



Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

Trabajo de Grado en modalidad de Pasantía para optar por el título de
Ingeniera Forestal

Por: Alejandra Paola Tirado León
Director interno: Ph.D. Ángela Parrado Rosselli
Director externo: M.Sc. Mauricio Aguilar Garavito



**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO Y SUPERVIVENCIA DE SIETE ESPECIES
ARBÓREAS BAJO DIFERENTES COBERTURAS DE PLANTACIÓN EN LA RESERVA
FORESTAL PROTECTORA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ**

ALEJANDRA PAOLA TIRADO LEÓN

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA FORESTAL
BOGOTÁ D.C
NOVIEMBRE 2020**

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO Y SUPERVIVENCIA DE SIETE ESPECIES
ARBÓREAS BAJO DIFERENTES COBERTURAS DE PLANTACIÓN EN LA RESERVA
FORESTAL PROTECTORA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ**

ALEJANDRA PAOLA TIRADO LEÓN

**Trabajo de grado en modalidad de pasantía como requisito para optar al título de
INGENIERA FORESTAL**

Director interno

PhD Ángela Parrado-Rosselli

Director Externo

MSc Mauricio Aguilar- Garavito

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA FORESTAL
BOGOTA D.C
NOVIEMBRE 2020**

Nota de Aceptación

Director Interno

Director Externo

Bogotá D.C. Noviembre de 2020

TABLA DE CONTENIDO

1.	Introducción general.....	4
2.	Objetivos de la pasantía.....	7
2.1.	Objetivo general	7
2.2.	Objetivos específicos.....	7
3.	Plan de trabajo.....	8
4.	Artículo científico	10
4.1.	Resumen	10
4.2.	Introducción	11
4.3.	Materiales y métodos	14
4.4.	Resultados	19
4.5.	Discusión.....	29
4.6.	Conclusiones y recomendaciones.....	32
4.7.	Agradecimientos.....	33
5.	Conclusión general.....	34
6.	Bibliografía	35
7.	Anexos.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1 A. Distribución de especies nativas en arreglos de núcleo; B. Distribución de transecto para la recolección de necromasa fina; C. Distribución de cuadrantes para toma de datos de regeneración.	8
Figura. 2. Localización del área de estudio y ubicación de núcleos con arreglos florísticos por tratamientos.....	15
Figura. 3. Tasa de mortalidad por tipo de cobertura en un periodo de estudio de 3.27 meses.....	21
Figura. 4. Biplot de especies con respecto a los incrementos en altura, diámetro basal y copa	25
Figura. 5. Número de individuos por clase diamétrica para toda la plantación y para cada una de las especies.	26
Figura. 6. Número de individuos por clase de altura para la plantación y para cada una de las especies.	27
Figura. 7. Especies de generación más frecuentes y dominantes por tipo de cobertura.....	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de individuos vivos, muertos y tasa de mortalidad por especie después de 3.27 meses de plantación.....	20
Tabla 2. Tasa de mortalidad por especie y por tratamiento después de 3.27 meses de plantación..	20
Tabla 3. Número de individuos afectados y no afectados por daño mecánico para cada tipo de cobertura, después de 3.27 meses de plantación.	21
Tabla 4. Incremento promedio en altura (cm), diámetro basal (mm) y diámetro de copa (cm) para la plantación en general y para cada una de las especies, referido a un periodo de estudio de 3,27 meses..	23
Tabla 5. Variables evaluadas entre tipos de cobertura.	24
Tabla 6. Valores p ajustados según método de Holm y Correlación de Spearman para los Incrementos significativos de la plantación y de las especies con respecto a las variables estudiadas.	25

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Distribución diamétrica (mm), y por altura (cm) para cada una de las especies y para la plantación en general. M1: Medición base o inicial, M2: Medición 2.....	42
Anexo 2. Especies de regeneración, frecuencia de núcleos, área (m ²), origen y reporte de invasión	43
Anexo 3. Script de R programado en el desarrollo del estudio.....	45

DEDICATORIA

Agradezco inmensamente a Dios por ser el actor principal de este trabajo de grado, fue quien lo proveyó y respaldó de principio de a fin, además, por acompañarme y guiarme en cada paso a lo largo de mi formación como Ingeniera forestal.

A mi familia por su apoyo incondicional, su paciencia, y su sabiduría para animarme a continuar en el alcance de cada meta y sueño. Al amor de mi vida Daniel por su apoyo incondicional, por su paciencia, por su ayuda, tanto en mi profesión como en la realización de este trabajo de grado en todas y cada una de sus etapas, por soportar la lluvia y el sol, el hambre, el cansancio, los malos ratos, los días de consultas y las noches en vela conmigo.

A mis compañeros que realmente me apoyaron y me acompañaron en este proceso, a los docentes por sus enseñanzas, por su ejemplo y dedicación para hacernos mejores profesionales. A la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales y al Proyecto curricular de Ingeniería forestal por permitirme alcanzar la meta de ser profesional.

Alejandra Paola Tirado León

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Los ecosistemas naturales de los Cerros Orientales de Bogotá se encuentran en una fuerte degradación debido a que han estado expuestos históricamente a ocupación y a intervención, principalmente por actividades de agricultura, ganadería, producción de carbón vegetal, explotación de materiales de cantera y procesos de urbanización (Ocampo, 2019). Para 1932 se iniciaron procesos de recuperación de la cobertura, llevados a cabo con especies inadecuadas como *Eucalyptus globulus*, *Acacia spp.*, *Pinus spp.* y *Cupressus spp.*, las cuales son consideradas hoy en día nocivas para los ecosistemas de bosque altoandino (Meza, 2008; Rojas, 2017). Adicionalmente, para 1945 se introdujo la especie retamo espinoso (*Ulex europaeus*) utilizada como cerca viva por los campesinos y que se caracteriza por su accionar invasor utilizando el fuego como mecanismo de dispersión y propagación (Torres & Vargas, 2011).

Tales especies no han logrado recuperar la integridad ecológica de la zona, puesto que sólo mejoran algunos aspectos funcionales. Por el contrario, inherente a ellas, se asocian otras consecuencias como susceptibilidad a incendios, baja diversidad, alteración del ciclo hidrológico, compactación y acidificación del suelo, además de baja oferta de alimento para los animales (Poore & Fries, 1987; Ocampo, 2018; Guio et. al, 2015).

Ante dicha situación, instituciones como el Jardín Botánico de Bogotá desarrollan investigaciones en torno a la restauración ecológica en zonas de los Cerros Orientales orientando la dinámica de los ecosistemas hacia la sucesión ecológica (Aguilar & Ramírez, 2015). Esta entidad, a través de su Línea de Investigación en Restauración Ecológica (LIRE) ha venido realizando la remoción manual de matorrales de *U. europaeus*, poda y control de la regeneración de las especies forestales exóticas por medio de remoción de plántulas y de individuos jóvenes, e introducción de especies nativas en diferentes arreglos florísticos, eliminando parches de regeneración de las especies invasoras agotando

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

su banco de semillas (Rojas, 2017). Lo anterior contribuyendo a recuperar las condiciones propias de los Cerros Orientales como albergue de diversidad, corredor biológico, fuente de servicios ecosistémicos como agua, regulación de clima local y mejoramiento de la calidad del aire (Van der Hammen, 1998).

Una de las metodologías de restauración ha sido la plantación de arreglos de especies que permiten aumentar la humedad y los nutrientes del suelo, generan hojarasca y atraen dispersores de semillas, acelerando la sucesión natural y permitiendo una rápida recuperación (González et. al, 2018). Tal arreglo se dispone de especies de crecimiento secundario tardío rodeadas de especies secundarias iniciales y especies climáticas rodeadas de pioneras (Producto 1 del contrato 242- 2019), en donde se busca asemejar la composición de las especies a la transición sucesional de matorrales a bosques que propuso Cortés et. al. (1999) y a los bosques secundarios andinos bajos de los cerros de Bogotá descritos por Cuatrecasas (1984).

Una vez se realizan los experimentos y arreglos florísticos en la restauración, es fundamental acompañar el proceso con un monitoreo continuo, que permita establecer si se está teniendo éxito o no en la trayectoria de restauración deseada, o cual de los tratamientos es más exitoso. El monitoreo se caracteriza por el seguimiento y evaluación continuos de los cambios por los que atraviesa el ecosistema frente a los diferentes tratamientos de restauración aplicados (Vargas, 2011). Por lo tanto, permite corregir, ajustar, mejorar o complementar estrategias, reduciendo así mismo, costos en el proyecto de restauración (Aguilar & Ramírez, 2015).

Con el fin de contribuir a la restauración ecológica en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá ubicada en los Cerros Orientales, el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt ha realizado el convenio con el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

Mutis, con el fin de generar un modelo de restauración que permita regular y corregir los efectos negativos de las plantaciones forestales. El área específica a intervenir es el Área Piloto de Restauración Ecológica- APIRE Venado de Oro en los alrededores de la sede del Instituto.

El proyecto busca la implementación de núcleos de vegetación con la plantación de especies con potencial de recuperación de estratos de vegetación. Utilizando siete especies vegetales escogidas y propagadas en vivero (*Cedrela montana* Mortiz ex Turcz, *Escallonia paniculata* (Ruiz y Pav.) Schult., *Myrcianthes leucoxylo* (Ortega) McVaugh, *Myrsine guianensis* (Aubl.) Kuntze, *Oreopanax incisus* (Willd. Ex Schult) Decne y Planch., *Viburnum triphyllum* Benth. y *Retrophyllum rospigliosii* (Pilg.) C.N. Page) se plantaron un total de 2100 individuos distribuidos en 100 núcleos de 21 individuos (3 individuo por cada especie), bajo tres tipos de cobertura, de *Eucalyptus globulus* Labill., de *Acacia melanoxylon* R.Br. y una cobertura mixta con unión de ambas especies más algunos individuos de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Chamb. En ese sentido, se hace indispensable realizar la evaluación del desempeño y supervivencia de las especies escogidas bajo los diferentes tratamientos y combinaciones para analizar el éxito o no del proceso.

2. OBJETIVOS DE LA PASANTÍA

2.1. Objetivo general

Evaluar la supervivencia y el desempeño de plántulas de siete especies forestales nativas ubicadas en arreglos florísticos de restauración en los Cerros Orientales de Bogotá, y su efecto en el reclutamiento de especies vegetales al estar bajo cobertura de plantaciones forestales exóticas.

2.2. Objetivos específicos

- Analizar la tasa de mortalidad, el cambio en estado físico y el cambio en el crecimiento de altura, diámetro basal y diámetro de copa, de las plántulas establecidas bajo tres tipos de coberturas de plantaciones forestales exóticas.
- Estimar el efecto de variables externas tales como densidad de copa, necromasa fina y pendiente en el crecimiento en altura, diámetro basal y diámetro de copa de las plántulas.
- Caracterizar la regeneración circundante en cada uno de los núcleos donde se plantaron las especies forestales nativas, y su respuesta en frecuencia y dominancia a los diferentes tratamientos.
- Generar un informe tipo artículo científico de los resultados obtenidos al concluir el período que comprende el trabajo grado, con la base de datos correspondiente.

