .....	82

Figura 2-12. Gráfico de crecimiento promedio por especie en el sitio de RE denominado “Tanque” .....	82
Figura 2-13. Gráfico de crecimiento promedio por especie en el sitio de RE denominado “Antena” .....	83
Figura 2-14. Gráfico de crecimiento promedio por especie en el sitio de RE denominado “Administración” .....	83
Figura 2-15. Gráfico de crecimiento promedio por especie en el sitio de RE denominado “Otoño” .....	84
Figura 2-16. Porcentajes de mortalidad por sitio de siembra de la RE.....	86
Figura 2-17. Especies de individuos forestales fallecidos por sitio en el marco de la RE	87
Figura 2-18. Mortalidad total de individuos forestales establecidos en la RE .....	88

## Lista de tablas

Tabla 1-1. Análisis de laboratorio de las características químicas del suelo del área de estudio .....	23
Tabla 1-2. Análisis de laboratorio de las características físicas del suelo del área de estudio .....	23
Tabla 1-3. Distribución de áreas (Ha) contempladas para cada polígono de siembra ....	24
Tabla 1-4. Parcelas demostrativas para determinación de especies forestales en el área de estudio.....	27
Tabla 1-5. Localización de las parcelas demostrativas para la determinación de especies forestales en el área de estudio.....	27
Tabla 1-6. Composición florística del área de estudio.....	32
Tabla 1-7. Especies forestales amenazadas en el área de estudio .....	35
Tabla 1-8. Representatividad de órdenes y familias de mamíferos silvestres reportados en la zona de restauración en Chorro de Plata, Pance.....	38
Tabla 1-9. Especies con algún interés para la conservación registradas en el área de compensación Chorro de Plata. Vu: Vulnerable; En: Endémica; C-end: Casi Endémico; Mb: Migratorio Boreal, (CITES, 2021).....	39
Tabla 1-10. Descripción de servicios ecosistémicos en el área de estudio .....	44
Tabla 1-11. Plan de ejecución de la restauración ecológica a partir de los análisis técnicos de los componentes presentes en el área de estudio. ....	53
Tabla 2-1. Distribución de siembra de individuos forestales en los cinco polígonos designados del área de estudio.....	65
Tabla 2-2. Comparación de especies de fauna monitoreadas en el año previo a la RE en el 2019 y en el 2023 posterior al establecimiento de la RE.....	71
Tabla 2-3. Comparación de familias: Avifauna observada en los años 2019 y 2023.....	75
Tabla 2-4. Especies avifauna que anidan en individuos forestales procedentes de la RE .....	76
Tabla 2-5. Servicios ecosistémicos fortalecidos a partir de la implementación de la RE .	78
Tabla 2-6. Servicio ecosistémico de aprovisionamiento brindados por parte de las especies forestales más abundantes sembradas dentro de la restauración ecológica ...	79
Tabla 2-7. Alturas promedio de individuos arbóreos por sitios de restauración (cm), los datos se presentan en (promedios± error estándar). ....	81
Tabla 2-8. Índices de diversidad de especies .....	85
Tabla 2-9. Número de individuos muertos por sitio de siembra de la RE .....	85

## Introducción

La restauración ecológica (RE) surge como una alternativa imperativa para la recuperación de ecosistemas afectados por intervenciones antrópicas (Ríos, 2011), como la ganadería y las quemas, con el objetivo de generar beneficios ambientales y sociales (Álvarez-Farizo et al., 2011), así como de recuperar el ecosistema desde un enfoque integral y sostenible (SER, 2004). En el contexto del bosque seco tropical, un ecosistema mundialmente amenazado, las actividades históricas de quemas y ganadería en la cuenca del río Pance, departamento del Valle del Cauca, Colombia, han exacerbado la degradación (Portillo-Quintero & Sánchez-Azofeifa, 2010). La restauración se presenta como un camino para fortalecer los servicios ecosistémicos (SE), estos SE son beneficios que brinda la naturaleza dentro de los ecosistemas (McMurray et al., 2017), así como los beneficios que puede llegar a obtener el ser humano por parte de los recursos naturales desde un punto de vista antropocéntrico (Balvanera, 2012). Por lo que, los SE dentro de la RE buscan revertir el impacto negativo generado por actividades antrópicas en la biodiversidad, el suelo, la fauna y la flora (Abouhamad et al., 2017; Sarria-Palacio, 2021).

La restauración ecológica se plantea en respuesta a estas amenazas, tomando como herramientas el potencial de regeneración del área y factores bióticos y abióticos (Vargas & Mora, 2009). Lo anterior, partiendo de información importante del área de estudio como el análisis de las condiciones del suelo, lo cual, es fundamental para comprender la calidad del terreno y planificar tratamientos apropiados antes de la siembra de individuos forestales (Espinosa, 1999; E. Rivera, 2018).

La restauración ecológica ejecutada en junio de 2019 comprende la siembra de especies forestales endémicas y estratégicas, las cuales, deben entrar a competir con la presencia dominante del Helecho Marranero (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) y desafíos adicionales como la actividad de la hormiga arriera (*Atta cephalotes*). Estos elementos afectan directamente la restauración, generando dificultades en el establecimiento de nuevas especies forestales (Montoya Lerma et al., 2006; Prisco-Pastrana, 2009; Vetter, 2009; Valdez-Ramírez et al., 2020).

Para abordar estas problemáticas, se analizan y recomiendan especies forestales específicas que contribuirán al fortalecimiento de los SE (Meli, 2003). Buscando también, la recuperación de la biodiversidad, mejorar la calidad del suelo, así como, atraer fauna benéfica que fomente dinámicas ecosistémicas positivas como por ejemplo, la propagación de semillas, que favorecerán al proceso de restauración y al fortalecimiento de los SE (Smith-Ramírez & Armesto, 1998; González-Varo et al., 2015; Barrera-Cataño & Valdés-López, 2007; Ariza & Isaacs, 2015; Cárdenas-Camacho et al., 2021).

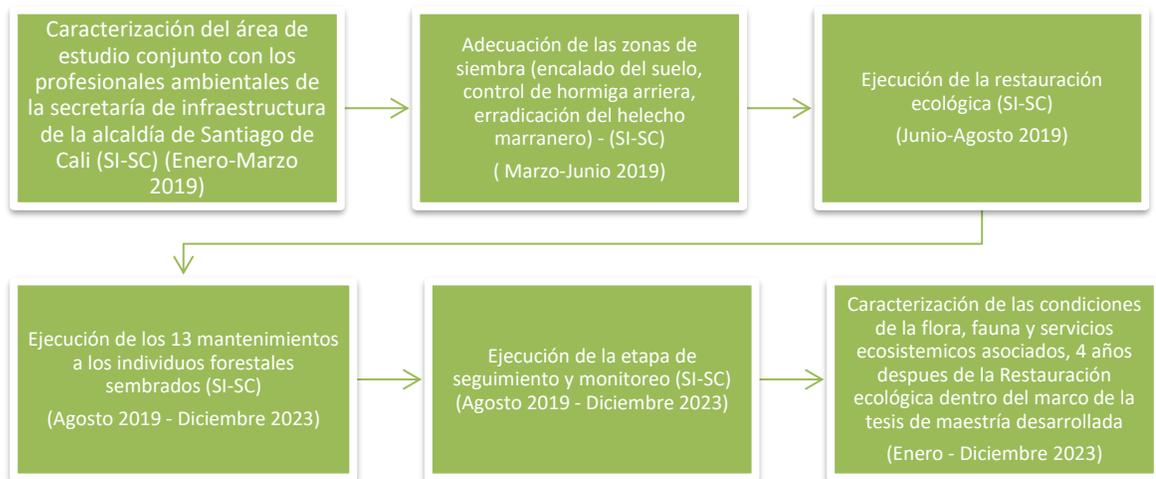
De igual forma, se efectuó una comparación de la fauna y flora presente en el área de estudio, a partir de datos obtenidos en campo previo a la implementación del a RE (2019) y después de la implementación de la misma 4 años después (2023), llevando a cabo un seguimiento constante por medio de la ejecución de un total de 13 mantenimientos, con una frecuencia de un (1) mantenimiento en 2023 y cuatro (4) mantenimientos anuales durante 3 años (2020 a 2023), lo cual conllevó a conservar el estado de los individuos forestales para buscar su correcto desarrollo (Ollero Ojeda, 2014).

Por medio del análisis de factores bióticos y abióticos realizados al área de restauración, se establece un compromiso hacia la sostenibilidad del bosque seco tropical en la cuenca del río Pance, utilizando la restauración ecológica como una herramienta estratégica para mejorar la funcionalidad y resiliencia del ecosistema (Guerra-Martínez et al., 2021), con un enfoque específico en el fortalecimiento de los SE esenciales para la comunidad y la biodiversidad local (Pérez, 2017; Sarria-Palacio, 2021).

Por otra parte, es importante contemplar la cronología previa a la iniciación del proyecto, el cual nace desde la caracterización del área de estudio en enero de 2019 realizada conjuntamente con profesionales de la secretaría de infraestructura de Santiago de Cali (Valle del Cauca), de la cual hice parte como contratista entre 2019 y 2021, en donde se incluyeron los monitoreos de servicios ecosistémicos asociados a la fauna y flora evidenciada, así como la toma de muestras y posterior análisis de laboratorio de las muestras de suelo, para buscar la adecuación de las zonas de siembra (encalado del suelo, control de hormiga arriera, erradicación del helecho marranero), además de la toma de decisiones que permitieran seleccionar las especies forestales establecidas por medio

de la restauración ecológica en junio de 2019. Posterior a la ejecución de la restauración ecológica en junio de 2019 por parte de los profesionales ambientales de la secretaría de infraestructura de la alcaldía de Santiago de Cali (Valle del Cauca), se llevaron a cabo los 13 mantenimientos desde el 2019 al 2023, para después realizar un seguimiento en 2023 de las condiciones de flora y fauna, así como las dinámicas que terminarían brindando unos servicios ecosistémicos derivados del éxito de la restauración ecológica. En enero de 2023 inicié el proyecto para evaluar la mejoría de los servicios ecosistemas a partir del 2019 como resultado de la RE en la zona de reserva de la Prelación Chorro de Plata.

Figura 1. Cronología de actividades contempladas por el proyecto



Es así como, este estudio no solo se centra en comprender las condiciones del ecosistema afectado previo a la implementación de la RE, sino que tiene como objetivo final determinar el fortalecimiento de los SE asociados al análisis de la flora y la fauna antes y después de la RE (Sarria-Palacio, 2021). Dicho análisis se lleva a cabo a través de recomendaciones técnicas basadas en resultados de campo, realizando comparaciones temporales de las etapas de la RE, buscando impulsar la recuperación de la biodiversidad, promover la propagación de especies forestales y atraer fauna benéfica que contribuya al proceso de restauración y al fortalecimiento de los SE (Wunderle, 1997; Castillo, A. et al., 2009; González-Varo et al., 2015; Shi et al., 2021). Por lo que, la toma de decisiones informada es crucial para asegurar el éxito de la restauración a largo plazo, como también el seguimiento constante por medio de mantenimientos a los individuos forestales (Ollero Ojeda, 2014; Torres-Rodríguez et al., 2019).

## Referencias Bibliográficas

- Abouhamad, S., Rojas Ramirez, M., Méndez Ramírez, J., Salazar Céspedes, K., & Salmerón Alpízar, A. (2017). Servicios ecosistémicos de regulación que benefician a la sociedad y su relación con la restauración ecológica. *Biocenosis*, 31(1-2), 80-92. <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/biocenosis/article/view/1731>
- Álvarez-Farizo, B., Gil, J. M., & Howard, B. J. (2011). Evaluación de impactos ambientales derivados de estrategias de restauración a través de las decisiones de jurados de ciudadanos. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 5(10), 19. <https://doi.org/10.7201/earn.2005.10.02>
- Ariza, A., & Isaacs, P. (2015). Monitoreo a la restauración ecológica desde la escala del paisaje. In *Monitoreo a procesos de restauración ecológica*. [https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiQp6nHgMrVAhVJOxoKHQWIDZMQFggnMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.humboldt.org.co%2Fes%2Festado-de-los-recursos-naturales%2Fitem%2Fdownload%2F276\\_41573dc2c1274956cbf0b442153731f](https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiQp6nHgMrVAhVJOxoKHQWIDZMQFggnMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.humboldt.org.co%2Fes%2Festado-de-los-recursos-naturales%2Fitem%2Fdownload%2F276_41573dc2c1274956cbf0b442153731f)
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Revista Ecosistemas*, 21(Mea 2005), 136-147. <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/33>
- Barrera-Cataño, J. I., & Valdés-López, C. (2007). Herramientas Para Abordar La Restauración Ecológica De Áreas Disturbadas En Colombia. *Universitas Scientiarum*.
- Cárdenas-Camacho, S., D., W., G.-A., E., R.-R. J., & López-Camacho, R. (2021). Análisis participativo de servicios ecosistémicos en un área protegida del bosque seco tropical (bs-T), Colombia. In C. Forestal (Ed.), *Colombia Forestal* (pp. 123-156). <https://doi.org/https://doi.org/10.14483/2256201x.16548>
- Castillo, A., Godínez, C., Schroeder, N., Galicia, C., Pujadas-Botey, A., & Martínez Hernández, L. (2009). El bosque tropical seco en riesgo: conflictos entre uso agropecuario, desarrollo turístico y provisión de servicios ecosistémicos en la costa de Jalisco, México. *Interciencia*, 34(12), 844-850. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442009001200004](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009001200004)
- Espinosa, J. (1999). Acidez y Encalado de los suelos. *International Plant Nutrition Institute*, 345. [http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/libros/Acidez\\_y\\_encalado\\_de\\_suelos\\_libro\\_por\\_J\\_Espinosa\\_y\\_E\\_Molina.pdf](http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/libros/Acidez_y_encalado_de_suelos_libro_por_J_Espinosa_y_E_Molina.pdf)
- González-Varo, J. P., L., F., J. M., Guitián, J., V. J., L.-B., & Suárez-Esteban A. (2015). *Frugivoría y dispersión de semillas por mamíferos carnívoros: rasgos funcionales*. 24(3), 43-50.
- Guerra-Martínez, F., García-Romero, A., Martínez-Morales, M. Á., & López-García, J. (2021). Resiliencia ecológica del bosque tropical seco: recuperación de su estructura,

- composición y diversidad en Tehuantepec, Oaxaca. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 92(0), 923422. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3422>
- McMurray, A., Casarim, F., Bernal, B., Pearson, T., & Sidman., G. (2017). Los servicios ecosistémicos de los bosques tropicales. *Ministerio de Medio Ambiente y Conservación de La Fauna de Alemania*, 1-25. <https://www.winrock.org/wp-content/uploads/2018/02/Marco-servicios-ecosistemicos-28122917.pdf>
- Meli, P. (2003). Restauración ecológica de bosques tropicales: veinte años de investigación académica. *Interciencia*, January 2003.
- Montoya Lerma, J., Chacón de Ulloa, P., & Manzano, R. (2006). Caracterización de nidos de la hormiga arriera *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Myrmicinae) en Cali (Colombia). *Revista Colombiana de Entomología*. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcen/v32n2/v32n2a08.pdf>
- Ollero Ojeda, A. (2014). Sobre el objeto y la viabilidad de la restauración ambiental. *Geographicalia*, 59-60, 267. [https://doi.org/10.26754/ojs\\_geoph/geoph.201159-60837](https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.201159-60837)
- Pérez, N. (2017). Desarrollo rural y movilización social en la zona rural de la Subcuenca del Río Pance (Cali, Colombia). *Revista CS*, 21, 69. <https://doi.org/10.18046/recs.i21.2273>
- Portillo-Quintero, C. A., & Sánchez-Azofeifa, G. A. (2010). Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. *Biological Conservation*, 143(1), 144-155. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.09.020>
- Prisco-Pastrana, J. A. (2009). *Bases ecológicas y biológicas para el manejo de la hormiga arriera (Atta spp.)*. <http://hdl.handle.net/20.500.12249/3550>
- Ríos, O. V. (2011). Restauración ecológica: Biodiversidad y conservación. *Acta Biologica Colombiana*, 16(2), 221-246.
- Rivera, E. (2018). *pH como factor de crecimiento en plantas pH as a growth factor in plants*. 4, 101-105.
- Rivera, J., & Pinheiro, S. (2011). *Cromatografía imagenes de la vida y de la destrucción del suelo* (pp. 1-252). <https://morralcampesino.files.wordpress.com/2016/03/cromatografia-restrepo-pinheiro.pdf>
- Sarria-Palacio, et al. (2021). Servicios ecosistémicos : conceptos , conflictos y políticas sobre pagos por servicios ambientales en el contexto de la región administrativa y de planificación RAP Pacífico. *Sello Editorial Javeriano*, 69-95. [https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/13651/Servicios ecosistémicos conceptos conflictos y políticas sobre pagos por servicios.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/13651/Servicios%20ecosistemicos%20conceptos%20conflictos%20y%20politicasy%20pagos%20por%20servicios.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- SER. (2004). Principios de SER International sobre la restauración ecológica. *Society for Ecological Restoration International*, 10. <https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/SE>

R\_Primer/ser-primer-spanish.pdf

- Shi, X., Zhou, F., & Wang, Z. (2021). Research on optimization of ecological service function and planning control of land resources planning based on ecological protection and restoration. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101904. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101904>
- Smith-Ramírez, C., & Armesto, J. J. (1998). Nectarivoría y polinización por aves en *Embothrium coccineum* (Proteaceae) en el bosque templado del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 71, 51-63.
- Torres-Rodríguez, S., Díaz-Triana, J. E., Villota, A., & Gómez, W. (2019). Diagnóstico ecológico , formulación e implementación de estrategias para la restauración de un bosque seco tropical interandino ( Huila , Colombia ). *Caldasia*, 41(1), 42-59. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v41n1.71275>. Recibido
- Valdez-Ramírez, C., Levy-Tacher, S. I., León-Martínez, N. S., Navarrete-Gutiérrez, D. A., & Ortiz-Ceballos, Á. I. (2020). Cambios químicos y biológicos del suelo provocados por *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn en áreas de influencia de la reserva de la biosfera de Calakmul, Campeche. *Revista Terra Latinoamericana*, 38(2), 289-300. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.464>
- Vargas, & Mora. (2009). La restauracion ecologica en su contexto. *Society for Ecological Restoration*.
- Vetter, J. (2009). A biological hazard of our age: Bracken fern [*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn]—A review. In *Acta Veterinaria Hungarica* (pp. 183-196.). <https://doi.org/https://doi.org/10.1556/avet.57.2009.1.18>
- Wunderle, J. M. (1997). The role of animal seed dispersal in accelerating native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management*, 99(1-2), 223–235. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00208-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00208-9)

# **1. Capítulo 1. Caracterización del área empleada para el establecimiento de la restauración Ecológica en un bosque seco tropical**

## **1.1 Introducción**

El proceso de restauración ecológica (RE) nace como una alternativa hacia la recuperación de ecosistemas afectados por factores naturales o antrópicos, generando beneficios ambientales y sociales, como la reducción de los gases de efecto invernadero (Álvarez, 2016). Por otro lado, el fortalecimiento de los servicios ecosistémicos (SE) contribuye a la recuperación de las condiciones del suelo, la fauna, el componente hídrico y la flora, de biomas intervenidos por acción antrópica, partiendo de un trabajo conjunto entre profesionales y las comunidades del área de influencia (Qiu et al., 2022).

Históricamente, dentro del área de restauración (cuenca del río Pance), la cual corresponde a un ecosistema de bosque seco tropical, se han evidenciado actividades de quemas e implementación de ganadería extensiva, como prácticas de expansión de la frontera agrícola, lo cual aumenta el peligro de degradación de este ecosistema amenazado a nivel mundial (Portillo-Quintero & Sánchez-Azofeifa, 2010). Debido a lo anterior, la restauración ecológica tiene como fin la recuperación del ecosistema, promoviendo la sucesión primaria, además de contemplar el potencial de regeneración del área afectada y los parámetros asociados a la misma, tales como los factores bióticos y abióticos (Vargas & Mora, 2009; Fajardo -Toro, 2013; Alvarado-Solano & Otero-Ospina, 2017).

Dentro de la caracterización del área a restaurar, en 2019 por parte del equipo integral de profesionales de la secretaría de infraestructura de la alcaldía de Santiago de Cali se realizó una identificación general de las condiciones del suelo para determinar la calidad del mismo y planificar el tratamiento más acorde a la adecuación del terreno, garantizando condiciones del suelo favorables (Guerra-Martínez et al., 2021), previo a la ejecución de la

siembra de los individuos forestales según lo planteado en la RE. De igual forma, es importante mencionar que en la zona evaluada, se evidenció la presencia y constante proliferación del Helecho Marranero (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn), lo cual genera una competitividad directa, y evita el crecimiento de nuevas especies forestales debido a la acidez que pueda presentar el suelo (Valdez-Ramírez et al., 2020). Asimismo, la presencia en algunos sectores de la hormiga arriera (*Atta cephalotes*) dificulta el establecimiento de las plántulas a sembrar en la RE (Jaramillo, 2011).

Así las cosas, se realizó un análisis y se recomendaron algunas especies forestales para implementar en la RE, las cuales contribuyeron favorablemente al fortalecimiento de los SE y a generar un valor agregado para el ecosistema, como por ejemplo, al buscar atraer fauna que contribuya con la propagación de semillas, entre otras dinámicas ecosistémicas asociadas (Howe & Miriti, 2004).

Por lo anteriormente mencionado el presente estudio tiene como objetivo comprender las condiciones del ecosistema afectado previo a la implementación de la RE, buscando así la toma de decisiones que permitan el fortalecimiento de SE enfocado en la flora y la fauna asociada, por medio de recomendaciones técnicas generadas a partir de los resultados obtenidos en campo.

## **1.2 Materiales y métodos**

### **1.2.1 Área de estudio**

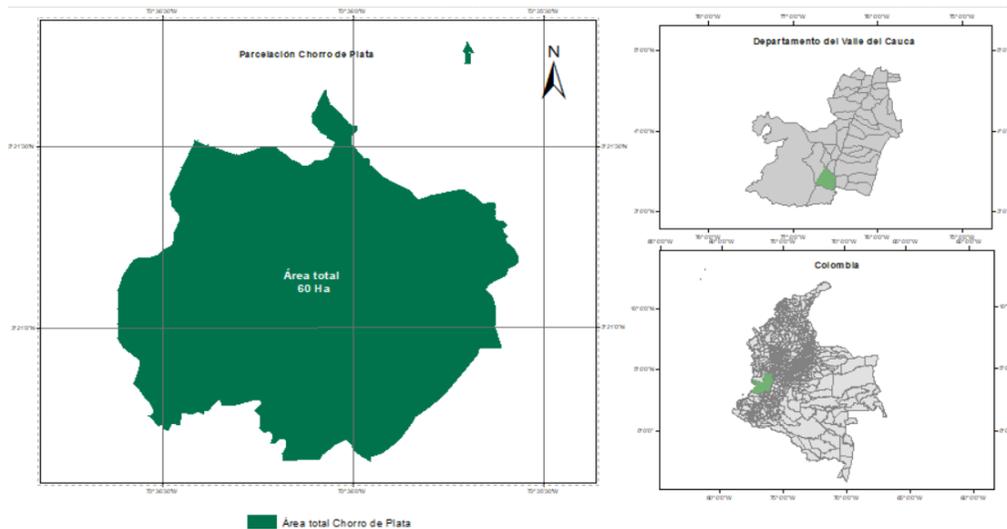
El presente estudio se llevó a cabo en El Distrito Regional de Manejo Integrado Pance, ubicado en el departamento del Valle del Cauca, sobre el flanco oriental de la cordillera Occidental, municipio de Santiago de Cali, en la cuenca media del río Pance, donde confluyen microcuencas de las quebradas la Candelaria, la Soledad y Chorro de Plata, entre otros afluentes hídricos (Cárdenas, 2023). Dentro del DRMI Pance, es posible encontrar predios administrados por la Parcelación Chorro de Plata, los cuales han sido objeto de la preservación y protección de los recursos naturales. El área de estudio se ubica en las coordenadas 3°20'35.5"N; 76°36'12.9"W, dentro de los predios de la parcelación Chorro de Plata, el cual comprende un área total conservada de 60 hectáreas (Figura 1-1). Comprende un bosque seco tropical, donde es posible encontrar coberturas

secundarias o en transición, zonas de protección de nacimientos de quebradas, zonas con pendientes mayores al 70% con coberturas de pastos, herbazales y helechales (Acuerdo CDNo. 004 de 2018 CVC, 2018).

El área presenta condiciones geomorfológicas difíciles, refiriéndose específicamente al relieve, está dominado por espinazos escarpados, con pendientes entre 12 -75%, hacia la cordillera central, las laderas son irregulares, largas, ligeras, moderadamente disectadas, mientras al sur de la cordillera occidental, las laderas son irregulares y de diversas longitudes (Sayago, 1982).

Así mismo, a pesar de contar con una fuente hídrica superficial como lo es la Quebrada Chorro de Plata, debido a las condiciones del terreno se presentaron dificultades en cuanto al transporte del agua para los riegos a los individuos forestales establecidos en la RE (Guerra-Martínez et al., 2021). Es por esto que, resultó importante garantizar el sustento hídrico, sumado a la dinámica del ciclo hidrológico que se presenta en el sector (Cárdenas-Camacho et al., 2021).

