

NOMBRE DEL PROYECTO: EFECTOS DE LA FRAGMENTACIÓN SOBRE LA COMPOSICIÓN Y DIVERSIDAD DEL BANCO DE SEMILLAS GERMINABLES EN ÁREAS DE PIEDEMONTES VECINAS A LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO, META.

MODALIDAD DE PARTICIPACION EN CONVOCATORIA: Proyectos independientes de grupos de investigación en el marco de líneas activas y protocolizadas de investigación.

INVESTIGADOR PRINCIPAL: Rodrigo Isaac Velosa Caicedo. Biólogo, M.Sc. Vida Silvestre. Docente Tiempo Completo adscrito a la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás Sede Villavicencio en la actualidad. Docente Hora Cátedra adscrito al Programa de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ciencias Agrarias y Medio Ambientales de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña –UFPSO, durante un periodo de 4 años. Docente – Investigador Tiempo Completo adscrito al programa académico de Ecología de la Fundación Universitaria de Popayán, Cauca, durante un periodo de 20 años. Funcionario en provisionalidad, planta global de Parques Nacionales Naturales del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, durante un periodo de 2 años. Prestación de servicios profesionales y de apoyo a la gestión para orientar técnicamente y coordinar el desarrollo de actividades relacionadas con planificación del manejo, investigación y monitoreo en áreas protegidas de Parques Nacionales Naturales (Área Natural Única los Estoraques, Parque Nacional Natural Pisba, Parque Nacional Natural Farallones de Cali), durante un periodo de 13 años. Direccionamiento técnico, acompañamiento y documentación de la estrategia de investigación, portafolio de proyectos de investigación, programa de monitoreo con batería de indicadores, y evaluación de la efectividad del manejo para áreas protegidas de Parques Nacionales Naturales adscritas a la Dirección Territorial NorAndina, por un periodo de 1 año. Creación del Centro de Estudios e Investigaciones –CEIN de la Fundación Universitaria de Popayán en 1996. Creación del Jardín Botánico de la Fundación Universitaria de Popayán en 1997.

COINVESTIGADOR: Cesar Riveros. Ingeniero Agrónomo, Tesista de MagisterScience Agroforestería Tropical, UDCA. Experiencia profesional en Investigación socio-económica y planificación de territorio; investigación agropecuaria y agroforestal con énfasis en suelo, nutrición vegetal, fisiología vegetal; establecimiento y manejo de plantaciones forestales, caucho, palma y producción ganadera. A partir de agosto del 2016 hace parte del equipo docente como profesor tiempo completo.

ESTUDIANTES SEMILLEROS: María Camila Rodríguez, Carlos Andrés Pérez, Johanna Sabogal, adscritos al semillero GECOA de la Facultad de Ingeniería Ambiental.

RESUMEN:

La expansión urbana en áreas de piedemonte llanero vecinas a la ciudad de Villavicencio, M. ha contribuido a la conformación de una matriz de paisaje fragmentada en la que se encuentran dispersas viviendas, vías, remanentes de bosques secundarios, áreas de pastizal y algunas canteras. Este estudio pretende evaluar el efecto del área de los fragmentos y de algunas características del paisaje adicionales (de configuración espacial y continuidad) sobre la abundancia, composición y diversidad del banco de semillas germinable en suelo –BSG. Se realizarán muestreos en fragmentos de bosque secundario de diferente tamaño (2, 4, 11, 41 y 138 ha) localizados dentro del cinturón verde del municipio de Villavicencio. Las muestras de suelo (50 muestras por tratamiento) serán empacadas y transportadas a vivero, donde se realizará un monitoreo de la emergencia de plántulas durante un periodo de 5 meses. Se realizará una comparación entre los 5 tratamientos (fragmentos) de la abundancia de plántulas emergentes, composición florística, riqueza y diversidad de especies que conforman el banco de semillas y de su relación con algunas características del paisaje (área núcleo efectiva, relación perímetro/área, distancia al vecino más cercano), utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, el test de Mann – Whitney, el índice de diversidad alfa de Fisher y la técnica multivariada de ordenación denominada Escalamiento Multidimensional No Métrico –NMDS. Se evaluará el efecto de la fragmentación y de las características del paisaje medidas sobre la composición de especies, abundancia y diversidad del BSG en 15 sitios experimentales y se discutirá su influencia en la conformación del potencial de resiliencia y regeneración natural de las áreas de piedemonte del cinturón verde de Villavicencio, en el contexto de una alta presión urbanística en estas áreas.

I. INFORME DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA:

Con el propósito de identificar las tendencias en el ámbito científico relacionado con la publicación de artículos en el campo de la fragmentación y sus efectos en el banco de semillas germinable en suelos, se realizó un ejercicio de vigilancia tecnológica (Tabla 1). Este ejercicio consistió en la determinación de indicadores cuantitativos de la producción científica en el tema (“seedbank”, fragmentation), empleando las bases de datos de Scopus (Elsevier, B.V. 2016), Scientist Direct (Elsevier, B.V. 2016) y páginas de internet relacionadas con el tema.

Tabla 1. Ficha técnica del ejercicio de vigilancia tecnológica

Facultad	Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, Villavicencio
Objeto	Presentar los indicadores bibliométricos de actividad científica (artículos) relacionados con el tema de fragmentación y bancos de semillas en suelos, durante el periodo de consulta 2000–2017
Tema	Planificación y manejo de jardines botánicos y su rol en la conservación de la biodiversidad
Factor crítico	Avances en la investigación científica (artículos) relacionada con fragmentación y bancos de semillas germinable en suelos
Palabras clave	“seed bank”, “fragmentation”
Periodo de consulta	2000 a 2017
Herramientas de consulta	Bases de datos bibliográficas: - Scopus (Elsevier, B.V. 2017) - Scientist Direct - Páginas de internet relacionadas con el tema
Responsable	Rodrigo Isaac Velosa Caicedo

Teniendo en cuenta las palabras clave propuestas para la realización de este ejercicio de vigilancia tecnológica, se estructuró la siguiente ecuación de búsqueda en la base de datos de Scopus:

(TITLE-ABS-KEY ("seed bank") AND TITLE-ABS-KEY ("fragmentation"))

Se obtuvieron 120 registros que corresponden a artículos científicos relacionados con el tema.

En la Figura 1 se registra la variación anual en la producción de artículos científicos relacionados con el tema de estudio durante el periodo 2000 – 2017.



Figura 1. Variación de la producción científica relacionada con el tema de efecto de la fragmentación sobre el banco de semillas durante el periodo 2000 – 2017. En el número de publicaciones relacionadas con el tema durante el periodo, el año con mayor actividad fue el 2011 con 12 publicaciones. De ahí en adelante se presenta un decrecimiento.

En cuanto a la distribución de los artículos científicos por área de conocimiento (Figura 2), se observa que los mayores números tienen aplicación en Ciencias Biológicas y Agrícolas (87), y en Ciencias Ambientales (70), con números bajos en otras disciplinas del conocimiento (bioquímica y genética molecular, inmunología y microbiología, ciencias sociales, medicina, etc).

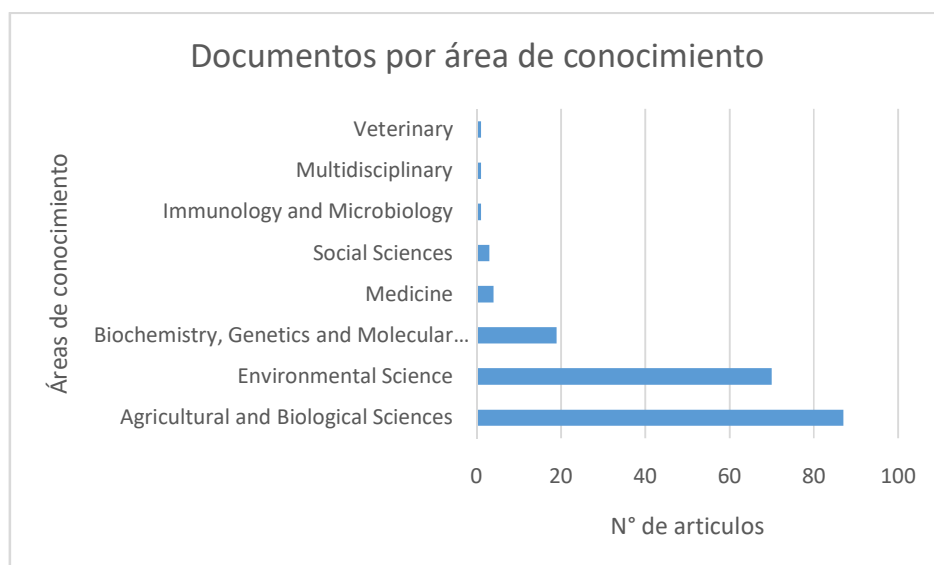


Figura 2. Distribución de artículos según las áreas de conocimiento relacionadas con el tema efectos de la fragmentación sobre el banco de semillas (cálculos basados en información de Scopus (Elsevier 2017), fecha de consulta 02/05/2017).