3. PLAN DE TRABAJO

La zona de los ensayos de restauración se encuentra localizada en los Cerros Orientales de la ciudad de Bogotá, más específicamente en el predio Venado de Oro en las inmediaciones de la sede el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Por parte del Jardín Botánico José Celestino Mutis se realizó la plantación de 100 arreglos florísticos tipo núcleo conformados por siete especies nativas, tales como: *Myrcianthes leucoxylla* (Ortega) McVaugh, *Cedrela montana* Mortiz ex Turcz, *Retrophyllum rospigliosii* (Pilg.) C.N. Page, *Escallonia paniculata* (Ruiz y Pav.) Schult., *Viburnum triphyllum* Benth., *Oreopanax incisus* (Willd. Ex Schult) Decne y Planch. y *Myrsine guianensis* (Aubl.) Kuntze, estableciendo tres individuos por cada una de las siete especies por núcleo para un total de 21 individuos (Figura 1-A) y cada arreglo bajo 3 tipos de cobertura, tales como: La cobertura de *Eucalyptus globulus* Labill (40 núcleos), la cobertura de *Acacia melanoxylon* R.Br. (30 núcleos) y la cobertura mixta con combinación entre *Acacia melanoxylon* R.Br., *Eucalyptus globulus* Labill. Y algunos individuos de *Pinus patula* Schiede ex Schlttdl. & Chamb. (30 núcleos).

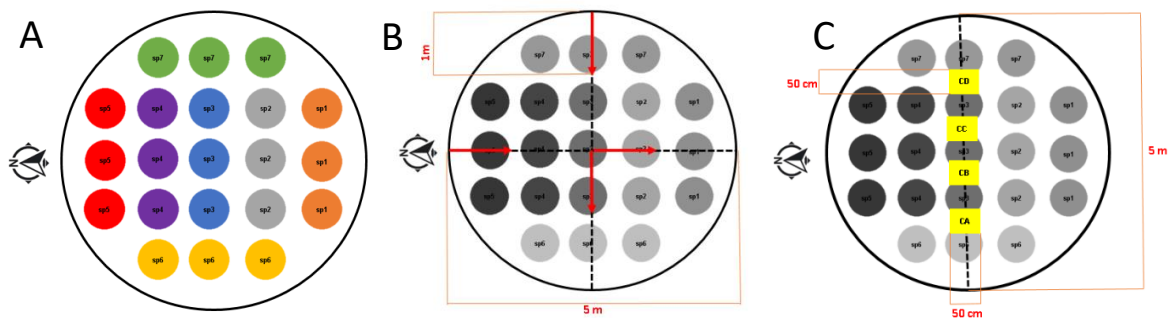


Figura. 1 A. Distribución de especies nativas en arreglos de núcleo; B. Distribución de transecto para la recolección de necromasa fina; C. Distribución de cuadrantes para toma de datos de regeneración.

Las actividades consistieron en la medición de variables en los individuos, tales como: altura total (cm), diámetro basal (mm) y diámetro de copa (cm), mortalidad, supervivencia y estado físico tanto para una medición base, como para una medición posterior 3,27 meses después. Para la

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

caracterización de los tratamientos se prosiguió con la toma de datos de pendiente con clinómetro Haglof cl, densidad de copa con densiómetro esférico cóncavo a una altura del suelo de 1,3 m y 0,50 m en el centro de cada parcela, necromasa fina con transectos (Figura 1-B), y porcentaje y cobertura de regeneración con cuadrantes a lo largo de un transepto (Figura 1-C), las especies se identificaron y clasificaron respecto a si eran especies nativas, exóticas y/o invasoras. Los datos obtenidos permitieron realizar la respectiva inferencia estadística y determinar el desempeño de dichas especies nativas en campo. Adicionalmente, como otras labores, se apoyó con el suministro de información y acompañamiento al personal del Instituto Humboldt en un recorrido guiado en la plantación. Todas las labores realizadas, la metodología seguida, los resultados alcanzados, el análisis de resultados, discusión y conclusiones del trabajo de grado se presentan en el siguiente artículo científico.

4. ARTÍCULO CIENTÍFICO

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO Y SUPERVIVENCIA DE SIETE ESPECIES ARBÓREAS BAJO DIFERENTES COBERTURAS DE PLANTACIÓN EN LA RESERVA FORESTAL PROTECTORA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ

Evaluation of the performance and survival of seven tree species under different plantation covers in the Bosque Oriental de Bogotá Protective Forest Reserve

4.1. RESUMEN

Se evaluó el desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas plantadas bajo diferentes coberturas de plantaciones forestales exóticas. Los parámetros analizados son la altura, diámetro basal y diámetro de copa. Se evaluó la incidencia de las variables pendiente, densidad de copa y necromasa fina en el desarrollo de las plántulas, y como variable respuesta la regeneración reclutada, exótica como nativa. Se registró menor tasa de mortalidad y mejor desempeño en crecimiento de diámetro basal bajo *E. globulus*, esto último en las especies *C. montana* y *M. leucoxylla*, asociado a mayor apertura del dosel y menor cantidad de necromasa fina. La mayor tasa de mortalidad la registra *E. paniculata*, siendo también la especie con mayor crecimiento en altura, en diámetro basal registra *R. rospigliosii* y en diámetro de copa *V. triphyllum*. Las especies más frecuentes y dominantes de la regeneración analizada poseen carácter invasor con mayor incidencia bajo *E. globulus*.

Palabras clave: Bosque altoandino, restauración ecológica, plantaciones forestales exóticas, especies nodrizas, arreglos florísticos, especies nativas

Abstract

The performance and survival of seven tree species planted under different covers of exotic forest plantations were evaluated. The parameters analyzed are height, basal diameter and crown diameter. The incidence of the variables slope, crown density and fine necromass in the development of the

seedlings was evaluated, and as a response variable, the regeneration recruited, exotic as native. Lower mortality rate and better performance in basal diameter growth were recorded under *E. globulus*, the latter in the species *C. montana* and *M. leucoxyloides* associated with greater canopy opening and less amount of fine necromass. The highest mortality rate is recorded by *E. paniculata*, also being the species with the highest growth in height, *R. rospigliosii* in basal diameter and *V. triphyllum* in crown diameter. The most frequent and dominant species of the regeneration analyzed have an invasive character with a higher incidence under *E. globulus*.

Keywords: High Andean forest, ecological restoration, exotic forest plantations, nurse species, floristic arrangements, native species

4.2. INTRODUCCIÓN

En Colombia, los ecosistemas altoandinos son considerados áreas de prioridad para la conservación por sus altos niveles de riqueza biológica y endemismo, sumado a una gran pérdida de cobertura que supera el 70 % del ecosistema original. Esta gran transformación se debe principalmente a los patrones históricos de ocupación humana, en los que se incluyen variables como la urbanización, la ganadería (vacuno y ovino), agricultura, minería, entre otras. Por esa misma razón, la mayoría de los ecosistemas andinos se encuentran catalogados en CR (Peligro Crítico), EN (En Peligro) y VU (Vulnerable). Más aún, de los cerca de 33 millones de hectáreas de bosque altoandino, aproximadamente sólo 5 millones están protegidas (Rojas 2017; Beltrán y Barrera 2014; Aguilar *et al.*, 2016; Velasco y Vargas, 2008; Robinson *et al.*, 2003; Ocampo, 2018; Ocampo, 2019; Etter *et al.*, 2008; Etter *et al.*, 2017).

A mediados del siglo XX, una de las formas de contrarrestar la gran pérdida de cobertura y servicios ecosistémicos de estos bosques altoandinos, principalmente en la cordillera oriental, fue por medio de la reforestación con especies exóticas como *Eucalyptus globulus* Labill., *Acacia spp.*, *Pinus spp.*

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

y *Cupressus spp.* Estas especies se seleccionaron con base en su elevada tasa de crecimiento, fácil propagación, capacidad de adaptación y éxito en otros países (Meza, 2008; Velasco y Vargas, 2008; Rojas, 2017). Adicionalmente, se introdujo la especie retamo espinoso (*Ulex europaeus* L.) con fines de cerca viva (Ocampo, 2018).

Así, el establecimiento de estas especies ayudó a controlar inicialmente procesos erosivos y a recuperar el suelo. Sin embargo, debido a su carácter exótico y en algunos casos invasor, también trajeron efectos negativos tales como el deterioro de los suelos por pérdida de materia orgánica, nutrientes y falta de actividad microbiana, afectando el ciclaje de nutrientes y la retención de carbono. Adicionalmente, impidieron el establecimiento de especies nativas, pues la presencia de fenoles en las plantaciones de *Eucalyptus* y las resinas en plantaciones de *Pinus* tienden a inhibir el crecimiento de otras especies, además de acumular en el suelo materiales inflamables causantes de grandes incendios (Camargo y Salamanca, 2000). Más aún, su dominio en el paisaje ha limitado la capacidad de dispersión y colonización de especies nativas mientras que las invasoras se han consolidado en el paisaje. Algunas especies frecuentes del bosque altoandino como *Ulex europaeus* L., y otras similares como *Genista monspessulana* (L.) L.A.S. Johnson, *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, *Acacia melanoxylon* R.Br. y *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov., como especies invasoras, cuentan con banco de semillas abundante y con alto potencial para germinar. (Vargas y Mora, 2008; Rojas, 2017; Ocampo, 2018; Beltrán y Barrera, 2014; Velasco y Vargas, 2008; Torres y Vargas, 2011).

Sumado a lo anterior, la plantación de estas especies exóticas no estuvo acompañada de un manejo forestal apropiado, pues no se incluyeron aclareos para incentivar la regeneración de vegetación nativa y la producción adecuada de madera (Camargo y Salamanca, 2000), así como un mantenimiento y poda para evitar la acumulación de combustibles y por ende la ocurrencia de incendios forestales. Por esta razón, hoy en día no son consideradas apropiadas para el mantenimiento de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos del bosque Altoandino y se pretende reemplazarlas

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

a través de procesos de restauración para ir dando paso a la vegetación natural y original de estos ecosistemas. (Meza, 2008; Velasco y Vargas, 2008; Rojas, 2017).

En el caso particular de la Reserva Forestal Protectora (RFP) Bosque Oriental, que se encuentra en las inmediaciones de la ciudad de Bogotá, la capital de Colombia, instituciones como el Jardín Botánico de Bogotá (JBB) y el Instituto Alexander von Humboldt, vienen desarrollando procesos y experimentos de restauración ecológica con el fin de recuperar las condiciones propias de esta reserva como albergue de diversidad, corredor biológico y fuente de servicios ecosistémicos como agua, regulación de clima local y mejoramiento de la calidad del aire (Van der Hammen, 1998). Una de las metodologías de restauración ha sido la plantación de arreglos de especies nativas bajo diferentes coberturas de exóticas, con el fin de utilizarlas como nodrizas o facilitadoras. Tales arreglos buscan asemejar la composición de las especies a la transición sucesional de matorrales a bosques que propuso Cortés et al. (1999) y a los bosques secundarios andinos bajos de los cerros de Bogotá descritos por Cuatrecasas (1934). Así, estos arreglos se componen de especies de crecimiento secundario tardío rodeadas de especies de crecimiento secundario inicial y especies climáticas rodeadas de pioneras (Producto 1 del contrato 242- 2019).

