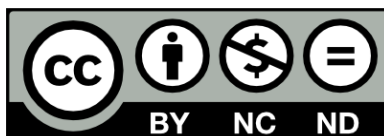


DISEÑO Y ESTABLECIMIENTO PILOTO DE NÚCLEOS DE VEGETACIÓN NATIVA
PARA RECUPERACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS EN UN TRAMO DEL RÍO
GUAMAL, SAN CARLOS DE GUAROA – META



JULIÁN DAVID GALEANO GALEANO



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2019

DISEÑO Y ESTABLECIMIENTO PILOTO DE NÚCLEOS DE VEGETACIÓN NATIVA
PARA RECUPERACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS EN UN TRAMO DEL RÍO
GUAMAL, SAN CARLOS DE GUAROA – META

JULIÁN DAVID GALEANO GALEANO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director

RODRIGO ISAAC VELOSA CAICEDO

Biólogo, MSc.

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2019

Autoridades académicas

P. JUAN UBALDO LÓPEZ SALAMACA, O. P
Rector General

P. MAURICIO ANTONIO CORTÉS GALLEGO, O.P
Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ARTURO RESTREPO RESTREPO, O.P
Rector Sede Villavicencio

P. FERNANDO CAJICÁ GAMBOA, O.P.
Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN
Secretaria de División Sede Villavicencio

YESICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN
Decana Facultad de Ingeniería Ambiental

Nota De Aceptación

YESICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana de Facultad

RODRIGO ISAAC VELOSA CAICEDO

Director Trabajo de Grado

CESAR AUGUSTO RIVEROS ROMERO

Jurado

JAIR BURGOS CONTENTO

Jurado

Villavicencio, marzo 2019

Dedicatoria

Doy gracias a DIOS por darme la vida, la sabiduría y la oportunidad de terminar mi carrera. A la fe de mi madre, por su apoyo incondicional en la vida para ser una persona de bien y luchar para lograr todos mis propósitos. Madre, recibe este triunfo como muestra de mi agradecimiento. A mi padre por su esfuerzo y ayuda en todo momento, a mis abuelitos gran ejemplo para mi vida, a mi compañera de vida Erika, por su constante apoyo.

Julián David Galeano

Agradecimientos

A mi asesor Rodrigo Isaac Velosa Caicedo por haber confiado en mí para la realización de este Proyecto. También por sus recomendaciones, asesoramiento, consejos, apoyo, compañía, conocimiento, etc., que siempre fueron de gran validez en mi desarrollo personal y profesional.

A mis queridos amigos Paola y Fredy que me han apoyado en este proceso y a todos mis compañeros y amigos de clases y a todas aquellas personas que de alguna u otra manera contribuyeron a la realización de este proyecto.

Por último y no menos importante, a los Profesores que me han visto crecer como persona, y gracias a sus conocimientos hoy puedo sentirme dichoso y contento.

Julián David Galeano

Tabla de Contenido

Introducción	14
1. Planteamiento del Problema.....	16
1.1 Descripción del problema.....	16
1.2 Formulación del Problema.....	17
2. 2. Objetivos	18
2.1. Objetivo general.	18
2.2. . Objetivos específicos.....	18
3. Justificación	19
4. Alcance	20
5. Fundamentación teórica	22
5.1. Antecedentes.	22
5.2 Marco de referencia.....	24
5.2.1 Marco teórico.	24
5.2.2 Marco conceptual.	27
5.2.3. Marco legal.....	31
6. Procesamiento metodológico	33
6.1. Fase 1. Diagnóstico de la situación actual.	34
6.1.1. Reconocimiento del área a intervenir.....	34
6.2. Fase 2: Método de selección, muestreo, diseño e implementación.....	34
6.2.1 Muestreo.....	34
6.2.2. Diseño de los módulos de nucleación.	35
6.2.3. Instalación de las perchas.....	37
6.3. Fase 3: Adecuación del terreno.....	37

6.3.1. Preparación del terreno a intervenir.	37
6.3.2. Trazado.....	37
6.3.3. Ahoyado.	38
6.3.4. Preparaciones para la siembra de las plántulas.	39
6.4. Fase 4: Monitoreo.	40
6.4.1. Monitoreo de la nucleación.	40
6.4.2. Análisis de datos.....	41
7. Resultados - Análisis.....	42
7.1. Descripción del ecosistema de referencia.	42
7.1.1. Composición y estructura de la vegetación.....	42
7.2. Diversidad Alfa.....	47
7.3. Diversidad Beta.....	50
7.4. Diseño de módulos de nucleación implementado.....	51
7.5. Monitoreo parcial de los núcleos de vegetación establecidos	56
7.5.1. Actividades desarrolladas con la comunidad.	56
7.5.2. Seguimiento a la plantación.	58
8. Conclusiones	61
9. Discusión de resultados y Recomendaciones	63
10. Referencias Bibliográficas	66
11. Anexos.....	73

Listado de Figuras

Figura 1. Ubicación espacial de área de disturbio y del ecosistema de referencia para la restauración del área disturbada.	21
Figura 2. Diseño de los transectos utilizados para el muestreo de la vegetación..	35
Figura 3. Vista de planta de módulos de restauración multiestrato (arbóreo-subarbóreo-arbustivo), con perchas artificiales entre módulos, zona riparia del río Guamal	35
Figura 4. Trazado de los hoyos para la plantación según diseño y arreglos florísticos.....	38
Figura 5. Esquema de ahoyado para sembrar las plántulas seleccionadas	38
Figura 6. Familias con mayor riqueza acumulada de especies de plantas registradas en 10 transectos del ecosistema de referencia	42
Figura 7. Variación del número acumulado de familias y de especies de plantas discriminada por transecto de estudio del ecosistema de referencia.....	43
Figura 8. Variación en las abundancias de especies de plantas en 10 transectos de estudio del ecosistema de referencia	43
Figura 9. Curvas de rarefacción del número esperado de especies versus tamaño de la muestra, para diez 10 diferentes transectos perpendiculares al cauce del río en áreas de ribera del ecosistema de referencia.....	48
Figura 10. Curvas Rango-Abundancia para 10 diferentes transectos perpendiculares al cauce del río en áreas del ecosistema de referencia.....	49
Figura 11. Dendrograma de análisis de similitud (Bray Curtis, Group Average Link) de las comunidades de plantas arbustivas y arbóreas en zonas de ronda del ecosistema de referencia	500
Figura 12. Plano de distribución de los módulos de nucleación y perchas de aves en un predio con proceso de restauración activo de 1 ha en extensión se traslapo sobre la imagen satelital de este año, para la identificación de las especies ver tabla anterior.	53
Figura 13. Especies de plántulas usadas para ambos diseños florísticos ubicados en los núcleos concéntricos en la plantación de área disturbada.....	54
Figura 14. Vista superior: Diseño y ubicación de las plántulas en los núcleos concéntricos en la plantación en el área disturbada.....	54
Figura 15. Perfil de las plántulas en los núcleos concéntricos en la plantación en el área disturbada	55

Figura 16. Variación en el porcentaje de mortalidad de especies en los núcleos de restauración establecidos en un predio de 1 ha de extensión.	58
Figura 17. Porcentaje de reposición de especies.....	59
Figura 18. Porcentual de reposición de especies al ecosistema con disturbio.	60
Figura 19. Porcentual de reposición de especies al ecosistema con disturbio.	60

Listado de Tablas

Tabla 1. Coordenadas de localización del área de disturbio y del ecosistema de referencia para la restauración del área disturbada.....	20
Tabla 2. Normatividad legal vigente en Colombia.	31
Tabla 3. Fechas programadas para el desarrollo del proyecto.	34
Tabla 4. Distribución del ahoyado en la parcela a rehabilitar.....	39
Tabla 5. Tipo de hábito de crecimiento y forma de dispersión de las especies de plantas registradas en diez (10) transectos del ecosistema de referencia.	44
Tabla 6. Diversidad alfa de la comunidad de plantas arbustivas-arbóreas del ecosistema de referencia en la zona de ribera del río Guamal.	47
Tabla 7. Especies dominantes en el ecosistema de referencia discriminadas por hábito de crecimiento.....	51
Tabla 8. Especies de plantas dominantes en zona de borde ripario según su fase sucesional	511
Tabla 9. Especies utilizadas para la conformación del arreglo florístico No. 1.....	52
Tabla 10. Especies utilizadas para la conformación del arreglo florístico No. 2.....	53
Tabla 11. Distribución de las cantidades utilizadas para el establecimiento en campo de los núcleos de restauración activa en un área de 1 ha.....	56
Tabla 12. Actividades ejecutadas con la comunidad durante el periodo del proyecto.	57

Tabla de Anexos

Anexo 1. Actas de socialización.	73
Anexo 2. Eliminación de malezas (Labrado de Conservación).....	78
Anexo 3. Trazado de puntos para realizar hoyos para la siembra y las perchas artificiales.	78
Anexo 4. Hoyos con medidas 40 x 30 cm	78
Anexo 5. Especies selectas en el proceso de restauración.; plántulas recolectadas en campo	79
Anexo 6. (a) Fertilizante Orgánico Mineral Solaid Compost. (b) Cal Dolomita.	79
Anexo 7. (a) Siembra de plántulas; (b) Plántula sembrada; (c) Núcleo formado.	79
Anexo 8. Distribución de las abundancias de 50 especies de plantas en 10 transectos de muestreo del ecosistema de referencia.	80
Anexo 9. Ficha técnica de especies seleccionadas plantadas en el ecosistema con disturbio..	83
Anexo 10. Planilla de seguimiento y control del promedio de comportamiento de 800 individuos sembrados.	90
Anexo 11. Planilla de mantenimiento promedio de 800 individuos sembrados.....	96
Anexo 12. Mantenimiento en el ecosistema de intervenido en fechas planteadas.	101
Anexo 13. Actas de desarrollo de actividad con la comunidad	102

Resumen

El municipio de San Carlos de Guaroa, Meta presenta impactos sobre el medio ambiente debido principalmente a las actividades agrícolas que allí se desarrollan. Tales actividades han generado la remoción de la cobertura vegetal para el sistema de siembra y cosecha de cultivos de palma, incluyendo la adecuación de terrenos en zonas ribereñas, donde son intervenidos los ecosistemas debido a la riqueza de nutrientes presentes en el suelo para el crecimiento de las plantas. En este proyecto se llevó a cabo la recuperación de un tramo en la orilla del río Guamal, aplicando la metodología de establecimiento de núcleos de vegetación nativa en anillos concéntricos, en un área de 1 ha de vegetación de ribera disturbada. Las especies seleccionadas durante el muestreo fueron identificadas a partir del ecosistema de referencia con el objetivo de la conformación de núcleos con arreglos florísticos específicos; adicionalmente, se promovió la participación comunitaria durante todo el proceso.

Para el establecimiento del ecosistema de referencia se delinearon y establecieron diez (10) transectos de 50 x 2 m – transectos Gentry; en cada uno de ellos se registraron todas las especies y sus respectivas abundancias. En total se registraron 2.649 individuos pertenecientes a 51 especies, se realizó un análisis de similitud en la composición y distribución de las abundancias en los transectos con el objeto de servir como base para la conformación de los arreglos florísticos – diseño de la nucleación. En el predio intervenido se dispusieron dos (2) tipos de diseños florísticos que se alternaron cada uno; en total se plantaron 800 individuos agrupados en 11 especies; igualmente se instalaron 26 perchas artificiales para aves distribuidas en medio de los núcleos, con el objeto de facilitar la dispersión de semillas y contribuir a la recuperación del área. El aumento de las poblaciones de especies típicas de vegetación nativa en dicha zona y el incremento de su cobertura forestal, fueron las primeras señales del proceso de rehabilitación. Por otra parte, se logró la participación activa de la comunidad en las diferentes etapas del proceso acompañada de una socialización de los avances con personal de la alcaldía y líderes del municipio.

Palabras claves: Rehabilitación, nucleación, vegetación de ribera, río Guamal.

Abstract

The Municipality of San Carlos de Guaroa, Meta presents impacts on the environment mainly due to the agricultural activities that develop there. Such activities have generated the removal of plant cover for the planting and harvesting system of palm crops, including the adequacy of land in riparian areas, where ecosystems are intervened due to the richness of nutrients present in the Soil for plant growth. In this project was carried out the recovery of a stretch on the shore of river Guamal, applying the methodology of establishment of cores of native vegetation in concentric rings, in one hectare of riverside vegetation disturbed. The species selected during the sampling were identified from the reference ecosystem with the objective of the conformation of nuclei with specific floristic arrangements; in addition, community participation was promoted throughout the process.

For the establishment of the reference ecosystem, ten (10) Transects of 50 x 2 m – Gentry transects were delineated and established; In each of them were recorded all the species and their respective abundances. In Total, 2,649 individuals belonging to 51 species were registered, an analysis of similarity was carried out in the composition and distribution of the abundances in the transects in order to serve as a basis for the conformation of the floristic arrangements – design of the nucleation.

In the venue intervened were arranged two (2) types of layouts flora that alternated each; in total planted 800 individuals grouped in 12 species; equally were installed 26 hangers artificial for birds distributed in the middle of the cores, with the object of facilitating the dispersal of seeds and to contribute to the recovery of the area. The increase of the populations of typical species of native vegetation in this area and the increase of their forest cover, were the first signs of the rehabilitation process. On the other hand, the active participation of the community in the different stages of the process was achieved, accompanied by a socialization of the progress with the mayor's staff and leaders of the municipality.

Keywords: Rehabilitation, nucleation, riparian vegetation, Guamal river.

Introducción

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), reporta que de 3.077.469ha de superficie de bosque en el departamento del Meta, 22.925ha, han sido deforestadas al 2017 (IDEAM, 2017). Durante el primer trimestre del presente año, se ha reportado una alta tasa de concentración por deforestación en el departamento (Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono [SMBYC], 2017), afectando la prestación de servicios ambientales (MADS, S.f). Por esta razón se ha hecho imperativo establecer mecanismos de restauración ecosistémica y conservación para revertir estos procesos.

La Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica (SER) define la restauración como una actividad que inicia-acelera el proceso de recuperación de un ecosistema degradado, dañado, transformado o parcialmente destruido por intervención antrópica, respecto a su salud, integridad y sostenibilidad (Society for Ecological Restoration [SER] International, 2004). En este sentido, los métodos de restauración y conservación ecológica, ayudan a reparar los ecosistemas transformados como consecuencia de la actividad humana, principalmente por fragmentación y desastres naturales (Clavijo & López, 2017).

En el caso de los ecosistemas riparios, estos procesos buscan recuperar las áreas de protección y propagar la cobertura vegetal perdida, con el fin de redimir el equilibrio ecológico y ofertar servicios ecosistémicos importantes, mediante el uso de especies nativas que le proporcionen al suelo nutrientes para mantener activa la estructura y función de los mismos (Acero & Cortés, 2014); a su vez, es importante conocer el nivel sucesional de la vegetación durante un proceso de recuperación de diversidad y oferta hídrica, lo cual permite contrastar la transformación de un sistema natural (Clavijo & López, 2017).

El desarrollo de actividades de entretenimiento en el municipio de San Carlos de Guaroa, ha incidido notablemente sobre la remoción de cobertura vegetal riparia a la orilla del río Guamal, disminuyendo su capacidad productiva y generando cambios negativos en los ecosistemas que allí se presentan. Este proyecto tiene como objetivo principal diseñar e implementar núcleos activos de vegetación nativa por medio del establecimiento de arreglos florísticos específicos definidos a

partir de un ecosistema de referencia, como aporte a un plan de recuperación de un tramo del río Guamal en el municipio de San Carlos de Guaroa, Meta. Este proyecto forma parte de un macroproyecto liderado por la Secretaria de Medio Ambiente Municipal, denominado Restauración de zonas riparias del río Guamal y que tiene como objetivo reponer la cobertura vegetal en las laderas para controlar la erosión y desforestación de la zona.

1. Planteamiento del Problema

1.1 Descripción del problema

La agricultura y la ocupación urbana e industrial dejan como resultado global la degradación de ecosistemas riparios a causa de la remoción de los mismos (González del Tánago, 2010). La problemática parte de la funcionalidad que cumplen las áreas de vegetación riparia, que actúan como filtro reteniendo la entrada de sedimentos y sustancias químicas en el cauce (González del Tánago, 2010; Magdaleno, S.f). Es importante tener en cuenta que las orillas de los ríos sin presencia de vegetación riparia, generalmente presentan suelos frágiles, poco profundos y de baja fertilidad (Faustino, 1996), lo que implica la disminución de su capacidad productiva y cambios adversos en las propiedades físicas, químicas y biológicas de las corrientes de agua (Vargas O. , 2007)

La remoción de la vegetación de borde desestabiliza las orillas de los ríos, altera el microclima del cauce y trae graves consecuencias socio-económicas y paisajísticas, debido al valor económico ambiental que le proporcionan a un lugar, sin antes mencionar que es un hábitat ideal para el desarrollo de especies florísticas (Magdaleno, S,f).

En un contexto local, las actividades económicas que se desarrollan en la orilla del Río Guamal, departamento del Meta, están presuntamente alterando la calidad del recurso hídrico y modificando la dinámica ambiental del mismo. Las empresas industriales establecidas en el municipio, tales como las extractoras de material de arrastre, elaboración de aceites y grasas animales, no realizan control ni manejo adecuado de sus residuos sólidos y líquidos, los cuales eventualmente son vertidos en la orilla del río, provocando cambios en las propiedades del agua y suelo, e imposibilitando o atenuando el proceso de regeneración de la vegetación de borde. Adicionalmente, el ingreso constante de maquinaria pesada para el transporte y carga del material industrial, ha generado compactación en el terreno, contribuyendo a la desestabilización de las zonas de borde. También se ha evidenciado la fragmentación de ecosistemas por la construcción de centros de entretenimiento como pistas de motocross, balnearios y zonas de recreación,

causando la pérdida de conectividad ecológica afectando los movimientos de dispersión de diferentes especies de fauna y flora (Vargas Y. , 2017).

1.2 Formulación del Problema

Una estrategia de restauración parte tanto del conocimiento del ecosistema de referencia como del escenario a intervenir y de las consideraciones que se hagan sobre la trayectoria sucesional y las acciones que se realicen para llegar a la meta de restauración establecida (Barrera, *et al.* 2010). En este proceso, dos acciones claves son la selección de especies y el diseño de los tratamientos de restauración a implementar (Velasco, 2012). En un contexto de restauración ecológica se requiere definir los ensambles de especies de plantas de acuerdo al estado sucesional para conformar los núcleos de vegetación a implementar en un proceso de restauración activa.

