

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE BORDE SOBRE EL BANCO DE SEMILLAS
GERMINABLES, EN LA RESERVA FORESTAL PROTECTORA VANGUARDIA,
VILLAVICENCIO-META.



PAULA XIMENA ANZOLA AGUDELO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2018

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE BORDE SOBRE EL BANCO DE SEMILLAS
GERMINABLES, EN LA RESERVA FORESTAL PROTECTORA VANGUARDIA,
VILLAVICENCIO-META.

ANZOLA AGUDELO PAULA XIMENA

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

Asesor

RODRIGO ISAAC VELOSA CAICEDO

Biólogo MSc.

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2018

Autoridades Académicas

P. FRAY JUAN UBALDO LÓPEZ SALAMANCA, O.P.

Rector General

P. FRAY MAURICIO ANTONIO CORTES GALLEG0, O.P.

Vicerrector Académico General

P. FRAY JOSE ARTURO RESTREPO RESTREPO, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. FRAY FERNANDO CAJICA GAMBOA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decano Facultad de Ingeniería Ambiental

Nota De Aceptación

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decano de la Facultad de Ingeniería Ambiental

RODRIGO ISAAC VELOSA CAICEDO

Director Trabajo de Grado

CESAR AUGUSTO RIVEROS ROMERO

jurado

JAIME ARTURO OREJARENA CUARTAS

jurado

Villavicencio, Noviembre de 2018

*A Dios, a mis padres, hermanas y mi novio
por todo su apoyo, comprensión y amor
incondicional.*

Agradecimientos

Le agradezco infinitamente a Dios y la Santísima Virgen María, por llenarme de amor y sabiduría, para afrontar cada obstáculo y levantarme ante las adversidades, por guiar siempre mis pasos y bendecir mi vida permitiéndome llegar hasta aquí.

A mi madre, por darme la vida, por ser el pilar y mejor ejemplo de mujer guerrera y luchadora, por impulsarme, alentarme, apoyarme y guiarme en cada paso de mi vida, por su lucha incansable por el bienestar de sus hijas, por su amor de madre. A mi padre, por ser el mentor, arquitecto y moldeador, de lo que he sido como mujer y persona, por enseñarme a ser fuerte y a estar preparada “en paz, para la guerra”. A mis hermanas: Catalina, por ser mi segunda mamá, por enseñarme que no existe lazo igual que la hermandad, por su protección y acompañamiento desde mi primer día de vida; a Sofía, por ser más que mi hermana, por ser mi razón de lucha para querer ser cada día mejor, por permitirme ser su ejemplo. A David, mi compañero, amigo y confidente, mi entero agradecimiento no solo por su apoyo y acompañamiento en estos cinco años, sino por su entrega a este proyecto, que acogió como suyo y fue pieza fundamental para sacarlo adelante. A mis amigos (Isabela, Alejandra y Juan), por su tiempo y ayuda en la recolección de muestras para el desarrollo de mi trabajo.

A mi director Rodrigo Velosa, por su guía, entrega, acompañamiento y paciencia, por compartir sus conocimientos y experiencias, que se quedaron por siempre en mi vida. A todos y cada uno de los profesores, que sin duda alguna aportaron con sus conocimientos y experiencias, mi formación profesional.

A la vida, por haberme permitido gozar de mi formación académica en la Universidad Santo Tomás, por todas las personas que conocí, y que de alguna u otra manera hicieron parte de este paso por aquí, a los lazos de amistad que se construyeron, que aún perduran y perduraran para la vida.

Contenido

	Pág.
Resumen.....	1
1. Introducción.....	3
2. Planteamiento del problema	5
3. Objetivos.....	7
3.1. Objetivo General.	7
3.2. Objetivos Específicos.....	7
4. Justificación	8
5. Alcance del Proyecto	10
6. Antecedentes.....	13
7. Marco de Referencia.....	16
7.1. Marco Teórico	16
7.1.1. Procesos de fragmentación y efecto de borde.....	16
7.1.2. Banco de semillas germinable y regeneración natural.....	17
7.2. Marco Conceptual.	19
7.2.1. Fragmentación.....	19
7.2.2. Efecto de borde	19
7.2.3. Banco de semillas germinable	20
7.2.4. Restauración Ecológica.....	20
7.2.5. Índices ecológicos.....	21
7.3. Marco Legal.	24
8. Metodología.....	26
8.1. Área de Estudio.	26
8.2. Materiales y Métodos.	27
8.2.1. Fase 1: Toma de muestras.	27
8.2.2. Fase 2: Invernadero.....	28
8.2.3. Fase 3: Recolección y Análisis de Datos.....	28

9.	Resultados.....	29
9.1.	Composición del BSG.....	29
9.2.	Efecto del tamaño del fragmento sobre el BSG.	31
9.2.1.	Tamaño y diversidad del BSG	31
9.3.	Efecto de la distancia al borde sobre el BSG discriminada por tamaño del fragmento .	34
9.3.1.	Variabilidad en composición, estructura y diversidad del BSG en fragmentos menores de 6 ha. (Tamaño pequeño).....	34
9.3.2.	Variabilidad en composición, estructura y diversidad del BSG en fragmentos entre 6 – 14 ha (tamaño mediano).	39
9.3.3.	Variabilidad en composición, estructura y diversidad del BSG en fragmentos mayores de 14 ha (tamaño grande).....	44
10.	Discusión.....	49
11.	Conclusiones	51
12.	Recomendaciones	52
13.	Referencias bibliográficas.....	53
	Anexos	58
	Anexo 1. Abundancias de las especies de plántulas encontradas, en los 14 transectos estudiados	58
	Anexo 2. Abundancias de las especies de plántulas distribuidas por distancias del borde al interior del bosque, en los 3 tipos de fragmento estudiados.....	59
	Anexo 3. Fotografías de las plántulas emergentes del banco de semillas germinable en la RFP Vanguardia.	60

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Listado de clasificación y germinadas en el BSG de los 3 tipos de fragmentos estudiados.....	29
Tabla 2. Índices de diversidad alfa en fragmentos de diferente tamaño.	32
Tabla 3. Índices de diversidad alfa a diferentes distancias del borde en fragmentos de tamaño pequeño (menor de 6 ha).....	38
Tabla 4. Índices de diversidad alfa a diferentes distancias del borde en fragmentos de tamaño mediano (6 – 14 ha).	43
Tabla 5. Índices de diversidad alfa a diferentes distancias del borde en fragmentos de tamaño grande (mayores de 14 ha).	48
Tabla 6. Abundancias de especies de plántulas registradas para todos los transectos.....	58
Tabla 7. Abundancias de especies de plántulas registradas para las distancias de los puntos de muestreo	59

Lista de Figuras

Pág.

Figura 1. Ubicación del área de estudio en el costado noroeste de la Reserva Forestal Protectora “Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno”, por Anzola P, 2017.	11
Figura 2. Ubicación de fragmentos de diferente tamaño en el sector noroeste de la Reserva Forestal Protectora “Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno”, por Anzola P, 2018	27
Figura 3. Dominancia de especies en el banco de semillas germinables de los tipos de fragmentos estudiados.....	31
Figura 4. Abundancia de plántulas provenientes del banco de semillas germinable discriminada por tamaño de fragmento.	32
Figura 5. Riqueza de plántulas provenientes del banco de semillas germinable discriminada por tamaño de fragmento.....	32
Figura 6. Dendrograma de similitud entre fragmentos discriminados por tamaño mediante el uso del índice de Bray-Curtis y el método de agrupamiento promedio UPGMA.....	33
Figura 7. Variación del número de plántulas provenientes del BSG a diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en tres fragmentos menores de 6 ha.	34
Figura 8. Dendrograma de similitud en la composición y abundancia total de especies de plántulas emergentes del BSG discriminada de acuerdo a la distancia desde el borde hacia el interior del bosque en 3 fragmentos de tamaño menor a 6 ha., RFP Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno.....	35
Figura 9. Curvas de rarefacción del número esperado de especies de plántulas emergentes del BSG versus tamaño de la muestra, para diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en fragmentos de tamaño menores a 6 ha, RFP Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno.....	36
Figura 10. Curvas de rango-abundancia para diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en 6 transectos de 40 m de longitud en fragmentos menores de 6 ha, en la RFP Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno. (Nota: El eje X representa la distribución de las especies discriminada de acuerdo con la distancia al borde, en orden decreciente de abundancia).	37
Figura 11. Variación del número de plántulas emergentes del BSG registradas a diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en 2 fragmentos entre 6 a 14 ha., RFP Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno.	39

Figura 12. Dendrograma de similitud en la composición y abundancia total de especies de plántulas emergentes del BSG discriminada de acuerdo con la distancia desde el borde hacia el interior del bosque en 2 fragmentos de tamaño entre 6 – 14 ha., RFP Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno.	40
Figura 13. Curvas de rarefacción del número esperado de especies de plántulas emergentes del BSG versus tamaño de la muestra, para diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en fragmentos de tamaño entre 6 a 14 ha, RFP Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno.	41
Figura 14. Curvas rango-abundancia para diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en 6 transectos de 40 m de longitud en fragmentos entre 6 a 14 ha, RFP Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno. (Nota: El eje X representa la distribución de las especies discriminada de acuerdo con la distancia al borde, en orden decreciente de abundancia).	42
Figura 15. Variación del número de plántulas emergentes del BSG registradas a diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en 2 fragmentos mayores de 14 ha., RFP Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno.	44
Figura 16. Dendrograma de similitud en la composición y abundancia total de especies de plántulas emergentes del BSG discriminada de acuerdo con la distancia desde el borde hacia el interior del bosque en 2 fragmentos de tamaño mayor de 14 ha cada uno. RFP Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno.	45
Figura 17. Curvas de rarefacción del número esperado de especies de plántulas emergentes del BSG versus tamaño de la muestra, para diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en fragmentos de tamaño mayores de 14 ha, RFP Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno.	46
Figura 18. Curvas rango-abundancia para diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en 6 transectos de 40 m de longitud en fragmentos con más de 14 ha, la RFP Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno. (Nota: El eje X representa la distribución de las especies discriminada de acuerdo con la distancia al borde, en orden decreciente de abundancia).	47

Resumen

La Reserva Forestal Protectora Vanguardia, es una zona de características de preservación y conservación, según lo establecido por el INDERENA en 1984, esta área ha sido fuertemente intervenida por situaciones de disturbio, como la expansión urbana y la ganadería extensiva, llevando a establecer zonas de borde en el ecosistema, lo cual influye en el potencial de regeneración del mismo a través del banco de semillas germinables del suelo. Por ello, se evaluó la influencia del efecto de borde, sobre el banco, para conocer los factores que determinan regeneración natural de la vegetación en las zonas de la reserva. El presente estudio se llevó a cabo, mediante el uso del método indirecto establecido por Thompson (1997), del área de estudio se seleccionaron siete fragmentos de bosque con diferente tamaño, para la toma de muestras, estos fragmentos se agruparon en tres grupos, caracterizados en fragmentos pequeños (< 6 ha), medianos (entre 6 y 14 ha) y grandes (> 14 ha), donde se recolectaron 84 muestras de suelo (20cm x 20cm, a una profundidad de 5cm), en cada transecto se ubicaron 6 sitios (0 m, 2.5 m, 5.0 m, 10.0 m, 20.0 m y 40.0 m) desde el borde hacia el bosque. Las muestras germinaron en condiciones de vivero, durante un periodo de 2 meses y medio, con lo cual se obtuvieron 1291 plántulas, distribuidas en 28 especie y 15 familias, la composición del BSG¹, se encontró dominada en un 50% por plántulas de tipo herbáceo; los resultados sugieren tendencias a la disminución en cuanto la composición, diversidad y abundancia del banco de semillas en fragmentos de tipo pequeño a grande, sin embargo los resultados no fueron estadísticamente significativos.

Palabras Clave: Restauración ecología, Banco de semillas, fragmentación, efecto de borde.

¹ Banco de Semillas Germinables

Abstract

The Vanguardia Forest Reserve is a conservation area that was established by the former INDERENA. This area has been intervened by different disturbance factors such as urban expansion and extensive livestock; it has leading to the establishment of ecosystem edge zones which influences the potential of the forest regeneration through the bank of germinable seeds on soils. Because that, the influence of the edge effect on the buried seed bank was evaluated in this study. Knowing the factors that determine the emergence of seed plants can allows to plan in a better way the restoration efforts. The present study was developed by using a method established by Thompson (1997). Seven forest fragments with different sizes were selected from the study area, for the sampling, these fragments were grouped into three groups, characterized in small (<6 ha), medium (between 6 and 14 ha) and large (> 14 ha), where 84 soil samples were collected (20cm x 20cm, at a depth of 5cm), it was located 6 point samples at different distances from the edge toward the inside of the forest (0 m, 2.5 m, 5.0 m, 10.0 m, 20.0 m and 40.0 m respectively). Seedlings were followed under nursery conditions by a period of 2.5 months. As a result, a total of 1291 seedlings distributed in 28 species and 15 families were recorded. The composition of the BSG was dominated by herbaceous seedlings (50%). The results suggest tendencies to a decreasing in the composition, diversity and abundance of the seed bank between small to a large fragments; however, the results were not statistically significant.

Keywords: Ecological restoration, seed bank, fragmentation, edge effect.

1. Introducción

El efecto de borde se evidencia en cambios bióticos y abióticos sobre los ecosistemas, estos cambios son producto de la creación de zonas de borde entre hábitats contrastantes, derivadas de los procesos de fragmentación que perturban los ecosistemas naturales, implicando pérdida de los bosques nativos y su reemplazo por ecosistemas antrópicos de parches remanentes segregados en una matriz de pastura (zona de borde) (Cardona & Vargas, 2004; Montenegro & Ríos, 2008). Estos efectos sobre los hábitats no solo modifican el microclima, produciendo un gradiente ambiental desde el borde hacia el interior, sino también cambios en la abundancia, composición, diversidad y mantenimiento de especies vegetales establecidas como emergentes (banco de semillas germinable - BSG) (Bustamante & Grez, 1995).

El BSG, se refiere al conjunto de semillas acumuladas y enterradas en el suelo, dominados por semillas de unas pocas especies de árboles y arbustos pioneros en estado de latencia fisiológica (Dalling, 2000, como se cita en Calderon, Correa, & Muñoz, 2009), adicionalmente este reservorio de semillas son un gran potencial con capacidad de reemplazar plantas adultas, en la regeneración natural que actúa en la sucesión ecológica (Calderon et al., 2009; Cardona & Vargas, 2004). El banco de semillas se clasifica según su forma en banco de semillas transitorio y persistente; el transitorio se caracteriza por la formación, dispersión y almacenamiento de semillas en el horizonte superficial (5cm) durante algunos meses o años; el banco persistente se refiere a aquel donde las semillas perduran por varios años e incluso largas generaciones en horizontes profundos (>5 cm) (Thomson & Grima, 1979 como se cita en Calderon et al., 2009).

La Reserva Forestal Protectora “Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno”, a pesar de ser un área declarada formalmente mediante el Acuerdo No. 34 de 1984 del INDERENA (Cormacarena, 2004), ha sido objeto constante de asentamientos humanos (fincas), con explotación de sus suelos para diferentes actividades de agricultura, ganadería y expansión urbanística, lo cual ha generado un impacto sobre estas áreas, evidenciado en la formación de parches de bosque, que se han generado producto de los procesos de fragmentación, y por ende la formación de zonas de borde, que han interferido en la sucesión y regeneración natural del área. Para ello, se estudió el efecto de borde generado por impactos antrópicos en estas zonas, y su

afectación sobre la composición, diversidad y abundancia del banco de semillas enterrado del suelo.

2. Planteamiento del problema

En la región del Piedemonte Llanero, específicamente en el departamento del Meta, se han dado cambios drásticos en el uso del suelo durante los últimos 65 años. Antes del año 1900, el territorio del departamento Meta estaba cubierto en un 45% por zonas boscosas; sin embargo, durante el periodo comprendido entre los años 1950 a 1990, se presentó una disminución paulatina aproximada del 90% de su área boscosa, ocasionada principalmente por la ampliación de las zonas urbanas asentadas en el piedemonte y al desarrollo de actividades agropecuarias (Cormacarena, 2004).

En efecto, la intervención humana sobre los paisajes naturales ha ido fragmentando el hábitat, derivando en aspectos como la creación de zonas de borde entre las áreas de bosque y pastizales, con un posible efecto negativo (Montenegro & Ríos, 2008), puesto que afecta el potencial de regeneración del ecosistema a través de su impacto sobre el banco de semillas germinable -BSG del suelo, el cual, es una fuente importante de recuperación y regeneración natural de estos ambientes (Lindner, 2008; Sousa et al., 2017).

Diferentes investigaciones concuerdan en que el efecto de borde modifica el microclima de la zona, interfiere en el patrón de dispersión de semillas, genera cambios físicos y ecológicos en la vegetación (Montenegro & Ríos, 2008), e influye en la variación de la composición de las plántulas tanto emergentes como establecidas, dando lugar a cambios en la composición y diversidad de la comunidad vegetal, y la alteración de la capacidad de regeneración natural del ecosistema (Sousa et al., 2017).

Por su parte, las zonas de la Reserva Forestal Protectora “Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno”, han sido objeto de intervención humana, gracias a la parcelación de sus suelos para el establecimiento de fincas de recreo y urbanización campestre (Cormacarena, 2004). Dichos usos del suelo, han generado zonas fragmentadas con predominio de especies de plantas típicas de sucesiones tempranas, concentradas en la zona noroeste del área protegida (Cormacarena, 2004).

A pesar de la importancia del BSG en el proceso de resiliencia, y restauración ecológica de los ecosistemas, poco se sabe del efecto de la fragmentación sobre el banco de semillas en los bosques tropicales (Velosa, 2016). En algunos estudios, se menciona que el tamaño del área de los fragmentos de bosque, puede influir en la estructura y dinámica del banco de semillas enterrado

en el suelo, dado que es posible predecir que entre mayor sea el área del fragmento, su impacto sobre el BSG sería menor. Sin embargo, el comportamiento del BSG bajo estas condiciones es prácticamente desconocido para las áreas de Piedemonte Llanero en cercanías a Villavicencio (Montenegro & Ríos, 2008).

Conforme a lo anterior, es evidente suponer que en las zonas de borde de las áreas de piedemonte llanero fragmentadas vecinas a Villavicencio, se puede presentar una posible alteración en la composición y diversidad del Banco de Semillas Germinable, la cual podría ser dependiente a su vez, de la distancia del borde hacia el interior del bosque y del tamaño del fragmento. En este estudio se planteó como hipótesis que a mayor distancia del borde hacia el interior del fragmento es menor el efecto sobre la composición y diversidad del BSG; también es posible plantear la hipótesis de que a mayor tamaño del fragmento, su efecto sobre la composición y diversidad del BSG sea menor.