Figura 1-1. Zona de estudio parcelación Chorro de Plata, Cali



Fuente: Elaboración propia, 2024

La Figura 1-1, representa el área forestal de la parcelación Chorro de Plata. Esta resulta un área que, debido a la dinámica del ciclo hidrológico, se beneficia de los cuerpos de agua

con los que cuenta para la recarga hídrica, presentando también precipitaciones con probabilidades del 5, 11, 18, 28, 60 Y 96%, equivalentes a períodos de retorno de 22, 12, 7, 5, 3, Y 1 año en invierno (Acuerdo CDNo. 004 de 2018 CVC, 2018). Por otra parte, en verano se presentan periodos de sequía en donde la disponibilidad del recurso hídrico resulta fundamental para la subsistencia de las comunidades y el ecosistema de bosque seco tropical de la cuenca del río Pance cerca de la parcelación Chorro de Plata (Abouhamad et al., 2017).

## **1.2.2 Fase de campo**

### **1.2.2.1. Caracterización fisicoquímica del suelo del área de estudio**

Para conocer el estado general del suelo en el área de estudio, se llevó a cabo la toma de 120 muestras de suelo distribuidas en diferentes puntos de las 60 hectáreas, a una profundidad de 2 metros, obtenidas en verano o época seca del año (febrero – marzo) con el fin de determinar los rangos en los que se encuentran las concentraciones de compuestos químicos (J. Rivera & Pinheiro, 2011), buscando así conocer los parámetros sobre los cuales se tuvo en cuenta la selección de los sitios de siembra y el tratamiento que se debía realizar para la adaptación de las plántulas.

Para el análisis de las muestras de suelo obtenidas en febrero de 2019, se definieron rangos de parámetros químicos como pH, porcentaje de materia orgánica (MO), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Aluminio (Al), Fósforo (P), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Manganeseo (Mn), Boro (B), Azufre (S) y Capacidad de intercambio catiónico (CIC), así como también la textura y el porcentaje de arena, arcilla, limo por medio del método de Bouyoucos (Norambuena V et al., 2002).

Las muestras se enviaron al Laboratorio de análisis químico de suelos de la Universidad del Quindío en marzo de 2019 para su tratamiento, sometiendo las muestras por 48 horas a una temperatura de 60°C (muestra seca) (Andrades et al., 2015), por lo cual se obtuvieron los siguientes resultados en rangos a nivel general (Tabla 1-1,Tabla 1-2):

Tabla 1-1. Análisis de laboratorio de las características químicas del suelo del área de estudio

RANGOS ESTIMADOS EN LAS MUESTRAS DE SUELO	Características químicas															
	pH	%		meq/100 g suelo					Partes por millón						meq/100 g suelo	
		%N	%MO	K	Ca	Mg	Na	Al	P	Fe	Cu	Zn	Mn	B		S
4,9 - 5,5	1,2 - 2,48	7,7 - 13,2	0,1 - 0,5	0,3 - 2,8	0,1 - 0,8	0,01 - 0,02	2,0-2,6	2,0 - 3,0	100 - 240	1,0 - 5,0	1,0 - 9,0	2,0 - 12	0,18 - 0,35	5,0 - 13	20 - 24	
PROMEDIO	5,2	1,84	10,45	0,3	1,55	0,45	0,015	2,3	2,5	170	3	5	7	0,265	9	22

Tabla 1-2. Análisis de laboratorio de las características físicas del suelo del área de estudio

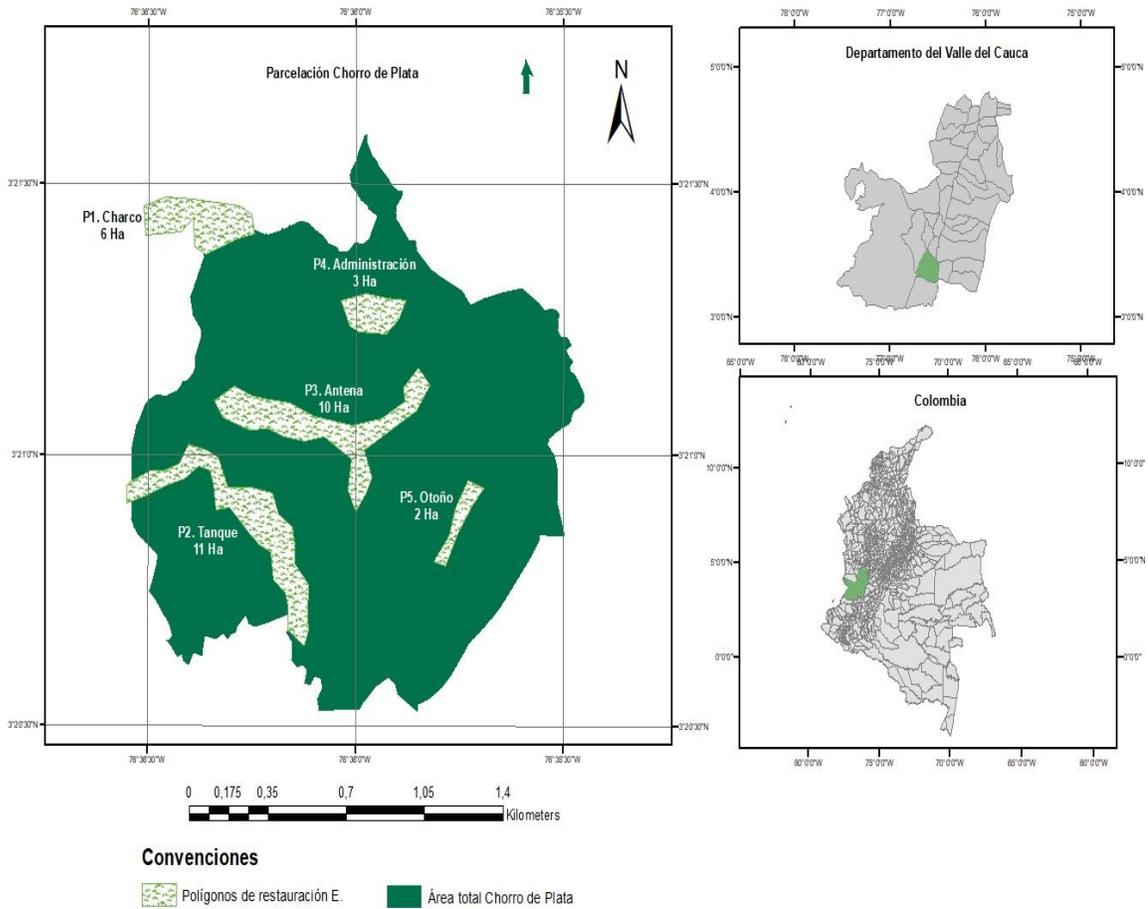
RANGOS ESTIMADOS EN LAS MUESTRAS DE SUELO	Características físicas			
	Textura por Bouyoucos			
	%Arena	%Arcilla	%Limo	Textura
52 - 81	10,5 - 37	12 - 24	Franco Arcilloso - Franco Arenoso	
PROMEDIO	66,5	23,75	18	

### 1.2.2.2. Criterios de selección de áreas a restaurar

Para seleccionar las áreas susceptibles de restauración, se tuvieron en cuenta diferentes criterios, tales como: pendiente del terreno, calidad de suelo, presencia de Helecho Marranero (*Pteridium aquilinum (L.) Kuhn*), la presencia de nidos de Hormiga Arriera (*Atta cephalotes*), factores que pudiesen afectar el desarrollo de las actividades de restauración, así como también, presencia de factores que pudiesen favorecer la RE, como presencia de especies de fauna beneficiosas para el ecosistema, disponibilidad de recurso hídrico, entre otros.

Se seleccionaron cinco (5) sitios, donde las condiciones de pendiente del terreno (40-60%), favorecieron el acceso y resultaron ser más aptas teniendo en cuenta el traslape de las demás condiciones consideradas. Estas zonas se denominaron, Administración, Tanque, Otoño, Antena y Charco Azul (Figura 1-2), las cuales abarcan un total de 32 hectáreas, en donde se realizaron jornadas de muestreo durante los meses de enero y marzo del año 2019, por parte de un grupo integral de profesionales en biología, ciencias ambientales y forestales, entre otros. Esto se llevó a cabo teniendo en cuenta las condiciones del área de estudio, enfocado hacia la caracterización y recolección de flora y fauna asociada, priorizando servicios ecosistémicos presentes, dentro de las dinámicas del bosque seco tropical.

Figura 1-2. Áreas seleccionadas para el proceso de Restauración ecológica



Fuente: Elaboración propia, 2024

Se llevó a cabo la distribución de las áreas para los polígonos de siembra (ver Tabla 1-3)

Tabla 1-3. Distribución de áreas (Ha) contempladas para cada polígono de siembra

Polígono No.	SITIOS DE SIEMBRA	ÁREA CONTEMPLADA (Ha)
1	CHARCO	6
2	TANQUE	11
3	ANTENA	10
4	ADMINISTRACIÓN	3
5	OTOÑO	2
<b>TOTAL</b>		<b>32</b>

### 1.2.2.3. Caracterización de Fauna

En el mes de febrero de 2019, se llevó a cabo un monitoreo de fauna, contemplando las aves, las cuales se identificaron a partir de la guía de aves de Colombia (Hilty & Brown, 1986), por medio de monitoreos diarios en las mañanas y al atardecer, en lapsos de 3 a 10 minutos, durante dos semanas con el fin de evaluar la presencia y dinámicas de desplazamiento como de alimentación asociadas a las aves del sector (Bibby et al., 1992).

El estudio se realizó durante quince (15) días en febrero de 2019, por medio de recorridos por transectos establecidos en diferentes coberturas vegetales (Ralph, 1996), por vías de fácil acceso y de tal forma que no se impacte la actividad normal de la avifauna (González-García, 2011). Este método es importante para áreas muy diversas, donde se encuentran especies de plantas con tasas de visita muy bajas y no es factible usar observaciones focales en plantas. Con estas observaciones puntuales se pueden abarcar más plantas y aves en el muestreo, para esto se utilizaron binoculares Nikon (10x42) y una cámara digital marca Canon (SX60Hs).

De igual forma, se monitorearon los mamíferos dentro del área de estudio, por medio de asociación de rastros, marcas o huellas representativas a algunas especies del ecosistema de estudio, contando así con avistamientos que permitan el análisis de la relación frente a las especies forestales que pueden contribuir a la dieta de la fauna (González-Varo et al., 2015). Además, se realizaron entrevistas a los pobladores mayores de 18 años mostrando fotografías de los mamíferos silvestres probables para la zona de estudio de manera que se facilitase el reconocimiento de especies presentes por parte de los entrevistados. Con las entrevistas se complementó la información sobre presencia de especies, que no fueron observadas mediante las técnicas de observación directa o indirecta.

Así mismo, las especies con alguna categoría de amenaza se determinaron con el Libro Rojo de las Aves de Colombia para los Andes (Renjifo et al., 2014), además se comparó con las listas rojas de la Unión Internacional para la conservación de la Naturaleza (IUCN), la resolución 192 de 2014 y la resolución 1912 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia del Ministerio de Medio Ambiente (MADS), de igual forma la convención sobre comercio internacional de especies amenazadas de fauna y

flora silvestres (CITES, 2021), sustentada en la ley 017 de 1981 por la cual fue aprobada la convención internacional (CITES).

#### **1.2.2.4. Caracterización de Flora**

Simultaneo a la caracterización de fauna llevada a cabo en febrero de 2019, se realizó una caracterización florística del ecosistema en los cinco polígonos de siembra seleccionados, en donde se determinaron las especies forestales presentes, incluyendo el Helecho marranero (*Pteridium aquilinum (L.) Kuhn*). Para la caracterización forestal, se contempló un promedio de 10 individuos arbóreos alrededor de la copa de árboles dominantes, con DAP menores a 10 cm y alturas promedio entre 1 y 3 metros. Por lo tanto, se establecieron 42 parcelas (incluyendo subparcelas y microparcels) demostrativas para llevar a cabo la caracterización de la flora (A. Rodríguez et al., 2009).

##### **➤ Parcelas de Fustal**

Con el fin de caracterizar florísticamente, buscando medir la abundancia de especies en las coberturas vegetales referente a los fustales, se localizaron 6 parcelas temporales o unidades de muestreo con forma rectangular, (20m x 50m) en las cuales se facilitó la observación de variables y análisis estadísticos de las mismas, dentro de los polígonos establecidos (ver Tabla 1-5).

##### **➤ Parcelas de Latizal**

Con el fin de medir la abundancia de especies de latizales, se trazó un eje central a lo largo de tres (3) parcelas, de 20m x 50 m.; a partir de este eje se establecieron subparcelas de 12,5 m. x 2 m. de manera sistemática alternadas al lado izquierdo y derecho de dicho eje; para un total de 4 subparcelas de 25 m<sup>2</sup> c/u en cada parcela, dando una intensidad del 10% con relación a la parcela. Esto daría un total de 12 subparcelas demostrativas.

##### **➤ Parcelas de Brinzal**

En cada subparcela (4 por cada parcela) del Latizal se instalaron 2 micro parcelas de 2,5 m. x 2 m. distanciadas a 2,5 m. para un total de 2 micro parcelas por subparcelas y 8 por parcela, para una intensidad de 4%. Es decir, un total de 24 parcelas monitoreadas para los brinzales tal como se evidencia en la Tabla 1-4.. Lo anterior, buscando medir la abundancia de especies de brinzales presentes.

Tabla 1-4. Parcelas demostrativas para determinación de especies forestales en el área de estudio

Cobertura	No. de parcelas	No. de parcelas Latizal	No. de parcelas Brinzal
Bosque Natural	3	12	24
Vegetación secundaria	3	0	0
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>24</b>

Tabla 1-5. Localización de las parcelas demostrativas para la determinación de especies forestales en el área de estudio

PARCELA Nº	COORDENADA INICIAL		COORDENADA FINAL	
	N	W	N	W
1	03°21'15,3"	76°36'14,9"	03°21'15,6"	76°36'13,2"
2	03°21'15,3"	76°36'15,5"	03°21'14,4"	76°36'14,5"
3	03°21'19,8"	76°36'15,8"	03°21'18,2"	76°36'16,1"
4	03°20'46,0"	76°35'50,7"	03°20'47,4"	76°35'51,0"
5	03°20'47,5"	76°35'49,9"	03°20'49,1"	76°35'49,4"
6	03°21'00,6"	76°35'49,4"	03°21'00,0"	76°35'50,5"

El relicto boscoso (bosque de referencia) ubicado en la zona forestal de la parcelación Chorro de Plata, cerca al corregimiento de La Vorágine (Cali – Valle del Cauca), fue seleccionado debido a las especies forestales inmersas dentro del bosque seco tropical, además de que parte de estas áreas serían empleadas para llevar a cabo el proceso de restauración ecológica. Este bosque de referencia presenta una estructura con una cantidad considerable de especies en los primeros estados sucesionales (latizales y brinzales), en una densidad estimada promedio de 10 individuos arbóreos alrededor de la copa de árboles dominantes, con DAP menores a 10 cm y alturas promedio entre 1 y 3 metros (Figura 1-3).

Figura 1-3. Identificación de individuos forestales presentes en el área de estudio



#### **1.2.2.5. Caracterización de servicios ecosistémicos presentes en el área de estudio.**

La caracterización del ecosistema permite plantear una restauración que busque revitalizar los SE que proporciona el bosque seco tropical, servicios que son la esencia misma de su valor para la biodiversidad y para la sociedad. Estos servicios, manifestaciones tangibles de las interacciones entre componentes bióticos, abióticos y factores socioeconómicos, no solo son cruciales para la salud del ecosistema, sino también para la supervivencia y bienestar humanos.

En concordancia, se observaron los SE presentes en el área de estudio, teniendo en cuenta la flora y la fauna que interactuaban en el área, partiendo también de los resultados obtenidos en las demás actividades de caracterización contempladas. Estos datos permiten la toma de decisiones acertadas en el planteamiento de la RE, en cuanto al fortalecimiento de los SE a futuro. Se evaluaron los servicios ecosistémicos a partir de los análisis de flora y fauna encontrados en bosque de referencia, así como las condiciones adversas encontradas frente a las condiciones de competencia con el helecho marranero, entre otras dinámicas ecosistémicas presentes, debido que el helecho abarca un 80% del área forestal de la parcelación Chorro de plata, lo que impide la sucesión de especies forestales y muestra una ausencia de coberturas de bosque con carente presencia de una diversidad de especies vegetales. Dentro de los servicios ecosistémicos evaluados se priorizaron cuatro (4) principales, de soporte, regulación, aprovisionamiento y culturales,

enfocados a las dinámicas de flora y fauna presentes previo al establecimiento de la RE (Balvanera, 2012).

### 1.2.3 Análisis de datos

Para el análisis de la información de las especies vegetales, se calculó el índice de distribución (ID) determinado en función del número de individuos y su frecuencia (Bolfor & Fredericksen, 2000)

Se empleó el índice de Shannon-Wiener, el cual relaciona el número de especies forestales y la abundancia relativa con el fin de demostrar la heterogeneidad de una comunidad (Shannon, 1948). Las abundancias de las especies vegetales del área de estudio se basaron en este índice que da un valor de incertidumbre respecto a un individuo elegido de manera aleatoria de una muestra con todas las especies conocidas, ver Ecuación 1.

$$H' = \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \quad (1)$$

Donde:

S – número de especies (riqueza de especies)

$P_i$  – Abundancia relativa de la especie  $i$

$n_i$  – Número de individuos de la especie  $i$

Así mismo, se utilizó el índice de Simpson para hallar dominancia, el cual se estima a partir de la importancia de las especies más dominantes, buscando determinar la probabilidad de que un individuo seleccionado de manera aleatoria pueda ser de esta misma especie (Simpson, 1949) (Ver Ecuación 2).

$$D = \sum 1/(S * P_i^2) \quad (2)$$

Donde,  $P_i$  = abundancia proporcional a la especie  $i$

S = Riqueza específica

## 1.3 Resultados

### 1.3.1 Condiciones Físicoquímicas del suelo en el área de estudio

En cuanto al componente físico, se evidenció una mayor constitución del área de estudio por rocas ígneas y sedimentarias; las sedimentarias son clásticas de granulometría variable. Los suelos presentan un color naranja de composición arcillosa, lo que indica niveles altos de hierro (Fe), así como suelos ricos en nutrientes y materia orgánica.

Así mismo, los análisis químicos indican que los suelos presentes en las áreas de siembra se componen principalmente por suelos con pH ácidos según la escala de acidez o alcalinidad, además de concentraciones de aluminio (Ver Tabla 1-1).

Por otra parte, estos suelos presentan una concentración favorable de materia orgánica, lo que puede favorecer el desarrollo de las plántulas a futuro, una vez se establezca la RE, además de contar con rangos en los que es posible sembrar los individuos forestales una vez se adecúen las condiciones del suelo.

### 1.3.2 Presencia del Helecho Marranero (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) y organismos competitivos en el área de estudio

Tal como se ha mencionado, el área de estudio presenta una abundante cobertura por parte del Helecho marranero (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) con presencia en un 80% del área boscosa de la Parcelación Chorro de Plata (ver Figura 1-4).

Figura 1-4. Presencia del Helecho Marranero (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) en el área de estudio



De igual forma, tal como el helecho marranero (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) presenta una amenaza constante para el desarrollo de las plántulas a implementar en la restauración ecológica, existe otro organismo evidenciado, que puede deteriorar los individuos forestales y es la Hormiga arriera (*Atta cephalotes*) (ver Figura 1-5). Se encontraron un promedio de 15 nidos de hormigas por cada uno de los cinco (5) polígonos designados para la RE.

Figura 1-5. Presencia de nidos (hormigueros) de la Hormiga Arriera (*Atta Cephalotes*) en el área de estudio



### 1.3.3 Monitoreo de la flora en el área de estudio

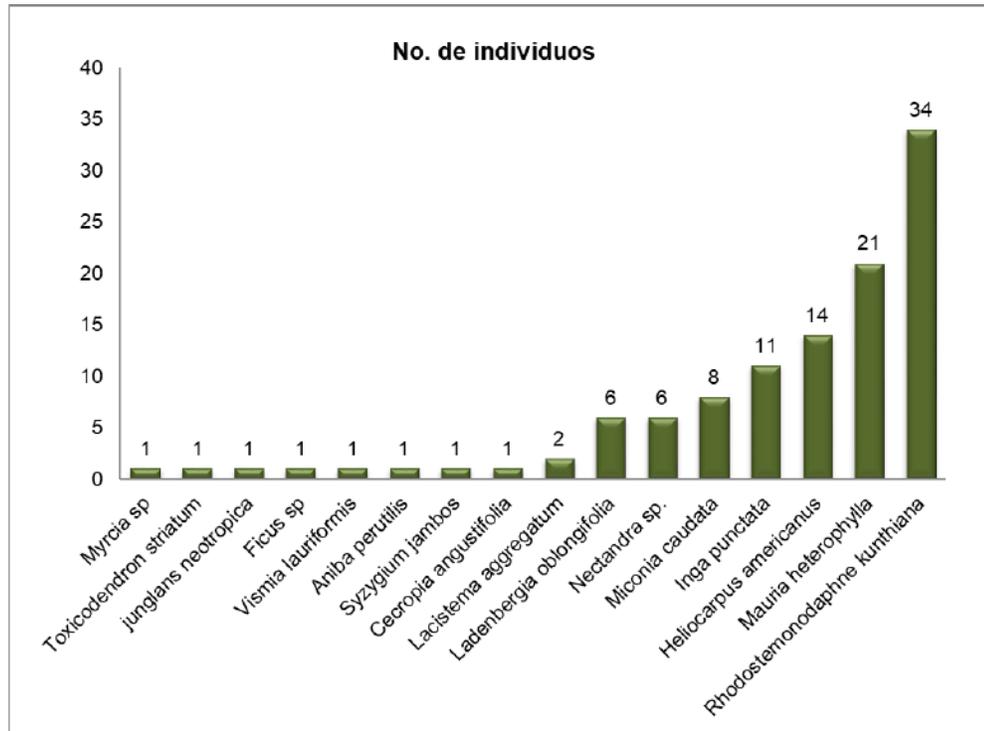
En la zona inventariada, se reportan 12 familias dentro de las cuales la más abundante es la Lauraceae con tres especies, siendo el Jigua negro, (*Rhodostemonodaphne kunthiana*) la más abundante con 34 individuos. Seguido la familia Anacardiaceae y Myrtaceae con 2 especies cada una, donde las más abundantes respectivamente son el Caspe blanco, (*Mauria heterophylla*) con 21 individuos, y Palo bobo (*Heliocarpus americanus*) con 14 árboles. Es importante resaltar que 9 familias solo están representadas cada una con una sola especie, indicativo de la baja diversidad florística de la cobertura según el análisis comparativo realizado a las parcelas demostrativas.

Según la Tabla 1-6, se reportan 16 especies con un total de 110 individuos en la zona inventariada. A continuación, en la Figura 1-6 se relacionan las especies con sus respectivas Abundancias absolutas.