Para propósitos de este estudio se requiere conocer en primera instancia la variabilidad del ensamble de plantas en zonas riparias lo menos alteradas posible, como base o referente para definir la trayectoria ecológica a implementar. Se parte del supuesto o hipótesis que la composición, distribución de las especies entre el ecosistema de referencia y el ecosistema a intervenir es variable y dependiente de las características del ecosistema degradado como también de los rasgos de historia de vida de las especies.

De acuerdo a este contexto se plantea la siguiente pregunta problema de investigación: ¿Cómo varía la composición y arreglo de especies de plantas entre áreas riparias con poca intervención y zonas riparias transformadas (principalmente como pastizales), en un tramo del río Guamal durante un periodo de 4 meses de duración del estudio?, la respuesta a esta pregunta constituye el fundamento utilizado en este estudio para el establecimiento de acciones de restauración ecológica activa en un predio de 1 ha ubicado en la zona de ronda del río Guamal.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general.

Diseñar e implementar núcleos de vegetación nativa por medio de la comparación con un ecosistema de referencia, como aporte a un plan de recuperación de un tramo río Guamal, en San Carlos de Guaroa-Meta.

2.2.. Objetivos específicos.

- Elaborar un diagnóstico del ecosistema de referencia por medio de levantamientos de vegetación.
- Diseñar los módulos de nucleación a partir del ensamblaje de plantas definida en el ecosistema de referencia.
- Realizar un monitoreo parcial de los núcleos de vegetación que se implementen con participación comunitaria.

3. Justificación

Mediante los procesos de recuperación de áreas degradadas en zonas riparias, se logra incrementar la resiliencia/resistencia de los ecosistemas para el mantenimiento de su funcionalidad, su biodiversidad y los servicios ecosistémicos que se ofertan (Vargas, O & Grupo de Restauración Ecológica, 2007). La restauración de la composición, estructura y función de los ecosistemas abarca una gran cantidad de avances investigativos y diferentes tratamientos experimentales que incluyen especies vegetales nativas para la recuperación de la cobertura vegetal (Vargas J, 2007; Vargas & Grupo de Restauración Ecológica, 2007). Sin embargo, la claridad metodológica y conceptual sobre la identificación de especies útiles que activen estos procesos y los hagan funcionales es limitada, así como también la forma de los módulos a implementar y la composición y riqueza de los arreglos florísticos en los mismos (Acero & Cortés, 2014).

La orilla del río Guamal en el municipio de San Carlos de Guaroa, Meta, se encuentra afectada por intensivos procesos de deforestación, introducción de plantas exóticas y uso de suelo inadecuado desde el punto de vista ambiental. La expansión y crecimiento urbano cerca de sus riberas está causando daños en el cuerpo de agua, suelo y la biota presente (Zamora, 2015). Sin embargo, existe un gran vacío de conocimiento sobre la manera de adelantar procesos de recuperación de áreas degradadas en zonas riparias de esta región, haciendo evidente la necesidad de generar una línea base que permita hacer un monitoreo de la dinámica de los ecosistemas riparios y de los procesos de restauración ecológica que se implementen (Velasco L, 2012).

En este estudio se genera la línea de base para evaluar en el largo plazo los cambios en la composición y diversidad de especies como resultado del incremento en la cubierta forestal y el control de erosión. Las acciones propuestas durante este estudio aportan al cumplimiento de las metas de gestión municipal y benefician la gestión para la conservación del recurso hídrico en una pequeña sección de la Subregión del río Meta dentro de la que se encuentra el municipio de San Carlos de Guaroa, la cual representa un área estratégica para su conservación.

4. Alcance

El municipio de San Carlos de Guaroa, ubicado en la parte centro occidental del departamento del Meta, cuenta con una extensión de tierra total de 814 km². El cual sostiene una economía basada en la agricultura donde predominan los cultivos de palma africana, arroz, yuca y plátano (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2013); a su vez cuenta con pastos limpios que hacen referencia al 41,51% de la cobertura del municipio y un área de 5.456,67 hectáreas (ha) conformadas por bosques de galería y ripario, ubicados en zonas de ribera (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y Unión Temporal Crece-Federación, 2013). Teniendo en cuenta que el municipio se encuentra ubicado dentro de la zona hidrográfica del Orinoco; el 85% de ésta mega Cuenca es tributaria del río Metica, del cual hace parte el río Guamal donde se desarrolló este proyecto, específicamente en las coordenadas evidenciadas en la Tabla 1 donde se encuentra situado el área afectada y el área de referencia para la restauración de la misma (Ver Figura 1).

Estas zonas aledañas a estos cuerpos hídricos cuentan con vegetación riparia que está en riesgo principalmente por cultivos en áreas cercanas a las rondas ya que brindan un suelo nutrido con condiciones óptimas para el crecimiento de cultivos lo cual causa una pérdida de vegetación nativa y refugio para la fauna del municipio, por ende, este proyecto junto a la colaboración de la alcaldía se identificó que el sector seleccionado presentó esta problemática.

Este proyecto tiene como fin replicarse con el objeto de restaurar y prolongar de especies nativas en las áreas afectadas en el municipio de San Carlos de Guaroa.

Tabla 1. *Coordenadas de localización del área de disturbio y del ecosistema de referencia para la restauración del área disturbada.*

Ecosistema de referencia		Ecosistema con disturbio	
Latitud	3°42'43.82" N	Latitud	3°42'43.82" N
Longitud	73°16'23.93" O	Longitud	73°16'23.93" O

Nota: Localización geográfica de las zonas de estudio obtenidas Google Earth, 2018.

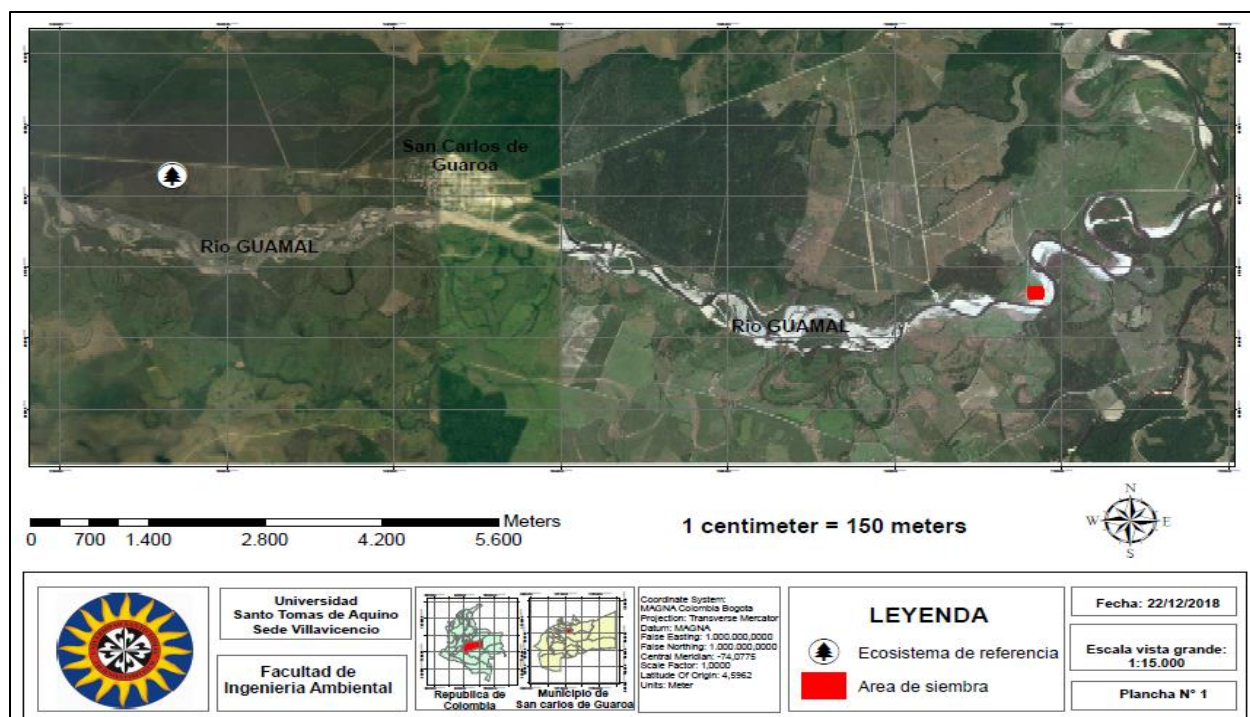


Figura 1. Ubicación espacial de área de disturbio y del ecosistema de referencia para la restauración del área disturbada. Por Galeano, 2018.

En este proyecto se desarrolló en la zona disturbada la selección y siembra de las plántulas seleccionadas del ecosistema de referencia con condiciones adecuadas planteadas en metodología y el seguimiento de la misma en el transcurso del tiempo estipulado de ejecución del proyecto.

En esta investigación se pretendió desarrollar un modelo de rehabilitación de zonas perturbadas en áreas ribereñas como objeto de replicar en diferentes lugares que presenten una situación similar. La importancia de la implementación de estos tipos de proyectos prácticos es para recuperar la dinámica y equilibrio ambiental de este ecosistema natural, haciendo énfasis en la vegetación riparia. Con la recuperación de las zonas de ribera se procura mantener un efecto protector en áreas susceptibles a las inundaciones.

5. Fundamentación teórica

5.1. Antecedentes.

En un contexto global, se habla de áreas ribereñas como ecosistemas dependientes de fuentes hídricas, con una matriz variable de vegetación que cumple funciones esenciales para la preservación de los ecosistemas, suministrando a su vez bienes y servicios para la biota y el bienestar público (Romero, Cozano, Gangas, & Naulin, 2014). A su vez diversos autores han definido a la restauración ecológica como el restablecimiento de procesos, funciones, vínculos biológicos y fisicoquímicos en ecosistemas perturbados, estableciendo que este proceso es arduo y de constante cambio debido a las condiciones ambientales, las cuales pueden impedir la capacidad de recuperar la estructura y funciones de los ecosistemas que existían anteriormente (Kauffman, Beschta, Otting, & Lytjen, 1997).

Kauffman *et al.* afirma que, la recuperación de una zona ribereña abarca todas las condiciones y actividades que se desarrollan en una cuenca, debido a que existe una interacción entre los sistemas acuáticos-terrestres y las interacciones biológicas y fisicoquímicas. En algunos estudios se han utilizado módulos o núcleos de plantación de diferente forma y composición de especies, variando desde forma estrellada, hexagonal hasta la circular (Díaz, 2007). Sin embargo, hay poca información sobre la efectividad de estos diseños en términos de mortalidad de individuos plantados, integración con la matriz circundante etc.

Tres & Reis, abarcaron el concepto de nucleación desde una perspectiva bastante amplia como método de recuperación y restauración de los ecosistemas degradados. Tales autores establecieron que para lograr la efectividad de un proceso de nucleación en el paisaje es imprescindible que los flujos biológicos ocurran en dos sentidos: “fragmentos - área en restauración” y “área restaurada - paisaje”, y a su vez sean dinámicos en el tiempo y en el espacio (Tres & Reis, 2007).

Algunas de las técnicas nucleadoras útiles para acelerar el proceso sucesional en áreas degradadas propuestas por Tres *et al* (2007), consistieron en la transposición del suelo, transposición de gavilla, transposición de la lluvia de semillas, posaderos artificiales, introducción

de semillas, plantío de especies funcionales en grupos de Anderson, trampolines ecológicos y plantío de poblaciones referencias. Tales técnicas son vistas como modelos de restauración nuevos, integrados e incluyentes con la comunidad, y que son aplicables para el cuidado, manejo y conservación de los paisajes naturales o seminaturales (Tres & Reis, 2007).

En la literatura existe poca información que dé cuenta de la valoración de diferentes tipos de diseños de arreglos florísticos, que permitan conocer el impacto de esta estrategia sobre la sucesión natural (Velasco L, 2012). Existe un alto grado de incertidumbre asociado a los diseños en relación con la efectividad de las formas de distribución de los individuos que se utilice, así como con las distancias de siembra, y la riqueza y abundancia de las especies que conforman el arreglo.

De otra parte, la selección de las especies a incluir en los arreglos debe responder a una sumatoria de factores asociados a los rasgos de historia de vida de las especies y de las características del ecosistema degradado, la participación en los ciclos biogeoquímicos y las características morfológicas adaptativas que les confieren resistencia a algunos estados de degradación (Murcia, 2010; Velasco Linares, 2012).

Un estudio de caso llevado a cabo por Glenn *et al.* (2016) enfocado en restaurar la vegetación ribereña de cuatro ríos pertenecientes a zonas áridas como consecuencia de la agricultura, reporta la aplicación de distintos tratamientos de recuperación que aumentaron sustancialmente el flujo natural de los cuerpos hídricos; luego de 15 y 20 años, los autores concluyeron que se logró restaurar con éxito el bosque de álamos del Tarim y germinar retoños en los sauces de Bill Williams, gracias a la plantación de árboles nativos en cada región, aumentando los niveles de caudal de estos cuerpos de agua; sin embargo, establecieron que se requiere en algunas zonas como es el caso del río Colorado, grandes flujos bancarios para rejuvenecer totalmente el bosque de chicle rojo perturbado, pues durante ese periodo no se logró (Glenn, Nagler, Shafroth, & Jarchow, 2016).

Las técnicas más utilizadas de restauración se centran en plantaciones, siembras, regeneración natural asistida, núcleos, etc.; que permiten la propagación y colonización de especies para avanzar en etapas sucesionales (Mazón & Néstor, 2016). En la actualidad es tendencia ejecutar la restauración de bosques a escala de paisaje con el fin de encontrar un equilibrio entre los sistemas naturales y los factores socioeconómicos externos a nivel de cuencas (Mazón & Néstor, 2016).

Desde el 2014 en algunos países de Latinoamérica se puso en marcha una iniciativa llamada 20x20, la cual pretende restaurar 150 millones de hectáreas, con el fin de recuperar la prestación de los servicios ambientales y el bienestar poblacional (Méndez, Martínez, Ceccon, & Guariguata, 2017). Algunos de los países que implementan esta iniciativa han determinado a la fecha que una metodología más eficiente está enfocada hacia la restauración a escala de paisaje y la asistencia de la sucesión ecológica como una vía costo-beneficio para la restauración a gran escala. Los autores plantean que, es de vital importancia asumir criterios socioeconómicos que permitan desarrollar enfoques ascendentes, es decir que garanticen una capacidad a largo plazo en los procesos de restauración (Méndez, Martínez, Ceccon, & Guariguata, 2017).

A nivel nacional, en Colombia se llevó a cabo una investigación de la variación de las comunidades de aves entre sistemas antropogénicos y riparios en una zona altamente modificada, la cual arrojó resultados de predominancia de hábitat elegido por las comunidades de aves (Domínguez & Ortega, 2014). Así, fue posible establecer la estructura y diferencia de las mismas, siendo evidente que los sistemas riparios juegan un papel fundamental en la dinámica ambiental, pues favorecen la heterogeneidad de las comunidades de aves presentes. Caso aparte el observado en áreas urbanas donde prevalecen comunidades de aves heterogéneas y dominadas por especies asociadas a estas zonas perturbadas; de este modo se resaltó la importancia de establecer acciones que permitan la conservación de la vida silvestre (Domínguez & Ortega, 2014). A partir de este argumento, se identificó que el uso de perchas para aves, ayuda con la dispersión de semillas (Zoocoria) e influencia la llegada de las aves en la zona de estudio.

5.2 Marco de referencia.

5.2.1 Marco teórico.

La Sociedad para la Restauración Ecológica (SER) define la restauración ecológica como el proceso de ayudar a la recuperación de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido (SER 2004). Es una actividad intencional que interrumpe los procesos responsables de la degradación, elimina las barreras bióticas y abióticas a la recuperación del ecosistema, e inicia o acelera la sucesión ecológica a través del establecimiento de propágulos de las especies del

ecosistema de referencia. (Murcio & Guariguata, 2004). La restauración ecológica contribuye a la recuperación del ‘capital natural’ del cual dependen los seres humanos (Aronson et al. 2007) y al aumento en la resiliencia de los ecosistemas (Lamb et al. 2011).

En el contexto nacional la disciplina se formalizó a nivel nacional en 1998 con dos documentos de política. El primero fue el “Plan Estratégico para la Restauración Ecológica y el Establecimiento de Bosques en Colombia, Plan Verde, Bosques para la Paz”, conocido como ‘Plan Verde’, preparado por el Ministerio de Medio Ambiente y aprobado por el Consejo Nacional Ambiental (Ministerio de Medio Ambiente de Colombia 1998). El objetivo de este plan era “generar las bases para involucrar la restauración ecológica, la reforestación con fines ambientales y comerciales y la agroforestería en el ordenamiento ambiental territorial”. (Murcia et al. 1998).

El segundo documento que se produjo en 1998 fue “Colombia, Biodiversidad Siglo XXI”, una propuesta técnica para la formulación de un Plan Nacional en Biodiversidad (Fandiño y Ferreira Miani 1998), que contenía nueve líneas estratégicas, una de las cuales era la restauración ecológica (Murcia et al. 1998).

Durante los últimos cinco años, el interés por procesos de Restauración Ecosistémica (RE) en Colombia ha incrementado, entendiéndose como la búsqueda de la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado por diferentes factores (Instituto de Investigación de Recursos biológicos Alexander von Humboldt, 2017). Como disciplina científica tiene unos principios generales que se aplican a cualquier ecosistema; es una disciplina multidimensional que abarca tanto las ciencias naturales y las ciencias sociales para buscar la sostenibilidad de los ecosistemas naturales, seminaturales y sistemas de producción. Esto implica restaurar la integridad ecológica de los ecosistemas (composición de especies, estructura y función) (Vargas O. , 2007).

Existen dos tipos de restauración, pasiva y activa; la primera de ellas encierra la eliminación de actividades causantes de los procesos de transformación ecosistémica, pues el sistema tiene la capacidad de auto regenerarse, en el mejor de los casos, sin embargo, no es suficiente y es cuando se procede al segundo tipo de restauración, la cual tiene un enfoque más intervencionista que incluye medidas capaces de reparar los daños generados sobre la estructura y dinámica de los ecosistemas (Magdaleno, S,f).

Una técnica muy utilizada de restauración activa para los procesos de RE es la nucleación, la cual contempla factores limitantes como la tenencia de la tierra, el acceso a la fuente hídrica, el conflicto por uso de suelo, los procesos no planificados de urbanización, invasión etc.; causas que argumentan la necesidad de implementar corredores ecológicos en la ronda hídrica con vegetación arbórea y arbustiva nativa (Secretaría Distrital de Ambiente, 2014). Para ello, es fundamental seleccionar especies de plántulas apropiadas durante la RE, que incluyan atributos tales como aptitud para la protección de aguas y riberas, el temperamento ecológico, aptitud para colonizar en pastizales y competir favorablemente con estos, rusticidad, sociabilidad, crecimiento rápido, movilidad-refugio-nicho a especies de aves permitiendo su reproducción (Secretaría Distrital de Ambiente, 2014).