Debido a que no todas las especies exóticas se comportan de igual manera, podrían afectar de forma negativa la supervivencia y el desempeño de las nativas plantadas en los arreglos. Pues por ejemplo *Acacia melanoxylon* R. Br., al poseer potencial fijador de nitrógeno, mejora las condiciones del suelo, a su vez que, genera abundante cantidad de materia orgánica (Guío *et.al*, 2015), lo que podría ser una excelente facilitadora de la sucesión. Por otro lado, las acículas de los pinos son resistentes a la descomposición de microorganismos, inmovilizando los nutrientes, impidiendo el reciclaje y modificando el proceso de descomposición y formación del suelo (Velasco y Vargas, 2008). En contraste, se reporta que bajo la cobertura de especies de *Eucalyptus* hay alta tasa de consumo de agua, a su vez que, hay depósito de materia orgánica con sustancias que afectarían el crecimiento de

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

otras plantas (Montoya, 2004; Delgado *et.al*, 2006). Sin embargo, también se le atribuye alta capacidad de obtener fósforo del suelo para otras especies debido a procesos simbióticos con ectomicorrizas (Montoya, 2004). En ese sentido, no hay claridad bajo cuál cobertura de exóticas se obtendrían mejores desempeños de los arreglos de plántulas establecidos.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la supervivencia y el desempeño de las plántulas utilizadas en los arreglos florísticos de restauración bajo diferentes coberturas de exóticas en la Reserva Forestal Bosque Oriental de Bogotá. Estas coberturas corresponden *Acacia melanoxylon* R.Br., *Eucalyptus globulus* Labill. y una cobertura mixta con unión de ambas especies más algunos individuos de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. y Cham. Así, en primer lugar, se evaluó la tasa de mortalidad y el daño mecánico de los individuos, y se consideró como desempeño el cambio en el crecimiento de altura, diámetro basal y diámetro de copa, de las plántulas establecidas bajo tres tipos de coberturas de plantaciones forestales exóticas. En segundo lugar, se midió la densidad de copa, necromasa fina y pendiente con el fin de explicar cuáles variables asociadas a las coberturas son las que mejor explican el desempeño de las especies. Finalmente, se evaluó las repercusiones de los tratamientos y la incorporación de las plántulas con respecto a la llegada de individuos/especies por regeneración natural.

4.3. MATERIALES Y METODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en la sede del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt en el predio Venado de Oro, ubicado La Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá en las coordenadas 4°35'52.22"N, 74° 3'42.02"O (Figura 2). La zona corresponde a un ecosistema de tipo bosque andino seco con clima predominante Frío Semihúmedo, temperatura media anual de 12,7°C y precipitación media anual de 1143 mm. La evaporación media anual es de 62,82

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

mm, la humedad relativa media anual es del 81% y el brillo solar medio anual es de 1079,9 horas (Producto 1 del contrato 242- 2019). La vegetación característica del lugar consta de especies tales como Amarillo (*Oreopanax floribundum*), Cucharo (*Myrsine coriaceae*), Garrocho (*Viburnum triphyllum*), Tuno esmeraldo (*Miconia squamulosa*), Encenillo (*Weinmannia tomentosa*), Cordoncillo (*Piper sp*), Arrayán (*Myrcianthes leucoxylla*), Cucubo (*Solanum ovalifolium*), Raque (*Vallea stipularis*), Mortiño (*Hesperomeles goudotiana*), Duraznillo (*Abatia parviflora*), Cacho de venado (*Xylosma spiculiferum*), Cocua (*Verbesina elegans*), Chusque (*Chusquea scandens*) y Helecho marranero (*Pteridium aquilinum*), entre otras (CAR, 2016).

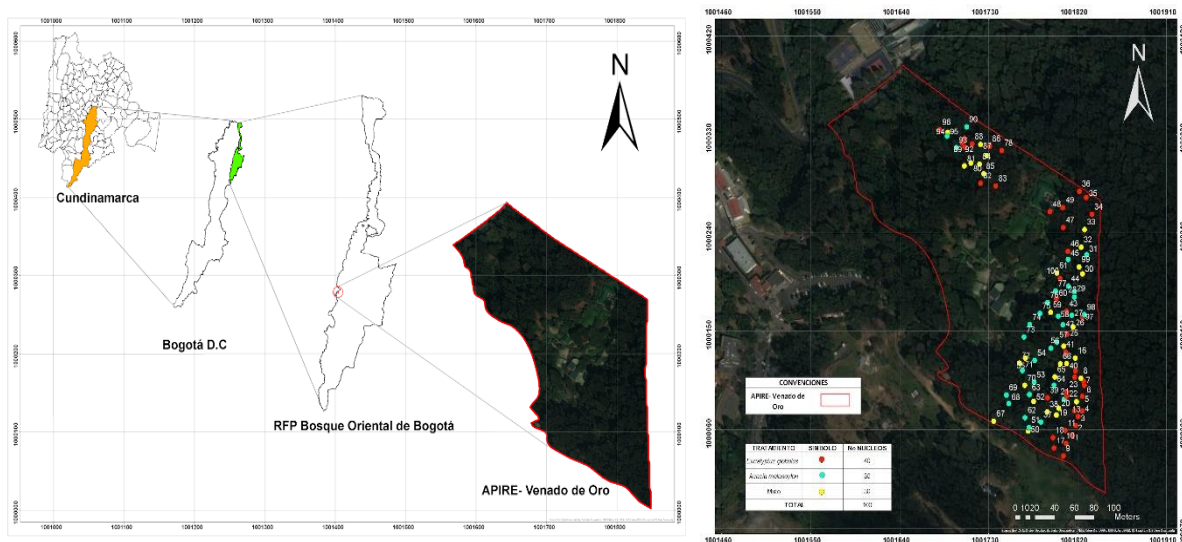


Figura. 2. Localización del área de estudio y ubicación de núcleos con arreglos florísticos por tratamientos. Rojo: Tratamiento *E. globulus* Labill. Azul: Tratamiento *A. melanoxylon* R.BR. y Amarillo: Tratamiento mixto.

Con el fin de restaurar la vegetación de la zona de estudio, en 2019, el JBB José Celestino Mutis realizó la plantación de 2100 individuos de siete especies escogidas por su potencial restaurador, por su origen nativo y por ser frecuentes en el bosque altoandino, por ser pertenecientes a estados sucesionales diferentes entre especies, por su oferta de flores y frutos a lo largo del año, y por la suficiente disponibilidad de material vegetal en vivero para la plantación, siendo estas *Myrcianthes leucoxylla* (Ortega) McVaugh, *Cedrela montana* Mortiz ex Turcz, *Retrophyllum rospigliosii* (Pilg.) C.N. Page, *Escallonia paniculata* (Ruiz y Pav.) Schult., *Viburnum triphyllum* Benth., *Oreopanax*

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

incisus (Willd. Ex Schult) Decne y Planch. y *Myrsine guianensis* (Aubl.) Kuntze, distribuidos en 100 núcleos (tres individuos por cada una de las siete especies por núcleo) bajo tres tipos de cobertura. Las coberturas de *Eucalyptus globulus* Labill (40 núcleos), la cobertura de *Acacia melanoxylon* R.Br. (30 núcleos) y la cobertura mixta con combinaciones entre *Acacia melanoxylon* R.Br., *Eucalyptus globulus* Labill. y *Pinus patula* Schiede ex Schldtl. & Chamb. (30 núcleos) (Figura 2). Cada núcleo consta de 16 m² de área, un centro de parcela debidamente identificado y a una distancia entre los mismos de 10 m, a su vez que, cada individuo se distancia entre sí a una longitud de 1 m. El total de área muestreada, por tanto, corresponde a 0,16 ha.

Toma de registros

Se realizó el seguimiento de los individuos desde la plantación hasta aproximadamente tres meses después con el fin de evaluar el supervivencia y desempeño. Para la supervivencia se registraron los individuos presentes y con partes vivas del follaje al culminar el período de estudio.

Por otro lado, el desempeño se consideró a partir de tres variables dasonómicas a saber: Altura total (*cm*), Diámetro basal (*mm*) y Diámetro de copa (*cm*). Para la altura se utilizó un flexómetro con precisión de 0,1 *cm* midiendo desde la base de la plántula, hasta su yema apical. El diámetro basal del tallo se midió para cada individuo a una altura de 10 *cm* con un calibrador digital con precisión de 0.01 *mm*, a partir de la cual se puso una línea roja con pintura para posteriores mediciones. Para el diámetro de copa, se utilizó igualmente un flexómetro con el cual se midió los extremos de la copa mayor y los extremos ortogonales de la misma. El diámetro definitivo se obtuvo a través del promedio de los dos diámetros (Aguilar y Ramírez, 2015). Cabe resaltar que en individuos con ramets o con más de un tallo principal, se tomó la medición de la variable diámetro basal y altura teniendo en cuenta el tallo con mayor grosor. Por su parte, en la medición de la variable diámetro de la copa, en caso de haberse presentado ramets, se tomaron las dimensiones de copa de cada uno, posteriormente,

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

el dato total se consideró como la suma de todas las copas de los ramets del individuo. Adicionalmente, en cada medición también se anotó el estado de daño de los individuos bajo los parámetros: Daño mecánico y Sin daño.

Caracterización de los tratamientos

Con el fin de tener mayor claridad sobre qué aspectos podrían estar afectando el desempeño de las especies en los diferentes tratamientos, se caracterizó la densidad de copa de la cobertura de exóticas, la pendiente, la necromasa fina y la regeneración natural. La Densidad de copa (%) se midió a partir de un densiómetro esférico cóncavo siguiendo la metodología descrita por Aguilar, *et. al* (2016). Así, se ubicó el instrumento en el centro de cada núcleo a una altura del suelo de 0,5 m y 1,3 m y se registró el conteo de subdivisiones ocupadas por dosel. Se tomaron cuatro lecturas por posición, es decir en dirección Norte, Sur, Este y Oeste, los cuatro datos obtenidos por altura fueron promediados y multiplicados por el valor 1.04 y posteriormente se clasificó en los tipos de dosel: Abierto, moderadamente cerrado y dosel cerrado.

La pendiente (%) se determinó mediante un clinómetro haglof cl, el valor obtenido se transformó mediante la fórmula $pndt = \tan \theta * 100$, con posterior clasificación de acuerdo con el IGAC bajo los parámetros: A nivel (0-3%), Ligeramente inclinada (3-7%), Moderadamente inclinada (7-12%), Fuertemente inclinada (12-25%), Ligeramente empinada (25-50%), Moderadamente empinada (50-75%) y Fuertemente empinada (75-100%) (Consortio Río Garagoa, 2016). La Necromasa fina (Ton/ha) se obtuvo siguiendo la metodología de intersecciones planares adaptada por Sánchez y Zerecero (1983), y descrita por Aguilar *et. al* (2016) y Xelhuanzi *et.al.* (2011), la cual consiste en el conteo de las interceptaciones de piezas leñosas en planos de muestreo. En el caso de estudio se tomó el registro sólo de aquellas piezas con diámetros entre 0-0.6 cm (Combustible liviano o necromasa fina) bajo transeptos en dirección norte y oriente con longitud de 5 m aproximadamente, estableciendo finalmente cuatro líneas de muestreo a partir del centro de parcela y en donde en el primer metro de

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

cada una se registraron las frecuencias. Posteriormente se aplicó la ecuación $p = (0,484 * f * C)/(N * L)$ en donde p es el peso de combustibles livianos o necromasa fina en toneladas métricas por hectárea, f es la frecuencia o número de intercepciones, c es el factor de corrección por pendiente, N es el número de líneas muestreadas y L es la longitud de líneas de muestreo (m).

Como última variable se registró la regeneración natural (% , m^2 , frecuencia) para lo cual se utilizaron cuadrantes de $0,25 m^2$ ($0,5 m \times 0,5 m$) a lo largo de un transecto como lo implementa Sandoval (2016) con una longitud de $5 m$. Los cuadrantes se ubicaron sobre la línea de muestreo a una distancia entre sí de $1,25 cm$ para un total de 4 cuadrantes por núcleo, con el fin de evaluar $1 m^2$ de regeneración. Con base en Aguilar y Ramírez (2015), se registró la cobertura ocupada por la vegetación (%) en 100 subdivisiones de $5 \times 5 cm$ por cuadrante, cuya estimación se basa en la proporción de cuadrantes en los que la especie se presenta. Se identificaron las especies encontradas, se clasificaron en nativas, exóticas o sin identificar, y se indagó si existe reporte de acciones invasoras por parte de estas.

