UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Estrategias para incrementar la funcionalidad de las aves en la restauración ecológica de bosques subandinos

Néstor Alirio Peralta Zapata

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Departamento de Biología
Bogotá, Colombia
2016

Estrategias para incrementar la funcionalidad de las aves en la restauración ecológica de bosques subandinos

Néstor Alirio Peralta Zapata

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ciencias - Biología

Director.
M Sc. Biólogo Orlando Vargas Ríos

Línea de Investigación:
Ecología
Grupo de Investigación:
Grupo de Restauración Ecológica de la Universidad Nacional de Colombia (GREUNAL)

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Departamento de Biología
Bogotá, Colombia
2016

A Dios y a su fiel representante en la tierra, la madre naturaleza. Que este trabajo sea útil para recuperar varios espacios naturales en compañía de las aves.

Agradecimientos

Quiero agradecer especialmente a la familia Lascano-Castillo y a la comunidad Cunyama por facilitarme las condiciones logísticas que me permitieron desarrollar esta investigación. Agradezco a mis asistentes de campo durante el trabajo: Andrea Zuleta, Luis Miguel Londoño, Víctor Ladino, Johana Peralta-Zapata, Luz Zapata-Torres, Gina Díaz, Liz Ávila, Paola Triviño, Diego Cabrera, Felipe Santodomingo y Camilo Fajardo. También agradezco a las personas que me colaboraron en la corrección y ajuste del documento: Ángela María Amaya, Laura Victoria Pérez, Nathalie Morales, Néstor Espejo. De manera similar, quiero dar un especial agradecimiento a Eduardo Lascano Castillo, ya que su colaboración fue fundamental para realizar exitosamente el montaje y el monitoreo de la investigación. De igual manera, quiero agradecer especialmente al biólogo botánico Francisco Fajardo, por su asesoría en la parte de vegetación y sus consejos oportunos en los momentos precisos. Además, le doy las gracias a mi familia por el apoyo incondicional en el proceso y a los profesores Orlando Vargas, Hugo López y Karen Holl por sus sugerencias para el desarrollo de esta investigación.

Finalmente, pero no menos importante, quiero agradecer al Departamento Administrativo de Ciencia y Tecnología (Colciencias), con su programa Jóvenes Innovadores e Investigadores 2013, y a la Fundación Alejandro Ángel Escobar, con su programa de becas Colombia Biodiversa 2013, ya que sin su financiación hubiera sido imposible realizar esta investigación.

Resumen

Aumentar el establecimiento de plantas dispersadas por aves bajo perchas artificiales ubicadas en zonas degradadas podría ser un factor clave para incrementar la funcionalidad de las aves en los procesos de restauración ecológica. Sin embargo, pocas investigaciones en el Neotrópico estudian este establecimiento. El objetivo de este estudio fue evaluar bajo las perchas artificiales el efecto sobre el establecimiento de plantas dispersadas por aves que tenían tratamientos como la presencia de vegetación pionera, el control de la herbivoría, la disposición espacial de las perchas y diferentes características de las coberturas vegetales cercanas a estas perchas. Se instalaron 40 perchas, algunas agrupadas y otras aisladas en pastizales cercanos a bosques sub-andinos. A estas perchas se les aplicaron los diferentes tratamientos. Al cabo de un año, se establecieron 442 individuos de 24 especies de plantas dispersadas por aves, la mayoría de los cuales eran de sucesiones vegetales intermedias. Se registraron 72 individuos de 29 especies de aves visitando las perchas artificiales, en su mayoría insectívoros-frugívoros que forrajean en áreas degradadas. Las variables del paisaje fueron las que más explicaron la cantidad de plantas establecidas, entre ellas, la altura del árbol más cercano a las perchas, la cantidad de cobertura de arbustos y la distancia de las perchas a los arbustos, las cuales explicaron un 71 % de la variabilidad. Sin embargo, la influencia de las variables del paisaje sobre la funcionalidad de las perchas podría ser contrarrestada si no se tienen en cuenta las posibles interacciones de competencia y facilitación que pueden tener las plantas dispersadas por aves, así como los requerimientos intrínsecos para el desarrollo de las semillas dispersadas.

Palabras clave: aves frugívoras, dispersión de semillas, establecimiento de plantas, perchas artificiales, sucesión vegetal, restauración ecológica.

Abstract

Establishment of bird-dispersed plants under artificial perches in degraded areas is a key factor for increase bird functionality in restoration processes but few studies in the Neotropic approach to this topic. The aim of this study was testing the effects of different treatments like presence of pioneer vegetation, herbivory control, spatial distribution of artificial perches and plant cover in the establishment of bird-dispersed plants. Forty perches were placed clustered or scattered in pastures surrounded by sub-andean forests in Colombia and then, different treatments were applied. A year later, 442 individuals were recruited from 24 plant species dispersed by birds; most of them were woody plants and plants belonging to intermediate stages of succession. While, 72 individuals from 29 bird species were registered visiting the artificial perches, most of them insectivorous-frugivorous birds that mainly forage in degraded areas. In addition, the variables that better explained the establishments of plants were, the nearest tree highness, the amount of remanents shrubs and the perches distance to shrubs remanents. These variables explained at least 71 % of the variability found. However the influence of the landscape variables can be counteracted if not taken into account the seed requirements for germination and the interactions like competition and facilitation for the bird-dispersed seedlings.

Key words: frugivore birds, seed dispersion, plant establishment, artificial perches, plant succession, restoration ecology.

Tabla de contenido

Resumen V

Abstract VI

1. Marco Conceptual 5

2. Métodos 10

2.1 Área de estudio 10

2.2 Diseño experimental 11

2.2.1 Selección de sitios de trabajo, remoción de pastos y expresión del banco de semillas 11

2.2.2 Adecuación de los sitios para el establecimiento del diseño experimental 12

2.2.3 Monitoreo de las plántulas que provienen de la dispersión de semillas 15

2.2.4 Monitoreo de la avifauna 15

2.3 Análisis de datos 15

2.4 Características ecológicas de las especies de plantas y aves 17

3. Resultados 19

3.1 Características de las plantas establecidas 19

3.2 Establecimiento de individuos de plantas dispersadas por aves 22

3.3 Establecimiento de especies de plantas dispersadas por aves 26

3.4 Características de las aves que visitaron las perchas artificiales 27

3.5 Individuos de aves que visitaron las perchas artificiales 29

3.6 Especies de aves en las perchas artificiales 30

3.7 Plantas provenientes del banco de semillas y su relación con las plantas establecidas bajo las perchas artificiales 32

4. Discusión 35

4.1 Consideraciones generales 35

4.2 Características de las plantas establecidas y de las aves que visitan las perchas artificiales 36

4.3 Distribución espacial de las perchas, presencia de vegetación pionera y control de herbívoros 37

4.4 Vegetación circundante a las zonas de instalación de las perchas artificiales 38

5. Conclusiones y recomendaciones 40

5.1 Conclusiones 40

5.2 Recomendaciones 41

Bibliografía 47

Lista de figuras

Figura 1. Diferentes diseños de perchas utilizadas en McDonnell & Stiles (1983) para medir la atracción de las aves y la dispersión de semillas a las zonas degradadas 8

Figura 2. Ubicación geográfica del área en donde se realizó el estudio, junto con el mapa de coberturas aproximadas y los sitios de instalación de las perchas en la reserva Sinaí 11

Figura 3. Ejemplo de los sitios de instalación de las perchas artificiales 12

Figura 4. Ejemplo del nivel de tratamiento vegetación pionera para perchas agrupadas. 13

Figura 5. Percha aislada con barrera para impedir el paso de mamíferos rastreros no fosoriales. 14

Figura 6. Ejemplo de los cuatro transectos de 20 m. trazados en dirección de los puntos cardinales para medir la cobertura de la vegetación alrededor de las perchas artificiales 14

Figura 7. Distribución de la abundancia de las especies de plantas dispersadas por aves que se establecieron 20

Figura 8. Análisis de agrupación según los rasgos de vida de las especies de plantas dispersadas por aves 21

Figura 9. Número de individuos establecidos según los niveles del tratamiento vegetación pionera 24

Figura 10. Influencia del tamaño de los árboles cercanos a las perchas artificiales sobre el número de individuos (± D.E) 25

Figura 11. Efecto de la interacción entre la distancia de las perchas a la cobertura de arbustos y la cantidad de arbustos cerca de las perchas, sobre el número de plantas establecidas proveniente de la dispersión de semillas de las aves. 25

Figura 12. Curvas de acumulación para el número de especies de plantas observadas y esperadas para un área de 16 m^2, según el estimador Chao 1. 26

Figura 13. Número de especies establecidas bajo las perchas aisladas en los niveles del tratamiento con vegetación pionera 27

Figura 14. Gremios alimenticios según las áreas preferidas de alimentación de los individuos de aves que visitaron las perchas artificiales 28

Figura 15. Variables que influenciaron el número corregido de individuos de aves que visitan las perchas 29

Figura 16. Proporción de individuos de aves que visitan las perchas aisladas y agrupadas según sus hábitos de

forrajeos 30

Figura 17. Curvas de acumulación para el número de especies de aves observadas y esperadas que visitan ocho perchas artificiales, según el estimador Chao 1.....31

Figura 18. Influencia de la cobertura de arbustos cerca de las perchas sobre la cantidad de especies de aves que visitan las perchas agrupadas. 32

Figura 19. a. Número de plantas establecidas durante los ocho meses de expresión del banco de semillas y a los ocho meses siguiente de la instalación de las perchas (Prueba *t* pareada: t = 4,5473; g.l = 7; *Valor p* = 0,003) b. Número de especies encontradas a los ocho meses de expresión del banco de semillas y a los ocho meses siguientes a la instalación de las perchas (Prueba *t* pareada: t = 6,4943; g.l= 7, *Valor p* = 0,0003). 33

Figura 20. Número total de individuos de plantas leñosas que se establecieron al expresarse el banco de semillas y después de instalar las perchas artificiales 33

Figura 21. Número de individuos establecidos después de ocho meses de muestreo de las especies de plantas que se encontraron tanto en el banco de semillas como después de instalar las perchas artificiales 34

Lista de tablas

Tabla 1 Especies de plantas dispersadas por aves que lograron establecerse en los cuadrantes estudiados. 20

Tabla 2 Especies que conforman los grupos funcionales y estrategias de historias de vida que agrupan a las especies....21

Tabla 3 Resultados de los análisis estadísticos del número de individuos de plantas establecidos corregidos por el área y para el número de individuos de plantas en las perchas agrupadas y en las perchas aisladas, que indican el resultado del estadístico de prueba respectivo (z, o F) y del valor p. 23

Tabla 4 Resultados estadísticos para el número de especies de plantas establecidas. 26

Tabla 5 Especies de aves que se registraron usando las perchas artificiales con su grupo trófico y su lugar de forrajeo predilecto....27

Tabla 6 Resultados estadísticos para el número de individuos de aves frugívoras que visitaron las perchas artificiales....29

Tabla 7 Resultados estadísticos para explicar el número de especies de aves que visitaron las perchas artificiales....31

Introducción

En los pastizales degradados del Neotrópico, la escasez en la dispersión de semillas se considera como uno de los factores más importantes que impide iniciar los procesos de sucesión vegetal (Holl, Loik, Lin, & Samuels, 2000; Hooper, Legendre, & Condit, 2005). Las aves frugívoras pueden ayudar a superar esta barrera, ya que al posarse regurgitan o defecan las semillas intactas (Snow, 1981), algunas veces mejorando su probabilidad de germinación (Samuels & Levey, 2005; Traveset & Verdú, 2002). Además, debido a la notable abundancia de aves frugívoras en el Neotrópico (Kissling, Böhning-Gaese, & Jetz, 2009) y a los diferentes hábitos alimenticios de estas especies e individuos, el aporte de propágulos de las aves frugívoras puede ser muy frecuente, abundante y heterogéneo, lo que puede ayudar a iniciar los procesos de sucesión vegetal (Wunderle, 1997) y a generar parches de vegetación complejos con una alta diversidad, similares a los existentes en ambientes conservados (McClanahan & Wolfe, 1993).

Sin embargo, investigaciones que utilizan la dispersión de semillas de las aves para los procesos de restauración ecológica han tenido resultados contrastantes (Graham & Page, 2011; Heelemann, Krug, Esler, Reisch, & Poschlod, 2012; Holl, 1998; Oliveira, 2006; Zanini & Ganade, 2005) que necesitan ser aclarados, ya que varios proyectos quieren utilizar este servicio ecosistémico como herramienta complementaria para iniciar la recuperación de los ecosistemas.

Varios estudios resaltan que las aves frugívoras tienen la capacidad de dispersar semillas de plantas a lo largo de las áreas naturales que habitan, y que las perchas artificiales ubicadas en áreas degradadas tienen la capacidad de aumentar la lluvia de semillas, ya que atraen a las aves dispersoras, porque les proporcionan sitios de descanso o de refugio (Aide & Cavelier, 1994; Graham & Page, 2011; Heelemann et al., 2012; Holl, 1998; McClanahan & Wolfe, 1993; McDonnell & Stiles, 1983; Melo, 1997; Vicente, Martins, Zocche, & Harter-Marques, 2010; Wunderle, 1997;). Sin embargo, dado que pocas investigaciones analizan las fases siguientes a la dispersión, hay una carencia de estudios que consoliden los mecanismos adecuados para ayudar a incrementar el establecimiento y el reclutamiento de estas semillas dispersadas por

aves. Generar este conocimiento es fundamental, si se quiere saber el verdadero aporte de la dispersión de semillas de las aves a la restauración ecológica de áreas degradadas (Reid & Holl, 2013).

Los resultados de las investigaciones que usan las perchas para incrementar el establecimiento de las semillas dispersadas por aves son constrastantes. Por ejemplo, en un área degradada cercana a un bosque tropical en Indonesia, no se encontró un aumento significativo en el número de plantas establecidas bajo las perchas artificiales y se concluyó que usar perchas para la restauración de estos ecosistemas es un método limitado e ineficiente (Graham & Page, 2011). De forma similar, en un ecosistema de arbustos en Sudáfrica tampoco se encontró un incremento significativo en el establecimiento de plantas dispersadas por aves bajo las perchas (Heelemann et al., 2012). Sin embargo, Zanini y Ganade (2005) encontraron que en áreas degradadas cercanas a un bosque de araucaria brasilero las perchas artificiales instaladas en áreas con vegetación pionera incrementan significativamente el número de plantas establecidas dispersadas por aves.

Estos resultados diversos pueden generar confusión sobre la utilidad de las perchas para la restauración ecológica, además, varias de estas investigaciones no incluyen un diseño experimental riguroso que permita conocer metodologías que incrementan establecimiento de las plantas dispersadas por aves. Esto puede producir que no se utilicen las perchas artificiales en los procesos de restauración ecológica, o que los nuevos esfuerzos prácticos e investigativos que quieran usar perchas no tengan bases conceptuales claras para escoger las estrategias con más probabilidad de éxito para aumentar el establecimiento de las semillas dispersadas por aves. Por estos motivos, en esta investigación se puso a prueba si los tratamientos que han incrementando el establecimiento de plantas dispersadas por aves en otros estudios y el manejo de algunas variables que posiblemente están reduciendo el establecimiento de estas plantas pueden incrementar la funcionalidad de las perchas, para la restauración ecológica de áreas degradadas cercanas al ecosistema de bosques sub-andinos.

Los bosques sub-andinos se ubican en las tres cordilleras colombianas —generalmente a elevaciones entre los 1100 m y 2200 m (Rodríguez, Armenteras, Morales, & Romero, 2004; Rudas et al., 2007)—, albergan una alta diversidad biológica, con varios endemismos (Rodríguez, Armenteras, Morales, & Romero, 2006) y, además, prestan servicios ecosistémicos fundamentales para la población, como la regulación del ciclo hídrico y de la temperatura ambiental (Célleri & Feyen, 2009). Sin embargo, la deforestación en los bosques sub-andinos ha crecido notablemente debido a las prácticas agrícolas a gran escala, la ganadería extensiva y la tala (Armenteras, Rodríguez, Retana, & Morales, 2011). Esto pone en evidencia la necesidad de poner a prueba estrategias novedosas que ayuden a la recuperación

vegetal de las zonas degradas cercanas a los bosques sub-andinos.

En este sentido, el objetivo de este estudio fue proponer métodos que incrementen el establecimiento de plantas dispersadas por aves en pastizales abandonados cercanos a bosques sub-andinos. Específicamente, en esta investigación se pretendió contestar las siguientes preguntas:

- ¿La presencia de vegetación pionera —en su mayoría herbácea—, bajo perchas artificiales, incrementa el establecimiento de plantas dispersadas por aves?

- ¿La instalación de las perchas artificiales agrupadas incrementa el establecimiento de plantas dispersadas por aves, así como la cantidad de aves que visitan las perchas?

- ¿Existe un efecto de la herbivoría bajo las perchas artificiales sobre el establecimiento de plantas dispersadas por aves?

- ¿Las coberturas vegetales cercanas a los sitios de instalación de las perchas afectan el establecimiento de plantas dispersadas por aves y la cantidad de aves que visitan las perchas?