La implementación de núcleos en áreas naturales perturbadas de vegetación riparia, proyectan a futuro rehabilitar la funcionalidad y estructura de los sistemas, facilitando la sucesión natural; por otro lado, los módulos circulares favorecen la colonización de especies propias de la región, por lo que se recomienda que el arreglo florístico sea de diseño circular con diferentes especies de acuerdo al estado de la sucesión ecológica en la que participan (Ramírez, 2015).

Los procesos de RE en ecosistemas riparios representan una prioridad a nivel nacional y global debido a que se encuentran en alto grado de degradación, albergan alta diversidad de especies y ofertan funciones ecológicas vitales para sustentar la vida (Torres *et al.* 2015). Algunas de las metodologías utilizadas incluyen diferentes procesos tales como un análisis ecológico regional, caracterización biofísica de las áreas disturbadas, diseño de tratamientos de RE, propagación de especies nativas, implementación, ejecución, mantenimiento y monitoreo de ensayos y estrategias de RE, además de la divulgación, articulación y apropiación social del tema (Torres *et al.*).

En el contexto de sistemas riparios incluyen la escala espacial o nivel de paisaje de la cuenca hidrográfica involucrada, con énfasis especial en la vegetación de ribera que es un componente esencial de la integridad del ecosistema acuático; la calidad de la vegetación de ribera influye tanto en la comunidad biótica como en las características físicas del río, lo que a su vez se relaciona directamente con la calidad y cantidad de agua disponible para la población humana (Jarro, 2004; González del Tánago, 2010).

Según Halffter (1994), en el caso de los sistemas biológicos, la diversidad se refiere a la heterogeneidad biológica, es decir, a la cantidad y proporción de los diferentes elementos vivos que contenga el sistema. Halffter (1994) nuevamente menciona que, a nivel ecológico, la biodiversidad tiene dos expresiones bien definidas en el análisis de comunidades: la diversidad presente en un sitio dado o diversidad α (alfa) y la heterogeneidad espacial dentro de un ecosistema o diversidad β (beta). (Vides, 2016)

Bousquets y Morrone (2001), mencionan que la diversidad alfa junto con la diversidad beta constituye una buena medida del grado de heterogeneidad biológica en el área de estudio. (Vides, 2016).

5.2.2 Marco conceptual.

5.2.2.1. Ecosistemas ribereños.

Los ecosistemas ribereños, localizados en las márgenes de los ríos, arroyos y cuerpos de agua son corredores biológicos entre las zonas de cabeceras de las cuencas hídricas y el mar. Estos ecosistemas ofrecen diversos servicios ambientales como el filtrado de sedimentos y contaminantes que son arrastrados desde las partes altas de la cuenca por los ríos, mitigan el impacto de las inundaciones y aumentan la conectividad e integridad de la cuenca pues favorecen a la dispersión y movilidad de las especies (Meli & Carrasco, 2011).

Por otro lado, estos servicios proveen beneficios a las personas, para que estas a su vez hagan uso de ellos con el fin de mejorar su calidad de vida. Los ecosistemas proveen a la sociedad de una amplia gama de servicios para su subsistencia. Este concepto, es más conocido como servicios ecosistémicos (González del Tánago, 2010). Son contribuciones directas e indirectas que se representan mediante procesos ecológicos y permiten el desarrollo y goce de los sistemas culturales en una dimensión social, económica, política, tecnológica, simbólica y religiosa (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). Como consecuencia a lo anterior, es importante conservar el estado ecológico de un ambiente, pues este expresa la calidad de la estructura y el funcionamiento del ecosistema (Meli & Carrasco, 2011).

5.2.2.2. *Revegetalización.*

Las distintas actividades antrópicas y naturales que provocan la remoción o eliminación parcial de la cobertura vegetal, tienden a establecer la necesidad de implementar acciones de revegetalización, por el cual las plantas colonizan un área de la cual ha sido removida su cobertura vegetal original por efecto de un disturbio. La revegetalización no necesariamente implica que la vegetación original se reestablece, solamente que algún tipo de vegetación ahora ocupa el sitio. Por ejemplo, muchas áreas que sufren disturbios son ocupadas por especies invasoras que desvían las sucesiones a coberturas vegetales diferentes a las originales (Vargas O. , 2007). Las actividades de revegetalización tienen el fin de iniciar un proceso de selección de material vegetal y cobertura vegetal que permita una mejor adaptación al terreno según el manejo que se le está dando (Gallo, 2017).

Alguna de las técnicas utilizadas para tener éxito durante el desarrollo de la vegetación en la recuperación de las áreas perturbadas, es el uso de la capa superficial de suelo movido y almacenado con anterioridad, de este modo se procede a establecer la cubierta vegetal mediante la siembra de alguna gramínea o leguminosa rastrera de rápido crecimiento (Construvicol S.A, S.f).

5.2.2.3. *Nucleación.*

Una estrategia para la restauración de la conectividad del paisaje es la nucleación, consistente en la capacidad de cualquier elemento, biológico o abiótico, de propiciar potencialidades para formar, dentro de las comunidades en restauración, nuevas poblaciones a través de la facilitación y creación de nuevos nichos de colonización/regeneración y generando nuevas situaciones de conectividad en el paisaje (Tres & Reis, 2007). El resultado de la interacción de estos elementos bióticos o abióticos es la generación de núcleos de diversidad (piedras angulares) (Tres & Reis, 2007).

La nucleación se entiende como una técnica que consiste en la formación de microhábitats como núcleos propicios para la llegada de especies animales y vegetales, que en un proceso sucesional aumentan la probabilidad de ocurrencia de interacciones interespecíficas. El proceso de nucleación del paisaje actúa a nivel de dos escalas de conectividad (Tres & Reis, 2007) a) conectividad local.

La dirección del flujo biológico es desde el fragmento fuente hasta el área a ser restaurada, y b) conectividad de contexto. La dirección del flujo biológico es desde el área restaurada hacia la matriz de paisaje.

Existen varias técnicas nucleadoras de restauración, como manera de acelerar el proceso sucesional en áreas degradadas: transposición de suelo; transposición de gravilla; transposición de lluvia de semillas; y perchas artificiales (Calle, 2012). En el caso de las perchas artificiales, su principal función es la de servir de trampolín ecológico (Tres & Reis, 2007). A medida que una diversidad de especies es atraída por las perchas (aves y murciélagos), depositan semillas en las áreas degradadas formando núcleos adecuados para conectar fragmentos en las áreas en restauración; a su vez estos núcleos son fuente de alimento para dispersores secundarios que facilitan la dirección de los flujos biológicos hacia la matriz de paisaje.

5.2.2.4. Fertilizante.

El fertilizante actúa como enmienda o acondicionador de suelos en los procesos de recuperación y protección de los suelos erosionados debido a que mejora la estructura y libera gradualmente los nutrientes que se obtienen mediante procesos de compostaje Open Windrow con tecnología CMC (Compostaje Microbiológicamente Controlado) (Información obtenida en la descripción del producto).

5.2.2.5. Transectos de Gentry.

Un transecto es un rectángulo situado en un lugar para medir ciertos parámetros de un determinado tipo de vegetación. Por ejemplo, Gentry (1995) aplicó los transectos de 2x50 m para medir árboles y bejucos con DAP (diámetro a la altura del pecho) mayor a 2.5 cm. (Mostacedo & Fredericksen, 2000).

5.2.2.6. Labranza de conservación.

Cualquier sistema de labranza y de siembra en el cual por lo menos un 30% de la superficie del suelo quede cubierta por residuos de plantas después de la siembra, con el fin de controlar la

erosión (CTIC 1993). En este sistema se conserva la rugosidad de la superficie y va de la mano con la labranza cero que es una siembra directa al suelo sin perturbarlo. (Mannering y Fenster 1983; Mimaras et al. 1985). (Amézquita, 1999).

5.2.2.7. *Diversidad Alfa.*

La diversidad alfa o diversidad puntual corresponde a un concepto claro y de fácil uso: el número de especies presentes en un lugar, la riqueza en especies de una muestra territorial, o la riqueza en especies de la muestra de una comunidad. (Gonzalo & Moreno, 2005).

5.2.2.8. *Diversidad Beta.*

La diversidad beta mide las diferencias (el recambio) entre las especies de dos puntos, dos tipos de comunidad o dos paisajes. La definición de diversidad beta de Whittaker (1975) claramente se refiere a las especies como entidades taxonómicas y no a los números de especies. Cornell y Lawton (1992) formalizan la idea de que la diversidad beta es el enlace entre las diversidades local y regional, permitiendo integrar los conceptos de Whittaker a las nuevas ideas de la Macroecología. Koleff y Gaston (2002) miden el “spatial turnover” (diversidad beta) en términos de ganancia o pérdida de especies, y documentan la influencia de la escala espacial en las relaciones entre el “turnover”, la diversidad puntual y la diversidad regional. (Gonzalo & Moreno, 2005)

5.2.2.9. *Curva de Rarefacción.*

El procedimiento de rarefacción se utiliza para comparar índices de diversidad entre hábitats en base a un mismo número de individuos (Moreno, 2001). La rarefacción es una técnica donde el hábitat con el mayor número de individuos se submuestra sin reemplazo aleatoriamente y con múltiples ejecuciones para generar un índice promedio con las tendencias del número de especies (Carmona & Carmona, 2013). Específicamente la rarefacción es el proceso de generación de la relación entre el número de especies vs el número de individuos en una o más muestras, permitiendo la comparación directa de la riqueza de dos muestras que inicialmente tenían diferente tamaño (Espinosa, 2016).

5.2.2.10. Curva de Rango-Abundancia.

Las curvas de rango-abundancia propuestas por (Whittaker, 1965) sirven para determinar los patrones de distribución de la abundancia de especies en comunidades ecológicas. Estas se logran al clasificar jerárquicamente el grupo de especies presentes en cada unidad de muestreo. Se ubica primero la de mayor abundancia y, con base en esta ordenación, se obtiene un perfil de abundancias por rango (Barrientos, Leirana, & Navarro, 2016). Estas curvas se pueden ajustar escenarios de dominancia-diversidad, aunque no siempre es posible realizar comparaciones estadísticas (Whittaker, 1965). (Cortes & Varon, 2018)

5.2.3. Marco legal.

La normatividad legal vigente para todos los procesos de restauración ecosistémica, así como los instrumentos, herramientas y metodologías utilizadas en Colombia consta de Decretos, Leyes y Normas, las cuales establecen los procedimientos, pautas y reglas adecuados para llevar a cabo la recuperación de un sistema perturbado (Ver Tabla 2).

Tabla 2. *Normatividad legal vigente en Colombia.*

Norma	Aplicación
Ley 99 de 1993	Gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el sistema nacional ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. Art 1. Principios generales ambientales. Numeral 7. El estado deberá fomentar la incorporación de los costos ambientales y el uso de instrumentos económicos para la restauración del deterioro ambiental. Art 60. Todas las actividades relacionadas con explotación minera a cielo abierta deberán restaurar la morfología y características ambientales del suelo intervenido.
Ley 139 de 1994	Certificado de Incentivo Forestal (CIF).
Ley 165 de 1994	Por medio del cual se aprueba el Convenio sobre Diversidad Biológica en Río de Janeiro.
Ley 373 de 1997	Se reglamenta la protección de zonas de manejo especial entre estas el uso eficiente y ahorro del agua
CONPES 2834 de 1996	Política de conservación de bosques. Lograr el uso sostenible de los bosques con finalidad de garantizar su conservación e incorporar el sector forestal a su economía mejorando la calidad de vida de la población
CONPES 3125 de 2001	Plan Nacional de Desarrollo Forestal: estrategia de gestión forestal para 25 años. Planes, programas de zonificación, conservación y restauración de ecosistemas, manejo y aprovechamiento de ecosistemas forestales. Establece los enfoques ecosistémicos

Continuación tabla 2.

Plan Nacional de Restauración Ecológica, Rehabilitación y Recuperación de Áreas Degradadas - PNR	Aislamiento de áreas degradadas y supresión de los agentes de tensión, enriquecimiento de bosque, núcleos de vegetación en áreas abiertas, barreras en bordes de bosque, cercas vivas, manejo de especies invasoras, franjas protectoras de cuerpos de agua, corredores de conectividad, sistemas agroforestales y silvopastoriles, restauración pasiva en páramos, trabajo con las comunidades para la disminución de los elementos y agentes de tensión.
Plan Nacional de Restauración de 2015	Implementación de la política pública ambiental de restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas- Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos y la Política Forestal
Decreto 2811 del 1974	Artículo 3.- De acuerdo con los objetivos enunciados, el presente Código regula: a) El manejo de los recursos naturales renovables, a saber: 1. La atmósfera y el espacio aéreo nacional. 2. Las aguas en cualquiera de sus estados. 3. La tierra, el suelo y el subsuelo. 4. La flora. 5. La fauna. 6. Las fuentes primarias de energía no agotables.
Decreto 061 de 2003	Art 7. Instrumentos básicos de la gestión ambiental las estrategias generales de la gestión ambiental. -Estrategia de “Manejo físico” para el aprovechamiento y transformación del territorio, dentro de la línea de acción de protección y restauración de ecosistemas estratégicos. Art 9. Plan de Gestión Ambiental Numeral 2: Programa de manejo agropecuario sostenible, para la restauración ecológica de ecosistemas nativos y agroecológicos.
Decreto 2041 de 2014	Define las medidas de compensación por pérdida de biodiversidad, con el fin de fortalecer el proceso de licenciamiento ambiental, la gestión de las autoridades ambientales y promover la responsabilidad ambiental en aras de protección del medio ambiente
Resolución 1517 de 2012	Por la cual se adopta el Manual para la Asignación de Compensaciones por pérdida de biodiversidad.

Nota: Normatividad legal vigente de procesos de restauración riparia en Colombia, con base en información plasmada por la normatividad presentada. Organización jerárquica según la pirámide de Kelsen. Por Galeano, 2018.

6. Procesamiento metodológico

El presente proyecto de investigación es de tipo descriptivo; fue desarrollado en el municipio de San Carlos de Guaroa en el departamento del Meta, en un predio de 1ha. de extensión correspondiente a un tramo del río Guamal. En este predio se llevó a cabo un proceso de restauración activa, el cual tuvo como objetivo principal la recuperación de áreas riparias degradadas, mediante el diseño e implementación piloto de núcleos de vegetación nativa.

Durante la investigación, se determinó en un contexto de restauración activa la composición de las especies de plantas adecuadas para conformar los núcleos de vegetación en áreas riparias degradadas, de acuerdo a su estado sucesional.

El enfoque propuesto en este estudio incluye el desarrollo de los siguientes puntos:

- Proceso de restauración para restablecer en un tramo del río Guamal la composición y estructura del ecosistema ripario, a través del incremento de la cobertura vegetal y de la interconectividad espacial de la vegetación a manera de piedras angulares, utilizando la estrategia de núcleos de vegetación.
- La interconectividad espacial de la vegetación a manera de piedras angulares representa la escogencia para plantación de un conjunto de especies y genotipos que faciliten o promuevan el establecimiento de otras especies nativas y que suministra el hábitat para especies que ya están presentes en otros sitios vecinos del área a intervenir, o que se restablezcan al interior de la misma. Estos núcleos de vegetación son una fuente de semillas y de protección de la superficie del suelo, que aceleran la velocidad de la regeneración natural y que se constituyen en los eslabones de una red de núcleos interconectados (piedras angulares).
- La estrategia de nucleación es recomendada para áreas relativamente grandes, ya que genera bajos costos con respecto a la reforestación tradicional (Benayas, Bullock, & Newton, 2008).

6.1. Fase 1. Diagnóstico de la situación actual.

6.1.1. Reconocimiento del área a intervenir.

Esta fase se llevó a cabo el 5 de agosto del 2018, donde se visitó la zona de estudio con el objeto delimitar el área afectada y de referencia (Ecosistema de disturbio y el ecosistema referencia), la posición de los transectos Gentry y las fechas de trabajo que se realizarían conjuntamente con la colaboración de la comunidad, la alcaldía municipal, y la universidad, durante el periodo de estudio y es así que se obtuvo la primera planilla de socialización (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), con lo anterior se estipularon visitas para las próximas socializaciones, seguimiento y mantenimiento y de finalmente capacitación (Ver en la *Tabla 3*).

Tabla 3. *Fechas programadas para el desarrollo del proyecto.*

Fechas de Desarrollo de Proyecto	
Planillas de socialización y capacitación	1. Exposición del proyecto: 6/08/2018
	2. Avance del proyecto y practicas: 23/10/2018
	3. Resultados y capacitación: 18/12/2018
Planilla de seguimiento y mantenimiento	18/09/2018 - 02/10/2018 - 23/10/2018 -13/11/2018 - 04/12/2018

Nota: fechas establecidas para el desarrollo del proyecto y actividades programadas. Por Galeano, 2018.

6.2. Fase 2: Método de selección, muestreo, diseño e implementación.

6.2.1 Muestreo.

Para la identificación y caracterización del ecosistema de referencia, se utilizó la metodología de transectos Gentry (Ver Figura 2) aplicado en un área de una (1) hectárea de extensión. En el área de referencia se establecieron 10 transectos de 100 metros cuadrados (50 x 2 m) ubicados de manera sistemática paralelos al cauce del río; los transectos estuvieron separados por una distancia de 1 m uno del otro (Mostacedo & Fredericksen, 2000; Villareal, y otros, 2006).

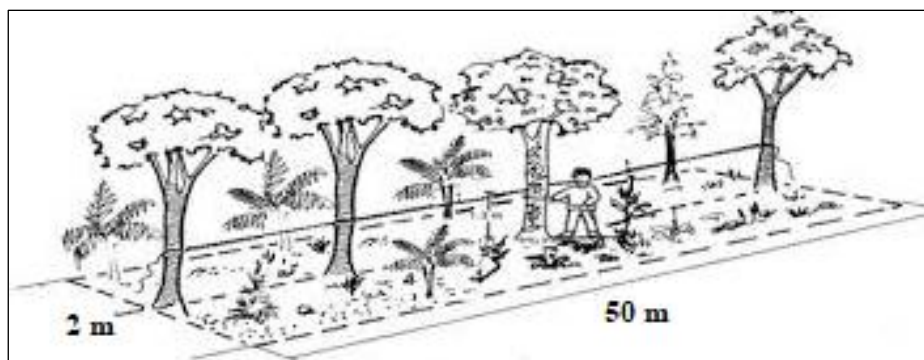


Figura 2. Diseño de los transectos utilizados para el muestreo de la vegetación. (Guaviare, 2010).

En cada uno de los transectos se registró información relacionada con la composición y abundancia de las especies arbustivas y arbóreas encontradas – no se incluyeron las plantas herbáceas.