Análisis de datos

La tasa de mortalidad se calculó para la plantación en general por tipos de cobertura y por especie por tipo de cobertura. Lo anterior se hizo a través de la ecuación: $m = 1 - [N_1/N_0]^{(1/t)}$, donde m es Tasa de Mortalidad Anual y N_0 y N_1 son conteos de población al principio y al final del periodo t (Sheil, 1995). Con el fin de evaluar si existían diferencias significativas de mortalidad entre tratamientos de manera general y por especie, se realizó el test de Welch James mediante la librería WelchADF (Villacorta, 2019) con $\alpha = 0.05$. Adicionalmente, se realizó el conteo total de individuos con daño mecánico y sin daño tanto por especie, como por tratamiento.

Estructura de la vegetación: En primer lugar, se identificó el número de individuos por clase diamétrica (10 clases en intervalos de $2 mm$) y clase de altura (12 clases en intervalos de $10 cm$). Se

analizó el cambio de tales variables entre las dos mediciones tanto a nivel de plantación como a nivel de especie.

Adicionalmente, se calculó el incremento promedio de la altura, el diámetro basal y el diámetro de copa que obtuvo cada especie por tratamiento. Posteriormente, se realizó un análisis de componentes principales (PCA) mediante la librería *FactomineR* (Husson *et.al.*, 2019) con el fin de relacionar las especies con el tipo particular de crecimiento. Tales incrementos se compararon entre tratamientos involucrando el test de Kruskal Wallis y prueba post hoc Bonferroni, y el test de Welch James mediante la librería *WelchADF* (Villacorta, 2019) ($\alpha = 0.05$). Para los cálculos correspondientes se tomaron los incrementos iguales o superiores a cero con el fin de disminuir la variabilidad entre los datos.

Variaciones entre coberturas: Se evaluaron las diferencias de la necromasa fina, la densidad de copa y regeneración natural entre tratamientos por medio del Análisis de Varianza de una Vía (ANOVA) y la prueba pos hoc de Tukey, Estos análisis se hicieron a través de la librería *agricolae* (Mendiburu, 2019) y *Onewaytests* (Dag *et.al.*, 2019). En cuanto a la Pendiente, esta se evaluó mediante el test de Kruskal Wallis y prueba post hoc de Bonferroni ($\alpha = 0.05$). Para evaluar el efecto de estas variables en el desempeño de las especies se realizaron correlaciones por rangos de Spearman mediante la librería *Corrplot* (Wey, 2017), interpretando correlaciones significativas a partir de un p valor de 0,05 con el método ajustado de Holm.

4.4. RESULTADOS

Supervivencia, Mortalidad y Daño: De los 2100 individuos plantados, se registraron 192 (9,1%) individuos muertos durante 3.27 meses en los que se realizó el estudio (Tabla 1). De estos, la mayoría pertenecieron principalmente a la especie *E. paniculata* (92.7%), mientras que las otras especies

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

presentaron muy poca mortalidad. Así, la tasa de mortalidad fue de 0.16 para toda la plantación, mientras que para *E. paniculata* fue de 0.96.

Tabla 1. Número de individuos vivos, muertos y tasa de mortalidad por especie después de 3.27 meses de plantación.

Especie	<i>Cedrela</i>	<i>Escallonia</i>	<i>Myrcianthes</i>	<i>Myrsine</i>	<i>Oreopanax</i>	<i>Retrophyllum</i>	<i>Viburnum</i>	Plantación
	<i>montana</i>	<i>paniculata</i>	<i>leucoxylla</i>	<i>guianensis</i>	<i>incisus</i>	<i>rospigliosii</i>	<i>triphyllum</i>	
Vivos	293	122	300	300	295	300	298	1908
Muertos	7	178	0	0	5	0	2	192
Tasa Mort.	0.083	0.963	0	0	0.060	0	0.024	0.297

Tabla 2. Tasa de mortalidad por especie y por tratamiento después de 3.27 meses de plantación. Las letras diferentes denotan diferencias significativas a un p valor=0.05.

Especie	Tratamiento	<i>Acacia</i>	<i>Eucalyptus</i>	Mixto			
		<i>melanoxyllon</i>	<i>globulus</i>				
<i>Cedrela. montana</i>		0.00	a	0.09	a	0.15	a
<i>Escallonia paniculata</i>		0.99	a	0.93	b	0.96	ab
<i>Myrcianthes leucoxylla</i>		0.00	a	0.00	a	0.00	a
<i>Myrsine guianensis</i>		0.00	a	0.00	a	0.00	a
<i>Oreopanax incisus</i>		0.12	a	0.00	a	0.08	a
<i>Retrophyllum rospigliosii</i>		0.00	a	0.00	a	0.00	a
<i>Viburnum triphyllum</i>		0.00	a	0.03	a	0.04	a

Por otro lado, al comparar la mortalidad entre tratamientos se encontraron diferencias significativas, en donde la mayor tasa de mortalidad se presentó en la cobertura de *A. melanoxyllon* (Figura 3). En contraste la menor tasa de mortalidad se encontró bajo la cobertura de *E. globulus* la cual fue significativamente diferente a la registrada en *A. melanoxyllon*. A nivel de especie, sólo la especie *E. paniculata* presentó diferencias significativas entre tratamientos, en donde la menor mortalidad se presentó bajo la cobertura de *E. globulus* (Tabla 2).

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

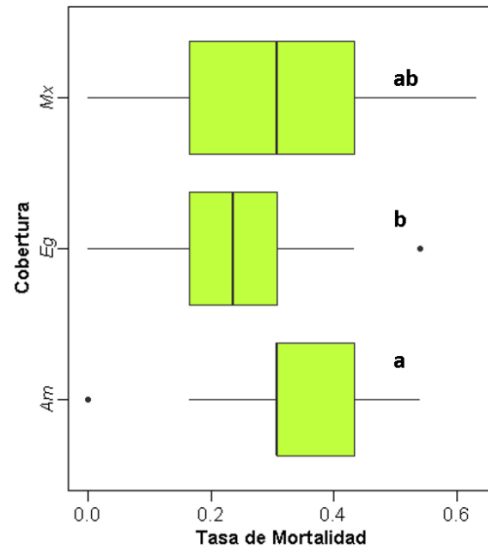


Figura 3. Tasa de mortalidad por tipo de cobertura en un periodo de estudio de 3.27 meses. Las letras indican diferencias significativas entre coberturas con un $p=0.05$. Am: Cobertura de *Acacia melanoxylon*; Eg: Cobertura de *Eucalyptus globulus*; Mx: Cobertura mixta

La evaluación de estado físico mostró que después de 3.27 meses, la mayoría de los individuos (81.9%) no presentaron ningún tipo de daño (Tabla 3). Sin embargo, el mayor porcentaje de daño se presentó en la cobertura mixta. A nivel de especie, las especies que presentaron más daño fueron *V. triphyllum*, *C. montana* y *E. paniculata* (Tabla 3). Estas especies presentaron un mayor número de individuos con daño en la cobertura de *E. globulus*.

Tabla 3. Número de individuos afectados y no afectados por daño mecánico para cada tipo de cobertura, después de 3.27 meses de plantación.

Especie	Tratamiento					
	<i>Acacia melanoxylon</i>		<i>Eucalyptus globulus</i>		Mixto	
	Con daño	Sin daño	Con daño	Sin daño	Con daño	Sin daño
<i>Cedrela montana</i>	11	82	20	100	15	65
<i>Escallonia paniculata</i>	8	21	17	44	9	23
<i>Myrsine guianensis</i>	3	90	5	118	2	82
<i>Myrcianthes leucoxylla</i>	10	83	10	113	7	77

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

<i>Oreopanax incisus</i>	1	89	3	120	4	78
<i>Retrophyllum rospigliosii</i>	1	92	4	119	8	76
<i>Viburnum triphyllum</i>	16	77	21	101	13	70
Total	50	534	80	715	58	471
	(9,4%)	(90,6%)	(11,2%)	(88,8%)	(12,3%)	(87,7%)

Estructura de la plantación: La mayoría de los individuos plantados pertenecían a la clase de altura V (Figura 6). Se encontraron cambios de clase en *E. paniculata* de la clase VI a VII, *M. guianensis* de la clase V a VI y *O. incisus* de la clase III a IV. Por el contrario, la distribución diamétrica muestra que la mayoría de individuos se agrupó en la clase III y posteriormente en la clase IV. Por especie solamente se observan cambios en *V. triphyllum* de la clase III a la clase IV (Anexo 1) (Figura 5).

Al evaluar el incremento total en altura y en diámetro de los individuos plantados, se encontró que la especie con mayor incremento en altura fue *E. paniculata*, seguida por *M. leucoxylla*, mientras que, la especie con menor valor fue *C. montana* (Figura 4). Respecto al incremento del diámetro basal, este fue significativamente mayor en la cobertura de *E. globulus*, para la plantación en general, para *C. montana* y *M. leucoxylla*, mientras que, para las otras especies no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 4). Por otro lado, la especie con mayor incremento fue *R. rospigliosii*, seguida por *O. incisus*, mientras que la especie con menor valor fue *V. triphyllum* (Figura 4). Finalmente, respecto al incremento en diámetro de copa, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para ninguna especie ni para la plantación en general (Tabla 4). La especie con mayor diámetro de copa fue *V. triphyllum*, seguida por *M. guianensis* y *C. montana* (Figura 4).

Variaciones entre las coberturas: La caracterización de las coberturas muestra que *E. globulus* fue el tratamiento que se diferenció por poseer mayor acceso de luz al interior del sotobosque, y por

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

poseer menor depósito de necromasa fina en comparación con las demás coberturas, mientras que, la cobertura mixta se caracterizó por poseer menor acceso de luz y mayor cantidad de necromasa fina, aunque, con similares proporciones a la cobertura de *A. melanoxylon*.

Al realizar inferencia estadística entre los tratamientos (coberturas) respecto a la necromasa fina, pendiente y densidad de copa se encontró que tanto la necromasa fina como la densidad de copa tomada a una altura de 1.3 m (tomada por mayor contraste en resultados que a 0.5 m) fueron significativamente menores en la cobertura de *E. globulus* (Tabla 5). En contraste, la pendiente no mostró diferencias significativas entre sitios. En ese mismo sentido, estas variables fueron significativas para el aumento de diámetro basal de las especies *C. montana* y *M. leucoxylla* (Tabla 6).

Tabla 4. Incremento promedio en altura (cm), diámetro basal (mm) y diámetro de copa (cm) para la plantación en general y para cada una de las especies, referido a un periodo de estudio de 3,27 meses. Letras diferentes denotan diferencias significativas entre los tratamientos (Coberturas) de acuerdo al test de Welch James a un nivel de significancia de 0,05. Am: Cobertura de *Acacia melanoxylon*; Eg: Cobertura de *Eucalyptus globulus*; Mx: Cobertura mixta de especies exóticas.