Para responder estas preguntas, se instalaron 40 perchas artificiales, 32 de ellas en una distribución espacial agrupada (ocho grupos de a cuatro perchas juntas), y ocho aisladas (una percha separada mínimo 30 m de la siguiente percha), las cuales se instalaron aleatoriamente en el área de estudio. En las áreas de instalación de las estructuras, se controlaron las gramíneas y se redujo el efecto de las plantas provenientes del banco de semillas. Las plantas de especies dispersadas por aves se contabilizaron y se midieron cada 15 días durante un año. Se compararon el número de plantas establecidas al año de muestreo bajo las perchas artificiales agrupadas, las aisladas, las perchas con presencia de vegetación pionera y aquellas sin esta vegetación. Se evaluó también, la influencia sobre la cantidad de plantas establecidas que tienen los tratamientos contra herbívoros, que consistió en un encierro del área y la aplicación de insecticidas orgánicos cada 15 días. Se describió, con la ayuda de transectos lineales, la cobertura vegetal cercana a las perchas y se analizó el efecto de esta cobertura en el establecimiento de plantas dispersadas por aves. Finalmente, se realizaron censos de aves sobre las perchas artificiales para identificar cuáles están aportando a la dispersión de semillas.

De esta manera, se pretende avanzar en el conocimiento de métodos que incrementen la funcionalidad de las aves dispersoras de semillas y de las perchas artificiales en los procesos de restauración ecológica de las áreas cercanas a los bosques sub-andinos, de manera que se logre un aumento en el establecimiento de plantas que son dispersadas por aves. Estos resultados quedarán disponibles, para ponerse a prueba en otro tipo de ecosistemas que quieran utilizar las perchas como herramientas para acelerar la recuperación vegetal.

1. Marco Conceptual

En el Neotrópico, al igual que en diferentes lugares del mundo, las actividades antrópicas como la minería, la agricultura o la ganadería extensiva degradan los ecosistemas, haciendo que estos pierdan su cobertura vegetal y restrinjan su capacidad de regeneración, de forma que los procesos de recuperación vegetal no se inician hasta que las actividades antrópicas acaben. Estos procesos de recuperación en las zonas degradadas pasan por una sucesión secundaria en la que se presenta una secuencia de cambios en la composición vegetal a lo largo del tiempo, que está influenciada por la vegetación que existe o que existió en la zona —ya sea por medio del banco de semillas o por la dispersión de semillas (Guariguata & Ostertag, 2001)—. De esta manera, a medida que avanza la sucesión vegetal, el área afectada puede llegar a ser estructural, funcional y taxonómicamente parecida a aquella que tenía la comunidad vegetal preexistente (Guariguata & Ostertag, 2001; Horn, 1974;).

Dentro de la teoría de la sucesión, se afirma que la disponibilidad de propágulos es una de las variables claves que puede definir la duración y el destino de una sucesión vegetal (Pickett, Cadenasso, & Meiners, 2005; van der Maarel & Sykes, 1993). Esta disponibilidad de propágulos depende de la capacidad que tiene cada especie vegetal para persistir después de un disturbio, o de la capacidad de las plantas para dispersarse a las áreas disponibles. La dispersión está ligada a las características del paisaje y a las del vector, sea biótico o abiótico, el cual transporta las semillas hacia las áreas abiertas (Poschlod, Tackenberg, & Bonn, 2005). La disponibilidad de propágulos determina cuáles son los ocupantes potenciales de las zonas de interés (Pickett, Cadenasso, & Meiners, 1987; Schupp, Howe, Augspurger, Levey, 1989).

Por su parte, el desempeño diferencial de las especies vegetales es otro factor importante que afecta las dinámicas de la sucesión, ya que determina la composición de la comunidad de plantas en las diferentes etapas del proceso (Pickett et al., 2005). De esta manera, cada especie que logra colonizar un área tiene características propias o rasgos de historia de vida que determinan el éxito o el fracaso, en términos de establecimiento, crecimiento y supervivencia, bajo diferentes filtros ambientales (Huston & Smith, 1987). Estos rasgos de vida determinan, por ejemplo, las tasas de crecimiento que pueden tener los individuos a las diferentes intensidades lumínicas, o el tipo de interacción ecológica que tienen con otras especies de plantas. Al final, estos rasgos dirigen la dinámica de la vegetación durante todo el proceso de sucesión (Halpern, 1989).

La restauración ecológica es el esfuerzo práctico que busca acelerar la recuperación de un ecosistema degradado o destruido, con el fin de restablecer las trayectorias y procesos ecológicos de los ecosistemas nativos de una región, considerando la estructura y función del ecosistema, así como la composición de especies (Clewell & Aronson, 2013; SER, 2004). Estos esfuerzos requieren del estudio de las dinámicas de sucesión para conocer los estados de referencia de cada área y, con base a esto, formular los objetivos y resultados esperados de los proyectos de restauración (Hobbs, Walker, & Walker, 2007). Además, estas dinámicas de sucesión también pueden mostrar las posibles barreras que restringen la recuperación vegetal, así como las acciones que se necesitan para agilizar dicha recuperación (Walker & del Moral, 2003).

Varias investigaciones en el campo de la restauración buscan, dentro de la teoría de la sucesión, los estudios de rasgos de historias de vida de las plantas, con el fin de escoger las especies más útiles para sembrar, teniendo en cuenta, entre otras, las interacciones interespecíficas, su relación con las características del área de estudio y los procesos ecológicos que se quieren garantizar con el crecimiento de esas plantas (e.g. Gómez & Vargas, 2011; Gondard, Juffrest, Lavorel, & Aronson, 2001; Hobbs et al., 2007; Pywell et al., 2003; Roberts, Clark, & Wilson, 2010;). Sin embargo, pocos esfuerzos prácticos consideran en detalle otros componentes de la teoría de la sucesión como el aporte de la disponibilidad de propágulos (e.g. dispersión de semillas) en los procesos de restauración ecológica (e.g. de la Peña-Domene, Martínez-Garza, Palmas-Pérez, Rivas-Alonso, & Howe, 2014), lo que también puede ser analizado estudiando los rasgos de historia de vida de las plantas dispersadas.

Las aves, por su forma de locomoción y sus diversas funciones ecológicas (Sekercioglu, 2006), tienen la capacidad de dispersar semillas a las áreas en proceso de restauración. Dentro de las aves, las frugívoras son las principales dispersoras de semillas, pues se especializan en el consumo de frutos carnosos, aprovechando las partes blandas del fruto y regurgitando o defecando las semillas intactas (Snow, 1981).

Las semillas dispersadas por las aves tienden a ser muy heterogéneas respecto a su origen, ya que pueden provenir de distancias lejanas y de distintos fragmentos de vegetación en el paisaje (Wunderle, 1997); respecto a su variabilidad genética, ya que las poblaciones de plantas dispersadas pueden venir de diferentes parentales (Reis, Bechara, Espíndola, Vieira, & Souza, 2003); y respecto a su tipo de grupo funcional, ya que se dispersan especies de plantas pioneras y de sucesiones tardías (de la Peña-Domene, Martínez-Garza, Palmas-Pérez, Rivas-Alonso, & Howe, 2014). Estos factores pueden aumentar la posibilidad de encontrar, dentro de las especies de plantas dispersadas por las aves, aquellas que garanticen una buena recuperación de los ecosistemas (Wunderle, 1997), con individuos potencialmente resistentes a diferentes condiciones ambientales (Reis et al., 2003) y con capacidad de propiciar una auto-organización, lo que tiende a producir una alta diversidad de plantas y de procesos ecológicos (McClanahan & Wolfe, 1993).

En el Neotrópico existe la mayor diversidad de aves frugívoras sobre el planeta, albergando

aproximadamente el 90 % de las especies existentes (Kissling et al., 2009). Por otro lado, el 75 % de las especies de árboles neotropicales producen frutos comestibles para las aves (Howe & Smallwood, 1982). Esto indica que las aves del Neotrópico pueden tener un papel fundamental en los procesos de restauración ecológica, e incentiva a realizar investigaciones para entender las acciones adecuadas que maximicen la ayuda que estos animales brindan para la restauración.

La dispersión de semillas fue una de las primeras barreras identificadas que impiden iniciar los procesos de recuperación vegetal en las zonas degradadas del Neotrópico (Holl, 1998), especialmente en los lugares en que el disturbio ha agotado el banco de semillas (Pejchar et al., 2008). Las perchas artificiales para aves son una herramienta que se puede utilizar para superar esta barrera, ya que las aves defecan o regurgitan semillas mientras están estacionadas, y son las perchas las estructuras que pueden llegar a brindar sitios de reposo o de refugio en las zonas degradadas (McDonnell & Stiles, 1983).

Varios estudios muestran que las perchas artificiales son efectivas para incrementar la lluvia de semillas y la visita de las aves frugívoras a las zonas degradadas (Aide & Cavelier, 1994; Graham & Page, 2011; Heelemann et al., 2012; Holl, 1998; McClanahan & Wolfe, 1993; McDonnell & Stiles, 1983; Melo, 1997; Mikich & da Silva Possette, 2007; Pillatt et al., 2010; Rincón, 2005; Scott, Pattanakaew, Maxwell, Elliott, & Gale, 2000; Shiels & Walker, 2003; Tomazi, Zimmermann, & Laps, 2010; Vicente et al., 2010; Wunderle, 1997; Zanini & Ganade, 2005). El grado de efectividad, en estas dos variables, puede depender del diseño de las perchas artificiales (Holl 1998; McDonnell & Stiles 1983) y de su cercanía a las fuentes de propágulos (Wunderle, 1997). De este modo, estudios que prueban diferentes diseños de perchas concluyen que aquellas que simulan estructuras naturales atraen más cantidad de aves y de semillas en comparación con otros diseños (ver Figura 1; véase McDonnell & Stiles, 1983; Holl, 1998). Por su parte, varios estudios indican que entre más lejos se ubiquen las perchas de los fragmentos de bosque se encuentran significativamente menos semillas dispersadas (Aide & Cavelier, 1994; McDonnell & Stiles, 1983; Velasco-Linares & Vargas, 2007; Wunderle, 1997). Esta relación parece no ser lineal, ya que los estudios que muestran diferencias significativas ubican las perchas a distancias muy cercanas (entre 0 y 10 m) del borde del bosque (e.g. Aide & Cavelier, 1994), mientras que los estudios que no muestran diferencias significativas ubican las primeras perchas a partir de los 20 m desde el borde del bosque (Graham & Page, 2011; Holl, 1998; Vicente et al., 2010).

A pesar del incremento en la lluvia de semillas debajo de las perchas artificiales, pocos estudios analizan con detalle el destino de estas semillas. Estas investigaciones son necesarias si se quiere conocer el aporte real de estrategias como las perchas para la restauración ecológica (Reid & Holl, 2013).

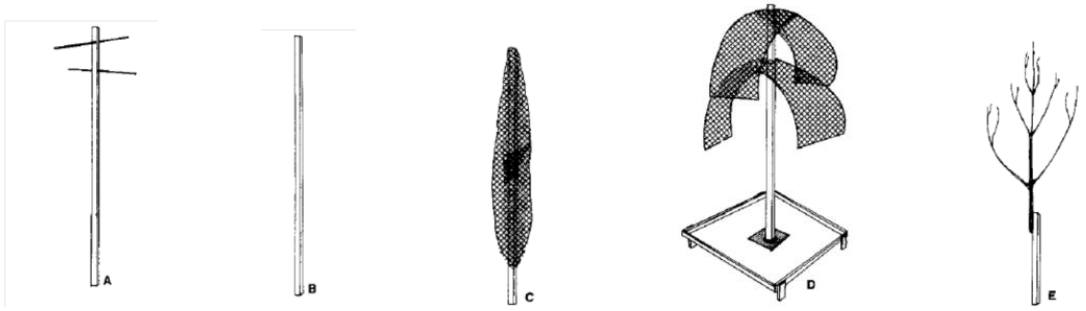


Figura 1. Diferentes diseños de perchas utilizadas en McDonnell & Stiles (1983) para medir la atracción de las aves y la dispersión de semillas a las zonas degradadas. A. Estructura barra cruzada. B. Estructura vertical. C. Estructura piramidal. D. Estructura arqueada. E. Estructura con vegetación natural. Las perchas más efectivas en este estudio fueron las que tenían vegetación natural. Adaptado de "The structural complexity of old field vegetation and the recruitment of bird-dispersed plant species", por M. J. McDonnell & E. W. Stiles, 1983, *Oecologia, 56*.

Los pocos estudios que analizan el establecimiento de las semillas dispersadas por aves bajo las perchas artificiales no encuentran resultados homogéneos. Algunos no evidencian diferencias significativas en el establecimiento de plantas dispersadas por aves entre sitios con perchas artificiales y sitios sin perchas (Graham & Page, 2011; Holl, 1998; Shiels & Walker, 2003; Tomazi et al., 2010) Estos estudios, reportan que el establecimiento y reclutamiento de las plantas bajo las perchas pudo haber sido mayor si se hubieran controlado las gramíneas (Holl, 1998; Shiels & Walker, 2003) o si se hubiera reducido la competencia con la vegetación preexistente en los lugares de instalación de las perchas (Graham & Page, 2011; Shiels & Walker, 2003). De manera similar, los autores han propuesto que variables como las tasas de depredación de semillas y plantas (Aide & Cavelier 1994, Holl 1998, Shiels & Walker 2003, Tomazi *et al.* 2010, Vicente *et al.* 2010, Heelemann *et al* 2012), las condiciones microclimáticas adversas (Graham & Page, 2011; Heelemann et al., 2012; McClanahan & Wolfe, 1993; Shiels & Walker, 2003; Velasco, 2007; Vicente et al., 2010), la compactación del suelo (Heelemann et al., 2012; McClanahan & Wolfe, 1993; Vicente et al., 2010) y los bajos nutrientes en los suelos (Shiels & Walker, 2003; Tomazi et al., 2010; Vicente et al., 2010) también están afectando el establecimiento de las plantas dispersadas por aves.

Por otro lado, son pocos los estudios que muestran diferencias significativas en el establecimiento de plantas dispersadas por aves entre sitios con perchas artificiales y sin perchas (Elgar, Freebody, Pohlman, Shoo, & Catterall, 2014; Oliveira, 2006; Zanini & Ganade, 2005). Estas investigaciones complementan la instalación de perchas con otras estrategias que pueden ayudar a superar las barreras que están limitando el establecimiento de las plantas. Por ejemplo, Zanini y Ganade (2005) encontraron que hay más establecimiento de plantas en áreas con presencia de perchas artificiales y vegetación pionera, que en áreas con perchas pero sin esta vegetación, lo que indica que esto pudo ser producto de una interacción de facilitación entre las pioneras y las plantas dispersadas. De manera similar, Oliveira (2006) encontró que las áreas con mayor establecimiento de plantas dispersadas por aves eran aquellas en las que las perchas se encontraban dentro de una plantación de vegetación nativa. Así mismo, Elgar et al. (2014) encontraron que hay un mayor establecimiento de plantas bajo perchas

instaladas en sitios con remoción de gramíneas y herbáceas que en sitios sin esta remoción. Estos autores aclaran que, entre mayor sea el tiempo de seguimiento al proceso de establecimiento bajo las perchas, más probabilidades existen de encontrar resultados positivos (de la Peña-Domene et al., 2014; Elgar et al., 2014; Oliveira, 2006)

De esta manera, se evidencia que la presencia de pastos es una barrera importante que no permite el establecimiento de plantas dispersadas por aves (Elgar et al., 2014; Holl, 1998, Shiels & Walker, 2003). Esto se debe, entre otras razones, a que los pastos tienen una alta cantidad de raíces en el subsuelo, que ejercen una alta competencia por nutrientes y espacio que es muy difícil de superar para las plantas que van empezar a germinar (Celis & Jose, 2011; Elgar et al., 2014; Loik & Holl, 2001; Ortega-Pieck et al., 2011). Además, los pastos pueden impedir la llegada de la luz a las partes cercanas al suelo, reduciendo la posibilidad de germinación de muchas semillas (Loik & Holl, 2001). Tener en cuenta el efecto de los pastos es muy relevante para esta investigación, ya que, en el área de estudio, los lugares disponibles para instalar las perchas tienen pastizales que alcanzan los 50 cm de altura.

Por otro lado, en ningún estudio revisado se ha indagado el efecto que tiene, sobre el establecimiento de plantas, instalar las perchas artificiales en agrupaciones o islas. Sin embargo, algunos estudios indican que las agrupaciones en islas pueden ser más visibles y atractivas para las aves, entre otros motivos porque hay más espacio para forrajear, lo que puede producir un mayor tiempo de permanencia de las aves e incrementar la dispersión de semillas (Cole, Holl, & Zahawi, 2010; Zahawi & Augspurger, 2006). Estos resultados se quisieron poner a prueba en esta investigación, comparando el efecto sobre el establecimiento de instalar perchas aisladas (cada una en un área aproximada de 4 m^2 y separada de la siguiente por mínimo 30 m de distancia) vs. cuatro perchas juntas (en un área aproximada de 36 m^2, con dos metros de distancia entre percha y percha).