6.2.2. Diseño de los módulos de nucleación.

El diseño propuesto para los módulos de nucleación consistió en la delimitación de anillos concéntricos alrededor de un eje central o módulos; cada anillo se conformó por un agrupamiento de plantas (mudas) con funciones nucleadoras; de otra parte, los módulos fueron distribuidos de forma sistemática dentro del predio intervenido para generar conectividad. Cada módulo nucleador se conformó por 8 individuos (1 individuo arbóreo ubicado en el centro del anillo, 4 subarbóreos en el anillo 1 y 3 individuos arbustivos en el anillo 2) (Ver Figura 3).

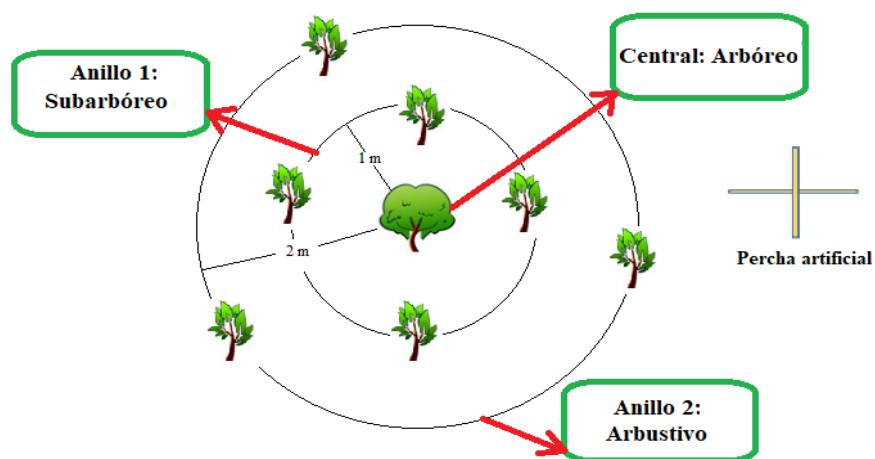


Figura 3. Vista de planta de módulos de restauración multiestrato (arbóreo-subarbóreo-arbustivo), con perchas artificiales entre módulos, zona riparia del río Guamal. Por Galeano, 2018.

El distanciamiento entre la planta central de un módulo y la del siguiente módulo fue de 10 m y se aplicó a toda el área intervenida. En este sentido, las características de los núcleos o módulos implementados fueron las siguientes:

- Composición del módulo: Núcleo multiestrato (arbustivo-subarbóreo-arbóreo).
- Conformado por: 8 individuos.
- Forma del núcleo: Circular con anillos concéntricos alrededor de un eje central.

Con respecto a la distribución de los individuos en el núcleo, la composición fue la siguiente:

- **Eje central:** Conformado por una (1) planta con función de INDUCTOR PRECLIMACICO TARDISERIAL, que se consideró estratégico para la estructura y funcionalidad del ecosistema en el largo plazo.
- **Dos anillos concéntricos alrededor del eje:** El primer anillo (Anillo No. 1) conformado por cuatro (4) plantas con función de PRECURSORA LEÑOSA INTERMEDIA. El segundo anillo periférico (Anillo No. 2) conformado por tres (3) plantas con función de PRECURSORA LEÑOSA INICIAL.
- **Distancia del eje central al primer anillo:** 1 m; buscando el entrecruzamiento de copas de árboles y subárboles para lograr algún nivel de protección de especies que crecen bajo condiciones umbrófilas o de poco nivel de tolerancia de la luz.

Otros criterios que se tuvieron en cuenta en el proceso de nucleación fueron:

- Distancia entre anillos: 1 m.
- Distancia entre plantas a lo largo del anillo: ≥ 0.5 m.
- Distancia de la planta central del módulo a la planta central del módulo vecino: 10 m.
- Riqueza del núcleo: Núcleo conformado por 8 especies diferentes, a razón de un (1) individuo por especie.
- Fases de la plantación: Una sola fase.

6.2.3. Instalación de las perchas.

Se construyeron e instalaron un total de 26 perchas artificiales para aves como herramienta para dispersión de semillas y coadyuvar al proceso de restauración. Las perchas tuvieron las siguientes características:

- Altura de eje vertical: 185 cm
- Atura del eje Horizontal: 150 cm

6.3. Fase 3: Adecuación del terreno.

6.3.1. Preparación del terreno a intervenir.

La preparación del terreno se llevó a cabo el 15 de agosto del 2018 en compañía de la comunidad (Ver anexo 2; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El cual se procedió a realizar una limpieza a la superficie, una adecuación del sitio, control a especies invasoras, eliminando los residuos sólidos y demás elementos obstructivos de área donde se va intervenir, finalizando esta acción se procedió a realizar en el terreno (Parcela) la técnica de Labranza de conservación junto a la labranza cero la cual consiste:

Lo beneficioso de esta técnica es que la labranza cero sin arado incrementa la cantidad de agua que se infiltra en el suelo, aumenta la retención de materia orgánica y la conservación de nutrientes en el suelo y en cuanto a la segunda técnica la cual es labranza de conservación, es la que usa los residuos como el rastrojo y material vegetal en descomposición que contribuye de manera esencial a conservar y rehabilita el suelo, a incorporar materia orgánica, a mejorar la fertilidad del suelo, reduciendo costos. Lo cual facilito ya que la zona no contaba con cobertura boscosa, pero cuenta con material vegetal como hojarasca.

6.3.2. Trazado.

Se trazó y se señaló con estacas la totalidad del área a rehabilitar ecológicamente, con el fin de demarcar los sitios para el ahoyado con las medidas adecuadas para el posicionamiento de las plántulas (Ver Figura 4) según es el diseño estipulado.

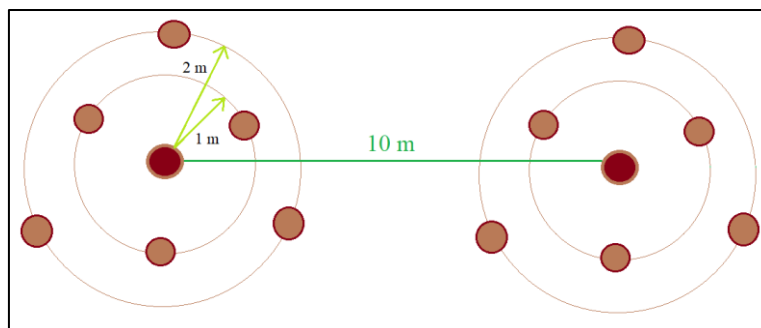


Figura 4. Trazado de los hoyos para la plantación según diseño y arreglos florísticos. Por Galeano, 2018.

Con lo anterior, se logró con la utilización de un metro, palin y pala; herramientas que permitieron darle la medida al hoyo y posteriormente se señaló con estacas para poder ubicar y así sembrar las plántulas e instalar las perchas artificiales (Ver anexo 3). Se realizó el día 17 de agosto del 2018.

6.3.3. Ahoyado.

Para este proceso teniendo la demarcación se procedió a realizar el ahoyado para las plántulas a sembrar y las perchas artificiales para el área a rehabilitar de la siguiente manera como se evidencia en la Figura 5.

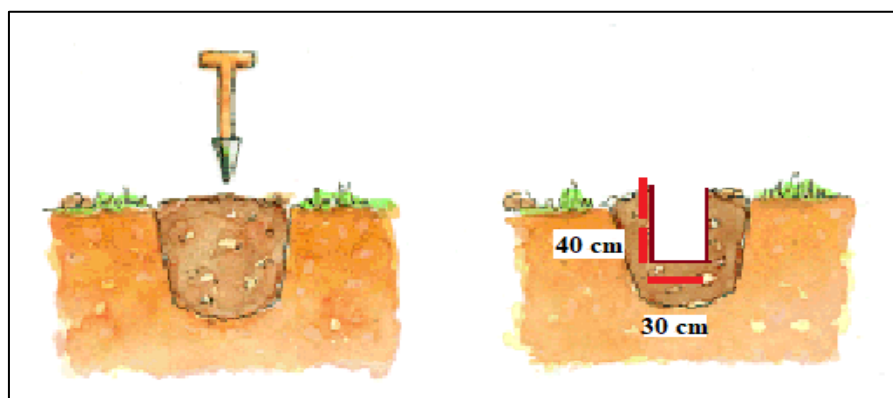


Figura 5. Esquema de ahoyado para sembrar las plántulas seleccionadas (Agrobyte, 2011).

Se llevó a cabo el día 20 de agosto del 2018. Se realizó 826 hoyos en todos los núcleos y perchas artificiales, distribuidas de la siguiente manera como lo demuestra en la Tabla 4.

Tabla 4. *Distribución del ahoyado en la parcela a rehabilitar.*

Lugar	Cantidad de Hoyos
Centra l	100
Anillo 1	400
Anillo 2	300
Perchas	26

Nota: Distribución del ahoyado en la parcela a rehabilitar, indicando lugar y cantidad de hoyos. Por Galeano, 2018.

Estos hoyos realizados con la ayuda de la comunidad con su participación en esta etapa (Ver anexo 4).

6.3.4. Preparaciones para la siembra de las plántulas.

El día 26 de agosto del 2018 se procedió a extracción de las 800 plántulas seleccionadas y transportadas a la parcela en bolsas plásticas negras en camionetas y llevadas a un punto donde fueron llevadas en una zorra halada por un tractor para evitar el menor daño posible (Ver anexo 5). Con el objetivo de plantar las especies mencionadas con anterioridad en los arreglos florísticos los cuales se obtuvieron de retoños del ecosistema de referencia, es decir, plantas jóvenes entre 50-90 cm de altura.

6.3.4.1. Aplicación de cal, plantación y fertilizante orgánico.

Para tener un mayor beneficio en el crecimiento de las plántulas y/o retoños en compañía de un agrónomo líder de la comunidad el señor Bertulfo González González y bajo información previa, se decidió mejorar el desarrollo de la vegetación antes de sembrar. El primer paso de este proceso fue la aplicación Cal Agrícola Dolomita (Bulto De 25 Kilos), 8 días antes para preparar el suelo, estabilizarlo para luego plantar.

Teniendo la parcela sin maleza, el día 21 de agosto del 2018, se usó Cal Agrícola Dolomita Bulto De 50 Kg (Ver anexo 6), el cual se aplicó sobre la hectárea seleccionada de manera rociada y posteriormente se dejó unos días en la superficie de la parcela para estabilizar el terreno.

Pasados 8 días, es decir, el día 28 de agosto del 2018, se tenían comprado 8 bultos de Fertilizante Orgánico Mineral Solaid Compost de 50 Kg, el cual se distribuyó 500 gr para cada plántula en cada fecha planteada para abonar. Continuadamente, se inicia el proceso de plantación el cual se ejecutó con cuidado para evitar el más mínimo daño, se procede a retirar la bolsa donde se transportó la plántulas, y se sitúa en el centro del hoyo verticalmente, teniendo precaución que el nivel del cuello de la raíz coincida con el nivel de suelo, se establece la siembra de las plántulas con la mezcla de la tierra del ahoyado (Hoyo) y los 500gr de Fertilizante Orgánico Mineral Solaid Compost de la empresa RESVAL SAS ESP de Cajicá (Cundinamarca) y se riega con agua con esto se termina este proceso (Ver anexo 7).

Al finalizar la jornada se socializo tres (3) fechas para abonar con el fertilizante orgánico para garantizar un buen desarrollo de las plántulas en el periodo de cuatro (4) meses. Los cuales fueron ejecutadas en las fechas descritas a continuación, 18 de agosto, 23 de octubre y por ultimo junto a la última capacitación, el día 4 de diciembre del 2018, igualmente se reemplazó en esos días las plántulas que no tuvieron mucho éxito. También se compró 6 bultos más de Fertilizante Orgánico Mineral Solaid Compost para las fechas ya nombradas. Se aplicó a cada plántula 125 gr de las 800 establecidas y junto a eso se efectuó el riego con agua aproximadamente por plántula de 10 litros, esta etapa bajo el acompañamiento del líder de la comunidad y algunos voluntarios.

6.4. Fase 4: Monitoreo.

6.4.1. Monitoreo de la nucleación.

Durante esta última fase, el monitoreo a seguir fue de implementación o corto plazo (4 meses); se diligenció planillas de seguimiento y de mantenimiento donde se consignaron la evolución de las plantas utilizadas y las consecuencias evidenciables a nivel ecosistémicos; identificando de este modo, los cambios a corto plazo en el área perturbada.

En este sentido, se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros de control, cuantificando los cambios obtenidos con respecto al tiempo:

- Presencia/ausencia de plántulas de las especies eliminadas

- Crecimiento de las plantas introducidas en cm (Altura, Diámetro, Numero de hojas, Mortalidad)
- Supervivencia de las plantas introducidas.
- Vitalidad de las plantas.
- Presencia/ausencia de plagas.
- Regeneración natural (presencia de plántulas de nuevas especies).
- Incremento del número de especies presentes con respecto a la lista florística inicial.

La participación activa de la comunidad durante todo el proyecto fue de vital importancia para el cuidado de las plántulas sembradas, evitando daños directos e indirectos que pudiesen ocasionar retrasos en el proceso de restauración o impactos negativos en el desarrollo de los núcleos implementados.

6.4.2. Análisis de datos.

6.4.2.1. Diversidad Alfa.

Se calcularon los índices de riqueza de Margalef, Menhinick, dominancia de Simpson, heterogeneidad de Shannon, alfa de Fisher, equidad de Margalef y estimativos de riqueza no paramétrico –Chao 1, y se realizó un análisis de varianza no paramétrico (test de Kruskal Wallis) para comparar los valores del índice de Shannon – Wiener entre 10 transectos estudiados con el programa PAST (versión 3.2).

Se calcularon las curvas de rarefacción entre los 10 transectos estudiados para determinar la variación en el número esperado de especies – riqueza, entre las muestras del ecosistema de referencia. También se construyeron las curvas de rango abundancia de los 10 transectos estudiados para determinar el patrón de distribución de las abundancias de las especies que los conforman. Para este último se utilizó el programa BiodiversityPro Profesional (versión 2).

6.4.2.2. Diversidad Beta.

Se realizó el análisis clúster con la ecuación de distancia de Bray Curtis y el método de agrupamiento Group Average Link a través del programa BiodiversityPro Profesional (versión 2). Mediante este análisis se definieron las diferencias y similitudes en la composición y abundancia entre los 10 transectos estudiados del ecosistema de referencia.

7. Resultados - Análisis

7.1.Descripción del ecosistema de referencia.

7.1.1. Composición y estructura de la vegetación.

En el ecosistema de referencia se registraron 50 especies de plantas arbóreas y arbustivas, las cuales corresponden a 33 familias con 2.649 individuos (Ver [1]).

En la Figura 6 ilustra la distribución del número de especies de plantas arbustivas y arbóreas discriminadas por familias.

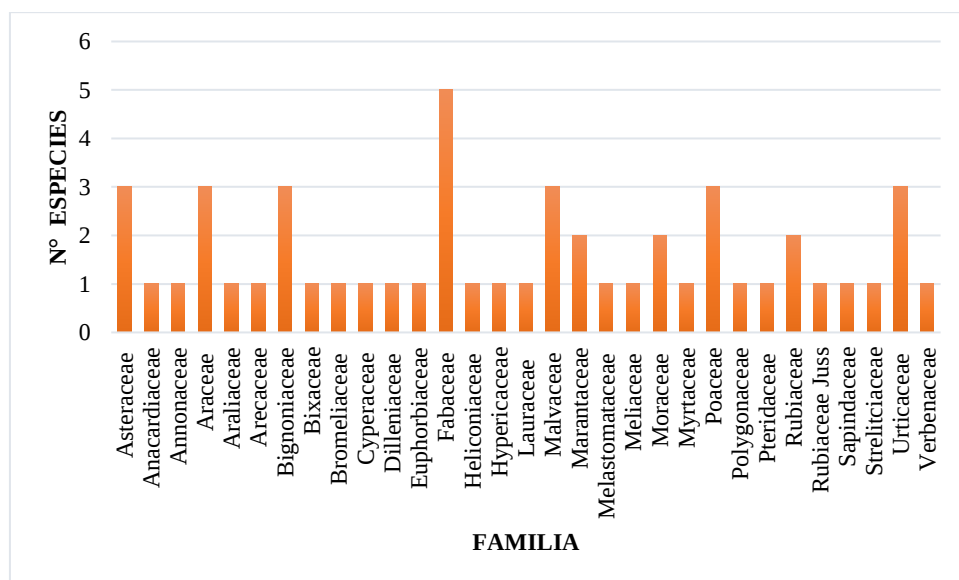


Figura 6. Familias con mayor riqueza acumulada de especies de plantas registradas en 10 transectos del ecosistema de referencia. Por Galeano, 2018.

En la Figura 6, la familia de plantas con mayor riqueza de especies fue *Fabaceae* con cinco (5) especies, seguida de *Poaceae*, *Asteraceae*, *Araceae*, *Bignoniaceae*, *Malvaceae* y *Urticaceae* con tres (3) especies cada una. El resto de familias registraron 1 especie cada una.

En la Figura 7 se ilustra la variación en el número de familias y de especies de plantas discriminada por transecto de estudio.

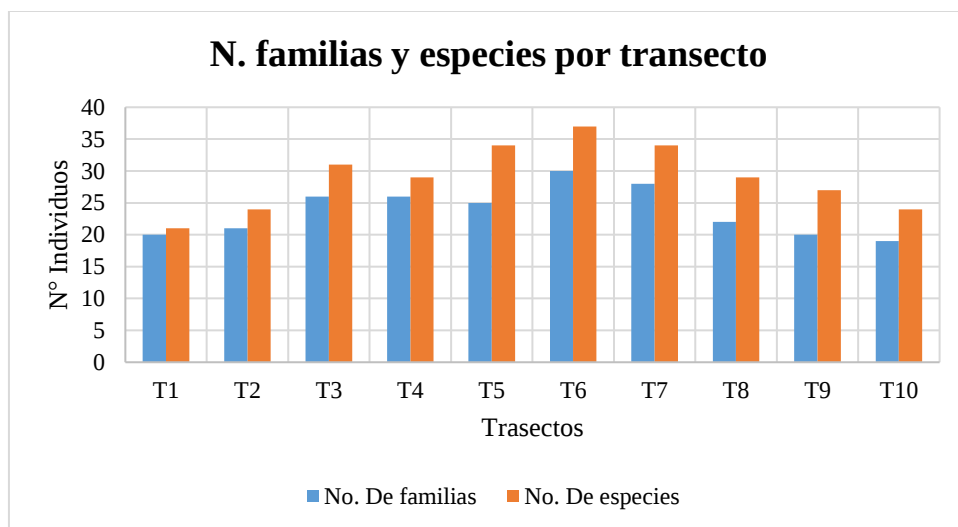


Figura 7. Variación del número acumulado de familias y de especies de plantas discriminada por transecto de estudio del ecosistema de referencia. Por Galeano, 2018.