Tabla 1-6. Composición florística del área de estudio

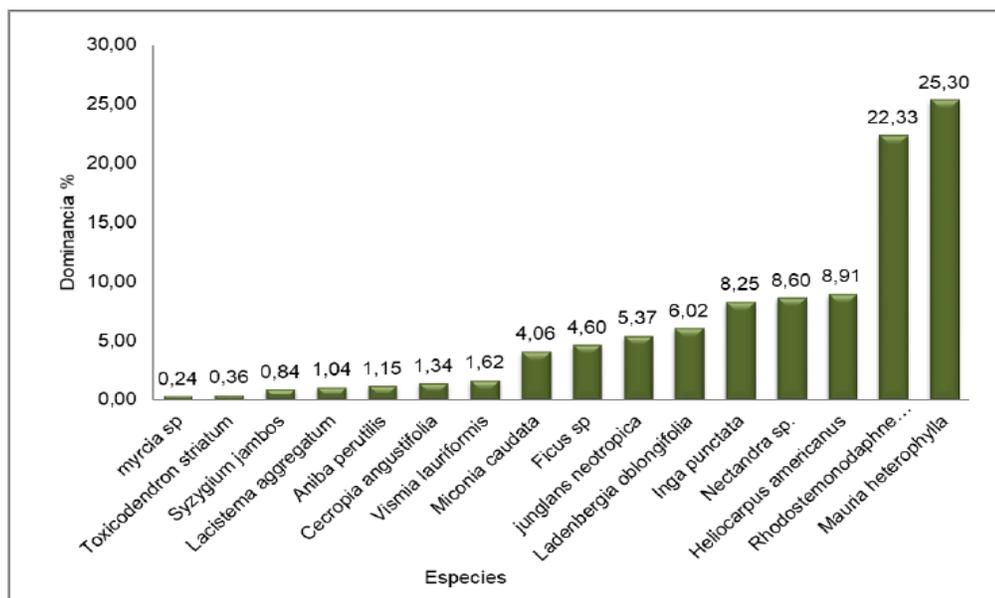
No.	Familia	Especie	Abundancia	Nombre Común	Nombre Científico
1	ANACARDIACEAE	2	21	Caspe blanco	<i>Mauria heterophylla</i>
			1	Caspe rojo	<i>Toxicodendron striatum</i>
2	HYPERICACEAE	1	1	Lacre	<i>Vismia lauriformis</i>
3	JUGLANDACEAE	1	1	Cedro negro	<i>juglans neotropica</i>
4	LACISTEMATAACEAE	1	2	Cafetillo	<i>Lacistema aggregatum</i>
5	LAURACEAE	3	34	Jigua negro	<i>Rhodostemonodaphne kunthiana</i>
			6	Jigua blanco	<i>Nectandra sp.</i>
			1	Laurel comino	<i>Aniba perutilis</i>
6	LEGUMINOSAE	1	11	Guamo churimo	<i>Inga punctata</i>
7	MALVACEAE	1	14	Palo bobo	<i>Heliocarpus americanus</i>
8	MELASTOMATAACEAE	1	8	Niguito	<i>Miconia caudata</i>
9	MORACEAE	1	1	Ficus sp	<i>Ficus sp</i>
10	MYRTACEAE	2	1	Arrayan	<i>Myrcia sp</i>
			1	Pomorroso	<i>Syzygium jambos</i>
11	RUBIACEAE	1	6	Cascarillo	<i>Ladenbergia oblongifolia</i>
12	URTICACEAE	1	1	Yarumo	<i>Cecropia angustifolia</i>
		16	110		

Figura 1-6. Distribución de la abundancia en el bosque seco tropical



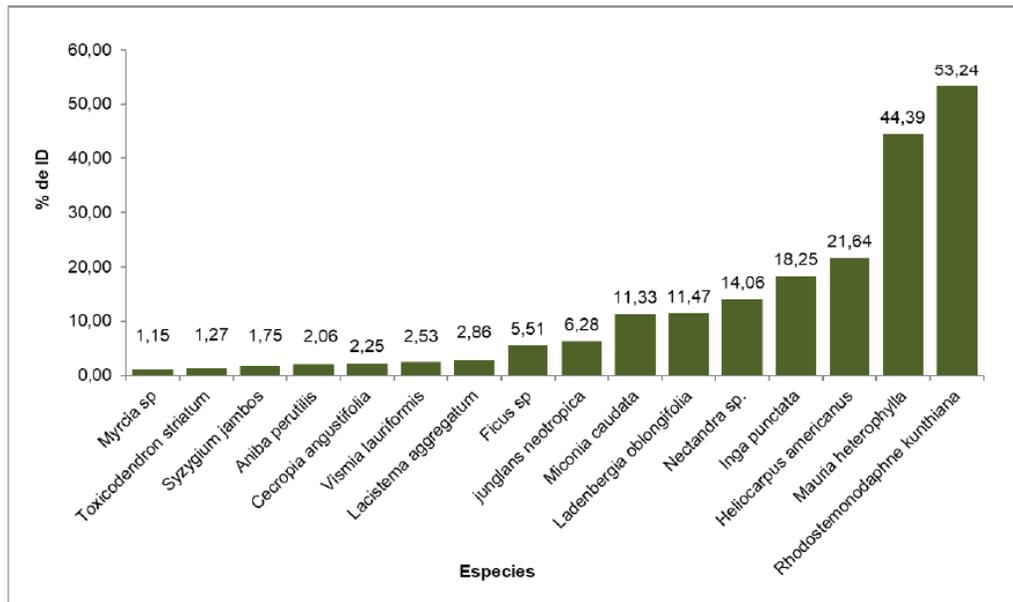
En cuanto a los valores de dominancia, aquellos que son mayores se deben a la abundancia de individuos de la especie, Caspe rojo (*Mauria heterophylla.*) con 25,30%, Jigua negro con 22,33%, y el Palo bobo con 8.91% (Figura 1-7).

Figura 1-7. Porcentaje de distribución de la dominancia en el área de estudio



En la , se muestra a cada una de las especies con su respectivo índice de distribución. En la zona de estudio, la especie con mayor ID es el Jigua negro, con 53.24%, y el Caspe blanco, con 44.3%.

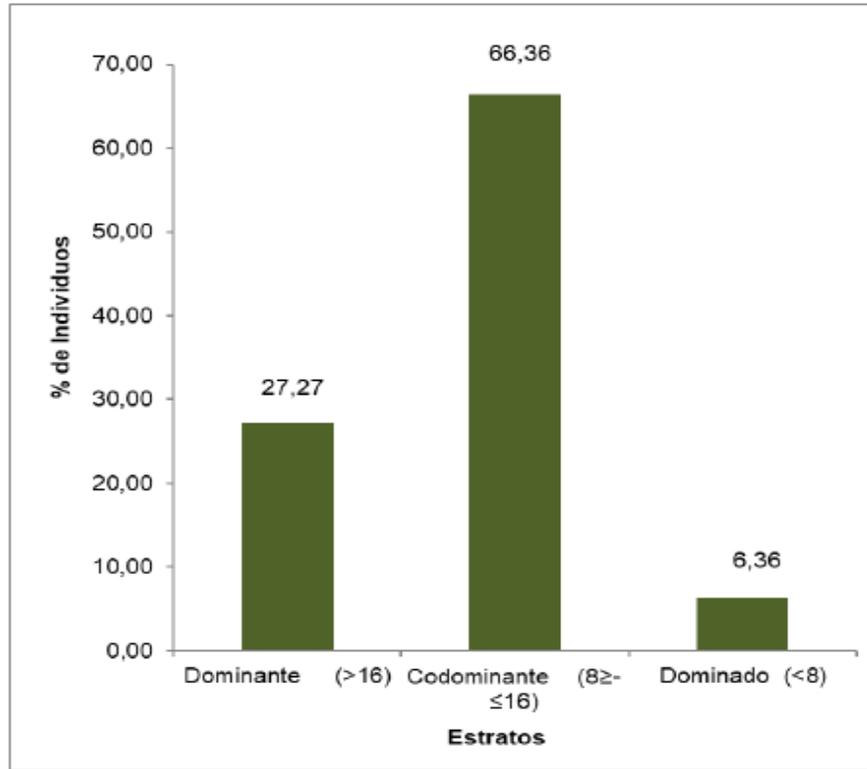
Figura 1-8. Índice de distribución (ID) en el bosque seco tropical



En el área de estudio se encontró poca regeneración natural, debido a que tiene áreas de intervención antrópica, lo cual no permite la emergencia de las semillas arrojadas o dispersadas por el viento o animales.

Por otra parte, según los resultados del inventario, se observa que los individuos registrados presentan una distribución altimétrica irregular en la cobertura. La mayoría de los especímenes representado por el 66.36% del total, se encuentran en un estrato codominante, con árboles que presentan alturas mayores o iguales a 8 metros y menores o iguales a 16 metros. Siendo individuos, que, de acuerdo con su altura, se encuentran en un estado maduro. Por su lado, el 27.27% se encuentra en un estrato dominante, con individuos maduros o sobre maduros, los cuales presentan alturas mayores a 16 metros, tal como se presenta en la Figura 1-9.

Figura 1-9. Porcentaje (%) de distribución de individuos por clase altimétrica en el área de estudio



Dentro del área de estudio se encontró una especie forestal clasificada en la categoría de “En Peligro” según UICN (Tabla 1-7).

Tabla 1-7. Especies forestales amenazadas en el área de estudio<sup>1</sup>

Nombre común	Nombre científico	Individuos	Grado de amenaza	
			UICN	Res. 0192
Cedro Nogal	<i>Juglans neotropica</i>	1	*EN	*EN

<sup>1</sup> \* UICN: Categoría de amenaza según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. EN: En peligro: enfrenta un alto riesgo de extinción o deterioro poblacional, en estado silvestre en un futuro cercano (UICN, 2023).

\*Res. 192 de 2014: Resolución 192 del 10 de febrero de 2014 emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana que se encuentran en el territorio nacional).

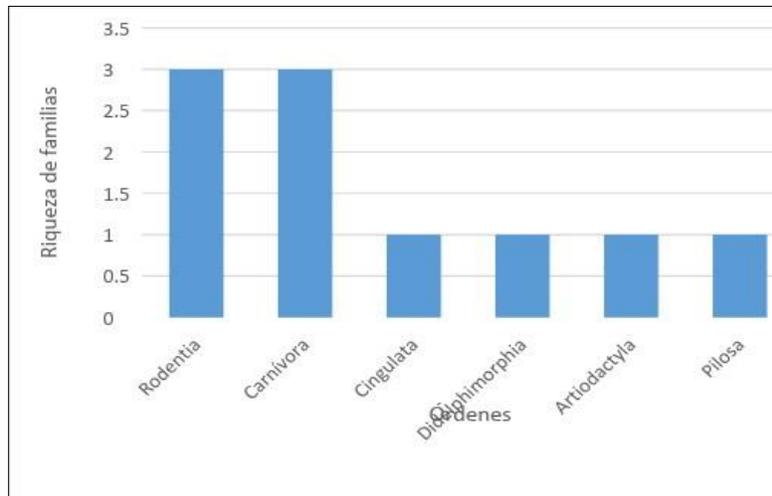
### 1.3.4 Monitoreo de Fauna en el área de estudio

Una vez se realizaron los recorridos en el área de estudio, se buscó obtener información de la fauna presente en el ecosistema, por lo que se llevó a cabo un monitoreo tanto de mastofauna como de avifauna obteniendo los siguientes resultados:

#### ➤ Mastofauna

En la zona de muestreo se registraron un total de 11 especies, representadas en 11 familias y 6 órdenes (Figura 1-10). Los órdenes que tuvieron una mayor representatividad en cuanto a familias fueron Rodentia con 3 familias (Dasyproctidae, Sciuridae y Cuniculidae) y Carnívora con 3 familias (Canidae, Mustelidae y Felidae).

Figura 1-10. Representatividad de órdenes y familias de mamíferos silvestres reportados en la zona de compensación Chorro de Plata, Pance.



Las especies registradas mediante la metodología de observación directa fueron Zorro perruno (*Cerdocyon thous*) y Ardilla común (*Sciurus granatensis*) (ver Figura 1-11).

Figura 1-11. Ardilla común (*Sciurus granatensis*) avistada



Mediante la metodología de búsqueda de rastros se encontraron hozaderos de Armadillo (*Dasyus novemcinctus*), además de frutos parcialmente consumidos, como también un cadáver de Zarigüeya (*Didelphis sp*) (ver Figura 1-12).

Figura 1-12. Fruto de *Siparuna laurifolia* parcialmente consumido posiblemente por *Dasyus novemcinctus*



Se revisó la página de la IUCN, determinando que de las ocho especies de mamíferos terrestres que se encontró evidencia y que fueron mencionadas durante las entrevistas a

la comunidad en la zona de estudio, seis se encuentran en Preocupación menor (LC) y una especie (*Leopardus cf. Tigrinus*) se encuentra en la categoría de amenaza Vulnerable (VU) y además se encuentra en el apéndice I según las listas CITES, es decir, requiere protección frente a actividades de comercio ilegal para evitar poner en peligro mayor la supervivencia de esta especie (CITES, 2021) (ver Tabla 1-8).

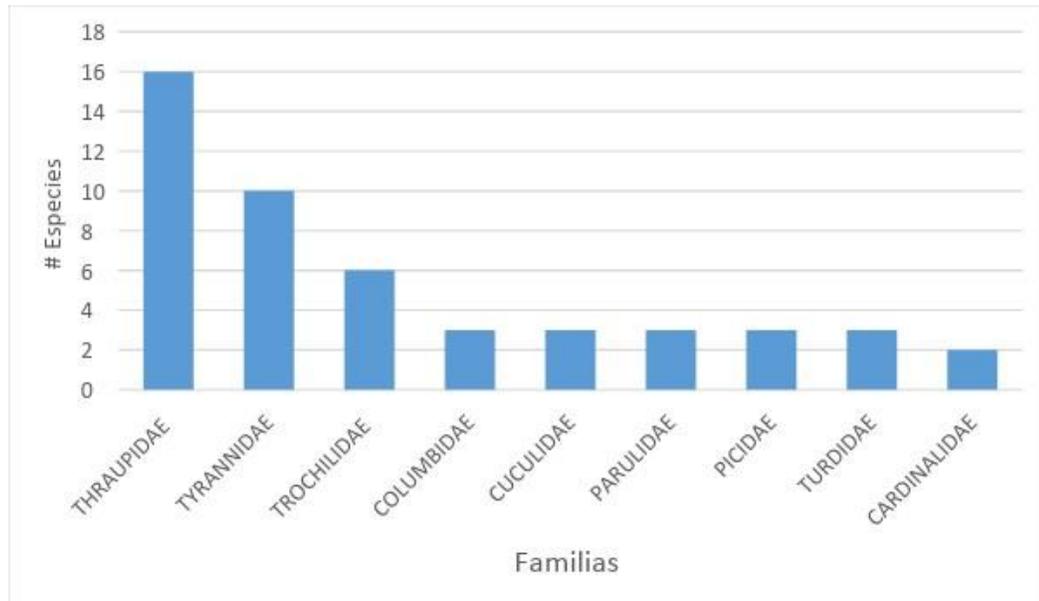
Tabla 1-8. Representatividad de órdenes y familias de mamíferos silvestres reportados en la zona de restauración en Chorro de Plata, Pance

TAXONOMÍA				CONSERVACIÓN		
Orden	Familia	Nombre científico	Nombre común	IUCN	MADS	CITES
Didelphimorphia	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Chucha común	LC	NA	NA
Cingulata	Dasypodidae	<i>Dasyopus novemcinctus</i>	Armadillo común	LC	NA	NA
Pilosa	Megalonychidae	<i>Choloepus hoffmanni</i>	Perezoso de dos dedos	LC	NA	NA
Rodentia	Sciuridae	<i>Sciurus granatensis</i>	Ardilla común	LC	NA	NA
Rodentia	Cuniculidae	<i>Cuniculus paca</i>	Guagua	LC	NA	NA
Carnívora	Mustelidae	<i>Eira barbara</i>	Taira	LC	NA	NA
Carnívora	Felidae	<i>Leopardus cf. Tigrinus</i>	Tigrillo	VU	VU	I

### ➤ Avifauna

De acuerdo con la dieta de cada especie se tomaron datos sobre su alimentación para realizar un análisis de especies forestales asociadas (Renjifo, 1999). Se observaron durante 20 horas, donde se obtuvo un total de 180 individuos avistados pertenecientes a 55 especies de aves y agrupadas en 20 familias, de estas, las que presentaron el mayor número de especies fueron Thraupide con 17 especies, Tyrannidae con 10 y Trochilidae con seis, tal como se muestra en la Figura 1-13.

Figura 1-13. Familias de aves más representativas dentro del área de estudio



#### A) Especies de interés para la conservación: Libro Rojo, MDAS y CITES

Entre las especies registradas, seis presentan algún interés para la conservación, ya que se encuentran en alguna categoría de amenaza, presentan un grado de endemismo o por su carácter migratorio (Tabla 1-9).

Tabla 1-9. Especies con algún interés para la conservación registradas en el área de compensación Chorro de Plata. Vu: Vulnerable; En: Endémica; C-end: Casi Endémico; Mb: Migratorio Boreal, (CITES, 2021)

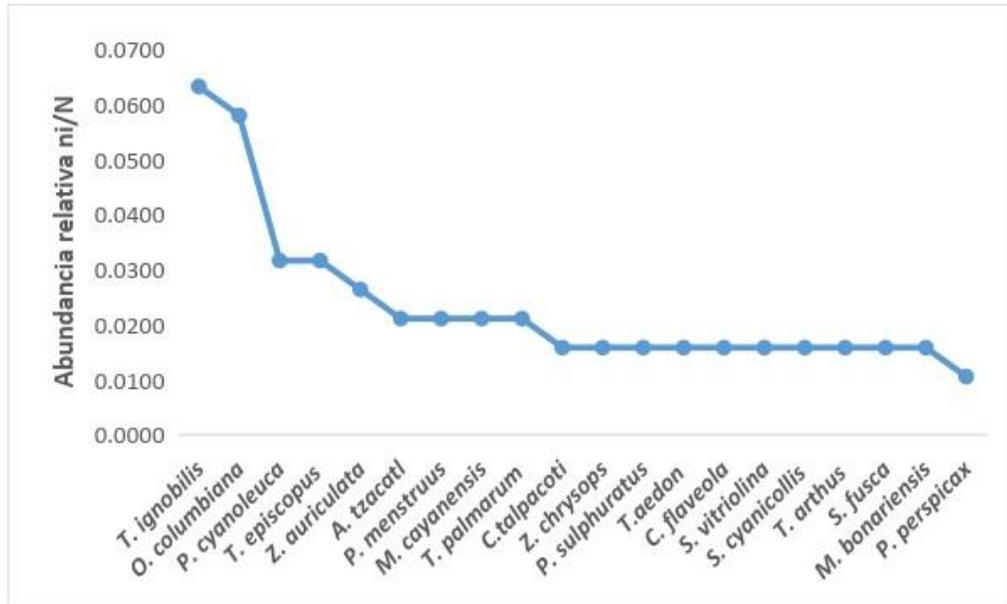
Familia	Especie	Nombre Común	Estatus
CRACIDAE	<i>Ortalis columbiana</i>	Chachalaca colombiana	En
CRACIDAE	<i>Penelope perspicax</i>	Pava caucana	En, Vu
THAMNOPHILIDAE	<i>Thamnophilus multistriatus</i>	Batará carcajada	C -end
THRAUPIDAE	<i>Stilpnia vitriolina</i>	Tangara rastrojera	C -end
CARDINALIDAE	<i>Habia cristata</i>	Habia copetona	En
PARULIDAE	<i>Setophaga fusca</i>	Reinita gorguinaranja	Mb

Familia	Especie	Nombre Común	Estatus
TROCHILIDAE	<i>Florisuga mellivora</i>	Colibrí collarejo	CITES
TROCHILIDAE	<i>Phaethornis guy</i>	Hermitaño verde	CITES
TROCHILIDAE	<i>Anthracothorax nigricollis</i>	Mango pechinegro	CITES
TROCHILIDAE	<i>Chlorostilbon</i>	Esmeralda coliazul	CITES
TROCHILIDAE	<i>Amazilia tzacatl</i>	Amazilia colirufo	CITES
TROCHILIDAE	<i>Amazilia saucerottei</i>	Amazilia coliazul	CITES
PSITTACIDAE	<i>Pionus menstruus</i>	Lora cabeciazul	CITES

Especies como la Pava Caucana (*Penelope perspicax*), la cual se encuentra catalogada como vulnerable y endémica, también es considerada a nivel global como En Peligro (EN) según los criterios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN).

Se determinaron cuatro especies como abundantes, ya que fueron frecuentemente registradas (ver Figura 1-14). De todas estas, la Mirla pantanera (*Turdus ignobilis*) fue la especie más registrada, seguida de la Chachalaca colombiana (*Ortalis columbiana*), la Golondrina azul y blanca (*Pygochelidon cyanoleuca*) y el Azulejo común (*Thraupis episcopus*); dentro de estas especies abundantes resalta la presencia de la Reinita Gorginaranja (*Setophaga fusca*), especies considerada como migratoria boreal, la cual busca su alimento en zonas templadas.

Figura 1-14. Abundancia relativa de las 20 especies de aves con mayor presencia dentro del estudio.



## B) Aves de bosque ripario (BR)

En esta área se registraron 42 especies, de las cuales 31 fueron registros exclusivos en este lugar, se resalta la presencia de las tres especies endémicas: Chachalaca colombiana (*Ortalis columbiana*) (ver Figura 1-15), Habia copetona (*Habia cristata*) y la Pava caucana en categoría vulnerable (Vu). La conservación de esta cobertura es sumamente importante para las comunidades de aves que se movilizan entre los corredores que forman estos ecosistemas riparios, igualmente estos actúan como áreas de refugio para especies de hábitats adyacentes.

Figura 1-15. Presencia de Chachalaca colombiana (*Ortalis columbiana*) en el área de estudio



### C) Aves de helechal arbóreo (HA)

En esta cobertura se registraron 47 especies, de estas, 37 fueron avistadas únicamente en el helechal arbóreo, entre los registros más representativos se encuentran dos especies casi endémicas: el Batará carcajada (*Thamnophilus multistriatus*) y la Tangara rastrojera (*Stilpnia vitriolina*) (Figura 1-16).

Figura 1-16. Presencia de Tangara rastrojera (*Stilpnia vitriolina*) en el área de estudio.



El gremio de los frugívoros fue el gremio más importante desde el punto de vista ecológico en las dos coberturas, esto evidencia la existencia de alimento disponible para ellas.

Figura 1-17. Tangara negra (*Tachyphonus rufus*) y Mestizo (*Cupania latifolia*)



Tal como se muestra en la Figura 1-17, durante el estudio se encontraron algunas excretas en el suelo con semillas en su interior, principalmente semillas del Mestizo (*Cupania latifolia*).

### 1.3.5 Evaluación de servicios ecosistémicos en el área de estudio

Se llevó a cabo el levantamiento de información, correspondiente a los servicios ecosistémicos presentes en el área de estudio, enfocándose en los cuatro (4) principales de soporte, regulación, aprovisionamiento y culturales (Tabla 1-10). Esta información se obtiene a partir de los datos obtenidos de la caracterización del área de estudio, además de contemplar factores determinantes como la presencia del helecho marranero, el cual, debido a su alta competitividad no permite el crecimiento de especies forestales que permitan brindar servicios ecosistémicos de manera efectiva, como la diversidad de especies para que la fauna pueda alimentarse de estas y posteriormente propagar sus semillas.

Tabla 1-10. Descripción de servicios ecosistémicos en el área de estudio

Servicio Ecosistémico	Tipo de servicio ecosistémico	Descripción
Servicio de Soporte	Provisión de hábitat	En este momento la vegetación brinda unos espacios limitados para que las especies de fauna puedan buscar un hábitat adecuado, teniendo en cuenta la alta competitividad que existe por parte del Helecho marranero ( <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn).
	Ciclo de nutrientes	Debido a la falta de individuos forestales en las zonas invadidas por el Helecho marranero, no es posible contar con procesos biogeoquímicos que permitan la descomposición de la materia orgánica y la recirculación de nutrientes en el ecosistema, a pesar de contar con un porcentaje alto de Materia Orgánica (Ver Tabla 1-1).
	Formación del suelo	Se cuenta con suelos ácidos con presencia de aluminio, lo que puede afectar las condiciones fértiles de los suelos para el establecimiento de las plántulas de la restauración ecológica.
Servicio de Regulación	Regulación climática	Este ecosistema participa en la regulación de patrones climáticos locales y globales, aunque con una mayor densidad de la cobertura vegetal arbórea en el área de estudio, podría contribuir favorablemente a este servicio ecosistémico.

Servicio Ecosistémico	Tipo de servicio ecosistémico	Descripción
	Control de inundaciones	El control de inundaciones es un servicio indirecto debido a que la vegetación retiene el suelo y evita la erosión que llegaría al río y provocaría sedimentación, así obstrucción del cauce. Debido a que la mayor parte del área de estudio se encuentra cubierta por el Helecho marranero, no es posible contar con este servicio ecosistémico, a menos que se establezca un bosque por medio de la restauración ecológica, lo cual podría ayudar a prevenir inundaciones al absorber y retener agua.
Servicio de Provisión	Alimentos	El ecosistema proporciona una amplia variedad de alimentos, desde árboles frutales, especies silvestres, entre otros. Con el establecimiento de la restauración ecológica la oferta de alimentos podría ser más variada.
	Recursos genéticos	La diversidad biológica de los ecosistemas es una fuente crucial de genes para cultivos y medicamentos, por lo que, al contar con una diversidad de especies forestales a implementar en la restauración ecológica, se puede pensar en seleccionar especies que puedan conservarse para establecer un banco de germoplasma.
Servicio Cultural	Recreación y turismo	Los ecosistemas son destinos turísticos y lugares para actividades recreativas, por lo que una restauración ecológica podría contribuir a la inversión en pro de la conservación de los bosques establecidos.

Además de los mencionados anteriormente, es necesario destacar otros servicios ecosistémicos asociados e importantes, los cuales son:

- La polinización, como servicio ecosistémico primordial, se erige como el motor de la reproducción de plantas con flores, asegurando la continuidad de la biodiversidad y la disponibilidad de alimentos. La recuperación de bosques secos tropicales debe priorizar la preservación y fomento de poblaciones de polinizadores, desde insectos hasta aves y murciélagos, para garantizar la fertilidad y diversidad genética de la flora.
- La dispersión de semillas, otro servicio crucial, promueve la regeneración natural del bosque. Animales como aves y mamíferos, al transportar y depositar semillas, contribuyen a la biodiversidad y a la estructura del ecosistema. La recuperación

exitosa debe reconocer y fortalecer estas relaciones simbióticas para asegurar la resiliencia a largo plazo.

- El control de plagas, a través de depredadores naturales, representa una forma eficaz y sostenible de mantener el equilibrio en el bosque. La gestión consciente de estas poblaciones beneficiosas promueve la salud de las plantas y evita brotes de plagas, reduciendo la necesidad de intervenciones humanas y preservando la integridad del ecosistema.