Asimismo, con base en la revisión de literatura, se consideró importante para esta investigación tener en cuenta el efecto de la depredación de semillas y de plántulas, el cual ha sido ampliamente reportado como limitante en el establecimiento de las plantas dispersadas por aves (Aide & Cavelier, 1994; Heelemann et al., 2012; Holl, 1998; Shiels & Walker, 2003; Tomazi et al., 2010, Vicente et al., 2010). Asimismo, se quiso tener en cuenta el efecto de la presencia de la vegetación pionera, que logró incrementar el establecimiento de plantas bajo las perchas en un bosque de *Araucaria* en Brasil (Zanini y Ganade, 2005). Por último, se estudió el efecto que tienen las coberturas vegetales cerca de las perchas artificiales, ya que hay estudios referentes a su influencia sobre la dispersión de semillas (Aide & Cavelier, 1994; McDonnell & Stiles, 1983; Velasco & Vargas, 2007; Wunderle, 1997), pero muy pocos de su influencia sobre el establecimiento de plantas dispersadas por aves.

2. Métodos

2.1 Área de estudio

El estudio se realizó en la Reserva Municipal Sinaí (4° 41' N, 74° 22' W, elevación 1900 - 2300 m.s.n.m.), ubicada en el municipio de Tena, departamento de Cundinamarca, Colombia (Figura 2). Esta reserva se localiza en el sector centro occidente de la Cordillera Oriental de los Andes, la temperatura fluctúa entre 12 y 18 °C, con una precipitación anual entre 2000 y 4000 mm/año. En la reserva se pueden encontrar ecosistemas de bosques sub-andinos, con la presencia de árboles como *Ficus sp.*, *Quercus sp.*, *Cedrella sp.*, matorrales en crecimiento de las familias Melastomataceae, Asteraceae, Solanaceae, entre otras, y pastizales abandonados, principalmente de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), de aproximadamente 50 cm de alto.

Los pastizales se distribuyen en diferentes sectores dentro de la reserva. Algunos de ellos limitan con áreas de arbustales y otros con bosques secundarios. Además, dentro de los pastizales se encuentran arbustos aislados, la mayoría de una altura aproximada entre 2 y 5 m, así como árboles aislados con alturas entre los 10 y los 50 m. Las áreas de intervención para instalar las perchas se seleccionaron aleatoriamente dentro de la matriz de pastizales (Figura 2).

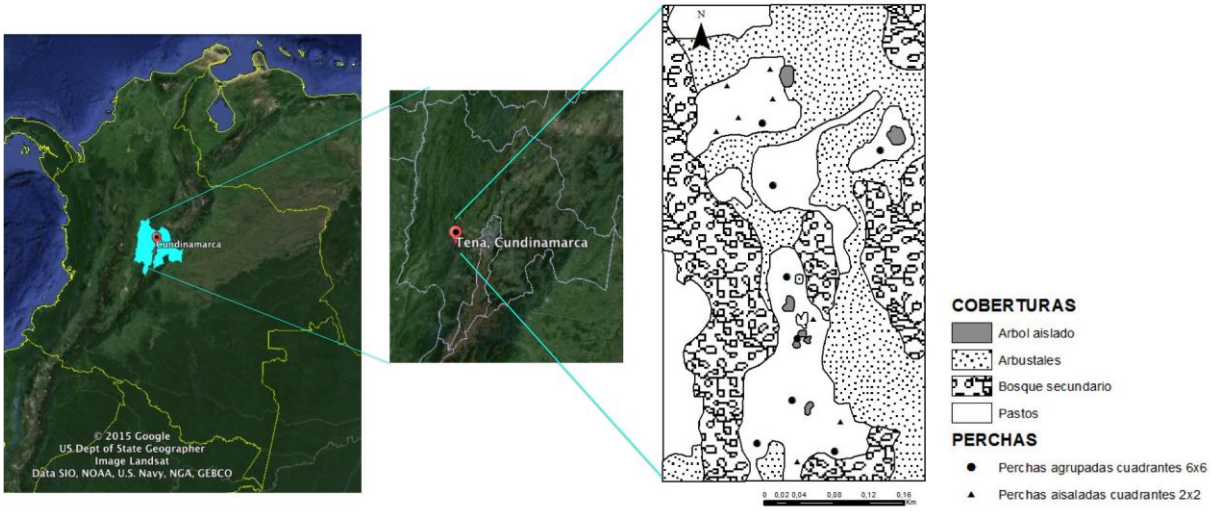


Figura 2. Ubicación geográfica del área en donde se realizó el estudio, junto con el mapa de coberturas aproximadas y los sitios de instalación de las perchas en la reserva Sinaí. Se observa la heterogeneidad de coberturas vegetales que rodeaban a las perchas artificiales.

2.2 Diseño experimental

El estudio se llevó acabo entre julio del 2012 y agosto del 2014. En este tiempo, se delimitaron las áreas de trabajo, se estableció el proyecto y se tomaron los datos. El Anexo A, muestra el esquema de las actividades realizadas para esta investigación.

2.2.1 Selección de sitios de trabajo, remoción de pastos y expresión del banco de semillas

En julio del 2012, se delimitaron aleatoriamente ocho cuadrantes de 4 m^2 y ocho de 36 m^2, en los que posteriormente se instalarían las perchas (Figura 2). Dado que en el sitio predominan pastizales muy altos de kikuyo y que esta invasión es una de las principales barreras reportadas para el establecimiento de especies vegetales dispersadas por aves, se aplicó herbicida en todos los cuadrantes y se esperó 15 días para guadañar los pastos muertos. Después, se esperaron ocho meses para la expresión del banco de semillas. Pasado este tiempo, en los cuadrantes pequeños se hizo un inventario del número de individuos y de las especies de plantas que se expresaron del banco de semillas. Este inventario se realizó con el objetivo de comparar, mediante pruebas pareadas, la vegetación proveniente del banco de semillas con la que se origina de los tratamientos con perchas artificiales en un mismo intervalo de tiempo.

2.2.2 Adecuación de los sitios para el establecimiento del diseño experimental

En términos estadísticos, esta investigación puso a prueba dos tratamientos: un bloque aleatorizado y cinco covariables. Como tratamientos estaban la distribución espacial de las perchas (agrupadas o aisladas) y la presencia de vegetación pionera, en su mayoría herbácea (presencia o ausencia). Por su parte, el bloque fue el control de herbívoros (cuadrantes con control herbívoros y sin control de herbívoros) y las covariables analizadas fueron: cantidad de cobertura de arbustos cerca de las perchas, cantidad de cobertura de árboles, cantidad de cobertura vegetal total (la suma de los árboles y arbustos), altura del árbol más cercano a las perchas y la distancia más cercana de las perchas a los arbustos.

Para evaluar el efecto de la distribución espacial de las perchas, se construyeron 40 perchas artificiales. Cada percha se hizo con un poste de madera de 4,5 metros de altura, al que se le anexaron cuatro ramas de *Eucalyptus globulus* de dos metros de altura cada una, de forma que, después de la instalación, cada percha midió 5 m de alto. Al momento de la instalación, cada percha fue enterrada 50 cm. En cada uno de los ocho cuadrantes de 36 m² previamente establecidos, se instalaron grupos de cuatro perchas, con una distancia de dos metros entre percha y percha; este fue el nivel del tratamiento distribución agrupada (Figura 3a). En estos cuadrantes grandes, las mediciones de plántulas se hicieron en un área de 4 m² debajo de cada percha. Por su parte, en cada uno de los ocho cuadrantes de 4 m² se ubicó una percha artificial, dejando una distancia mínima de 30 m entre cuadrantes pequeños; este fue el nivel del tratamiento distribución aislada (Figura 3b). Todas las perchas se instalaron en agosto del 2013.

a.

b.

Figura 3. Ejemplo de los sitios de instalación de las perchas artificiales. a. Perchas agrupadas instaladas en los cuadrantes de 36 m². b. Perchas aisladas instaladas en los cuadrantes de 4m², la distancia entre perchas aislada fue mínimo de 30 m.

Para evaluar el efecto de la vegetación pionera en cuatro cuadrantes grandes y en cuatro pequeños, se dejaron y marcaron las plantas provenientes del banco de semillas que se identificaron como árboles o arbustos (varias de ellas plántulas de la familia *Solanaceae*) y las herbáceas cuya altura, ocho meses después de quitar los pastos superaba los 60 cm de alto, las demás plantas se quitaron, este fue el nivel de tratamiento presencia de vegetación pionera (Figura 4). Por su parte, en los cuadrantes restantes se eliminaron manualmente todas las plantas provenientes del banco de semillas y se aró la tierra; este fue el nivel de tratamiento sin vegetación pionera. Sin embargo, dado que el banco de semillas en la zona es muy persistente, a los tres meses siguientes, se volvieron a arar los cuadrantes sin vegetación y a remover las herbáceas nuevas de los cuadrantes con vegetación, con el fin de agotar el banco de semillas germinables. Además, desde que se instalaron las perchas, cada dos meses, se hizo una revisión para quitar manualmente de los cuadrantes sin vegetación pioneras los pastos y herbáceas del banco de semillas que estaban colonizando (e.g. *Physalis peruviana*, *Solanum nigrum, Galinsoga sp.* o *Conyza sp.*), y se redujo la densidad de estas plantas en los cuadrantes con vegetación. Esto permitió realizar un seguimiento de las semillas y las plántulas que provenían de la dispersión de las aves y tener unas condiciones adecuadas para probar el tratamiento de presencia de especies pioneras.

Figura 4. Ejemplo del nivel de tratamiento vegetación pionera para perchas agrupadas.

Para evaluar el efecto del control de herbívoros, se cercaron dos cuadrantes grandes y dos pequeños (uno con vegetación pionera y los otros sin esta vegetación), con el fin de evitar la entrada de mamíferos de hábitos rastreros no fosoriales. Cada cerca tenía 50 cm de altura sobre el suelo, se hizo con plástico grueso transparente calibre seis y se instaló a una profundidad de 20 cm alrededor del cuadrante, dejando un metro de distancia entre el plástico y el cuadrante (Figura 5). Además, desde el momento en que aparecieron las primeras plántulas provenientes de las semillas dispersadas por aves, se aplicó un insecticida orgánico (Alisin-Safer, extractos ajo, ají, 70 gr/lt) para reducir el ataque de insectos herbívoros sobre estas plantas. El insecticida se aplicó tres veces por semana cada 15 días durante seis meses.

Figura 5. Percha aislada con barrera para impedir el paso de mamíferos rastreros no fosoriales.

Por su parte, para evaluar el efecto de las covariables, se clasificaron las coberturas vegetales en pastizal (que incluían herbáceas), arbustos (plantas sin un tronco preponderante y ramificado cerca de la base, con una altura entre 2 y 10 m) y árboles (plantas mayores a los 10 m de alto). En cada cuadrante, se trazaron cuatro transectos lineales de 20 metros en sentido de las direcciones cardinales y se midió la cantidad en metros que cubrían las diferentes coberturas para cada transecto. Al final, se obtuvo la cantidad total de cobertura alrededor de las perchas, sumando el valor en metros por cobertura en cada transecto (Figura 6). Además, si se identificaban coberturas importantes de arbustos o árboles por fuera de los cuatro transectos iniciales, se trazaba otro transecto lineal de 20 m desde el cuadrante y en dirección a la cobertura de interés y se medía la longitud de la cobertura sobre el nuevo transecto (Figura 6), este valor se sumaba al total respectivo en metros para cada tipo de cobertura. De esta forma, se obtuvo, para un radio de 20 m, una medida aproximada de la cantidad de cobertura de arbustos y árboles alrededor de cada cuadrante con perchas. La variable distancia a los arbustos se tomó del transecto que registró esta cobertura a la distancia más cercana. Por último, la altura del árbol más cercano se trató como una variable categórica con tres niveles: cuadrantes sin árboles cerca, cuadrantes con un árbol mediano cerca (árbol entre 10 y 15 m de altura) y cuadrantes con un árbol grande cerca (altura mayor a 20 m). A cada cuadrante se le asignó una categoría.

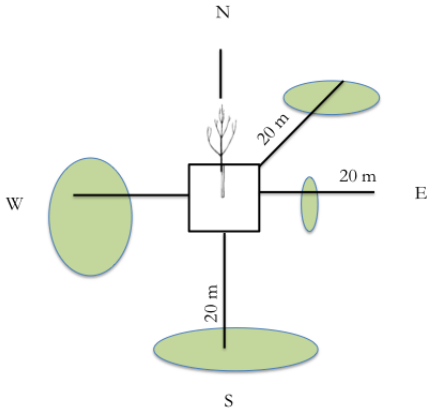


Figura 6. Ejemplo de los cuatro transectos de 20 m. trazados en dirección de los puntos cardinales para medir la cobertura de la vegetación alrededor de las perchas artificiales. Se muestra también el ejemplo

de uno de los transectos adicionales que se usaban cuando una cobertura de interés no quedaba registrada en los cuatro transectos iniciales. Los círculos verdes representan la cobertura de arbustos.

2.2.3 Monitoreo de las plántulas que provienen de la dispersión de semillas

En todos los cuadrantes, se marcaron las plantas identificadas que provenían de la dispersión de semillas y se midió la altura, el número de hojas, el número de individuos y el número de especies. Estas mediciones se tomaron cada 15 días, empezando el 24 de enero del 2014, cuando se identificaron las primeras plántulas de especies dispersadas por aves, y terminando el 27 de agosto del 2015. En esta última fecha, se contabilizó el total de plantas establecidas. Las últimas mediciones de número de especies e individuos fueron las que se utilizaron en el ANOVA y en los modelos lineales generalizados (MLG). Para poder realizar los análisis estadísticos, se corrigió el número de individuos establecidos por el área de muestreo (# individuos/ m^2). De esta forma, el número total de individuos de plantas encontrados bajos cada grupo de perchas agrupadas se dividió por 16 m^2, mientras que el número de individuos encontrados bajo las perchas aisladas se dividió por 4 m^2. Se consideró que una planta estaba establecida según la definición de Howe & Smallwood (1982): establecimiento es cuando una planta tiene raíces, gasta en su totalidad el aprovisionamiento de los parentales y asume un crecimiento independiente como plántula, es decir, plántulas bien enraizadas, sin cotiledones o cotiledones reducidos y con más de cuatro hojas bien desarrolladas que garantizaran la supervivencia de la planta por sí misma.

2.2.4 Monitoreo de la avifauna

Se realizaron observaciones de aves en todos los cuadrantes, durante 14 días, desde las 06:00 h hasta las 10:30 h. Cada cuadrante fue visitado ocho veces. Cada visita de 20 minutos se hizo a una hora diferente para asegurar que cada cuadrante tuviera el mismo número de horas muestreadas. En las visitas se registró el número de individuos y de especies que llegaban a las perchas, dado los pocos registros encontrados se analizó el número acumulado de individuos y de especies registradas por cada cuadrante. Para los análisis, solo se utilizaron las aves con hábitos frugívoros, además, se corrigió el número de individuos por el número de perchas (# número acumulado de individuos frugívoros/percha), de forma que los individuos que se registraron en cada grupo de perchas agrupadas se dividió por cuatro.

2.3 Análisis de datos

Para comprobar si las variables analizadas afectaron el número de individuos y de especies de plantas que se establecieron y las aves que visitaron las perchas artificiales, se realizaron análisis de modelos lineales generalizados (MLG) basados en modelo de regresión de Poisson. En los MLG, el número de

individuos de plantas corregido por el área y el número de individuos de aves en las perchas corregido por el número de perchas fueron las variables dependientes. Las variables explicativas fueron la distribución espacial de las perchas, la vegetación pionera, la cobertura vegetal (ya fuera la cantidad de cobertura de arbustos, la cantidad de cobertura de árboles o la cantidad de cobertura vegetal total), la distancia a la cobertura vegetal y altura del árbol más cercano. Además, en algunos análisis se incluyó la interacción entre la distancia a los arbustos y la variable de cobertura vegetal, para conocer el efecto combinado de las variables sobre la variable respuesta. En los MLG se creó un primer modelo que incluía todas las variables, el cual se iba reduciendo según el grado de significancia de las variables; esto permitió encontrar los modelos más explicativos.

Además, se analizaron por separado con MLG los datos de perchas agrupadas y los de perchas aisladas. Estos análisis permitieron evaluar los datos crudos, ya que no fue necesaria la corrección por área o por número de perchas. Las variables dependientes en estos MLG fueron el número de individuos y de especies de plantas establecidas, y el número de individuos y de especies de aves que visitaron las perchas. Las variables explicativas y el procedimiento realizado durante el análisis fueron los mismos que los explicados anteriormente.

Por su parte, dado que el tratamiento control de herbívoros se trató como un bloque estadístico, su efecto se analizó mediante un análisis de varianza por bloques aleatorizados (ANOVA). En el ANOVA, el número de individuos fue la variable dependiente; la distribución espacial de las perchas y la vegetación pionera fueron los tratamientos; y el control de la herbivoría fue el bloque aleatorizado. Sin embargo, dado que no se pudo normalizar el número de individuos de plantas establecidos corregido por el área y que los análisis para datos no normales no permiten indagar con certeza el efecto de los bloques aleatorizados, este ANOVA se hizo con el número total de individuos establecidos.