Especie	Tratamiento	Incremento promedio		Incremento promedio		Incremento promedio	
		altura (cm)		diámetro basal (mm)		diámetro copa (cm)	
		$\bar{x} \pm \sigma$		$\bar{x} \pm \sigma$		$\bar{x} \pm \sigma$	
Plantación	Am	1.10 ± 1.70	a	0.20 ± 0.22	a	3.12 ± 3.58	a
	Eg	1.06 ± 1.37	ab	0.26 ± 0.27	b	2.97 ± 2.72	a
	Mx	1.37 ± 2.07	b	0.23 ± 0.21	a	3.26 ± 3.36	a
<i>Cedrela montana</i>	Am	0.49 ± 0.50	a	0.19 ± 0.15	a	3.27 ± 2.72	a
	Eg	0.51 ± 0.51	a	0.32 ± 0.28	b	3.21 ± 2.21	a
	Mx	0.70 ± 0.67	a	0.26 ± 0.26	ab	3.81 ± 2.46	a
<i>Escallonia paniculata</i>	Am	3.34 ± 2.56	a	0.18 ± 0.22	a	2.39 ± 1.76	a
	Eg	1.68 ± 1.40	a	0.18 ± 0.19	a	1.49 ± 1.03	a

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

	Mx	2.31 ± 2.17	a	0.21 ± 0.21	a	1.87 ± 1.51	a
	Am	1.21 ± 2.59	a	0.20 ± 0.27	a	4.53 ± 6.09	a
<i>Myrsine guianensis</i>	Eg	0.78 ± 0.88	a	0.20 ± 0.30	a	3.73 ± 3.68	a
	Mx	0.91 ± 0.86	a	0.19 ± 0.15	a	3.99 ± 4.18	a
	Am	1.77 ± 1.93	a	0.19 ± 0.16	a	2.68 ± 3.37	a
<i>Myrcianthes leucoxylla</i>	Eg	2.07 ± 2.06	a	0.28 ± 0.22	b	2.67 ± 2.44	a
	Mx	2.84 ± 3.15	a	0.22 ± 0.21	a	2.70 ± 3.58	a
	Am	1.00 ± 1.02	a	0.24 ± 0.28	a	2.53 ± 2.47	a
<i>Oreopanax incisus</i>	Eg	1.03 ± 1.00	a	0.29 ± 0.25	a	2.64 ± 2.74	a
	Mx	1.08 ± 1.36	a	0.25 ± 0.25	a	2.98 ± 3.38	a
	Am	0.74 ± 1.12	a	0.27 ± 0.19	a	1.80 ± 1.39	a
<i>Retrophyllum rospigliosii</i>	Eg	0.87 ± 1.32	a	0.38 ± 0.34	a	1.80 ± 1.29	a
	Mx	0.94 ± 1.35	a	0.31 ± 0.22	a	1.59 ± 1.03	a
	Am	0.68 ± 0.77	a	0.15 ± 0.19	a	4.13 ± 3.63	a
<i>Viburnum triphyllum</i>	Eg	0.83 ± 1.21	a	0.14 ± 0.16	a	4.27 ± 2.90	a
	Mx	1.31 ± 2.69	a	0.14 ± 0.14	a	4.95 ± 3.97	a

Tabla 5. Variables evaluadas entre tipos de cobertura de acuerdo al test de Kruskal-Wallis para pendiente, ANOVA para necromasa fina y regeneración, Welch-James para Tasa de mortalidad y Welch F para Densidad de Copa. Las letras diferentes denotan diferencias significativas entre las coberturas a un $p = 0.05$. Niveles de significancia evaluados: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$. Pndt: Pendiente, Nec: Necromasa fina, Dc: Densidad de copa. Am: Acacia melanoxylon; Eg: Eucalyptus globulus; Mx: Mixto.

Variable	p value	X ²	F	WF	df	Am	Eg	Mx
Pndt	0.4034	1.816	-	-	2	a	a	a
Nec	0.0106*	-	4.763	-	2	a	b	a
Dc	0.0007	-	-	8.064	2	a	b	a

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

Tabla 6. Valores *p* ajustados según método de Holm y Correlación de Spearman para los Incrementos significativos de la plantación y de las especies con respecto a las variables estudiadas. INC: Incremento; Alt: Altura; Db: Diámetro basal; DC Densidad de copa tomada a 1.3 m; NEC: Necromasa fina; PNDT: Pendiente.

Variable Criterio	INC	DC		NEC		PNDT	
		ρ Spearman	<i>p</i> Value	ρ Spearman	<i>p</i> Value	ρ Spearman	<i>p</i> Value
Plantación	Alt	-0.020	0.752	-0.050	0.117	-0.010	0.752
	Db	-0.200	<.0001	-0.200	<.0001	-0.030	0.199
<i>C. montana</i>	Db	-0.310	<.0001	-0.370	<.0001	-0.070	0.418
<i>M. leucoxylla</i>	Db	-0.270	<.0001	-0.210	.0009	-0.040	0.448

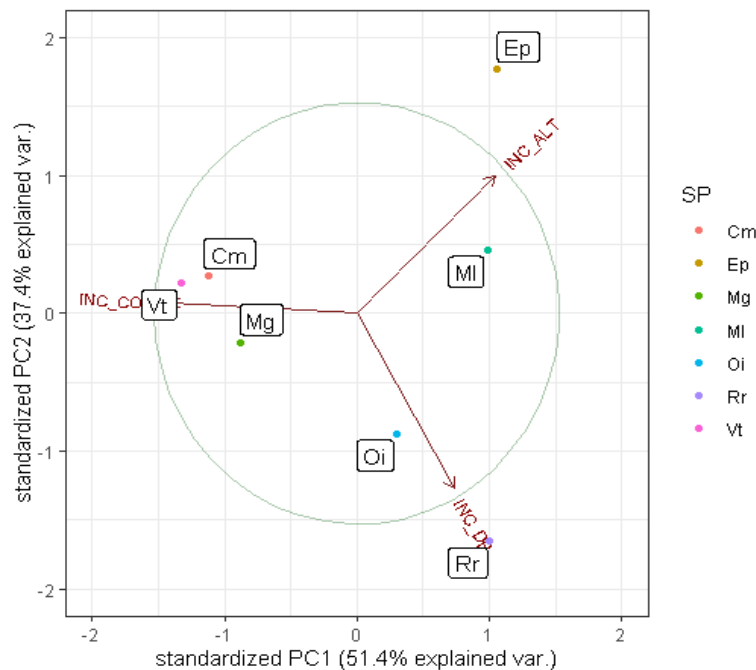


Figura. 4. Biplot de especies con respecto a los incrementos en altura, diámetro basal y copa: INC_ALT: Incremento en altura; INC:DB: Incremento en diámetro basal; INC_COP: Incremento en copa. Cm: *Cedrela montana*; Ep: *Escallonia paniculata*; Mg: *Myrsine guianensis*; MI: *Myrcianthes leucoxylla*; Oi: *Oreopanax incisus*; Rr: *Retrophyllum rospigliosii*; Vt: *Viburnum triphyllum*.

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

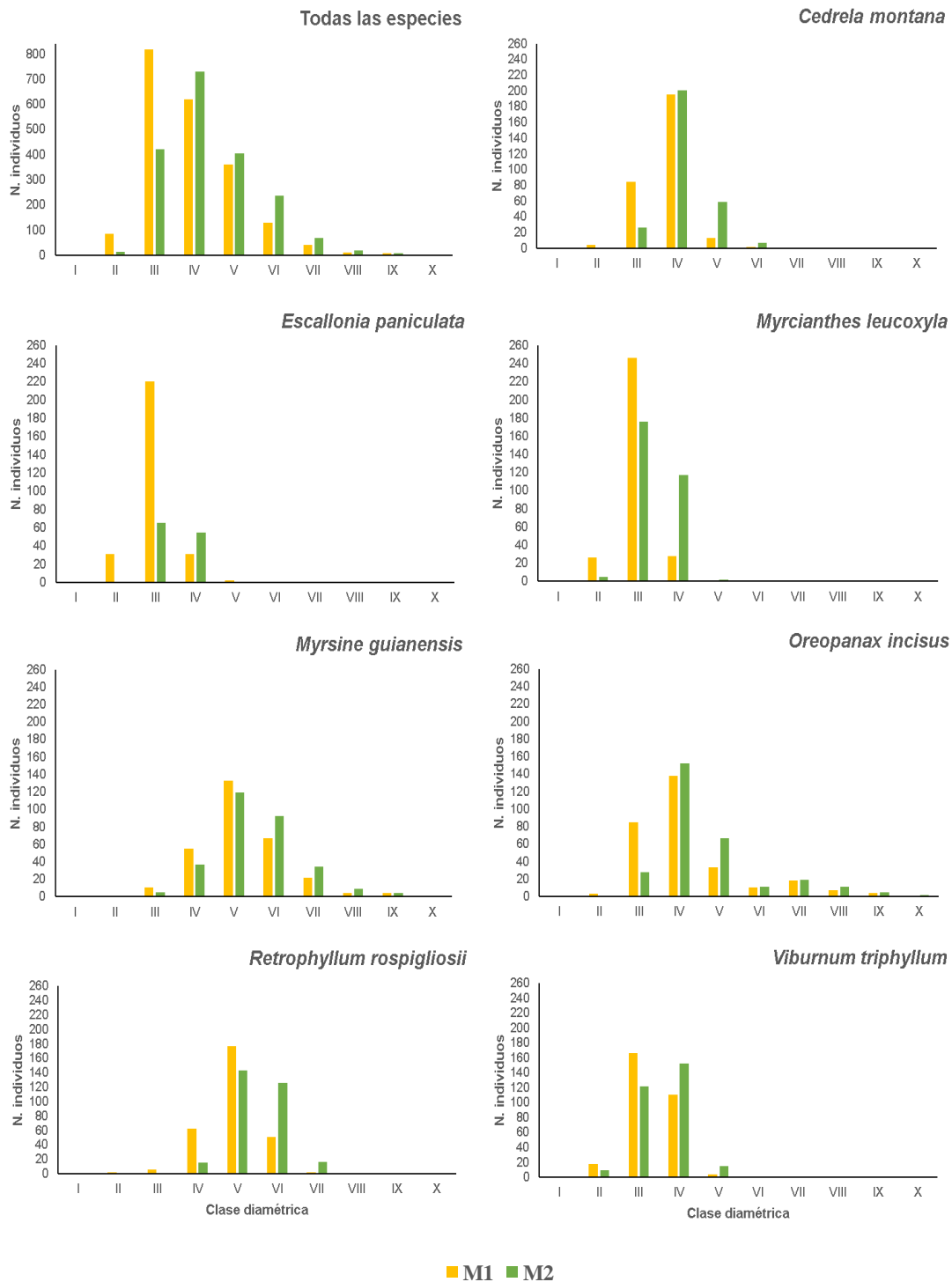


Figura. 5. Número de individuos por clase diamétrica para toda la plantación y para cada una de las especies. M1: Medición base o medición inicial; M2: Medición 2; I (0-2 mm), II (2-4 mm), III (4-6 mm), IV (6-8 mm), V (8-10 mm), VI (10-12 mm), VII (12-14 mm), VIII (14-16 mm), IX (16-18 mm), X (18-20 mm)