De acuerdo a lo anterior, se planteó como pregunta de investigación: **¿Cómo varían las características de composición, diversidad y abundancia del banco de semillas germinables a diferentes distancias del borde en seis sitios con diferente tamaño de fragmento en la Reserva Forestal Protectora Vanguardia, Villavicencio, durante un periodo de 4 meses?**

3. Objetivos

3.1. Objetivo General.

Evaluar el efecto de borde sobre la composición y diversidad el banco de semillas germinable -BSG, por medio de la recolección de muestras de suelo, siembra en vivero y cuantificación de la germinación, como insumo para priorizar sitios para la restauración en la Reserva Vanguardia.

3.2. Objetivos Específicos.

- Determinar y comparar la composición, abundancia y diversidad del banco de semillas germinables a diferentes distancias del borde y en sitios con diferente tamaño de fragmento, mediante el uso de índices matemáticos.
- Relacionar y evaluar la abundancia y diversidad del banco de semillas germinables, con el estado y tamaño de los fragmentos estudiados.
- Proponer sitios de priorización para la restauración ecológica, de acuerdo con los resultados obtenidos.

4. Justificación

La fragmentación es un fenómeno que ha congregado una gran atención debido a sus implicancias en la conservación de la biodiversidad; como resultado de la subdivisión del hábitat por disturbios antrópicos, se conforma una matriz espacial de parches, relictos o fragmentos de bosque (Bustamante & Grez, 1995). Lo cual, deriva en la pérdida de biodiversidad y en la posible generación de cambios en la composición y abundancia no solo de la vegetación emergente, sino también del banco de semillas enterrado en el suelo –BSG (Bustamante & Grez, 1995; Sálek, Zahradník, Marusák, Jerábková, & Merganic, 2013).

El BSG, representa diversas especies, genotipos y fenotipos, las cuales son potencialmente capaces de remplazar plantas adultas, una vez dadas las condiciones de humedad, luz y temperatura para su germinación (Calderon et al., 2009; Cardona & Vargas, 2004). De esta manera, la vegetación inicial después de un disturbio, estará determinada por la composición del banco de semillas existente, que puede ser, entre otros, muy diferente de la vegetación predisturbio (Cardona & Vargas, 2004). Por ello, el banco de semillas juega un papel importante en el mantenimiento de la vegetación a través del reemplazamiento de individuos muertos por diferentes causas, contribuyendo así a la generación de trayectorias sucesionales específicas y a la autosostenibilidad de los ecosistemas en el largo plazo (Marañón, 2004).

El área de estudio corresponde a un área de la Reserva Forestal Protectora Vanguardia, afectada hasta antes de su creación por diferentes actividades antrópicas, tales como la expansión urbana y la ganadería extensiva, siendo la primera la de mayor presión sobre el área, especialmente en los límites con el municipio de Restrepo. Aunque el área de estudio se encuentra contemplada como un área de protección en el Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Villavicencio, es muy probable que la Reserva siga soportando una mayor presión urbanística (Cormacarena, 2004), lo cual podría traer como consecuencia un aumento en el número de fragmentos y un aislamiento mayor entre ellos. De acuerdo con lo anterior es necesario entender y establecer las consecuencias de la fragmentación sobre estos ecosistemas, pues su conocimiento puede conducir al establecimiento de medidas más efectivas de protección y selección de sitios con actividades relevantes de restauración ecológica dentro del plan de ordenamiento de la reserva.

Sin embargo, aunque se entiende la importancia del banco de semillas germinables para el desarrollo de la regeneración de un ecosistema, son pocos los estudios conocidos acerca del efecto de borde sobre el BSG (Sousa et al., 2017) y hasta la fecha ningún estudio se ha realizado en la zona de piedemonte llanero con esta intencionalidad. Por otra parte, fue importante la realización del estudio, no solo para aportar al conocimiento sobre el tema en la región, sino también para el establecimiento de una línea de base de procesos de restauración activa que podrían implementarse a futuro en la reserva; además, el conocimiento de la composición y diversidad del BSG permite la definición de un listado de especies predominantes en la zona de estudio, las cuales pueden servir para la configuración de núcleos específicos de restauración activa. De esta manera, se contribuye a la puesta en marcha de procesos de restauración de áreas degradadas dentro de la reserva Vanguardia.

5. Alcance del Proyecto

El proyecto se llevó a cabo en un área que corresponde a una zona declarada como Reserva Forestal Protectora por el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente (INDERENA), mediante el Acuerdo 57 y aprobada por el Presidente de la República mediante la Resolución 84 del 13 de mayo de 1988; fue nombrada como Reserva Forestal de la Cuenca Alta del Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno (Cormacarena, 2004). La Reserva abarca una superficie total de 730,6 hectáreas y se encuentra ubicada en jurisdicción de los corregimientos No. 5 y 6 del municipio de Villavicencio, al interior de las veredas Vanguardia, San José Alto y Puente Amarillo. Su límite superior se localiza a los 830 msnm, sobre la divisoria de aguas que conforman el área de drenaje hacia río Guatiquia y las cuencas de los caños Vanguardia, Toldaviuno, Puente Amarillo y la quebrada Vanguardiuno. Su límite inferior se ubica en la cuenca baja de la quebrada Puente Amarillo a los 380 msnm, en límites con el municipio de Restrepo (Cormacarena, 2004).

El área de estudio corresponde al costado noroeste de la RFP Vanguardia, el cual es uno de los sitios más afectados por la fragmentación (Figura 1).



Figura 1. Ubicación del área de estudio en el costado noroeste de la Reserva Forestal Protectora “Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno”, por Anzola P, 2017.

Se ubica entre las zonas de vida Bosque muy húmedo tropical y Bosque pluvial premontano, presenta un clima súper húmedo con dos pisos térmicos: cálido húmedo en la zona de mayor altitud y cálido semihúmedo en la porción más baja; con una temperatura que varía entre 24,6°C y 25,1°C. El promedio de lluvia anual es de 4.600 mm/año, con un régimen de distribución monomodal, donde el periodo de mayores lluvias sucede entre abril y julio, y el de estiaje entre diciembre y marzo (Cormacarena, 2004).

El área de la reserva está compuesta por tres tipos de ecosistemas distribuidos en forma regular a lo largo de su territorio:

Bosques primarios intervenidos, que presentan una composición heterogénea, con poca abundancia en las clases superiores, que aun cuando muestran una importante composición florística, son objeto de una constante intervención, debido a la extracción selectiva de especies valiosas y el leñateo, lo cual se evidencia en la abundancia de individuos delgados y pocos árboles de gran tamaño (Cormacarena, 2004). Bosque secundario maduro se encuentran en su mayoría entremezclados con los bosques primarios intervenidos, son bosques no muy uniformes y con gran

número de especies, lo cual evidencia su estado de sucesión secundaria avanzada (Cormacarena, 2004). Bosques secundarios jóvenes, los cuales se encuentran en menor proporción y corresponden a sucesiones tempranas de aproximadamente 10 años de edad que han aparecido por el cese de las actividades productivas (Cormacarena, 2004).

El presente proyecto tuvo una duración de 4 meses, (inicio Junio y finalizo en Octubre), se desarrolló principalmente en las zonas de mayor concentración de bosques secundarios, las cuales han presentado procesos de fragmentación derivados del uso de actividades agropecuarias y de expansión urbana (Cormacarena, 2004). Para lo cual, se estudió la influencia del efecto de borde sobre el banco de semillas enterrado a diferentes distancia del borde hacia el interior del bosque, en fragmentos de tres diferentes tamaños; tamaños pequeños con áreas inferiores a 6 ha, tamaños medianos en áreas entre 6 y 14 ha, y tamaños grandes con áreas iguales o mayores 14 ha. Para contribuir a los procesos de restauración de la reserva; beneficiando a la Reserva Forestal Vanguardia, a la Corporación para el Desarrollo Sostenible, del área de Manejo Especial de la Macarena – CORMACARENA.

6. Antecedentes

Diferentes procesos y actividades tanto antrópicas como naturales, degeneran y perturban los ecosistemas, como los bosques (Bustamante & Grez, 1995), alterando y transformando el funcionamiento natural de los mismo; estos cambios se derivan en bosques fragmentados, pasando de bosques continuos a pequeñas agrupaciones o relictos aislados entre sí (Bustamante & Grez, 1995; Sousa et al., 2017), asimismo la fragmentación forestal tiende a modificar el microclima y causar cambios, físicos y ecológicos en la vegetación (Sousa et al., 2017). Estos cambios, se traducen en una transición abrupta entre dos ecosistemas, evidente en la creación de paisajes contrastantes entre parches de bosque y la matriz circundante, denominado borde (Montenegro & Ríos, 2008), lo cual, origina un cambio a lo largo del gradiente del borde hacia el interior del bosque, en su estructura y crecimiento, conocido como efecto de borde (Sálek et al., 2013). De este modo el efecto de borde, genera una transformación en la vegetación del bosque, la cual puede influir en los procesos de mantenimiento del ecosistema, modificando las condiciones bióticas y abióticas de su entorno e incidir sobre el banco de semillas natural del suelo (Bustamante & Grez, 1995).

Diversos estudios, se han desarrollado en torno al tema del banco de semillas, estos estudios han considerado la caracterización del banco de semillas a partir de su composición, diversidad y abundancia, en relación con la influencia de ecosistemas perturbados y su importancia en la restauración ecológica (Calderon et al., 2009; Cardona & Vargas, 2004; De los Angeles, Posada, & Vargas, 2002; Rivera Diaz, 2015). Sin embargo, son pocas las investigaciones abarcadas que relacionen el efecto de borde sobre el banco de semillas enterrado.

Los estudios desarrollados para el banco de semillas, comúnmente emplearon metodologías similares, que consistían en el trazo de transectos, y selección de puntos de muestreos, donde posteriormente se tomaba una cuadrícula que oscilaba entre los 10cmx10cm a 5 cm de profundidad (Cardona & Vargas, 2004; De los Angeles et al., 2002; Dominguez & Romero, 2017; Sousa et al., 2017), ya que estudios anteriores demostraron que la profundidad de la toma de la muestra no era representativa, dado que a mayor profundidad menor abundancia de semillas, como es corroborado en el estudio del Páramo Parque Nacional Natural Chingaza, en Colombia, donde solo un 30%

de semillas se encontró a la profundidad de 5 a 10 cm (De los Angeles et al., 2002; Hao Zhang, 2013). Posteriormente a la toma de las muestras, se disponían en condiciones de invernadero para su germinación (Cardona & Vargas, 2004; Dominguez & Romero, 2017; Hao Zhang, 2013; Sousa et al., 2017). En el mismo estudio del Páramo de Chingaza se caracterizó el BSG, en condiciones de perturbación por actividades de pastoreo en el páramo, para lo cual encontraron, que a niveles de disturbio intermedio se observa una disminución en la riqueza, densidad y diversidad del BSG, pero estas variables aumentan en áreas fuertemente pastoreadas, lo cual se debe a que las especies seleccionadas poseen atributos vitales tales como forma de crecimiento (radicantes y estoloníferas), reproducción sexual, aportando a la formación de un banco de semillas y capacidad de crecer en condiciones de estrés, herbívora y pisoteo (De los Angeles et al., 2002).

Del mismo modo, Vargas & Cardona evaluaron la densidad y abundancia del Banco de Semillas Germinable (BSG) del suelo, para las especies leñosas en bosques subandinos. De acuerdo a esto, se encontró que el banco de semillas de especies leñosas encontrado en los dos bosques estudiados es muy rico y abundante, y este representa un potencial genético para recuperar la diversidad de sitios degradados en este tipo de ecosistema, en relativamente poco tiempo a través de la sucesión vegetal (Cardona & Vargas, 2004).

Entre los estudios que han abarcado la influencia del efecto de borde sobre el banco de semillas, se encontró la evaluación del efecto del área del fragmento sobre la densidad, diversidad y composición del BSG; este estudio fue desarrollado en Amazonia central, al sur de Brasil. En el cual, se demostró que los fragmentos más pequeños tenían mayor densidad de semillas, riqueza de especies, incluyendo la presencia de especies ruderales, esto indica que los fragmentos pequeños están intensamente más afectados que los de mayor tamaño; a su vez, es indicativo del efecto de la fragmentación y empobrecimiento de la comunidad en estas áreas, lo que puede resultar en la susceptibilidad de estos bosques a la invasión por especies exóticas o no forestales y también una disminución en el potencial de regeneración (Sousa et al., 2017).

De igual forma, Hao Zhang (2013), en su estudio desarrollado al suroeste de China, abordó la respuesta y el comportamiento del efecto de borde sobre el sotobosque y el banco de semillas en tres grupos ecológicos (especies no forestales, especies forestales secundarias y bosque primario especies). Para lo cual, obtuvo como resultado, que la dominación (abundancia relativa y riqueza relativa) de cada grupo ecológico no cambió significativamente a lo largo del borde al gradiente interior, sin embargo se observó como el dominio de las especies forestales secundarias disminuyó

con la distancia desde el borde, mientras que el predominio de especies de bosque primario aumentó con distancia desde el borde (Hao Zhang, 2013). Por ello, el estado de los bosques en los bancos de semillas del suelo en las zonas de borde todavía es capaz de proporcionar señal temprana de invasión en la vegetación. Esto mismo, se pudo demostrar, en la investigación de los bancos de semillas de dos fragmentos de bosques tropicales con diferente historia de perturbación, al sureste de Brasil; donde los resultados indicaron gran abundancia del banco de semillas, con predominio de especies herbáceas, indicio del alto nivel de perturbación y la pérdida de resiliencia del ecosistema, debido a la invasión frecuente del ganado, lo que contribuye al traslado de semillas herbáceas, y que estas abundan en las zonas con mayor perturbación (Lindner, 2008).

Estos resultados fueron también evidentes, en San Bernardo, Cundinamarca (Colombia), en el estudio de la caracterización del BSG en bosque subandinos con disturbios asociados al pastoreo y a las plantaciones forestales, allí se demostró la afectación del ecosistema subandino en la pérdida de biodiversidad nativa del bosque original, lo que facilitaba el arribo de especies exóticas de características invasoras ; aparte, la diversidad encontrada del banco de semillas corresponde principalmente a especies de herbáceas asociadas a pastizales y plantaciones, por lo tanto el BSG hallado puede contribuir poco al inicio de un proceso sucesional hacia bosque subandino, debido que corresponden a especies exóticas o ajenas del bosque original, que promueven en el banco características diferentes a las de un ecosistema original (Cardona & Vargas, 2004).

7. Marco de Referencia

7.1. Marco Teórico

7.1.1. Procesos de fragmentación y efecto de borde.

En los últimos diez mil años las actividades humanas como la agricultura, la ganadería, la construcción de asentamientos y vías de acceso, han determinado que la gran mayoría de los paisajes contemporáneos presenten algún grado de fragmentación, causando la transformación de un bosque continuo en unidades más pequeñas y aisladas entre sí, cuya extensión lateral resultante es mucho menor que la del bosque original (Bustamante & Grez, 1995; Cardona & Vargas, 2004). La fragmentación causa gran alteración en el ecosistema, desde un impacto a nivel paisajístico hasta cambios en las propiedades físico – químicas y microclimáticas, e influencia sobre la fauna y flora (Bustamante & Grez, 1995). Como resultado, las áreas naturales contiguas se dividen en piezas más pequeñas o parches que conducen a la contracción, atrición y aislamiento, creando discontinuidades en las condiciones de los procesos ecológicos (por ejemplo, flujos de nutrientes, transferencias de energía e intercambios) que impiden o alteran el flujo de bienes y servicios, en detrimento de la salud de los ecosistemas (Baskin & Baskin, 1998).

Un bosque fragmentado puede ser descrito por atributos tales como número de fragmentos, tamaño, forma y grado de aislamiento, y el tipo de matriz que los rodea es importante en la caracterización de los mismos (Bustamante & Grez, 1995). Los fragmentos pueden estar rodeados de vegetación secundaria, cultivos, asentamientos y vías de acceso; aquellos pequeños tienen una relación perímetro/área mayor que los fragmentos grandes, lo cual significa una mayor influencia de la matriz circundante. La fragmentación y pérdida de hábitats son las causas del remplazo de bosques nativos por ecosistemas antrópicos, lo cual produce parches remanentes segregados en una matriz de pasturas y/o cultivos, disminuyendo las posibilidades de restauración de estos hábitats, además de la consecuente pérdida de la biodiversidad y de la variabilidad genética de las poblaciones (Cardona & Vargas, 2004).

Uno de los aspectos derivados de la fragmentación es la creación de zonas de borde en el límite entre los parches de bosques y la matriz circundante, generados por eventos de disturbio entre las

comunidades de vegetación adyacentes (Montenegro & Ríos, 2008; Sálek et al., 2013); este efecto se puede manifestar en cambios bióticos y abióticos al interior del fragmento, principalmente en su perímetro, lo cual puede estar determinado de acuerdo con el tamaño y forma del fragmento (Bustamante & Grez, 1995; Lin & Cao, 2009). Los cambios generados por la fragmentación y el efecto de borde pueden afectar el potencial de regeneración de los bosques a través del banco de semilla (Guimaraes & Proctor, 2007). El cual se encuentra presente en el suelo, y su desarrollo está asociado a la dinámica, que se define de acuerdo a la tipología y los requisitos necesarios, para el establecimiento y germinación de las plantas, como la duración de la permanencia de las semillas en el suelo (Marañón, 2001).

7.1.2. Banco de semillas germinable y regeneración natural.

Los bancos de semillas del suelo incluyen todas las semillas enterradas en el suelo y en la superficie del suelo, son entidades dinámicas y heterogéneas con una entrada constante de semillas a través de la dispersión y una pérdida de las mismas a causa de su germinación o muerte con una (Borda, 2011; Marañón, 1995, 2004). De acuerdo con Thompson (1997), se distingue tres tipos de banco: Banco transitorio formado por semillas que persisten en el suelo menos de un año. Banco persistente a corto plazo formado por semillas que persisten en el suelo más de un año pero menos de 5 años, lo cual supone un potencial de regeneración de la población a corto plazo. Banco persistente a largo plazo formado por semillas que persisten en el suelo por lo menos durante cinco años (Marañón, 2001; Thompson, Band, & Hodgson, 1993).

Asimismo, para que la semilla sea parte del banco del suelo es necesario que esta no germine inmediatamente, es decir, que posea algún tipo de dormición o latencia que retrase su germinación (Marañón, 2004). Según Harper (1997) se pueden distinguir tres tipos de dormición: innata, forzada e inducida. La dormición innata es un estado en el cual la semilla se encuentra imposibilitada para germinar en dependencia de las condiciones del medio. La dormición inducida persiste hasta que se rompe con algún estímulo ambiental como la sequía, la luz o la temperatura. La dormición forzada las semillas están dispuestas para germinar pero se encuentran en reposo, debido a que las condiciones ambientales no son adecuadas, como la falta de agua, temperaturas extremas, entre otros (Thompson et al., 1993). Estos mecanismos le permiten a la semilla evitar su

germinación mientras está enterrada y detectar las condiciones favorables que le permitan su germinación (Marañón, 2001).