Finalmente, para comparar el número de especies de aves y de plantas establecidas entre los tratamientos con perchas agrupadas y aisladas, se realizaron curvas de acumulación utilizando el estimador de abundancia Chao 1. Estas curvas se hicieron para áreas homogéneas (32 m^2), de forma que se comparó gráficamente la curva de acumulación resultante de agrupar los datos de los ocho cuadrantes de perchas aisladas con la curva de acumulación resultante de agrupar los datos de dos cuadrantes con perchas agrupadas. Para esto, se realizaron curvas de acumulación para todas las combinaciones posibles de dos cuadrantes con perchas agrupadas (27 curvas de acumulación en total), y se graficó el número promedio de especies por muestra observadas en cada curva y el número de especies estimadas por muestra según Chao1 para cada curva. En las curvas realizadas para las especies de plantas establecidas no se aleatorizaron las muestras, ya que el orden de estas correspondía al número de días de seguimiento después de instalar las perchas. Por su parte, las muestras en las curvas para las especies de aves frugívoras se aleatorizaron 1.000 veces.

2.4 Características ecológicas de las especies de plantas y aves

Se realizó un análisis exploratorio de los grupos funcionales para la restauración ecológica de las plantas que se establecieron en el estudio. Los rasgos de historias de vida usados para el análisis fueron: tipo de crecimiento (árbol, arbusto, hierba, enredadera), tamaño de las semillas (semillas pequeñas —aquellas menores o iguales a 1 mm de largo—, semillas medianas —entre 1,8 y 3 mm de largo—, y semillas grandes —entre 3,7 y 8 mm de largo—), tasa de producción de hojas (alta, media y baja; según los resultados colectados a lo largo del estudio), velocidad de crecimiento (alta, media, baja; según los resultados del seguimiento de las plántulas en el estudio), presencia de arilos, frutos secos, frutos dehiscentes, amentos, exudado, nectarios extra florales, tamaño de las hojas (grandes, medianas y pequeñas), presencia de frutos en baya o en drupa, si las plantas eran exóticas o si eran dispersadas también por murciélagos.

Los rasgos de historias de vida de las especies de plantas se determinaron mediante observaciones en campo, consulta con expertos y en diferentes fuentes bibliográficas (Gentry, 1996; Barrero-Barrero, 2004; SAO, 2009; Rios *et al.*, 2004; Murillo & Lazaro, 2012). La clasificación de los grupos funcionales se hizo con el programa Past (Hammer, Harper, D.A.T. & Ryan, 2001), mediante análisis de agrupación basados en los coeficientes de distancia euclidiana, utilizando el método de Ward's, que mostró un coeficiente de correlación cofenética de 0,77.

Por su parte, a cada especie de ave que se registró visitando las perchas artificiales se le asignó un gremio teniendo en cuenta dos criterios. El primer criterio fue la dieta (frugívoro, insectívoro, nectarívoro, granívoro), para lo cual se tuvieron en cuenta los dos componentes alimenticios más reportados para las especies. El segundo fueron los lugares de forrajeo de cada especie, para lo cual se asumió que se si una especie tenía reportes bibliográficos de forrajear principalmente en pastizales abiertos y en áreas deforestadas, se clasificó dentro del sitio de forrajeo zonas degradadas. Si por el contrario, una especie se reportaba en pastizales, zonas degradadas, zonas boscosas y bordes de bosque, se clasificó dentro del sitio de forrajeo mixto. Finalmente, si una especie tenía reportes bibliográficos de forrajear frecuentemente al interior de los bosques primarios o secundarios, o en sus bordes, y de visitar muy poco las zonas degradas, se consideró que el sitio de forrajeo de esta especie eran zonas conservadas. Esta agrupación sirvió para conocer las características alimenticias de las aves que visitaron las perchas y los lugares más probables de donde se pueden estar alimentando. Los datos para agrupar a las especies de aves por gremios fueron obtenidos de Hilty & Brown (1986), Restall (2006), Ridgely & Greendfield (2006), Ridgely & Gwynee (1993) y Fitzpatrick (2004).

3. Resultados

3.1 Características de las plantas establecidas

Un total de 545 individuos con síndrome de dispersión por aves germinaron en el sitio de estudio, de los cuales 36 individuos murieron y 442 lograron establecerse. Los individuos establecidos pertenecen a 24 especies de 20 familias (Tabla 1). Todas las especies que se establecieron, a excepción de *Citrus sp.,* fueron nativas (Tabla 1). Las especies con más individuos fueron: *Viburnum triphyllum*, *Bocconia frutescens* y *Bomarea patinii* (Tabla 1). El 52 % de las especies establecidas fueron arbustos, el 30 % árboles, el 14 % enredaderas y solo el 4 % hierbas (Tabla 1). Los datos de abundancia de las especies que se establecieron indican que pocas especies tuvieron altas abundancias y que la mayoría de especies tuvieron abundancias intermedias y bajas (Figura 7). Por su parte, el análisis exploratorio de agrupación, mediante algunos rasgos de historias de vida de las especies establecidas, arrojó cinco grupos funcionales (Figura 8). La Tabla 2 resume las características que agrupan las especies.

Tabla 1

Especies de plantas dispersadas por aves que lograron establecerse en los cuadrantes estudiados.

Familia	**Especie**	**Núm. Ind.**	**Hábito**	**Estrategia**
Adoxaceae	*Viburnum triphyllum*	117	Árbol	Pionera intermedia
Alstroemeriaceae	*Bomarea patinii*	53	Enredadera	Pionera
Boraginaceae	*Cordia rhombifolia*	2	Arbusto	Pionera
Cannabaceae	*Trema micrantha*	1	Árbol	Pionera
Chloranthaceae	*Hedyosmum racemosum*	10	Árbol	Pionera intermedia
Euphorbiaceae	*Croton sp.*	1	Árbol	Pionera
Malpighiaceae	*Malpighia glabra*	9	Arbusto	Pionera intermedia
Melastomataceae	*Miconia theaezans*	15	Arbusto	Pionera
Myrtaceae	*Myrcia popayanensis*	2	Árbol	Pionera intermedia
Papaveraceae	*Bocconia frutescens*	60	Arbusto	Pionera
Passifloraceae	*Passiflora cuspidifolia*	5	Enredadera	Pionera
Phytolaccaceae	*Phytolacca rugosa*	16	Hierba	Pionera
Piperaceae	*Piper marginatum*	5	Arbusto	Pionera
Piperaceae	*Piper sp.*	5	Arbusto	ED.
Polygalaceae	*Monnina fastigiata*	49	Arbusto	Pionera
Rhamnaceae	*Frangula goudotiana*	14	Arbusto	Pionera intermedia
Rubiaceae	*Palicourea sp.*	1	Arbusto	ED.
Rutaceae	*Citrus sp.*	1	Arbusto	Exotica
Solanaceae	*Cestrum ochraceum*	37	Arbusto	Pionera
Solanaceae	*Solanum ovalifolium*	12	Arbusto	Pionera
Solanaceae	*Solanum cornifolium*	10	Arbusto	Pionera
Solanaceae	*Solanum oblongifolium*	11	Arbusto	Pionera
Urticaceae	*Cecropia mutisiana*	3	Árbol	Pionera
Vitaceae	*Cissus alata*	3	Enredadera	Pionera intermedia

Nota: Num. Ind= Número de individuos establecidos por especie. ED= Estrategia desconocida.

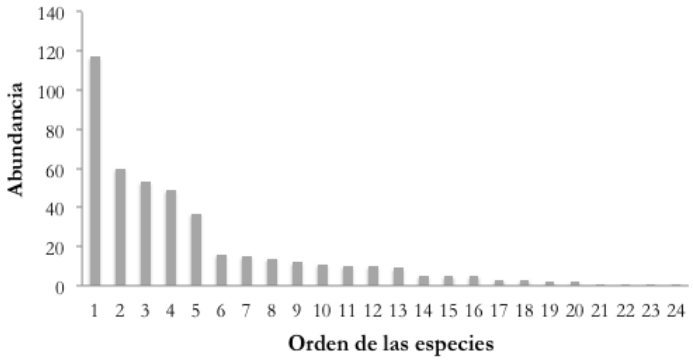


Figura 7. Distribución de la abundancia de las especies de plantas dispersadas por aves que se

establecieron. La especie más abundante corresponde al orden de especie uno y la menos abundante al orden de especie 24.

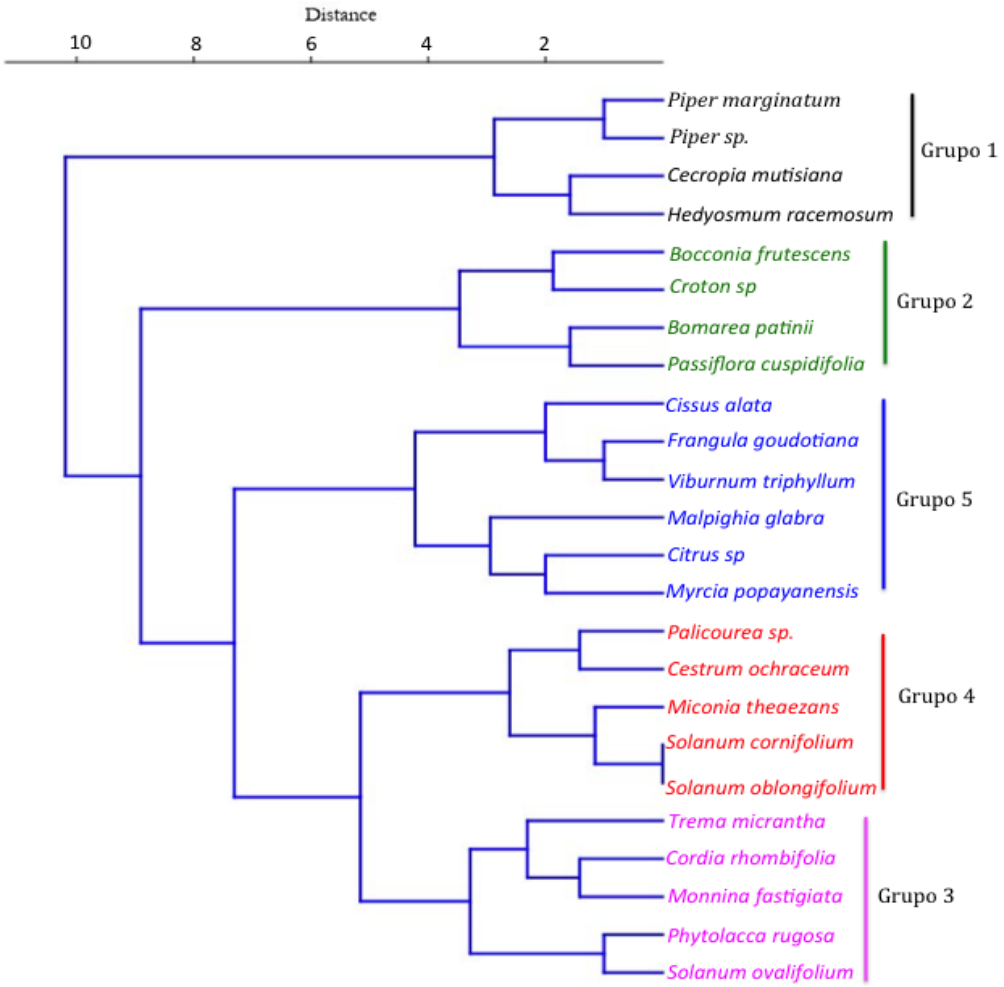


Figura 8. Análisis de agrupación según los rasgos de vida de las especies de plantas dispersadas por aves. Los colores reúnen a los cinco grupos funcionales.

Tabla 2

Especies que conforman los grupos funcionales y estrategias de historias de vida que agrupan a las especies

Grupo Funcional	**Especies**	**Estrategias de historia de vida**
1	*Piper marginatum, Piper sp., Hedyosmum racemosum, Cecropia mutisiana*	Especies con tasas de crecimiento bajas (≤ 0,03 cm/día), relativas a las demás especies estudiadas. Baja producción de hojas (≤ 0,02 hojas/día) y dispersión por murciélagos.
2	*Bocconia frutescens, Croton sp., Passiflora cuspidifolia, Bomarea patinii*	Especies con las semillas más grandes de la comunidad estudiada (entre 3,7 mm y 8 mm),

Tabla 2 (Continuación)

Grupo Funcional	Especies	Estrategias de historia de vida
3	*Trema micrantha, Cordia rhombifolia, Monnina fastigiata, Phytolacca rugosa, Solanum ovalifolium*	Especies con hojas de tamaño intermedio (respecto a las demás especies analizadas) y con una velocidad de crecimiento relativamente alta (≥ 0,09 cm/día; Figura 1).
4	*Solanum cornifolium, Solanum oblongifolium, Miconia theaezans, Cestrum ochraceum, Palicourea* sp.	Especies con hábitos de crecimiento arbustivo, con semillas relativamente medianas (entre 1,8 mm y 3 mm) y con frutos en baya.
5	*Myrcia popayanensis, Malpighia glabra, Viburnum triphyllum, Frangula goudotiana, Cissus alata, Citrus* sp.	Especies en su mayoría con tasas de crecimiento bajas (≤ 0,03 cm/día) o tasas de crecimiento medias (dos especies; entre 0,03 y 0,05 cm/día). La mayoría de especies con semillas relativamente grandes (entre 3,7 mm y 8 mm) o mediano (una especie; *M. glabra,* 3 mm). La única especie exótica quedó en este grupo.

En el área de estudio, las perchas artificiales y las aves que visitaron las perchas propiciaron un mayor establecimiento de las especies vegetales del grupo funcional cinco (146 individuos), seguidas del grupo funcional dos (119 individuos), el grupo tres (80 individuos) y el grupo cuatro (74 individuos). Por su parte, el grupo funcional uno fue el de menor representación con 23 individuos.

3.2 Establecimiento de individuos de plantas dispersadas por aves

El MLG más explicativo para el número de individuos establecidos corregidos por el área, solo incluye las covariables relacionadas con las características de la vegetación circundante a las perchas, explicando el 71 % de la variación (Tabla 3). Sin embargo, en los MLG que se hicieron entre perchas agrupadas, la vegetación pionera junto con las características del paisaje alcanzan a explicar un 99% de la variación en el número de individuos establecidos (Tabla 3). De manera similar, el mejor MLG para los análisis de perchas aisladas incluye el tratamiento de vegetación pionera junto con características del paisaje, explicando hasta en un 87 % la variación (Tabla 3). Estos análisis muestran una influencia de la vegetación pionera, de tal forma que las perchas agrupadas con vegetación y las perchas aisladas sin esta vegetación tienen significativamente más individuos establecidos que los demás tratamientos con pioneras (Figura 9). Por su parte, en el ANOVA, el control de herbívoros no explicó significativamente la variación de los individuos establecidos y, dado que esta variable funciona como un bloque aleatorizado, no se exploró su efecto con otras pruebas estadísticas (
).

Tabla 3

Resultados de los análisis estadísticos del número de individuos de plantas establecidos corregidos por el área y para el número de individuos de plantas en las perchas agrupadas y en las perchas aisladas, que indican el resultado del estadístico de prueba respectivo (z, o F) y del valor p.

Factores, Variables, o Interacciones	**Mejor MLG individuos corregidos**		**Perchas agrupadas: mejor MLG**		**Perchas aisladas: mejor MLG**		**ANOVA: Ind. Totales**	
	z	*p*	*z*	*p*	*z*	*P*	*F*	*p*
Distribución de perchas	-	-	-	-	-	-	4,86	*0,04 **
Vegetación pionera	-	-	-4,94	7,78e-07 *	4,80	1,6e-06*	*0,22*	*0,65*
Control de herbívoros	-	-	-	-	-	-	*1,25*	*0,28*
Altura del árbol cercano	*-2,10*	*0,03**	-2,84	0,004*	-3,21	0,00131*		
Distancia a los arbustos	0,70	0,48	-0,514	0,61	-	-		
Cobertura de arbustos	-0,19	0,85	-2,614	0,009*	-	-		
Cobertura de árboles	-	-	-	-	-	-	-	-
Cobertura vegetal total (árboles + arbustos)	-	-	-	-	-	-	-	-
Cober. Arb. * Distancia Arb.	2,67	0,007*	7,53	5,01e-14 *	-	-	-	-
	g.l	10	**g.l**	1	**g.l**	4	**g.l**	12
	d^2	0,71	**d^2**	0,99	**d^2**	0,87	**R^2**	0,18

Nota: MLG = Modelo Lineal Generalizado. Cober.Arb= Cobertura de arbustos, Distancia Arb. = Distancia a los arbustos.

* Hace referencia al nivel de significancia menor de 0,05.