En la Figura 3 se ilustra las principales revistas científicas (top 10) en las que se encuentra el mayor número de publicaciones relacionadas con el tema de estudio, a saber: BiologicalConservation (8), PlantEcology (6), Biotropica (5), Forest Ecology And Management (5), AppliedVegetationScience (4)entre otras.

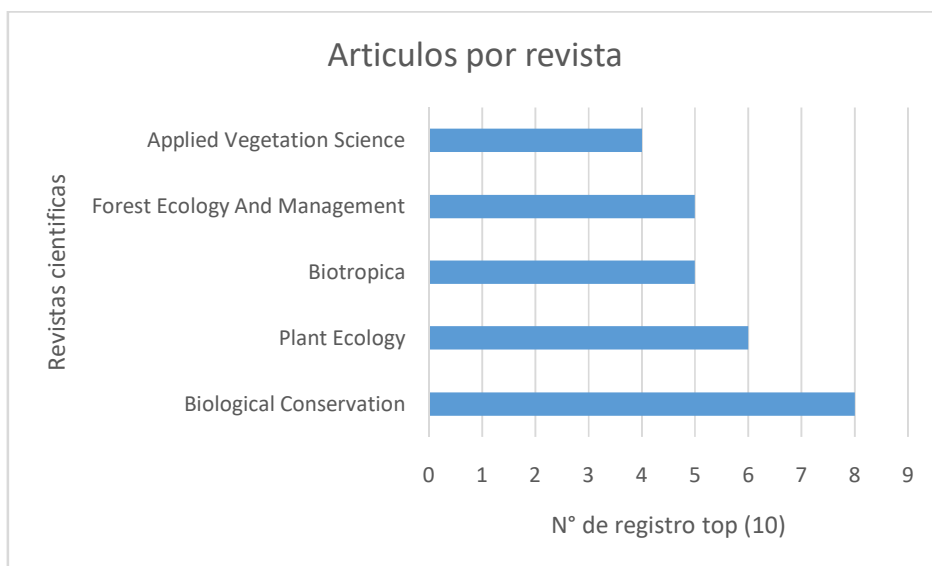


Figura 3. Distribución del número de artículos científicos según las revistas donde aparecen publicados, relacionadas con el tema de Efecto de la fragmentación sobre el banco de semillas. (cálculos basados en información de Scopus (Elsevier 2017), fecha de consulta 02/05/2017).

En la Tabla 2 se consignan los datos más importantes de las principales revistas relacionadas con el tema de estudio. De acuerdo con el impacto relativo calculado con el indicador SCImagoJournal Rank desarrollado por SCImagoLab con base en las publicaciones indexadas en Scopus, las revistas incluidas en la Tabla 1 pertenecen a los cuartiles Q1, Q2 y Q3 en las temáticas relacionadas con Ecología, Evolución, Comportamiento y Sistemática; Naturaleza y Conservación del Paisaje, y Ciencia de las Plantas.

Tabla 1. Clasificación de las 5 principales revistas relacionadas con el tema de planificación y manejo de jardines botánicos, de acuerdo con el indicador SCImagoJournalRank. (<http://www.scimagojr.com/journalsearch.php>).

Título	ISSN	Editor	Cuartil (SJR, 2015)			
			Q1	Q2	Q3	Q4
KewBulletin	00755974	Springer London			Ecology, Evolution. Behavior and Systematics. Plant Science	
Plant Ecology and Evolution	20323913, 20323921	Societe Royale de Botanique de Belgique		PlantScience		

Biodiversity and Conservation	15729710,09603115	Springer Netherlands	Ecology, Evolution. Behavior and Systematics. Nature and Landscape Conservation			
Edinburgh Journal of Botany	14740036,09604286	Cambridge University Press			Ecology, Evolution. Behavior and Systematics. Plant Science	
Telopea	03129764,22004025	Royal Botanic Gardens			Ecology, Evolution. Behavior and Systematics. Plant Science	

La distribución de las publicaciones relacionadas con el tema de estudio, discriminada por países, se ilustra en la Figura 4. De acuerdo con esta figura, la mayor actividad productiva se registra en Estados Unidos con 19 publicaciones, seguido por Australia con 16 artículos y Alemania y Suecia con 14 y 12 respectivamente. Nótese que el único país latinoamericano dentro del top 10, es Brasil con 11 registros (artículos).

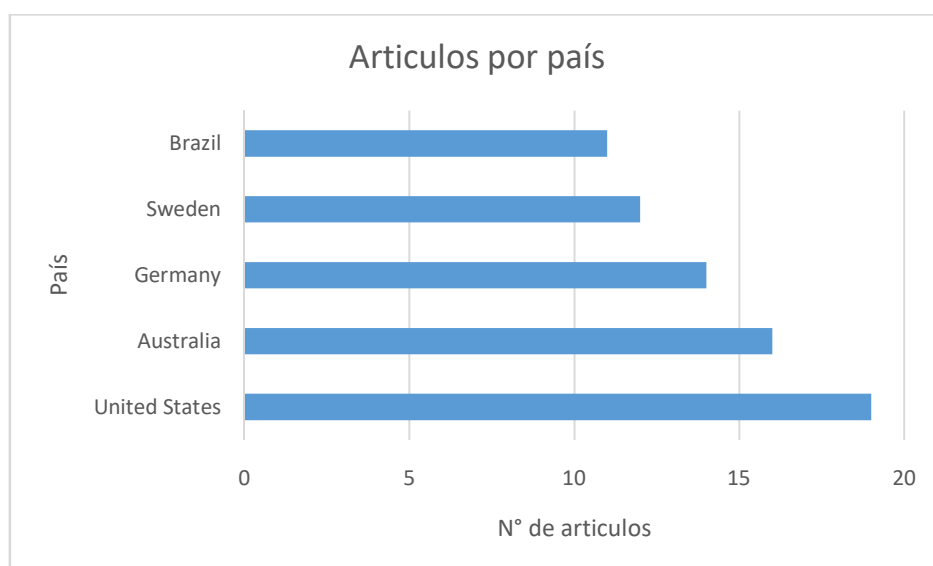


Figura 4. Distribución de artículos científicos relacionados con el tema de efecto de la fragmentación sobre el banco de semillas, discriminado por países a nivel mundial (Top 10). (Cálculos basados en información de Scopus (Elsevier 2017), fecha de consulta 02/05/2017).

Dentro de las instituciones, universidades y centros de investigación, relacionadas con el tema, las más importantes de acuerdo al número de publicaciones, se encuentran las siguientes (Figura 5): Universidad de Estocolmo con 7 publicaciones, Academia China de Ciencias con 5, Universidad Católica de Lovaina (Bélgica), Universidad de Ciencias Agrícolas de Suecia, Universidad de Rastibona (Alemania), con 4 publicaciones cada una.

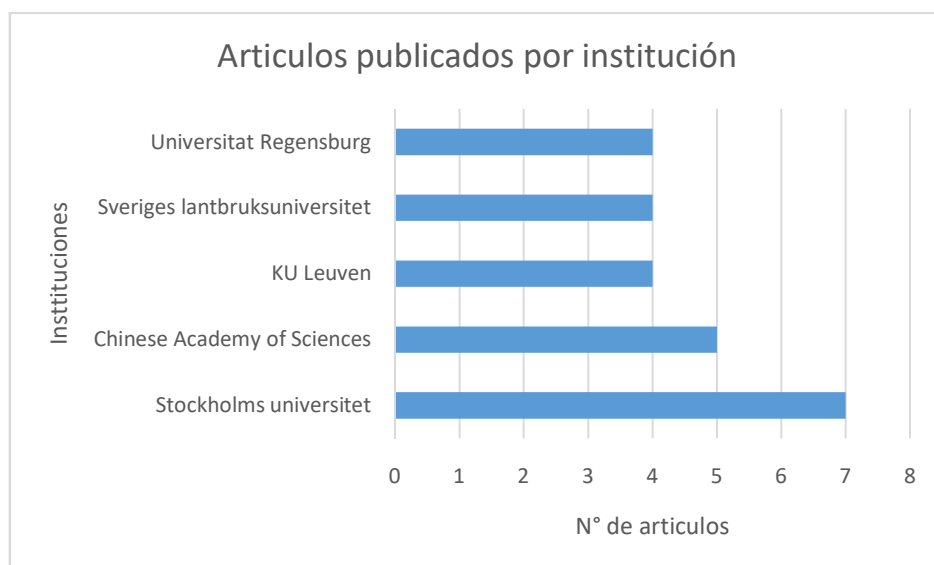


Figura 5. Distribución del número de artículos publicados por instituciones, universidades (Top 10), según el tema "efecto de la fragmentación sobre el banco de semillas". (Cálculos basados en información de Scopus (Elsevier 2017), fecha de consulta 02/05/2017).