## **1.4 Discusión**

### **1.4.1 Condiciones Físicoquímicas del suelo en el área de estudio**

Los suelos del área de estudio tienen pH ácidos y gran contenido de aluminio (ver Tabla 1-1), representando condiciones no aptas para un buen desarrollo de las especies arbóreas a implementar en el proceso de RE. Estos resultados son similares a un estudio realizado en Colombia sobre el estrés por aluminio en las plantas el cual indica que aluminio es el factor que más limita el crecimiento vegetal, esto junto con que gran porcentaje de la superficie del país tiene pH ácidos, genera menor crecimiento radicular (Casierra Posada, F. & Aguilar Avendaño, 2007).

Los suelos ácidos desfavorece los procesos de siembra de algunos individuos forestales, debido a que se les atribuye concentraciones de  $Al^{3+}$  y  $Mn^{2+}$  que al ser solubles pueden alcanzar condiciones nocivas para las plantas, llegando a niveles altos de toxicidad, y reduciendo la capacidad de intercambio catiónico, así como la disminución de  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$   $K^{+}$  (Black C. A., 1958), lo que se traduce en una menor respuesta del funcionamiento fisiológico como es la interferencia en la división celular atrofiando las raíces de las plantas. Es así como, al contemplar un pH ácido es posible relacionarlo con el alto nivel de aluminio encontrado a partir de las concentraciones presentes en el suelo (ver Tabla 1-1).

### **1.4.2 Presencia del Helecho Marranero (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) y organismos competitivos en el área de estudio**

Aunque las condiciones del suelo no son propicias para las especies vegetales a implementar en el proceso de RE, si lo son para el desarrollo del helecho marranero. Las capas de rizoma propagados por las áreas de siembra contienen yemas, las cuales permiten al helecho desarrollar constantemente frondas que solo requieren 20 días para un completo desarrollo, creciendo constantemente e incluso llegando a desarrollarse sobre arboles hasta más de 5 metros (Fenwick, 1989); además, el sistema de rizomas impide procesos de sucesión natural; ya que dificulta el establecimiento de árboles emergentes.

El alto éxito de colonización y crecimiento del helecho compromete el proceso de restauración ecológica realizado en predios de la Parcelación Chorro de Plata, por lo que de no implementarse un control específico y constante para la erradicación del helecho es muy probable que se presente una gran pérdida de los individuos sembrados.

En cuanto a las exigencias nutricionales de las especies vegetales, los helechos son los menos rigurosos, debido a que pueden tolerar condiciones que van desde sustratos arenosos, suelos lavados por lluvias constantes, sitios quemados, superficies erosionadas, volcanes, minas y hasta basureros (Barrera-Cataño & Valdés-López, 2007).

A lo anterior le sumamos que la mayoría de los helechos invasores se les atribuye funciones en la transformación del ecosistema del suelo, especialmente en la captación de nitrógeno. Estos optimizan las necesidades de nitrógeno independientemente de la disponibilidad que haya en el sustrato; en contraste con lo evidenciado en campo, se cuenta con que el helecho tiene una ventaja competitiva sobre las plantas nativas al tener un alto desarrollo, pues está dotado de reservas de carbohidratos que mejora su rápido crecimiento después de largas temporadas desfavorables y eventos de disturbio (Akomolafe & Rahmad, 2018a).

Es de anotar, que el helechal arbóreo, representa una cobertura con un estado de sucesión impulsada por procesos de rehabilitación ecológica natural que generará conexiones entre las áreas con mayor grado de conservación, por lo que durante los trayectos se identificaron taxones de amplia distribución geográfica y asociadas a áreas abiertas y

perturbadas, impulsadas por las condiciones mismas del área de estudio (Akomolafe & Rahmad, 2018a). La propagación del helecho marranero muestra un crecimiento exponencial, esto debido al pH ácido del suelo del área de estudio y la presencia de aluminio, lo que genera que esta especie pueda crecer de manera continua. Por otro lado, en cuanto a las condiciones bióticas, las características morfológicas y reproductivas brindan una ventaja, debido a que forman un rizoma entrelazado que se extiende de forma constante, permitiendo desarrollar capas de más de 50 cm, la cual favorece la retención de humedad, debido a las condiciones de clima e intensidad lumínica que puede proporcionar el ecosistema (Vetter, 2009).

Otra de las problemáticas de la zona de estudio, es la presencia de la hormiga arriera. En todos los sitios propuestos se encontró una gran abundancia de hormigueros, esto es consistente con el bosque seco tropical, ya que al ser un ecosistema productivo frecuentemente tienen mayor número de colonias de hormigas (Prisco-Pastrana, 2009). Aunque la presencia de las hormigas puede significar efectos negativos en las especies vegetales presentes debido al corte de las hojas y fuste por parte de estos insectos, también surge una posibilidad de impacto positivo, ya que algunas especies de árboles crecen favorablemente en nidos abandonados de la hormiga arriera (Hölldobler, B. & Wilson, 1990).

### **1.4.3 Monitoreo de Flora en el área de estudio**

A partir de los resultados obtenidos se establece que las familias con mayor abundancia son Rubiaceae, Proteaceae, Melastomataceae, Araliaceae y Erythroxylaceae con más de la mitad de los individuos censados. Las familias con mayor número de especies fueron Melastomataceae y Lauraceae. Esto puede deberse a la composición misma del bosque seco tropical, pero también a estados sucesionales que contribuyen a la regeneración natural, brindando bases para la selección de individuos forestales a establecer en la RE (Guerra-Martínez et al., 2021).

Las especies vegetales contempladas para la restauración ecológica son especies consideradas claves para el ecosistema, ya que contribuyen a mejorar las condiciones para que otras especies logren establecerse, por ejemplo, la familia Fabaceae contribuyendo a mejorar las condiciones del suelo, pues son especies pioneras en la

recuperación de suelos. Las especies de Fabaceae crecen en suelos de escasa fertilidad por lo que se utilizan como plantas pioneras en su recuperación, así como en procesos de revegetación y fitorrecuperación de suelos deteriorados (Castellano Hinojosa et al., 2016).

Por otro lado, la familia melastomatácea es otra de las familias de importancia para la RE; ya que, son altamente diversas; ocupan remanentes de bosque, se establecen como especies pioneras, cuyas adaptaciones mantienen una gran producción de semillas casi todo el tiempo, que sirven de alimento tanto para las aves como para los mamíferos, las semillas tienen altas tasas de germinación y de crecimiento que puede proporcionar la activación de los procesos ecológicos que intervienen en la regeneración natural de los hábitats perturbados (Albuquerque, et al. 2013).

#### **1.4.4 Monitoreo de fauna en el área de estudio**

##### **➤ Mastofauna**

En general se encontraron 6 especies de pequeños mamíferos no voladores, en áreas de rastrojo alto y bosque, seguidas de matorral denso y pastizal, la mayor abundancia fue de la familia perteneciente a Rodentia, la cual representa una gran importancia ecológica ya que fomenta la dispersión de semillas alrededor del área de estudio, lo cual es un efecto positivo para el proceso de RE, la importancia de esta familia, la cual radica en su capacidad para propagar semillas de diferentes especies forestales ha sido documentada en el PNN Hato en Santander y en Casanare (Afanador Rodríguez, J., Alvarado Fajardo, V. M., Bravo Pedraza et al., 2018; Olaya Angarita et al., 2018).

##### **➤ Avifauna:**

En el área de estudio, se evidenció una gran abundancia y una distribución similar de aves a lo largo de los 5 sitios evaluados, uno de los géneros de aves más importantes fue *Ramphocelus* al cual pertenecen las Tangaras que cuentan con gran importancia ecosistémica debido a su función en la dispersión de semillas, de acuerdo al análisis de la dieta realizado, se evidenció que el 80% de la dieta correspondía a frutos, estos resultados son acordes al análisis realizado en la “Estación de Biología Tropical Los Tuxtles”, donde aves de este género presentan una dieta similar, confirmando la importancia de estas especies (Puebla-Olivares & Winker, 2004)

En cuanto a las especies de avifauna catalogadas en categoría de amenaza, es importante mencionar una especie endémica como lo es la Pava Caucana (*Penelope perspicax*), debido a la presión antrópica ejercida en el área de Pance, en donde es necesario realizar una RE, evitando su caza indiscriminada y enfocada en la conservación de este tipo de especies (Valencia-Velasco et al., 2022). De esta manera es necesario buscar el fortalecimiento de esta especie presente en el área de estudio y que representa una importancia ecosistémica considerable debido a la relación estrecha con la flora endémica de la cual obtiene su alimento para posteriormente dispersar sus semillas (Velasco, 2019).

Por otra parte, es importante resaltar el papel de las especies frugívoras, las cuales, cumplen procesos fundamentales en la rehabilitación de los bosques y áreas perturbadas a través de la dispersión de semillas, como loros y tangaras, pavas, guacharacas, tucanes como los registrados en ambas coberturas vegetales. Dentro de estas especies resalta la presencia de la Reinita Gorginaranja (*Setophaga fusca*), puesto que, se trata de una especie migratoria boreal y estas zonas son adecuadas para abastecerse de alimento antes de iniciar nuevamente el viaje a zonas templadas del continente (Restrepo, 2013).

Así mismo, de acuerdo con lo descrito para las especies de frugívoros pueden transportar semillas a diferentes distancias (González-Varo et al., 2015); la fruta atrae la atención de un animal para ser comida, las semillas contenidas en ellas pasan por el tracto digestivo de los animales (en algunos casos regurgitadas) y al desplazarse el animal deposita las semillas lejos de la planta madre. El ave obtiene un alimento, pero también dispersa su semilla, por tal razón, esta relación entre planta y animal es mutualista; o, en otros términos: el animal es beneficiado a cambio de movilidad.

Este es un argumento importante que demuestra el rol de las aves en la rehabilitación de estas áreas, puesto que este árbol es común en áreas con mayor grado de conservación como el bosque ripario (Orellana & Valdivia, 2017).

Lo anterior pone en manifiesto la necesidad de conocer los procesos de interacción no solo con la frugivoría la cual ayuda a incrementar la germinación de semillas (Orellana & Valdivia, 2017), sino también con la nectarivoría, propiciando así condiciones favorables para la dispersión de semillas (Smith-Ramírez & Armesto, 1998; Salvador, 2018), puesto

que, juega un papel importante en el conocimiento arquitectónico de la diversidad en un ecosistema.

#### **1.4.5 Servicios ecosistémicos asociados a la Flora y Fauna presente en el área de estudio**

La presencia de un número mayor de especies vegetales, genera mayor absorción de CO<sub>2</sub> y producción de O<sub>2</sub> para las comunidades biológicas del área de influencia, regulando también la temperatura del lugar y servicios de aprovisionamiento de alimentos como frutas (Florín et al., 2021; Nautino Salas & Ramirez Cornejo, 2023).

Estos SE agregan a los evaluados en procesos de RE exitosa registrados en diferentes partes del mundo como es el caso de los servicios de regulación de Cartago (Valle del Cauca – Colombia), servicios de provisión de agua en el centro sur de Chile, así como los servicios culturales en Tocancipá, por medio de RE participativa (Little & Lara, 2010; Abouhamad et al., 2017; González-Molina, H. Z., Trilleras et al., 2022).

El área de estudio en Chorro de Plata, como se ha mencionado, históricamente ha sido objeto de quemas, lo que conlleva una disminución de los SE asociados a las coberturas boscosas, tales como la regulación del microclima, captura de carbono, regulación hídrica, oferta de hábitat y alimento para la fauna silvestre, así como es el caso del estudio realizado en los cerros orientales de Bogotá (Ocampo-Zuleta, 2019), el cual presentaba condiciones de intervención antrópica similares describiendo la restauración ecológica planteada en pro de la atracción de aves y otros dispersores de semilla para brindar un SE de regulación.

Debido a que la parcelación Chorro de Plata se encuentra en el Distrito Regional de Manejo Integrado de Pance, designado con el propósito de conservar los servicios ecosistémicos esenciales para el desarrollo regional, así como para proteger las especies de flora y fauna silvestres, que incluyen 249 especies de aves, 33 especies de mamíferos y 202 especies de flora según datos de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC, 2017), es crucial llevar a cabo este proyecto de Restauración Ecológica (RE), ya que está alineado con el mismo objetivo de preservación.

Los servicios ecosistémicos se contemplaron en función de la flora y fauna determinada dentro del área de estudio, así como la caracterización de este componente biótico relacionado anteriormente (Balvanera, 2012; McMurray et al., 2017; Sarria-Palacio, 2021).

## 1.5 Conclusiones y recomendaciones

- El proceso de restauración ecológica en áreas intervenidas se ve influenciado por condiciones extremas, tanto bióticas como abióticas. Es crucial realizar monitoreos y seguimientos periódicos para evaluar el avance y adaptación de las especies en el medio. Los mantenimientos regulares, que incluyen actividades como plateo, poda, fertilización y control de especies invasoras, son esenciales para garantizar el adecuado desarrollo y supervivencia de los individuos forestales sembrados.
- La pérdida de dispersores, especialmente aves y mamíferos, afecta la sucesión en el Bosque Seco Tropical. Se resalta la necesidad de implementar planes de conservación de la fauna asociada para garantizar la dispersión de semillas y promover la regeneración natural.
- La presencia dominante de helechos en las áreas intervenidas puede comprometer la viabilidad de los árboles sembrados, ya que repelen y sofocan otras especies vegetales. Por lo tanto, se destaca la importancia de controlar y manejar los helechos durante el proceso de restauración. Además, el control de insectos depredadores, como los presentes en los hormigueros de gran tamaño, es vital para proteger tanto la flora nativa como la introducida.
- Se recomienda establecer especies cortafuego no solo orientada a la protección contra incendios, sino que también guarda una relación con la preservación de servicios ecosistémicos como la regulación del clima y la protección contra eventos extremos.
- A partir de las condiciones evaluadas y los resultados obtenidos, se recomienda el siguiente planteamiento para la ejecución de la RE:

Tabla 1-11. Plan de ejecución de la restauración ecológica a partir de los análisis técnicos de los componentes presentes en el área de estudio.

<b>Plan de ejecución de la Restauración Ecológica</b>	
<b>Caracterización de los disturbios</b>	Amenaza de pérdida de la biodiversidad por presencia de la especie invasora: Helecho Marranero - <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn e incendios forestales.
<b>Alcance</b>	Llevar el ecosistema degradado a un sistema similar o predisturbio, siendo autosostenible, preservando algunas especies y prestando algunos servicios ecosistémicos.
	En los fragmentos de bosque se debe dar énfasis al mantenimiento de la conectividad estructural, controlando la presión sobre los bordes, ejercida por transeúntes.
	Aumentar la variabilidad genética.
<b>Meta de restauración</b>	Rehabilitación de treinta y dos (32) hectáreas en el predio Chorro de Plata, por medio de la adecuación del suelo, buscando neutralizar el pH, así como también teniendo en cuenta la disponibilidad en los viveros aledaños al área de estudio, buscando especies endémicas que serán objeto de siembra, priorizando aquella que tengan potencial para atraer fauna que posteriormente pueda propagar y dispersar las semillas de dichos individuos forestales.
<b>Método de restauración</b>	1. Recuperación y preparación del área mediante la actividad de retiro manual de la especie invasora helecho marranero, así como la adecuación de los suelos por medio de la aplicación de cal tres meses antes de la siembra de los individuos forestales en los cinco (5) polígonos designados para la restauración ecológica.
	2. Ampliación del área forestal protectora dentro del predio, mediante la siembra de especies arbóreas de los primeros estados sucesionales como Caspe blanco ( <i>Mauria heterophylla</i> ), Jigua negro ( <i>Rhodostemonodaphne kunthiana</i> ), Cascarillo ( <i>Ladenbergia oblongifolia</i> ), Gallinazo ( <i>Roupala monosperma</i> ), Caspe rojo ( <i>Toxicodendron striatum</i> ), Fruta de pava ( <i>Guatteria goudotiana</i> ), Mandur ( <i>Vismia lauriformis</i> ), Cedro nogal ( <i>juglans neotropica</i> ), Cafetillo ( <i>Lacistema aggregatum</i> ), Laurel ( <i>Aniba perutilis</i> ), Jigua blanca ( <i>Nectandra sp.</i> ), Guamo churimo ( <i>Inga punctata</i> ), Palo bobo ( <i>Heliocarpus americanus</i> ), Niguito ( <i>Miconia caudata</i> ), Ficus ( <i>Ficus sp.</i> ), Arrayán ( <i>Myrcia sp.</i> ), Pomaroso ( <i>Syzygium jambos</i> ), Garrocho ( <i>Myrsine coriácea</i> ), Cucharó ( <i>Myrsine guianensis</i> ), Yarumo ( <i>Cecropia angustifolia</i> ) entre otras, con distancias mínima de siembra de 7 x 7 metros. Adicionalmente se deben sembrar las especies atractivas para la fauna, en busca de la dispersión y propagación de semillas.
	3. Establecimiento de barreras cortafuego con especies piroresistentes en las áreas de borde.
	4. Un mantenimiento posterior a la siembra de individuos forestales, y mantenimientos trimestrales por tres años (2020-2023), con actividades de limpieza de la especie invasora, plateo, fertilización, manejo fitosanitario, control de hormiga arriera y reposición de individuos.

## 1.6 Referencias bibliográficas

- Abouhamad, S., Rojas Ramírez, M., Méndez Ramírez, J., Salazar Céspedes, K., & Salmerón Alpizar, A. (2017). Servicios ecosistémicos de regulación que benefician a la sociedad y su relación con la restauración ecológica. *Biocenosis*, 31(1–2), 80-92. <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/biocenosis/article/view/1731>
- Acuerdo CD No. 004 de 2018 CVC, (2018). [https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2018-09/Acuerdo\\_004-Modifica\\_Acuerdo\\_105\\_DRMI\\_Pance.pdf](https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2018-09/Acuerdo_004-Modifica_Acuerdo_105_DRMI_Pance.pdf)
- Afanador Rodríguez, J., Alvarado Fajardo, V. M., Bravo Pedraza, W. J., Cala Esteves, I., Caro Melgarejo, D. P., Cogollo Calderón, A. M., & Villamizar Durán, F. (2018). Restauración ecológica del bosque andino en la vertiente oriental del PNN SYA (Hato, Santander): diagnóstico y diseño. <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/4299/3467.pdf?sequence=1>
- Aguilar-Garavito, M. (2016). Fundamentos y consideraciones generales sobre restauración ecológica para Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 1, 147-176. <https://revistas.humboldt.org.co/index.php/BEP/article/view/50/50>
- Akomolafe, G. F., & Rahmad, Z. B. (2018). A review on global ferns invasions: mechanisms, management and control. *Journal of Research in Forestry, Wildlife and Environment*, 10(3), 42-54. <https://www.ajol.info/index.php/jrfwe/article/view/178581>
- Alvarado-Solano, D. P., & Otero-Ospina, J. T. (2017). Áreas naturales de bosque seco tropical en el Valle del Cauca, Colombia: una oportunidad para la restauración. *Biota Colombiana*, 18(1), 9-34.
- Álvarez, A. M. (2016). Challenges for Latin America: the Agenda for Sustainable Development and Negotiations in the Twenty-First Century. *Problemas Del Desarrollo*, 47(186), 9-30. <https://doi.org/10.1016/j.rpd.2016.08.002>
- Barrera-Cataño, J. I., & Valdés-López, C. (2007). Herramientas Para Abordar La Restauración Ecológica De Áreas Disturbadas En Colombia. *Universitas Scientiarum*, 12, 11-24 <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/scientarium/article/view/4887>.
- Bibby, C. J., Burgess, N. D., & Hill, D. A. (1992). *Bird Census Techniques*. (Academic Press (ed.)) 9(2). [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/51523167/MANUAL\\_DE\\_TECNICAS\\_PARA\\_EL\\_ESTUDIO\\_DE\\_LA\\_FAUNA-libre.pdf?1485473763=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DManual\\_de\\_Tecnicas\\_para\\_el\\_estudio\\_de\\_la.pdf&Expires=1705650693&Signature=JOUYLS4OWij8dx](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/51523167/MANUAL_DE_TECNICAS_PARA_EL_ESTUDIO_DE_LA_FAUNA-libre.pdf?1485473763=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DManual_de_Tecnicas_para_el_estudio_de_la.pdf&Expires=1705650693&Signature=JOUYLS4OWij8dx).

- Black C. A. (1958). Soil-Plant Relationship. In *Soil Science* 85(3), 175.
- Bolfor, B. M., & Fredericksen, T. S. (2000). Manual de Metodos de Muestreo y Analisis en Ecologia Vegetal. In E. El País (Ed.), *BOLFOR* (pp. 16-17).
- Cárdenas-Camacho, S., D., W., G.-A., E., R.-R. J., & López-Camacho, R. (2021). Análisis participativo de servicios ecosistémicos en un área protegida del bosque seco tropical (bs-T), Colombia. In C. Forestal (Ed.), *Colombia Forestal* 24(1), 123-156. <https://doi.org/https://doi.org/10.14483/2256201x.16548>
- Cárdenas, K. B. (2023). La comunicación: estrategia transversal para fortalecer la gobernanza del parque ambiental corazón de pance.
- Casierra-Posada, F., & Aguilar-Avendaño, O. E. (2018). Stress for aluminum in plants: reactions in the soil, symptoms in plants and amelioration possibilities. A review. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 1(2), 246-257. <https://doi.org/10.17584/rcch.2007v1i2.8701>
- Castellano Hinojosa, A., Contreras Medrano, V., & BedmarEDMAR, E. J. (2016). Utilización de plantas leguminosas en restauración medioambiental de taludes y suelos degradados. *ÍNDICE–INDEX*, 16, 48-59.
- CITES. (2021). Apéndices I, II y III. 41(22).
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC. (2017). Pance es ahora un distrito regional de manejo integral. Colombia. Encontrado en: <https://www.cvc.gov.co/carousel/3070-pance-es-ahora-un-distrito-regional-de-manejo-integrado>
- Fajardo -Toro, V. (2013). Capacitación técnica en el manejo de residuos sólidos y campaña de sensibilización en la población de ladrilleros, pacífico valle caucano, Colombia.
- Fenwick, G. R. (1989). Bracken (*Pteridium aquilinum*)—toxic effects and toxic constituents. In *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 147-173. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jsfa.2740460204>
- Florín, A. D. L., Asanza, A. W. S., Maza, J. E. M., & Figueroa, J. E. C. (2021). Biomasa forestal y captura de carbono en el bosque seco de la Reserva Ecológica Arenillas. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(2), 140-146.
- González-García, F. (2011). Métodos para contar aves terrestres. In *Manual de técnicas para el estudio de la fauna*, 1, 86-123. [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/51523167/Manual\\_de\\_tecnicas\\_para\\_el\\_estudio\\_de\\_la\\_fauna-libre.pdf?1485473763=&response-content-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/51523167/Manual_de_tecnicas_para_el_estudio_de_la_fauna-libre.pdf?1485473763=&response-content-)

disposition=inline%3B+filename%3DManual\_de\_Tecnicas\_para\_el\_estudio\_de\_la.pdf&Expires=1705651686&Signature=RMG-dghJNJU6-ME

- González-Molina, H. Z., Trilleras, J. M., Pyszczyk, O. L., & Romero-Duque, L. P. (2022). Restauración ecológica participativa y servicios ecosistémicos culturales: una relación necesaria. *Acta Botanica Mexicana*, (129). <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1929>
- González-Varo, J. P., L., F., J. M., Guitián, J., V. J., L.-B., & Suárez-Esteban A. (2015). Frugivoría y dispersión de semillas por mamíferos carnívoros: rasgos funcionales. *24(3)*, 43-50.
- Guerra-Martínez, F., García-Romero, A., Martínez-Morales, M. Á., & López-García, J. (2021). Resiliencia ecológica del bosque tropical seco: recuperación de su estructura, composición y diversidad en Tehuantepec, Oaxaca. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 92(0), 923422. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3422>
- Hilty, S., & Brown, W. (1986). A guide to the birds of Colombia. In Princeton University (Ed.), Princeton Univ. Press. 16(0). [https://www.researchgate.net/profile/Sergio\\_Collazos-Gonzalez/publication/320934725\\_Comunidad\\_de\\_aves\\_del\\_bosque\\_seco\\_tropical\\_en\\_la\\_Mesa\\_de\\_Xeridas\\_Santander\\_Colombia/links/5a0d15c7a6fdcc39e9bfbf19/Comunidad-de-aves-del-bosque-seco-tropical-en-la-Mesa-de](https://www.researchgate.net/profile/Sergio_Collazos-Gonzalez/publication/320934725_Comunidad_de_aves_del_bosque_seco_tropical_en_la_Mesa_de_Xeridas_Santander_Colombia/links/5a0d15c7a6fdcc39e9bfbf19/Comunidad-de-aves-del-bosque-seco-tropical-en-la-Mesa-de)
- Hölldobler, B., & Wilson, E. O. (1990). *The ants*. Harvard University Press.
- Howe, H. F., & Miriti, M. N. (2004). When seed dispersal matters. *BioScience*, 54(7), 651-660. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0651:WSDM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0651:WSDM]2.0.CO;2)
- Hoyos, J. S. H., Figueroa, C. J. M., Morales, D. A. A., Benítez, O. J. V., Machado, F. L., & Ospina, J. T. O. (2020). Estructura poblacional y agentes polinizadores de *Catsetum ochraceum* en los farallones de la cordillera occidental (La Vorágine, Colombia). *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 16(2), 31-40. <https://doi.org/10.18359/rfcb.5098>
- Jaramillo, S. M. (2011). Análisis de manejo y percepción del impacto de la hormiga arriera (*Atta Cephalotes*) sobre los habitantes del corregimiento de Pance, Valle del Cauca Colombia [Universidad Autónoma de Occidente]. <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/1087/TAA00233.pdf?sequence=1>
- Little, C., & Lara, A. (2010). Restauración ecológica para aumentar la provisión de agua como un servicio ecosistémico en cuencas forestales del centro-sur de Chile. *Bosque (Valdivia)*, 31(3), 175-178. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002010000300001>

- MADS. (2017). Resolución 1912 de 2017: Por la cual se declaran las especies silvestres que se encuentran amenazadas en el territorio nacional.
- Nautino Salas, G., & Ramirez Cornejo, E. T. S. (2023). Servicio ambiental de secuestro de co2 y producción de o2 en un bosque varillal seco zona de nina rumi, rio nanay, Loreto-Peru-2022. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/2635>
- Ocampo-Zuleta, K. (2019). Modelo descriptivo de restauración ecológica en zonas afectadas por incendios forestales e invasión de retamo espinoso en los Cerros Orientales de Bogotá. *Acta biológica colombiana*, 24(1), 1-12
- Olaya Angarita, J. A., Bravo Pedraza, W. J., Caro Melgarejo, D. P., Gámez Rodríguez, M., Gil Leguizamón, P. A., Hernández Velandia, D. R., Medina, W., & Reyes Camargo, J. E. (2018). Restauración ecológica del bosque andino en la vereda Monserrate (Sabanalarga, Casanare): diagnóstico y diseño. <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/4291/3574.pdf?sequence=1>
- Orellana, J. I., & Valdivia, C. E. (2017). La importancia del zorzal austral *Turdus falcklandii* en la germinación de semillas de pitra *Myrceugenia planipes*. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(2), 474–476. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.03.003>
- Portillo-Quintero, C. A., & Sánchez-Azofeifa, G. A. (2010). Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. *Biological Conservation*, 143(1), 144-155. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.09.020>
- Prisco Pastrana, J. A. (2009). Bases ecológicas y biológicas para el manejo de la hormiga arriera (*Atta* spp.). <http://risisbi.uqroo.mx/bitstream/handle/20.500.12249/3550/QL568.P74.2009-%2059695.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Puebla-Olivares, F., & Winker, K. (2004). Dieta y dispersión de semillas por dos especies de Tangara (*Habia*) en dos tipos de vegetación en los Tuxtlas, Veracruz, México. *Ornitología Neotropical*, 15, 1-12.
- Qiu, S., Peng, J., Zheng, H., Xu, Z., & Meersmans, J. (2022). How can massive ecological restoration programs interplay with social-ecological systems? A review of research in the South China karst region. *Science of the Total Environment*, 807, 150723. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150723>
- Ralph, C. J. (1996). Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres 159,46. In US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station.