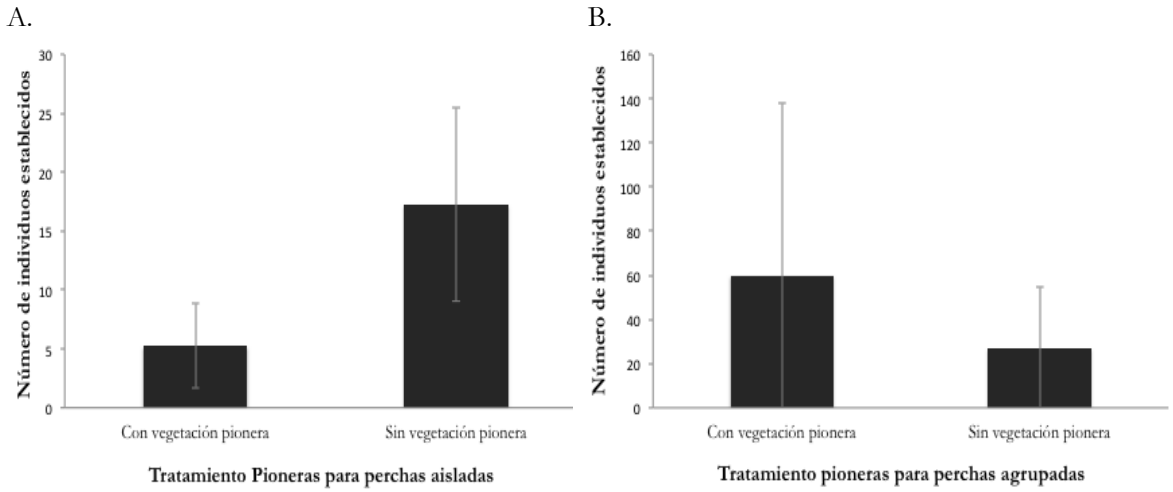


Figura 9. Número de individuos establecidos según los niveles del tratamiento vegetación pionera. A. Análisis para perchas aisladas. B. Análisis para perchas agrupadas. Observe que el efecto de la vegetación pionera varía según el tipo de distribución de las perchas.

Entre las variables del paisaje que afectaron significativamente el número de individuos establecidos se encuentra la altura del árbol más cercano a las perchas y la interacción entre la cantidad de cobertura de arbustos alrededor de las perchas y la distancia de las perchas a los arbustos (Tabla 3). De este modo, los MLG indican que las perchas ubicadas junto a árboles grandes pueden tener hasta 70% menos individuos establecidos que las perchas sin estos árboles cerca (Figura 10). Por su parte, el efecto de la interacción puede indicar que las perchas ubicadas cerca de áreas grandes de arbustos van a tener más plantas establecidas que las perchas ubicadas lejos de areas pequeñas de arbustos (Figura 11).

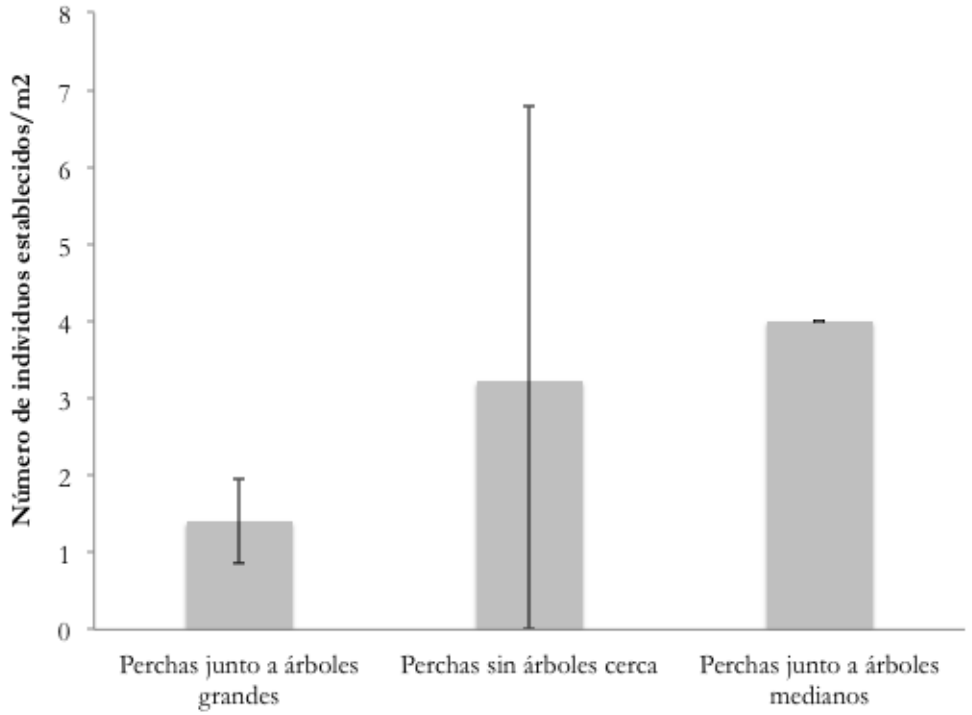


Figura 10. Influencia del tamaño de los árboles cercanos a las perchas artificiales sobre el número de individuos (± D.E). Obsérvese cómo árboles grandes cerca a las perchas reducen notablemente la cantidad de individuos que se establecen.

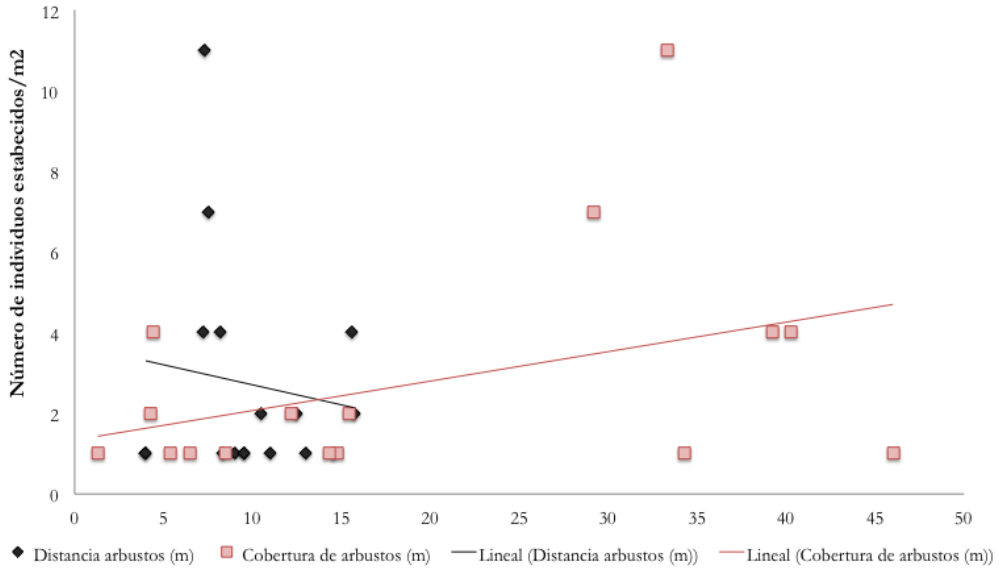


Figura 11. Efecto de la interacción entre la distancia de las perchas a la cobertura de arbustos y la cantidad de arbustos cerca de las perchas, sobre el número de plantas establecidas proveniente de la dispersión de semillas de las aves.

3.3 Establecimiento de especies de plantas dispersadas por aves

El número de especies de plantas que se establecen bajo las perchas aisladas y agrupadas no se diferencia al comparar los resultados de las curvas de acumulación para áreas similares (Figura 12). Por su parte, los MLG para las perchas aisladas muestran que los cuadrantes sin vegetación pionera tienen significativamente más especies de plantas dispersadas por aves que los cuadrantes con esta vegetación, lo que explica un 65 % de la variación (Tabla 4; Figura 13). En los análisis de perchas agrupadas, ninguna variable explicó significativamente la variación en el número de especies establecidas.

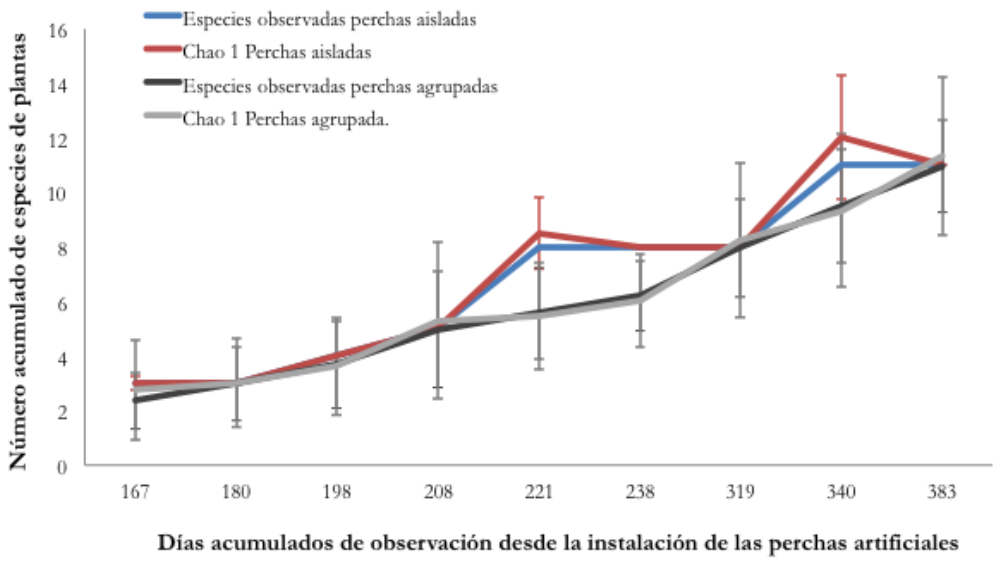


Figura 12. Curvas de acumulación para el número de especies de plantas observadas y esperadas para un área de 16 m², según el estimador Chao 1.

Tabla 4

Resultados estadísticos para el número de especies de plantas establecidas.

Factores, variables o interacciones	**Perchas agrupadas: mejor MLG**		**Perchas aisladas: mejor MLG**	
	Z	*p*	***Z***	***p***
Vegetación pionera	2,12	0.03*	-	-
Altura del árbol cercano	-	-	-	-
Distancia a los arbustos	-	-	-	-
Cobertura de arbustos	-	-	-	-
	g.l	6	-	-
	d²	0,65	**d²**	**0**

Nota: * Hace referencia al nivel de significancia menor de 0,05.

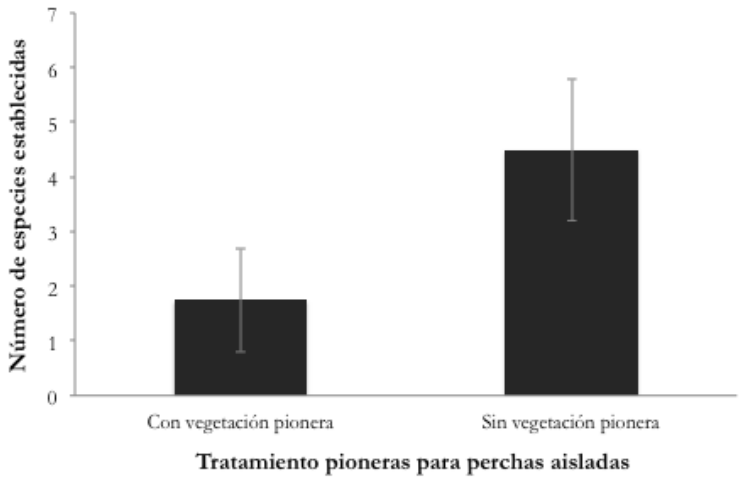


Figura 13. Número de especies establecidas bajo las perchas aisladas en los niveles del tratamiento con vegetación pionera. El mayor número de especies se encuentra bajo las perchas aisladas sin vegetación pionera

3.4 Características de las aves que visitaron las perchas artificiales

Un total de 72 individuos de 29 especies agrupadas en 11 familias de aves, se registraron usando las perchas artificiales (Tabla 5). Las familias más representativas fueron Thraupidae (ocho especies), Tyrannidae (cinco especies) y Trochilidae (cuatro especies) (Tabla 5). La especie que más visitó las perchas fue *Crotophaga ani*, seguido del *Colibri thalassinus*, de la *Tangara vitriolina* y del *Troglodytes aedon* (Tabla 5). El gremio de aves que más visitó las perchas fue el de los insectívoros – frugívoros que forrajean en áreas degradadas, seguido de los insectívoros - frugívoros que forrajean en áreas mixtas (Figura 14).

Tabla 5
Especies de aves que se registraron usando las perchas artificiales con su grupo trófico y su lugar de forrajeo predilecto

Familia	**Especies**	**Ind.**	**Grupo trófico**	**Lugar forrajeo**
Cuculidae	*Crotophaga ani*	15	Insectívoro-frugívoro	Áreas degradadas
Trochilidae	*Colibri thalassinus*	9	Nectarívoro-insectívoro	Áreas mixtas
Trochilidae	*Lafresnaya lafresnayi*	1	Nectarívoro-insectívoro	Áreas conservadas
Trochilidae	*Chlorostilbon sp.*	1	Nectarívoro-insectívoro	Áreas mixtas
Trochilidae	*Lepidopyga goudoti*	1	Nectarívoro-insectívoro	Áreas conservadas
Furnaridae	*Hellmayrea gularis*	1	Insectívoro	Áreas conservadas
Tyrannidae	*Sayornis nigricans*	1	Insectívoro	Áreas degradadas
Tyrannidae	*Myiozetetes cayanensis*	1	Insectívoro-frugívoro	Áreas mixtas
Tyrannidae	*Pitangus sulphuratus*	1	Insectívoro-frugívoro	Áreas mixtas

(Continuación)

Tabla 5

Familia	**Especies**	**Ind.**	**Grupo trófico**	**Lugar forrajeo**
Tyrannidae	*Tyrannus melancholicus*	1	Insectívoro-frugívoro	Áreas degradadas
Tyrannidae	*Myiarchus tuberculifer*	2	Insectívoro-frugívoro	Áreas conservadas
Trogloyitidae	*Troglodytes aedon*	5	Insectívoro	Áreas mixtas
Turdidae	*Turdus ignobilis*	1	Frugívoro-insectívoro	Áreas mixtas
Turdidae	*Turdus fuscater*	3	Frugívoro-insectívoro	Áreas mixtas
Vireonidae	*Vireo leucophrys*	1	Insectívoro-frugívoro	Áreas mixtas
Thraupidae	*Thraupis cyanocephala*	1	Frugívoro-insectívoro	Áreas mixtas
Thraupidae	*Tangara vitriolina*	5	Frugívoro-insectívoro	Áreas mixtas
Thraupidae	*Tangara vassorii*	1	Frugívoro-insectívoro	Áreas conservadas
Thraupidae	*Tangara nigroviridis*	3	Frugívoro-insectívoro	Áreas conservadas
Thraupidae	*Tangara labradorides*	2	Frugívoro-insectívoro	Áreas conservadas
Thraupidae	*Diglossa albilatera*	1	Nectarívoro-insectívoro	Áreas mixtas
Thraupidae	*Sporophila nigricollis*	1	Granívoro	Áreas mixtas
Thraupidae	*Tiaris olivaceus*	1	Granívoro-insectívoro	Áreas mixtas
Emberizidae	*Chlorospingus flavopectus*	3	Frugívoro-insectívoro	Áreas mixtas
Emberizidae	*Zonotrichia capensis*	2	Granívoro-insectívoro	Áreas mixtas
Emberizidae	*Atlapetes albinucha*	1	Frugívoro-insectívoro	Áreas conservadas
Cardinalidae	*Piranga rubra*	3	Frugívoro-insectívoro	Áreas mixtas
Cardinalidae	*Piranga olivacea*	1	Frugívoro-insectívoro	Áreas mixtas
Parulidae	*Setophaga fusca*	3	Insectívoro	Áreas mixtas

Nota: Ind. = Número de individuos. Áreas Mixtas = Aquellas aves que forrajean frecuentemente tanto en áreas degradadas como conservadas.

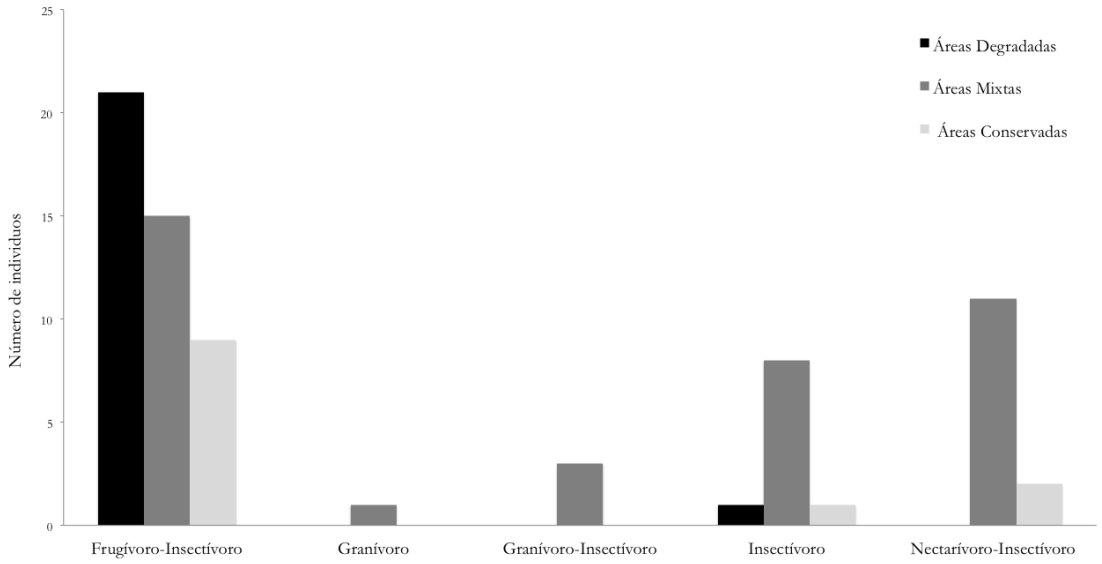


Figura 14. Gremios alimenticios según las áreas preferidas de alimentación de los individuos de aves que visitaron las perchas artificiales. Las mayores agrupaciones son de individuos frugívoros-insectívoros.