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

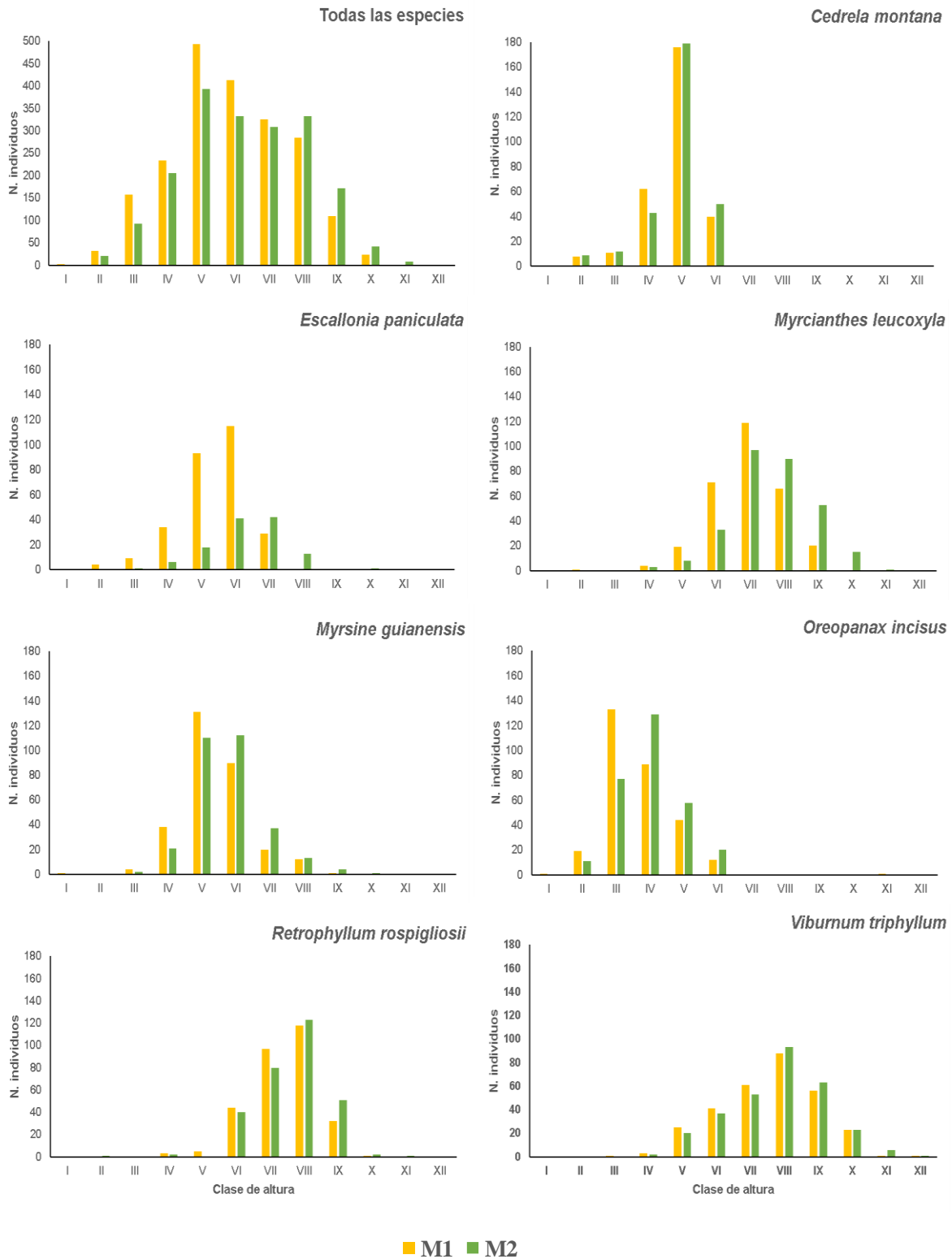


Figura. 6. Número de individuos por clase de altura para la plantación y para cada una de las especies. M1: Medición base o medición inicial; M2: Medición 2. I (0-10 cm), II (10-20 cm), III (20-30 cm), IV (30-40 cm), V (40-50 cm), VI (50-60 cm), VII (60-70 cm), VIII (70-80 cm), IX (80-90 cm), X (90- 100 cm), XI (100-110 cm), XII (110-120 cm)

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

Regeneración natural: Al analizar la aparición de renuevos en los diferentes tratamientos, se encontraron especies tanto exóticas como nativas (Anexo 2). En total, se identificó a nivel de especie el 68,75% de las cuales 19 de ellas eran exóticas y 14 nativas. De las exóticas 13 poseen carácter invasor. El área ocupada por la regeneración en la cobertura de *E. globulus* fue de 16,84 m² (41,4%), para *A. melanoxylon* fue de 13,06 m² (32,1%) y para la cobertura mixta fue de 10,78 m² (26,5%), en todos los casos tomando una representatividad de 30 núcleos por tratamiento.

Se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de regeneración natural entre tratamientos siendo mayor en *E. globulus*. En términos de las especies más frecuentes y dominantes por tratamiento, se encontró que para la cobertura de *A. melanoxylon* las especies más frecuentes fueron *Vinca major*, *Tradescantia fluminensis* y *A. melanoxylon* (Figura 7.). En contraste, en la cobertura de *E. globulus* las especies más frecuentes fueron *Pennisetum clandestinum*, *Tradescantia fluminensis* y *Genista monspessulana*. De manera similar, para la cobertura mixta se encontró como especies más frecuentes *Vinca major*, *Tradescantia fluminensis* y *Acacia melanoxylon* (Figura 7). En dominancia por tratamiento se encontraron para *A. melanoxylon* las especies *Pennisetum clandestinum*, *Tradescantia fluminensis* y *Vinca major*; bajo *E. globulus*, las especies *Pennisetum clandestinum*, *Muehlenbeckia tamnifolia* y *Vinca major*, mientras que bajo cobertura mixta se encuentran *Tradescantia fluminensis*, *Physalis peruviana* y *Vinca major* (Figura 7). Como especies nativas más frecuentes, en los tres tratamientos se presentó *Sphagnum sp* e *Hydrocotyle sp*, mientras que, como especies dominantes bajo cobertura de *E. globulus* se encontró *Muehlenbeckia tamnifolia* y bajo la cobertura mixta la especie *Physalis peruviana*.

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

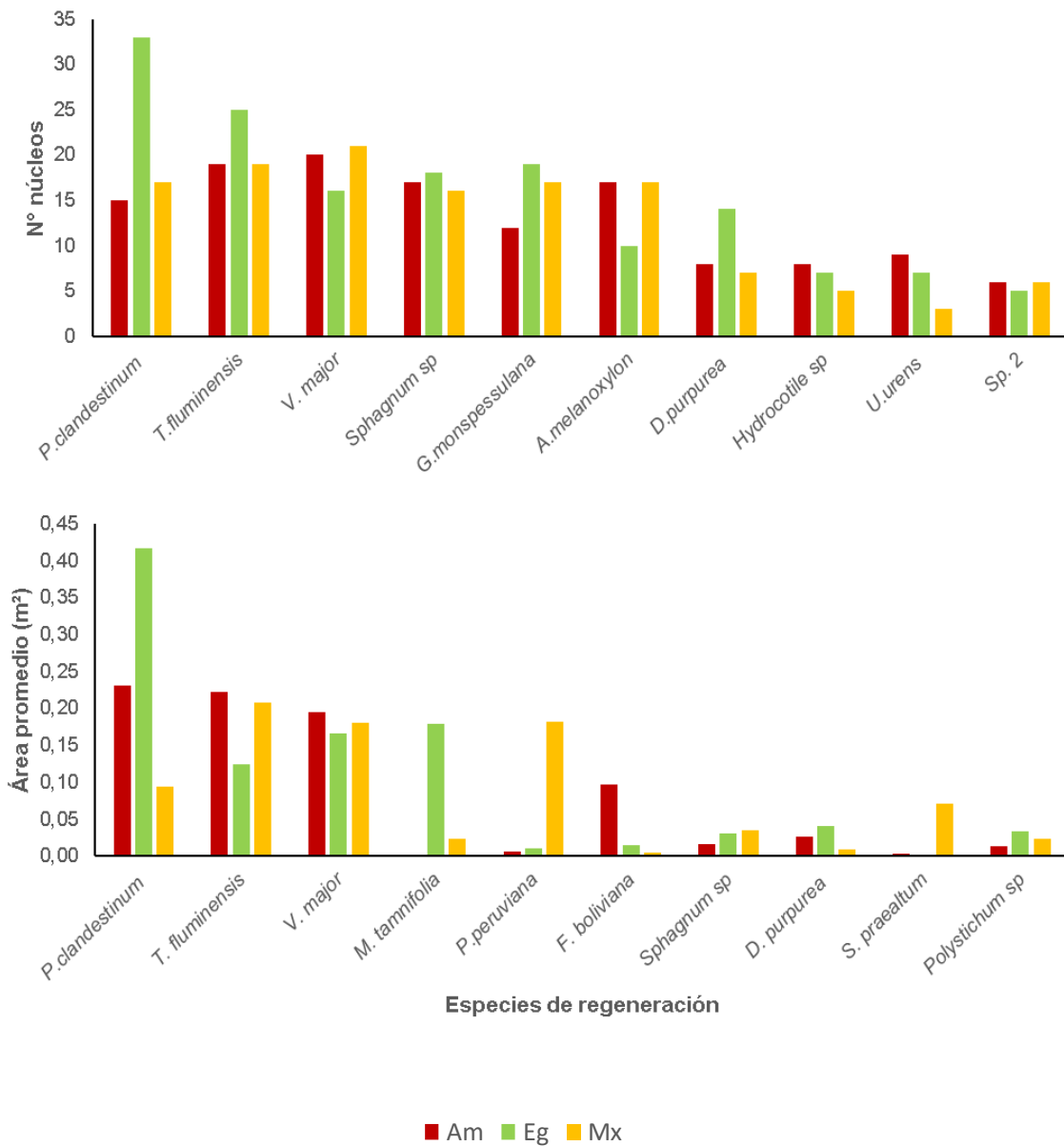


Figura 7. Especies de generación más frecuentes y dominantes por tipo de cobertura. Am: Cobertura de *Acacia melanoxylon*; Eg: Cobertura de *Eucaliptus globulus*; Mx: Cobertura mixta con especies exóticas.

4.5. DISCUSIÓN

Los resultados generales muestran que bajo la cobertura de *E. globulus* se presentó el mejor desempeño promedio de todas las plántulas evaluadas en términos de supervivencia y ganancia en diámetro basal. Más aun los desempeños de dos especies de las utilizadas en los arreglos como lo son *C. montana* y *M. leucoxylla* fueron positivamente significativos bajo esta cobertura. Las otras especies

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

utilizadas en los arreglos, aunque también mostraron un mejor desempeño en esta cobertura no arrojaron resultados significativos.

Estos resultados contrastan con nuestra hipótesis, en la que se esperaba que la cobertura de *A. melanoxylon* generara mejores desempeños puesto que, como afirma Rojas (2017), la especie tiene potencial de fijación de nitrógeno, lo que mejora las características del suelo, además, aporta una gran cantidad de materia orgánica. Tal parece que el mayor éxito en la cobertura de *E. globulus* está asociado a una mayor apertura del dosel y a una menor cantidad de necromasa fina en contraste con las otras coberturas (Tabla 5). Así, teniendo en cuenta que la mayoría de las especies de los arreglos son heliófitas, la gran apertura del dosel podría generar mayores crecimientos, sobre todo en área basal y diámetro (Barragán y Vargas, 2018; Cárdenas *et.al*, 2015), mientras que, en doseles más cerrados como el de *A. melanoxylon* y el de la plantación mixta, se generarían bajas tasas de crecimiento por la menor disponibilidad de luz por causa de un dosel cerrado (Guardía, 2004). Además, esta mayor disponibilidad de luz y menor efecto de necromasa fina, podría minimizar, el efecto que producen los fenoles y terpenos asociados al eucalipto sobre las otras plantas.

De todas formas, debido al corto tiempo de estudio durante el cual las especies no han respondido completamente a las condiciones de plantación y su entorno, podría ser que los desempeños en *A. melanoxylon* mejoren, considerando que no posee sustancias como resinas y fenoles que puedan ser agresivos con las especies plantadas. De igual manera, considerando que la disponibilidad de luz jugó un papel fundamental, es importante en la plantación de *Acacia* realizar aclareos moderados. No obstante, no se deben descartar mantenimientos y manejo en *Eucalipto* pues es en donde mayor daño físico se presentó, y en el mediano plazo podría repercutir en las tasas de supervivencia de las especies. Los resultados de diferencias en incremento de diámetro basal en tan sólo dos especies, puede ser explicado por el crecimiento acelerado de algunos individuos que suele equilibrarse generando crecimiento retardado en otros (Guardía, 2004).