En la Figura 6 se ilustran los principales investigadores a nivel mundial relacionados con el tema de estudio, a saber (Scopus, 2017):

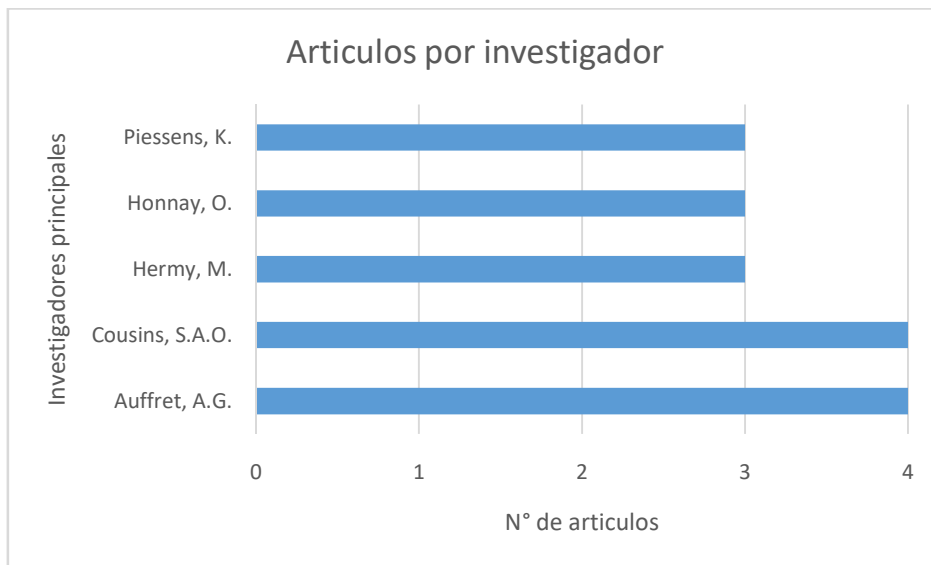


Figura 6. Principales autores relacionados con investigaciones en el tema de efecto de la fragmentación sobre el banco de semillas. (Cálculos basados en información de Scopus (Elsevier 2017), fecha de consulta 02/05/2017).

II. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

La deforestación, producto principalmente de la expansión urbana, la ganadería extensiva y la agricultura, constituye una de las principales causas de la fragmentación de los ecosistemas (Santo – Silva, Tabarelli y Peres, 2016., Scariot, 1999). Diversos autores han establecido que la fragmentación modifica las condiciones microclimáticas en el área de transición de dos ecosistemas contrastantes (efecto del borde), lo que a su vez genera cambios físicos y ecológicos en la vegetación, asociados entre otros con la alteración de patrones demográficos que incluyen la mortalidad de árboles y la interferencia en la capacidad de dispersión de algunas especies (Laurance, et al, 2011., Page, Baxter y Lisle, 2006). Se conoce también que por el denominado “efecto de borde”, se presentan cambios a nivel de la composición y diversidad florística en las zonas de contacto o ecotonía, facilitándose al mismo tiempo el arribo de especies secundarias y de aquellas con potencial invasor a estas áreas (Santo – Silva, Almeida, Melo, Zickel y Tabarelli, 2013., Laurance, et al., 2006., Scariot, 2001).

De otra parte, los cambios ecológicos asociados a la fragmentación están en directa relación con el tamaño de los fragmentos o remanentes de vegetación natural en matrices paisajísticas de alteración (Laurance y Vasconcellos, 2009., Benítez-Malvido y Martínez-Ramos, 2003a). Diversos estudios han documentado la influencia del tamaño del fragmento o del parche sobre la composición y diversidad de algunos grupos florísticos y faunísticos (aves, primates, insectos entre otros); a menor tamaño del parche, mayor efecto sobre la composición (mortalidad de adultos) y diversidad (disminución o pérdida de la riqueza de

especies) (Laurence, et al., 2006). Los efectos de borde como fuerza dominante en la dinámica de la fragmentación, afectan altamente el microclima, la mortalidad de árboles, el almacenamiento de carbono, la diversidad de la fauna y otros aspectos (Faveri, Vasconcellos y Dirzo, 2008., Jorge, 2008., Ferraz, et al, 2007., Cramer, Mesquita, Bentos, Moser, y Williamson, 2007a., Cramer, Mesquita, y Williamson, 2007b., Barlow, Peres, Henriques, Stouffer, y Wunderle, 2006., Benitez-Malvido y Martínez-Ramos, 2003b., Andresen, 2003., Laurance, et al, 2002., Gilbert y Setz, 2001., Carvalho y Vasconcellos, 1999., Dalling, Swaine y Garwood, 1998., Benitez-Malvido, 1998., Didham, Lawton, Hammond, y Eggleton, 1998b., Brown y Hutchings, 1997., Camargo y Kapos, 1995., Dalling, Swaine, y Garwood, 1994).

Adicionalmente, algunos estudios han establecido una relación entre la intensidad de los efectos de borde y algunas características del paisaje relacionadas con el tamaño de los fragmentos, la edad de los mismos y aspectos de la matriz de vegetación que engloba los fragmentos (Laurance, et al. 2011). En una investigación de 32 años en la Amazonía Central, Laurance et al. (2011) postula que los efectos de la fragmentación interactúan sinérgicamente con diferentes amenazas antrópicas, tales como deforestación, incendios, cacería etc, y que ciertas prácticas de uso de la tierra pueden direccionar los ecosistemas fragmentados hacia rumbos diferentes. Por consiguiente las características de la matriz paisajística en la que se engloban los fragmentos bajo condiciones de uso específicas del territorio, son determinantes para el establecimiento de los efectos de la fragmentación sobre la biodiversidad local.

Todos estos cambios ecológicos promovidos por la deforestación y la fragmentación, pueden afectar el potencial de regeneración de un área a través del banco de semillas (Cardona, 2007). El banco de semillas en el suelo es una fuente importante de regeneración de los ecosistemas, especialmente de especies secundarias y pioneras, las cuales tienden a conformar bancos de semillas persistentes (Dalling y Denslow, 1998). Sin embargo, pocos estudios han documentado el efecto de la fragmentación y de la matriz paisajística que engloba los fragmentos sobre el banco de semillas germinable en suelos (Sousa et al., 2017., Valenta, Steffens, Rafaliarison, Chapman, y Lehman, 2015., Martinsy Engel, 2007., Acosta, 2004) y ningún estudio sobre esta relación ha sido realizado en áreas de piedemonte llanero.

Los fenómenos de expansión urbana y crecimiento de la población en la ciudad de Villavicencio y en sus áreas vecinas ubicadas en zonas de piedemonte llanero están ocasionando pérdidas importantes de cobertura vegetal, aún no suficientemente cuantificadas. Como consecuencia de la expansión urbana en asocio con una topografía con fuertes pendientes que imponen serias restricciones a los usos agrícolas, ganaderos y de la misma expansión urbana (Corpes de la Orinoquía, 1997), se ha generado una matriz paisajística de intervención con

fragmentos de diferente tamaño, algunos de los cuales están completamente aislados unos de otros.

La matriz paisajística de estudio forma parte del denominado cinturón verde de Villavicencio, cuyo uso del suelo está destinado a ser forestal protector (POT de Villavicencio, 2000). Este cinturón verde conforma un corredor ecológico de alta importancia para la ciudad y a través de él se establecen “franjas de suelo dispuestas transversalmente al área urbana municipal cuyo propósito es restituir los flujos naturales de materia y energía, así como brindar condiciones benéficas para la sostenibilidad de la capacidad de autorregulación hídrica, la preservación y el repoblamiento de la vida silvestre vegetal y/o animal” (POT Villavicencio, 2000). Adicionalmente estas áreas pretenden funcionar como amortiguadores que retienen la alta presión urbanística sobre las áreas de piedemonte del municipio de Villavicencio (POT Villavicencio 2015, POT Villavicencio 2000).