En la Figura anterior, se observa que en el transecto 6 presenta una mayor abundancia teniendo como resultado 30 familias y 37 especies presentes, los transectos con menor abundancia fueron el 10 con 19 familias y el transecto 1 que tuvo 21 especies, siendo estos los que presentaron menor cantidad respecto a los otros.

En la Figura 8 se ilustra la distribución de las abundancias de plantas arbustivas y arbóreas en diez (10) transectos del ecosistema de referencia.

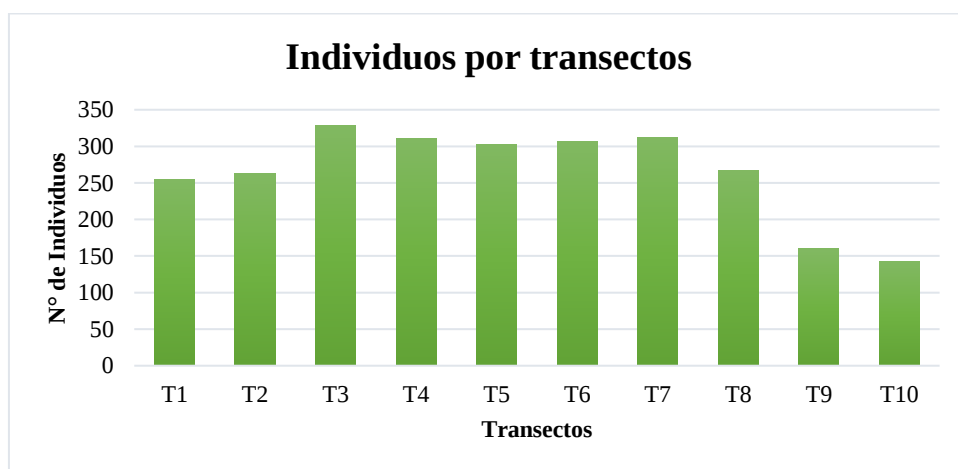


Figura 8. Variación en las abundancias de especies de plantas en 10 transectos de estudio del ecosistema de referencia Por Galeano, 2018.

La Figura 8 muestra que el transecto 3 tiene 329 individuos siendo este con mayor abundancia comparado con el resto, por otro lado, el que menos individuos posee es el transecto 10 con 142 individuos.

En la *Tabla 5*, evidencia el tipo de sistema de dispersión y hábito de crecimiento que poseen las 50 especies halladas en el ecosistema de referencia, la cual presenta variedad en cuanto a su tipo de hábito como: árboles, arbustos, subarbustos, liana, hierba, sufrutice y palma acaule. Se describió el tipo de dispersión y se estableció que la mayor parte de estas especies cuentan con frutos carnosos que permiten que las aves locales (Ornitocoria) y mamíferos (Mamocoria) puedan aprovechar y de beneficio distribuir sus semillas.

Tabla 5. *Tipo de hábito de crecimiento y forma de dispersión de las especies de plantas registradas en diez (10) transectos del ecosistema de referencia.*

Especie	Familia	Sistema de dispersión	Habito de crecimiento
<i>Spondias mombin</i>	Anacardiaceae	Zoocoria, Baricoria	Árbol
<i>Eugenia sp.</i>	Myrtaceae	Zoocoria, Baricoria	Árbol
<i>Sapium laurifolium</i>	Euphorbiaceae	Zoocoria (Ornitocoria), Baricoria	Árbol
<i>Bixa orellana</i>	Bixaceae	Zoocoria, Baricoria	Arbusto
<i>Vismia guianensis</i>	Hypericaceae	Baricoria, Mamaliocoria	Arbusto
<i>Jacaranda obtusifolia</i>	Bignoniaceae	Anemocoria	Arbusto
<i>Cecropia membranacea</i>	Urticaceae	Zoocoria: Ornitocoria, Quiropterocoria.	Árbol
<i>Clidemia octona</i>	Rubiaceae	Zoocoria (Ornitocoria), Baricoria	Arbusto
<i>Coutarea sp</i>	Rubiaceae	Anemocoria	Arbusto
<i>Xylopia aromatica</i>	Annonaceae	Zoocoria, Baricoria	Arbusto
<i>Cupania cinera</i>	Sapindaceae	Zoocoria (Ornitocoria, Mamaliocoria), Baricoria	Arbusto

Continuación tabla 5.

<i>Olyra latifolia</i>	Poaceae	Zoocoria, Baricoria	hierba trepadora
<i>Ficus spp</i>	Moraceae	Zoocoria, Baricoria	Árbol
<i>Adiantum latifolium</i>	Pteridaceae	Anemocoria	Hierba
<i>Bromelia balansae</i>	Bromeliaceae	Baricoria, Ornitocoria	Hierba
<i>Cochlospermum vitifolium</i>	Araceae	Baricoria	Árbol
<i>Guarea guindonia</i>	Meliaceae	Zoocoria (Ornitocoria, Mamaliocoria), Baricoria	Árbol
<i>Calathea latifolia</i>	Marantaceae	Anemocoria, Zoocoria	Hierba
<i>Jacaranda copaia</i>	Bignoniaceae	Anemocoria	Árbol
<i>Vernonanthura brasiliensis</i>	Asteraceae	Anemocoria	Subarbusto
<i>Schefflera morototoni</i>	Araliaceae	Ornitocoria	Árbol
<i>Nectandra membranacea</i>	Lauraceae	Zoocoria	Árbol
<i>Ficus guianensis</i>	Urticaceae	Zoocoria, Baricoria	Árbol
<i>Urera baccifera</i>	Urticaceae	Anemocoria	Subarbusto , Arbusto
<i>Triplaris weigeltiana</i>	Polygonaceae	Baricoria, Anemocoria	Árbol
<i>Maranta arundinacea</i>	Marantaceae	Anemocoria	Hierba
<i>Cassia moschata</i>	Fabaceae	Baricoria, Anemocoria	Árbol
<i>Mimosa pudica</i>	Fabaceae	Anemocoria	Hierba, Subarbusto, Liana
<i>Ochroma pyramidale</i>	Malvaceae	Zoocoria (Ornitocoria), Baricoria	Árbol
<i>Bellucia grossularioides</i>	Melastomataceae	Zoocoria (Ornitocoria, Mamaliocoria), Baricoria	Arbusto, Arbolito
<i>Heliconia latispatha</i>	Heliconiaceae	Mamaliocoria , Anemocoria	Hierba
<i>Phenakospermum guayannense</i>	Strelitziaceae	Baricoria	Árbol

Continuación tabla 5.

<i>Bauhinia corniculata</i>	Fabaceae	Anemocoria, Baricoria	Árbol
<i>Verbena officianalis</i>	Verbenaceae	Zoocoria	Hierba
<i>Sida acuta</i>	Malvaceae	Anemocoria, Baricoria, Zoocoria	Sufrútice
<i>Urochloa decumbens</i>	Poaceae	Anemocoria	Hierba
<i>Alocasia macrorrhizos</i>	Araceae	Anemocoria	Hierba
<i>Gynierium sagittatum.</i>	Poaceae	Anemocoria	Hierba
<i>Scleria microcarpa</i>	Cyperaceae	Anemocoria	Hierba, Trepadora
<i>Tetracera Volubilis</i>	Dilleniaceae	Zoocoria	Liana
<i>Samanea saman</i>	Fabaceae	Ornitocoria , Mamaliocoria	Árbol
<i>Inga edulis</i>	Fabaceae	Oritocotia, Mamaliocoria	Árbol
<i>Piptocoma discolor</i>	Asteraceae	Anemocoria	Árbol
<i>Hymenaea courbaril</i>	Asteraceae	Baricoria, Mamaliocoria	Árbol
<i>Ceiba petandra</i>	Malvaceae	Anemocoria, Zoocoria	Árbol
<i>Ficus insipida</i>	Moraceae	Baricoria, Zoocoria	Árbol
<i>Couroupita guianensis</i>	Lecythidaceae	Zoocoria (Ornitocoria, Mamaliocoria), Baricoria	Árbol
<i>Attalea insignis</i>	Arecaceae	Baricoria	Palma acaule
<i>Uncaria tormentosa</i>	Rubiaceae	Anemocoria	Liana
<i>Handroanthus serratifolius</i>	Bignoniaceae	Zoocoria (Ornitocoria, Mamaliocoria), Baricoria	Arbusto

Nota: Tipo de sistema de dispersión y hábito de crecimiento de las especies encontradas en el ecosistema de referencia según el catálogo nacional de flora de la Universidad Nacional de Colombia. Por Galeano, 2018.

En la Tabla anterior podemos apreciar que el mayor tipo de dispersión encontrado fue Zoocoria (Ornitocoria, Mamaliocoria, Quiropterocoria), el cual consiste en la dispersión por medio de los animales, seguidamente la dispersión por Baricoria y Anemocoria, las cuales se basan su esparcimiento por medio de la gravedad y el viento respectivamente. Esta zona cuenta con gran

variedad de especies y por ende su hábito de crecimiento y dispersión de semillas es de gran importancia ya que permite que prevalezca la vegetación nativa de la región y genera protección de la fauna silvestre presente allí.

Para el desarrollo en el área disturbada principalmente se utilizó plántulas de hábito de crecimiento como son los árboles y arbustos con el fin de darle cumplimiento a lo estipulado en el diseño de núcleos.

7.2.Diversidad Alfa.

En la *Tabla 6* se registran diversos índices de diversidad alfa a lo largo de 10 transectos de 100 metros cuadrados de longitud en áreas de ribera del ecosistema de referencia.

Tabla 6. *Diversidad alfa de la comunidad de plantas arbustivas-arbóreas del ecosistema de referencia en la zona de ribera del río Guamal.*

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
No. Especies	22	25	32	29	34	37	34	29	27	24
Abundancias	292	275	334	311	303	307	312	267	160	142
Dominancia_D	0,0692	0,0584	0,0501	0,0526	0,0463	0,0402	0,0455	0,0664	0,0527	0,061
Simpson_1-D	0,9308	0,9416	0,9499	0,9474	0,9537	0,9598	0,9546	0,9336	0,9473	0,939
Shannon_H	2,839	2,991	3,192	3,136	3,232	3,383	3,295	2,993	3,089	2,941
Equidad_e^H/S	0,777	0,7962	0,7607	0,7935	0,7452	0,7962	0,7934	0,688	0,8132	0,789
Brilouin	2,696	2,824	3,018	2,963	3,038	3,171	3,098	2,807	2,822	2,68
Mehinick	1,287	1,508	1,751	1,644	1,953	2,112	1,925	1,775	2,135	2,014
Margalef	3,699	4,273	5,335	4,878	5,776	6,286	5,746	5,011	5,123	4,641

Continuación tabla 6.

Eq	0,91	0,92	0,92	0,93	0,91	0,93	0,93	0,88	0,93	0,92
uidad_	84	92	11	13	66	69	44	89	73	5
J										
Alf	5,51	6,68	8,71	7,82	9,82	11	9,71	8,27	9,30	8,28
a de	7	2	5	1	4		4	5	7	
Fisher										
Ber	0,12	0,11	0,12	0,10	0,08	0,08	0,11	0,15	0,1	0,12
ger-	67	27	57	93	58	8	86	36		
Parker										
Ch	22	25	33	29	36	38	34	29,7	27,2	26
ao-1								5		

Nota: Resultados obtenidos mediante biodiversity pro, en cuanto a diversidad de tipo alfa. Por Galeano, 2018.

De acuerdo con la Tabla 6 los índices de diversidad muestran una gran similitud en todos los transectos ubicados de manera perpendicular al borde del cauce. En otras palabras, no se detecta una tendencia a tener muestras más diversas a una distancia en particular del borde hacia el interior. Un análisis de varianza con los índices de Shannon-Wiener entre los transectos, no registró diferencias significativas (Kruskal-Wallis = 15.24, g.l. = 9, $p = 0.056$), indicando que las muestras son parecidas. De la misma manera, las dominancias en las diferentes muestras son similares; no se resalta un transecto donde la cantidad de individuos sea notoriamente mayor, lo que indica una distribución equitativa en el patrón de abundancia de las especies en los diferentes transectos estudiados.

En la Figura 9 se ilustran las curvas de rarefacción generadas para diferentes transectos perpendiculares al cauce del río en áreas del ecosistema de referencia.

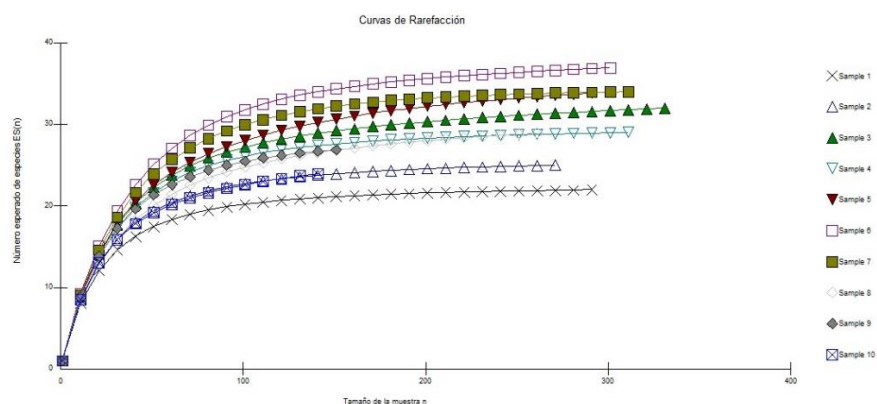


Figura 9. Curvas de rarefacción del número esperado de especies versus tamaño de la muestra, para diez 10 diferentes transectos perpendiculares al cauce del río en áreas de ribera del ecosistema de referencia, Elaborado a partir de Software *BiodiversityPro Profesional*. Por Galeano, 2018.

En las curvas de rarefacción se observa que al inicio el número esperado de especies de plantas aumenta en función del esfuerzo de muestreo para cada uno de los transectos estudiados del ecosistema de referencia. Sin embargo, si se toma como punto de corte muestral un tamaño de 141 individuos, la riqueza esperada de especies no varía de manera significativa entre los diferentes transectos. Para este tamaño de muestra, el promedio de la riqueza esperada fue de 27,45 especies con un valor mínimo de 21,03 y máximo de 34,0 especies entre los diez 10 transectos estudiados.

Las curvas rango abundancia para la distribución de especies de plantas en 10 diferentes transectos perpendiculares al cauce del río en áreas de borde ripario del ecosistema de referencia, se registran en la Figura 10.

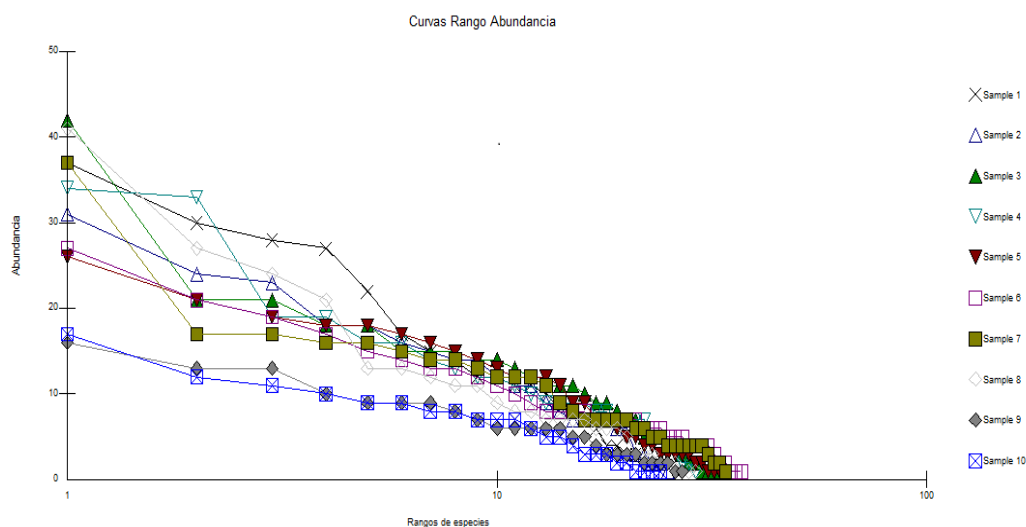


Figura 10. Curvas Rango-Abundancia para 10 diferentes transectos perpendiculares al cauce del río en áreas del ecosistema de referencia. Elaborado a partir de Software *BiodiversityPro Profesional*.

Nota: El eje X representa la distribución de las especies discriminada de acuerdo al transecto, en orden decreciente de abundancia

Las curvas rango abundancia ilustradas en la Tabla 10 muestran un patrón diferencial para las especies distribuidas a poca distancia del borde ripario en comparación con aquellas distribuidas a mayores distancias del borde. Las abundancias de las especies distribuidas a poca distancia del borde son relativamente altas, mientras que a mayores distancias se diferencia un pequeño número

de especies con abundancias relativamente bajas. Entre las especies con abundancias altas cercanas al cauce del río sobresalen *Myrcianthes leucoxyla*, *Visma guianensis* y *Xylopia aromatica*.

7.3.Diversidad Beta.

En la Figura 11 se establecen las relaciones de similitud en la abundancia promedia de especies de plantas discriminada de acuerdo a diez (10) diferentes transectos perpendiculares al cauce del río en áreas de ribera del ecosistema de referencia.

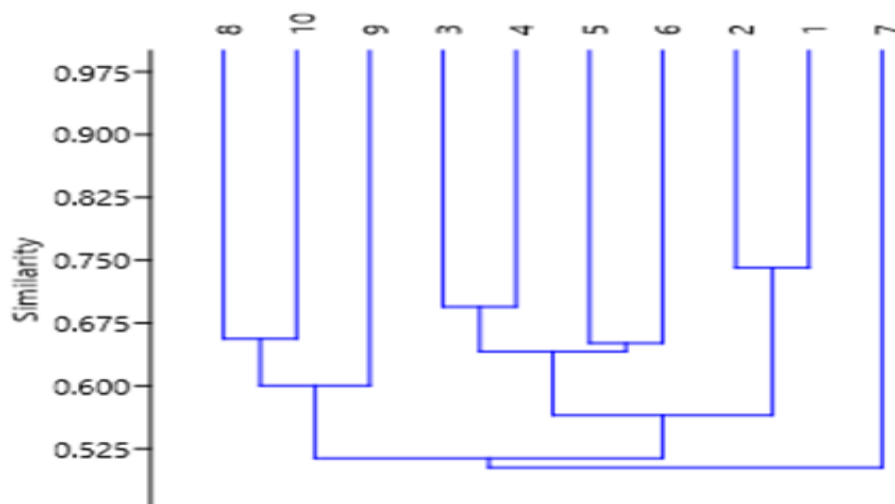


Figura 11. Dendrograma de análisis de similitud (Bray Curtis, Group Average Link) de las comunidades de plantas arbustivas y arbóreas en zonas de ronda del ecosistema de referencia. Por Galeano, 2018.