La persistencia de las semillas en el suelo se relaciona tanto a la longevidad como al tamaño de la semilla en el banco y su producción anual, por lo cual es necesario que esta sea capaz de mantenerse viable para su germinación, alcanzando una longevidad adecuada, que dependerá de las condiciones del medio como humedad y aireación, y de las características biológicas de la misma especie (Dalling, Swaine, & Garwood, 1995; Piude & Caverro, 2005). En la observación de Thompson & Grime (1979), encontraron frecuentemente que existe una conexión entre la posesión de persistencia del banco de semillas, y el tamaño y la forma de la semilla (Thompson et al., 1993). Sin embargo, Thompson, Band & Hodgson (1993) encontraron en su estudio, que la persistencia de las semillas en el suelo no es del todo determinado por el tamaño y la forma, sino que requiere de la intervención de otros factores como mecanismos de latencia, resistencia a los patógenos y la depredación por parte de insectos, aves y mamíferos los cuales seleccionan las semillas para el consumo de acuerdo al tamaño, tendiendo a causar cambios evolutivos en el tamaño de la semilla. (Thompson et al., 1993)

Los BSG juegan un papel fundamental en el mantenimiento de la vegetación, diversidad ecológica, genética de poblaciones y comunidades; así como en la restauración post disturbio y sucesión natural de la vegetación (Tekle & Bekele, 2000); a través de plantas reclutadas pioneras capaces de colonizar sitios degradados e iniciar el proceso de sucesión, que contribuyan a la protección contra la erosión y promoción de la estabilización del ecosistema (Cardona & Vargas, 2004). De este modo, se han demostrado en estudios realizado por, Cheke (1979) y Garwood (1983), selvas tropicales que los bancos de semillas contribuyen al reclutamiento de algunas especies de árboles tropicales sucesionales tempranas; también pueden reducir la erosión y la pérdida de nutrientes después de la perturbación y ayudar a la estabilización del sitio (como se cita en Henderson, Petersen, & Redak, 1988; Tekle & Bekele, 2000).

7.2. Marco Conceptual.

7.2.1. Fragmentación

Producto del desarrollo humano y la transformación que este ha llevado a cabo sobre la naturaleza, se evidencian efectos como la fragmentación, la cual esta entendida como la división un ecosistema continuo y extenso, en compartimientos aislados y de menor tamaño (Maurín, 2005). Es decir, la fragmentación de un bosque es el reemplazo de extensas áreas de bosques nativos por otros bosques secundarios que generan parches en el ecosistema de bosque (Bustamante & Grez, 1995).

Esta alteración dentro de los ecosistemas, trae consecuencias perjudiciales para el mantenimiento de bosques nativos, ya que reduce el área de los bosques y contribuye a la extinción de diferentes especies (Murcia, 1995). Además, de ser considerada a nivel mundial una de las principales causas de pérdida de biodiversidad (Herrera & Diaz, 2013); la fragmentación actúa como un efecto de barrera, que incide y perturba la dispersión de especies, lo cual impide mantener las funciones básicas de supervivencia de los ecosistemas a largo plazo (Maurín, 2005).

Adicionalmente, la fragmentación pone en riesgo a los organismos que habitan dentro de los fragmentos, a unas condiciones diferentes y perjudiciales para su mantenimiento, en un ecosistema circundante y, en consecuencia, a lo que se ha denominado "efectos de borde" (Murcia, 1995).

7.2.2. Efecto de borde

El efecto de borde, se define como los cambios bióticos y abióticos sobre un fragmento producto de dos ecosistema contrastantes, separados por una transición abrupta (borde), los cuales pueden transformar la estructura, composición y abundancia de la vegetación a lo largo del perímetro remanente (Bustamante & Grez, 1995). Estos cambios, pueden tener una variabilidad de intensidad, de acuerdo a la distancia de la línea de contacto entre ecosistemas, o la línea de borde (Lin & Cao, 2009).

En consecuencia, se distinguen tres tipos de efectos de borde sobre los fragmentos, efectos bióticos, biológicos directos y biológicos indirectos (Murcia, 1995). Los efectos bióticos, se refiere a los cambios en las condiciones ambientales como las condiciones microclimáticas, que resultan

de la incidencia de una matriz estructuralmente diferente (Bustamante & Grez, 1995); los biológicos directos, implican los cambios distribución y abundancia de las especies vegetales, estos cambios suelen ser más notorios en las áreas cercanas al borde; finalmente los cambios biológicos indirectos, relacionan cambios en las interacciones de las especies, tales como depredación, parasitismo, polinización biótica y dispersión de semillas (Lin & Cao, 2009).

7.2.3. Banco de semillas germinable

Se denomina banco de semillas enterrado, del suelo o germinable, al conjunto de semillas naturales que se encuentra almacenados en la zona superficial del suelo de un hábitat en un momento determinado (Marañón, 2001); este banco de semillas se forma durante el aporte de semillas a través de la dispersión, durante todo el año, esta dispersión y acumulación es lo que se conoce como lluvia de semillas, la cual tiene una composición heterogénea (Marañón, 2004).

Según Harper (1997) se pueden distinguir tres tipos de dormición: innata, forzada e inducida. La dormición innata, es un estado en el cual la semilla se encuentra imposibilitada para germinar en dependencia de las condiciones del medio; la dormición inducida, persiste hasta que se rompe con algún estímulo ambiental como la sequía, la luz o la temperatura; y en la dormición forzada, las semillas está dispuestas para germinar pero se encuentran en reposo, debido a que las condiciones ambientales no son adecuadas, como la falta de agua, temperaturas extremas, entre otros (como se cita en Marañón, 2001, 2004). Estos mecanismos le permiten a la semilla evitar su germinación mientras está enterrada y detectar las condiciones favorables que le permitan su germinación (Calderon et al., 2009).

7.2.4. Restauración Ecológica

Según la Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica (SER- por sus siglas en ingles), define la restauración ecológica como el “*proceso de ayudar al restablecimiento de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido*” (Vargas & Reyes, 2011). Es decir, la restauración es una intervención que incluye diferentes clases de actividades según el estado de alteración, las escalas (local, regional) y el nivel de organización (paisajes, ecosistemas, comunidades y poblaciones). Esta intervención es llevada a cabo, cuando se entorpece la dinámica y los cambios

de factores tanto internos como externos de un ecosistema, y esta dinámica es a la que se refiere cuando se habla de sucesión ecológica (Vargas, 2011a).

7.2.4.1 Regeneración natural.

La restauración pasiva o sucesión natural, es el proceso por el cual los ecosistemas se recuperan por sí mismos, siempre y cuando no exista alguna alteración o barreras que impidan el desarrollo de dicho proceso (Vargas, 2011a). Por ello, es importante que las primeras acciones a tomar para rehabilitar un ecosistema, sea identificar y retirar los factores que impiden la expresión de los mecanismos de regeneración natural.

7.2.4.2 Sucesión dirigida o asistida.

Sucede cuando los ecosistemas se encuentran muy degradados o destruidos, lo cual ha llevado a la pérdida de sus procesos naturales de regeneración, por lo cual se hace necesario ayudarles o asistirlos en su recuperación (Vargas, 2011a). Por lo cual, este proceso de restauración activa involucra, la ayuda humana, para asistir y garantizar el desarrollo de los procesos de recuperación a fin de superar las barreras que impiden la regeneración (Vargas, 2011b).

7.2.5. Índices ecológicos

Son un método de medición que permite deducir la dinámica y las características del funcionamiento de los ecosistemas (Herrera & Diaz, 2013); asimismo, determinar la alteración de un ecosistema, comprender los cambios y composición de la diversidad en relación con la estructura del paisaje y monitorear los efectos de las actividades humanas (Moreno, 2001). Para lo cual es necesario tener en cuenta los componentes alfa, beta y gamma del ecosistema.

La *diversidad alfa* se refiere a la riqueza de especies de una comunidad que puede ser considerada homogénea, la *diversidad beta* es el grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades en un hábitat, y la *diversidad gamma* relaciona la riqueza

de especies del conjunto de comunidades que integran un ecosistema, resultante de las diversidades alfa y beta (Carmona & Carmona, 2013).

La riqueza especies o riqueza específica (S), es el número de especies presentes obtenido por un censo de una comunidad, que no toma en cuenta el valor de importancia de las mismas; y por eso es la forma más sencilla de medir la biodiversidad (Carmona & Carmona, 2013).

7.2.5.1. Índice Margalef

Es un índice de diversidad no paramétrico, que estima la biodiversidad de una comunidad con base a la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de individuos existentes en la muestra analizada (Espinosa, 2003).

La ecuación (1) expresa el índice de Margalef (1958) (Moreno, 2001)

$$D_{Mg} = \frac{S-1}{\ln N} \quad (1)$$

Donde:

S = número de especies

n = número total de individuos

7.2.5.2. Índice de Menhinick

Se basa al igual que el índice de Margalef, en la relación entre el número de especies y el número total de individuos observados, que aumenta al aumentar el tamaño de la muestra (Moreno, 2001).

La ecuación (2) expresa el índice de Menhinick (1964) (Moreno, 2001)

$$D_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}} \quad (2)$$

Donde:

S = número de especies

n = número total de individuos

7.2.5.3. *Índice de Simpson*

Considera la probabilidad que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes, pertenece a los índices basados en la dominancia y toma en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia sin evaluar la contribución del resto de las especies (Moreno, 2001).

La ecuación (3) expresa el índice de Simpson (1949) (SIMPSON, 1949)

$$D = \sum (n/N)^2 \quad ; \quad D = \frac{\sum n(n-1)}{\sum N(N-1)} \quad (3)$$

Donde:

n = el número total de organismos de una especie en particular.

N = el número total de organismos de todas las especies.

El valor de D oscila entre 0 y 1, siendo 0 diversidad infinita, y 1 sin diversidad.

7.2.5.4. *Índice Shannon – Wiener*

Indica la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra, y mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo tomado al azar (Moreno, 2001).

Generalmente se expresa con un numero positivo, tomando valores entre 0 y 4.5, valores de cero cuando hay una sola especie (Espinosa, 2003).

La ecuación (4) expresa el Índice Shannon – Wiener (1948) (Moreno, 2001).

$$H' = -\sum P_i \ln P_i \quad (4)$$

Donde:

S = número de especies (la riqueza de especies)

P_i = proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i $\frac{n_i}{N}$)

n = número de individuos de la especie i

N = número de todos los individuos de todas las especies

7.3. Marco Legal.

El presente trabajo se encuentra inmerso en el marco de la restauración ecológica; este tema se viene desarrollando en el país desde la década de los años 60, encaminado a la protección de la diversidad, a la conservación de la áreas de importancia biológica y a la planificación, manejo y aprovechamiento de los recursos naturales en el plano del desarrollo sostenible y preservación del medio ambiente en la Nación (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

Conforme al marco legal para la restauración en el país la principal norma, la constitución política de Colombia de 1991, artículo 79 planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración y controlar los factores de deterioro ambiental; la Ley 99 de 1993 establece en su artículo 1 y 44, que el estado debe fomentar la incorporación de costos ambientales para la prevención, corrección y restauración del deterioro ambiental y para la conservación de los recursos naturales renovables, además que las Corporaciones Autónomas Regionales destinarán recursos para la ejecución de programas y proyectos de protección o restauración del medio ambiente y los recursos naturales renovables; El decreto ley 2811 de 1974, en el artículo 13 habla de fomentar la conservación, mejoramiento y restauración del ambiente y de los recursos naturales renovables con incentivos económicos, en el artículo 88 prohíbe el aprovechamiento de especies forestales en áreas protegidas. Así mismo, se establece la ley 165 de 1994, por medio de la cual se aprueba el convenio sobre la diversidad biológica de Naciones Unidas de 1992, allí en su artículo 2, define el término "área protegida" como un área definida geográficamente que haya sido designada o regulada y administrada a fin de alcanzar objetivos específicos de conservación (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 1994).

El decreto 2372 de 2010, Por el cual se reglamenta el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, en sus artículos 14, 15 y 20, determinan que los espacios geográficos que han sido dañados, degradados o destruidos deben ser destinados para usos de restauración entre otras actividades, las zonas que han sido declaradas como reservas, o sitios de conservación debido a su valor ambiental tiene restringida la posibilidad de urbanizarse debido a la importancia estratégica para la

designación o ampliación de áreas protegidas públicas o privadas, que permitan la preservación y restauración.

Adicionalmente, el ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible (MADS), formulo el plan estratégico para la restauración ecológica y el establecimiento de bosque en Colombia (Plan Verde), el cual involucra actividades para corto, mediano y largo plazo, con la participación de diferentes actores ambientales tanto del estado como de la sociedad civil y el sector privado, con el fin de preservar, conservar, planificar y restaurar la biodiversidad (REPUBLICA DE COLOMBIA & MADS, 1998).

La Reserva Forestal Protectora “Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno”, se constituyó mediante el Acuerdo No. 57 de 1987 del INDERENA aprobado por la Resolución Ejecutiva No. 84 de 1988, atendiendo a la petición de la comunidad, con el propósito de proteger la cuenca hidrográfica de los nacimientos que abastecen los acueductos de las veredas Vanguardia Alta y Baja del municipio de Villavicencio (departamento del Meta), así como las zonas boscosas presentes en el área (Cormacarena, 2004).

8. Metodología

8.1. Área de Estudio.

El presente estudio se llevó a cabo en la zona noroeste de la Reserva Natural Forestal Vanguardia (04° 09' 00,83" N y 73° 38' 24,26" O) ubicada en la vereda Puente Amarillo y al margen izquierdo de la vía que conduce del municipio de Villavicencio a Restrepo, esta parte de la reserva cuenta con una extensión aproximada de 533 hectáreas. La reserva hace parte de las cuencas superiores de la quebrada Vanguardia y los caños Pozo Azul, Vanguardiuno, Toldaviuno y Puente Amarillo, corrientes que desembocan directamente en el río Guatiquía, y de las que se abastecen cerca de 5.000 habitantes del sector rural de Villavicencio (Cormacarena, 2004).

Del área de estudio se seleccionaron siete fragmentos de bosque con diferente tamaño, para la toma de muestras, como se observa en la figura 2. Estos fragmentos se agruparon en tres grupos, caracterizados en fragmentos pequeños (< 6 ha), medianos (entre 6 y 14 ha) y grandes (> 14 ha). Estos fragmentos fueron determinados de acuerdo a visitas preliminares a la zona de estudio donde se pudo evidenciar y clasificar los fragmentos de bosque de acuerdo a su tamaño, de este modo, los fragmentos pequeños fueron los que se encontraban aislados de las zonas boscosas y colindantes con los predios de fincas; los medianos evidenciaban una mayor conexión con los demás parches de bosques, y los grandes fragmentos, que se ubicaban en las zonas colindantes y dentro del área del Bioparque los Ocarros, en zonas de conservación. Cabe mencionar que la determinación de los fragmentos se llevó a cabo en trabajo conjunto con (Cortes & Varón, 2018).

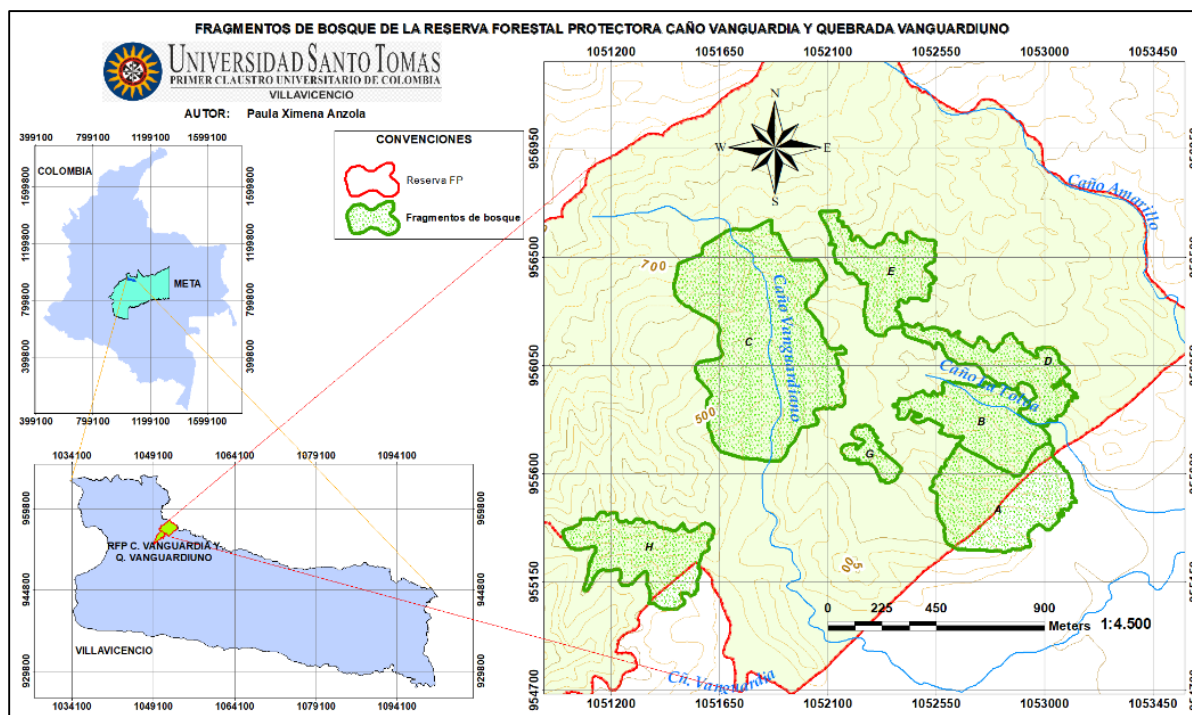


Figura 2. Ubicación de fragmentos de diferente tamaño en el sector noroeste de la Reserva Forestal Protectora “Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno”, por Anzola P, 2018

8.2. Materiales y Métodos.

Los lineamientos metodológicos para la presente investigación incluyeron 3 fases: La primera con la toma de muestras del suelo para caracterizar el banco de semillas enterradas; la segunda corresponde a la fase de vivero donde se realizó el seguimiento a las muestras de suelo y posteriormente a las plántulas del banco de semillas germinable en un periodo de 2 meses y medio (Marañón, 2001); y la tercera, el reconocimiento y análisis de los datos obtenidos.