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

Además del efecto de los tratamientos sobre los arreglos de restauración, también se presentaron diferencias en el desempeño de las especies, posiblemente por las estrategias particulares de cada una de ellas. Así, *E. paniculata* presentó el mayor incremento promedio en altura con 2,29 cm/mes. Esto es similar a lo reportado por Ramírez (2016) en el Parque Entre Nubes en Módulos de Restauración con un promedio de 3,36 cm/mes y por Romero y Carreño (2015) con un promedio de 2,93 cm/mes en cuatro zonas de Cundinamarca bajo Restauración asistida, lo que claramente confirma su potencial como especie de rápido crecimiento (Mahecha *et.al*, 2012). A pesar de lo anterior, fue la especie que presentó la mayor y muy alta tasa de mortalidad. Aunque un alto número de individuos murieron por daño mecánico, la CAR (2009) ha reportado que esta especie es exigente de buenos suelos, lo cual pudo ser la razón principal de la mortalidad al cambiar del suelo de vivero al suelo de la plantación in situ. En ese sentido, se recomienda realizar ensayos de este tipo de traslados y asociarlo a otras posibles variables que igualmente repercutan en su mortalidad.

Otra especie con muy buen rendimiento en altura fue *M. leucoxylla* con un IPA de 2,19 cm/mes, similar a lo reportado por Ramírez (2016) con un promedio de 2,29 cm/mes. Aunque esta especie había sido reportada como especie de crecimiento lento, la nubosidad del lugar pudo haber sido determinante en su mejor rendimiento, puesto que, de acuerdo con CORPOBOYACÁ (2017), se desarrolla bien en sitios de niebla.

En términos de los aumentos de diámetro, el mayor incremento se encontró para *R. rospigliosii* con 0,33 mm/mes, con incremento en diámetro y no en altura, por ser reportada como especie con bajo requerimiento de luz, haciéndola competitiva en el sotobosque (Cueva *et.al*, 2013).

En el incremento en diámetro de copa, las especies con mejores desempeños fueron *V. triphyllum*, seguida por *M. guianensis*. Lo anterior, puede ser explicado porque la especie *V. triphyllum* se caracteriza por poseer ramificación a baja altura, a su vez que sus ramas crecen de manera horizontal, aportando mayores dimensiones que otras especies sin excesiva ramificación. Por su parte, *M.*

guianensis es reportada como una especie con follaje denso y con ramas y ramitas largas, además es una especie que requiere abundante luz por lo que en la toma de datos se observaron tallos retorcidos que comprueban la búsqueda por el recurso, lo que ocasionó importantes aumentos en las dimensiones de proyección (Mahecha *et. al*, 2012).

Así como la cobertura de *E. globulus* mostró ser la más favorable para los desempeños de los arreglos plantados, también lo resultó para la llegada de especies provenientes por dispersión, lo que incluye con carácter invasor. Las especies exóticas que más se instalaron en las tres coberturas fueron *P. clandestinum*, *V. major*, y *T. fluminensis*. Sin embargo, como especies nativas, la que fue más dominante bajo *E. globulus* fue *M. tamnifolia* y bajo la cobertura mixta *P. peruviana*, ambas con carácter invasor.

4.6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En conclusión, el mejor desempeño general en supervivencia y en crecimiento lo obtuvo el tratamiento de cobertura de *E. globulus*, especialmente para el crecimiento en diámetro basal de las especies *C. montana* y *M. leucoxylla*, el cual se caracterizó por poseer mayor apertura de dosel y menor cantidad de necromasa fina. La especie con mayor mortalidad fue *E. paniculata* especialmente bajo cobertura mixta, a su vez, que fue una de las que presentó mayor afectación por daño mecánico especialmente bajo cobertura de *E. globulus*. Independientemente de los tratamientos, se evidenciaron incrementos en el crecimiento propios de cada especie como respuesta a estrategias de supervivencia, en altura para la especie *E. paniculata*, en diámetro basal para *R. rospigliosii* y en diámetro de copa para *V. triphyllum*.

Finalmente, el estudio demostró que el buen desempeño demostrado bajo cobertura de *E. globulus* para las plántulas, también fue propicio para el asentamiento de especies exóticas y nativas con carácter invasor. En ese sentido, y dada la alta llegada de especies invasoras tanto exóticas como

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

nativas, es fundamental hacer manejo forestal, continuo y labores de erradicación para evitar que se pierdan los esfuerzos de la plantación en los arreglos.

Los resultados indican que debe continuarse con el monitoreo realizado en el área de estudio, posiblemente involucrando otras variables que puedan explicar mejor el comportamiento de las especies, tales como hojarasca, temperatura, precipitación interna, suelos, sanidad y/o estado fisiológico de los individuos, además, de caracterizar de manera más específica las coberturas con las especies de estratos más bajos y que interactúan como acompañantes de las plántulas, como *Verbesina arbórea* Kunth, *Piper bogotense* C.DC., *Pittosporum undulatum* Vent. y demás que son muy frecuentes en la zona, lo que podría generar una percepción más amplia del ecosistema en proceso de restauración.

Para futuros proyectos de restauración ecológica en ecosistemas similares al estudiado, se recomienda implementar las especies evaluadas, puesto que en general el comportamiento fue efectivo, salvo por la especie *E. paniculata* la cual requiere mayores cuidados previos a la plantación.

4.7. AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento al Convenio C-004-2019, suscrito entre el Jardín Botánico de Bogotá y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, por la oportunidad de realizar mi trabajo de grado en el proyecto de Restauración ecológica llevado a cabo en el APIRE Venado de Oro, especialmente a sus representantes Jefferson Matoma y Mauricio Aguilar, respectivamente. Agradezco por los recursos aportados para la realización del trabajo de grado y por el acompañamiento en campo de sus operarios en el tiempo transcurrido y adicionalmente por la información suministrada para el producto escrito. Agradezco a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por ser el vínculo para la realización de la pasantía y de igual manera a mis directores

Ángela Parrado y Mauricio Aguilar por su compromiso en la revisión continua del proceso de la misma y por su acompañamiento en la redacción de este trabajo.

5. CONCLUSIÓN GENERAL

El trabajo realizado mediante esta pasantía fue fundamental para el programa de monitoreo en el experimento de Restauración ecológica, puesto que, da una primera visión de cómo la cobertura de plantaciones forestales exóticas está interactuando con las especies nativas plantadas y que variables relacionadas a las coberturas son las que obtuvieron influencia en su supervivencia y crecimiento. Adicionalmente se muestra la primera respuesta que han tenido las plántulas a las condiciones del sitio, lo que contribuye a que se tomen decisiones para mejorar los desempeños en supervivencia y crecimiento de los individuos. Se identificó cuáles fueron las especies óptimas en el proceso y cuales podrían cambiarse o darse un manejo especial para mejorar los resultados. Finalmente se proponen soluciones frente a las problemáticas evidenciadas tal como la atracción de especies invasoras, las cuales requieren continuo monitoreo y manejo para evitar que se pierdan los esfuerzos alcanzados.

6. BIBLIOGRAFIA

Aguilar, M. y Ramírez, W. (eds.) (2015). Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAVH). Bogotá D.C., Colombia. 250 pp.

Aguilar, M., Isaacs, P. y Núñez, O. (2016). Ecología del fuego y caracterización ecológica general de áreas afectadas por incendios de la cobertura vegetal en el Macizo de Iguaque, Villa de Leyva, Boyacá. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Barragán, L. y Vargas, J. (2018). Estructura poblacional de las especies *Cedrela montana* & *Cedrela odorata* presentes en la jurisdicción de Corpoguavio. Trabajo de grado en modalidad de pasantía. Corporación Autónoma Regional del Guavio, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Beltrán, H. y Barrera, J. (2014). Caracterización de invasiones de *Ulex europaeus* L. de diferentes edades como herramienta para la restauración ecológica de bosques altoandinos, Colombia. *Biota Colombiana* 15 (Suplemento 2): 3.26.

Camargo, G. y Salamanca, B. (2000). Protocolo distrital de restauración ecológica. Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente. DAMA, Bogotá D.C., Colombia.

CAR (2009). Adecuación Hidráulica y Recuperación Ambiental Río Bogotá, ANEXO 6: Memoria Urbano paisajística. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.

CAR (2016). Modificación al Plan de Manejo Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca- CAR, Bogotá D.C.

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

Cárdenas, D., Castaño, N., Sua, S. y Quintero, L. [et.al] (2015). Planes de Manejo para la Conservación de Abarco, Caoba, Cedro, Palorosa, y Canelo de los Andaquíes. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas- SINCHI. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Consorcio Río Garagoa (2016). Actualización POMCA Río Garagoa. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica. Fase de Diagnóstico 3.6 Pendientes. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Recuperado de: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5c1a9ff24fef0.pdf>

CORPOBOYACÁ (2017). Capítulo I: Descripción de las especies vegetales producidas en los viveros de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá- CORPOBOYACÁ. Tomado de: https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2016/01/CAPITULO_I_DESCRIPCION_DE_LAS_ESPECIES_VEGETALES_PRODUCIDAS_EN_LOS_VIVEROS_DE_LA_CORPORACION_AUTONOMA_REGIONAL_DE_BOYACA-_CORPOBOYACA.pdf

Cortés, S., T. Van Der Hammen, y O. Rangel-Ch. (1999). Comunidades vegetales y patrones de degradación y sucesión en la vegetación de los cerros occidentales de Chía - Cundinamarca - Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias 23(89): 529-554.

Cuatrecasas, J. (1984). Observaciones geobotánicas en Colombia. Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales. Serie botánica 27: 1-144. Madrid.

Cueva, M., Vélez, D., Barrios, T. y Nieto, R. (2013). Pino romerón [*Retrophyllum rospigliosii* (Pilger) C.N. Page], especie nativa potencial para la reforestación en zonas altoandinas de Colombia. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Colegio Integrado Nacional Oriente de Caldas (CINOC). Bogotá D.C., Colombia. 47 p.

Dag, O., Dolgun, A., Konar, N., Weerahandi, S. y Ananda, M. (2019). Package ‘onewaytest’ versión 2.4. <https://cran.r-project.org/web/packages/onewaytests/onewaytests.pdf>

Delgado, S.; Alliaume, F., García Préchac, F. y Hernández, J. (2006). Efecto de las plantaciones de Eucalyptus sp. sobre el recurso suelo en Uruguay. *Agrociencia*, 10(2): 95-107.

Etter, A., McAlpine, C. y Possingham, H. (2008). Historical Patterns and Drivers of Landscape Change in Colombia Since 1500: A Regionalized Spatial Approach, *Annals of the Association of American Geographers*, 98:1, 2-23.

Etter, A., Andrade, A., Saavedra, K., Amaya, P. y Arévalo, P. (2017). Estado de los Ecosistemas Colombianos: una aplicación de la metodología de la Lista Roja de Ecosistemas (Vers 2.0). Informe final. Pontificia Universidad Javeriana y Conservación Internacional Colombia. Bogotá. 138 pp.

González-Tokman, D. M., Barradas, V. L., Boege, K., Domínguez, C. A., del-Val, E., Saucedo, E., Martínez-Garza, C. (2018). Performance of 11 tree species under different management treatments in restoration plantings in a tropical dry forest. *Restoration Ecology*, 26, 642–649.