- Renjifo, L. M. (1999). Composition changes in a subandean avifauna after long-term forest fragmentation. In *Conservation biology* (pp. 13(5), 1124-1139). <https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.98311.x>
- Renjifo, L. M., Gómez, M. F., Velásquez-tibatá, J., Amaya-villarreal, Á. M., Kattan, G. H., Amaya-espinel, J. D., & Burbano-girón, J. (2014). Libro rojo de aves de Colombia: Vol 1. Bosques húmedos de los Andes y Costa Pacífica. Editorial Pontificia Universidad Javeriana. 1, 1-466. <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/32545/244.pdf?sequence=4>
- Restrepo, J. C. (2013). Monitoreo de aves migratorias neotropicales en la jurisdicción de corantioquia en las cuentas de río piedras y río frío. CORANTIOQUIA. [https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/FAUNA/AIRNR\\_MC\\_109\\_2013.pdf](https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/FAUNA/AIRNR_MC_109_2013.pdf)
- Rivera, J., & Pinheiro, S. (2011). Cromatografía imágenes de la vida y de la destrucción del suelo (pp. 1-252). <https://morralcampesino.files.wordpress.com/2016/03/cromatografia-restrepo-pinheiro.pdf>
- Rodríguez, M. A., & Aramendía, A. M. (2015). Métodos didácticos para análisis de suelos. Universidad de la Rioja, España.
- Salvador, S. A. (2018). Aves nectarívoras (no-trochilidae) de la argentina. In *Nuestras Aves* (Vol. 63, pp. 30-33).
- Sayago, J. M. (1982). Las unidades geomorfológicas como base para la evaluación integrada del paisaje natural. *Acta Geológica Lilloana*, 16(1), 169-180. Recuperado a partir de <https://www.lillo.org.ar/journals/index.php/acta-geologica-lilloana/article/view/809>
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. In *The Bell system technical journal* (pp. 27(3), 379-423).
- Simpson, E. H. (1949). Measurement of Diversity. *Nature*, 688(1943). <https://doi.org/10.1038/163688a0>
- Smith-Ramírez, C., & Armesto, J. J. (1998). Nectarivoría y polinización por aves en *Embothrium coccineum* (Proteaceae) en el bosque templado del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 71, 51-63.
- Valdez-Ramírez, C., Levy-Tacher, S. I., León-Martínez, N. S., Navarrete-Gutiérrez, D. A., & Ortiz-Ceballos, Á. I. (2020). Cambios químicos y biológicos del suelo provocados por *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn en áreas de influencia de la reserva de la biosfera

de Calakmul, Campeche. *Revista Terra Latinoamericana*, 38(2), 289-300.  
<https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.464>

Valencia-Velasco, J. D., Estela, F., Fierro-Calderón, E., Valenzuela, L., & Osorio-Domínguez, D. (2022). Densidad y uso de hábitat de la pava caucana (*Penelope perspicax*) en los Farallones de Cali, Colombia. *Biota Colombiana*, 23(1).  
<https://doi.org/https://doi.org/10.21068/2539200x.1003>

Vargas, & Mora. (2009). *La restauracion ecologica en su contexto*. Society for Ecological Restoration.

Velasco, J. D. V. (2019). Abundancia y densidad de la pava caucana (*penelope perspicax*) en el área de amortiguación del acb parque nacional natural farallones de cali. <https://patrimonionatural.org.co/wp-content/uploads/2023/02/2019-abundancia-y-densidad-pava-caucana.pdf>

Vetter, J. (2009). A biological hazard of our age: Bracken fern [*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn]—A review. In *Acta Veterinaria Hungarica* (pp. 183-196).  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1556/avet.57.2009.1.18>

Zapata Hoyos, J. S., Figueroa, C. J. M., Morales, D. A. A., Benítez, Ó. J. V., Machado, F. L., & Otero Ospina, J. T. (2020). Estructura poblacional y agentes polinizadores de *Catasetum ochraceum* en los farallones de la Cordillera Occidental (La Vorágine, Colombia). *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, 16(2), 31-40.

## **2. Capítulo 2. Impacto de la restauración ecológica: Evaluación de resultados y servicios ecosistémicos fortalecidos en un bosque seco tropical.**

### **2.1 Introducción**

El bosque seco tropical es un ecosistema que, debido al potencial maderable de las especies forestales con las que puede contar, se ha visto presionado por actividades antrópicas, lo cual ha llevado a este ecosistema a ser considerado mundialmente amenazado (Portillo-Quintero & Sánchez-Azofeifa, 2010). Debido a esto, surge una preocupación respecto al futuro de estos ecosistemas hacia la extinción, por la pérdida de servicios ecosistémicos (SE), y de especies de flora y fauna de importancia ambiental (González-Molina, H. Z., Trilleras et al., 2022). Así mismo surge una preocupación frente a los procesos de conservación y preservación necesarios para evitar el peor panorama para un ecosistema tan importante (Miles, L. et al., 2006; Hasnat & Hossain, 2020).

La restauración ecológica (RE), en el contexto de los bosques secos tropicales, adquiere una relevancia fundamental, especialmente cuando se considera el impacto histórico de prácticas como la quema y la ganadería en estos ecosistemas (Ramirez-Gonzalez, 2023). Estas actividades humanas han dejado huellas significativas en la degradación de la biodiversidad y la funcionalidad del bosque, generando una urgente necesidad de implementar acciones correctivas (Guerra-Martínez et al., 2021).

Es así como surge la exigencia de llevar a cabo una restauración ecológica en el bosque seco tropical, que se encuentra ubicado en la parcelación Chorro de Plata – Pance, en Santiago de Cali (Valle del Cauca) (Pérez, 2017). La quema indiscriminada y la expansión de la ganadería han alterado drásticamente la composición y estructura de estos ecosistemas, comprometiendo la salud y la resiliencia del bosque, así como generando

condiciones óptimas para la propagación del Helecho marranero (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) (Vetter, 2009; Baptiste et al., 2019; Valdez-Ramírez et al., 2020). La RE no solo busca revertir estos impactos, sino también fortalecer los SE que estos bosques proporcionan (Abouhamad et al., 2017).

Los análisis detallados de las condiciones bióticas y abióticas del área de estudio (Chorro de Plata), abordadas en el capítulo 1 de este documento, permitieron la identificación de recomendaciones técnicas específicas para la restauración. Estas recomendaciones abarcan no solo la selección de especies forestales adecuadas (Guerra-Martínez et al., 2021), sino también consideraciones sobre prácticas de manejo del suelo, implementación de individuos forestales cortafuego para el control de incendios y estrategias para la propagación de especies forestales (Albuquerque et al., 2013; Encino-Ruiz et al., 2013). La implementación de estas recomendaciones técnicas se ha llevado a cabo con el objetivo de restablecer la funcionalidad y la diversidad del ecosistema.

El seguimiento de la RE a lo largo de cuatro años, después de su ejecución permitió evaluar impactos en parámetros clave, como el crecimiento y el índice de mortalidad de los árboles establecidos en cada uno de los cinco (5) sitios seleccionados (Díaz-Triana et al., 2019). Este análisis temporal proporciona información valiosa sobre la eficacia a largo plazo de las acciones emprendidas, permitiendo ajustes y mejoras continuas en el enfoque de restauración, no solo desde la flora sino también desde la fauna asociada al ecosistema.

Es crucial destacar que este estudio no se limita a la recuperación de la vegetación; también examina cómo las especies forestales reintroducidas y la fauna presente en el ecosistema contribuyen al fortalecimiento de los SE (Renjifo, 1999; López & García Guzmán, 2002). Desde la polinización, hasta la propagación de especies forestales o el mejoramiento de los suelos, se busca entender cómo la restauración ecológica impacta positivamente en la interconexión de los elementos bióticos y abióticos del ecosistema (Aguilar-Garavito, 2016).

Es por lo anteriormente mencionado que, el presente estudio tiene como objetivo evaluar los resultados del estado actual de la restauración ecológica implementada en el año 2019,

comparando datos ambientales que permitan evidenciar el fortalecimiento de servicios ecosistémicos en el ecosistema de bosque seco tropical de la zona de reserva de la Parcelación Chorro de Plata, principalmente relacionados a las dinámicas demostradas por la flora y fauna asociadas a la RE.

## 2.2 Materiales y Métodos

### 2.2.1 Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en el Distrito Regional de Manejo Integrado Pance, ubicado en el departamento del Valle del Cauca, sobre el flanco oriental de la cordillera Occidental, municipio de Santiago de Cali, en la cuenca media del río Pance, en predios de la parcelación Chorro de Plata (Figura 1-2. Áreas seleccionadas para el proceso de Restauración ecológica).

Dentro de la parcelación Chorro de Plata se seleccionaron cinco (5) áreas o polígonos, los cuales serían objeto de siembra, luego de realizar la caracterización del área de estudio y sus condiciones bióticas y abióticas.

Cada una de estas áreas contemplan un área total de 32 hectáreas, las cuales fueron objeto de restauración ecológica, distribuidas tal como se contempla en la *Tabla 1-3. Distribución de áreas (Ha) contempladas para cada polígono de siembra.*

La información detallada del área de estudio puede encontrarse de igual forma en el numeral *1.2.1. Área de estudio*, del *Capítulo 1. Caracterización del área empleada para el establecimiento de la restauración Ecológica en un bosque seco tropical.*

### 2.2.2 Fase de campo

➤ **Erradicación del Helecho marranero (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn):**

Previo a la siembra de individuos forestales de la RE en junio de 2019, se realizó una erradicación del Helecho marranero (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) presente en las cinco áreas de restauración (marzo de 2019), empleando medios manuales y herramientas para tal fin. Esta actividad se realizó mediante el corte del Helecho marranero empleando una

guadaña, buscando de limitar su exposición a la radiación solar y de esta manera propiciar que sus raíces y rizomas se vayan debilitando, además, se cortaron con machete las partes altas del helecho con el fin de liberar área para las plántulas y que estas no se vean afectadas en su desarrollo. Se erradicó el Helecho marranero en las 32 hectáreas en donde se llevaría a cabo la restauración ecológica. Esta actividad se realizó teniendo en cuenta la competitividad directa que tendrían los árboles contemplados en la RE, con el Helecho marranero, además de la afectación al crecimiento y desarrollo de los individuos forestales, por lo que es importante evitar la competencia directa por nutrientes, espacio, luz solar, entre otros factores.

➤ **Control de la Hormiga Arriera (*Atta cephalotes*):**

Paralelo al proceso mencionado anteriormente, se combatió la hormiga arriera (*Atta cephalotes*) por medio de control biológico utilizando ingredientes activos como abamectina en pequeñas concentraciones y una mezcla de ajo-ají (Montes-Hernández, 2017), en los 76 hormigueros encontrados entre las cinco (5) áreas de restauración ecológica, con un promedio de 15 nidos de hormiga arriera aproximadamente, esto con el fin de disminuir las colonias del insecto y así minimizar posibles ataques al material vegetal sembrado.

➤ **Adecuación del suelo para la siembra de especies forestales:**

Una vez se erradicó y podó el Helecho marranero en las 32 hectáreas totales contempladas para los cinco (5) sitios de siembra (*Figura 1-2. Áreas seleccionadas para el proceso de Restauración ecológica*), debido a su competitividad (Valdez-Ramírez et al., 2020), además de realizar el control de la hormiga arriera, se llevó a cabo un proceso de adecuación de suelos, el cual contó con actividades como plateo, hoyado y aplicación de cal viva (Óxido de Calcio) al suelo, lo anterior llevado a cabo en el mes de marzo de 2019, tres (3) meses antes del establecimiento de los individuos forestales, buscando neutralizar el pH en el suelo, evitando así problemas de adaptación de las plántulas (Espinosa, 1999; E. Rivera, 2018). Transcurridos los tres (3) meses posteriores al proceso de encalado, se adicionó abono orgánico a los hoyos previo a la siembra de la plántula (*Figura 2-1*).

Figura 2-1. Actividad de retiro de la cobertura vegetal del Helecho marranero (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn), plateo y hoyado



Se realizó en junio de 2019 una siembra de 7969 individuos forestales, de especies seleccionadas a partir de la evaluación de parámetros bióticos y abióticos encontradas a partir de la caracterización del área de estudio como los parámetros del suelo, la pendiente, presencia del helecho marranero, presencia de hormigueros, la presencia de fauna con potencial de propagación de semillas, así como especies forestales endémicas y aquellas que no resultaran ser invasivas (SER, 2004). El establecimiento de las plántulas se realizó en las cinco (5) zonas designadas para llevar a cabo la RE, por medio de la priorización de núcleos de siembra (Holl & Aide, 2011; Torres-Rodríguez et al., 2019). A cada individuo forestal se le etiquetó y georreferenció con un GPS Garmin 64S. Se introdujo la plántula en el hoyo, se le retiró el plástico, manualmente, para posteriormente liberarlas raíces apicales. las cuales estaban presionadas por la bolsa y finalmente se cubrió con tierra abonada. Este proceso se llevó a cabo para los 7969 individuos forestales sembrados, los cuales contemplaron alturas promedio entre los 80 – 120 cm de altura, incluyendo especies cortafuego (Figura 2-2).

Figura 2-2. Actividad de adecuación y siembra de especies forestales en el marco de la RE



Los árboles fueron distribuidos en los cinco sitios seleccionados, tal como se muestra en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1. Distribución de siembra de individuos forestales en los cinco polígonos designados del área de estudio

Polígono No.	SITIOS DE SIEMBRA	No. DE INDIVIDUOS SEMBRADOS	ÁREA CONTEMPLADA (Ha)
1	CHARCO	1177	6
2	TANQUE	3196	11
3	ANTENA	2646	10
4	ADMINISTRACIÓN	745	3
5	OTOÑO	205	2
<b>TOTAL</b>		7969	32

Para la siembra de los árboles se tuvo en cuenta el relieve, las pendientes y condiciones del terreno en cada uno de los sitios designados, es por esto por lo que, adicional al limitado espacio con el que se contaba para la siembra, los cinco sitios de siembra no son continuos (Figura 1-2. Áreas seleccionadas para el proceso de Restauración ecológica).

Dentro de las especies sembradas se contó con individuos nativos en mayor proporción como son Cascarillo (*Ladenbergia oblongyfolia*) y Salchicho (*Roupala montana*), estos árboles son de buen porte arbóreo, los cuales en el futuro ayudaran a recuperar la estructura del ecosistema pero son de lento crecimiento, sin embargo, mientras las especies mencionadas anteriormente adquieren su porte, se sembraron especies como el Cenizo (*Miconia caudata*), Nigüito (*Miconia minutiflora*) y Coca cimarrona (*Erythroxylum citrifolium*) las cuales al tener ciclos reproductivos cortos y un crecimiento más rápido mantienen la oferta alimenticia para la avifauna contribuyendo a mejorar las interacciones ecológicas. Adicional a lo anterior, estas especies actúan como facilitadoras para las especies de estados sucesionales más avanzados.

De igual forma, se sembraron especies como el Chocho (*Adenantha bicolor* Moon), Mango (*Mangifera indica* L.), y Saman (*Samanea saman*), debido al porte con el que estos pueden contar en etapa adulta, además de su estado de crecimiento, aportando material vegetal que posteriormente será una cobertura de material orgánico, mejorando las condiciones del suelo, lo que puede facilitar la sucesión natural de especies vegetales (Guerra-Martínez et al., 2021).

➤ **Mantemimientos programados:**

Se realizaron mantenimientos a las plántulas establecidas en la RE, iniciando con un mantenimiento en 2023 posterior a la siembra, y los tres (3) años siguientes (2020 – 2023) de manera trimestrales para un total de 13 mantenimientos, en donde se verificaba el estado fitosanitario de los individuos forestales, además de realizar acciones preventivas y correctivas frente a la afectación de los árboles por parte de insectos u organismos competitivos. Posterior a los monitoreos, se llevaron a cabo jornadas de seguimiento con el fin de identificar condiciones que perjudiquen el desarrollo de los individuos establecidos en la RE.

➤ **Determinación de servicios ecosistémicos:**

Se realizó una caracterización de las condiciones ambientales del área de estudio (ver Capítulo 1. Caracterización del área empleada para el establecimiento de la restauración Ecológica en un bosque seco tropical), incluyendo monitoreo de fauna, y la interacción con especies de fauna estratégicas, priorizando la dispersión de semillas entre otros servicios

ecosistémicos. Lo anterior con el fin de comparar los datos de los monitoreos actuales (2023) con los datos obtenidos en el año 2019 previo a la ejecución de la RE. Para esto se llevó a cabo un avistamiento de fauna que consistió en evaluar la alimentación de la mastofauna y avifauna, como también los sitios de anidamiento a partir de los individuos forestales sembrados dentro de la RE.

### 2.2.3 Tratamiento de los datos

Se evaluaron diferencias en los grupos de datos de los individuos forestales mediante un Análisis de Varianza Multivariado Permutacional (PERMANOVA). Se calcularon los valores de significancia ( $p(\text{PERM})$ ) a partir de 9999 permutaciones, tomando  $\alpha < 0.05$  como diferencias estadísticamente significativas (Somerfield et al., 2021). Por último, se aplicó test post hoc PAIRWISE (Cabezas, 2021), para ver las posibles diferencias entre los grupos de datos analizados Sitio y desarrollo de los individuos forestales en función de su crecimiento con los promedios de alturas de las especies establecidas dentro de cada uno de los cinco (5) sitios restaurados.

Para evaluar la efectividad de los esfuerzos de restauración ecológica en los cinco sitios seleccionados, se calcularon varios índices de diversidad: el Índice de Diversidad de Shannon, el Índice de Diversidad de Simpson y la Riqueza de Especies. Estos índices proporcionan una medida cuantitativa de la biodiversidad presente en cada sitio y permiten comparar la composición y la estructura de la comunidad biológica antes y después de la intervención de restauración (Del Río et al., 2003).

## 2.3 Resultados

### 2.3.1 Ejecución de la restauración ecológica (RE)

Los resultados obtenidos de cada actividad que permitió la ejecución de la restauración se describen a continuación:

- **Erradicación del Helecho marranero (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn):** Se pudo recuperar un 53,3% de área aprovechable para la siembra de especies forestales, equivalente a las 32 hectáreas en donde se erradicó el helecho marranero de las

60 hectáreas de conservación que contempla el área forestal total de la Parcelación Chorro de Plata (Figura 2-3).

Figura 2-3. Erradicación del Helecho marranero (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) empleando guadaña



➤ **Control de la Hormiga Arriera (*Atta cephalotes*):**

El control de la hormiga arriera dio buenos resultados, pues se pudo observar que, al realizarse su aplicación, hubo una gran disminución de las colonias de esta especie invasora presentes en los polígonos de siembra, logrando reducirlas en un 80%, gracias al control realizado con abamectina y la mezcla de ajo-ají (Figura 2-4), pasando de 76 hormigueros en el año 2019 a 15 hormigueros en el año 2023, permitiéndole a las plántulas un buen crecimiento con poca afectación generada por esta causa.

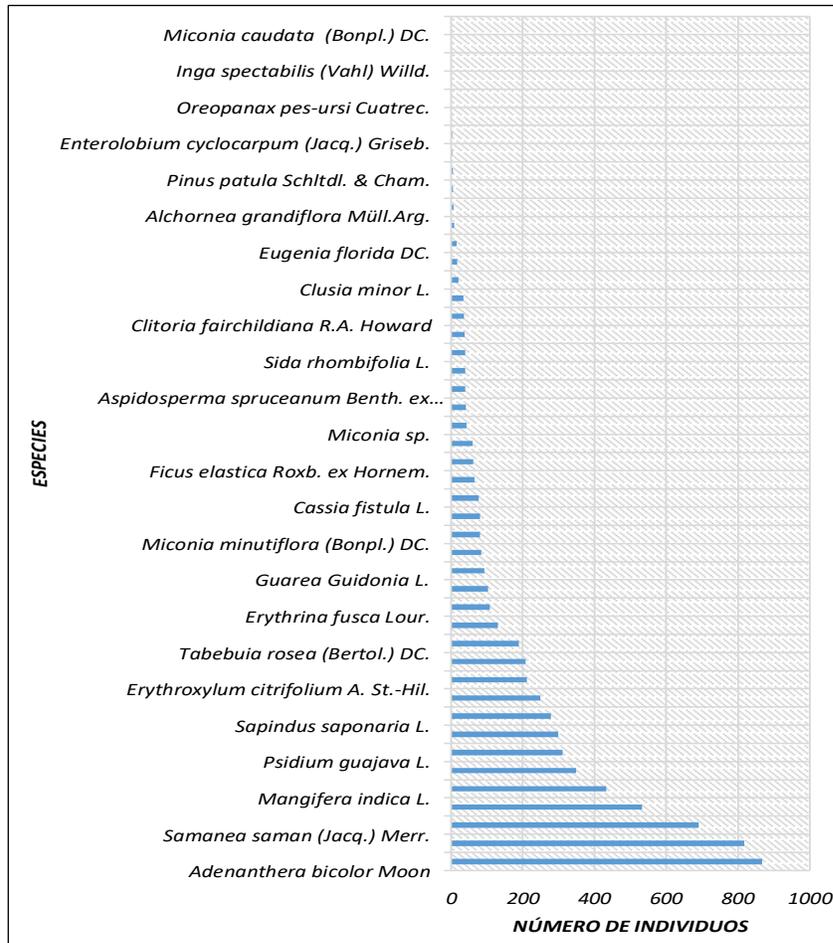
Figura 2-4. Control fitosanitario de la Hormiga arriera (*Atta cephalotes*)



➤ **Siembra de especies forestales:**

La procedencia de los árboles dependió de la disponibilidad de especies presentes en viveros cercanos, así como el traslado o replicación de algunas especies endémicas debido a su abundancia en el área de influencia. Las especies sembradas se muestran en la Figura 2-5.