8.2.1. Fase 1: Toma de muestras.

Para este estudio se estableció un volumen de muestra de 2000 cm³, se tomó un total de 84 muestras de suelo, distribuidas en 3 categorías de acuerdo al tamaño de fragmento: fragmentos <6 hectárea; fragmentos entre 6 y 14 hectáreas; y fragmentos >14 hectáreas. Para los fragmentos se establecieron 3, 2 y 2 réplicas respectivamente de cada categoría, en cada réplica se ubicaron de manera aleatoria 2 transectos perpendiculares al borde del fragmento de 40 m de longitud cada

uno, separados por una distancia mínima de 20 m entre ellos. La toma de muestra de suelo se obtuvo de 6 sitios a lo largo de cada transecto, ubicados a 0 m, 2.5 m, 5.0 m, 10.0 m, 20.0 m y 40.0 m de distancia del borde de bosque, estos criterios se adaptaron de acuerdo a (Lin & Cao, 2009). En cada una de las distancias a lo largo del transecto se delineó una cuadrícula de 20cmx20cm, a una profundidad de 5 cm, para la extracción de la muestra de suelo.

8.2.2. Fase 2: Invernadero.

El volumen de suelo extraído por unidad muestral se transportó al laboratorio de suelos, ubicado en la Universidad Santo Tomas, sede Loma Linda, donde se adoptaron las condiciones de invernadero; allí se depositaron cada muestra de suelo en bandejas plásticas de 60x40 cm, las bandejas fueron regadas diariamente por goteo fino, de acuerdo a los requerimientos de humedad, y estuvieron en observación por un periodo de dos meses y medio. Continuo a la germinación, cada 15 días fueron contadas y removidas a bolsas de vivero las plántulas emergidas correspondientes a una determinada morfoespecie (De los Angeles et al., 2002; Piude & Caverro, 2005); mediante la participación del profesional Francisco Castro Lima, Ingeniero Agrónomo, botánico experto en inventarios de flora de la región de la Orinoquía y Amazonía colombiana, se realizó la identificación taxonómica de cada una de las diferentes morfoespecies emergidas del banco de semillas germinable.

8.2.3. Fase 3: Recolección y Análisis de Datos.

Para el análisis de datos, se determinó la diversidad alfa y beta mediante el uso de los índices de riqueza (Menhinick (Dmn), Margalef (Dmg)), equidad (Shannon J'), dominancia (Simpson), heterogeneidad (Shannon – Wiener (H'), N°. 0 de Hill, Chao 1) y disimilitud (Bray-Curtis); estos índices se calcularon a partir de los datos de las abundancias de morfoespecies identificadas en las muestras para el BSG. Además, se aplicó un ANOVA no paramétrico (prueba de Kruskal-Wallis) para establecer las diferencias entre los tratamientos (variación en la composición, abundancia y diversidad de morfoespecies en cada una de las distancias a lo largo de los transectos de estudio distribuidos en las unidades experimentales) (Anexo 1 y 2). Todos los análisis se realizaron utilizando el programa Biodiversity y PAST 3.1.

9. Resultados

9.1. Composición del BSG

Los datos de abundancia incluyen los individuos que no fue posible identificar a ningún nivel taxonómico y que se reportan como indeterminados; estos individuos son incluidos porque influyen en la estimación del tamaño del BSG en los diferentes tipos de tamaño de fragmento estudiados. En total germinaron 1.291 semillas pertenecientes a 28 especies de las cuales 3 morfoespecies no pudieron ser identificadas (Tabla 1). Así mismo, se obtuvo que el 50% de las especies identificadas en el BSG de los 3 tipos de fragmentos estudiados, corresponden al hábito de crecimiento de hierba, seguida del tipo arbusto (24%), árbol y liana (11%) (Tabla 1). Las especies más abundantes fueron *Croton trinitatis* (277), *Phyllanthus attenuatus* (238), *Sida rhombifolia* (200), *Cissampelos sp* (136) y *Scleria melaleuca* (90).

En total se encontraron 15 familias para los 3 tipos de fragmentos estudiados, las de mayor dominancia fueron: *Euphorbiaceae* con 6 especies y *Leguminosae* con 5 especies. La abundancia de estas familias persistió para cada tipo de fragmento, pequeño (> 6 Ha), mediano (6 – 14 Ha.) y grande (< 14 Ha), sin embargo, la cantidad de familia disminuyó para cada tipo de fragmento, encontrando 12 familias para los de tipo pequeño y 11 para los medianos y grandes; además las familias *Anacardiaceae*, *Apocynaceae*, *Araceae*, y *Burseraceae*, fueron exclusivas de los fragmentos de tipo pequeño.

Tabla 1. Listado de clasificación y germinadas en el BSG de los 3 tipos de fragmentos estudiados.

MORFOESPECIE	FAMILIA	HABITO DE CRECIMIENTO	ABUNDANCIA ABSOLUTA FRAGMENTOS		
			> 6 Ha.	Entre 6 - 14 Ha.	< 14 Ha.
<i>Alchornea megaphylla</i>	Euphorbiaceae	Árbol	1	2	0
<i>Monstera adansonii</i>	Araceae	Hemiepífita	2	0	0
<i>Trattinnickia aspera</i>	Burseraceae	Árbol	2	0	0
<i>Tapirira guianensis</i>	Anacardiaceae	Árbol	6	0	0
<i>Entelrobium schomburgkii</i>	Leguminosae	Árbol	0	6	0
<i>Sida rhombifolia</i>	Malvaceae	Hierba	94	56	50
<i>Phyllanthus attenuatus</i>	Phyllanthaceae	Arbustos	118	90	30

Tabla 2. Continuación

MORFOESPECIE	FAMILIA	HABITO DE CRECIMIENTO	ABUNDANCIA ABSOLUTA FRAGMENTOS		
			> 6 Ha.	Entre 6 - 14 Ha.	< 14 Ha.
<i>Byrsonima crista</i>	Malpighiaceae	Árbol	7	1	5
<i>Alchorneosis floriunda</i>	Euphorbiaceae	Árbol	1	0	5
<i>Senna macrophylla</i>	Leguminosae	Arbusto	13	5	0
<i>Senna silvestris</i>	Leguminosae	Árbol	3	0	2
<i>Scleria melaleuca</i>	Cyperaceae	Hierba	63	18	9
<i>Jacaranda copaia</i>	Bignoniaceae	Árbol	2	2	2
<i>Maprounea guianensis</i>	Euphorbiaceae	Árbol	4	14	0
<i>Piptadenia colubrina</i>	Leguminosae	Árbol	8	12	2
<i>Indeterminada 1</i>			13	2	17
<i>Apuleia leiocarpa</i>	Leguminosae	Árbol	0	1	0
<i>Cissampelos sp</i>	Menispermaceae	Liana	84	35	17
<i>Pera arborea</i>	Peraceae	Árbol	12	15	6
<i>Solanum sp</i>	Solanaceae	Arbusto	16	15	25
<i>Poaceae</i>	Poaceae	Hierba	5	18	2
<i>Croton trinitatis</i>	Euphorbiaceae	Hierba	127	97	53
<i>Alchornea discolor</i>	Euphorbiaceae	Árbol	1	2	3
<i>Indeterminada 2</i>			4	0	0
<i>Sida sp</i>	Malvaceae	Hierba	24	21	8
<i>Tassadia aristata</i>	Apocynaceae	Liana	7	0	0
<i>Indeterminada 3</i>			4	1	7

Nota: Especie, familia, tipo de hábito y abundancia de las especies germinadas en el BSG de los 3 tipos de fragmentos estudiados. Se incluyen las especies que fueron clasificadas a nivel de morfoespecie (indeterminadas), por Anzola P, 2018.

En la Figura 3, se ordena las especies dominantes del BSG, y su abundancia para cada tipo de fragmento. En esta, se observan las 10 especies con mayor abundancia dentro del banco de semillas estudiado, y la cantidad de individuos respetivamente para cada tipo de fragmento (pequeño, mediano y grande): *Croton trinitatis* (127, 97, 53), *Phyllanthus attenuatus* (118, 90, 30), *Sida rhombifolia* (94, 56, 50), *Cissampelos sp* (84, 35, 17), *Scleria melaleuca* (63, 18, 9), *Solanum sp* (16, 15, 25), *Sida sp* (24, 21, 8), *Pera arborea* (12, 15, 6), *Poaceae* (5, 18, 2) y *Piptadenia colubrina* (8, 12, 2).

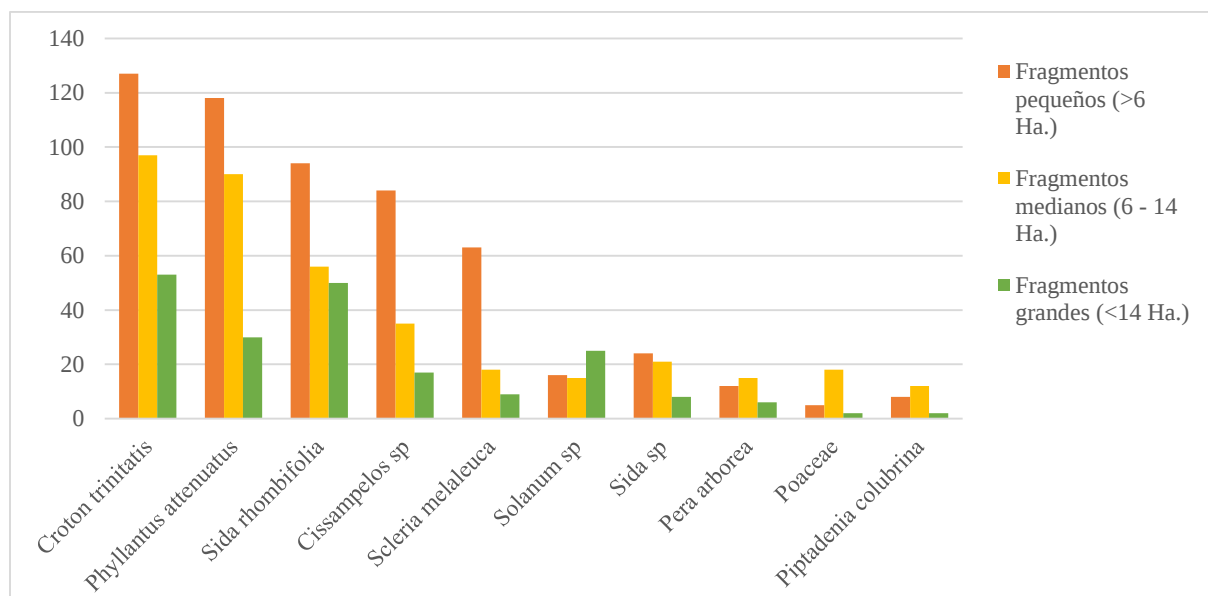


Figura 3. Dominancia de especies en el banco de semillas germinables de los tipos de fragmentos estudiados.

9.2. Efecto del tamaño del fragmento sobre el BSG.

9.2.1. Tamaño y diversidad del BSG

El tipo de fragmento con las mayores abundancias de semillas fueron los menores de 6 ha, que corresponden al 48.6% del total ($n= 628$ semillas); le siguen los fragmentos entre 6 – 14 ha en cuyas muestras de suelo germinaron 415 semillas correspondientes al 32.1% del total. En las muestras de suelo colectadas en los fragmentos de mayor tamaño -entre 6 – 14 ha, germinaron el menor número de semillas ($n= 248$) que corresponden al 19.2% del total. Sin embargo, no se registraron diferencias significativas (Kruskal-Wallis $H = 3.34$, $p= 0.18$) en la abundancia de semillas en los 3 tipos de fragmentos estudiados (Figura 4).

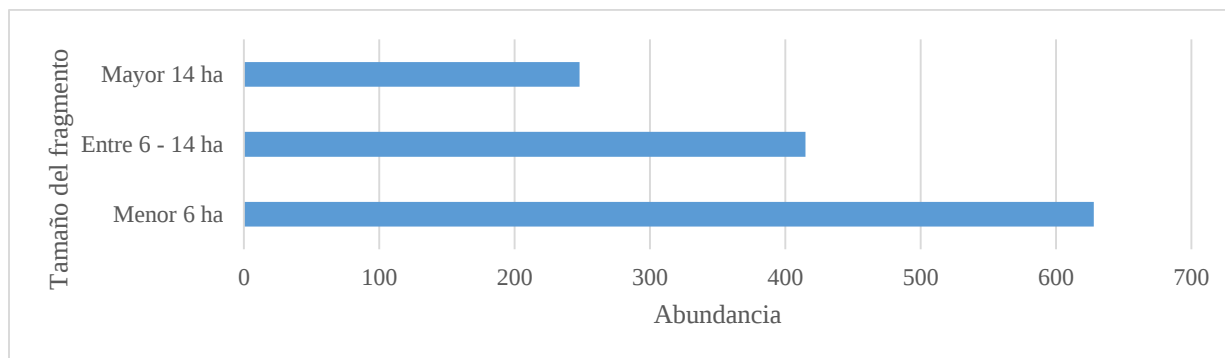


Figura 4. Abundancia de plántulas provenientes del banco de semillas germinable discriminada por tamaño de fragmento.

De la misma manera, la riqueza de especies tampoco presentó diferencias significativas (Kruskal-Wallis $H= 6.5$, $p= 0.038$) entre los 3 tipos de fragmentos estudiados, siendo mayor en el BSG de los fragmentos menores de 6 ha (fragmento pequeño) con 26 especies; le siguieron los fragmentos entre 6 – 14 ha (fragmentos medianos) con 21 especies, y por último los fragmentos mayores de 14 ha (fragmentos grandes) con 18 especies (Figura 5).

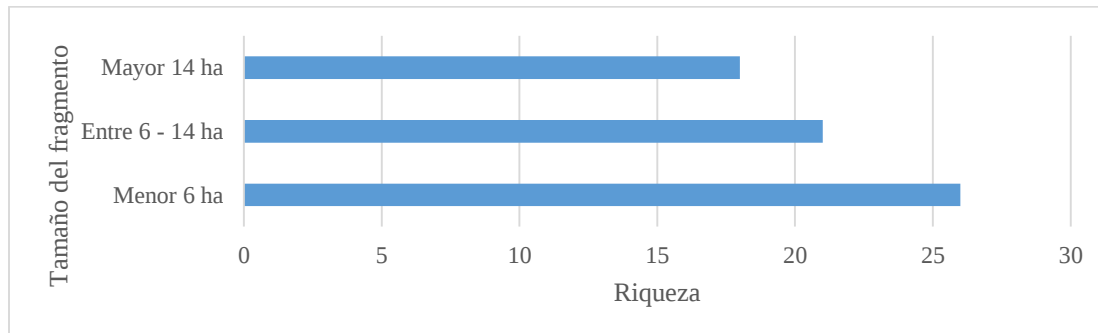


Figura 5. Riqueza de plántulas provenientes del banco de semillas germinable discriminada por tamaño de fragmento.

Aunque el BSG de los fragmentos pequeños -menores de 6 ha, registraron la mayor abundancia de individuos, la riqueza de especies fue similar entre los 3 tipos de fragmentos (Tabla 2).

Tabla 3. Índices de diversidad alfa en fragmentos de diferente tamaño.

Índices	Menor 6 ha	Entre 6 - 14 ha	Mayor 14 ha
Taxa_S	26	21	18
Abundancia	628	415	248
Dominancia_D	0,1308	0,1384	0,1259

Tabla 2. Continuación.

Índices	Menor 6 ha	Entre 6 - 14 ha	Mayor 14 ha
Simpson_1-D	0,8692	0,8616	0,8741
Shannon_H	2,373	2,317	2,374
Equidad_e^H/S	0,4125	0,483	0,5966
Brillouin	2,296	2,227	2,246
Menhinick Dmn	1,038	1,031	1,143
Margalef	3,88	3,318	3,083
Equidad de Shannon_J	0,7282	0,7609	0,8213
Alfa_Fisher	5,472	4,668	4,46
Berger-Parker	0,2022	0,2337	0,2137

Nota: Variación de los índices de diversidad alfa en fragmentos de diferente tamaño, por Anzola P, 2018.

Lo anterior se vio reflejado en el índice de Menhinick (Dmn) que dio como resultado una riqueza de especies similar en los 3 tipos de fragmentos estudiados (Tabla 2). De la misma manera, el índice de diversidad de Shannon H también fue similar en los diferentes fragmentos estudiados (Tabla 2). Tampoco se registraron variaciones en la dominancia de especies entre fragmentos, según el índice de dominancia de Simpson D (Tabla 2).

En la Figura 6, se ilustra el Dendrograma de similitud en la composición y distribución de las abundancias de 28 especies de plántulas provenientes del BSG en 3 tipos de fragmentos estudiados.

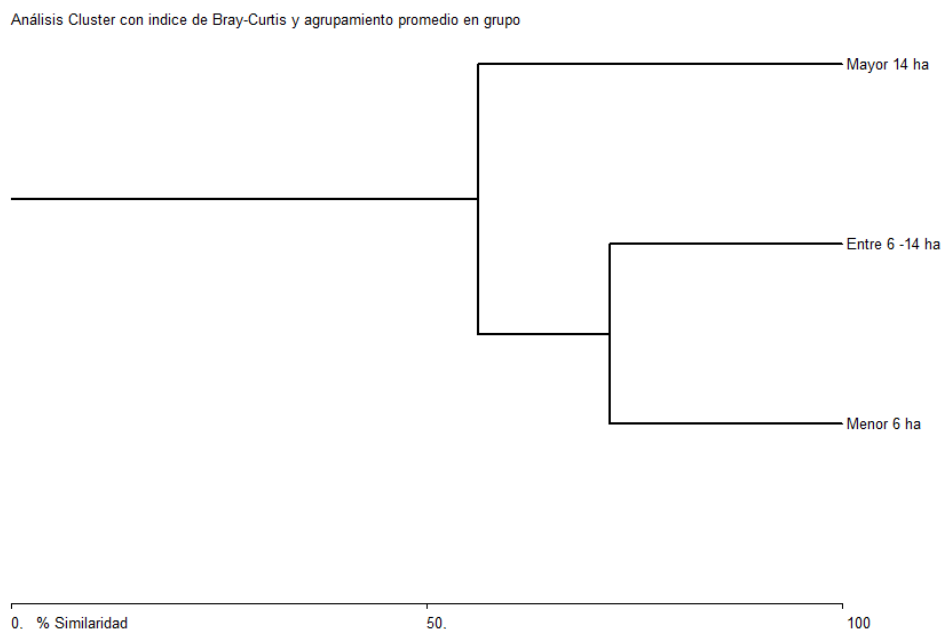


Figura 6. Dendrograma de similitud entre fragmentos discriminados por tamaño mediante el uso del índice de Bray-Curtis y el método de agrupamiento promedio UPGMA.

De acuerdo con la Figura 6, los fragmentos de mayor tamaño difieren en un 44% en la composición y distribución de las abundancias de las especies con respecto a los fragmentos de tamaño pequeño y mediano. El grado de recambio de especies entre los 3 fragmentos estudiados fue bajo (38.5%). Entre las especies con mayor abundancia de semillas en los fragmentos pequeños se encuentran las siguientes: *Croton trinitatis*, *Phyllanthus attenuatus* y *Sida rhombifolia*. En los fragmentos medianos las especies con mayor abundancia fueron también *Croton attenuatus* y *Phyllanthus attenuatus*. En los fragmentos de mayor tamaño estudiados, las especies dominantes fueron: *Croton attenuatus* y *Sida rhombifolia*.