En la actualidad dado que los usos del suelo en el Cinturón Verde están restringidos a usos de protección, es de suponer el cese de las actividades de expansión urbana, de extracción comercial de madera y de quemas entre otros; sin embargo el establecimiento de zonas de invasión en las áreas de cinturón y la presión urbanística legal aún continúa en la actualidad, lo cual presupone un reto para la conservación y restauración ecológica de estas áreas.

Es factible suponer que la abundancia y diversidad de las fuentes de propágulos, incluyendo el banco de semillas, sea afectada por el grado de fragmentación de estas áreas de cinturón verde; esta afectación puede ser producto de la modificación de las condiciones del suelo a causa de la remoción de la capa vegetal y de la acción de compactación del suelo producto de la presión urbanística (Acosta y Vargas, 2007). Después de un periodo de tiempo en el que se producen disturbios frecuentes, el banco de semillas puede disminuir en su abundancia y riqueza de especies, convirtiéndose de esta manera en una fuerte limitante para el proceso de regeneración natural (Cardona, 2004a., Cardona y Vargas, 2004b) y por consiguiente del proceso de recuperación de estas áreas.

El banco de semillas en zonas muy alteradas por la influencia de la presión urbanística podría estar compuesto por especies herbáceas exóticas y especies ruderales con semillas de larga vida que se ven favorecidas al reducirse la cobertura de los bosques (Cárdenas, Posada y Vargas, 2002). Adicionalmente y dependiendo del grado de alteración, la densidad de especies arbóreas y arbustivas del ecosistema original podría ser baja y las pocas semillas que logren ser dispersadas pueden tener corta viabilidad y no permanecer en el banco de semillas por mucho tiempo (Cubiña, y Aide, 2001) De otro lado y dado que las zonas de influencia urbana pueden ser dominadas por gramíneas y especies herbáceas resistentes a la compactación, quema y pastoreo, estas pueden inhibir la germinación y establecimiento de especies de mayor porte, dando como

resultado una lenta recuperación y una baja diversidad del bosque secundario (Acosta, 2004).

De esta manera, la dominancia de unas pocas especies del ecosistema original en el banco de semillas en zonas de influencia urbana, podría también afectar la recuperación de la vegetación y la dinámica del bosque en el largo plazo (Dupuy y Chazdon, 1998). Las semillas que lleguen por dispersión a una zona con baja cobertura vegetal, pueden perder su viabilidad rápidamente, impidiendo la conformación de un banco de semilla persistente y afectando el surgimiento de plántulas de especies arbóreas o arbustivas, lo cual se convertiría en un problema para su recuperación (Cubiña y Aide, 2001).

La transformación del paisaje también afecta el comportamiento de los agentes dispersores (aves y murciélagos principalmente), ya que como consecuencia de la reducción de la vegetación se disminuyen las interacciones entre el dispersor y las plantas (Dalling, Swaine y Gardwood, 1998). La ausencia de la dispersión por animales (zoochoria) puede disminuir la presencia de semillas de este tipo de plantas en el banco de semillas, limitando la regeneración del bosque y pudiendo causar la extinción local tanto de los organismos involucrados en la interacción como de otros que se puedan beneficiar indirectamente de la misma (Velasco-Linares, 2007).

Dado que la entrada de semillas al suelo está determinada en gran parte por la lluvia de semillas disponible y la dispersión, estos factores pueden determinar la trayectoria o rumbo de la sucesión y por lo tanto la capacidad de autoregeneración del ecosistema (Alvarez-Aquino et al., 2015., Díaz-Martin, 2004).

Por los motivos mencionados es importante conocer la relación que existe entre el banco de semillas y las características de homeogeneidad/heterogeneidad de la matriz paisajística, para entender los cambios en la composición de la comunidad vegetal con respecto a la perturbación, la sucesión y las acciones de restauración a desarrollar (Nascimento, et al., 2006).

La intención del presente estudio es la de evaluar el efecto del tamaño del fragmento y de otras características del paisaje (de continuidad y configuración espacial) sobre la composición y diversidad del banco de semillas germinable. Se plantea la hipótesis que los cambios en el banco de semillas son dependientes principalmente del tamaño de los fragmentos, ya que a menor tamaño del fragmento se incrementa el efecto de borde, lo que a su vez, en condiciones de aislamiento entre fragmentos, podría generar (dado los cambios en las condiciones microclimáticas) un cambio drástico en la composición y diversidad del BSG.

Dada la importancia del banco de semillas germinable -BSG y su papel preponderante en el surgimiento de la vegetación, se plantea la siguiente pregunta

de investigación: ¿Cómo varían las características del banco de semillas germinable de acuerdo al tamaño de los fragmentos de bosque secundario y a las características de continuidad (distancia al fragmento vecino más cercano) y configuración espacial (área núcleo efectiva y relación perímetro/área) asociadas a los mismos, en áreas de piedemonte llanero cercanas al municipio de Villavicencio que forman parte del cinturón verde de la ciudad, durante un periodo de 1 año?.

III. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECIFICOS

Objetivo General

Determinar la variación en la composición y diversidad del banco de semillas germinable en fragmentos de diferentes tamaños y su relación con algunas características del paisaje (de configuración y continuidad espacial), mediante la colecta de muestras de suelo, y germinación en vivero, como insumo para el diseño de estrategias de restauración de áreas alteradas de piedemonte llanero en el cinturón verde del municipio de Villavicencio.

Objetivos específicos

- Comparar la variación en la composición, estructura y diversidad del BSG en fragmentos de diferente tamaño de una matriz paisajística intervenida, mediante el conteo de plántulas germinadas y el uso de índices matemáticos para establecer la diversidad.
- Relacionar la abundancia de las especies que conforman el BSG con algunas métricas a escala de paisaje (área núcleo efectiva, relación perímetro/área, distancia al vecino más cercano), por medio del uso de técnicas multivariadas de clasificación y ordenación, para determinar la influencia de estas variables sobre el BSG.
- Identificar el tipo y la cantidad de especies de plantas para la conformación de núcleos de restauración activa y/o pasiva de acuerdo a la abundancia de las mismas en el BSG

IV. JUSTIFICACION

La fragmentación de los ecosistemas trae como consecuencia la conformación de una matriz espacial de parches, relictos o fragmentos de bosque secundario que, si se aíslan de manera parcial o completa, dificultan la conectividad biológica, con la consecuente disminución o pérdida de biodiversidad y de cambios en la composición y abundancia de las especies (Benítez-MalvidoyMartínez-Ramos, 2003b). El área de estudio corresponde a una matriz paisajística fragmentada en área de cinturón verde de piedemonte llanero, afectada principalmente por la expansión urbana del municipio de Villavicencio y la consecuente deforestación y

cambios en el uso del suelo. El conocimiento del papel del banco de semillas en la regeneración de estas áreas es fundamental no solo para evaluar la vulnerabilidad de estas áreas sino también para el diseño de estrategias de conservación / restauración y mantenimiento de la biodiversidad de las mismas.

Es factible suponer que después de disturbios frecuentes en un área, se presenten cambios en las fuentes de propágulos, incluyendo el banco de semillas del suelo, que pueden conducir a una disminución en la composición, abundancia y riqueza del mismo, convirtiéndose de esta manera en una limitante para el proceso de regeneración natural del ecosistema (Cardona, 2007).

Por lo tanto el conocimiento de los factores que determinan el surgimiento de la vegetación en forma natural en áreas de piedemonte cercanas a Villavicencio, puede permitir y direccionar los esfuerzos de conservación y de restauración necesarios para estas áreas, de común acuerdo con lo establecido en los planes de desarrollo del municipio de Villavicencio 2010 y 2015. Entre las opciones de trabajo con que se cuenta para ayudar a los procesos de recuperación de áreas de bosque secundario fragmentadas, es la posibilidad de la regeneración de los remanentes bióticos y de los bancos de semillas del suelo (Fenner, 1995). Este último es considerado un facilitador en el mantenimiento y/o recuperación de la vegetación, principalmente por su aporte de especies pioneras o facilitadoras, que juegan un papel importante en la colonización de hábitats perturbados (Dalling, Swaine y Gardwood, 1998).

El estudio del BSG ayuda a entender la dinámica de la sucesión ecológica y del potencial de regeneración de un ecosistema, ya que a partir de su caracterización es posible evaluar aspectos como la disponibilidad de propágulos de especies nativas en el suelo, la diversidad de especies con estrategias reproductivas que faciliten la recuperación, y la influencia de barreras bióticas para la restauración ecológica (Cardona, 2007). Lo anterior constituye parte de la primera fase propuesta por algunos autores para la implementación de proyectos de restauración en áreas vulnerables y de importancia ecológica (Vargas y Mora, 2007).