Guio Cortés, L., Solorza Bejarano, J., y Leal Mejía, L. (2015). Restauración ecológica en plantaciones forestales de Eucalyptus globulus Labill y Acacia melanoxylon R. Br. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(2), 145 - 156.

Guardia, S. (2004). Dinámica y efectos de un tratamiento silvicultural en el bosque secundario “Florencia”, San Carlos, Costa Rica. Tesis de Postgrado, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación Escuela de Posgrado. Turrialba, Costa Rica.

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

Husson, F., Josse, J., Le, S. y Mazet, J. (2019). FactomineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining. R package version 1.42.

Mahecha, G., Ovalle, A., Camelo, D., Rozo, A. y Barreno, D. (2012). Vegetación del Territorio CAR, 450 especies de sus llanuras y montañas. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR.

Mendiburu, F. (2019). Agricolae. R package version 1.3-1. <https://cran.r-project.org/web/packages/agricolae/agricolae.pdf>

Meza C. (2008). Urbanización, conservación y ruralidad en los Cerros Orientales de Bogotá. Rev. Colomb. Antropol.44(2):439-480.

Montoya, S. (2004). Guía técnica para la restauración ecológica en áreas con plantaciones forestales exóticas en el Distrito Capital. Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente- DAMA, Bogotá D.C, Colombia. 92 p

Ocampo, K. (2018). La restauración ecológica en escenario de invasión biológica en ecosistemas altoandinos, abordaje desde el Jardín Botánico de Bogotá. En: Pinzón- García P M. et al, editores. Libro de Memorias del III Congreso Colombiano de Restauración Ecológica. Red Colombiana de Restauración Ecológica. Bogotá, Colombia. p. 129-141.

Ocampo, K. (2019). Modelo descriptivo de restauración ecológica en zonas afectadas por incendios forestales e invasión de retamo espinoso en los Cerros Orientales de Bogotá. Acta biol. Colomb.;24(1):1-12.

Poore, M. & Fries, C. (1987). Efectos ecológicos de los eucaliptos. FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/ap415s/ap415s00.pdf>.

Producto 1 del contrato 242- 2019. Documento final de la información, primaria y secundaria, relacionada con los componentes físico, biológico- ecológico, modelo conceptual, histórico de intervención e implementación, balances financieros, registros fotográficos y demás información relevante del APIRE Venado de Oro. Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Bogotá D.C, Colombia.

Ramírez, D. (2016). Análisis comparativo de arreglos florísticos utilizados en módulos de restauración. Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C, Colombia.

Robinson, G., Betancur, J. y Cadena, J. (2003). Estructura y composición florística de cuatro bosques andinos del Santuario de Flora y Fauna Guanentá-Alto Río Fonce, Cordillera Oriental colombiana. *Caldasia*, 25(2), 313-335.

Rojas, S. (2017). Estructura y composición florística de la vegetación en proceso de restauración en los Cerros Orientales de Bogotá (Colombia). *Caldasia*, 39(1), 124-139.

Romero, J. y Carreño, C. (2015). Establecimiento y medición de parcelas para el seguimiento y monitoreo de la vegetación en 4 zonas de Cundinamarca bajo Restauración Asistida (Villapinzón, Bojacá, Granada y Usme). Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C, Colombia.

Sánchez, J. y Zerecero, G. (1983). Método práctico para calcular la cantidad de combustibles leñosos y hojarasca. Nota Divulgativa No. 9. CIFONOR, INIF, SARH. México. 14 pp.

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

Sandoval, N. (2016). Capacidad de regeneración natural del bosque esclerófilo de Chile central después de distintas frecuencias de incendios. Trabajo de grado, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.

Sheil, D., Burslem, D. & Alder, D. (1995). The interpretation and misinterpretation of mortality rate measures. *Journal of Ecology* 83:331-333.

Torres, N. y Vargas, O. (2011). Banco de semillas germinable en áreas invadidas por retamo espinoso (*Ulex europaeus*) con diferentes edades de quema (alrededores del Embalse de Chisacá, Bogotá, Localidad de Usme). En Vargas O, Reyes S, editores. *La Restauración Ecológica en práctica: Memorias del I congreso Colombiano de Restauración Ecológica y II Simposio Nacional de experiencias en Restauración Ecológica*. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. p. 491-502.

Van Der Hammen, T. (1998). Plan Ambiental de la Cuenca Alta del Río Bogotá. Análisis de la problemática y soluciones recomendadas. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR. Bogotá. 107 pp.

Velasco, P. y Vargas, O. (2008). Problemática de los Bosques Altoandinos. Estrategia para la restauración ecológica de los bosques altoandinos, edición 2, Universidad Nacional de Colombia.

Villacorta, P. (2019). Package ‘welchADF’ versión 0.3.2.
<https://cran.rproject.org/web/packages/welchADF/welchADF.pdf>

Wey, T (2017). Package ‘corrplot’ versión 0.84.
<https://cran.rproject.org/web/packages/corrplot/corrplot.pdf>

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

Xelhuantzi, J., Flores, J. & Chávez, A. (2011). Análisis comparativo de cargas de combustibles en ecosistemas forestales afectados por incendios. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, vol. 2, núm. 3, enero-febrero, 2011, pp. 37-52, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México.

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

7. ANEXOS

Anexo 1. Distribución diamétrica (mm), y por altura (cm) para cada una de las especies y para la plantación en general. M1: Medición base o inicial, M2: Medición 2.

CLASE DIAMETRICA															
Especie		<i>C. montana</i>		<i>E. paniculata</i>		<i>M.leucoxylla</i>		<i>M.guianensis</i>		<i>O. incisus</i>		<i>R.rospiglosii</i>		<i>V. triphyllum</i>	
Clase	Rango (mm)	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
I	0-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
II	2-4	4	0	31	1	26	5	1	0	3	0	2	0	18	9
III	4-6	84	26	220	65	246	176	11	5	85	28	6	0	166	122
IV	6-8	195	201	31	55	28	117	55	37	138	152	62	15	111	152
V	8-10	13	59	2	1	0	2	133	119	33	67	177	143	4	15
VI	10-12	1	7	0	0	0	0	67	92	10	11	51	126	0	0
VII	12-14	0	0	0	0	0	0	22	34	18	19	2	16	0	0
VIII	14-16	0	0	0	0	0	0	4	9	7	11	0	0	0	0
IX	16-18	0	0	0	0	0	0	4	4	4	5	0	0	0	0
X	18-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
TOTAL		297	293	284	122	300	300	297	300	298	295	300	300	300	298

CLASE DE ALTURA															
Clase	Rango (cm)	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
I	0-10	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
II	10-20	8	9	4	0	1	0	0	0	19	11	0	1	0	0
III	20-30	11	12	9	1	0	0	4	2	133	77	0	0	1	0
IV	30-40	62	43	34	6	4	3	38	21	89	129	3	2	3	2
V	40-50	176	179	93	18	19	8	131	110	44	58	5	0	25	20
VI	50-60	40	50	115	41	71	33	90	112	12	20	44	40	41	37
VII	60-70	0	0	29	42	119	97	20	37	0	0	97	80	61	53
VIII	70-80	0	0	0	13	66	90	12	13	0	0	118	123	88	93
IX	80-90	0	0	0	0	20	53	1	4	0	0	32	51	56	63
X	90-100	0	0	0	1	0	15	0	1	0	0	1	2	23	23
XI	100-110	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	6

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

XII	110-120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
TOTAL		297	293	284	122	300	300	297	300	299	295	300	300	300	298

Anexo 2. Especies de regeneración, frecuencia de núcleos, área (m²), origen y reporte de invasión

Especie	Frecuencia núcleos	Área (m ²)	Origen	Invasión
<i>Acacia melanoxylon</i> R.Br.	44	0.209	E	Invasora
<i>Asplenium monanthes</i> L.	2	0.007	E	No invasora
ASTERACEAE	3	0.004	N	-
<i>Baccharis latifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	1	0.004	N	No invasora
<i>Bocconia frutescens</i> L.	6	0.019	N	No invasora
<i>Cestrum nocturnum</i> L.	2	0.043	E	Invasora
<i>Cestrum</i> sp.	8	0.138	-	-
<i>Cordia cylindrostachya</i> (Ruiz & Pav.) Roem. & Schult.	1	0.011	N	No invasora
<i>Cupressus</i> sp.	1	0.001	E	Invasora
<i>Digitalis purpurea</i> L.	29	0.844	E	Invasora
<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist	3	0.033	E	Invasora
<i>Fragaria vesca</i> L.	1	0.003	E	No invasora
<i>Fuchsia boliviana</i> Carrière	4	0.214	E	No invasora
<i>Genista monspessulana</i> (L.) L.A.S. Johnson	48	0.153	E	Invasora
<i>Heliotropium</i> sp.	1	0.033	N	-
<i>Hydrocotyle</i> sp.	20	0.108	N	No invasora
<i>Hypochaeris radicata</i> L.	3	0.013	E	No invasora
<i>Kalanchoe</i> sp.	3	0.051	E	Invasora
<i>Miconia squamulosa</i> Triana	2	0.011	N	No invasora
Morfoespecie 1	1	0.004	-	-
Morfoespecie 2	17	0.046	-	-
Morfoespecie 3	1	0.001	-	-

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

Morfoespecie 4	1	0.001	-	-
<i>Muehlenbeckia tamnifolia</i> (Kunth) Meisn.	4	0.561	N	Invasora
<i>Oreopanax incisus</i> (Willd. ex Schult.) Decne. & Planch.	1	0.004	N	No invasora
<i>Oxalis medicaginea</i> Kunth	15	0.087	N	No invasora
<i>Palicourea</i> sp.	1	0.001	N	No invasora
<i>Pennisetum clandestinum</i> Hochst. ex Chiov.	65	18.826	E	Invasora
<i>Persicaria nepalensis</i> (Meisn.) Miyabe	9	0.068	E	Invasora
<i>Physalis peruviana</i> L.	7	0.238	E	Invasora
<i>Piper bogotense</i> C.DC.	8	0.036	N	No invasora
PLANTAGINACEAE	1	0.005	-	Invasora
<i>Pleopeltis macrocarpa</i> (Bory ex. Willd.) Kaulf.	5	0.057	N	No invasora
<i>Polystichum</i> sp.	15	0.356	N	No invasora
<i>Rubus ulmifolius</i> Schott	14	0.300	E	Invasora
<i>Rumex obtusifolius</i> L.	1	0.002	E	Invasora
<i>Salvia palifolia</i> Kunth	7	0.240	N	No invasora
<i>Sedum praealtum</i> A.DC.	2	0.074	E	No invasora
<i>Smallanthus pyramidalis</i> (Triana) H. Rob.	1	0.006	N	No invasora
<i>Solanum</i> sp.	2	0.058	N	Invasora
<i>Sphagnum</i> sp.	51	1.384	N	No invasora
<i>Stenorrhynchos speciosum</i> (Jacq.) Rich.	5	0.035	N	No invasora
<i>Taraxacum officinale</i> (L.) Weber ex F.H. Wigg	1	0.011	E	Invasora
<i>Tradescantia fluminensis</i> Vell.	63	11.284	E	Invasora
<i>Urtica urens</i> L.	19	0.304	E	No invasora
<i>Vallea stipularis</i> L.f.	1	0.005	N	No invasora
<i>Verbesina arborea</i> Kunth	5	0.081	N	No invasora
<i>Vinca major</i> L.	57	10.329	E	Invasora

Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá

Anexo 3. Script de R programado en el desarrollo del estudio

https://github.com/AlejandraPaolaT/Monitoreo_Bosque_Altoandino