3.5 Individuos de aves que visitaron las perchas artificiales

El mejor MLG para explicar el número de individuos de aves frugívoros que visitan las estructuras corregido por el número de perchas, incluye las variables distribución de las perchas y la altura de los árboles cercanos explicando un 47 % de la variación (Tabla 6). De esta forma las perchas aisladas tienden a tener más individuos de aves que las perchas agrupadas (Figura 15). Sin embargo, la metodología que se usó para hacer el monitoreo no permitió registrar una gran cantidad aves sobre las perchas. Además, los análisis muestran una influencia de la altura de los árboles de tal forma que las perchas ubicadas junto a árboles altos tienen menos visitas de aves que las perchas sin estos árboles cerca (Tabla 6; Figura 15). En los MLG para perchas aisladas y para perchas agurpadas ninguna variable explicó significativamente la variación en las visitas de aves a las perchas.

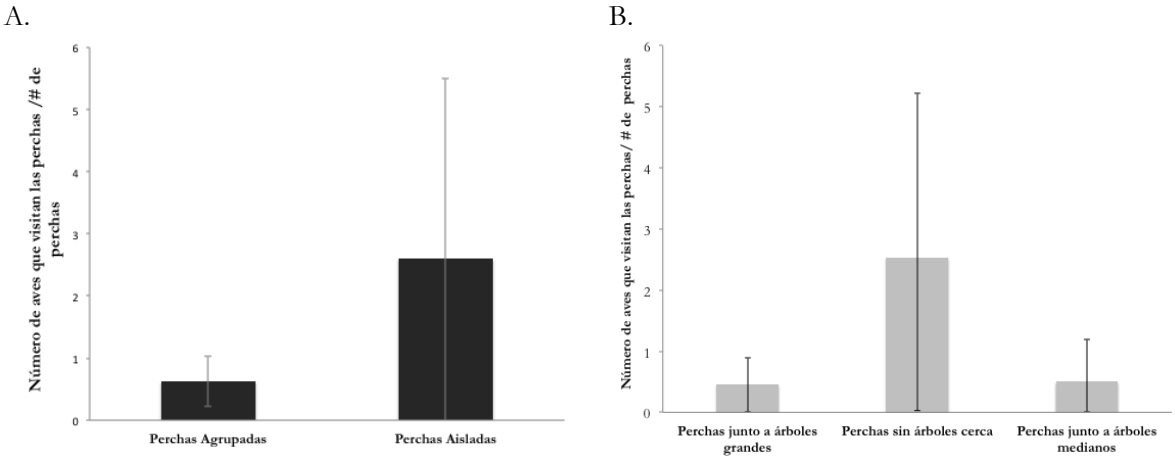


Figura 15. Variables que influenciaron el número corregido de individuos de aves que visitan las perchas. A. Efecto de la disposición espacial de las perchas. B. Efecto de la altura del árbol más cercano a las perchas.

Tabla 6

Resultados estadísticos para el número de individuos de aves frugívoras que visitaron las perchas artificiales

Factores, variables o interacciones	**Mejor MLG individuos aves corregidos**		**Perchas agrupadas: mejor MLG**		**Perchas aisladas: mejor MLG**	
	z	*p*	***z***	***p***	***z***	***p***
Distribución de perchas	-1,3	0,01*	-	-	-	-
Vegetación pionera	-	-	-	-	-	-
Altura del árbol cercano	-1,54	0,03*	-	-	-	-
Distancia a los arbustos	-	-	-	-	-	-
Cobertura de arbustos	-	-	-	-	-	-
Cober.Arb * Dist.Min.Arb	-	-	-	-	-	-
	g.l	12	**g.l**	-	**g.l**	-
	d^2	0,47	**d^2**	-	**d^2**	-

Nota: * Hace referencia al nivel de significancia menor de 0,05.

Por su parte, se encontró que las aves frugívoras que forrajean en áreas degradadas visitan en mayor proporción las perchas aisladas que las perchas agrupadas (Valor *p*= 0,008), mientras que las que forrajean en áreas conservadas visitan en mayor proporción las perchas agrupadas que las aisladas (valor *p* = 0,01; Figura 16). Finalmente, la proporción de individuos de hábitos de forrajeo mixto que visitan las perchas aisladas y las perchas agrupadas no se diferenciaron significativamente (Valor *p* =0,22).

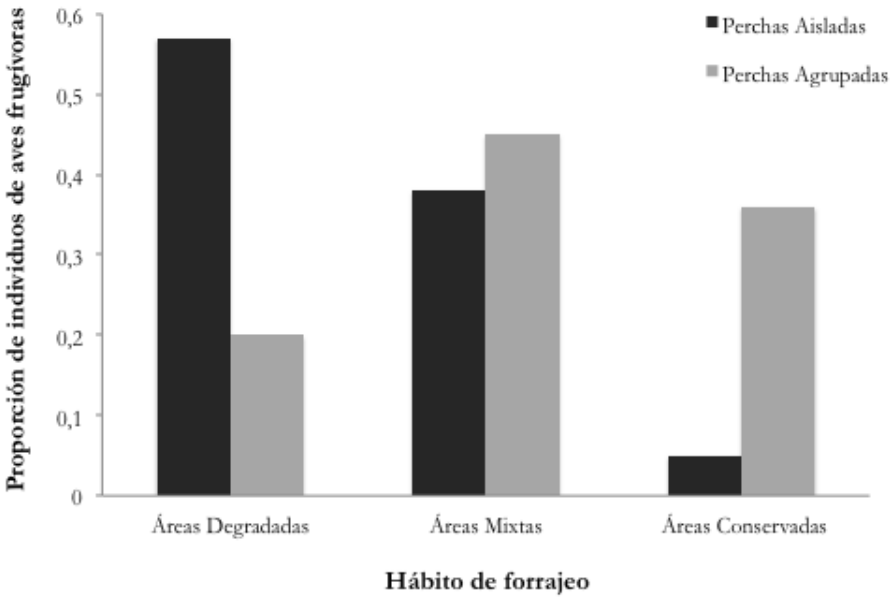


Figura 16. Proporción de individuos de aves que visitan las perchas aisladas y agrupadas según sus hábitos de forrajeos. Las perchas aisladas tienen más visitas de aves que forrajean áreas degradadas y una menor proporción de individuos que forrajean en áreas conservadas.

3.6 Especies de aves en las perchas artificiales

En las comparaciones hechas para un mismo número de perchas, el número de especies de aves frugívoras, según las curvas de acumulación, tiende visitar más las perchas aisladas que las agrupadas (Figura 17). Sin embargo, las pendientes de estas curvas indican que el muestreo, tanto para perchas agrupadas como para perchas aisladas, es incompleto y que no se alcanzó a registrar toda la diversidad de aves que visitan las estructuras (Figura 17). Por su parte, en los MLG para las perchas agrupadas, el número de especies de aves que llegan a las perchas se vio influenciado por la cantidad de arbustos alrededor de las perchas, lo que explica un 51 % de la variación en el número de especies. De esta manera, a mayor cantidad de arbustos cerca de las perchas agrupadas, se puede encontrar una mayor cantidad de especies de aves (Figura 18). Ningún otro análisis explicó significativamente el número de especies sobre las perchas artificiales.

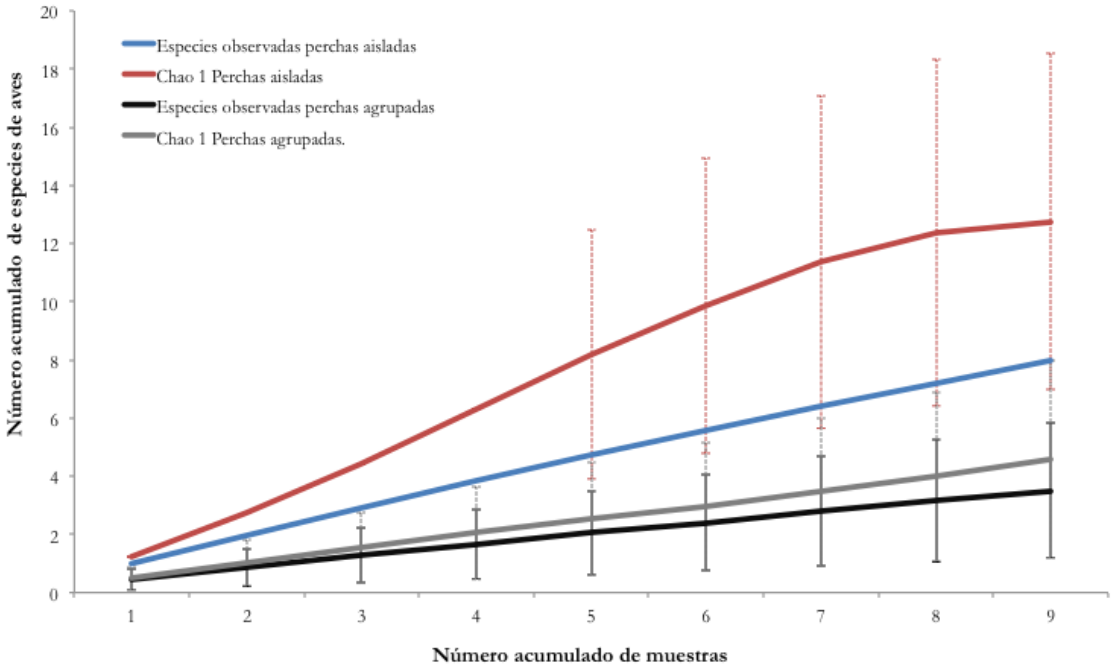


Figura 17. Curvas de acumulación para el número de especies de aves observadas y esperadas que visitan ocho perchas artificiales, según el estimador Chao 1.

Tabla 7

Resultados estadísticos para explicar el número de especies de aves que visitaron las perchas artificiales

Factores, variables o interacciones	**Perchas agrupadas: mejor MLG**		**Perchas aisladas: mejor MLG**	
	z	*p*	***z***	***p***
Vegetación pionera	-	-	-	-
Altura del árbol cercano	-	-	-	-
Distancia mínima al arbustal	-	-	-	-
Cobertura de arbustos	2,24	0,02*	-	-
Cober.Arb * Dist.Min.Arb	-	-	-	-
	g.l	6		
	d^2	0,69	**d^2**	0

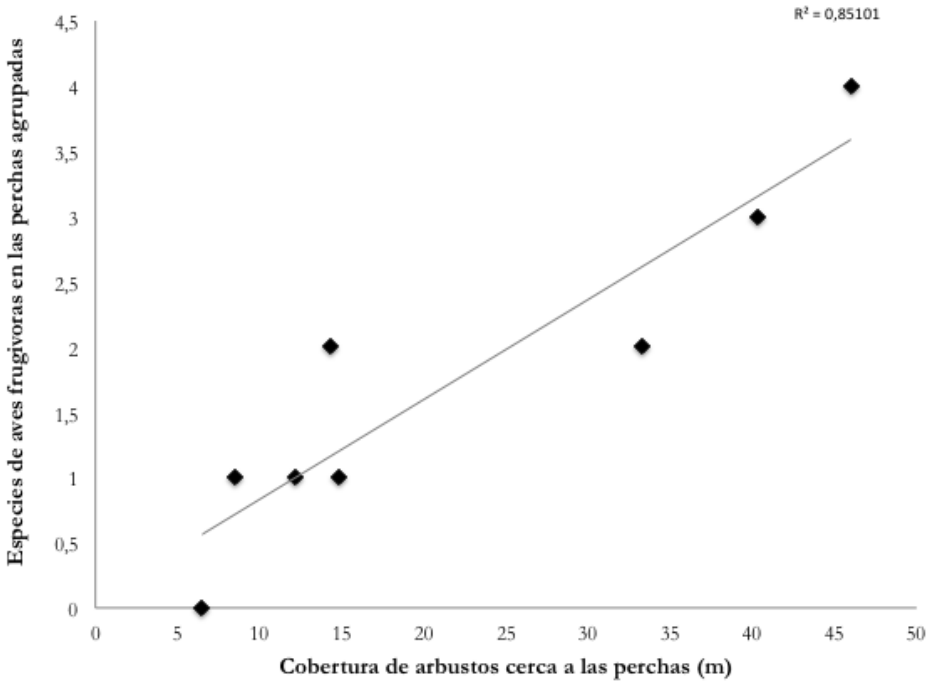


Figura 18. Influencia de la cobertura de arbustos cerca de las perchas sobre la cantidad de especies de aves que visitan las perchas agrupadas.

3.7 Plantas provenientes del banco de semillas y su relación con las plantas establecidas bajo las perchas artificiales

Ocho meses después de remover los pastos, en los sitios de instalación de las perchas artificiales aisladas, se contabilizaron 624 individuos de plantas provenientes del banco de semillas, que pertenecen a 39 especies de 16 familias (Anexo B - Tabla 1). El 84 % de los individuos que se establecieron eran herbáceas, la mayoría dispersadas por el viento; el 10 % eran arbustos; y un 6 % eran árboles y enredaderas (Anexo B - Tabla 1). Dentro de las hierbas, se destacó la presencia de *Solanum americanum,* ya que por su crecimiento rápido y densificado ocupaba una gran cantidad de espacio en las áreas muestreadas.

Por su parte, ocho meses después de la instalación de las perchas artificiales con distribución aislada, se encontraron 70 individuos de plantas dispersadas por aves que se agruparon en ocho especies, cada una perteneciente a una familia diferente (Anexo B - Tabla 3). El 63 % de los individuos establecidos fueron arbustos, el 20 % hierbas y el 17 % árboles y enredaderas. (Anexo B - Tabla 3). Dentro de los árboles se encuentran dos que se consideran especies pioneras intermedias (Anexo B - Tabla 3). Las especies que más se establecieron durante el tiempo de muestreo fueron *Bocconia frutescens*, seguida de *Monnina fastigata* (Anexo B - Tabla 3).

La cantidad de individuos y de especies de plantas fue significativamente mayor después de activarse el banco de semillas, que bajo los tratamientos que acompañaron la instalación de las perchas artificiales (Figura 19). Por su parte, no hubo diferencias significativas entre el número de especies (Prueba *t* pareada= t = 1,0491; g.l = 7; *valor p*= 0,329) y de individuos de plantas leñosas (Prueba *t* pareada = t = 0,7335; g.l = 7; *valor p* = 0.4871) que nacieron del banco de semillas y los que se establecieron después de la instalación de las perchas (Figura 20). Sin embargo, hubo una tendencia no significativa de un mayor número de plantas leñosas dispersadas por aves bajo las perchas artificiales (Figura 20). Inclusive, para la mayoría de especies que estuvieron presentes en ambos tratamientos, hubo más individuos bajo las perchas artificiales que los que nacieron del banco de semillas (Figura 21).

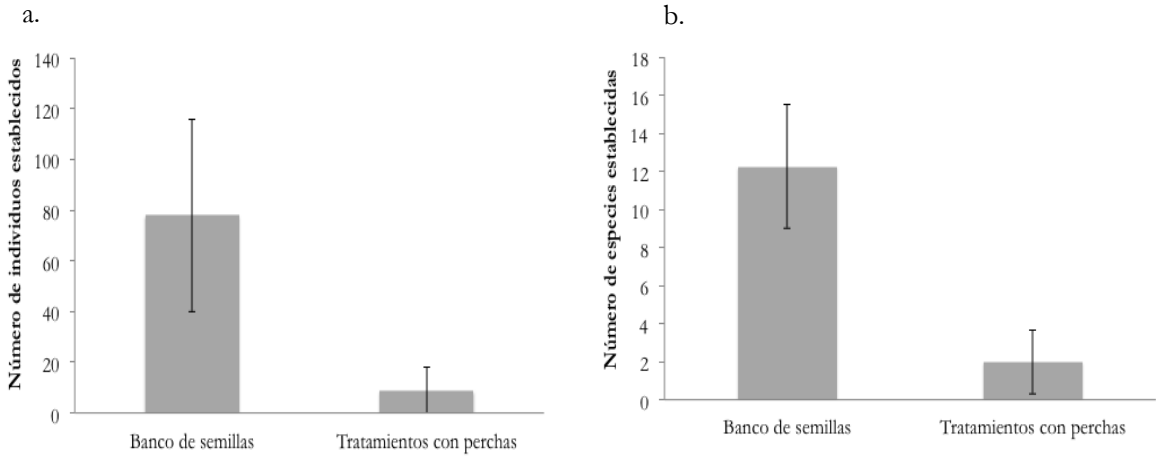


Figura 19. a. Número de plantas establecidas durante los ocho meses de expresión del banco de semillas y a los ocho meses siguiente de la instalación de las perchas (Prueba *t* pareada: t = 4,5473; g.l = 7; *Valor p* = 0,003) b. Número de especies encontradas a los ocho meses de expresión del banco de semillas y a los ocho meses siguientes a la instalación de las perchas (Prueba *t* pareada: t = 6,4943; g.l= 7, *Valor p* = 0,0003).