Partiendo del supuesto que los cambios en el banco de semillas germinable son dependientes del tamaño de los fragmentos, los estudios de este tipo permiten argumentar sobre la proporción en la cual el efecto de borde puede afectar la biodiversidad local de un sitio. Un mayor efecto de borde a medida que el tamaño de los fragmentos disminuye, implica una disminución de la humedad del suelo, unos mayores niveles de luminosidad y una menor distancia de dispersión a partir de la matriz en la que están embebidos los fragmentos; estas condiciones pueden ocasionar una disminución o pérdida de la riqueza de especies nativas y un incremento en la probabilidad de colonización por especies nativas oportunistas o por especies invasoras exóticas provenientes de zonas vecinas, que afectarían la

regeneración natural. La documentación de este tipo de predicciones es fundamental para entender el rol de los bancos de semilla en la regeneración de ecosistemas de piedemonte en el contexto de una presión urbanística creciente asociada a cambios en el uso del suelo en zonas de protección.

V. MARCO TEORICO

Los bancos de semilla enterrados en el suelo constituyen una fuente de propágulos de importancia para la regeneración de ecosistemas fragmentados, dado su aporte especialmente de especies colonizadoras o pioneras que aparecen en las primeras fases de un proceso sucesional (Plue y Cousins, 2013., Dalling, 2002). La conformación de los bancos de semillas depende del éxito de la dispersión de semillas y de las condiciones del terreno a escala local o de parcela y a escala de paisaje (Glenn-LewinyVan derMaarel, 1992). Garwood (1989) y Dalling (2002) aseguran que el grado y tipo de perturbación del suelo y los patrones de uso en áreas adyacentes entre otros, son los factores que determinan los atributos del banco de semillas en un terreno determinado. De otra parte y debido a las características del suelo, las semillas se encuentran expuestas a una serie de factores fluctuantes que van a determinar su germinación influyendo de esta manera en la diversidad y composición (Montenegro, 2000). Factores como las propiedades fisiológicas de las semillas, pueden influenciar la germinación, la latencia y la viabilidad de las semillas; adicionalmente la mortalidad de semillas por predación animal, ataque de patógenos, la profundidad a la que se entierran, o la simple senescencia de las semillas, son factores que también afectan la composición y diversidad (Baskin y Baskin, 1989). De acuerdo con varios autores, el balance entre las ganancias y pérdidas de semillas que conforman el banco, es lo que determina la abundancia, composición y diversidad del mismo (Dalling et al., 1998; Thompson, 2000).

En general los estudios de caracterización y valoración del BSG, han incluido el desarrollo de dos fases metodológicas: Una primera fase en campo donde se colectan las muestras del suelo generalmente a diferentes profundidades, y una segunda fase en vivero donde se facilita la germinación de las semillas y la posterior determinación taxonómica de las plántulas que emergen (Cardona, 2007). Algunos autores han incluido un análisis de viabilidad de semillas por el método de emergencia de plántulas, con el objeto de identificar el número de semillas viables que pueden germinar, y de esta manera ganar información sobre aspectos fenológicos desconocidos de muchas especies de plantas nativas que conforman los bancos de semillas (Cardona, 2007).

En Colombia se han realizado estudios descriptivos enfocados en la caracterización de los BSG en diferentes tipos de ecosistemas naturales, seminaturales y altamente transformados, y su relación con algunas variables ambientales tales como factores meteorológicos, hidrológicos, características de la

vegetación en pie y del suelo, y frente a diferentes disturbios de diferente intensidad y frecuencia (Romero, Baquero y Beltrán, 2016., Calderón, Múnera y Ramos 2015., Acosta y Vargas, 2007., Cárdenas, Posada y Vargas, 2002). Por lo general tales estudios incluyen en primera instancia la identificación de la composición del BSG seguido de un análisis de las variaciones en la diversidad alfa y beta como indicadores del efecto sobre el banco de semillas de diferentes estadios de perturbación o disturbio antrópico. En un estudio realizado en el páramo de Chingaza, Cundinamarca, se evaluó el comportamiento del BSG frente a una situación de perturbación por pastoreo; este estudio reporta un incremento en la riqueza y diversidad del BSG en situaciones de disturbio intermedio por pastoreo, contrastando con una situación de disminución de las variables de riqueza y diversidad en áreas con pastoreo intensivo (Cárdenas, Posada y Vargas, 2002). Esta alta diversidad asociada a etapas con disturbios intermedios es explicada en términos de atributos de historia natural de las especies que conforman el banco de semillas relacionadas con formas de crecimiento eficientes (radicantes y estoloníferas), y con la capacidad de crecimiento en condiciones de estrés intermedio por efecto de la herbivoría y el pisoteo (Cárdenas, Posada y Vargas, 2002).

De otro lado algunos estudios realizados en ecosistemas altoandinos (Acosta, Vargas, 2007., Cardona, 2004^a., Cardona, 2004^b) donde hacen una caracterización y valoración del potencial de regeneración del banco de semillas, reportan que el BSG está compuesto principalmente por semillas persistentes y pseudopersistentes, y pocas de tipo transitorio. De acuerdo con Thompson et al. (1998), los lugares con presencia de disturbios antrópicos presentan bancos con tendencia a la persistencia temporal, lo cual permite mantener reservas de plántulas para todo el proceso sucesional, no solo en las fases tempranas sino también en las fases tardías. En otro estudio realizado en las selvas bajas del país, se comparó la composición, estructura y diversidad del BSG con las características del suelo y factores meteorológicos, en diferentes biotopos; este estudio demostró que la composición del BSG es afectada por las altas precipitaciones y la acidez del suelo, las cuales causan lixiviación de nutrientes y por ende baja fertilidad de los suelos, afectando directamente la diversidad del BSG (Calderón, Múnera, y Ramos, 2015).

Los estudios sobre el BSG en zonas de piedemonte y sabanas de los llanos orientales son muy escasos. En el 2008 se realizó un estudio de caracterización del BSG en sabanas inundables del municipio de Pore en el departamento del Casanare (Torrijos, Prieto y Suárez, 2011). Este estudio relaciona la composición del banco de semilla con el régimen climático y la composición de la vegetación en pie en 5 tipos distintivos de biotopos (borde de bosque, sabana antrópica, sabana nativa, bosque y rastrojo), reportándose una mayor riqueza en el borde del bosque y una mayor diversidad en el banco de semillas en época de lluvias bajas. De

acuerdo a la revisión bibliográfica, no se han realizado otros estudios de BSG en la Orinoquía colombiana.

Los estudios del impacto de la fragmentación se han concentrado al nivel de la biodiversidad ya establecida (árboles principalmente) o al nivel de plántulas emergentes (Santo – Silva et al., 2016., Carmo et al., 2011., Benítez – Malvido, 1998). Sin embargo, se han realizado pocos estudios sobre el efecto de la fragmentación sobre el BSG y sobre la influencia del tamaño de los fragmentos sobre la dinámica del banco (Sousa et al., 2017., Alvarez – Aquino et al., 2005, Valenta et al., 2015). En un estudio reciente en bosques amazónicos, Sousa et al., (2017) evaluaron el efecto de la fragmentación sobre el BSG; se reporta que la densidad de plántulas emergentes fue relacionada de manera inversa con el tamaño de los fragmentos (a menor tamaño, mayor densidad, y viceversa) y que la familia Melastomataceae fue la dominante en todos los fragmentos. Estos autores sugieren que el tamaño de los fragmentos afecta la composición y estructura del BSG en bosques amazónicos, influenciando de manera significativa el potencial de resiliencia y restauración de esos sitios en el contexto de disturbios naturales y antrópicos. Aunque este estudio reporta un incremento en la diversidad del banco de semillas en áreas fragmentadas en comparación con bosques primarios, la mayor parte de los estudios del efecto de la fragmentación a nivel de la biodiversidad local (incluyendo plántulas) indican una disminución de la misma de manera proporcional al tamaño de los fragmentos (Benítez-Malvido and Martínez-Ramos, 2003, Stratford and Stouffer, 1999).

Hasta el momento no se han realizado estudios en áreas de piedemonte llanero que evalúen el efecto del área de los fragmentos y de las características del paisaje sobre la densidad, diversidad y composición florística de las plántulas que emergen del banco de semillas en suelo a partir de fragmentos de diferente tamaño. Los estudios enfocados al establecimiento de esta relación, como el propuesto en este estudio, son importantes para el diseño de estrategias que soporten la restauración y mantenimiento de la biodiversidad local.