9.3. Efecto de la distancia al borde sobre el BSG discriminada por tamaño del fragmento

9.3.1. Variabilidad en composición, estructura y diversidad del BSG en fragmentos menores de 6 ha. (Tamaño pequeño).

9.3.1.1. Composición y estructura del BSG

Se detectó un patrón general de disminución del número de plántulas emergentes del BSG a medida que se aumentó la distancia del borde hacia el interior del bosque (Figura 7).

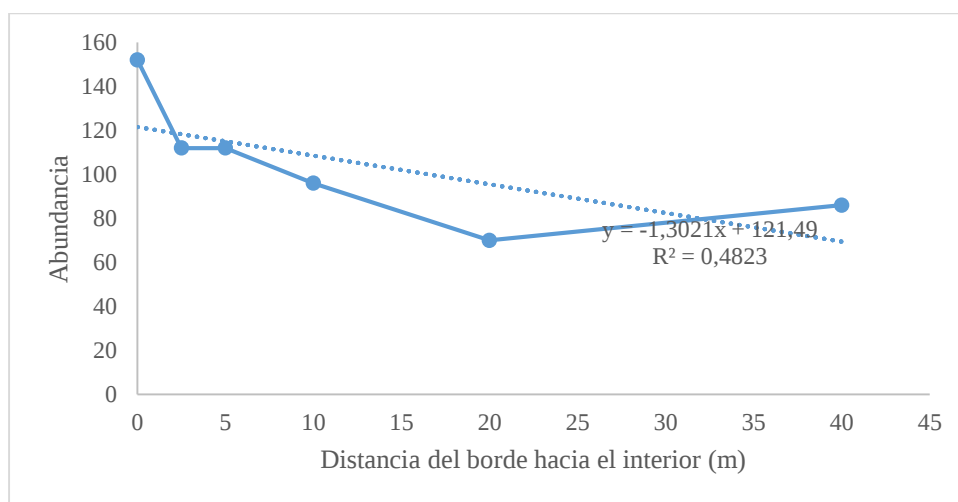


Figura 7. Variación del número de plántulas provenientes del BSG a diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en tres fragmentos menores de 6 ha.

De acuerdo con la figura anterior el número promedio de individuos a distancias cercanas al borde (0, 2,5 y 5 m) fue de 125.3, mientras que el promedio a mayores distancias (20 y 40 m) fue de 78 plántulas. La tendencia hacia la disminución del número total de plántulas desde el borde hacia el interior del bosque en los primeros 40 m, fue descrita con una regresión lineal (*Numero de plántulas emergentes del BSG* = $-1.302X$ *distancia del borde* + 121.4 $R^2 = 0.48$). En este caso, no se encontraron diferencias significativas en las abundancias de las plántulas emergentes del BSG desde el borde hacia el interior del bosque (Kruskal-Wallis H = 1.65, p = 0.89).

9.3.1.2. *Diversidad de especies de plántulas emergentes del BSG*

En la Figura 8, se establecen las relaciones de similitud en la abundancia promedio de especies de plántulas emergentes del BSG discriminada de acuerdo con la distancia del borde hacia el interior del bosque en 36 puntos de muestreo distribuidos a lo largo de 6 transectos de 40 m de longitud, en 3 fragmentos con menos de 6 ha cada uno (tamaño pequeño).

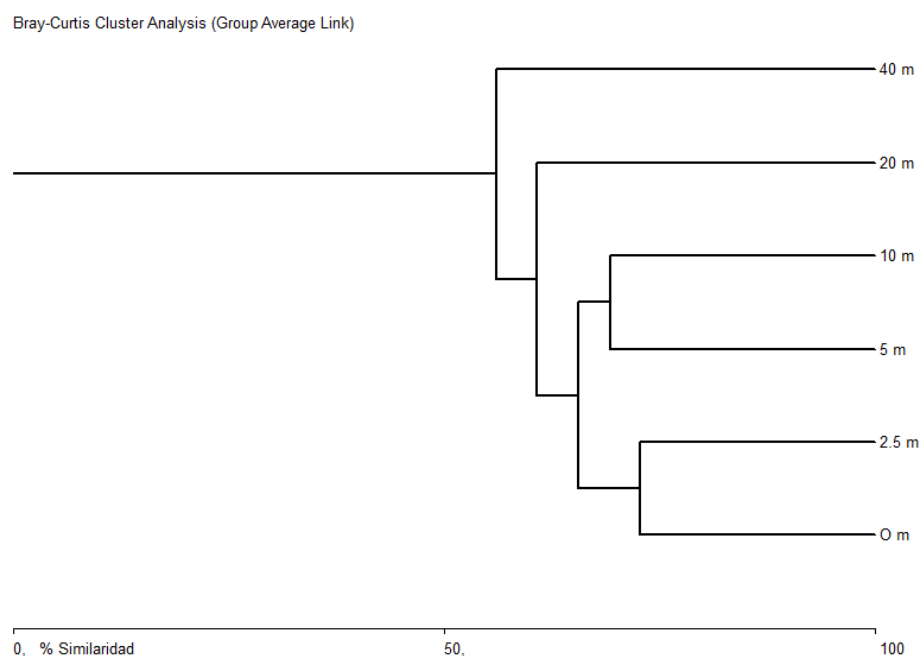


Figura 8. Dendrograma de similitud en la composición y abundancia total de especies de plántulas emergentes del BSG discriminada de acuerdo a la distancia desde el borde hacia el interior del bosque en 3 fragmentos de tamaño menor a 6 ha., RFP Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno.

El dendrograma de la figura 8, indica una similitud mayor al 50% en la composición y distribución de las abundancias totales de 25 especies de plántulas emergentes del BSG con respecto a las distancias establecidas del borde hacia el interior del bosque. No fue posible entonces, para este tamaño de fragmento, establecer cambios en la composición de especies de plántulas emergentes del BSG en función de la distancia del borde hacia el interior.

En la figura 9, se ilustran las curvas de rarefacción generadas para diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque, en puntos de muestreo distribuidas en 6 transectos de 40 m de longitud en fragmentos menores de 6 ha cada uno.

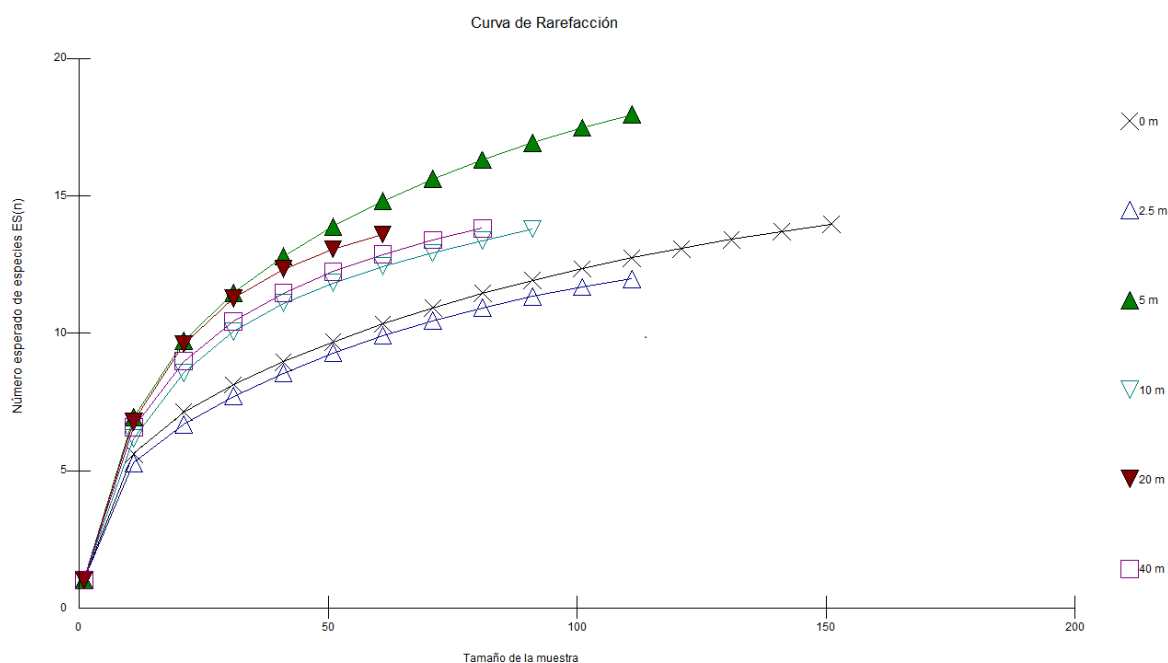


Figura 9. Curvas de rarefacción del número esperado de especies de plántulas emergentes del BSG versus tamaño de la muestra, para diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en fragmentos de tamaño menores a 6 ha, RFP Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuño.

En las curvas de rarefacción de la figura anterior no se detecta alguna relación del número esperado de especies de plántulas emergentes del BSG en función del esfuerzo de muestreo, con respecto a las distancias del borde hacia el interior del bosque. Si se toma como punto de corte muestral un tamaño de 61 individuos, la riqueza esperada de especies no varía de manera significativa entre las diferentes distancias. Para este tamaño de muestra, la mayor riqueza esperada

fue de 14.8 especies para la distancia de 5 m, y la menor riqueza esperada fue de 9.9 especies para la distancia de 2.5 m.

Las curvas rango abundancia para la distribución de especies de plántulas emergentes del BSG a diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en parcelas distribuidas en 6 transectos de 40 m de longitud en fragmentos menores de 6 ha cada uno, se registran en la figura 10.

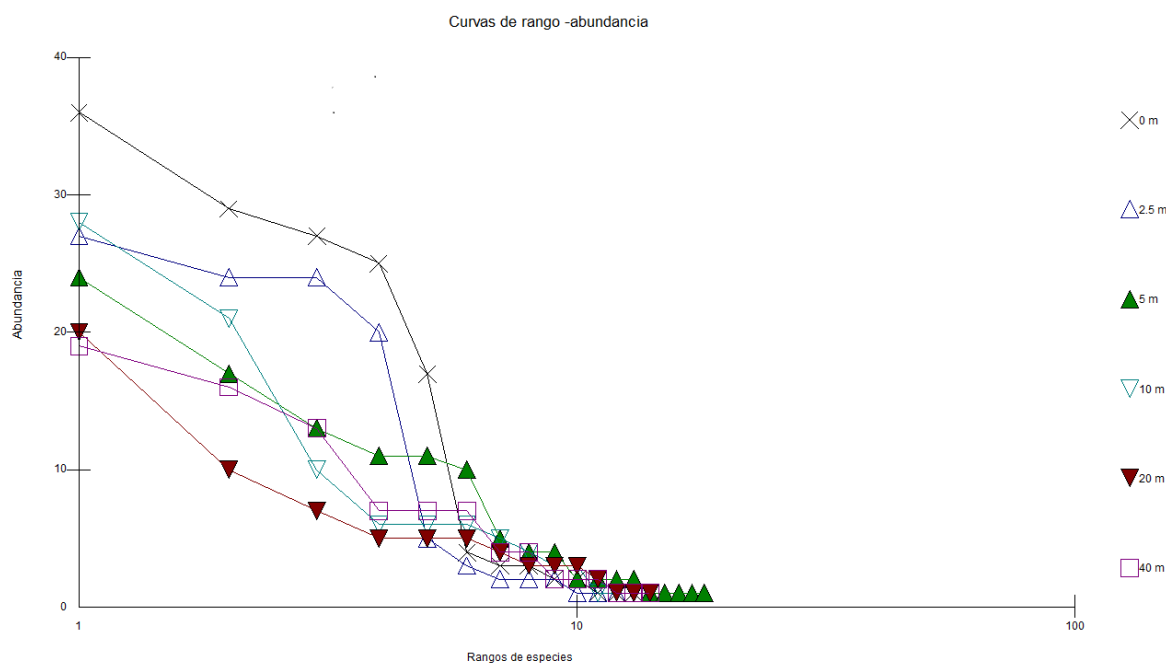


Figura 10. Curvas de rango-abundancia para diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en 6 transectos de 40 m de longitud en fragmentos menores de 6 ha, en la RFP Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno. (Nota: El eje X representa la distribución de las especies discriminada de acuerdo con la distancia al borde, en orden decreciente de abundancia).

Las curvas de rango-abundancia ilustradas en la figura 10, no muestran un patrón diferencial para las especies de plántulas emergentes del BSG distribuidas a poca distancia del borde (0 – 2.5 m) en comparación con aquellas distribuidas a mayores distancias del borde (20 – 40 m). Entre las especies con altas abundancias (dominancia) tanto en cercanías del borde como en el interior del bosque se encuentran las siguientes: *Sida rhombifolia*, *Phyllanthus attenuatus*, *Cissampelos sp* y *Croton trinitatis* (Anexo 3).

En la tabla 3, se registran diversos índices de diversidad alfa para diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en parcelas distribuidas a lo largo de 6 transectos de 40 m de longitud establecidos en 3 fragmentos menores de 6 ha cada uno.

Tabla 4. *Índices de diversidad alfa a diferentes distancias del borde en fragmentos de tamaño pequeño (menor de 6 ha).*

Índices	Distancias borde – interior de bosque					
	0 m	2.5 m	5 m	10 m	20 m	40 m
Taxa_S	14	12	18	14	14	14
Abundancia	152	112	112	96	70	86
Dominancia_D	0,1656	0,1857	0,1159	0,1623	0,1376	0,1325
Simpson_1-D	0,8344	0,8143	0,8841	0,8377	0,8624	0,8675
Shannon_H	2,003	1,889	2,413	2,14	2,284	2,248
Equidad_e^H/S	0,5293	0,5508	0,6203	0,6074	0,7011	0,6762
Brillouin	1,868	1,738	2,186	1,935	2,012	2,019
Menhinick	1,136	1,134	1,701	1,429	1,673	1,51
Margalef	2,588	2,331	3,603	2,848	3,06	2,918
Equidad de Shannon_J	0,7589	0,76	0,8348	0,8111	0,8654	0,8517
Alfa_Fisher	3,759	3,406	6,062	4,511	5,262	4,744
Berger-Parker	0,2368	0,2411	0,2143	0,2917	0,2857	0,2209

Nota: Variación de los índices de diversidad alfa a diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en fragmentos de tamaño pequeño (menor de 6 ha), por Anzola P, 2018.

De acuerdo con la tabla 3, los índices de diversidad muestran una gran similitud en todas las distancias medidas del borde hacia el interior del bosque. Por lo cual, no se detecta una tendencia a tener muestras más diversas en la composición del BSG a una distancia en particular del borde hacia el interior del bosque en fragmentos menores de 6 ha. De la misma manera, las dominancias en las diferentes distancias son similares; no se resalta una distancia donde la cantidad de individuos sea notoriamente mayor, lo que indica una distribución equitativa en el patrón de abundancia de las especies en las diferentes distancias estudiadas.

9.3.2. Variabilidad en composición, estructura y diversidad del BSG en fragmentos entre 6 – 14 ha (tamaño mediano).

9.3.2.1. Composición y estructura del BSG

Se observó un patrón general de disminución en el número de individuos desde el borde del bosque hacia el interior (Figura 11).

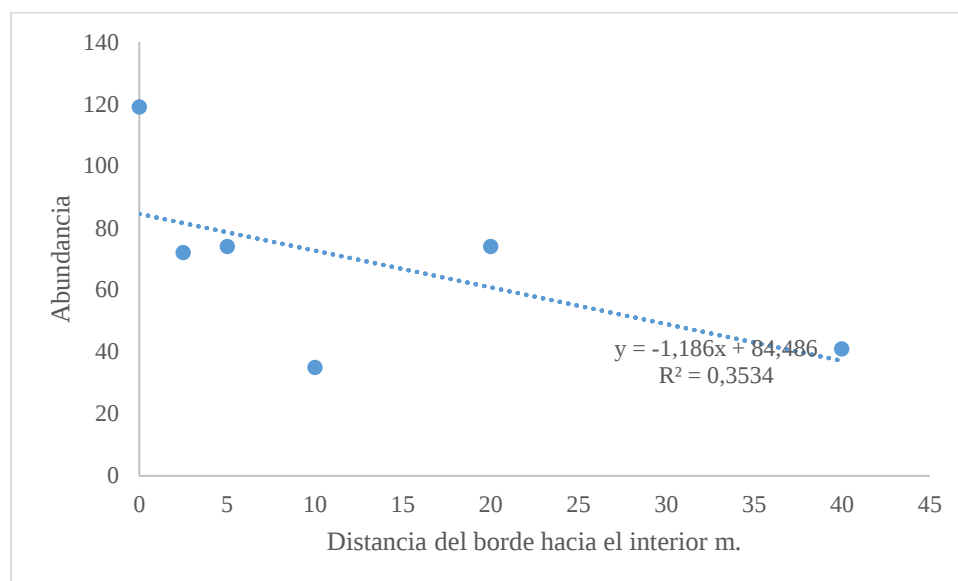


Figura 11. Variación del número de plántulas emergentes del BSG registradas a diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en 2 fragmentos entre 6 a 14 ha., RFP Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuño.

De acuerdo con la figura anterior el número promedio de individuos a distancias cercanas al borde (0, 2,5 y 5 m) fue de 88.3, mientras que el promedio a mayores distancias (20 y 40 m) fue de 57.5 plántulas. La tendencia hacia la disminución del número total de plántulas desde el borde hacia el interior del bosque en los primeros 40 m. fue descrita con una regresión lineal ($\text{Numero de plántulas emergentes del BSG} = -1.186X \text{ distancia del borde} + 84.48R^2 = 0.35$). En este caso, no se encontraron diferencias significativas en las abundancias de las plántulas emergentes del BSG desde el borde hacia el interior del bosque (Kruskal-Wallis $H = 4.07$, $p = 0.54$).

9.3.2.2. *Diversidad de especies de plántulas emergentes del BSG*

En la Figura 12, se establecen las relaciones de similitud en la abundancia promedio de especies de plántulas emergentes del BSG discriminada de acuerdo con la distancia del borde hacia el interior del bosque en 24 puntos de muestreo distribuidos a lo largo de 4 transectos de 40 m de longitud, en 2 fragmentos entre 6 – 14 ha cada uno (tamaño mediano).