La similitud en composición de la comunidad estudiada del ecosistema de referencia varió en un máximo de un 15% y el coeficiente de similitud de Bray Curtis fue menor en el transecto 7 en comparación con el resto de transectos. El análisis clúster de Bray Curtis asoció a los transectos 1-2 como los de mayor similitud en cuanto a la composición y abundancia de especies, mientras que el de menor similitud (mayores diferencias en composición) fue el transecto 7. Igualmente, los transectos 8-9 y 10 también mostraron altas diferencias con respecto al resto de transectos.

Ver en la *Tabla 7*, se observa la distribución del número de especies dominantes en el ecosistema de referencia discriminadas por hábito de crecimiento en todos los transectos.

Tabla 7. *Especies dominantes en el ecosistema de referencia discriminadas por hábito de crecimiento.*

Núcleos	Especies dominantes encontradas
Estrato arbóreo	Grupo I <i>Eugenia sp</i> (Arrayán); <i>Sapium laurifolium</i> (Caucho); <i>Xylopia aromática</i> (Malagueto); <i>Cochlospermum vitifolium</i> (Bototo); <i>Triplaris weigeltiana</i> (Vara santa); <i>Inga edulis</i> (Guamo).
Estrato arbustivo	<i>Vismia guianensis</i> (Lacre); <i>Vernonanthura brasiliiana</i> (Indio viejo);
Sufrutice	<i>Clidemia octona</i> (Morito)

Nota: Especies dominantes encontradas y agrupadas según su hábito de crecimiento. Por Galeano, 2018.

La Tabla 8, menciona las especies de plantas dominantes en zonas de borde ripario según su relación con la fase sucesional en la que participan.

Tabla 8. *Especies de plantas dominantes en zona de borde ripario según su fase sucesional*

Grupo ecológico	Especies dominantes
Precursor leñoso – Pionera leñosa	Grupo I: <i>Sapium laurifolium</i> (Caucho); <i>Xylopia aromática</i> (Malagueto); <i>Cochlospermum vitifolium</i> (Bototo); <i>Triplaris weigeltiana</i> (Vara santa); <i>Inga edulis</i> (Guamo); <i>Vismia guianensis</i> (Lacre); <i>Vernonanthura brasiliiana</i> (Indio viejo); <i>Clidemia octona</i> (Morito).
	Grupo II: <i>Ochroma pyramidale</i> (Balso); <i>Vernonanthura brasiliiana</i> (Indio viejo); <i>Cupania cinerea</i> (Guacharaco).
Inductor preclimácico – Sucesión tardía	Grupo I: <i>Eugenia sp</i> (Arrayán); Grupo II: <i>Guarea guindonia</i> (Trompillo); <i>Calathea latifolia</i> (Bijao).

Nota: Especies encontradas en zona riparias agrupadas según su fase sucesional. Por Galeano, 2018.

7.4. Diseño de módulos de nucleación implementado.

El diseño de módulos de restauración implementado con la distribución de ocho (8) individuos por módulo (1 planta central, 4 plantas en anillo 1 y 3 plantas en anillo 2) y la ubicación de 26 perchas artificiales entre los módulos de acuerdo a la facilidad para su instalación en campo. Se desarrollaron dos fases de plantación; (i) la primera orientada al uso de especies con hábito

arbustivos subarbóreo; y (ii) la segunda orientada al uso de especies con hábito subarbóreo – arbóreo, planteado en metodología (Figura 3)

En las *Tabla 9* y *Tabla 10* se incluyen las especies utilizadas para la conformación de los dos (2) arreglos florísticos, indicándose el nombre científico, la posición dentro del módulo de nucleación y la función ecológica.

Tabla 9. *Especies utilizadas para la conformación del arreglo florístico No. 1.*

Nombre común	Nombre científico	Posición dentro del módulo	Función
Arrayán	<i>Eugenia</i> sp	Central	Enriquecimiento del dosel arbóreo. Especie inductora preclimática.
Malagueto	<i>Xylopia aromatica</i>	Anillo 1	Enriquecimiento del dosel subarbóreo medio. Especie precursora leñosa intermedia.
Vara santa	<i>Triplaris weigeltiana</i>	Anillo 1	Enriquecimiento del dosel subarbóreo medio. Especie precursora leñosa intermedia
Caucho	<i>Sapium laurifolium</i>	Anillo 1	Enriquecimiento del dosel subarbóreo medio. Especie precursora leñosa intermedia
Guamo	<i>Inga edulis</i>	Anillo 1	Enriquecimiento del dosel subarbóreo medio. Especie precursora leñosa intermedia
Indio viejo	<i>Vernonanthura brasiliensis</i>	Anillo 2	Enriquecimiento del dosel arbustivo medio. Especie precursora leñosa inicial
Lacre	<i>Vismia guianensis</i>	Anillo 2	Enriquecimiento del dosel arbustivo medio. Especie precursora leñosa inicial
Morito	<i>Clidemia octona</i>	Anillo 2	Enriquecimiento del dosel arbustivo medio. Especie precursora leñosa inicial.

Nota: Especies seleccionadas para el diseño florístico 1 teniendo en cuenta su función en el núcleo. Por Galeano, 2018.

Tabla 10. Especies utilizadas para la conformación del arreglo florístico No. 2.

Nombre común	Nombre científico	Posición dentro del módulo	Función
Trompillo	<i>Guarea guindonia</i>	Central	Enriquecimiento del dosel arbóreo. Especie inductora preclimática.
Bototo	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	Anillo 1	Enriquecimiento del dosel subarbóreo medio. Especie precursora leñosa intermedia.
Balso	<i>Ochroma pyramidale</i>	Anillo 1	Enriquecimiento del dosel subarbóreo medio. Especie precursora leñosa intermedia
Guacharaco	<i>Cupania cinerea</i>	Anillo 1	Enriquecimiento del dosel subarbóreo medio. Especie precursora leñosa intermedia
Vara santa	<i>Triplaris weigeltiana</i>	Anillo 1	Especie precursora leñosa intermedia
Indio viejo	<i>Vernonanthura brasiliensis</i>	Anillo 2	Enriquecimiento del dosel arbustivo medio. Especie precursora leñosa inicial
Lacre	<i>Vismia guianensis</i>	Anillo 2	Enriquecimiento del dosel arbustivo medio. Especie precursora leñosa inicial
Morito	<i>Clidemia octona</i>	Anillo 2	Enriquecimiento del dosel arbustivo medio. Especie precursora leñosa inicial.

Nota: Especies seleccionadas para el diseño florístico 2 teniendo en cuenta su función en el núcleo. Por Galeano, 2018.

En la Figura 12 Se ilustra la distribución de los módulos de nucleación y de las perchas de aves establecidas en el predio en proceso de restauración activa.

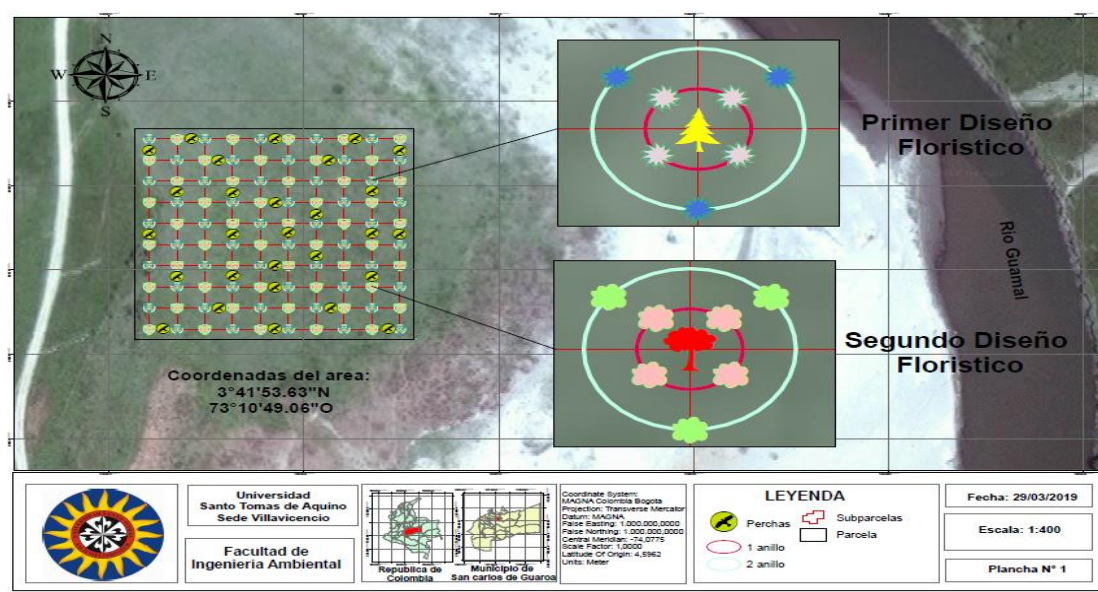


Figura 12. Plano de distribución de los módulos de nucleación y perchas de aves en un predio con proceso de restauración activo de 1 ha en extensión se traslapo sobre la imagen satelital de este año, para la identificación de las especies ver tabla anterior. Por Galeano, 2018.

A continuación, en la Figura 13 , se evidencia las especies usadas para plantación en la zona de disturbio y en Figura 14 y Figura 15 las diferentes vistas de los 2 diseños florísticos planteados.

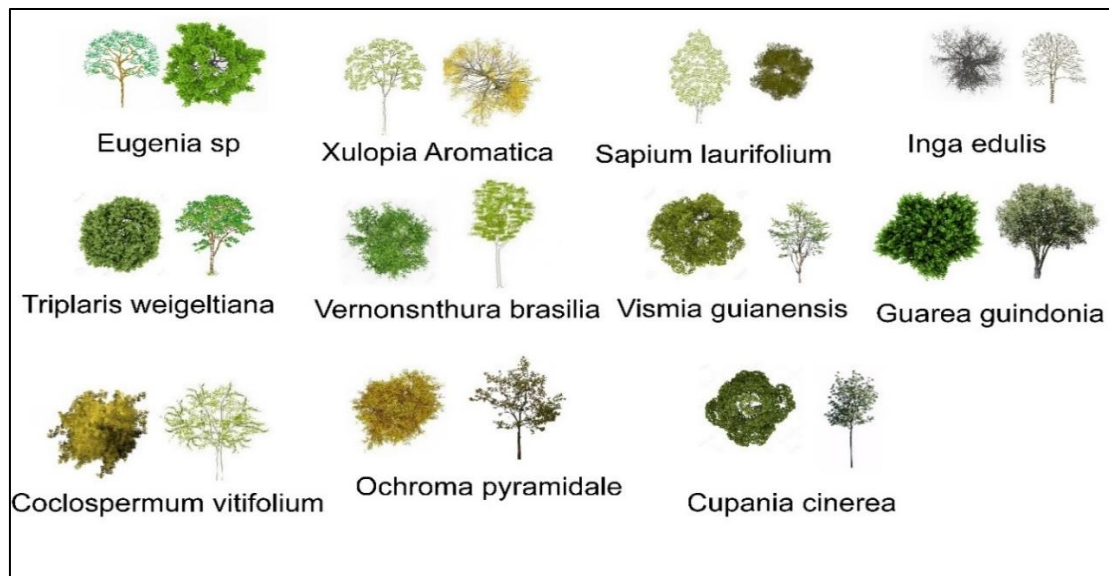


Figura 13. Especies de plántulas usadas para ambos diseños florísticos ubicados en los núcleos concéntricos en la plantación de área disturbada, elaborado a partir de AutoCAD. Por Galeano, 2018.

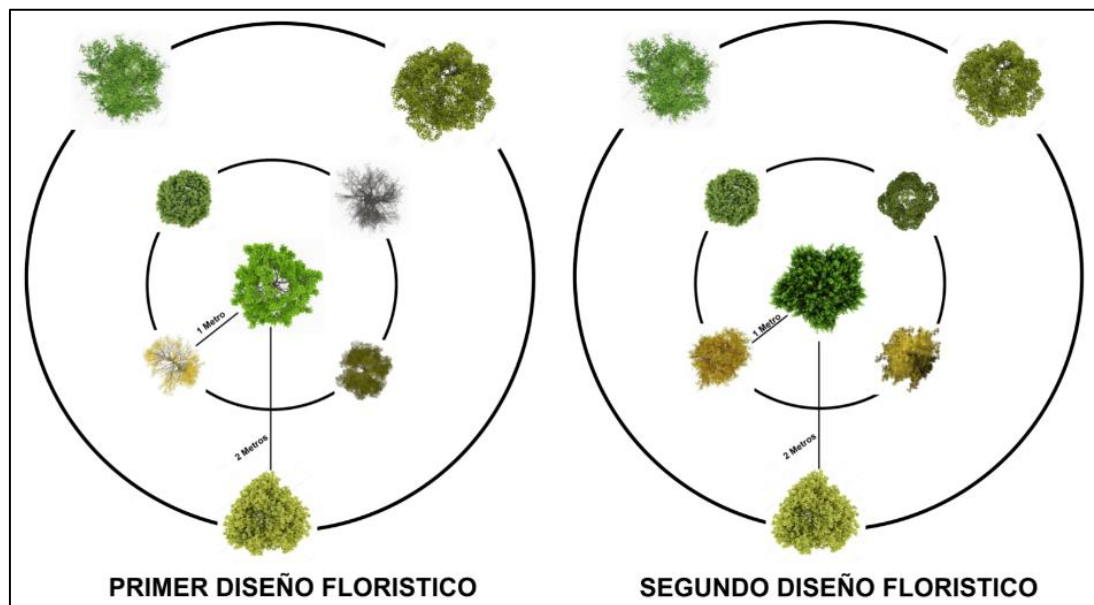


Figura 14. Vista superior: Diseño y ubicación de las plántulas en los núcleos concéntricos en la plantación en el área disturbada, elaborado a partir de AutoCAD. Por Galeano, 2018.

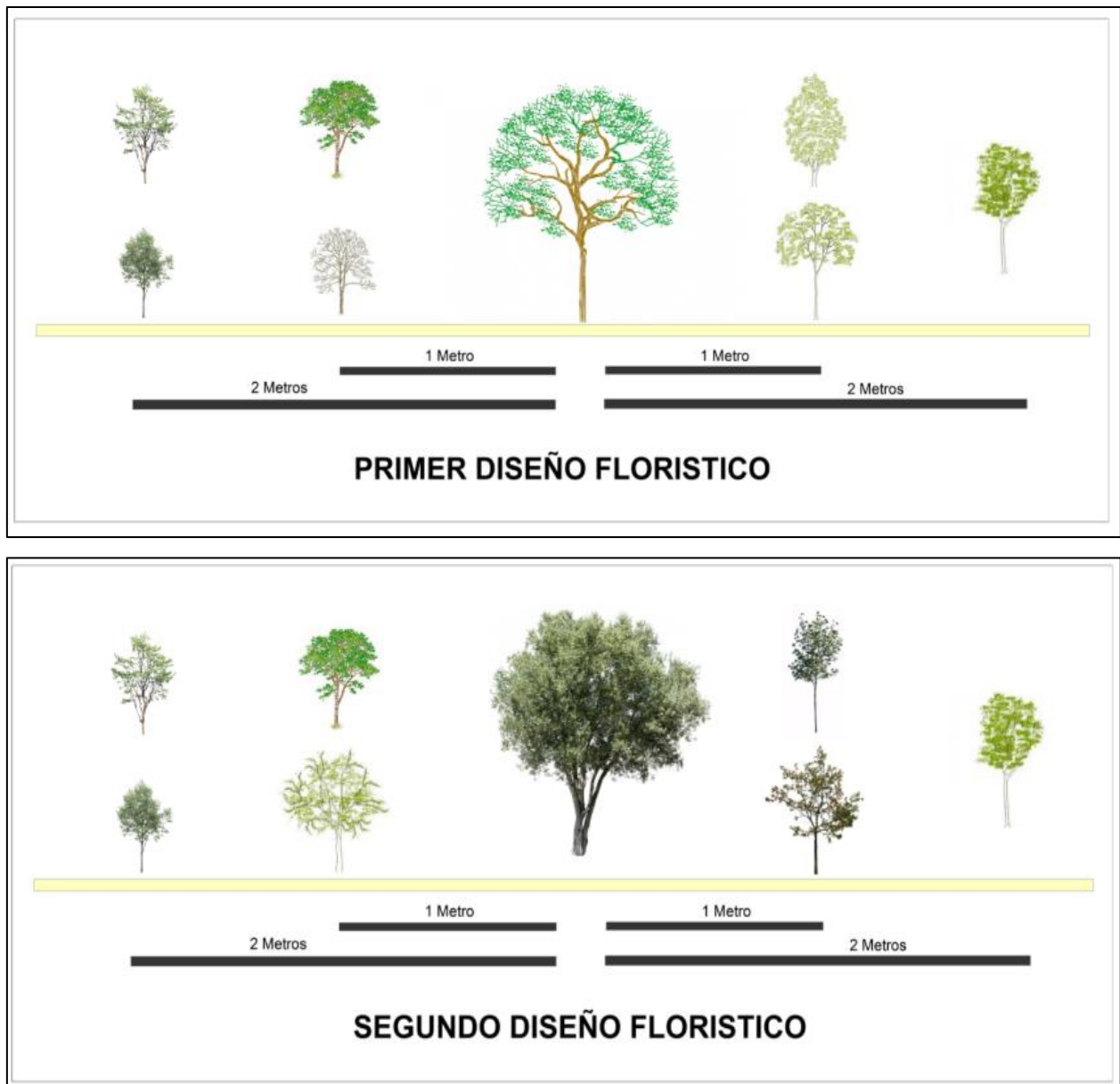


Figura 15. Perfil de los 2 diseños florísticos en los núcleos concéntricos en la plantación en el área disturbada, elaborado a partir de AutoCAD. Por Galeano, 2018.

En la Tabla 11 se especifican las cantidades utilizadas para el establecimiento de los módulos de nucleación en el predio a restaurar de manera activa.

Tabla 11. *Distribución de las cantidades utilizadas para el establecimiento en campo de los núcleos de restauración activa en un área de 1 ha.*

ELEMENTOS DEL NÚCLEO	CANTIDAD
Número total de módulos de nucleación establecidos	100
Número total de individuos sembrados	800
Número de especies usadas para conformación de módulos	12
Número total de perchas para aves instaladas	26

Nota: Tabla de elementos según la cantidad utilizada para el establecimiento de los módulos. Por Galeano, 2018.

Con las especies seleccionadas se realizó una ficha técnica de las especies seleccionadas (Ver anexo 9), teniendo en cuenta sus características de distribución, hábitat y sus usos.