VI. MARCO METODOLOGICO

AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada en el costado noroccidental de la cordillera Oriental, en la zona de piedemonte cercana a la ciudad de Villavicencio.

Según la clasificación climática de Holdridge, el área de estudio está ubicada entre las zonas de vida Bosque muy húmedo tropical (Bmh-T) y Bosque pluvial premontano (Bp-PM) (POT municipio Villavicencio, 2000). Según la clasificación de Caldas –Lang , en el área se presenta un clima superhúmedo con un piso térmico cálido húmedo en la zona de mayor altitud y un clima cálido semihúmedo en la zona más baja (POT municipio Villavicencio, 2000). La precipitación promedio es

de 4.600 mm/año, con un régimen de distribución monomodal, donde el periodo de mayor lluvia corresponde a los meses de abril – julio y el de estiaje a los meses de diciembre – marzo (POT municipio Villavicencio). La mayor parte de los suelos se derivan de areniscas y arcillolitas, son bien drenados, superficiales, muy poco fértiles y limitados por pedregosidad superficial y dentro del perfil (Plan de Ordenamiento Ambiental del municipio de Villavicencio 2015).

El área de estudio incluye 5 sitios experimentales que consisten en bosques secundarios que han sido impactados de manera diferencial por presión urbanística y ganadera desde los años 80's y convertidos en fragmentos semiaislados unos de otros y con tamaños que varían desde 2 ha hasta bloques de más de 100 ha. La distribución y tamaño de los 5 fragmentos es la siguiente (Figura 1):

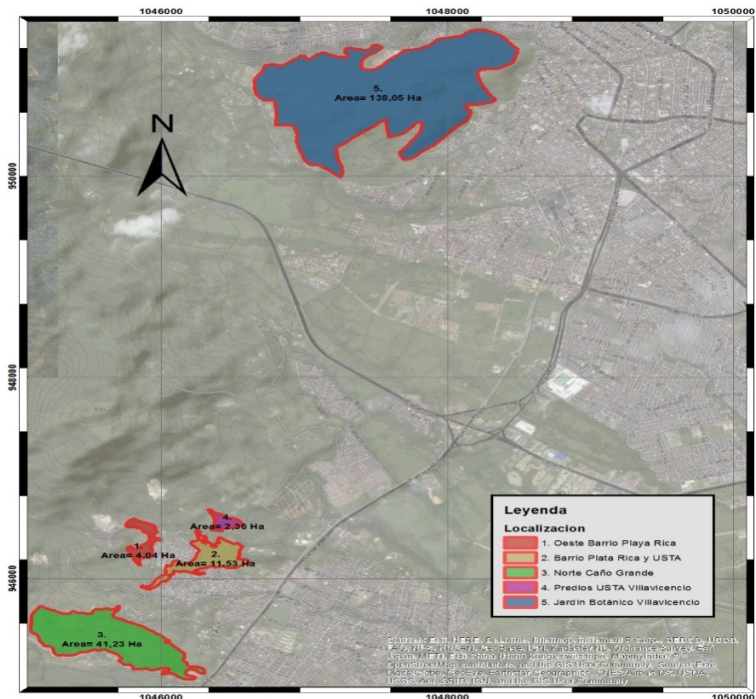


Figura 1. Mapa de distribución de los 5 sitios experimentales que forman parte del cinturón verde del municipio de Villavicencio. Se indica el tamaño (ha) de cada uno de los sitios.

1. Fragmento de 4.04 ha ubicado al oeste del barrio Playa Rica
2. Fragmento de 11.53 ha ubicado entre el barrio Playa Rica y las instalaciones de la Universidad Santo Tomás Campus Loma Linda.
3. Fragmento de 41.23 ha ubicado al norte de Caño Grande.
4. Fragmento de 2.36 ha ubicado en inmediaciones de la Universidad Santo Tomás Campus Loma Linda.

5. Fragmento de 138.05 ha que forma parte del Jardín Botánico de Villavicencio.

El sitio experimental de mayor tamaño (fragmento 5 en la Figura 1) forma parte del Jardín Botánico de Villavicencio administrado por la Secretaría de Medio Ambiente Departamental; se ubica a 10 minutos del centro de Villavicencio en la vía que conduce a los barrios Azotea y Mesetas y fue declarado desde 1983 como un centro dedicado a la conservación con una extensión de 50 ha aproximadamente. Este sitio representa el área en mejor estado de conservación de los 5 sitios experimentales incluidos en este estudio.

Los sitios de estudio han tenido diferente historia de uso y se encuentran dispersos en una matriz paisajística altamente urbanizada; la mayor parte de los sitios se encuentran en etapas iniciales de un proceso de sucesión secundario pero conservan algunos elementos florísticos correspondientes a bosques primarios.

MUESTREO Y MONITOREO DEL BANCO DE SEMILLAS EN SUELO

La recolección del banco de semillas se realizará en áreas de crecimiento secundario con diferente estado de avance de la sucesión ecológica y de diferente tamaño (2.4 ha, 4.0 ha, 11.5 ha, 41.2 ha y 138.0 ha), localizadas dentro del cinturón verde del municipio de Villavicencio. Se establecerán tres (3) réplicas para cada tratamiento (fragmento), totalizando 15 sitios de colección. En cada sitio se delimitarán dos (2) parcelas de 50 m x 50 m separadas al menos una distancia de 300 m una de la otra para asegurar independencia en las colectas. Las parcelas se ubicarán en el centro de los fragmentos con el objeto de reducir el efecto de borde. En cada parcela se establecerán 5-10 submuestras de banco de semillas en suelo (15cmx15cmx3cm) con una distancia mínima de 20 m entre ellas, a una profundidad entre 0-5 cm. No se colectarán muestras a profundidades mayores de 5 cm, ya que algunos estudios reportan que la mayor riqueza y diversidad del banco de semillas se encuentra en la capa más superficial del suelo (Dalling et al 1998). Antes de la toma de las muestras, se realizará una remoción de la cobertura superficial.

Las muestras colectadas serán empacadas en bolsas plásticas y transportadas al vivero. Se utilizará la técnica de emergencia de plántulas para establecer la densidad del banco de semillas y la identificación de las especies. La muestra se distribuirá en una capa delgada de sustrato (1 cm) conformada por arena de roca y lombricompost (3:1) dispuestas en canastillas plásticas rectangulares con perforaciones en la base para el drenaje del agua. Se aplicará riego por goteo diario de las muestras por un periodo de 5 – 6 meses (hasta que no emerjan nuevas plántulas). Se registrará el número de especies, morfoespecies, géneros y familias por sitio y clasificación por formas de vida (árboles, arbustos, hierbas,

lianas etc). La determinación taxonómica se realizará con la ayuda de un experto botánico y la consulta con literatura especializada.

Además del tamaño de los parches (ya definido previamente) se aplicarán algunas métricas de paisaje para establecer su relación con los cambios en la composición y diversidad del BSG. Entre ellos se consideran los siguientes:

a. Medidas de configuración espacial: Area núcleo efectiva, Relación perímetro/área.

b. Medidas de continuidad (función): Conectividad entre fragmentos (distancia euclidiana al vecino más cercano).

ANÁLISIS DE DATOS

Se realizará una comparación entre los tratamientos de los promedios de densidad de plántulas que emerjan, mediante un ANOVA no paramétrico (prueba de Kruskal-Wallis), seguido del test de Mann-Whitney para detectar diferencias entre los tratamientos.

La diversidad de especies del banco de semillas en cada área, se estimará mediante el índice de diversidad alfa de Fisher. Se aplicará la técnica multivariada de ordenación NMDS (escalamiento multidimensional no métrico) para el análisis de la variación de la composición de especies entre las áreas de estudio y la correlación con las métricas de paisaje.

Se utilizará el programa PAST para el análisis estadístico de los datos.