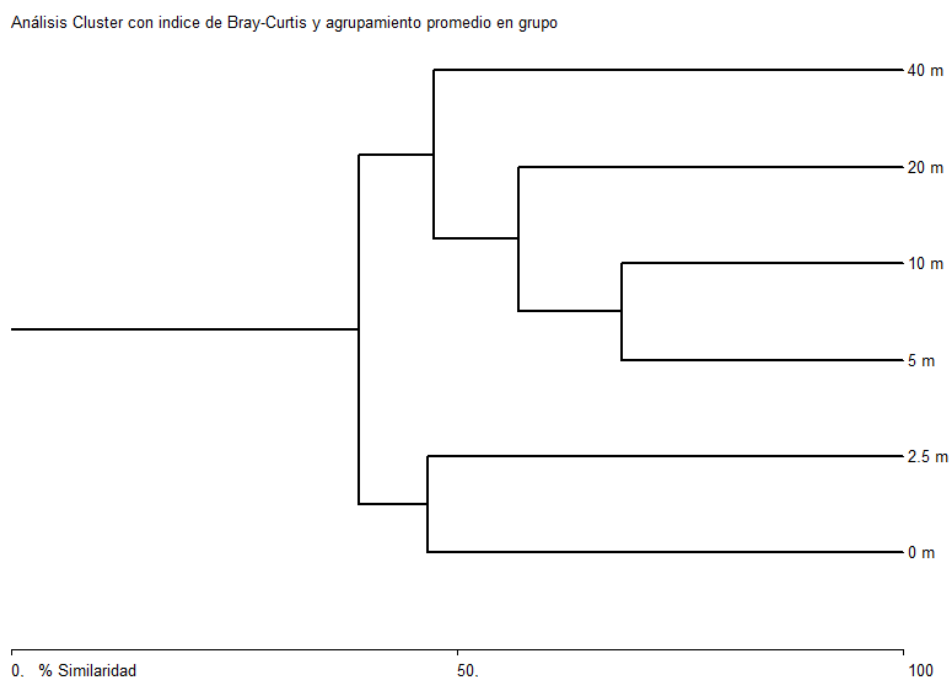


Figura 12. Dendrograma de similitud en la composición y abundancia total de especies de plántulas emergentes del BSG discriminada de acuerdo con la distancia desde el borde hacia el interior del bosque en 2 fragmentos de tamaño entre 6 – 14 ha., RFP Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno.

El dendrograma de la figura 12, indica que hay dos (2) grupos definidos en los fragmentos de tamaño mediano, de acuerdo a la composición y abundancia de las especies de plántulas emergentes del BSG. El primero lo conforman las especies distribuidas a distancias entre 0 y 2.5 m del borde hacia el interior, con una disimilitud del 61 % con respecto al segundo grupo diferenciado. Este segundo grupo engloba de manera particular a las especies distribuidas a las mayores distancias del borde hacia el interior (20 y 40 m de distancia respectivamente). Teniendo en cuenta que las diferencias más notables se encuentran en los grupos de plantas distribuidas al borde (0 y 2.5 m) y en el interior (20 y 40 m), se seleccionaron y promediaron los valores de las

abundancias correspondientes a estos dos grupos, y se realizó una comparación de los promedios desde el borde hacia el interior de bosque. Aunque se registran diferencias en las abundancias de las especies en cercanías del borde (0 y 2.5 m) y a mayores distancias del borde (20 y 40 m), estas no fueron significativas estadísticamente (Kruskal-Wallis $H = 3.48$, $p = 0.32$). Entre las especies registradas de manera típica a mayores distancias del borde (20 – 40 m) en fragmentos de tamaño mediano, sobresalen *Maprounea guianensis*, *Apuleia leiocarpa*, y *Croton trinitatis* (Anexo 3). En la Figura 13, se ilustran las curvas de rarefacción generadas para diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque, en parcelas distribuidas en 6 transectos de 40 m de longitud en fragmentos entre 6 - 14 ha cada uno.

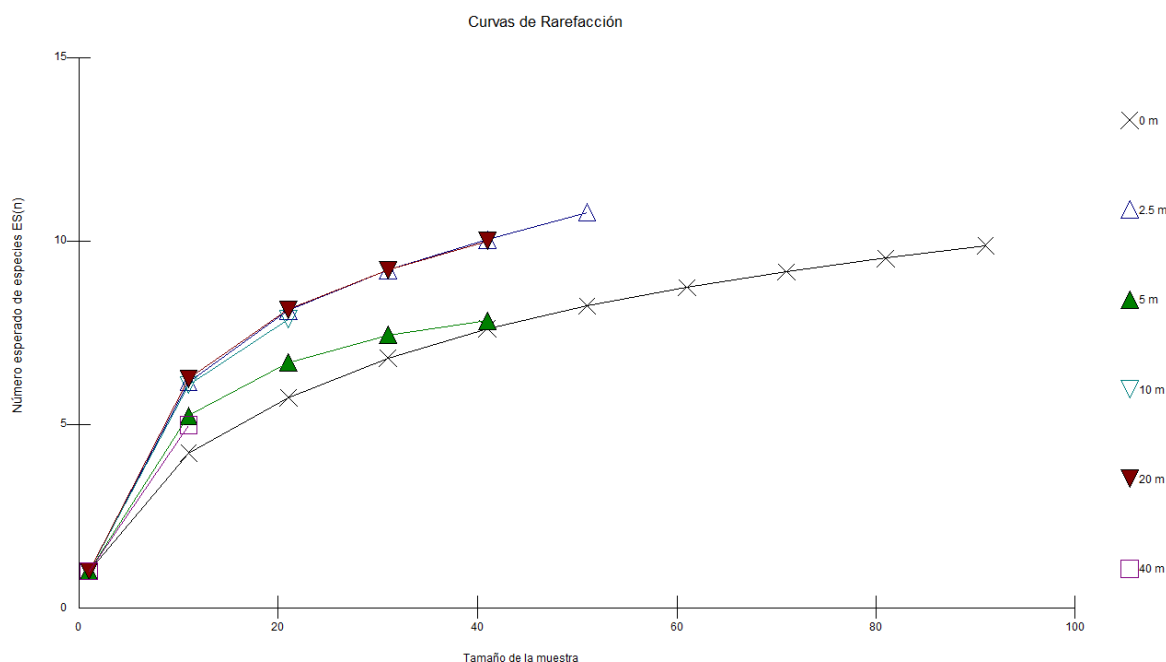


Figura 13. Curvas de rarefacción del número esperado de especies de plántulas emergentes del BSG versus tamaño de la muestra, para diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en fragmentos de tamaño entre 6 a 14 ha, RFP Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiano.

En las curvas de rarefacción de la figura anterior no se detecta alguna relación del número esperado de especies de plántulas emergentes del BSG con respecto a las distancias del borde hacia el interior del bosque. Si se toma como punto de corte muestral un tamaño de 11 individuos, la riqueza esperada de especies no varía de manera significativa entre las diferentes distancias. Para

este tamaño de muestra, la mayor riqueza esperada fue de 6.24 especies para la distancia de 20 m, y la menor riqueza esperada fue de 4.22 especies para la distancia de 0 m.

Las curvas rango abundancia para la distribución de especies de plántulas emergentes del BSG a diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en parcelas distribuidas en 4 transectos de 40 m de longitud en fragmentos entre 6 - 14 ha cada uno, se registran en la figura 14.

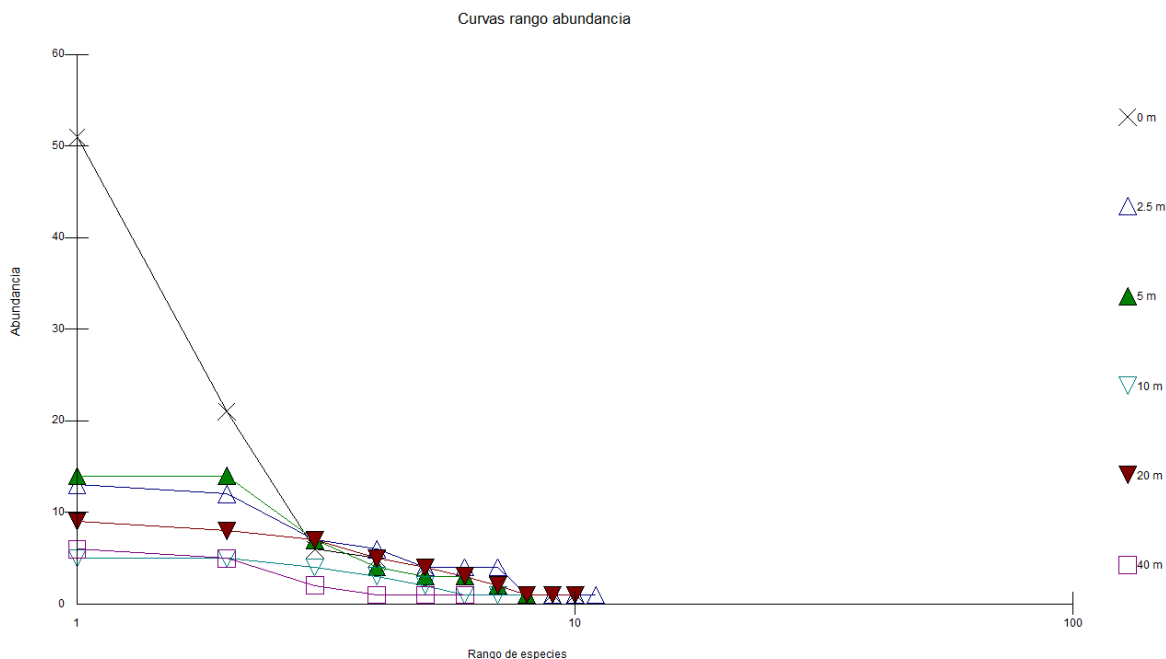


Figura 14. Curvas rango-abundancia para diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en 6 transectos de 40 m de longitud en fragmentos entre 6 a 14 ha, RFP Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno. (Nota: El eje X representa la distribución de las especies discriminada de acuerdo con la distancia al borde, en orden decreciente de abundancia).

Las curvas de rango-abundancia ilustradas en la figura 14, no muestran un patrón diferencial para las especies de plántulas emergentes del BSG distribuidas a poca distancia del borde (0 – 2.5 m) en comparación con aquellas distribuidas a mayores distancias del borde (20 – 40 m). La especie con mayor abundancia (dominancia) fue *Phyllanthus attenuatus* registrada en cercanías del borde en fragmentos medianos (Anexo 3).

En la Tabla 4, se registran diversos índices de diversidad alfa para diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en parcelas distribuidas a lo largo de 4 transectos de 40 m de longitud establecidos en 2 fragmentos entre 6 - 14 ha cada uno.

Tabla 5. *Índices de diversidad alfa a diferentes distancias del borde en fragmentos de tamaño mediano (6 - 14 ha).*

Índices	Distancia borde – interior de bosque					
	0 m	2.5 m	5 m	10 m	20 m	40 m
Taxa_S	13	14	12	10	12	7
Abundancia	119	72	74	35	74	41
Dominancia_D	0,2402	0,1312	0,141	0,1559	0,2118	0,4123
Simpson_1-D	0,7598	0,8688	0,859	0,8441	0,7882	0,5877
Shannon_H	1,857	2,246	2,132	2,051	1,958	1,259
Equidad_e^H/S	0,4928	0,6753	0,7024	0,7778	0,5902	0,5029
Brillouin	1,7	1,989	1,908	1,714	1,74	1,072
Menhinick	1,192	1,65	1,395	1,69	1,395	1,093
Margalef	2,511	3,04	2,556	2,531	2,556	1,616
Equidad Shannon_J	0,7241	0,8512	0,8578	0,8908	0,7878	0,6468
Alfa Fisher	3,718	5,184	4,059	4,677	4,059	2,427
Berger-Parker	0,4286	0,2083	0,1892	0,2857	0,4054	0,6098

Nota: Variación de los índices de diversidad alfa a diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en fragmentos de tamaño mediano (6 - 14 ha), por Anzola P, 2018.

De acuerdo con la Tabla 4, los índices de diversidad muestran una ligera variación en las distancias medidas en cercanías del borde y las medidas hacia el interior del bosque. El valor promedio del índice de Shannon en cercanías del borde fue de $H' = 2.05$, mientras que al interior del bosque (distancias 20 y 40 m) el valor promedio fue de $H' = 1.61$. Esta ligera tendencia a la disminución de la diversidad en fragmentos de mayor tamaño se ve reflejada también en otros índices como en el Alfa de Fisher. Sin embargo, no se resalta una distancia donde la cantidad de individuos sea notoriamente mayor, lo que indica una distribución equitativa en el patrón de abundancia de las especies en las diferentes distancias estudiadas en fragmentos grandes.

9.3.3. Variabilidad en composición, estructura y diversidad del BSG en fragmentos mayores de 14 ha (tamaño grande).

9.3.3.1. Composición y estructura del BSG

Se observó un patrón general de disminución leve en el número de individuos desde el borde del bosque hacia el interior (Figura 15).

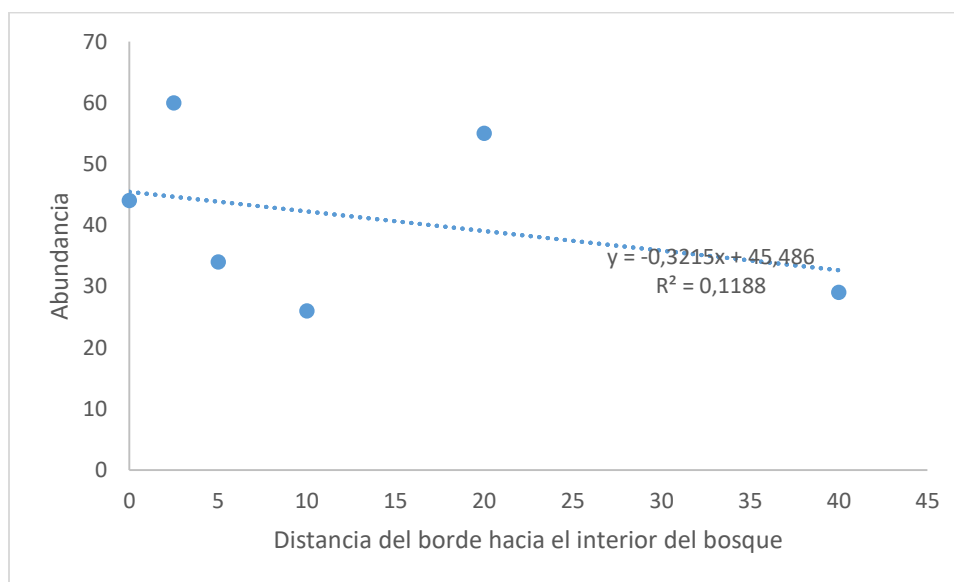
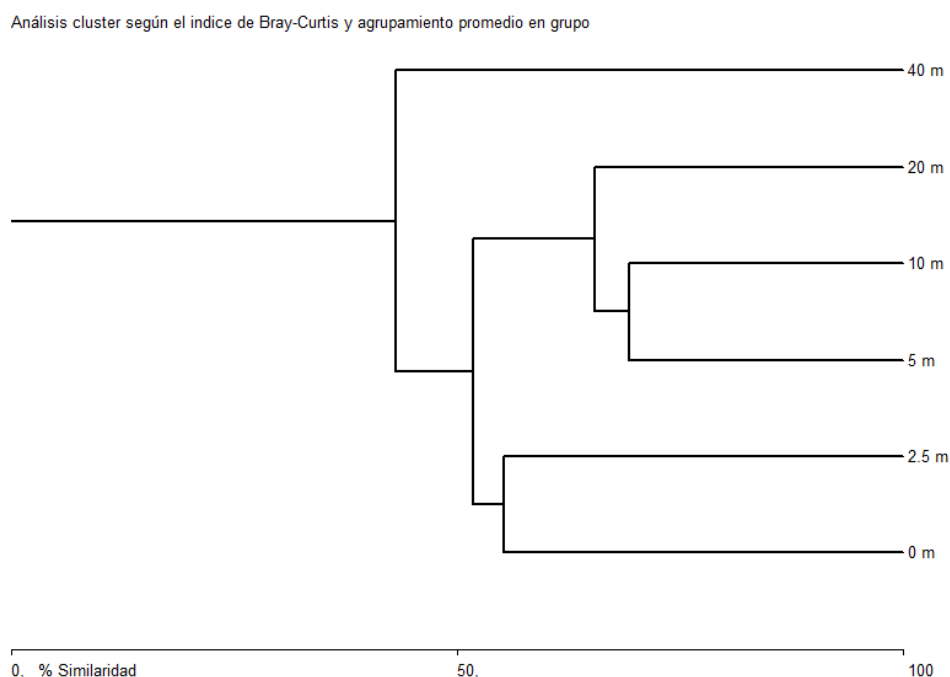


Figura 15. Variación del número de plántulas emergentes del BSG registradas a diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en 2 fragmentos mayores de 14 ha., RFP Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiano.

De acuerdo con la figura anterior el número promedio de individuos a distancias cercanas al borde (0, 2,5 y 5 m) fue de 46, mientras que el promedio a mayores distancias (20 y 40 m) fue de 42 plántulas. La tendencia hacia la disminución del número total de plántulas desde el borde hacia el interior del bosque en los primeros 40 m, fue descrita con una regresión lineal ($\text{Numero de plántulas emergentes del BSG} = -0.921X \text{ distancia del borde} + 45.48R^2 = 0.11$). En este caso, no se encontraron diferencias significativas en las abundancias de las plántulas emergentes del BSG desde el borde hacia el interior del bosque (Kruskal-Wallis $H = 2.48$, $p = 0.77$).

9.3.3.2. *Diversidad de especies de plántulas emergentes del BSG*

En la Figura 16, se establecen las relaciones de similitud en la abundancia promedio de especies de plántulas emergentes del BSG discriminada de acuerdo con la distancia del borde hacia el interior del bosque en 24 puntos de muestreo distribuidos a lo largo de 4 transectos de 40 m de longitud, en 2 fragmentos mayores de 14 ha cada uno (tamaño grande).



.Figura 16. Dendrograma de similitud en la composición y abundancia total de especies de plántulas emergentes del BSG discriminada de acuerdo con la distancia desde el borde hacia el interior del bosque en 2 fragmentos de tamaño mayor de 14 ha cada uno. RFP Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno.

El dendrograma de la figura 16, indica que hay tres (3) grupos definidos en los fragmentos de tamaño grande, de acuerdo a la composición y abundancia de las especies de plántulas emergentes del BSG. El primero lo conforman las especies distribuidas a distancias entre 0 y 2.5 m del borde hacia el interior, con una disimilitud del 48 % con respecto al segundo grupo diferenciado. Este segundo grupo engloba de manera particular a las especies distribuidas a las distancias de 5 – 10 y 20 m del borde hacia el interior respectivamente. El tercer grupo está conformado por las especies de plántulas pertenecientes a la muestra más distante del borde (40 m), fusionada a un nivel de disimilitud del 57% con respecto a los otros dos grupos generados en el dendrograma.

Teniendo en cuenta que las diferencias más notables se encuentran en los grupos de plantas distribuidas al borde (0 y 2.5 m) y en el interior (40 m), se seleccionaron y promediaron los valores de las abundancias correspondientes a estos dos grupos, y se realizó una comparación de los promedios desde el borde hacia el interior de bosque. Aunque se registran diferencias en las abundancias de las especies en cercanías del borde (0 y 2.5 m) y a mayores distancias del borde (40 m), estas no fueron significativas estadísticamente (Kruskal-Wallis $H = 1.46$, $p = 0.48$). Entre las especies registradas de manera típica a mayores distancias del borde (40 m) en fragmentos de tamaño grande, sobresalen *Scleria sp*, *Croton trinitatis*, *Solanum sp* (Anexo 3).