Figura 2-5. Especies sembradas en el proceso de restauración ecológica



### 2.3.2 Monitoreo de Fauna en las zonas de la restauración ecológica (RE)

Una vez se realizaron los recorridos en el año 2023 en las áreas restauradas en el 2019, se buscó obtener información de la fauna presente en el ecosistema, por lo que se llevó a cabo un monitoreo tanto de mastofauna como de avifauna obteniendo los siguientes resultados:

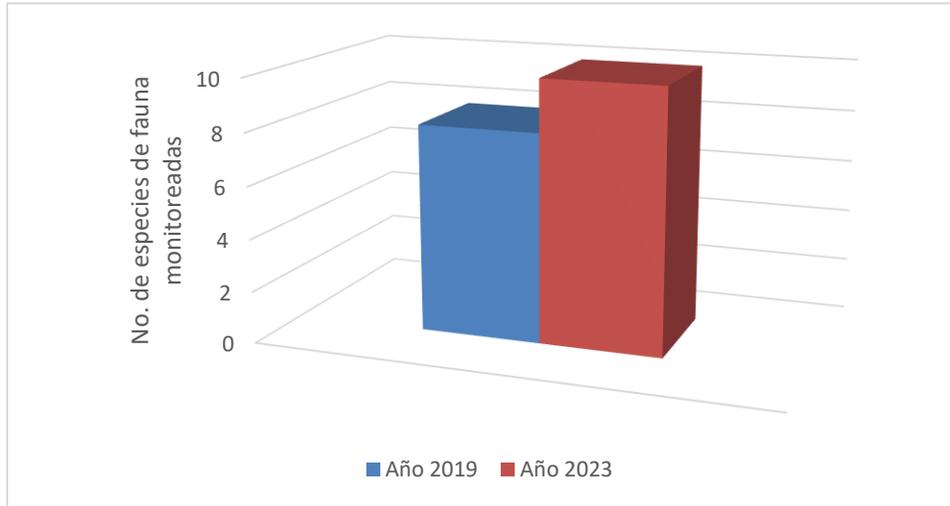
➤ **Mastofauna**

Se realizaron jornadas de verificación de fauna, la cual consistió en observación directa, así como también la investigación de vestigios, huellas o restos relacionados a la fauna presente en las áreas restauradas. A partir de esta información se comparó la mastofauna evidenciada en 2019 comparada con la presenciada en 2023, tal como se muestra en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2. Comparación de especies de fauna monitoreadas en el año previo a la RE en el 2019 y en el 2023 posterior al establecimiento de la RE

TAXONOMÍA				CONSERVACIÓN			PRESENCIA DE LA ESPECIE	
Orden	Familia	Nombre científico	Nombre común	IUCN	MADS	CITES	2019	2023
Didelphimorphia	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Chucha común	LC	NA	NA	X	X
Cingulata	Dasypodidae	<i>Dasyopus novemcinctus</i>	Armadillo común	LC	NA	NA	X	X
Primates	Aotidae	<i>Aotus lemurinus</i>	Mono nocturno	VU	VU	NA		X
Pilosa	Megalonychidae	<i>Choloepus hoffmanni</i>	Perezoso de dos dedos	LC	NA	NA	X	X
Chiroptera	Phyllostomidae	<i>Carollia castanea</i>	Murciélago castaño de cola corta	LC	NA	NA		X
Rodentia	Sciuridae	<i>Sciurus granatensis</i>	Ardilla común	LC	NA	NA	X	X
Rodentia	Dasyproctidae	<i>Dasyprocta punctata</i>	Guatín	LC	NA	NA		X
Rodentia	Cuniculidae	<i>Cuniculus paca</i>	Guagua	LC	NA	NA	X	X
Carnívora	Mustelidae	<i>Eira barbara</i>	Taira	LC	NA	NA	X	X
Carnívora	Felidae	<i>Leopardus cf. Tigrinus</i>	Tigrillo	VU	VU	I	X	X
Chiroptera	Phyllostomidae	<i>Artibeus lituratus</i>	Murciélago frutero grande	LC	NA	NA		X
Artiodactyla	Cervidae	<i>Mazama americana</i>	Venado	DD	NA	NA		X

Figura 2-6. Comparación de especies: mastofauna observada en los años 2019 y 2023



Es importante resaltar que, comparado con los monitoreos realizados en el año 2019, se contó con el avistamiento de cuatro (4) especies nuevas en el ecosistema, las cuales son el Mono nocturno (*Aotus lemurinus*), Guatín (*Dasyprocta punctata*), y también se pudo evidenciar la presencia de murciélagos, de la especie *Artibeus lituratus* (Murciélago frutero grande) y *Carollia castanea* (Murciélago castaño de cola corta), respectivamente, los cuales cumplen una función de dispersión de semillas, aportando por medio de este servicio ecosistémico al fortalecimiento del bosque por medio de beneficiar procesos sucesionales (Figura 2-6).

De igual forma, una especie (*Mazama americana*) se encuentra con datos insuficientes (DD), esto debido a información suministrada por la comunidad quienes afirmaron avistar dicha especie o tener un registro claro de la misma.

Por otro lado, El Mono nocturno (*Aotus lemurinus*) (Figura 2-7), es una especie que resulta de suma importancia debido a que se encuentra catalogado como Vulnerable (VU) de acuerdo con lo establecido por la Unión Internacional de la Conservación de la Naturaleza (IUCN).

Figura 2-7. Avistamiento de Mono nocturno (*Aotus lemurinus*)

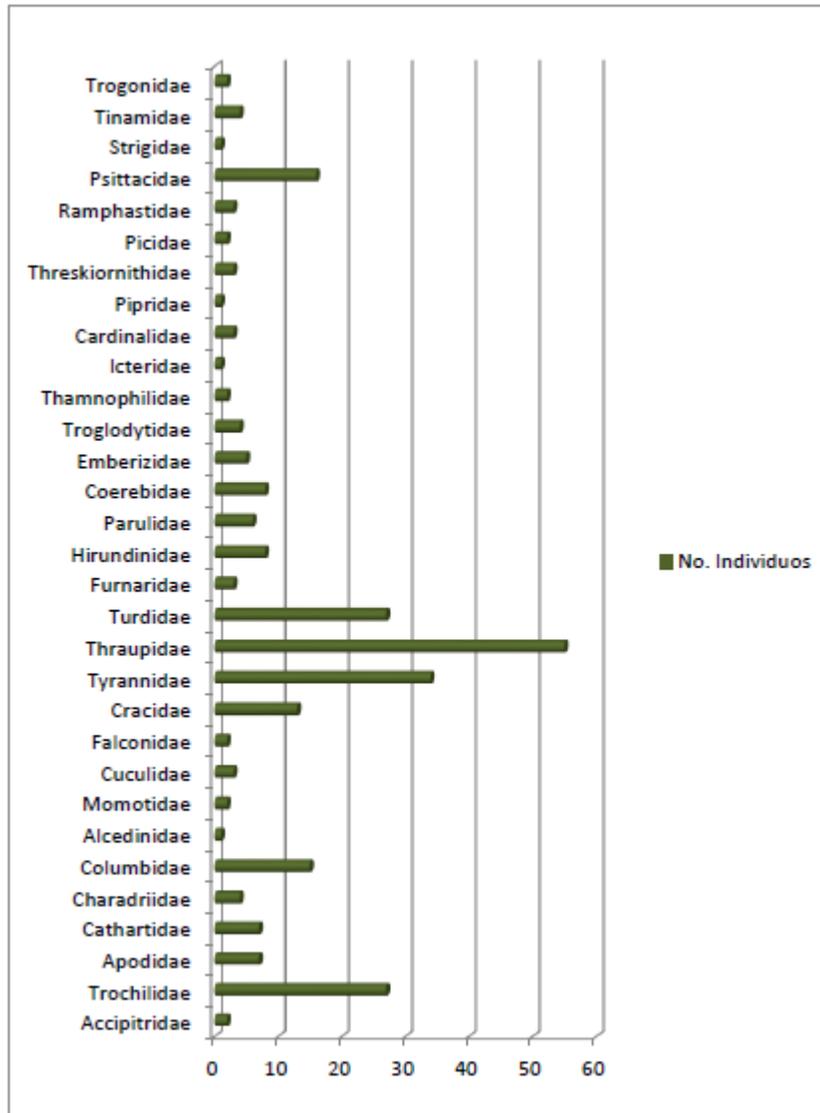
Así mismo, fue posible encontrar mediante la metodología de búsqueda de rastros, las huellas de un Guatín (*Dasyprocta punctata*) (Figura 2-8), el cual resulta ser un indicador de la presencia de roedores y animales que puedan consumir los frutos de los árboles implementados por medio de la restauración ecológica, pero aún más importante, su papel como dispersores de semillas en el ecosistema.

Figura 2-8. Huella de Guatín (*Dasyprocta punctata*)

### ➤ Avifauna

Se observó que el mayor número de individuos muestreados corresponde a la familia Thraupidae (55), seguido de Tyrannidae (34), Turdidae (27) y Trochilidae (27). Se registraron 31 familias con un total de 271 individuos para el grupo de aves (Figura 2-9).

Figura 2-9. Familias de fauna monitoreadas en el área de restauración ecológica



Un resultado importante durante el trabajo de campo fue el número de taxones alimentándose de una de las plantas más comunes en las coberturas y gradientes

altitudinales, se trata de la *Miconia minutiflora*; de esta manera el 57% de las aves que incluyen frutos en su dieta se alimentaron de ella (Figura 2-10). Así mismo, los frutos de Yarumo negro (*Cecropia angustifolia*) fueron una de las fuentes alimenticias más frecuentes en las áreas de restauración donde fue común encontrarla, por otro lado, el árbol Manzanillo (*Toxicodendrum striatum*) fue la segunda especie que las aves del área de estudio frecuentaban para su alimentación.

Figura 2-10. Tangara real (*Stilpnia cyanicollis*) alimentándose de *Miconia minutiflora*



Es por lo anterior que, realizando un análisis con los datos obtenidos en el 2019 cuando se llevó a cabo la caracterización del área de estudio, es posible observar un incremento en el número de familias y de individuos de avifauna observados en el 2023 (Tabla 2-3), esto debido a la riqueza brindada por la diversidad de individuos forestales y los servicios ecosistémicos que prestan a ese grupo, como, por ejemplo, el alimento.

Tabla 2-3. Comparación de familias: Avifauna observada en los años 2019 y 2023

Año	Familia	No. Individuos avistados
2019	20	180
2023	31	271

Por otra parte, luego de realizar los procesos de avistamientos de avifauna en relación con las especies forestales sembradas, se pudo evidenciar el anidamiento que se realiza a

partir de esta dinámica ecosistémica. Las especies forestales objeto de anidación por parte de la avifauna, fueron las que presentaron mayor abundancia, generando así un servicio ecosistémico de soporte (ver Tabla 2-4).

Tabla 2-4. Especies avifauna que anidan en individuos forestales procedentes de la RE

Familia	Especie de avifauna	Especie forestal objeto de anidamiento
Thraupidae (Tangaras)	<i>Tangara icterocephala</i> (Tángara cabecinegra)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adenantha bicolor (Piñón)</li> <li>• Samanea saman (Samán)</li> <li>• Miconia minutiflora (Arrayán)</li> <li>• Tabebuia rosea (Roble de sabana)</li> </ul>
	<i>Tangara cyanicollis</i> (Tángara dorsirrayada)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erythroxylum citrifolium (Chilco)</li> <li>• Mangifera indica (Mango)</li> <li>• Miconia minutiflora (Arrayán)</li> <li>• Tabebuia rosea (Roble de sabana)</li> </ul>
	<i>Stilpnia cyanicollis</i> (Tangara real)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erythroxylum citrifolium (Chilco)</li> <li>• Tabebuia rosea (Roble de sabana)</li> <li>• Mangifera indica (Mango)</li> <li>• Miconia minutiflora (Arrayán)</li> </ul>
Tyrannidae (Tiranidos)	<i>Tyrannus melancholicus</i> (Tirano tropical)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adenantha bicolor (Piñón)</li> <li>• Samanea saman (Samán)</li> <li>• Mangifera indica (Mango)</li> <li>• Tabebuia rosea (Roble de sabana)</li> </ul>
	<i>Pitangus sulphuratus</i> (Bienteveo común)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adenantha bicolor (Piñón)</li> <li>• Samanea saman (Samán)</li> <li>• Mangifera indica (Mango)</li> <li>• Tabebuia rosea (Roble de sabana)</li> </ul>
Turdidae (Turdos)	<i>Turdus grayi</i> (Zorzal pardo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clusia minor (Vainillo)</li> <li>• Mangifera indica (Mango)</li> <li>• Samanea saman (Samán)</li> <li>• Tabebuia rosea (Roble de sabana)</li> </ul>
	<i>Turdus fuscater</i> (Zorzal oscuro)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clusia minor (Vainillo)</li> <li>• Mangifera indica (Mango)</li> <li>• Samanea saman (Samán)</li> <li>• Tabebuia rosea (Roble de sabana)</li> </ul>
Columbidae (Palomas y tórtolas)	<i>Columba cayennensis</i> (Paloma perdiz)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ficus elastica (Higuerón)</li> <li>• Mangifera indica (Mango)</li> <li>• Samanea saman (Samán)</li> <li>• Miconia minutiflora (Arrayán)</li> </ul>
	<i>Zenaida auriculata</i> (Tórtola común)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ficus elastica (Higuerón)</li> <li>• Mangifera indica (Mango)</li> <li>• Samanea saman (Samán)</li> <li>• Miconia minutiflora (Arrayán)</li> </ul>

Psittacidae (Psitácidos)	<i>Brotogeris jugularis</i> (Perico frentinaranja)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adenanthera bicolor (Piñón)</li> <li>• Mangifera indica (Mango)</li> <li>• Samanea saman (Samán)</li> <li>• Tabebuia rosea (Roble de sabana)</li> </ul>
	<i>Aratinga holochlora</i> (Perico frentiamarillo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adenanthera bicolor (Piñón)</li> <li>• Mangifera indica (Mango)</li> <li>• Samanea saman (Samán)</li> <li>• Tabebuia rosea (Roble de sabana)</li> </ul>
Tinamidae (Tinamús)	<i>Tinamus major</i> (Tinamú mayor)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adenanthera bicolor (Piñón)</li> <li>• Ficus elastica (Higuerón)</li> <li>• Mangifera indica (Mango)</li> <li>• Samanea saman (Samán)</li> <li>• Tabebuia rosea (Roble de sabana)</li> </ul>
Cathartidae (Cóndores y buitres)	<i>Cathartes aura</i> (Jote cabecirrojo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alchornea grandiflora (Guaitil)</li> <li>• Guarea guidonia (Laurel)</li> <li>• Psidium guajava (Guayaba)</li> <li>• Sapindus saponaria (Jaboncillo)</li> </ul>
Momotidae (Momotos)	<i>Momotus momota</i> (Barranquero común)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clusia minor (Vainillo)</li> <li>• Mangifera indica (Mango)</li> <li>• Samanea saman (Samán)</li> <li>• Tabebuia rosea (Roble de sabana)</li> </ul>
Cuculidae (Cucos)	<i>Piaya cayana</i> (Cuclillo común)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Miconia minutiflora (Arrayán)</li> <li>• Mangifera indica (Mango)</li> <li>• Samanea saman (Samán)</li> <li>• Tabebuia rosea (Roble de sabana)</li> </ul>
Trochilidae (Colibríes)	<i>Coeligena torquata</i> (Colibrí cuellitorcido)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adenanthera bicolor (Piñón)</li> <li>• Eugenia florida (Moconia)</li> <li>• Miconia minutiflora (Arrayán)</li> <li>• Tabebuia rosea (Roble de sabana)</li> </ul>
	<i>Anthracothorax nigricollis</i> (Colibrí gorjinegro)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adenanthera bicolor (Piñón)</li> <li>• Eugenia florida (Moconia)</li> <li>• Miconia minutiflora (Arrayán)</li> <li>• Tabebuia rosea (Roble de sabana)</li> </ul>
Cracidae (Crácidos)	<i>Ortalis columbiana</i> (Pava andina)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clusia minor (Vainillo)</li> <li>• Mangifera indica (Mango)</li> <li>• Samanea saman (Samán)</li> <li>• Tabebuia rosea (Roble de sabana)</li> </ul>
	<i>Penelope perspicax</i> (Pava Caucana)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Miconia minutiflora (Arrayán)</li> <li>• Mangifera indica (Mango)</li> <li>• Samanea saman (Samán)</li> <li>• Tabebuia rosea (Roble de sabana)</li> </ul>

### 2.3.3 Análisis comparativo de parámetros previo y posterior a la ejecución de la restauración ecológica (RE)

Se encontraron diferencias notables entre las dinámicas, así como la presencia de flora y fauna previo a la ejecución de la RE (2019), y 4 años después. Los árboles han podido desarrollarse favorablemente, como, por el contrario, en algunos sitios se ha presentado mortalidad de individuos forestales siendo las especies Guayabo (*Psidium guajav*) y el Chocho (*Adenantha bicolor*) las que mayor número de individuos forestales muertos presentaron (ver *Figura 2-17. Especies de individuos forestales fallecidos por sitio en el marco de la RE*). De igual forma es importante resaltar que, estos parámetros obtenidos permiten analizar el estado de los SE en la actualidad, a partir de la relación que existe entre las especies seleccionadas para llevar a cabo la RE y la fauna que brinda soporte en cuanto a la dispersión de semillas, o en un sentido contrario, el refugio – hábitat que brindan los árboles a la avifauna y mastofauna, por ejemplo.

A partir de la restauración ecológica, se evidenció un fortalecimiento en estos servicios ecosistémicos, teniendo en cuenta lo evidenciado en la caracterización del área de estudios y los resultados del seguimiento empleado al desarrollo de los individuos forestales, como las dinámicas frente a la presencia de fauna en las áreas de RE (Tabla 2-5).

Tabla 2-5. Servicios ecosistémicos fortalecidos a partir de la implementación de la RE

Categoría del Servicio ecosistémico	Temática del servicio ecosistémico	Descripción del fortalecimiento esperado de los SE
Aprovisionamiento	Productos forestales no maderables	Los bosques restaurados pueden proporcionar productos como frutas, semillas, plantas medicinales. Entre otros productos importantes para las comunidades locales. (ver Tabla 2-6)
Soporte	Hábitat y biodiversidad	Proporciona hábitats adecuados para la flora y fauna nativa, promoviendo la biodiversidad y contribuyendo a la conservación de especies endémicas y en peligro de extinción. (ver Tabla 2-4)
	Dispersión de semillas por fauna	Contribuye al soporte al facilitar la regeneración natural del bosque al transportar semillas a nuevas áreas, promoviendo la diversidad y la salud del bosque. De igual forma, la dispersión de semillas por parte de la fauna también puede facilitar la restauración de especies vegetales nativas, ayudando a restablecer la composición original del bosque y mejorando su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos.

Categoría del Servicio ecosistémico	Temática del servicio ecosistémico	Descripción del fortalecimiento esperado de los SE
Cultural	Recreación y Turismo	Ofrece oportunidades para actividades recreativas, como senderismo, observación de aves y ecoturismo.

También es importante contemplar la composición florística a partir de los individuos con mayor abundancia, los cuales se contemplaron en la restauración ecológica y brindan un servicio ecosistémico de aprovisionamiento, tal como se evidencia en la Tabla 2-6.

Tabla 2-6. Servicio ecosistémico de aprovisionamiento brindados por parte de las especies forestales más abundantes sembradas dentro de la restauración ecológica

Especie Forestal	Forma de Aprovechamiento por parte de las comunidades
<i>Mangifera indica</i> (Mango):	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Alimentación: Los mangos son frutas deliciosas y nutritivas que se consumen crudas, en jugos, batidos, postres y conservas.</li> <li>➤ Medicinal: Algunas partes de la planta se utilizan en la medicina tradicional para tratar diversas dolencias.</li> </ul>
<i>Psidium guajava</i> (Guayaba):	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Alimentación: Las guayabas son frutas ricas en vitamina C que se consumen crudas, en jugos, mermeladas y postres.</li> <li>➤ Medicinal: Las hojas y la corteza se utilizan en infusiones para tratar diversos problemas de salud.</li> </ul>
<i>Sapindus saponaria</i> (Jaboncillo):	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Uso: Las nueces de jabón se utilizan tradicionalmente como detergente y limpiador natural</li> </ul>

	debido a su contenido de saponinas.
<i>Erythroxylum citrifolium</i> (Limoncillo):	➤ Medicinal: Se emplean partes de la planta en infusiones para tratar afecciones como la gripe y el resfriado.
<i>Cassia fistula</i> (Caña Fistula o Amor Amarillo):	➤ Medicinal: Las semillas se han utilizado en la medicina tradicional para tratar afecciones digestivas y como laxante suave.
<i>Ficus elastica</i> (Higuera de Caucho):	➤ Uso: La savia lechosa se ha utilizado históricamente para producir látex, y en algunas culturas, las hojas se utilizan para envolver alimentos.
<i>Aspidosperma spruceanum</i> (Pichoco):	➤ Medicinal: En algunas regiones, se utilizan extractos de la corteza con fines medicinales para tratar enfermedades respiratorias y como estimulante.

➤ **Desarrollo de los individuos forestales**

El crecimiento de los individuos forestales fue favorable, teniendo en cuenta las condiciones adversas con las que contaba el ecosistema previo al establecimiento de la RE (Tabla 2-7).

Tabla 2-7. Alturas promedio de individuos arbóreos por sitios de restauración (cm), los datos se presentan en (promedios  $\pm$  error estándar).

		<b>Altura Inicial</b>	<b>Altura Final</b>
<b>Sitio</b>	Admon	107.70 $\pm$ 18.48 <b>b</b>	188.47 $\pm$ 32.34 <b>b</b>
	Antena	115.84 $\pm$ 26.54 <b>b</b>	201.28 $\pm$ 40.95 <b>b</b>
	Charco	108.05 $\pm$ 17.05 <b>b</b>	189.08 $\pm$ 29.83 <b>b</b>
	Otoño	100.84 $\pm$ 18.39 <b>b</b>	176.47 $\pm$ 32.19 <b>b</b>
	Tanque	128.48 $\pm$ 29.99 <b>a</b>	223.74 $\pm$ 49.39 <b>a</b>

Los resultados de las pruebas pos hoc, permanova pair-wise test, se representan con letras ( $p(MC) < 0,05$ ).

La altura promedio de individuos arbóreos, presentó diferencias significativas por sitio ( $p(perm) = 0,0001$ ). Siendo mayores las alturas promedio iniciales  $128.48 \pm 29.99$  cm y finales  $223.74 \pm 49.39$  cm (promedio  $\pm$  error estándar), en el sitio denominado Tanque, seguido del sitio Antena, lo que indica condiciones más favorables para el desarrollo de los individuos arbóreos (ver Figura 2-11 - Figura 2-15).

Además, se obtuvo el promedio de altura por cada especie en cada uno de los sitios donde se llevó a cabo la RE, esto con el fin de compararlo con las alturas de siembra y conocer la dinámica de crecimiento en los últimos 4 años (ver Figura 2-11 - Figura 2-15).