VII. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

No.	Actividad	Desde	Hasta	Tiempo
1	Muestreo y monitoreo del banco de semillas en suelo			
1.1	Visitas preliminares de reconocimiento en campo de 5 sitios experimentales	1	2	Meses
1.2.	Delimitación de parcelas de muestreo en 5 sitios experimentales	2	3	Meses
1.3.	Recolección de muestras de banco de semillas en suelo y transporte a vivero	3	5	Meses
1.4.	Homogenización de muestras con sustrato de arena de roca y compost de lombriz en canastillas en vivero.	4	6	Meses
1.5.	Monitoreo a emergencia de plántulas	6	10	Meses

No.	Actividad	Desde	Hasta	Tiempo
	en vivero			
2	Análisis de datos			
2.1.	Cálculo de índices de diversidad	10	11	Meses
2.2.	Uso de técnicas multivariadas de clasificación y ordenación	10	11	Meses
2.3.	Realización de análisis estadísticos	10	11	Meses
2.4.	Elaboración del documento final	11	12	Meses

VIII. PRESUPUESTO

RUBRO	SUBTOTAL(\$)	TOTAL(\$)
Materiales		\$5.000.000
- Papelería	\$1.000.000	
- Adquisición de imágenes satelitales y fotografías aéreas	\$1.000.000	
- Insumos para investigación sobre el banco de semillas germinable(cinta métrica, palas, bolsas plásticas para muestreo de suelos, materiales para fase de vivero – malla de tela doble de poro fino, canastillas o bandejas de crecimiento, sustrato de arena de río, desinfectantes, compost de lombrizetc)	\$ 3.000.000	
Capacitación especializada		2.500.000
- Determinación taxonómica de plántulas	\$2.500.000	
Trabajo de campo		\$2.000.000
- Transporte a sitios experimentales	\$1.000.000	
- Transporte de muestras a vivero	\$ 1.000.000	
Participación en eventos nacionales (3 personas)		\$3.500.000
- Inscripción a Congreso Nacional	\$500.000/pers ona	
- Viaje a Congreso Nacional	\$700.000/pers ona	
Publicaciones		\$2.000.000
- Derecho de publicación (1 artículo)	\$1.000.000	
- Traducción (1 artículo)	\$1.000.000	
TOTAL		\$15.000.000

IX. PRODUCCION PROGRAMADA E IMPACTO ESPERADO

En la Tabla 1 se relacionan los resultados/productos esperados del proyecto y los beneficiarios del mismo

CATEGORIA COLCIENCIAS	PRODUCTOS ESPERADOS
a- Productos de nuevo conocimiento	1. Artículo: Efecto de la fragmentación del bosque sobre el banco de semillas germinable en suelo en áreas de piedemonte cercanas al municipio de Villavicencio, M. (Responsable: Rodrigo I. Velosa C.).
b. Productos de apropiación social del conocimiento	1. Evento Científico: Participación con ponencia en evento nacional 2. Alianza con centros dedicados a la apropiación social del conocimiento: Alianza con la Red Colombiana de Restauración Ecológica para la conformación del Nodo Orinoquía de la Red y para intercambio de experiencias en técnicas de restauración activa de áreas degradadas.
c. Productos de formación del recurso humano	1. Trabajo de grado pregrado: Dirección del trabajo de grado “Banco de semillas germinable en un predio de bosque de piedemonte llanero en regeneración natural” que será desarrollado por las estudiantes Kelli Johana Dominguez Guarín y Yeraldin Romero Perdomo del semillero GECON y matriculadas actualmente en VIII semestre de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás Villavicencio. La dirección estará a cargo del Docente Rodrigo Isaac Velosa Caicedo.

BIBLIOGRAFIA

- Acosta, M. (2004). *Efecto de borde sobre el banco de semillas germinable en un fragmento de bosque altoandino (Reserva Forestal Municipal de Cogua, Cundinamarca)* (tesis de pregrado). Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Acosta, M. y Vargas, O. (2007). Banco de semillas germinable (BSG). En O. Vargas, Grupo de restauración ecológica Universidad Nacional de Colombia (Eds.), *Estrategias para la restauración ecológica del bosque altoandino. El caso de la reserva forestal municipal de Cogua, Cundinamarca.*, Bogotá.
- Alcaldía de Villavicencio, (2000). Plan de Ordenamiento Territorial de Villavicencio.
- Alcaldía de Villavicencio, (2015). Plan de Ordenamiento Territorial de Villavicencio.
- Andresen, E. (2003). Effect of forest fragmentation on dung beetle communities and functional consequences for plant regeneration. *Ecography* 26, 87–97.
- Alvarez-Aquino, C., Williams-Linera, G., Newton, A.C. (2005). Disturbance effects on the seed bank of Mexican cloud forest fragments. *Biotropica* 37 (3), 337–342.
- Barlow, J., C.A. Peres, L. Henriques, P.C. Stouffer, y Wunderle, J. (2006). The responses of understorey birds to forest fragmentation, logging and wildfires: an Amazonian synthesis. *Biol. Conserv.* 128: 182–192.
- Baskin, J.M. y Baskin, C.C.(1989). Physiology of dormancy and germination in relation to seed bank ecology. En M.A.P. Leck, V.T. Parker & Simpson (Eds), *Ecology of soil seed bank* (pp. 53 – 65). San Diego, California: AcademicPress.
- Benítez-Malvido, J., and Martínez-Ramos, M. (2003). Impact of forest fragmentation on understory plant species richness in Amazonia. *Conserv. Biol.* 17 (2): 389–400.
- Benítez-Malvido, J. (1998). Impact of forest fragmentation on seedling abundance in a tropical rain forest. *Conserv. Biol.* 12, 380–389.
- Benítez-Malvido, J., y Martínez-Ramos, M. (2003^a). Influence of edge exposure on tree seedling species recruitment in tropical rain forest fragments. *Biotropica* 35, 530–541.
- Benítez-Malvido, J., y Martínez-Ramos, M. (2003^b). Impact of forest fragmentation on understory plant species richness in Amazonia. *Conserv. Biol.* 17, 389–400.
- Broadbent, E., Asner, G.P., Keller, M., Knapp, M., y Silva, J.(2008). Forest fragmentation and edge effects from deforestation and selective logging in the Brazilian Amazon. *Biol. Conserv.* 140, 142–155.

Brown, K.S., y Hutchings, R.W. (1997). Disturbance, fragmentation, and the dynamics of diversity in Amazonian forest butterflies. In W.F.Laurance, R.O. Bierregaard(Eds.), *Tropical Forest Remnants: Ecology, Management, and Conservation of Fragmented Communities* (pp. 91 – 110).Chicago: University of Chicago Press.

Brum, H.D., Nascimento, H., Laurance,W.F., Andrade, A., Laurance, S.G., yLuizão, R. (2008). Rainforest fragmentation and the demography of the economically important palm *Oenocarpus bacaba* in central Amazonia. *Plant Ecol.* 199, 209– 215.

Calderón, M.A., Múnera, C. y Ramos, J.M. (2015). 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).*MomentosCienc.* 6 (1), 35 – 42.

Camargo, J.L.C., y Kapos, V. (1995). Complex edge effects on soil moisture and microclimate in central Amazonian forest. *J. Trop. Ecol.* 11, 205–211.

Cárdenas, C., Posada, C. y Vargas, O. (2002). Banco de semillas germinable de una comunidad vegetal de páramo húmedo sometida a quema y pastoreo (Parque Nacional Natural Chingaza, Colombia). *Ecotropicos* 15 (1), 51 – 60.

Cardona, A. (2004^a). *Potencial de regeneración del banco de semillas germinable en dos tipos de bosque subandino: Implicaciones para la restauración ecológica de la reserva biológica Cachalú –Santander (Colombia)* (tesis de pregrado). Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”, Bogotá, Colombia.

Cardona, A. y Vargas, O. (2004b). El banco de semillas germinable de especies leñosas en dos bosques subandinos y su importancia para la restauración ecológica (Reserva Biológica Cachalú –Santander, Colombia. *Colombia Forestal* 8 (17). Bogotá.

Cardona, A. 2007. Caracterización del banco de semillas germinable y potencial de regeneración del banco de retoños en tres tipos de vegetación de los alrededores del embalse de Chisacá. EnO. Vargas, Grupo de restauración ecológica, Universidad Nacional de Colombia (Eds.), *Restauración ecológica del bosque altoandino. Estudios diagnósticos y experimentales en los alrededores del embalse de Chisacá (Localidad de Usme, Bogotá D.C.)*.Bogotá.

Carmo, A.B., Vasconcelos, H.L., Araújo, G.M. (2011). Estrutura da comunidade de plantas lenhosas em fragmentos de cerrado: relação com o tamanho do fragmento e seu nível de perturbação. *Revista Brasil. Bot.* 34 (1), 31–38.

Carvalho, K.S., y Vasconcelos, H.L. (1999). Forest fragmentation in central Amazonia and its effects on litter-dwelling ants. *Biol. Conserv.* 91, 151–158.

Corpes de la Orinoquía.(1997). Orinoquía hacia el siglo XXI. Plan de desarrollo regional 1994 – 2004. Consejo Regional de Planificación Económica y Social (Llanos, Colombia y Venezuela). Bogotá, D.C.

Cramer, J.M., Mesquita, R., Bentos, T., Moser, B., y Williamson, G.B. (2007a). Forest fragmentation reduces seed dispersal of *Duckeodendron* species, a Central Amazon endemic. *Biotropica* 39, 709–718.