7.5. Monitoreo parcial de los núcleos de vegetación establecidos

7.5.1. Actividades desarrolladas con la comunidad.

En la Tabla 12 se describen las actividades que fueron desarrolladas de manera concertada con la comunidad del área de influencia del predio en proceso de restauración activa, para efectos de: socialización del proyecto, capacitación para mantenimiento y control de los módulos de restauración, seguimiento a las labores de ahoyado, siembra, aplicación de fertilizantes, plateo y control fitosanitario de plántulas.

Tabla 12. *Actividades ejecutadas con la comunidad durante el periodo del proyecto.*

Fecha	Actividad	Descripción
6-ago-18	Socialización del proyecto	Se da inicio al desarrollo del proyecto de manera formal; se establecieron las fechas para la ejecución de las diferentes fases del proyecto establecidas en el cronograma.
18-sep-18	Seguimiento, control y mantenimiento a los núcleos de restauración	Se realizaron labores de seguimiento y mantenimiento al predio que contenía los núcleos sembrados y a reemplazar especies que por algún motivo murieron.
2-oct-18	Seguimiento, control y mantenimiento	Mantenimiento del predio intervenido en cuanto a limpieza, replanteo, abono y riego.
23-oct-18	Seguimiento - mantenimiento, avance del proyecto y practicas	Mantenimiento de las plántulas sembradas en cuanto al abono y al riego, como también el reemplazo de las mismas. Se asignó un espacio para socializar el avance del proyecto y exponer resultados preliminares ante la comunidad.
13-nov-18	Seguimiento, control y mantenimiento	Para estas fechas como para las anteriores se dedicó explícitamente al mantenimiento es decir, al replanteo, abono, riego.
4-dic-18	Seguimiento, control y mantenimiento	
18-dic-18	Resultados finales y capacitaciones	Socialización de los resultados, incluyendo una retroalimentación de los mismos. Capacitación acerca del mantenimiento bimensual o según como se requiera en el predio. Se agradece y se brinda un refrigerio por agradecimiento al trabajo realizado.

Nota: Descripción de las actividades desarrolladas en cada fecha con la comunidad. Por Galeano, 2018.

7.5.2. Seguimiento a la plantación.

Durante el periodo de estudio se presentaron algunas muertes de plántulas las cuales fueron reemplazadas por un ejemplar de la misma especie para evitar el retraso o pérdida de trabajo. En la Figura 16 se ilustra el porcentaje de individuos muertos y que fueron reemplazados en los núcleos de restauración activa establecidos en el predio intervenido.

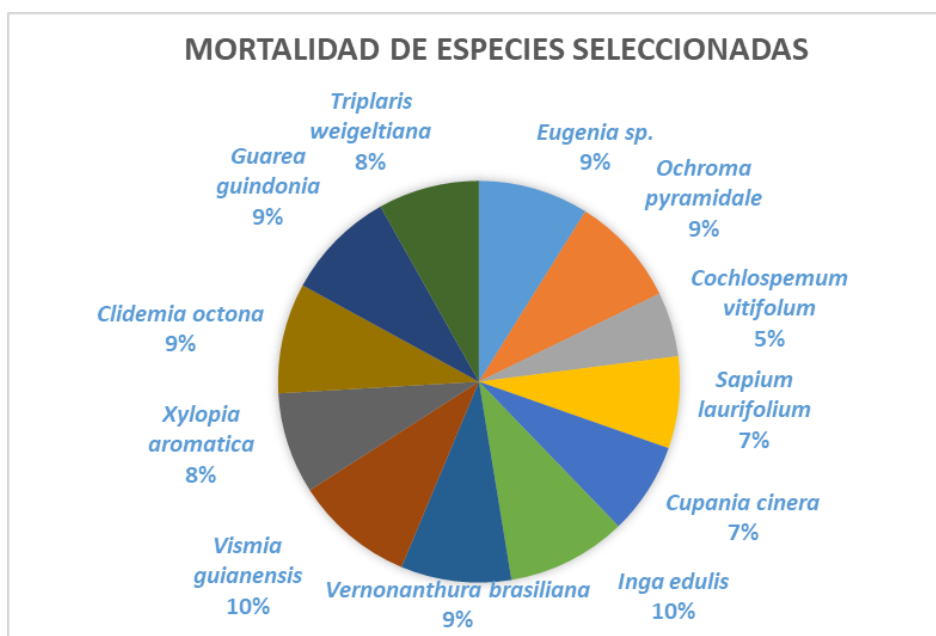


Figura 16. Variación en el porcentaje de mortalidad de especies en los núcleos de restauración establecidos en un predio de 1 ha de extensión. Por Galeano, 2018.

De acuerdo con lo establecido en la Figura 16, la tasa de mortalidad durante el periodo de estudio fue de 16.8%. El mayor número de registros por mortalidad correspondió a las especies de Guamo (*Inga edulis*, Familia *Fabaceae*) y Lacre (*Visma guianensis*, Familia *Hypericaceae*). La especie con el menor número de individuos muertos fue el Bototo (*Cochlospermum vitifolium*, Familia *Araceae*).

De las especies que en el transcurso del monitoreo no sobrevivieron y que fueron reemplazadas debido a que estas plántulas en su trasplante y siembra presentaron un periodo crítico en el ecosistema de disturbio durante el cual las plántulas son vulnerables a los factores del ambiente y a los diversos depredadores y patógenos. La presencia de malas hierbas afectó su ritmo de crecimiento, el clima, las plagas y los errores humanos en el proceso de establecimiento de las

plántulas. Para disminuir los riesgos con las nuevas plántulas que se reemplazaron se procedió a realizar, el deshierbe (Plateo), abonado y riego y un control de la comunidad en las visitas no programada como las programadas.

Al haber deceso, a causa de lo mencionado anteriormente, se procedió con la comunidad a realizar reposición de estas especies ver Figura 17.

Partiendo de lo anterior en la parcela intervenida de 1 hectárea con 11 especies sembradas se realizó mantenimiento en las fechas estipuladas el cual se evidencia en el anexo 10.

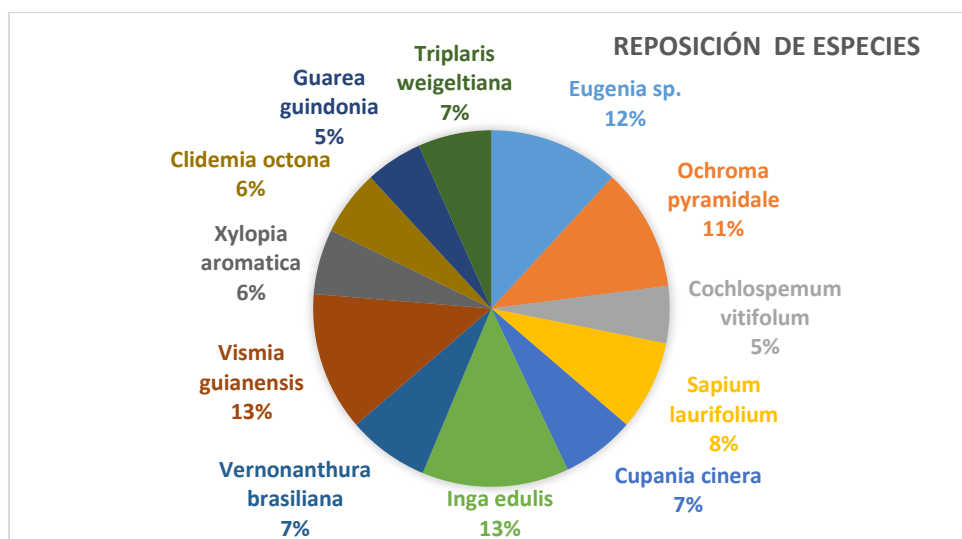


Figura 17. Porcentaje de reposición de especies. Por Galeano, 2018.

Se evidencia en la Figura anterior que la que más se le realizó reposición fue a la especie Guamo (*Inga edulis*, Familia *Fabaceae*) y Lacre (*Visma guianensis*, Familia *Hypericaceae*) y de menos mortalidad la especie Bototo (*Cochlospermum vitifolium*, Familia *Araceae*). Se realizó el reemplazo de estas especies, para continuar con el progreso y proceso de crecimiento.

Por otro lado, el desarrollo físico de cada especie en cuanto a su altura y diámetro promedio durante el periodo de monitoreo se puede evidenciar en las Figura 18 y Figura 19.

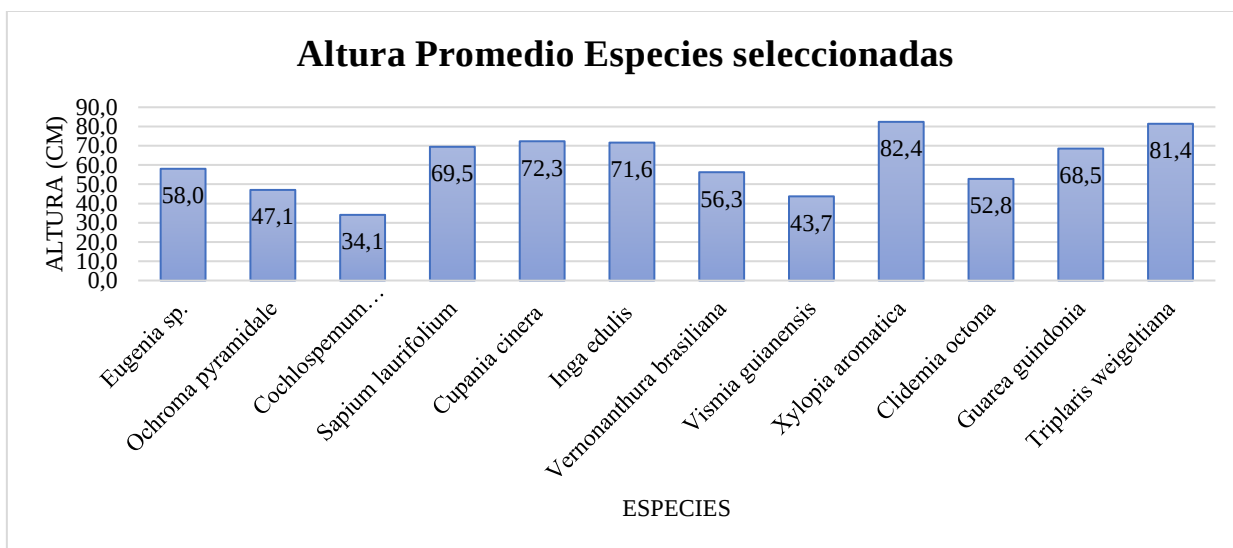


Figura 18. Porcentual de reposición de especies al ecosistema con disturbio. Por Galeano, 2018.

En la figura anterior se logra evidenciar la especie con mayor crecimiento fue *Xylopia aromatica* la cual obtuvo un crecimiento promedio de 82,4 cm, y la especie con menor crecimiento promedio fue *Cochlospemum vitifolium* con un crecimiento promedio de 34,1.

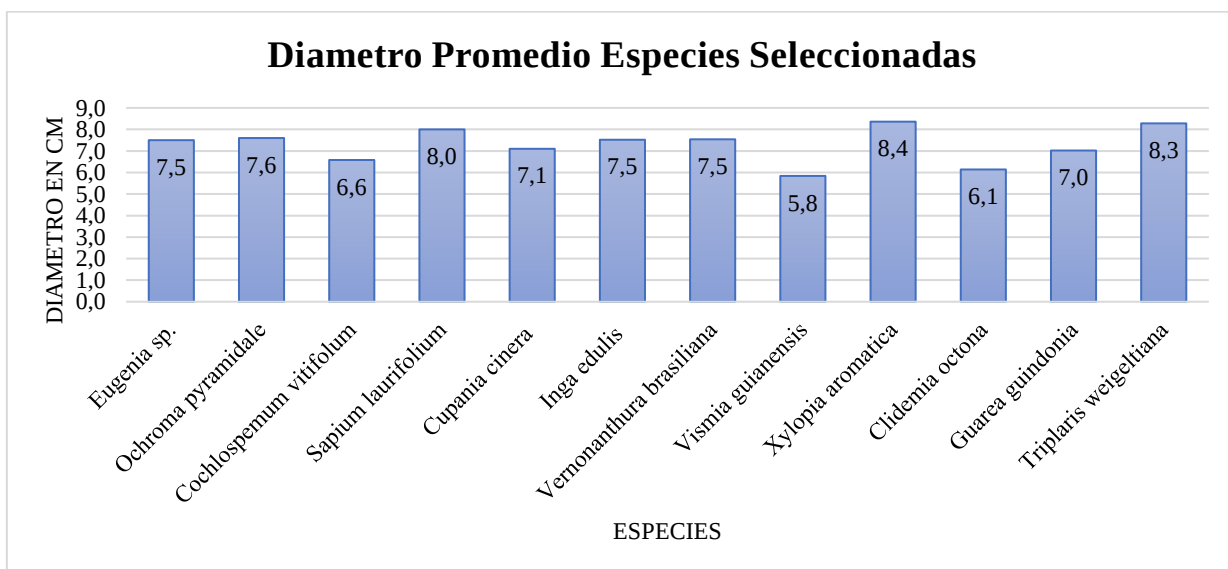


Figura 19. Porcentual de reposición de especies al ecosistema con disturbio. Por Galeano, 2018.

En la figura anterior podemos observar el diámetro alcanzado por las especies seleccionadas, mostrándonos que la especie con mayor diámetro promedio fue *Xylopia aromatica* (8,4 cm), y la especie que registro menor diámetro fue *Vismia guianensis* (5,8 cm).

8. Conclusiones

Las principales conclusiones derivadas de los resultados de este estudio son las siguientes:

- Se registra poca variación en la composición de las especies de plantas del ecosistema de referencia, con algunas diferencias en la abundancia de las especies de acuerdo a su ubicación en la zona riparia, teniendo mayor abundancia las que se encuentran más cerca al borde del cauce del río.
- El mayor tipo de dispersión encontrado fue Zoocoria (Ornitocoria, Mamaliocoria, Quiropterocoria), lo cual nos muestra la gran importancia de los animales para la abundancia y distribución de plantas.
- El análisis de varianza con los índices de Shannon-Wiener entre los transectos de muestreo del ecosistema de referencia, no registró diferencias significativas desde el punto de vista estadístico, lo cual nos indica que no se encuentran transectos donde la cantidad de individuos sea notoriamente mayor, lo que indica que hay una distribución similar de las abundancias de especies entre los mismos.
- El análisis clúster de Bray Curtis agrupó los transectos de muestreo de acuerdo a su similitud registrando un alto valor entre ellos; según los resultados, los transectos 1-2 fueron los de mayor similitud en cuanto a la composición y abundancia de especies, mientras que el de menor similitud (mayores diferencias en composición) fue el transecto 7.
- A la hora de conformar el núcleo es importante establecer la función de cada planta en beneficio del núcleo, estableciendo así las funciones de cada especie dentro del mismo.
- Así definiendo cuál será la especie inductora pre-climática (En el diseño 1, *Eugenia sp* y en el 2 *Guarea guindonia*), precursora leñosa intermedia (Para el diseño 1, *Xylopia aromatica*, *Triplaris weigeltiana*, *Sapium laurifolium*, *Inga edulis* y para el diseño 2, *Cochlospermum vitifolium*, *Ochroma pyramidale*, *Cupania cinérea*, *Triplaris weigeltiana*) y precursora leñosa inicial (Para el diseño 1, *Vernonanthura brasiliiana*, *Vismia guianensis*, *Clidemia octona*, para el diseño 2, *Vernonanthura brasiliiana*, *Vismia guianensis*, *Vismia guianensis*), también definiendo que tipo de enriquecimiento darán al dosel, sea arbóreo, subarboreo y arbustivo.

- El establecimiento y uso de las perchas es de gran importancia debido a que fomenta el paso de las aves y el aumento de la fauna en la zona, lo cual a su vez ayuda a aumentar la dispersión por medio del sistema de Zoocoria.
- La ayuda e interacción con la comunidad de la zona es de gran importancia, ya que con la ayuda prestada se pudo realizar con éxito el muestreo en el ecosistema de referencia y la siembra en el área a tratar, también se les realizó una capacitación con el fin de que cuiden el terreno y las plantas allí sembradas.
- La tasa de mortalidad de las especies fue de 16,8% en todo el proceso de seguimiento y monitoreo, lo cual no fue un porcentaje alto. Las especies que iban muriendo fueron reemplazadas por una de su misma especie con el fin de no retrasar el proceso; algunas muertes se dieron por plagas o insectos, mala siembra o rechazo al terreno en el que fue sembrado.
- Desde la ingeniería ambiental este tipo de proyectos tiene gran importancia ya que la reforestación es una operación esencial para la supervivencia de los seres vivos y por ende del planeta. Teniendo en cuenta la gran cantidad de incendios y talas clandestinas indiscriminadas de árboles, ha ocasionado que el porcentaje de cobertura vegetal disminuya de gran manera. También es de gran relevancia interacción entre el ingeniero ambiental y la comunidad para un correcto desarrollo de actividades.

9. Discusión de resultados y Recomendaciones

La restauración ecológica iniciada en este estudio en un área de 1 ha de bosque ripario del río Guamal busca aumentar en el mediano y largo plazo la diversidad florística a través de especies nativas teniendo como referente los muestreos realizados en un área de menor disturbio localizada a varios kilómetros del predio intervenido (ecosistema de referencia).

En este estudio se pudo observar un comportamiento semejante entre las diferentes muestras del ecosistema de referencia, sin variaciones significativas en la riqueza y diversidad alfa y beta de la comunidad, aunque se presentaron leves diferencias en la distribución de las abundancias de las especies de acuerdo a su posición en el hábitat ripario. Tal situación puede ser reflejo del historial de uso y transformación antrópica de las áreas de vegetación de ribera a lo largo del área de estudio que se traduce en una homogeneidad de la vegetación que fue tomada como referente para la conformación de núcleos de restauración activa.

El enfoque de este estudio se fundamentó en los mecanismos de sucesiones secundarias mediante arreglos de siembras de especies nativas (núcleos de Anderson), en el cual se plantaron individuos de acuerdo a la ecología de las especies y los patrones sucesionales naturales pretendiendo inducir una recuperación vegetal acelerada. La selección de especies con funciones específicas para la estructuración de los diseños florísticos constituyó la primera fase para posibilitar una rápida adaptación de estas plántulas en el predio.

En toda práctica de restauración ecológica la identificación de especies es uno de los puntos de partida crucial ya que es ahí donde se podría hablar de éxito o no frente a la recuperación de áreas riparias degradadas. Una elección equivocada de especies en tanto a sus requerimientos ambientales y su hábitat natural puede hacer que los esfuerzos sean insuficientes para garantizar una recuperación vegetal acelerada.