En la Figura 17, se ilustran las curvas de rarefacción generadas para diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque, en parcelas distribuidas en 6 transectos de 40 m de longitud en dos fragmentos mayores de 14 ha cada uno.

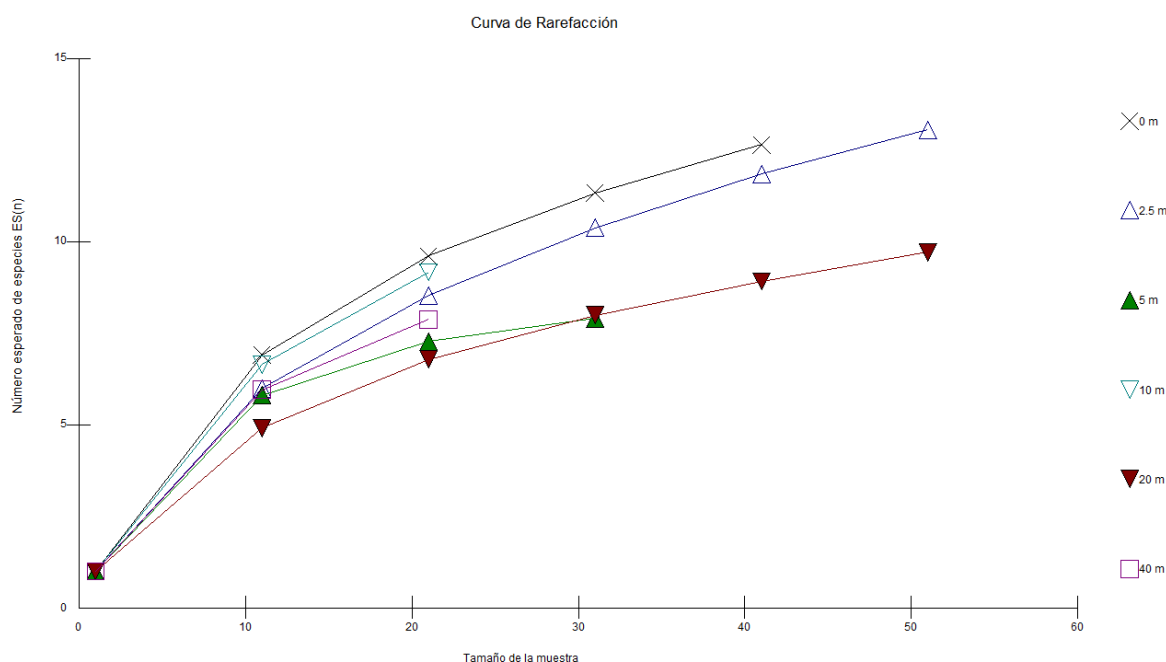


Figura 17. Curvas de rarefacción del número esperado de especies de plántulas emergentes del BSG versus tamaño de la muestra, para diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en fragmentos de tamaño mayores de 14 ha, RFP Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno.

En la curva de acumulación se observó que el número de especies aumenta en función del esfuerzo de muestreo en cada una de las distancias desde el borde de bosque. Sin embargo, si se toma como punto de corte muestral un tamaño de 21 individuos, la riqueza esperada de especies no varía de manera significativa entre las diferentes distancias. Para este tamaño de muestra, el

promedio de la riqueza esperada fue de 9.06 especies para distancias entre 0 y 5 m del borde, y de 7.32 especies en promedio para distancias entre 20 y 40 m del borde.

Las curvas rango abundancia para la distribución de especies de plántulas emergentes del BSG a diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en parcelas distribuidas en 6 transectos de 40 m de longitud en fragmentos con más de 14 ha cada uno, se registran en la figura 18.

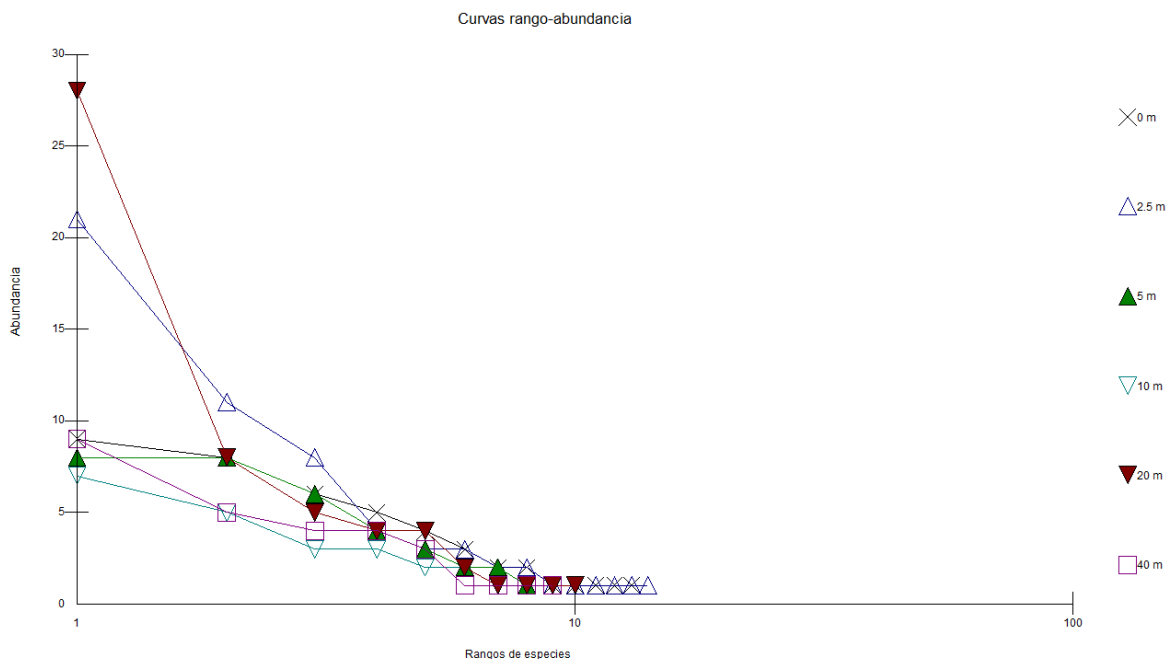


Figura 18. Curvas rango-abundancia para diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en 6 transectos de 40 m de longitud en fragmentos con más de 14 ha, la RFP Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno. (Nota: El eje X representa la distribución de las especies discriminada de acuerdo con la distancia al borde, en orden decreciente de abundancia).

Las curvas de rango-abundancia ilustradas en la figura 18, no muestran un patrón diferencial para las especies de plántulas emergentes del BSG distribuidas a poca distancia del borde (0 – 2.5 m) en comparación con aquellas distribuidas a mayores distancias del borde (20 – 40 m). La especie con mayor abundancia (dominancia) fue *Croton trinitatis* registrada en la muestra ubicada a 20 m del borde del bosque. (Anexo 3).

En la Tabla 5, se registran diversos índices de diversidad alfa para diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en parcelas distribuidas a lo largo de 4 transectos de 40 m de longitud establecidos en 2 fragmentos mayores de 14 ha cada uno.

Tabla 6. *Índices de diversidad alfa a diferentes distancias del borde en fragmentos de tamaño grande (mayores de 14 ha).*

Índices	Distancia del borde hacia el interior del bosque					
	0 m	2.5 m	5 m	10 m	20 m	40 m
Taxa_S	13	14	8	10	10	9
Abundancia	44	60	34	26	55	29
Dominancia_D	0,126	0,1872	0,1713	0,1538	0,3018	0,1795
Simpson_1-D	0,874	0,8128	0,8287	0,8462	0,6982	0,8205
Shannon_H	2,266	2,063	1,89	2,065	1,635	1,912
Equidad_e^H/S	0,7412	0,5623	0,8274	0,7882	0,5131	0,7517
Brillouin	1,913	1,783	1,601	1,653	1,418	1,57
Menhinick	1,96	1,807	1,372	1,961	1,348	1,671
Margalef	3,171	3,175	1,985	2,762	2,246	2,376
Equidad de Shannon_J	0,8833	0,7819	0,9089	0,8966	0,7102	0,8701
Alfa_Fisher	6,227	5,743	3,298	5,949	3,577	4,471
Berger-Parker	0,2045	0,35	0,2353	0,2692	0,5091	0,3103

Nota: Variación de los índices de diversidad alfa a diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque en fragmentos de tamaño grande (mayores de 14 ha), por Anzola P, 2018.

De acuerdo con la tabla 5, los índices de diversidad muestran una gran similitud en todas las distancias medidas del borde hacia el interior del bosque. Es decir, no se detecta una tendencia a tener muestras más diversas a una distancia en particular del borde hacia el interior del bosque en fragmentos con más de 14 ha. Un análisis de varianza con los índices de Margalef entre las muestras de los 2 fragmentos con más de 14 ha para cada una de las distancias del borde hacia el interior, no registró diferencias significativas (Kruskal-Wallis = 8.20, g.l. = 5, $p = 0.14$), indicando que las muestras son parecidas. De la misma manera, las dominancias en las diferentes distancias son similares; no se resalta una distancia donde la cantidad de individuos sea notoriamente mayor, lo que indica una distribución equitativa en el patrón de abundancia de las especies en las diferentes distancias estudiadas.

10. Discusión

De acuerdo a los resultados obtenidos se evidencia una pequeña variabilidad, no significativa estadísticamente, en la composición y diversidad del BSG, no solo desde el borde hacia el interior del bosque sino también en los tres tipos de tamaño de fragmento seleccionados.

En cuanto a la densidad del BSG en este estudio se reportó un total de 1.921 plántulas distribuidas en 15 familias y 28 especies. Estos datos concuerdan con la variación establecida por otros autores de 1.091 y 4.238 plántulas y una riqueza entre 18 y 28 familias de plantas en el banco de semillas (Cardona & Vargas, 2004; Sousa et al., 2017). Así mismo, se pudo corroborar la dominancia del banco de semillas por plántulas herbáceas en un 50%, tal como lo definió Martins & Engel (2007) en un estudio del banco de semillas sobre fragmentos de bosque tropicales; tales autores reportan que las plantas herbáceas fueron las especies más abundantes en el banco de semillas en zonas abiertas, lo que indicó un alto nivel de perturbación y pérdida de resiliencia de los ecosistemas. En este estudio también se atribuye la abundancia de especies de plantas herbáceas en el banco de semillas, a las actividades de ganadería que se realizaban y aún se realizan en pequeña escala en la reserva. De acuerdo con esto, la familia *Poaceae* fue una de las 10 familias más abundantes, especialmente en los fragmentos de tipo mediano. Lo anterior también concuerda con los resultados obtenidos en un estudio del efecto de la fragmentación sobre el BSG en bosques de la Amazonia Central (Cardona & Vargas, 2004; Romero Lopez, Baquero Macias, & Beltran Gutierrez, 2016; Sousa et al., 2017).

Pese a que no se registraron diferencias estadísticamente significativas en la variación de la composición y diversidad del BSG de acuerdo al tamaño del fragmento, fue posible identificar pequeñas variaciones que consistieron en una disminución del tamaño del banco en los fragmentos de mayor tamaño. De este modo, se obtuvo la mayor abundancia de individuos para los fragmentos de menor tamaño (>6 Ha), los cuales registraron el 48.6% (n= 628 semillas) del total plántulas germinadas para el BSG. Esto, posiblemente se debe al dominio de especies herbáceas, y al mantenimiento de especies que sirven como barrera e impiden la dispersión masiva de especies invasoras hacia el interior del bosque. Así, este posible efecto es descrito sobre los bosques en Amazonia Central, donde demostraron que los fragmentos más pequeños de un bosque amazónico tenían mayor densidad de semillas, mayor riqueza de especies y una composición diferenciada de

especies, incluyendo la presencia de especies ruderales, lo que indica un efecto significativo de la fragmentación del bosque en el banco de semillas, siendo los fragmentos pequeños más intensamente afectados que los grandes (Sousa et al., 2017).

Igualmente, para los resultados obtenidos de composición y abundancia del BSG a diferentes distancias del borde hacia el interior del bosque, las diferencias no fueron significativas en cuanto a la diversidad del banco de semillas, esto indica que las muestras tomadas para este estudio son parecidas en los 3 tipos de fragmentos tomados. Así mismo, la dominancia para las muestras en las diferentes distancias son similares; y no se resalta una distancia donde la cantidad de individuos sea notoriamente mayor para ninguna muestra en los diferentes tipos de fragmentos. Lo que indica una distribución equitativa en el patrón de abundancia de las especies en las diferentes distancias del borde estudiadas. Esto pudo ser producto de la poca distancia desde el borde hacia el interior del bosque, razón por la que no se detectó una variación entre los resultados. Dado que, el efecto de borde puede estar extendido más hacia el interior del bosque y por ende la distancia tomada queda corta, por lo que se presenta tal similitud en los datos a lo largo del gradiente del borde hacia el interior. Esto mismo fue evidenciado en el estudio sobre bosques tropicales al suroeste de China (Lin & Cao, 2009).

Acorde, con los resultados obtenidos en este estudio, fue posible identificar que las áreas estudiadas de la zona de la Reserva Forestal Protectora, se encuentra perturbada. Lo cual, se evidencio en la afectación sobre el banco de semillas en fragmentos de menor tamaño; los cuales tuvieron características de dominancia de plántulas herbáceas. Esto, es producto de las diferentes actividades que se han venido desarrollando dentro de las áreas de la reserva, como lo es la ganadería y la expansión de asentamientos urbanos.

Aun así, se tiene que las especies herbáceas son capaces de formar un banco de semillas persistente, debido a la forma y tamaño pequeño característico de sus semillas. Además, de la facilidad de este tipo de especies, para el establecimiento en áreas disturbadas, y su forma de dispersión principalmente anemócora; la cual puede incrementar la posibilidad de que las semillas colonicen nuevas áreas y formen rápidamente sus bancos (Dominguez & Romero, 2017; Romero Lopez et al., 2016).

11. Conclusiones

- No se encontraron variaciones estadísticamente significativas que permitieran definir el efecto del borde sobre el banco de semillas de la Reserva Forestal Protectora Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno, sin embargo, se logra identificar que la zona de estudio ha sido perturbada y muestra de ello, es la composición del BSG por plántulas de tipo herbácea en su dominancia cerca al 50% de la composición del banco.
- Fue posible corroborar, la afectación de la fragmentación sobre los fragmentos de menos tamaño los cuales se ven claramente perturbados, y afectados para la lograr la restauración natural, ya que según lo planteado, así mismo fue evidente, que a menor tamaño de fragmento mayor afectación; sin embargo, los resultados obtenidos no fueron congruentes a la hora de poder determinar el efecto del borde sobre el banco de semillas a diferentes distancias del borde, lo cual se puede deber a la toma de muestra, la cual se realizó en transectos de 40 m, y como se ha evidenciado en diferentes estudios el efecto de borde puede extenderse hasta del tamaño mismo del fragmento.
- No obstante, los resultados obtenidos son un aporte hacia la necesidad de formular actividades, planes y/o herramientas que contribuyan a iniciar procesos de restauración en las zonas de estudio, ya que es una zona con un gran potencial hídrico, y paisajístico, que necesita y merece ser conservada.

12. Recomendaciones

Conforme a los resultados obtenidos, se recomienda realizar una revisión exhaustiva de la metodología para futuras investigaciones ampliando así la distancia de los transectos a tener en cuenta para los muestreos del borde hacia el interior del bosque; además, extender la duración de la fase de germinación para las muestras cerca de unos 4 meses, esto ya que la composición del banco puede contener semillas que se encuentran es estado de latencia y su germinación requiere de más tiempo, lo cual garantizaría la identificación de un banco más congruente; igualmente se recomienda garantizar las condiciones de invernadero y ser muy cuidadosos con las condiciones ambientales extremas.

Adicionalmente, es fundamental que se desarrollen proyectos de la mano con las autoridades ambientales y los habitantes del sector, todo sea en pro de contribuir y desarrollar estrategias que contribuyan a la conservación y mantenimiento de un área de interés como lo es la RFP “Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno”, pues en el desarrollo de la investigación, se encontró que en su mayoría los habitantes del sector desconocen que habitan en un área de reserva, y aun mas no tienen idea de lo que significa habitar en esta zona.

13. Referencias bibliográficas

- Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (1998). Germination Ecology of Seeds in the Persistent Seed Bank. En *SEEDS: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. (pp. 133-179).
- Borda, M. (2011). Caracterización del banco de semillas germinable de plantaciones de pinos (*Pinus patula*) y claros en regeneración natural (alrededores del embalse de chisacá, bogotá - localidad de usme - bosque altoandino). En *la restauración ecológica en la Práctica: Memorias del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica* (pp. 456-473). Recuperado a partir de http://www.ciencias.unal.edu.co/unciencias/data-file/user_46/file/Memorias-Congreso-Restauracion.pdf
- Bustamante, R., & Grez, A. A. (1995). Consecuencias ecologicas de la fragmentacion de los bosques nativos. *Ambiente y Desarrollo*, 11, 58-63. Recuperado a partir de http://www.ieb-chile.cl/otras_publicaciones/RBustamante/Bustamante_Grez_1995_Ambient_Desarr.pdf
- Calderon, C. de la A. I. en B., Correa, M. A. de la A. I. en B., & Muñoz, J. (Universidad de la A. I. G. (2009). Potencial del banco de semillas y la lluvia de semillas en la restauración natural de la Estación de Monitoreo de Biodiversidad del Centro de Investigaciones Amazónicas Macagual (Florencia-Caquetá, Colombia). *Momentos de Ciencia*, 6(1), 21-31.
- Cardona, A., & Vargas, O. (2004). El Banco de Semillas Germinable de Especies en dos Bosques Subandinos y su importancia para la restauracion Ecologica (Reserva Biologica Cachalu - Santander- Colombia). *Colombia Forestal*, 8(17), 60-74.
- Carmona, V. G., & Carmona, T. V. (2013). La Diversidad de los Análisis de Diversidad La Diversidad de los Analisis de Diversidad [The Diversity of Diversity Analyses]. *Bioma*, 14, 20-28. Recuperado a partir de http://digitalcommons.lmu.edu/bio_fac/28
- Cormacarena, G. de P. bajos; C. I. M. (2004). Formulación participativa del plan de manejo de las Reservas Forestales Protectoras “Cerro Vanguardia” y “Caño Vanguardia y quebrada Vanguardiuno”.
- Cortes, A., & Varón, C. (2018). Efecto de borde en áreas fragmentadas de piedemonte en la reserva forestal protectora caño vanguardia y quebrada vanguardiuno, villavicencio – meta. Universidad Santo Tomas, villavicencio. Recuperado a partir de

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/13673/2018albertocortes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Dalling, J. W., Swaine, M. D., & Garwood, N. C. (1995). Effect of Soil Depth on Seedling Emergence in Tropical Soil Seed-Bank Investigations. *Source: Functional Ecology Functional Ecology*, 9(9), 119-121. Recuperado a partir de <http://www.jstor.org/stable/2390098>
- De los Angeles, C., Posada, C., & Vargas, O. (2002). Banco de semillas germinable de una comunidad vegetal de paramo humedo sometida a quema y pastoreo (parque nacional natural chingaza, colombia). *ECOTROPICS*, 15(1), 51-60. Recuperado a partir de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/17004/RiveraDiazAdelmo2015.pdf?sequence=1>
- Dominguez, K. J., & Romero, Y. (2017). *Caracterización del banco de semillas germinable en áreas de bosque secundario y pastizales de piedemonte llanero, campus Loma Linda, Universidad Santo Tomás Villavicencio*. Universidad Santo Tomás, Villavicencio. Recuperado a partir de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/12385/2017kellidom%C3%ADnguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Espinosa, T. E. (2003). ¿Cuántas especies hay? los estimadores nopparametricos de chao. *Elementos: ciencia y cultura*, 52(0187-9073), 53-56. Recuperado a partir de <http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>
- Guimaraes, C., & Proctor, J. (2007). Mechanisms of plant regeneration during succession after shifting cultivation in eastern Amazonia. *Plant Ecol.* <http://doi.org/10.1007/s11258-007-9327-4>
- Hao Zhang, L. M. (2013). Changes in soil seed bank composition during early succession of rehabilitated quarries. *Ecological Engineering*, 55, 43-50. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.02.002>
- Henderson, C. B., Petersen, K. E., & Redak, R. A. (1988). Spatial and Temporal Patterns in the Seed Bank and Vegetation of a Desert Grassland. *Journal of Ecology*, 76(3), 717-728. Recuperado a partir de <http://www.jstor.org/stable/2260569>
- Herrera, P. M. C., & Diaz, E. V. (2013). *Ecología del paisaje, conectividad ecológica y territorio. una aproximación al estado de la cuestión desde una perspectiva técnica y científica*.