Cramer, J.M., Mesquita, R., Williamson, G.B. (2007b). Forest fragmentation differentially affects seed dispersal of large and small-seeded tropical trees. *Biol. Conserv.* 137, 415–423.

Cubiña, A. y Aide, M.(2001). The effect of distance from forest edge on seed rain and soil seed bank in a tropical pasture. *Biotropica* 33 (2), 260-267.

Dalling, J.W. (2002). Ecología de semillas. In J.W.Dalling, y M. Guariguata, (Eds.), *Ecología y Conservación de bosques Neotropicales* (pp. 345 – 375). Cartago, Costa Rica: Libro Universitario Regional.

Dalling, J.W., M.D. Swaine, y N.C. Garwood. (1994). Effect of soil depth on seedling emergence in tropical soil seed-bank investigations. *Funct. Ecol.* 9, 119–121.

Dalling, J.W., Swaine, M.D., y Garwood, N.C. (1998). Dispersal patterns and seed bank dynamics of pioneer trees in moist Tropical Forest. *Ecology* 79 (2), 564–578.

Dalling, J.W., y Denslow, J.S. (1998). Soil seed bank composition along a forest chronosequence in seasonally moist tropical forest, Panama. *J. Veg. Sci.* 9 (5).

Díaz-Martin, A. (2004). *Variación espacio temporal de la lluvia de semillas en pastizales de un ecosistema altoandino (reserva forestal municipal de Cogua, Cundinamarca)* (tesis de pregrado). Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Didham, R.K., Lawton, J.H., P. M., Hammond, y Eggleton, P. (1998b). Trophic structure stability and extinction dynamics of beetles (Coleoptera) in tropical forest fragments. *Proc. Roy. Soc. B* 353, 437–451.

Dupuy, J.M. y Chazdon, R.L.(1998). Long-term effects of forest regrowth and selective logging on the seed bank of tropical forests in NE Costa Rica. *Biotropica* 30 (2): 223 – 237.

Fáveri, S.B., Vasconcellos, H.L., y Dirzo, R. (2008). Effects of Amazonian forest fragmentation on the interaction between plants, insect herbivores, and their natural enemies. *J. Trop. Ecol.* 24, 57–64.

- Fenner, M. 1995. Ecology of seed banks. En J.Kigel, &G. Galili, (Eds.), *Seed development and germination*. New York, USA: Inc. New York.
- Ferraz, G., Nichols, J.D., Hines, J., Stouffer, P.C., Bierregaard, R.O., y Lovejoy, T.E.(2007). A large-scale deforestation experiment: effects of patch area and isolation on Amazon birds. *Science* 315, 238–241.
- Garwood, N. C. (1989). Tropical soil seed banks: a review. *Ecol. Soil Seed Banks* 149, p. 210.
- Gilbert, K.A., y Setz, E.Z.F. (2001). Primates in a fragmented landscape: six species in central Amazonia. In W.F.Laurance, y R.O. Bierregaard (Eds.), *Tropical Forest Remnants: Ecology, Management and Conservation of Fragmented Communities* (pp. 207 – 221). Chicago: University of Chicago Press.
- Jorge, M.L., (2008). Effects of forest fragmentation on two sister genera of Amazonian rodents (*Myoproctaacouchy* and *Dasyproctaleporina*). *Biol. Conserv.* 141, 617– 623.
- Laurance, W.F., Lovejoy, T.E., Vasconcelos, H., Bruna, E., Didham, R., Stouffer, P., Gascon, C., Bierregaard, R., Laurance, S.G., Sampaio, E. (2002). Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22-year investigation. *Conserv. Biol.* 16, 605–618.
- Dalling, J.W., y Denslow, J.S.(1998). Soil seed bank composition along a forest chronosequence in seasonally moist tropical forest, Panama. *J. Veg. Sci.* 9 (5): 669–678.
- Laurance, W.F., Nascimento, H.E.M., Laurance, S.G., Andrade, A.C., Marnside, P.M., Ribeiro, J.E.L., y Capretz, R.L.(2006). Rain forest fragmentation and the proliferation of successional trees. *Ecology* 87, 469–482.
- Laurance, W.F., Camargo, J.L., Luizao, R.C., Laurance, S.G., Pimm, S.L., Bruna, E.N., Stouffer, P.C., Williamson, G.B., Benitez-Malvido, J., Vasconcellos, J.L. and Van Houtan K.S. (2011). The fate of Amazonian forest fragment: a 32 year investigation. *Biological Conservation* 144 (1): 56 – 67.
- Laurance, W.F., and Vasconcelos, H.L. (2009). Consequências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia. *Oecologia Australis* 13 (3), 434–451.
- Martins, A.M., y Engel, V.L. (2007). Soil seed banks in tropical forest fragments with different disturbance histories in southeastern Brazil. *Ecol. Eng.* 31 (3), 165–174.
- Montenegro, A.L. (2000). *Estrategias de dispersión y regeneración por bancos de semillas en dos comunidades de bosque altoandino (Embalse de San Rafael)* (tesis

de pregrado).Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C.

Nascimento, H., Andrade, A., Camargo, J., Laurance, W.F., Laurance, S.G., y Ribeiro, J. (2006). Effects of the surrounding matrix on tree recruitment in Amazonian forest fragments. *Conserv. Biol.* 20, 853–860.

Page, M.J., Baxter, G.S., y Lisle, A.T.(2006). Evaluating the adequacy of sampling germinable soil seed banks in semi-arid systems. *Journal of Arid Environmental* 64 (2): 323-341.

Plue, J., S. A., Cousins.(2013). Temporal dispersal in fragmented landscapes. *Biol. Cons.* 160, 250–262.

Romero, A.M., Baquero, N., y Beltrán, H.E. (2006). Banco de semillas en áreas disturbadas de bosque subandino en San Bernardo (Cundinamarca, Colombia). *Colombia Forestal* 19 (2): 15 – 35.

Scariot, A. (1999). Forest fragmentation effects on diversity of the palm community in central Amazonia. *Journal of Ecology* 87 (1): 66 – 76.

Santo – Silva, E.E., Tabarelli, W. R., and Peres, C. A. (2016). Habitat fragmentation and the future structure of tree assemblages in a fragmented Atlantic forest landscape. *Plant Ecology* 217 (9): 1129 – 1140.

Santo-Silva, E.E., Almeida, W.R., Melo, F.P., ZickeL, C.S., and Tabarelli, M. (2013). The Nature of seedling assemblages in a fragmented tropical landscape. *Biotropica* 45(3): 396 – 394.

Scariot, A. (2001). Weedy and secondary palm species in Central Amazonian forest fragments. *Acta Bot. Brasilica* 15 (2), 271–280.

Sousa, T.R., Costa, F.R.C., Bentos, T.V., Leal Filho, N., Mesquita, R.C.G., and Ribeiro, I. O. (2017). The effect of forest fragmentation on the soil seed bank of Central Amazonia. *Forest Ecology and Management* 393, 105 – 112.

Stratford, J.A., Stouffer, P.C., 1999. Local extinctions of terrestrial insectivorous birds in Amazonian forest fragments. *Conserv. Biol.* 13 (6), 1416–1423.

Thompson, K. (2000). The functional ecology of soil seed banks. In M.Fenner(Ed.) (pp. 215 – 235). *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, vol. 2.

Torrijos, P., Prieto, D., y Suarez, E. (2011). Evaluación del potencial natural de restauración en sabanas y bosque de piedemonte en Casanare – Colombia. En O. Vargas, S.P. Reyes (Eds).*La restauración ecológica en la práctica. Memorias I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C.

Valenta, K., Steffens, T.S., Rafaliarison, R.R., Chapman, C.A., y Lehman, S.M., (2015). Seed Banks in Savanna, Forest fragments, and continuous forest edges differ in a tropical dry forest in Madagascar. *Biotropica* 47 (4), 435–440.

Vargas, O. y Mora, F. (2007). La restauración ecológica. Su contexto, definiciones y dimensiones. En O. Vargas (Ed.) (pp. 14 – 32). *Estrategias para la restauración ecológica del bosque altoandino*. Universidad Nacional de Colombia – Colciencias.

Velasco-Linares, P. (2007). Dispersión de semillas ornitócoras a zonas de potrero y zonas potrero – riparias del embalse de Chisacá. En O. Vargas, Grupo de restauración ecológica, Universidad Nacional de Colombia (Eds.), *Restauración ecológica del bosque altoandino. Estudios diagnósticos y experimentales en los alrededores del embalse de Chisacá (Localidad de Usme, Bogotá D.C.)*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.