Figura 2-11. Gráfico de crecimiento promedio por especie en el sitio de RE denominado “Charco”

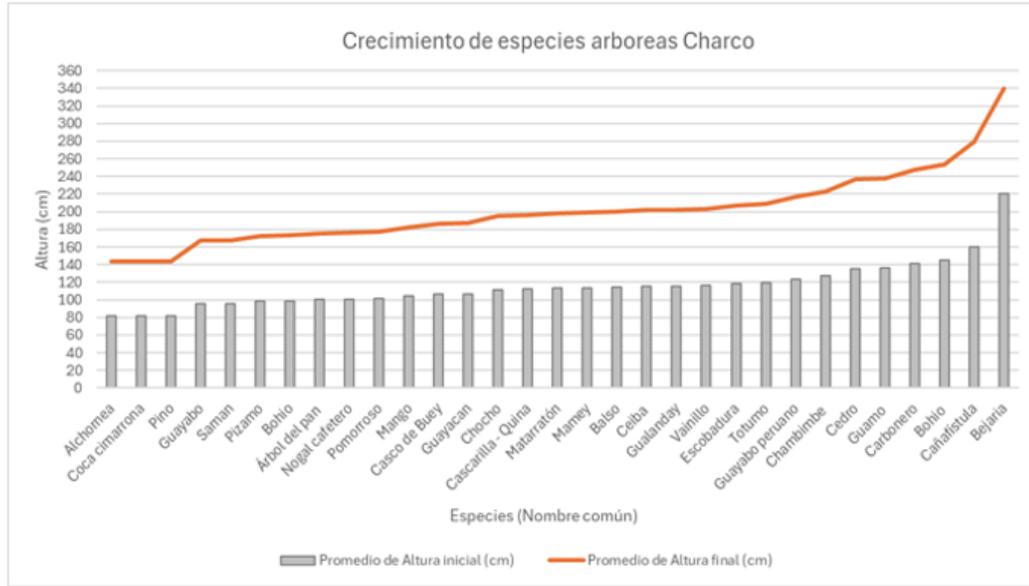


Figura 2-12. Gráfico de crecimiento promedio por especie en el sitio de RE denominado “Tanque”

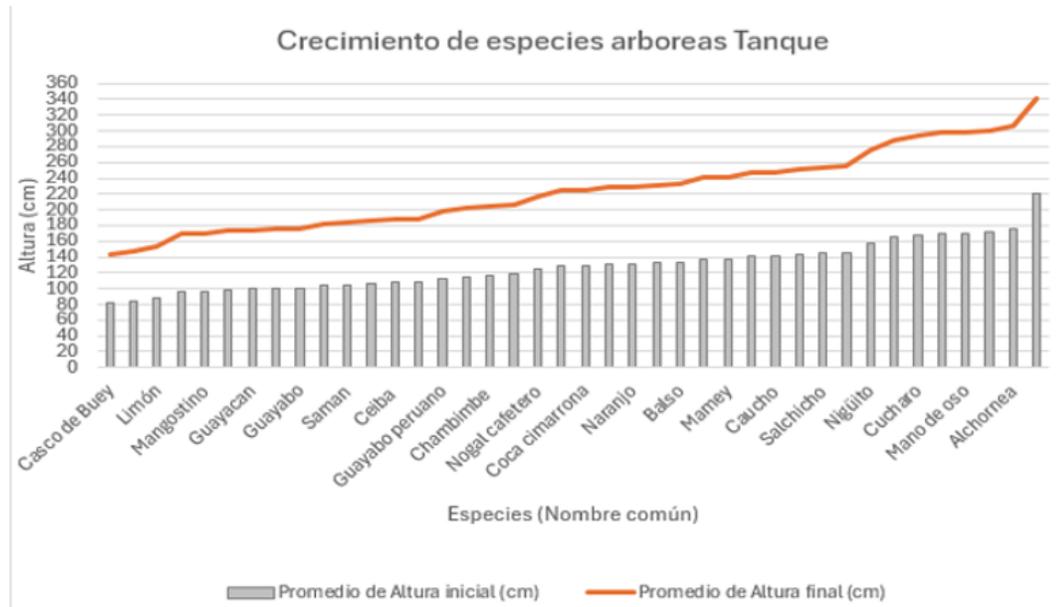


Figura 2-13. Gráfico de crecimiento promedio por especie en el sitio de RE denominado “Antena”

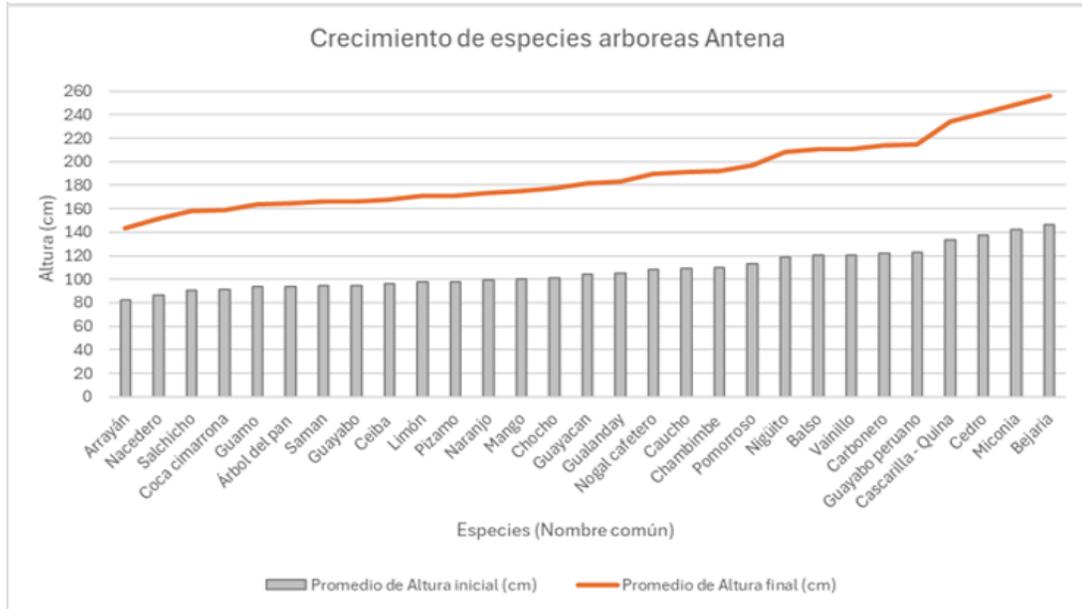


Figura 2-14. Gráfico de crecimiento promedio por especie en el sitio de RE denominado “Administración”

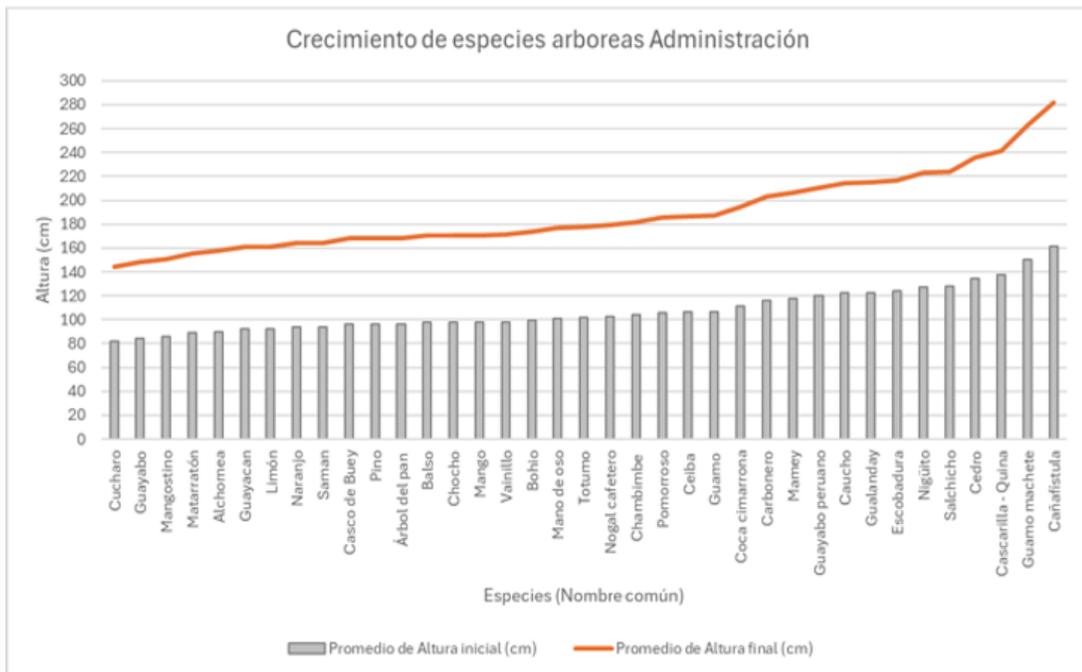
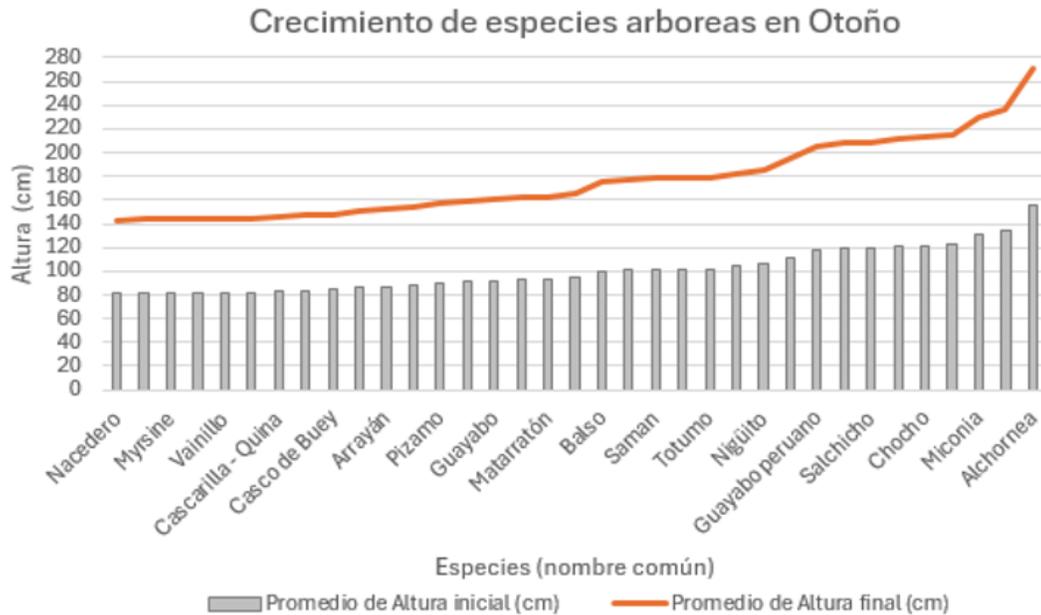


Figura 2-15. Gráfico de crecimiento promedio por especie en el sitio de RE denominado "Otoño"



De acuerdo con la Tabla 2-8, el sitio que presentó un mayor crecimiento promedio en los 4 años posteriores al establecimiento de los individuos forestales es Tanque, de igual forma en la Figura 2-12, se evidencia que la especie con mayor crecimiento fue Alchornea (*Alchornea grandiflora*), esta especie presentó el mismo comportamiento en el sitio Otoño Figura 2-15. Mientras que en Antena y Charco la especie con mayor crecimiento fue *Bejaria aestuans*, y por último en administración la especie Cañafístula (*Cassia fistula*) (ver Figura 2-11 y Figura 2-13).

Así mismo, en los cinco sitios de siembra se evidenció una especie que presentó un crecimiento considerable debido a las condiciones y características mismas de esta. La Ceiba (*Ceiba pentandra* (L.)), es una especie con la que se pudo determinar un crecimiento promedio del 62% en todos los sitios.

Por último, se evaluaron los índices de diversidad forestal en cada uno de los sitios donde se efectuó la RE (Tabla 2-8).

Tabla 2-8. Índices de diversidad de especies

ESTACIONES	RIQUEZA	INDICE SHANNON	INDICE SIMPSON
<b>Administración</b>	37	1,369	5.47E+01
<b>Antena</b>	29	1,143	9.44E+01
<b>Charco</b>	31	1,211	9.23E+01
<b>Otoño</b>	35	1,219	8.46E+01
<b>Tanque</b>	39	1,227	8.77E+01

De acuerdo a los resultados obtenidos, se evidencia que el sitio de restauración denominado Tanque presenta la mayor riqueza y diversidad de especies arbóreas en comparación con los otros sitios seleccionados para realizar la restauración. Donde se evidenciaron especies como el Saman (*Samanea saman*), Mano de Oso (*Oreopanax persursi Cuatrec.*), Alchornea (*Alchornea grandiflora*), las cuales resultan importantes debido a sus sistemas de raíces fuertes para estabilizar el suelo en áreas propensas a la erosión, tolerancia a condiciones de alta humedad y capacidad para competir por la luz solar en dosel forestal denso, además de alcanzar alturas aproximadas de 20 metros en estado adulto.

#### ➤ Tasa de Mortalidad

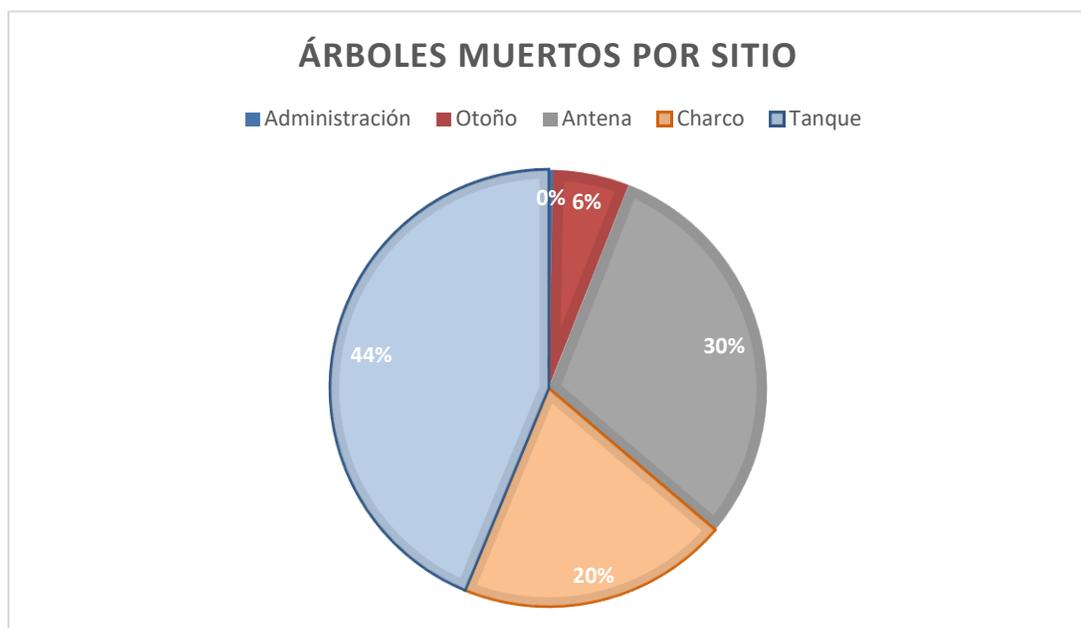
Se evidenció la muerte de algunos individuos forestales establecidos por medio de la RE, debido a factores ambientales, o en algunos casos, la competencia directa con el helecho marranero pudo afectar la supervivencia de algunos individuos (Tabla 2-9).

Tabla 2-9. Número de individuos muertos por sitio de siembra de la RE

Sitios Restaurados	No. Árboles
Administración	2
Antena	177
Charco	117
Otoño	33
Tanque	256
<b>TOTAL</b>	<b>585</b>

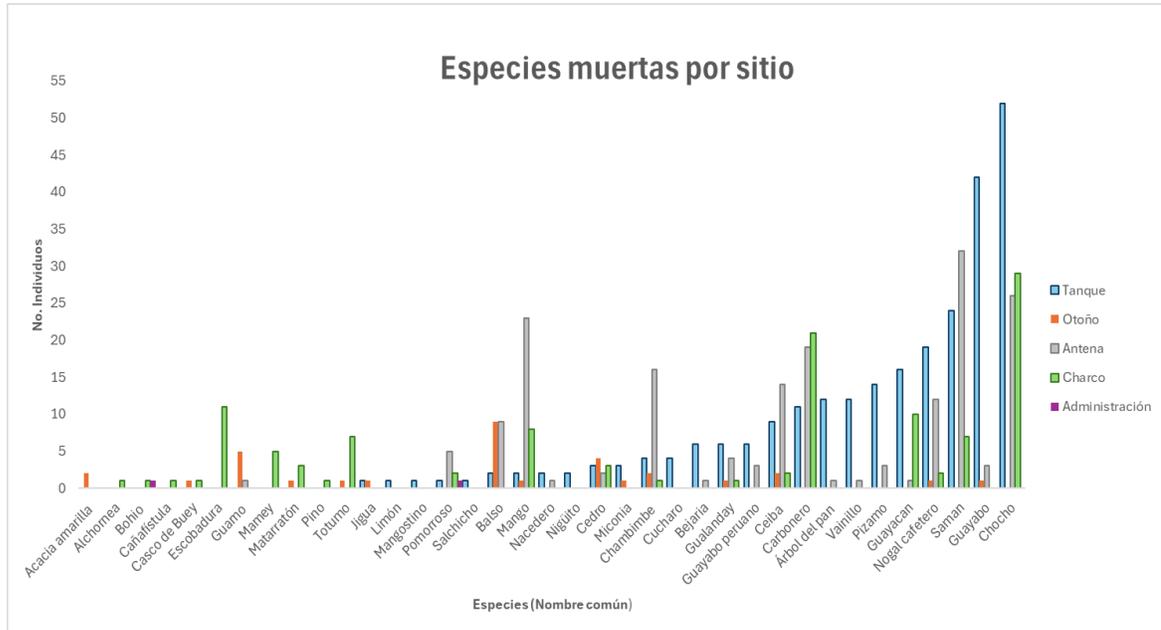
Es importante tener en cuenta que, el sitio de RE denominado “Tanque”, contó con un área mayor al resto de polígonos (11 Ha), así como también contó con el mayor número de árboles sembrados con 3196 individuos forestales, por lo que la tasa de mortalidad fue de un 12,5% respecto al total de árboles establecidos para este sitio. Esto debido a factores como la competencia entre individuos forestales, la presencia de helecho marranero e incluso la incidencia de la hormiga arriera en el tiempo.

Figura 2-16. Porcentajes de mortalidad por sitio de siembra de la RE



Se obtuvo un total de 585 individuos forestales muertos sumando todos los sitios. En los predios utilizados para la restauración se evidencia que el predio con menor porcentaje de muertes de individuos por especie forestal fue Administración, debido al poco número de especies sembradas en este polígono, seguido de otoño con 6%, y el sitio que más muertes de individuos arbóreos presentó durante los 4 años del proceso de restauración fue Tanque con un 44% (Figura 2-16).

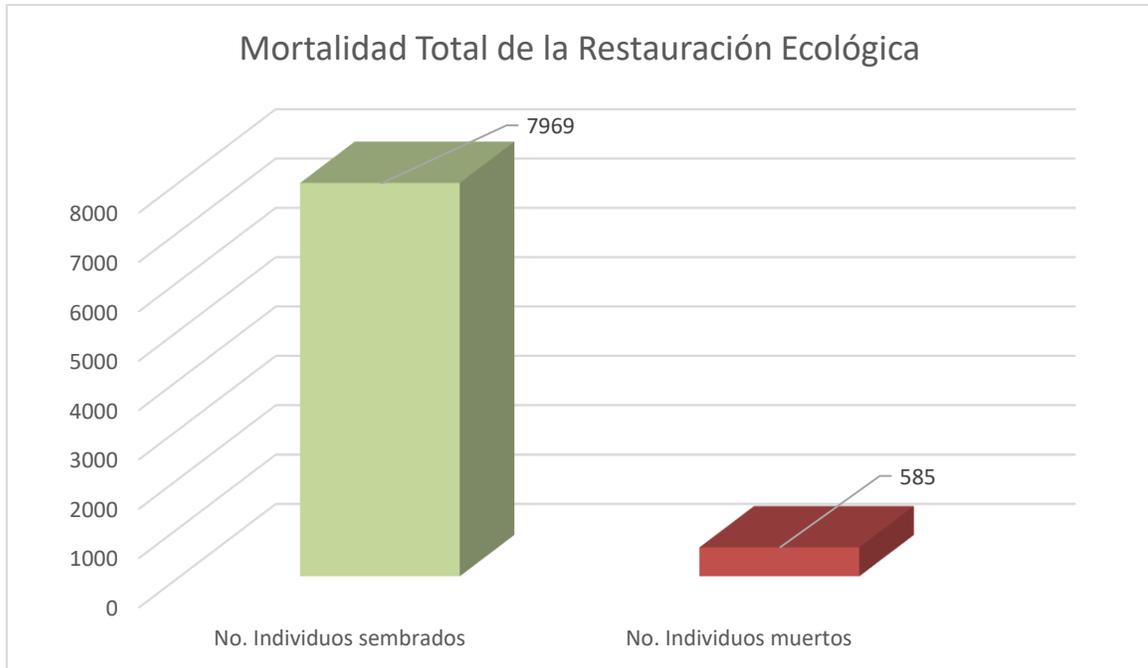
Figura 2-17. Especies de individuos forestales fallecidos por sitio en el marco de la RE



Según la Figura 2-17, la especie que menor número de individuos forestales muertos presentó durante el proceso de restauración fue la Alchornea (*Alchornea grandiflora*), debido a los mantenimientos que se realizaron, además de su capacidad de adaptación, debido a que las condiciones del suelo han ido mejorando y aumentando su material orgánico con el tiempo y gracias a la RE. Por otro lado, las especies que más individuos muertos presentaron fueron el Guayabo (*Psidium guajav*) y el Chocho (*Adenantha bicolor*).

De los 7969 individuos forestales establecidos, solo 585 resultaron muertos después de 4 años de sembrados, por lo que se puede establecer un porcentaje de mortalidad del 7,34%, tal como se muestra en la Figura 2-18.

Figura 2-18. Mortalidad total de individuos forestales establecidos en la RE



### 2.3.4 Análisis de los Servicios ecosistémicos asociados a la implementación de la RE

Se evidenció el consumo de frutas y semillas por parte de la avifauna, así como la mastofauna presente en los sitios de RE, demostrando así la relación estrecha que se tiene entre las especies forestales seleccionadas y la capacidad de la fauna del área de estudio para dispersar semillas, siendo esto un servicio ecosistémico de regulación. Adicional a lo anterior, se pudo evidenciar la presencia de nidos de aves establecidas en algunos individuos forestales, siendo esto un SE de soporte a razón del hábitat que brinda el bosque después de 4 años del establecimiento de la RE.

Las especies forestales seleccionadas brindan un beneficio para las comunidades que puedan hacer uso de sus frutos, ya sea como alimentación o buscando un uso medicinal, ya que uno de los objetivos de esta selección de especies no solo era la de atraer fauna para la propagación de semillas, sino también, brindar un beneficio adicional al contemplar especies que debido a la competitividad con el helecho marranero, no sería posible encontrar en el área de estudio previo a la restauración ecológica.

Así mismo, se comparó la riqueza ecosistémica del 2019 al 2023, evidenciando un incremento en el número de individuos y familias tanto de avifauna como de mastofauna avistadas, lo que indica claramente una mejor en el ecosistema, esto debido a las condiciones, las cuales pasaron de ser determinadas por el helecho marranero en un 100% del área de la parcelación chorro de plata, a un 46,6% gracias a las 32 hectareas recuperadas por medio de la restauración ecológica y con ello, el establecimiento de especies forestales estratégicas.

## 2.4 Discusión

### Ejecución de la restauración ecológica (RE)

Debido al 7.34%, de mortalidad de los árboles sembrados, la restauración ecológica resultó exitosa (Figura 2-18). Se considera que influyó el hecho de contemplar factores a favor, así como aquellos que podrían afectar considerablemente los individuos forestales establecidos, por competencia como es el caso del Helecho marranero (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn), o afectación directa como la Hormiga arriera (*Atta cephalotes*) los cuales fueron controlados previo a la ejecución de la RE.(Prisco-Pastrana, 2009; Akomolafe & Rahmad, 2018b; Valdez-Ramírez et al., 2020). El desarrollo de los individuos forestales dependió estrictamente de la capacidad de resiliencia de los individuos forestales ante la competitividad frente al Helecho marranero y la hormiga arriera (Guerra-Martínez et al., 2021), además de contemplar la acidez y presencia de concentraciones considerables de aluminio en el suelo.

Es así como, la selección de especies forestales enfocado en los SE que puedan brindar (Abouhamad et al., 2017), fue posible el establecimiento de individuos forestales que tuvieran la capacidad de atraer fauna que cumpliera funciones de polinización como abejas (Rodríguez et al., 2008) así como de dispersión de semillas por parte de mastofauna y avifauna reportada en el área de influencia (Smith-Ramírez & Armesto, 1998).

Según un estudio llevado a cabo en Perú (Cerrón et al., 2020), el éxito de la restauración se encuentra en el establecimiento de especies que generen mayor cantidad de semillas por individuo, con el fin de generar una dinámica de propagación efectiva por parte de la

fauna asociada. Por otro lado, un ejemplo importante de restauración ecológica en bosque seco tropical, se llevó a cabo en Costa Rica (Celentano et al., 2011), donde se garantizó la recuperación de las condiciones del suelo y se mejoró su fertilidad, a partir de la generación de material orgánico derivada de hojarasca en descomposición, por lo que se puede inferir que, debido al desarrollo de los árboles establecidos en la RE, el bosque cuenta con una mejor condición del suelo, lo cual propició el crecimiento de los individuos forestales. Esto último resulta importante ya que, en el estudio de Costa Rica, se presentaba un suelo con condiciones claras de acidez, se necesitó de un proceso de adecuación del suelo, como el contemplado en la restauración ecológica ejecutada en Chorro de Plata, en donde se implementó cal granular para garantizar la neutralización del pH (Espinosa, 1999).

### **Monitoreo de Fauna en las zonas de la restauración ecológica (RE)**

Frente al monitoreo de fauna (mastofauna y avifauna), es importante resaltar que, por medio de las jornadas de avistamiento, se evidenció la presencia del Mono nocturno (*Aotus lemurinus*), el cual se encuentra catalogado como Vulnerable (VU) de acuerdo con lo establecido por la Unión Internacional de la Conservación de la Naturaleza (IUCN). Esto es importante debido a que, por medio de la RE, se han acercado especies que no se evidenciaron previo a la ejecución de la RE (Henao-Isaza et al., 2020), debido a los SE que la RE presta a la fauna (Torres-Rodríguez et al., 2019). En cuanto a la avifauna existe una presencia predominante de familias de aves como la Tyrannidae, con especies dispersoras de semillas como el Atrapa moscas (*Myiarchus venezuelensis*), o de especies de otras familias como la Paloma aliblanca (*Columba Corensis*) y el Carpinterito castaño (*Picumnus cinnamomeu*), las cuales son de importancia debido al servicio ecosistémico relacionado con la dispersión de semillas (Wunderle, 1997; Howe & Miriti, 2004; González-Varo et al., 2015).

De acuerdo a un estudio llevado a cabo en la ciudad de Cali (Colombia), se identificaron aves que fortalecen los procesos de SE (Campos-Chaves, 2014), donde se reportaron especies similares a las encontradas una vez ejecutada la RE.