- Recuperado a partir de http://www3.uva.es/iuu/DOSSIER/Dossier_01/Dossier_01_043-070_HERRERA_CALVO.pdf
- Lin, L., & Cao, M. (2009). Edge effects on soil seed banks and understory vegetation in subtropical and tropical forests in Yunnan, SW China. *Forest Ecology and Management*, 257, 1344-1352. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.12.004>
- Lindner, A. (2008). A rapid assessment approach on soil seed banks of Atlantic forest sites with different disturbance history in Rio de Janeiro, Brazil. *Ecological Engineering*, 5(35), 829-835. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.12.006>
- Marañón, T. (1995). Ecología de los bancos de semilla en el suelo: una revisión de estudios españoles. *Revista PASTOS: XXV*, (1), 3-25. Recuperado a partir de <http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/viewFile/1592/1593>
- Marañón, T. (2001). Ecología del banco de semillas y dinámica de comunidades mediterráneas. *Banco de semillas*. Recuperado a partir de [http://www3.uah.es/dep_ecologia_pcastro/Ecologia1/Material_practicas/Banco semillas_05/teodoro.pdf](http://www3.uah.es/dep_ecologia_pcastro/Ecologia1/Material_practicas/Banco_semillas_05/teodoro.pdf)
- Marañón, T. (2004). El banco de semillas en el suelo. En *El monte mediterráneo de Andalucía* (pp. 145-151).
- Maurín, M. Á. (2005). *La fragmentación de la naturaleza y los corredores verdes*. Recuperado a partir de <https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/872/Manuel.pdf?sequence=1>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Ley 165 de 1994 (1994). Recuperado a partir de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistematicos/politica-nacional-de-biodiversidad#documentos>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Plan Nacional de Restauración Ecológica, Rehabilitación y Recuperación de Áreas Disturbadas*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado a partir de https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Ordenación-y-Manejo-de-Bosques/PLAN_NACIONAL_DE_RESTAURACIÓN_2.pdf
- Montenegro, A. L., & Ríos, O. V. (2008). Caracterización de bordes de bosque altoandino e implicaciones para la restauración ecológica en la Reserva Forestal de Cagua (Colombia). *Revista de Biología Tropical*, 56(3), 1543-1556. <http://doi.org/10.15517/rbt.v56i2.5618>
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. En *Manuales y Tesis SEA*, (p. 84).

- Murcia, C. (1995). Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *TREE REVIEWS*, 10(2), 58-62. Recuperado a partir de https://ac.els-cdn.com/S0169534700889776/1-s2.0-S0169534700889776-main.pdf?_tid=a5525201-236c-45d3-9006-422dd3cc54a1&acdnat=1538507436_bfb0e2062218bd1d5f7461ceb9ab6236
- Piude, M. J., & Caverro, R. Y. (2005). Banco de semillas: comparación de metodologías de extracción, de densidad y de profundidad de muestreo. *Publicaciones de Biología*, 16, 71-85. Recuperado a partir de <http://dadun.unav.edu/bitstream/10171/8024/1/n16a5.pdf>
- REPUBLICA DE COLOMBIA, R., & MADS, M. del M. A. Plan estrategico para la restauracion ecologica y el establecimiento de bosque en colombia (plan verde) (1998). Recuperado a partir de http://www.mamacoca.org/docs_de_base/Cifras_cuadro_mamacoca/pverde%5B1%5D.pdf
- Rivera Diaz, A. (2015). Efecto de las eliminaciones sucesivas de la vegetación en pie sobre el reclutamiento de *ulex europaeus*, en matorrales de diferentes edades en bogota d.c. colombia adelmo. *ECOTROPICS*. Recuperado a partir de <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/25542/1/articulo4.pdf>
- Romero Lopez, A. M., Baquero Macias, N., & Beltran Gutierrez, H. E. (2016). Banco de semillas en áreas disturbadas de bosque subandino en san bernardo (cundinamarca, colombia). *Colombia Forestal*, 19(2), 181-194. <http://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.2.a04>
- Sálek, L., Zahradník, D., Marusák, R., Jerábková, L., & Merganic, J. (2013). Forest edges in managed riparian forests in the eastern part of the Czech Republic. *Forest Ecology and Management*, 305(3), 1-10. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.05.012>
- SIMPSON, E. H. (1949). Measurement of Diversity. *Nature*, 163(4148), 688. <http://doi.org/10.1038/163688a0>
- Sousa, T. R., Costa, F. R. C., Bentos, T. V., Leal Filho, N., Mesquita, R. C. G., & Ribeiro, I. O. (2017). The effect of forest fragmentation on the soil seed bank of Central Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 393, 105-112. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.03.020>
- Tekle, K., & Bekele, T. (2000). The Role of Soil Seed Banks in the Rehabilitation of Degraded Hillslopes in Southern Wello The Role of Soil Seed Banks in the Rehabilitation of Degraded Hillslopes in Southern Wello, Ethiopia. *BIOTROPICA*, 32(1), 23-32. Recuperado a partir de <http://www.jstor.org/stable/2663807>

- Thompson, K. (1987). Seeds and seed banks. *New Phytologist*, 106(1), 23-34. Recuperado a partir de <http://www.jstor.org/bdatos.usantotomas.edu.co:2048/stable/pdf/2433008.pdf>
- Thompson, K., Band, S. R., & Hodgson, J. G. (1993). Seed size and shape predict persistence in soil. *Functional Ecology*, 7, 236-241. Recuperado a partir de http://www.britishecologicalsociety.org/100papers/100_Ecological_Papers/100_Influential_Papers_023.pdf
- Vargas, O. (2011a). Los pasos fundamentales en la restauración ecológica. En *la restauración Ecológica en la Práctica: Memorias del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica* (pp. 19-39).
- Vargas, O. (2011b). *Restauracion ecológica: biodiversidad y conservación*. *Acta Biológica Colombiana* (Vol. 16). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología. Recuperado a partir de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/19280>
- Vargas, O., & Reyes, S. P. (2011). La restauración ecológica en la práctica: En *Memorias del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica y II Simposio Nacional de Experiencias en Restauración Ecológica*. Recuperado a partir de http://www.ciencias.unal.edu.co/unciencias/data-file/user_46/file/Memorias-Congreso-Restauracion.pdf
- Velosa, R. (2016). Estado Sucesional de bosques Secundarios y pastizales de piedemonte Llanero, de la ciudad de Villavicencio, universidad Santo Tomás, campus Loma Linda.

Anexos

Anexo 1. Abundancias de las especies de plántulas encontradas, en los 14 transectos estudiados

Tabla 7. Abundancias de especies de plántulas registradas para todos los transectos.

Morfoespecie	FRAGMENTOS PEQUEÑOS (I)						FRAGMENTOS MEDIANOS (II)				FRAGMENTOS GRANDES (III)			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<i>Alchornea megaphylla</i>	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
<i>Monstera adansonii</i>	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Trattinnickia aspera</i>	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tapirira guianensis</i>	2	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Entelrobium schomburgkii</i>	0	0	0	0	0	0	2	0	4	0	0	0	0	0
<i>Sida rhombifolia</i>	18	24	13	20	11	8	9	19	6	22	25	5	5	15
<i>Phyllanthus attenuatus</i>	32	22	10	27	11	16	17	13	12	48	7	10	10	3
<i>Alchornea tripevia</i>	3	2	2	0	0	0	1	0	1	0	1	2	2	0
<i>Byrsonima crispa</i>	0	3	3	1	0	0	0	0	1	0	2	2	1	0
<i>Alchorneosis floriunda</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
<i>Senna macrophylla</i>	0	0	0	0	7	6	0	2	1	2	0	0	0	0
<i>Senna silvestris</i>	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Scleria melaleuca</i>	22	10	11	2	17	1	5	4	1	8	7	0	1	1
<i>Jacaranda copaia</i>	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1
<i>Maprounea guianensis</i>	1	0	0	0	1	2	0	0	4	10	0	0	0	0
<i>Piptadenia colubrina</i>	0	1	0	0	3	4	3	0	6	3	0	0	0	2
<i>Indeterminada 1</i>	1	2	0	10	0	0	1	0	1	0	3	2	11	1
<i>Apuleia leiocarpa</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Cissampelos sp</i>	6	9	27	10	18	14	8	5	8	14	8	6	3	0
<i>Pera arborea</i>	0	4	0	5	1	2	2	6	1	6	0	3	3	0
<i>Solanum sp</i>	0	0	0	2	10	4	3	4	1	7	3	10	5	7
<i>Poaceae</i>	4	0	0	0	0	1	0	0	3	15	1	1	0	0
<i>Croton trinitatis</i>	46	18	4	32	6	21	23	19	19	36	15	12	5	21
<i>Alchornea discolor</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	2	0	0
<i>Indeterminada 2</i>	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sida sp</i>	9	0	4	0	5	6	11	2	0	8	1	0	4	3
<i>Tassadia aristata</i>	0	0	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Indeterminada 3</i>	1	0	0	0	0	3	0	0	1	0	1	0	2	4
Total	146	98	82	122	92	88	88	75	71	181	75	55	53	65

Anexo 2. Abundancias de las especies de plántulas distribuidas por distancias del borde al interior del bosque, en los 3 tipos de fragmento estudiados.

Tabla 8. Abundancias de especies de plántulas registradas para las distancias de los puntos de muestro

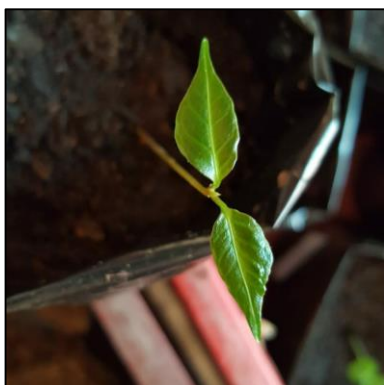
<i>Morfoespecie</i>	<i>FRAGMENTOS PEQUEÑOS (I)</i>						<i>FRAGMENTOS MEDIANOS (II)</i>						<i>FRAGMENTOS GRANDES (III)</i>					
	1 (0 m)	2 (2,5 m)	3 (5 m)	4 (10 m)	5 (20 m)	6 (40 m)	1 (0 m)	2 (2,5 m)	3 (5 m)	4 (10 m)	5 (20 m)	6 (40 m)	1 (0 m)	2 (2,5 m)	3 (5 m)	4 (10 m)	5 (20 m)	6 (40 m)
Alchornea megaphylla	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Monstera adansonii	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trattinnickia aspera	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tapirira guianensis	2	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Entelrobium schomburgkii	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Sida rhombifolia	25	27	13	6	7	16	21	4	14	5	7	5	5	21	8	7	5	4
Phyllanthus attenuatus	36	20	17	21	5	19	51	12	14	4	9	0	9	11	4	2	4	0
Alchornea tripinevia	1	0	2	0	2	2	1	0	0	1	0	0	1	0	2	1	0	1
Byrsonima crispa	0	1	2	0	4	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	3	1	0
Alchorneosis floriunda	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	1	0	0
Senna macrophylla	0	2	5	3	3	0	1	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Senna silvestris	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Scleria melaleuca	29	5	11	6	5	7	5	6	3	0	4	0	0	1	0	2	1	5

Jacaranda copaia	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	1	0
Maprounea guianensis	0	2	1	0	1	0	3	4	0	3	3	1	0	0	0	0	0	0
Piptadenia colubrina	3	0	2	0	1	2	1	1	7	2	1	0	1	1	0	0	0	0
Indefinida 1	4	2	1	5	0	1	0	1	0	0	1	0	6	2	3	1	4	1
Apuleia leiocarpa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Cissampelos sp	17	24	10	10	10	13	6	13	1	1	8	6	1	8	6	0	2	0
Pera arborea	1	1	2	4	3	1	2	7	4	0	2	0	2	4	0	0	0	0
Solanum sp	0	0	4	0	5	7	4	1	0	5	5	0	3	3	1	1	8	9
Poaceae	0	1	4	0	0	0	15	0	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0
Croton trinitatis	27	24	24	28	20	4	4	15	13	10	30	25	8	3	8	5	28	1
Alchornea discolor	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1
Indefinida 2	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sida sp	2	3	11	1	0	7	5	2	11	0	3	0	0	2	0	3	0	3
Tassadia aristata	0	0	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indefinida 3	3	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	0	0	4
total	152	112	112	96	70	86	119	72	74	35	74	41	44	60	34	26	55	29

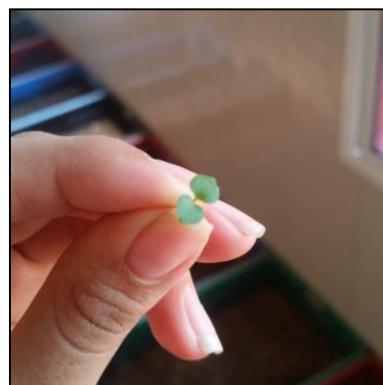
Anexo 3. Fotografías de las plántulas emergentes del banco de semillas germinable en la RFP Vanguardia.



1. *Alchornea megaphylla*



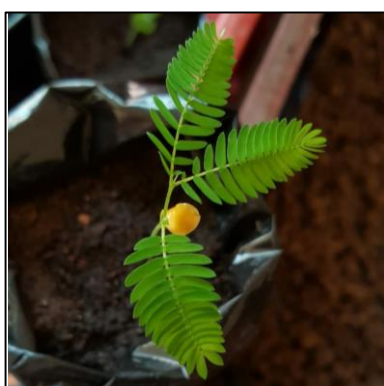
2. *Tapirira guianensis*



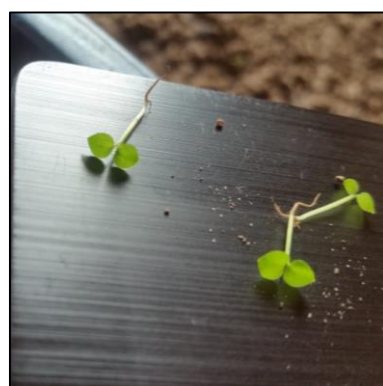
3. *Sida* sp



4. *Monstera adansonii*



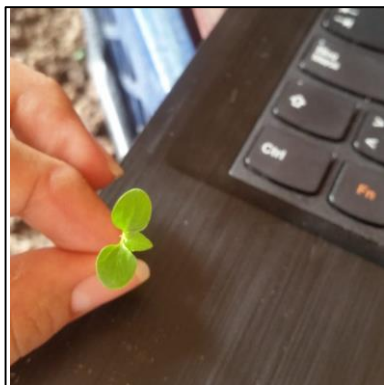
5. *Entelobium schomburgkii*



6. *Phyllanthus attenuatus*



7. *Trattinnickia aspera*



8. *Sida rhombifolia*



9. *Alchornea tripevia*



10. *Alchorneosis floriunda*



11. *Maprounea guianensis*



12. *Jacaranda copaia*



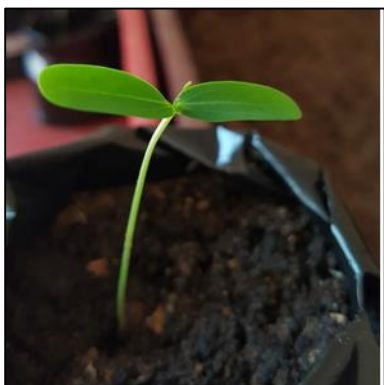
13. *Senna macrophylla*



14. *Byrsonima crista*



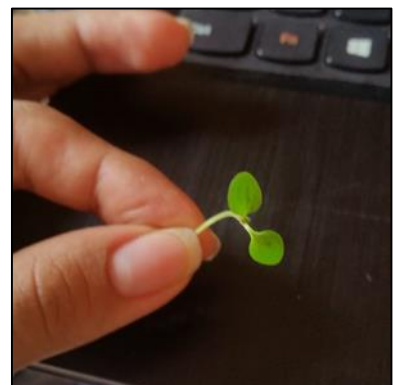
15. *Piptadenia colubrina*



16. *Senna silvestris*



17. *Apuleia leiocarpa*



18. *Cissampelos sp*



19. *Scleria melaleuca*



20. *Poaceae*



21. *Tassadia aristata*



22. *Pera arborea*



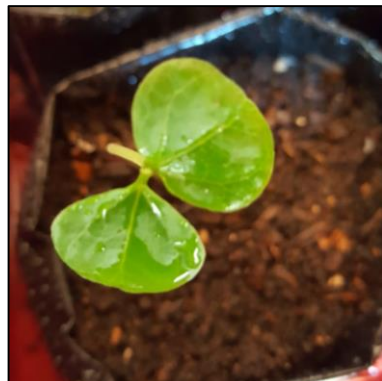
23. *Croton trinitatis*



24. *Indeterminada 2*



25. *Solanum sp*



26. *Alchornea discolor*



27. *Indeterminada 1*