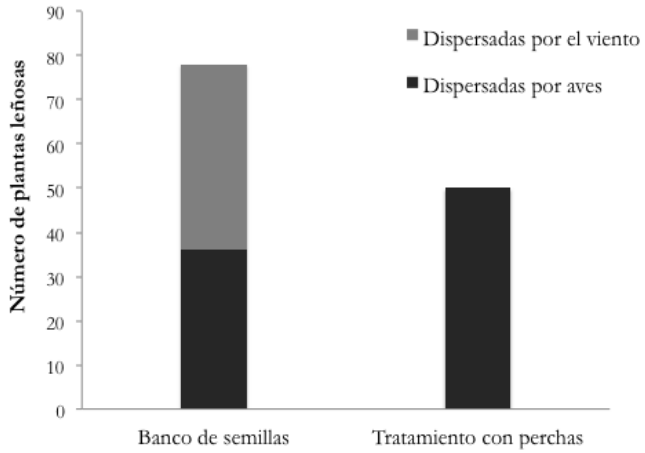


Figura 20. Número total de individuos de plantas leñosas que se establecieron al expresarse el banco de semillas y después de instalar las perchas artificiales. Prueba *t* pareada= t = 0,7335; g.l = 7; *valor p*= 0,4871.

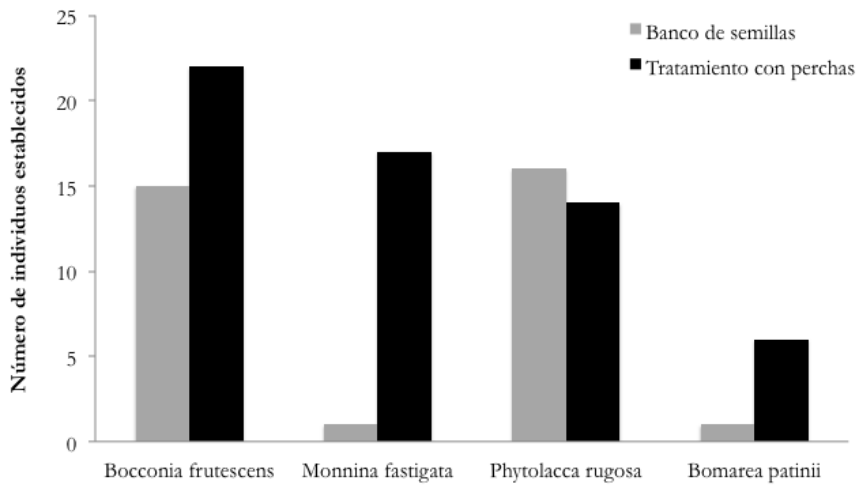


Figura 21. Número de individuos establecidos después de ocho meses de muestreo de las especies de plantas que se encontraron tanto en el banco de semillas como después de instalar las perchas artificiales. En la mayoría de especies, las perchas artificiales incrementan el establecimiento de estos individuos para un mismo periodo de tiempo.

4. Discusión

4.1 Consideraciones generales

El número de individuos que se establecieron bajo las perchas artificiales (442 plántulas en un área de 160 m², de las cuales 365 plántulas son de especies leñosas) es mucho mayor al reportado para áreas degradadas cercanas a bosques de Araucaria en Brasil (Zanini & Ganade, 2005), ya que con el mismo número de perchas (40), en un año de muestreo, el estudio en Brasil reportó 91 plántulas establecidas. De manera similar, Oliveira (2006) encontró, después de un año de monitoreo, que para un área degradada cercana a un bosque del cerrado brasilero, los individuos establecidos dispersados por las aves debajo de las perchas pertenecían a cuatro especies de plantas, mientras que el presente estudio encontró un total de 24 especies bajo las perchas. Por su parte, Elgar et al. (2014) reportan el reclutamiento en 20 meses de aproximadamente 0,79 especies leñosas por metro cuadrado, bajo perchas artificiales ubicadas en un área degradada cercana a un bosque tropical de Australia, establecimiento que es menor al reportado en este estudio (2,28 plantas leñosas por metro cuadrado).

Estas diferencias con los resultados de la literatura pueden deberse a factores como la cantidad de propágulos disponibles en cada zona, la cantidad y el tipo de aves que visitan las perchas para cada región, los tratamientos propios de este estudio, entre otros. Sin embargo, en todos los estudios en los que hay un establecimiento de las semillas dispersadas por aves (incluido este), se realizó una constante reducción de plantas altamente competitivas debajo de las perchas (e.g. las gramíneas y en algunas ocasiones las herbáceas; Elgar et al., 2014; Oliveira, 2006; Zanini & Ganade, 2005). Este tipo de procedimientos parece fundamental para que en el corto tiempo se aumente el establecimiento de las semillas dispersadas por aves bajo las perchas, ya que estas semillas parecen ser muy sensibles a las interacciones por competencia que pueden causar las gramíneas o plantas herbáceas pioneras (Callaway & Walker, 1997; Connell & Slatyer, 1977), lo que produce una inhibición o un retraso en el reclutamiento de las especies dispersadas por aves.

En la zona de estudio, los pastizales circundantes a los sitios de instalación de las perchas permanecieron iguales durante los dos años que duró el proyecto. Sin embargo, al hacer la comparación de la vegetación que creció del banco de semillas, con la vegetación que creció con los tratamientos que acompañaron la instalación de las perchas artificiales, se encontró un mayor número de individuos y de especies establecidas de las plantas que vienen del banco de semillas (Figura 19).

Este patrón no es extraño, ya que el banco de semillas en la zona de estudio es muy fuerte y parece contener semillas que por varios años se han depositado en los suelos y que estaban esperando la remoción del tensionante (las gramíneas) para poder expresarse.

No obstante, del total de plantas provenientes del banco de semillas, el 82 % son herbáceas de sucesiones muy tempranas y muy pocas plantas fueron leñosas (Anexo B - Tabla 1), lo que produjo que no se encontraran diferencias significativas entre el número de individuos y de especies leñosas que se establecieron producto del banco de semillas y bajo los tratamientos con perchas (Figura 20). Incluso, al comparar las especies leñosas que aparecieron en ambos tratamientos, fueron las perchas artificiales y no el banco de semillas, las que tenían los mayores números de individuos (Figura 21). Este hecho podría indicar una tendencia de un incremento rápido en el establecimiento de especies leñosas bajo las perchas a lo largo del tiempo (Carlo & Morales, 2016), y que con un tiempo de muestreo superior a los ocho meses, es posible que los tratamientos con perchas hubieran podido superar significativamente la cantidad de especies leñosas que provienen del banco de semillas. Una tendencia similar encontraron Elgar et al. en el 2014, ya que después de nueve meses de monitoreo, luego de la remoción de gramíneas, no hubo diferencias significativas entre el número de especies leñosas dispersadas por aves que se establecen en sitios con y sin perchas; pero, en otra zona cercana, después de 20 meses de monitoreo, los sitios de instalación de perchas pueden llegar a tener 17 veces más plantas leñosas que aquellos sitios sin perchas. Estas razones demuestran la necesidad de monitorear los estudios comparativos entre sitios con y sin perchas por más de ocho meses, para evitar sacar conclusiones apresuradas sobre la funcionalidad de las perchas para la restauración ecológica.

4.2 Características de las plantas establecidas y de las aves que visitan las perchas artificiales

Las investigaciones que describen características de las semillas dispersadas bajo perchas artificiales reportan que las aves dispersan especies pioneras de sucesiones tempranas, especies de sucesiones intermedias (Holl, 1998; Vicente et al., 2010) y especies de sucesiones tardías (Shiels & Walker, 2003, Vicente et al., 2010). En este estudio se encuentra un patrón similar, cuando se analizan los grupos funcionales de las plantas que provienen de la dispersión de las aves (Tabla 2), lo que indica que, en el área de estudio, las aves pueden aportan plantas útiles para que se lleve a cabo la sucesión vegetal.

Por ejemplo, las aves aportaron especies pioneras de rápido crecimiento (e.g. grupo funcional tres) con altas tasas de producción de hojas y resistentes a las condiciones adversas en los primeros estadios de germinación (debido a su mayor tamaño de semilla; e.g. grupo funcional dos), las cuales pueden crear rápidamente cobertura vegetal y aportar nutrientes en los suelos degradados (Dent, Bagchi, Robinson, Majalap-Lee, & Burslem, 2006). Sin embargo, un aporte importante de las aves es el establecimiento en el corto tiempo de especies capaces de generar un estrato medio arbustivo (e.g. grupo funcional cuatro; Figura 8; Tabla 1 y Tabla 2) junto con especies de sucesiones intermedias típicas de los bosques conservados de la región (grupo funcional uno, el más abundante; Tabla 1 y Tabla 2), lo que ayuda a

crear las condiciones microclimáticas que permiten el establecimiento de las especies de sucesiones tardías e incrementa la complejidad estructural de los bosques (Finegan, 1996).

La función de aportar rápidamente en las zonas degradadas especies avanzadas en la sucesión vegetal podría ser considerada como una de las principales ventajas de utilizar a las aves y las perchas artificiales en los procesos de restauración ecológica. Un patrón similar encontraron De la Peña-Domene, Martínez-Garza, Palmas-Pérez, Rivas-Alonso, & Howe (2014), en áreas degradadas cercanas a un bosque tropical de México, ya que después de seis años de monitoreo en plantaciones, se evidenció que las aves son las que más aportan en el reclutamiento de especies de sucesiones tardías, aporte que empezó a evidenciarse a partir de los cinco años de monitoreo. Además, las estrategias que ayudan al establecimiento de las plantas dispersadas mejoran el hábitat para las aves frugívoras incrementando sus fuentes de alimento (Carlo & Morales, 2016), lo que a futuro puede atraer más aves y con ellas más especies de sucesiones intermedias y tardías. Sin embargo, es importante resaltar que especies típicas del ecosistema sub-andino, como los robles (*Quercus sp.*) o los cedros (*Cedrella sp.*), no presentan dispersión por aves, por lo que se necesitan acciones complementarias para incrementar la presencia de estas especies en las áreas degradadas.

En esta investigación, las aves que más visitaron las perchas fueron aquellas insectívoras–frugívoras que se reportan forrajeando en áreas degradadas y las que forrajean en áreas degradas y conservadas (forrajeo en áreas mixtas, Figura 14). Las aves insectívoras–frugívoras son muy importantes en el proceso de dispersión de semillas hacia las áreas degradas (Fitzpatrick 1981; Carlo & Morales, 2016; Melo, 1997), ya que sus hábitos de forrajeo las hace buscar sitios expuestos (como las perchas artificiales) dentro de las áreas intervenidas para cazar insectos, y, en el proceso, pueden depositar las semillas que han consumido en otras partes del paisaje (Fitzpatrick, 1981; Guedes et al., 1997). De esta forma, las aves que forrajean en lo que se denominó áreas mixtas pueden dispersar bajo las perchas las plantas de sucesiones intermedias que han consumido en los bosques conservados (Carlo & Morales 2016), por lo que su presencia puede ser clave para garantizar la funcionalidad de las perchas artificiales. Por su parte, las aves que forrajean en áreas degradadas son las que pueden estar depositando las especies pioneras bajo las perchas artificiales (Cardoso da Silva, Uhl, & Murray, 1996).

4.3 Distribución espacial de las perchas, presencia de vegetación pionera y control de herbívoros

Similar a lo encontrado por Zanini & Ganade (2005), hay una tendencia significativa de una mayor cantidad de individuos de plantas establecidos bajo las perchas agrupadas con vegetación pionera (Figura 9b); sin embargo, debajo de las perchas aisladas, el mayor establecimiento se presentó en los cuadrantes sin vegetación pionera (Figura 9a). Estos resultados podrían explicarse por los requerimientos intrínsecos para germinar y desarrollarse de las semillas de plantas dispersadas por aves (Person et al., 2000, Grubb, 1977) y por el efecto de la densidad de las plantas pioneras sobre las interacciones de facilitación y competencia dentro de la sucesión (Callaway & Walker, 1997; Connell &

Slatyer, 1977). Es decir, en las perchas aisladas se registró una alta proporción de aves que forrajean en áreas degradadas (Figura 16), las cuales pueden dispersar varias semillas de plantas de sucesiones tempranas (e.g. la hierba *Phytolacca rugosa*) que pueden ser inhibidas por las condiciones que genera la vegetación pionera herbácea (Connell & Slatyer, 1977) y ser favorecidas por las condiciones creadas en las áreas sin vegetación pionera. Estos factores pueden ayudar a explicar el alto número de individuos en este nivel de tratamiento. De manera similar, en los tratamientos de perchas agrupadas, se registró una alta proporción de aves que forrajean en las áreas conservadas (Figura 16), las cuales pueden dispersar semillas de plantas que se vean favorecidas por las condiciones microclimáticas que proporciona la vegetación pionera (Callaway & Walker, 1997) y aumentar el establecimiento en este nivel de tratamiento.

Contrario a lo encontrado por Cole et al. (2010), para plantaciones agrupadas, las perchas agrupadas no mostraron un mayor establecimiento de plantas y registraron menos individuos y especies de aves que las perchas aisladas (Figura 15Figura 17). Esto puede deberse a que el incremento en la cantidad de recursos (en este caso de perchas artificiales), en la zona degradada estudiada, no parece ser la única variable que determina la rápida atracción de las aves; existen otros factores como las rutas de forrajeo de las aves o la influencia de las coberturas vegetales que deben ser tenidos en cuenta para incrementar dicha atracción (McDonnell & Stiles, 1983; Wunderle, 1997). El no contemplar estos factores para el diseño experimental de este estudio pudo causar una subutilización de las perchas agrupadas, reduciendo el número de visitas de aves en estas estructuras. Se recomienda tener en cuenta las rutas de forrajeo de las aves y la influencia de las coberturas vegetales cercanas a las perchas para poner a prueba el efecto de las perchas agrupadas sobre la atracción de las aves.

Por su parte, en varias investigaciones, el efecto de la depredación de semillas y de plántulas se reporta como una barrera que puede reducir el establecimiento de las plantas dispersadas por aves (Aide & Cavelier, 1994; Heelemann et al., 2012; Holl, 1998; Shiels & Walker, 2003; Tomazi et al., 2010; Vicente et al., 2010). Sin embargo, en el área de estudio, los tratamientos destinados a reducir la herbivoría y las barreras físicas, que trataban de disminuir la presencia de mamíferos pequeños no fosoriales (e.g. ratones, algunas veces reportados como depredadores de semillas; Shiels & Walker, 2003; How & Lolow, 1997; Holl et al 2000), no afectaron significativamente el establecimiento de estas plantas (Tabla 3). Esto puede deberse a que en el sitio de estudio hay una baja presencia de animales que ataquen a las semillas y a las plantas dispersadas por aves, lo que se podría relacionar con la baja mortalidad que presentaron estas plantas (6,6 % del total de individuos que nacieron en un año). Sin embargo, debido a las pocas réplicas del control de herbívoros que se tuvo en esta investigación, no se pudo analizar a mayor profundidad el efecto de este tratamiento.

4.4 Vegetación circundante a las zonas de instalación de las perchas artificiales

Se observó que la presencia de arbustos tuvo una gran influencia en la funcionalidad de las perchas,

esto puede deberse a que, en el sitio de estudio, los arbustos tienen una altura aproximada de 4 m, lo que hace que las perchas artificiales se proyecten por encima del nivel de esta cobertura. Esta característica se ha considerado muy importante para atraer a las aves dispersoras de semillas (Wunderle, 1997). De esta forma, el hecho de que hayan más plantas establecidas y más especies de aves frugívoras en las perchas, con más cantidad de arbustos alrededor (Figura 11 y Figura 18), puede explicarse porque entre más arbustos presentes en una zona hay más heterogeneidad estructural, más disponibilidad de perchas naturales y más fuentes de alimento, lo que puede incrementar la atracción de las aves a estos lugares (Wounderle, 1997). Esta atracción pudo aumentar las visitas a las perchas artificiales de las especies de aves frugívoras asociadas a la cobertura de arbustos, lo que pudo aumentar el número de semillas dispersadas y, posteriormente, el número de plantas que se establecen bajo las estructuras.

Similar a lo reportado en otras investigaciones (Aide & Cavelier, 1994; McDonnell & Stiles, 1983), este estudio comprueba que la distancia de las perchas a la cobertura vegetal sí puede influir en la cantidad de plantas establecidas, si las perchas se instalan a distancias menores de 20 m desde la cobertura. A distancias mayores, esta relación se puede perder (Carlo & Morales, 2016; Graham & Page, 2011). En este estudio, el efecto de la distancia se evidencia solo con la cobertura de arbustos e interactuando con la cantidad de arbustos cercanos a las perchas (Figura 11). De esta forma, se observó que las perchas ubicadas cerca de las coberturas de arbustos tienden a tener un mayor número de plantas establecidas que las perchas ubicadas a distancias más lejanas. Estos resultados se pueden explicar, porque la estructura y el alimento disponible dentro de las coberturas vegetales puede atraer a varias aves a las perchas cercanas a los arbustos (Aide & Cavelier, 1994; McDonnell & Stiles, 1983), lo que puede incrementar el número de plantas establecidas.