## **Análisis comparativo de parámetros previo y posterior a la ejecución de la restauración ecológica (RE)**

Resulta importante resaltar los trabajos de adecuación, encalado, erradicación de especies competitivas, fertilización y estabilización de las condiciones del suelo, así como el seguimiento de apoyo constante a las plántulas sembradas (Espinosa, 1999; E. Rivera, 2018; Valdez-Ramírez et al., 2020). Así pues, el estado de crecimiento de los individuos forestales dependerá de los cuidados que se tenga con la RE una vez establecida, tal como se planteó en un estudio en el Huila (Colombia), en donde se realizaban seguimientos y mantenimientos constantes, con el fin de evitar la pérdida de individuos forestales, o en su defecto, realizar el reemplazo de los individuos forestales fallecidos (Díaz-Triana et al., 2019).

Frente al desarrollo de individuos forestales, se pudo evidenciar en el inventario forestal así como en el seguimiento, monitoreo y mantenimiento, los árboles que después de cuatro (4) años ostentan alturas máximas promedio de 280 a 350 cm contemplados, esto debido a las especies forestales seleccionadas como también a los mantenimientos llevados a cabo (Guerra-Martínez et al., 2021). Una de las especies forestales importantes, establecidas en la RE es el Cedro (*Guarea guidonia*), una especie amenazada, la cual fue sembrada con el fin de conservarla y propagarla. Esto se realizó al igual que con otras especies, buscando un valor agregado de la RE, al tener capacidad de ser un banco de germoplasma (Niculcar et al., 2015). Del mismo modo, dentro de las especies establecidas en la RE también se encuentra la *Ceiba pentandra*, es una de las especies más grandes en la América tropical, la cual puede tener alturas promedio en estado adulto hasta de 70 m, con un diámetro a la altura del pecho de hasta 3 m (Caliri et al., 1993; Jauregui, 2016). Debido a esto se puede inferir que, gracias a su fisiología y características fenotípicas, esta especie cuenta con un crecimiento constante, y una favorable capacidad de adaptación al ecosistema una vez implementado un plan de restauración ecológica (Ballesteros-Correa et al., 2019). La *Ceiba pentandra*, es una de las especies seleccionadas dentro de los individuos forestales establecidos como cortafuego, debido a su rápido crecimiento y desarrollo (Caliri et al., 1993; Jauregui, 2016). Un estudio en Guatemala (Caballeros-Matas, 2020), llevó a cabo un proceso de RE, estableciendo diversas especies forestales,

pero resaltando la *Ceiba pentandra* como la de mayor importancia por su relevancia en el ecosistema.

En cuanto a la mortalidad presentada posterior al establecimiento de la RE, se contó con 585 individuos fallecidos de los 7969 sembrados, esto debido a factores como la presencia de la Hormiga arriera, la cual ha venido propagándose y expandiendo con el tiempo sus hormigueros, a pesar de los esfuerzos por controlarla y erradicarla debido a su alta tasa de crecimiento y propagación (Montoya Lerma et al., 2006; Prisco-Pastrana, 2009), o del Helecho marranero, debido a la competencia por nutrientes como también el espacio para el desarrollo de los árboles (Vetter, 2009). En un estudio llevado a cabo en Huila (Colombia), se establecieron las variables que pueden afectar una restauración ecológica, encontrando entre ellos la presencia de ganado, o especies competitivas que afectaron a los individuos forestales provocando su fallecimiento (Fajardo-Gutiérrez & González-Melo, 2019), por lo que, si bien se tomaron las medidas necesarias para evitar el fallecimiento, siempre existe un porcentaje de individuos que pueden verse afectados por factores como la competitividad, presencia de plagas, déficit de nutrientes, entre otros.

Por otro lado, el constante crecimiento y propagación del helecho marranero, impide el crecimiento y la prestación de SE por parte de especies forestales que pueden atraer polinizadores o fauna dispersora de semillas, como es el caso abordado en Veracruz (México), en donde dicha competitividad por parte del helecho impedía el correcto desarrollo de plántulas endémicas, evitando procesos de sucesión primaria de especies forestales, por lo que se debía controlar para buscar un equilibrio en el ecosistema (Aguilar-Dorantes, K., Mehlreter et al., 2014). Es así como, al contar con una mayor diversidad de individuos forestales, se puede afirmar que en el tiempo se verá reflejado el aumento de la presencia de fauna de interés, siempre y cuando se plantee la RE en función de esta selección estratégica de individuos forestales, como fue el caso de la microcuenca del río Barbas, Colombia (Roa García & Torres-González, 2021).

## **Análisis de los Servicios ecosistémicos asociados a la implementación de la RE**

Por último, se evidenció el fortalecimiento de los SE, debido a los beneficios brindados a partir del establecimiento de la RE, contemplando algunos como la dispersión de semillas por fauna, hábitat y biodiversidad, entre otras (Jauregui, 2016; Abouhamad et al., 2017; Zapata-Hoyos et al., 2020).

La restauración ecológica en un bosque seco tropical puede generar una variedad de servicios ecosistémicos que son fundamentales para el bienestar humano y la salud del medio ambiente. Cuando se implementa la RE en un bosque seco tropical no solo mejora la salud del ecosistema, sino que también fortalece la resiliencia de las comunidades locales al proporcionar una serie de servicios esenciales para su sustento y bienestar (Little & Lara, 2010; Abouhamad et al., 2017; Cárdenas-Camacho et al., 2021).

En cuanto a regulación después de hacer la adecuación del suelo, generará mayores nutrientes, mejorando la calidad del suelo, propiciando nuevas interacciones en el ecosistema, así como mejorar el paisaje de la zona (Celentano et al., 2011; Abouhamad et al., 2017).

El planteamiento estratégico de la RE, se enfoca en el fortalecimiento de los SE que contribuyan a dinámicas ecosistémicas benéficas para la fauna y los individuos forestales (Abouhamad et al., 2017), por lo que, después de analizar las condiciones del área de estudio se contemplaron los siguientes:

- Polinización (Servicio de polinización): Contribuye a la reproducción de plantas con flores, asegurando la producción de semillas y promoviendo la diversidad genética. Incluyendo la presencia de especies de orquídeas como la *Catasetum ochraceum*, la cual tiene un potencial para atraer abejas que a su vez contribuyen favorablemente a este servicio ecosistémico, tal como se plantea en el estudio realizado en La Voragine (Cali - Colombia), zona aledaña al área de estudio ubicada en Chorro de Plata (Zapata-Hoyos et al., 2020)
- Dispersión de semillas (SE de regeneración natural): Los animales ayudan en la dispersión de semillas, lo que contribuye a la regeneración de la vegetación y a la estructura del bosque, tal como ha sucedido con la presencia de

murciélagos y aves que cumplen con dicha función, evidenciado en estudios llevados a cabo en Ecuador (Zamora Delgado, 2008) y en Veracruz (México) respectivamente (González, 1998).

- Hábitat para la fauna (Servicio de soporte - hábitat): La diversidad de plantas proporciona hábitats esenciales para una amplia variedad de animales, apoyando su supervivencia y reproducción, como es referenciado en el estudio llevado a cabo en el departamento de Huila (Colombia), asociado a la estructuración de la hidroeléctrica “El Quimbo”, en donde a pesar de la intervención antrópica se pudo evidenciar la relación de la fauna y su adaptabilidad de la fauna frente a las áreas forestales no intervenidas, las cuales sirvieron como hogar o refugio de animales (Mina-Galeano & Palecia-Rivera, 2017).
- Recursos para las comunidades humanas: Servicios culturales y de provisión. Los bosques proporcionan recursos esenciales para las comunidades humanas, como madera, alimentos, plantas medicinales y servicios recreativos. El servicio ecosistémico de aprovisionamiento, en este caso, de la generación de productos forestales no maderables, resulta importante debido a los beneficios que se brindan, desde el alimento, materias primas, entre otros (McMurray et al., 2017). Dentro de los productos que pueden obtenerse de las especies forestales, se destacan las medicinas, las cuales han sido de gran importancia durante generaciones, sobre todo teniendo en cuenta los avances científicos sobre la evolución de estos productos (Robinson & Zhang, 2011).

Por otra parte, por medio de un estudio realizado en México (Castillo, A. et al., 2009), se establecieron las dificultades para contar con SE sostenibles, debido a las actividades antrópicas que lo afectan, caso contrario con la RE del presente estudio establecida en Chorro de Plata, debido a que es un área de protección y conservación de bosques, evitando actividades antrópicas que atenten contra los individuos de la RE. Por otro lado, el SE de polinización y dispersión de semillas, contribuye a la propagación de especies forestales, pero también a la expansión constante del bosque gracias a la fauna presente en la zona de restauración ecológica, lo que fortalece el bosque y permite la aparición de

especies forestales a partir de la sucesión primaria (Vargas & Mora, 2009; Fajardo-Gutiérrez & González-Melo, 2019; Guerra-Martínez et al., 2021).

## 2.5 Conclusiones y recomendaciones

- La presencia de nueva fauna y flora asegura la provisión de los SE. Se evidencia el fortalecimiento de los servicios ecosistémicos a partir de la presencia de nuevos individuos de fauna, la propagación de especies por medio de la polinización o de la dispersión de semillas por parte de la fauna asociada a las dinámicas ecosistémicas del bosque seco tropical y la recuperación de un área que se encontraba ocupada en su mayoría por el helecho marranero, sin que este brindara un valor agregado que permitiera la recuperación natural del bosque o la sucesión primaria de especies forestales.
- La mortalidad total de individuos después de 4 años de establecida la restauración ecológica, es de solo el 7,34%, lo que indica que la restauración fue exitosa y con el tiempo podrá seguir propagando su cobertura arbórea, consolidándose como un bosque seco tropical que incluye especies forestales de importancia ecosistémica.
- Los trabajos de adecuación, establecimiento y seguimiento fortalecen los SE y la recuperación de un ecosistema que históricamente se encontraba sometido debido a las quemadas y la ganadería extensiva, que demuestra que la restauración ecológica es una alternativa viable y favorable para la recuperación de ecosistemas afectados, donde su regeneración natural se dificulta por diversos factores.
- Se recomienda seguir realizando monitoreos y trabajos de caracterización, debido a que el bosque restaurado aún no se encuentra en una etapa adulta, y podría ser posible determinar otros parámetros que con el tiempo pueden llegar a ser más significativos frente al fortalecimiento de los SE.
- Se recomienda seguir realizando mantenimientos a los individuos forestales establecidos en la RE, debido a que aun presentan competencia directa con condiciones ambientales que pueden terminar afectando su desarrollo en el tiempo.

## 2.6 Referencias bibliográficas

- Abouhamad, S., Rojas Ramirez, M., Méndez Ramírez, J., Salazar Céspedes, K., & Salmerón Alpizar, A. (2017). Servicios ecosistémicos de regulación que benefician a la sociedad y su relación con la restauración ecológica. *Biocenosis*, 31(1–2), 80-92. <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/biocenosis/article/view/1731>
- Aguilar-Dorantes, K., Mehltreter, K., Vibrans, H., Mata-Rosas, M., & Esqueda-Esquivel, V. A. (2014). Repeated selective cutting controls Neotropical bracken (*Pteridium arachnoideum*) and restores abandoned pastures. *Invasive Plant Science and Management*, 7(4), 580-589
- Aguilar-Garavito, M. (2016). Fundamentos y consideraciones generales sobre restauración ecológica para Colombia. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*, 1(1), 147-176.
- Akomolafe, G., & Rahmad, Z. (2018). A review on global ferns invasions: mechanisms, management and control. *Journal of Research in Forestry, Wildlife and Environment*, 10(3), 42-54. <http://www.ajol.info/index.php/jrfwe>
- Albuquerque, L. B., Aquino, F. G., Costa, L. C., Miranda, Z. J. G., & Sousa, S. R. (2013). Espécies de Melastomataceae Juss. com potencial para restauração ecológica de mata ripária no cerrado. *Polibotânica*, 35, 1-19.
- Ballesteros-Correa, J., Morelo-García, L., & Pérez-Torres, J. (2019). Composition and vegetal structure of fragments of dry tropical forest in landscapes of extensive livestock farming under silvopastoral and conventional management in Córdoba, Colombia. *Caldasia*, 41(1), 224-234. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v41n1.71320>
- Baptiste, A. J., Macario, P. A., Islebe, G. A., Vargas-Larreta, B., Pool, L., Valdez-Hernández, M., & López-Martínez, J. O. (2019). Secondary succession under invasive species (*Pteridium aquilinum*) conditions in a seasonal dry tropical forest in southeastern Mexico. *PeerJ*, 2019(5), 1-16. <https://doi.org/10.7717/peerj.6974>
- Caballeros-Matas, M. L. (2020). Recomendaciones de manejo y enriquecimiento vegetal de la zona de bosque seco del Parque Regional Municipal Los Cerritos-El Portezuelo, Salamá, Baja Verapaz, Guatemala [Universidad del Valle de Guatemala]. <https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/3874>
- Caliri, G. J. A., Azevedo, C. P., Rossi, L. M. B., Leeuwen, J. Van, Souza, N. R., & Gomes, J. B. M. (1993). Caracterização do crescimento da sumaúma (*Ceiba pentandra*) sob diversas condições de plantio na Amazônia Central. III Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 1.

- Campos-Chaves, C. A. (2014). Determinación de la estructura de ensamblaje de aves en el ecosistema de bosque seco tropical, en áreas con antecedentes en incendios forestales en la cuenca media y baja del río Cali, Valle del Cauca, Colombia. In Universidad Autonoma de Occidente.
- Cárdenas-Camacho, S., D., W., G.-A., E., R.-R. J., & López-Camacho, R. (2021). Análisis participativo de servicios ecosistémicos en un área protegida del bosque seco tropical (bs-T), Colombia. *Colombia Forestal*, 123-156. <https://doi.org/https://doi.org/10.14483/2256201x.16548>
- Castillo, A., Godínez, C., Schroeder, N., Galicia, C., Pujadas-Botey, A., & Martínez Hernández, L. (2009). El bosque tropical seco en riesgo: conflictos entre uso agropecuario, desarrollo turístico y provisión de servicios ecosistémicos en la costa de Jalisco, México. *Interciencia*, 34(12), 844-850. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442009001200004](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009001200004)
- Celentano, D., Zahawi, R. A., Finegan, B., Casanoves, F., Ostertag, R., Cole, R. J., & Holl, K. D. (2011). Restauración ecológica de bosques tropicales en Costa Rica: Efecto de varios modelos en la producción, acumulación y descomposición de hojarasca. *Revista de Biología Tropical*, 59(3), 1323-1336. <https://doi.org/10.15517/rbt.v0i0.3402>
- Cerrón, J., Fremout, T., Rachel, A., Evert, T., & Jonathan, C. (2020). Experiencias de restauracion y fuentes semilleras en el bosque seco tropical del norte del Perú. *Ministerio Federal de Cooperacion Economica y Desarrollo*, 1, 1-65. [https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/103818/Cerron et al experiencias restauracion bosque seco 2020.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/103818/Cerron%20et%20al%20experiencias%20restauracion%20bosque%20seco%202020.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Contento, P. A. R. (2015). Patrones y procesos espaciales en poblaciones y comunidades vegetales: nuevas herramientas e hipótesis. Universidad Politécnica de Madrid.
- Cordero, J. (2003). Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Bib. Orton IICA/CATIE.
- Díaz-Triana, J. E., Torres-Rodríguez, S., Muñoz-P, L., & Avella-M., A. (2019). Monitoreo de la restauración ecológica en un bosque seco tropical interandino (Huila, Colombia): programa y resultados preliminares. *Caldasia*, 41(1), 60-77. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v41n1.71318>
- Encino-Ruiz, L., Lindig-Cisneros, R., Gómez-Romero, M., & Blanco-García, A. (2013). Desempeño de tres especies arbóreas del bosque tropical caducifolio en un ensayo de restauración ecológica. *Botanical Sciences*, 91(1), 107-114. <https://doi.org/10.17129/botsci.406>

- Espinosa, J. (1999). Acidez y Encaldao de los suelos. International Plant Nutrition Institute., 345. [http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/libros/Acidez y encalado de suelos, libro por J Espinosa y E Molina.pdf](http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/libros/Acidez_y_encalado_de_suelos_libro_por_J_Espinosa_y_E_Molina.pdf)
- Fajardo-Gutiérrez, F., & González-Melo, A. (2019). Patrones de sucesión secundaria en un bosque seco tropical interandino de Colombia: implicaciones para la restauración ecológica. 41(1), 12-27. <https://doi.org/10.15446/caldas.v41n1.65859>. Recibido
- Frías Romero, A. K., & Giselle, F. C. N. (2021). Caracterización de recursos florales aprovechados por colibríes en una gradiente de disturbio en bosques montanos del cantón de Cuenca (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
- González-Molina, H. Z., Trilleras, J. M., Pyszczek, O. L., & Romero-Duque, L. P. (2022). Restauración ecológica participativa y servicios ecosistémicos culturales: una relación necesaria. *Acta Botanica Mexicana*, (129). <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1929>
- González-Varo, J. P., L., F., J. M., Guitián, J., V. J., L.-B., & Suárez-Esteban A. (2015). Frugivoría y dispersión de semillas por mamíferos carnívoros: rasgos funcionales. 24(3), 43-50.
- Guerra-Martínez, F., García-Romero, A., Martínez-Morales, M. Á., & López-García, J. (2021). Resiliencia ecológica del bosque tropical seco: recuperación de su estructura, composición y diversidad en Tehuantepec, Oaxaca. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 92(0). <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3422>
- González, J. G. (1998). Dispersión de semillas por murciélagos: su importancia en la conservación y regeneración del bosque tropical. *Acta Zoológica Mexicana* (ns), (73), 57-74.
- Hasnat, G. T., & Hossain, M. K. (2020). Global overview of tropical dry forests. *Handbook of Research on the Conservation and Restoration of Tropical Dry Forests*, 1-23. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-0014-9.ch001>
- Henao-Isaza, J. R., Payán-Montoya, J. E., López-Barrera, A. M., Grajales-Suaza, E., Villa-Ramírez, J. J., & Betancourt-Torres, J. M. (2020). Inventario de mamíferos no voladores en Remanentes de bosque seco tropical en el valle del río Cauca, Cartago, Colombia. *Mammalogy Notes*, 6(2), 144. <https://doi.org/10.47603/mano.v6n2.144>
- Holl, K. D., & Aide, T. M. (2011). When and where to actively restore ecosystems? *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1558-1563. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.07.004>
- Howe, H. F., & Miriti, M. N. (2004). When seed dispersal matters. *BioScience*, 54(7), 651-660. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0651:WSDM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0651:WSDM]2.0.CO;2)

- Hoyos, J. S. H., Figueroa, C. J. M., Morales, D. A. A., Benítez, O. J. V., Machado, F. L., & Ospina, J. T. O. (2020). Estructura poblacional y agentes polinizadores de *Catasetum ochraceum* en los farallones de la cordillera occidental (La Vorágine, Colombia). *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 16(2), 31-40. <https://doi.org/10.18359/rfcb.5098>
- Jauregui, K. (2016). Ecuaciones alométricas para estimar volumen y biomasa aérea de *Enterolobium cyclocarpum* y *Ceiba pentandra* en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras. 33. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5731/1/IAD-2016-T022.pdf>
- Little, C., & Lara, A. (2010). Restauración ecológica para aumentar la provisión de agua como un servicio ecosistémico en cuencas forestales del centro-sur de Chile. *Bosque (Valdivia)*, 31(3), 175-178. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002010000300001>
- López, R. D., & García Guzmán, G. A. (2002). Composición florística y estructural de las especies arbóreas en el bosque seco secundario de la finca " Santa Ana" [Universidad Nacional Agraria de Nicaragua]. <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/1015>
- McMurray, A., Casarim, F., Bernal, B., Pearson, T., & Sidman., G. (2017). Los servicios ecosistémicos de los bosques tropicales. Ministerio de Medio Ambiente y Conservación de La Fauna de Alemania, 1-25. <https://www.winrock.org/wp-content/uploads/2018/02/Marco-servicios-ecosistemicos-28122917.pdf>
- Miles, L., Newton, A. C., DeFries, R. S., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., & Gordon, J. E. (2006). A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*, 33(3), 491-505. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01424.x>
- Mina Galeano, M. F., & Palencia Rivera, J. D. (2017). Transformación del bosque seco tropical y del servicio ecosistémico de apoyo" habitat para especies" en los municipios pertenecientes a la jurisdicción de la hidroeléctrica el Quimbo (Huila, Colombia) durante los años 2000 y 2016.
- Montes-Hernández, A. F. (2017). El ají dulce (*Capsicum annuum*) como alternativa de producción agrícola sostenible en el corregimiento de Caracol–Toluviejo, departamento de Sucre. [Universidad de La Salle]. [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1025&context=ingenieria\\_agronomica](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1025&context=ingenieria_agronomica)
- Montoya Lerma, J., Chacón de Ulloa, P., & Manzano, R. (2006). Caracterización de nidos de la hormiga arriera *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Myrmicinae) en Cali (Colombia). *Revista Colombiana de Entomología*. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcen/v32n2/v32n2a08.pdf>

- Niculcar, R., Latorre, K., & Vidal, O. J. (2015). Conservación ex situ plantas en el banco de germoplasma SAG-Magallanes: Una herramienta para la restauración ecológica. In *Anales Del Instituto de La Patagonia*, 43(1), 109-113. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-686X2015000100008>
- Pérez, N. (2017). Desarrollo rural y movilización social en la zona rural de la Subcuenca del Río Pance (Cali, Colombia). *Revista CS*, 21, 69. <https://doi.org/10.18046/recs.i21.2273>
- Portillo-Quintero, C. A., & Sánchez-Azofeifa, G. A. (2010). Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. *Biological Conservation*, 143(1), 144-155. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.09.020>
- Prisco-Pastrana, J. A. (2009). Bases ecológicas y biológicas para el manejo de la hormiga arriera (*Atta spp.*). <http://hdl.handle.net/20.500.12249/3550>
- Ramirez-Gonzalez, D. F. (2023). Efecto de factores antrópicos en la ocurrencia de incendios del bosque seco tropical de la cuenca alta del río Magdalena. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/25165>
- Renjifo, L. M. (1999). Composition changes in a subandean avifauna after long-term forest fragmentation. In *Conservation biology* (pp. 13(5), 1124-1139.). <https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.98311.x>
- Rivera, E. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas pH as a growth factor in plants. 4, 101-105.
- Roa-García, C. E., & Torres-González, A. M. (2021). Caracterización florística y estructural como línea de base para la restauración ecológica de bosques en la microcuenca del río Barbas, Colombia. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 45(174), 190-207
- Robinson, M. M., & Zhang, X. (2011). The world medicines situation 2011, traditional medicines: Global situation, issues and challenges. World Health Organization, Geneva, 1-2.
- Rodríguez, S., Manrique, A., & Velásquez, M. (2008). Diversidad de la comunidad de abejas sin aguijón (Hymenoptera: Apidae: Meliponina) en bosque seco tropical en Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 26(4), 523-530. <https://ve.scielo.org/pdf/zt/v26n4/art12.pdf>
- Smith-Ramírez, C., & Armesto, J. J. (1998). Nectarivoría y polinización por aves en *Embothrium coccineum* (Proteaceae) en el bosque templado del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 71, 51-63.

- Somerfield, P. J., Clarke, K. R., & Gorley, R. N. (2021). Analysis of similarities (ANOSIM) for 2-way layouts using a generalised ANOSIM statistic, with comparative notes on Permutational Multivariate Analysis of Variance (PERMANOVA). *Austral Ecology*, 46(6), 911-926.
- Torres-Rodríguez, S., Díaz-Triana, J. E., Villota, A., & Gómez, W. (2019). Diagnóstico ecológico, formulación e implementación de estrategias para la restauración de un bosque seco tropical interandino (Huila , Colombia ). *Caldasia*, 41(1), 42-59. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v41n1.71275>. Recibido
- Valdez-Ramírez, C., Levy-Tacher, S. I., León-Martínez, N. S., Navarrete-Gutiérrez, D. A., & Ortiz-Ceballos, Á. I. (2020). Cambios químicos y biológicos del suelo provocados por *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn en áreas de influencia de la reserva de la biosfera de Calakmul, Campeche. *Revista Terra Latinoamericana*, 38(2), 289-300. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.464>
- Vargas, & Mora. (2009). La restauracion ecologica en su contexto. Society for Ecological Restoration.
- Vetter, J. (2009). A biological hazard of our age: Bracken fern [*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn]—A review. In *Acta Veterinaria Hungarica* (pp. 183-196). <https://doi.org/https://doi.org/10.1556/avet.57.2009.1.18>
- Wunderle, J. M. (1997). The role of animal seed dispersal in accelerating native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management*, 99(1-2), 223-235. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00208-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00208-9)
- Zamora Delgado, J. L. (2008). Dispersión de semillas por aves y murciélagos frugívoros en claros naturales del bosque montano en la estribación suroriental de los Andes del Ecuador (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
- Zapata Hoyos, J. S., Figueroa, C. J. M., Morales, D. A. A., Benítez, Ó. J. V., Machado, F. L., & Otero Ospina, J. T. (2020). Estructura poblacional y agentes polinizadores de *Catasetum ochraceum* en los farallones de la Cordillera Occidental (La Vorágine, Colombia). *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, 16(2), 31-40.