Una de las partes cruciales de este estudio fue la de fortalecimiento de nutrientes con la ayuda de abono orgánico en los núcleos de Anderson plantados. Esta actividad generó un comportamiento favorable en cuanto al crecimiento de las plantas sembradas. La presencia de pastos y otras malezas fue menor, disminuyendo la competencia con las plántulas sembradas y por lo tanto su mayor sobrevivencia. La mortalidad de plántulas sembradas en este estudio se puede

atribuir a varios factores como: mala siembra, poca fijación al suelo de plántulas, o muerte a causa de agentes invasores como las hormigas, orugas, gusanos y escarabajos herbívoros. Es importante hacer el mantenimiento adecuado a las plantas sembradas, por lo cual se debe hacer un control de plagas y una limpieza de rastrojo y malezas; también se recomienda aplicar fertilizantes e ir reemplazando las plantas que mueran con el fin de no retrasar el proceso y seguir según lo establecido.

Los resultados presentados en este estudio se basan en la fase inicial del establecimiento de las plántulas las cuales se encuentran a 10 metros de distancia de núcleo a núcleo, lo cual reduce la posibilidad de que se establezca competencia entre individuos de una misma especie o especies diferentes. Es importante mencionar, que, aunque algunos requerimientos como fertilizante y cal para estabilización del terreno, gasolina y transporte fueron sufragados por el autor de este proyecto, la comunidad del área de influencia del predio en fase inicial de restauración asumió la responsabilidad de continuar con el monitoreo y proporcionar los abonos y limpieza de malezas que se generaran después de que finalice el proyecto.

La metodología usada en este estudio garantiza que la dispersión en el predio en fase inicial de recuperación esté dominada por especies zoócoras de tipo arbustivo. Este tipo de dispersión in situ con dominio de la familia *Fabaceae* en este estudio, ha sido documentada como muy eficiente y contribuye al mantenimiento de una diversidad faunística en el largo plazo ya que encauza la dispersión hacia agentes bióticos.

Para el monitoreo en el largo plazo de los núcleos de restauración implantados en el área de estudio es recomendable la realización de estudios que consideren otras barreras a la restauración como la predación de semillas y plántulas, la germinación de algunas especies nativas clave, la valoración del establecimiento debido a la competencia con pastos y la valoración de las perchas de aves como núcleos de dispersión de semillas. En el largo plazo se debe generar un banco de semillas persistente en los suelos de las zonas de ribera que permita la germinación rápida, que crea las condiciones necesarias para el establecimiento de plántulas de otras especies y la introducción a largo plazo de especies secundarias.

Este estudio colaborativo entre la Alcaldía municipal de San Carlos de Guaroa y la universidad Santo Tomas generó una sinergia en un acto que se ejecutó sin problemas. Para resaltar es

necesario recomendar este tipo de proyectos en esta zona del país ya que es abundante en fuentes hídricas que presentan características similares con laderas degradadas y extensas hectáreas usadas en pastoreo y mono cultivo de palma africana. La restauración ecológica es una de las alternativas más adecuadas para las áreas de ribera que han sido disturbadas, debido a que ayuda a fortalecer los bosques de ribera, proteger el suelo, mantener el agua e incrementar la flora y fauna de estos sitios, contribuyendo al mejoramiento del bienestar humano, buscando que las actividades productivas que se desarrollan sean más sostenibles en el tiempo.

10. Referencias Bibliográficas

- Acero, A. M., & Cortés, F. (2014). Propagación de especies nativas de la microcuenca del río La Vega, Tunja, Boyacá, con potencial para la restauración ecológica. *Acad- Grupo de Investigación en Ecología de Bosques Andinos Colombianos-EBAC*, 38(147), 195-205. Obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v38n147/v38n147a05.pdf>
- Agrobyte. (2011). *Manual técnico de selvicultura*. Recuperado el 12 de septiembre de 2018 de <http://www.agrobyte.com/publicaciones/eucalipto/5plantacion.html>.
- Alcaldía Municipal de San Carlos de Guaroa. (2016). Plan de Desarrollo Territorial de San Carlos de Guaroa. Recuperado el 24 de enero de 2018. Obtenido de: https://ceo.uniandes.edu.co/images/Documentos/Plan_de_desarrollo_San_Carlos_de_Guaroa.pdf
- Amézquita, E. (1999). *Physical properties of the Llanos Orientales soils and their requirements of tillage*. *Palma*, 20(1), 73-86. Obtenido de: https://www.academia.edu/23158462/Propiedades_f%C3%ADsicas_de_los_suelos_de_los_Llanos_Orientales_y_sus_requerimientos_de_labranza_Physical_properties_of_the_Llanos_Orientales_soils_and_their_requirements_of_tillage
- Barrera, J. I., Contreras, S. M., Garzón, N. V., Moreno, A. C., & Montoya, S. P., (2010). Manual para la Restauración Ecológica de los Ecosistemas Disturbados del Distrito Capital. Recuperado el 12 de septiembre de 2018, de <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/con-la-comunidad/ES/manual-para-la-restauracion-ecologica-de-los-ecosistemas-disturbados-del-distrito-capital>
- Calle, Z. (2012). Métodos y técnicas para la restauración de Bosques. Recuperado el 19 de octubre de 2018 de <https://es.scribd.com/document/165131305/restauracion-de-bosques-pdf>
- Clavijo, K. J., & López, E. A., (2017). Propuesta metodológica de restauración para la vegetación riparia a partir de la variación de la composición florística en diferentes épocas climáticas del humedal Torca-Guaymaral. *Producción + Limpia*, 12(1), 49-62. Obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v12n1/1909-0455-pml-12-01-00049.pdf>
- Construvicol S.A. (S.f). Procedimiento constructivo para revegetalización. Recuperado el 12 de octubre de 2018, de <https://docplayer.es/57906645-Procedimiento-constructivo-para-revegetalizacion.html>

- Cortes, A., & Varon, C., (01 de Agosto de 2018). *Efecto de borde sobre la vegetación emergente en áreas fragmentadas de piedemonte en la reserva forestal protectora caño Vanguardia y quebrada Vanguardiuno, Villavicencio – Meta. tesis de grado obtenido no publicada.* Universidad Santo Tomas, Villavicencio, Colombia. Disponible en el sitio web: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/13673/2018albertocortes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cruz de la Sierra. S., (2000). Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Santa Cruz, Bolivia: El País. Obtenido de: <http://www.bionica.info/biblioteca/mostacedo2000ecologiavegetal.pdf>
- Díaz, A., (2007). Patrones de respuesta a heladas en arboles altoandinos sembrados en potreros y bordes ripario-potrерizados. En O. Vargas (Ed.). *Restauración ecológica del bosque altoandino: Estudios diagnósticos y Experimentales en los Alrededores del Embalse de Chisacá.* (425-444). Localidad de Usme, Bogotá D.C. Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/275771759_Patrones_de_respuesta_a_heladas_en_arboles_altoandinos_sembrados_en_potrero_y_borde_ripario-potrерizados
- Domínguez, M. E., & Ortega, R. (2014). The importance of riparian habitats for avian communities in a highly human-modified Neotropical landscape. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(4), 1217-1227. Obtenido de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1870345314730040>
- Faustino, J. (1996). *Gestión ambiental para el manejo de cuencas municipales [Libro en línea]. Recuperado el 22 de octubre de 2018, de Repositorio Institucional CATIE:* <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/2239>
- Gallo, F. (2017). *Adecuación y revegetalización de taludes productto de la disposición de diversos materiales en la escombrera Rancho Grande del Municipio de Piedecuestas Santander. Tesis de grado obtenido no publicada.* Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente, Bucramanga, Colombia. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/143468278.pdf>
- Glenn, E., Nagler, P., Shafroth, P., & Jarchow, C. (2016). Effectiveness of environmental flows for riparian restoration in aridregions: A tale of four rivers. *Ecological Engineering*. 106(B), 695-703. Obtenido de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857417300095>

- González del Tánago, M. (2010). Las Riberas, Elementos Clave del Paisaje y en la Gestión del Agua. Recuperado el 6 de octubre de 2018, de <http://www.unizar.es/forojoven/downloads/cursos/pdfs/zaraponengtanago.pdf>
- Gonzalo, H., & Moreno, C., (2005). Significado biológico de las diversidades alfa, beta y gamma. En G. Halfter, J. Soberón, P. Koleff & A. Mello (Ed). (5-18). Zaragoza, España: sociedad entomológica aragonesa. Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/284690560_Significado_biologico_de_las_diversidades_alfa_beta_y_gamma
- Greenpeace. (2017). La deforestación y sus causas. Recuperado el 2 de noviembre de 2018, de <https://www.greenpeace.org/archive-mexico/es/Campanas/Bosques/La-deforestacion-y-sus-causas/>
- Guaviare, A. S. (Diciembre de 2010). *Ordenamiento forestal productivo para la zona de reserva campesina del departamento del Guaviare*. Recuperado el 15 de octubre de 2018, de Zonificación de Unidades Agrícolas Familiares: http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2207/Technical/PP%20-%202019.%20Zonificacion.pdf
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2017). Colombia. Tasa anual de deforestación según departamento. Recuperado el 26 de noviembre de 2018, de <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/648879/4.03+D+Tasa+deforestacion+Dptos.xlsx/d5b89181-ab27-4df6-95aa-fbd57e359ac4>
- Instituto de Investigación de Recursos biológicos Alexander von Humboldt. (2017). Investigación en biodiversidad y servicios ecosistémicos para la toma de decisiones. Recuperado el 22 de Abril de 2018, de www.humboldt.org.co/
- Jarro, E. C. (2004). Guía técnica para la restauración de áreas de ronda y nacederos del distrito capital. Bogotá, Colombia: Europublicidad-DAMA. Obtenido de: http://oab.ambientebogota.gov.co/apc-aa-files/57c59a889ca266ee6533c26f970cb14a/guia_para_la_restauracion_de_areas_de_ronda_y_nacederos_del_distrito_capital.pdf
- Kauffman, B., Beschta, R., Otting, N., & Lytjen, D. (1997). An Ecological perspective of riparian and stream restoration in the Western United States. *Special Issue: Watershed Restoration*, 5(22), 12-24. Obtenido de: <http://www.pebblescience.org/pdfs/EcologicalRestoration.pdf>

- MADR. (2013). Oferta Agropecuaria Sistema de Información Geográfica Municipal. Recuperado el 20 de noviembre de 2018, del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, San Carlos de Guaroa. Obtenido de: http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11438/8018/1/SIG-MUNICIPALES%20PADILLA_CAUCA.pdf
- MADS. (S.f). Plan Nacional de Restauración Ecológica, Rehabilitación y Recuperación de Áreas Degradadas -PNR. Recuperado el 14 de noviembre de 2018, de <https://www.catorce6.com/actualidad-ambiental/legales/13210-plan-nacional-de-restauracion-ecologica-rehabilitacion-y-recuperacion-de-areas-degradadas>
- Magdaleno, F. (S,f). Estructura y Composición de la Vegetación de Ribera. Evoluación de los Bosques Riparios en el Ebro Medio. Recuperado el 12 de diciembre de 2018, de Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas-CEDEX. Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/26549415_Estructura_y_composicion_de_la_vegetacion_riberena_de_la_barranca_del_rio_Tembembe_Morelos_Mexico
- Mazón, M., & Néstor, G. (2016). Pasado y presente de la restauración ecológica en el contexto venezolano. *Interciencia*, 41(7), 454-460. Obtenido de: <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2017/10/454-MAZON-41-7.pdf>
- Meli, P., & Carrasco, V. (2011). *Restauración ecológica de riberas Manual para la Recuperación de la Vegetación Ribereña en Arroyos de la Selva Lacandona*. (ISBN 978-607-7607-43-4) México. Obtenido de: https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/versiones_digitales/RestRiberas.pdf
- Méndez, M., Martínez, C., Ceccon, E., & Guariguata, M. (2017). Planes actuales de restauración ecológica en Latinoamérica: Avances y omisiones. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2), 1-30. Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/318115666_Planes_actuales_de_restauracion_ecologica_en_Latinoamerica_Avances_y_omisiones_Current_Ecological_Restoration_Plans_in_Latin_America_Progress_and_Omissions
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y Unión Temporal Crece-Federación. (2013). Distribución de la Cobertura del Suelo para el Municipio de San Carlos de Guaroa, departamento del Meta. Recuperado el 07 de enero de 2018, de MADRUT.

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos en la Planificación y Gestión Ambiental Urbana*. Recuperado el 02 de octubre de 2018, del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humbolt- Gupo de Minambiente:http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Estructura_/BIODIVERSIDAD_Y_SERVICIOS_ECOSISTEMICOS_EN_LA_PLANIFICACION_Y_GESTION_AMBIENTAL_URBANA.pdf
- Murcia, M. (2010). *Productividad Primaria Neta del Bosque Altoandino en la Cuenca del Río Pamplonita. Sucesión Regenerativa del Bosque Altoandino. Tesis de grado obtenida no publicada*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia. Obtenido de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/3101/1/190823.2010A.pdf>
- Murcio, C., & Guariguata, M. (2014). La restauración ecológica en Colombia: Tendencias, necesidades y oportunidades. (ISBN 978-602-1504-35-2) Bogor, Indonesia: CIFOR. Obtenido de: <https://www.cifor.org/library/4519/>
- Ramírez, D. (2015). *Análisis comparativo de arreglos florísticos utilizados en módulos de restauración. Tesis de grado obtenido no publicada*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., Colombia. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3765/1/RamirezCifuentesDiegoAlejandro2016.pdf>
- Rodríguez, C. (2002). Cursos de Introducción a la Producción Animal: La Intensificación Ganadera como Proceso de Producción de Residuos. Recuperado el 02 de noviembre de 2018, de <http://www.fertilizando.com/articulos/La%20Intensificacion%20Ganadera.asp>
- Romero, F., Cozano, M., Gangas, R., & Naulin. P., (2014). Zonas ribereñas: protección, restauración y contexto legal en Chile. *Bosque (Valdivia)*, 35(1). Obtenido de: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002014000100001
- Sánchez, D. M., Bedoya, C. D., Valderrama, A., & Suárez, J. C. (2013). Desempeño agronómico de dos Variables de Arroz en la Amazonia Colombiana. *Ingenierías & Amazonia*, 6(1), 15-22. Obtenido de: <https://www.udla.edu.co/revistas/index.php/ingenierias-y-amazonia/article/view/298>
- Secretaría Distrital de Ambiente. (Julio de 2014). *Diseños de restauración ecológica-quebrada Morací. Propuesta de restauración, rehabilitación y recuperación*. Recuperado el 25 de noviembre de 2018, de Conservacion Internacional:

<https://quebradasusaquen.files.wordpress.com/2014/07/disec3b1os-de-restaurac3b3n-para-la-quebrada-moracc3ad.pdf>

Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono [SMBYC]. (2017). Décimo Boletín de Alertas Tempranas de Deforestación (AT-D) Primer trimestre 2017. Recuperado el 14 de noviembre de 2018, de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023977/Boletin_13.pdf

Society for Ecological Restoration [SER] International. (02 de octubre de 2004). *Principios de SER International sobre la restauración ecológica*. Recuperado el 27 de noviembre de 2018, Society for Ecological Restoration: https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/SER_Primer/ser-primer-spanish.pdf

Torres, F., Avella, A., Miranda, B., Villota, A., Gómez, W., & Torres, S. (2015). Avances del plan piloto de restauración ecológica sobre 11.079 Ha del bosque seco tropical en la zona de compensación del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, Huila-Colombia. Buenos Aires, Argentina: SIACRE. Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/298786956_AVANCES_DEL_PLAN_PILOTO_DE_RESTAURACION_ECOLOGICA_SOBRE_11079_HA_DEL_BOSQUE_SECO_TROPICAL_EN_LA_ZONA_DE_COMPENSACION_DEL_PROYECTO_HIDROELECTRICO_EL_QUIMBO_HUILA-COLOMBIA

Tres, D. R., & Reis, A., (2007). *La nucleación como propuesta para la restauración de la conectividad del paisaje*. Recuperado el 11 de diciembre de 2018, del II Simpósio Internacional sobre restauración ecológica: https://www.researchgate.net/publication/228653997_La_nucleacion_como_propuesta_para_la_restauracion_de_la_conectividad_del_paisaje

Vargas, J. (2007). *Guía metodológica para la Restauración Ecológica de Áreas Invasadas por el Retorno Espinosa*. Recuperado el 08 de diciembre de 2018, de la Academia: https://www.academia.edu/12476155/Gu%C3%ADa_metodol%C3%B3gica_para_la_restauraci%C3%B3n_ecol%C3%B3gica_del_bosque_altoandino

Vargas, O & Grupo de Restauración Ecológica. (2007). *Restauración Ecológica del Bosque Altoandino. Estudios diagnósticos y experimentales en los alrededores del embalse de Chisacá, localidad de Usme, Bogotá D.C.* (ISBN: 9789587018486.), Localidad de Usme,

- Bogotá :Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/259482690_Restauracion_ecologica_del_bosque_altoandino_estudios_diagnosticos_y_experimentales_en_los_alrededores_del_Embalse_de_Chisaca_Localidad_de_Usme_Bogota_DC
- Vargas, Y. (2017). *Determinación del índice de calidad riparia y propuesta para la restauración ecológica de la cuenca alta del río Reventazón, Cartago, Costa Rica. Tesis de grado obtenido no publicada*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. Disponible en el repositorio TEC: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9367>
- Velasco L. P., (2012). *Modelos de Restauración Ecológica en el Jardín Botánico, como Herramienta de Conservación de la Biodiversidad y los Ecosistemas de Alta Montaña y los asociados a la Red Hídrica*. Recuperado el 30 de noviembre, de Jardín Botánico José Celestino Mutis. pp 67. Obtenido de: <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/11730/13482>
- Vides, C. (Mayo de 2016). *Diversidad alfa y beta de la Avifauna Diurna en la Zona de Amortiguamiento del Área Natural Protegida Colima, Cuscatlán. Tesis de grado obtenido no publicada*. Universidad de el Salvador, El Salvador. Disponible en Academia: https://www.academia.edu/29162630/Tesis_-_Diversidad_alfa_y_beta_de_la_Avifauna_Diurna_en_la_Zona_de_Amortiguamiento_de_l%C3%81rea_Natural_Protegida_Colima_Cuscatl%C3%A1n
- Villareal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M., & Umaña, A., (2004). *Manual de Métodos para el Desarrollo de Inventarios de Biodiversidad*. Bogotá, Colombia: Claudia Villa. Obtenido de: https://www.zin.ru/animalia/coleoptera/pdf/villareal_et_al_2004.pdf
- Zamora, A. (2015). *Plan de Desarrollo "Unidos Ahora por San Carlos de Guaroa 2012-2015"*. Recuperado el 15 de enero de 2018. del Concejo Municipal San Carlos de Guaroa: <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/ancarlosdeguaroametaplandedesarrollo2012-2015.pdf>