Además, la altura de la cobertura vegetal cercana a las perchas es otra variable clave que influencia el establecimiento de las plantas dispersadas por aves. En este estudio, la cercanía de las perchas a los árboles altos (mayores a 20 m) disminuyó el número de plantas establecidas (Figura 10) y el número de aves que visitaban las perchas artificiales. Esto lo pueden explicar los patrones de forrajeo de las aves, ya que estos organismos pueden preferir llegar a árboles altos y buscar a ese nivel de altura sus siguientes sitios de parada, ignorando las perchas artificiales que se encuentran cerca de estos árboles y a una altura considerablemente menor. Por ejemplo, Cintra (1997) encontró, para bosques y sabanas cercanas al Amazonas brasilero, que de 11 especies de tiránidos evaluados, todas, en ambos hábitats, escogieron preferiblemente los árboles más altos para percharse y forrajear, recalcando que en zonas de baja visibilidad los árboles altos se convierten en puntos estratégicos para las aves (Cintra, 1997). Al reducir la cantidad de aves en las estructuras artificiales cerca de los árboles altos, se reduce el número de plantas que se van a establecer.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- El principal aporte de las aves frugívoras y de las perchas artificiales para los procesos de restauración ecológica del área estudiada es acelerar el establecimiento de especies vegetales de sucesiones intermedias y de arbustos leñosos.

- La influencia de la vegetación pionera sobre el establecimiento de las plantas bajo las perchas artificiales puede depender de las interacciones de competencia y facilitación de las plantas dispersadas y de los requerimientos intrínsecos para el desarrollo de las semillas que se dispersan.

- Las perchas ubicadas cerca de coberturas vegetales de menor o similar tamaño que las perchas artificiales (e.g. arbustos) incrementan la cantidad de plantas establecidas y la visita de las aves; pero, si las perchas se ubican junto a árboles muy altos, se reducen estas cantidades.

- En esta investigación no hubo una ventaja de la disposición espacial agrupada de las perchas sobre el establecimiento de plantas dispersadas por aves, se recomienda tener en cuenta las variables del paisaje y las características de forrajeo de las aves para evaluar el efecto de esta agrupación en las perchas.

- Los tratamientos para disminuir la presencia de herbívoros y de mamíferos fosoriales depredadores de semillas no tuvieron efecto significativo sobre el establecimiento de plantas dispersadas por aves. Sin embargo, se necesitan estudios más rigurosos para conocer el grado de limitación ocasionado por estos factores, para el establecimiento de las plantas.

- Los estudios que comparan las plantas establecidas entre sitios con y sin perchas deberían tener tiempos de monitoreo mayores a los ocho meses si se quiere

comprobar de forma precisa el efecto de este tipo de estrategias para la recuperación vegetal de las zonas degradadas.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda manejar la densidad de gramíneas y de herbáceas en las áreas de instalación de las perchas artificiales, para aumentar el establecimiento de las plantas dispersadas por aves.

- Se recomienda manejar el tamaño de las perchas artificiales para que siempre queden adyacentes a coberturas vegetales de menor altura; se aclara que si estas estructuras se ubican cerca de áreas con abundante cobertura vegetal, la funcionalidad de las perchas puede incrementar.

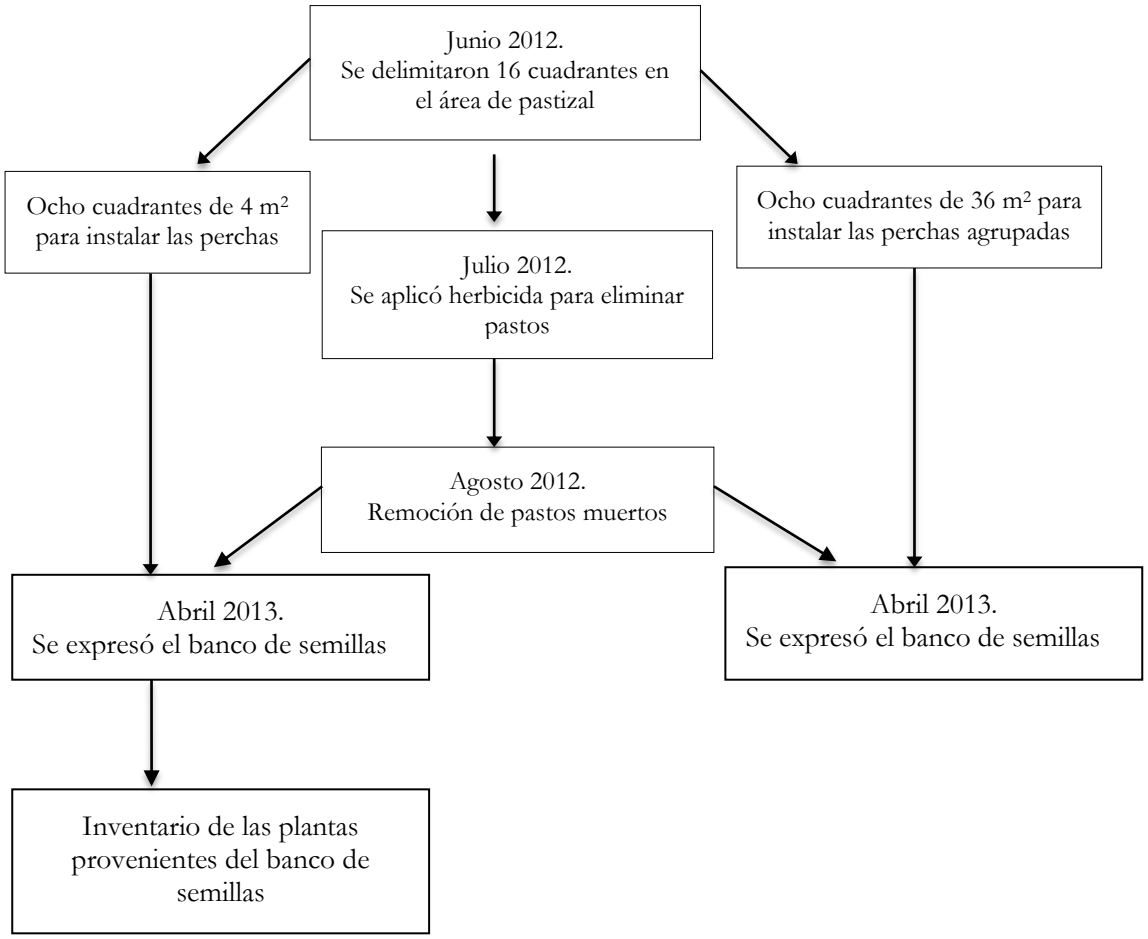
- Se recomienda estudiar las características de forrajeo de las aves para conocer los sitios más efectivos para instalar las perchas artificiales. Además, se recomienda evaluar el efecto de la micro heterogeneidad ambiental bajo las perchas para promover el establecimiento de las diferentes especies dispersadas por aves.

- Se recomienda estudiar el efecto de propagar las semillas dispersadas por aves en condiciones de vivero, para conocer la potencialidad máxima de las perchas en los procesos de restauración ecológica.

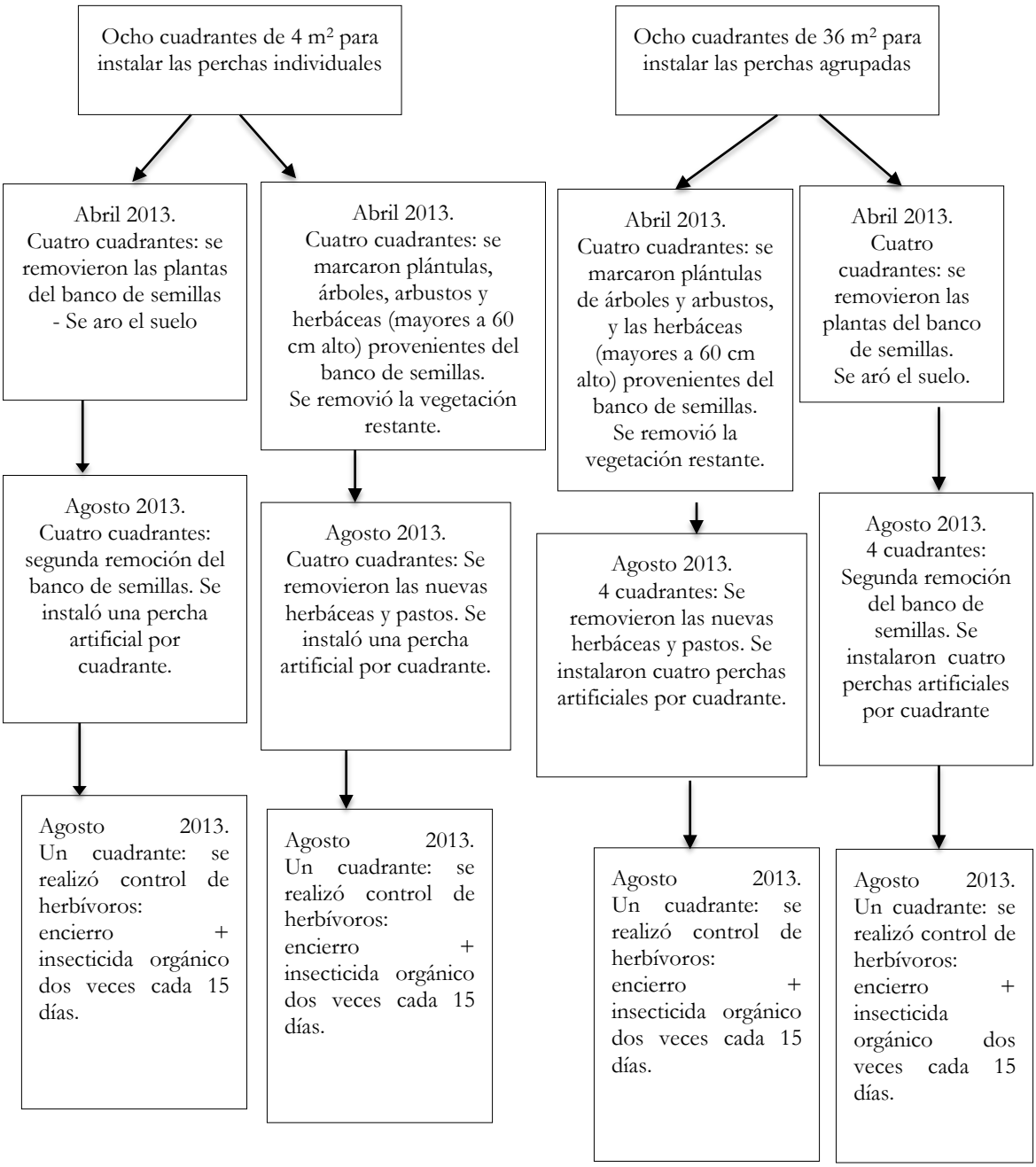
- Finalmente, se recomienda continuar las investigaciones con el fin de encontrar las mejores estrategias para aprovechar la dispersión de semillas de las aves en los procesos de restauración ecológica. Conocer estas estrategias permitirá evaluar las ventajas, limitaciones y la costo-efectividad del método, lo que es fundamental para brindar recomendaciones a quienes manejan las tierras destinadas a la recuperación vegetal.

A. Anexo: Fases del desarrollo de la investigación

Fase 1. Selección de sitios de trabajo, remoción de pastos y expresión del banco de semillas.



Fase 2. Adecuación de los sitios de instalación de las perchas artificiales.



Fase 3. Monitoreo.

Toma de datos: agosto 2013 - agosto del 2014. Cada 15 días conteo y marcación de plantas dispersadas por aves: medidas de altura y número de hojas.

B. Anexo: Plantas provenientes del banco de semillas y de las perchas artificiales después de ocho meses de crecimiento

Anexo B - Tabla 1

Plantas que crecieron después de ocho meses de expresión del banco de semillas, en las áreas de instalación de las perchas artificiales con distribución aislada

Familia	**Especie**	**Ind.**	**Hábito**	**Dispersión**	**Estrategia**
Alstroemeriaceae	*Bomarea patinii*	1	Enredadera	Aves	Pionera
Apiaceae	*Cyclospermum leptophyllum*	11	Hierba	Viento	Pionera
Araliaceae	*Hydrocotyle humboldtii*	9	Hierba	Viento	Pionera
Cannabaceae	*Trema micrantha*	16	Árbol	Aves	Pionera
Caryophyllaceae	*Arenaria lanuginosa*	1	Hierba	Viento	Pionera
Caryophyllaceae	*Drymaria gracilis*	7	Hierba	Viento	Pionera
Compositae	*Baccharis latifolia*	16	Arbusto	Viento	Pionera
Compositae	*Ageratum conyzoides*	1	Viento	Hierba	Pionera
Compositae	*Austroeupatorium inulaefolium*	3	Hierba	Viento	Pionera
Compositae	*Chromolaena odorata*	2	Hierba	Viento	Pionera
Compositae	*Chromolaena sp.*	8	Arbusto	Viento	Pionera
Compositae	*Cirsium echinatum*	1	Hierba	Viento	Pionera
Compositae	*Compositae sp.*	1	Hierba	Viento	Pionera
Compositae	*Erechtites valerianifolia*	9	Hierba	Viento	Pionera
Compositae	*Erigeron bonariensis*	191	Hierba	Viento	Pionera
Compositae	*Erigeron canadensis*	3	Hierba	Viento	Pionera
Compositae	*Galinsoga quadriradiata*	13	Hierba	Viento	Pionera
Compositae	*Gnaphalium coarctatum*	8	Hierba	Viento	Pionera
Compositae	*Gnaphalium polycephalum*	3	Hierba	Viento	Pionera
Compositae	*Smallanthus sp.*	1	Hierba	Barocoría	Pionera
Compositae	*Sonchus oleraceus*	2	Hierba	Viento	Pionera
Compositae	*Taraxacum campylodes*	3	Hierba	Viento	Pionera
Malvaceae	*Malvastrum americanum*	18	Arbusto	Viento	Pionera
Orobanchaceae	*Castilleja scorzonerifolia*	2	Hierba	Viento	Pionera
Papaveraceae	*Bocconia frutescens*	15	Arbusto	Aves	Pionera

Anexo B - Tabla 2 (Continuación)

Familia	**Especie**	**Ind.**	**Hábito**	**Dispersión**	**Estrategia**
Phyllanthaceae	*Phyllanthus amarus*	61	Hierba	Aves	Pionera
Phytolaccaceae	*Phytolacca rugosa*	16	Hierba	Aves	Pionera
Polygalaceae	*Monnina fastigiata*	1	Arbusto	Aves	Pionera
Polygalaceae	*Polygala paniculata*	6	Hierba	Viento	Pionera
Polygonaceae	*Persicaria punctata*	2	Hierba	Aves	Pionera
Rubiaceae	*Galium canescens*	10	Hierba	Aves	Pionera
Rubiaceae	*Galium hypocarpium*	10	Hierba	Aves	Pionera
Rubiaceae	*Spermacoce alata*	49	Hierba	Aves	Pionera
Rubiaceae	*Spermacoce ocymoides*	4	Hierba	Aves	Pionera
Solanaceae	*Physalis peruviana*	25	Hierba	Aves	Pionera
Solanaceae	*Solanum americanum*	83	Hierba	Aves	Pionera
Solanaceae	*Solanum caripense*	6	Hierba	Aves	Pionera
Solanaceae	*Solanum torvum*	4	Arbusto	Aves	Pionera
Urticaceae	*Phenax hirtus*	2	Hierba	Viento	Pionera

Anexo B - Tabla 3

Plantas que se establecieron bajo las perchas artificiales después de ocho meses de muestreo. La mayoría de plantas establecidas tienen el hábito de crecimiento arbustivo

Familia	**Especies**	**Ind.**	**Habito**	**Dispersión**	**Estrategia**
Papaveraceae	*Bocconia frutescens*	*22*	Arbusto	Aves	Pionera
Alstroemeriaceae	*Bomarea patinii*	*6*	Enredadera	Aves	Pionera
Urticaceae	*Cecropia mutisiana*	*2*	Árbol	Aves-Murciélagos	Pionera
Solanaceae	*Cestrum ochraceum*	*2*	Arbusto	Aves	Pionera
Rhamnaceae	*Frangula goudotiana*	*3*	Arbusto	Aves	Pionera intermedia
Polygalaceae	*Monnina fastigata*	*17*	Arbusto	Aves	Pionera
Phytolaccaceae	*Phytolacca rugosa*	*14*	Hierba	Aves	Pionera
Adoxaceae	*Viburnum triphyllum*	*4*	Árbol	Aves	Pionera intermedia

Bibliografía

Aide, T. M., & J. Cavelier, J. (1994). Barriers to lowland tropical forest restoration in the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Restoration Ecology, 2*(4), 219-229.

Armenteras, D., Rodríguez, N., Retana, J, &. Morales, M. (2011). Understanding deforestation in montane and lowland forest of the Colombian Andes. *Regional Environmental Change, 11*(3), 693-705.

Callaway, R. M., & Walker, L. R. (1997). Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology, 78*(7), 1958-1965.

Cardoso da Silva, J. M., Uhl, C., & Murray, G. (1996). Plant succession, landscape management, and the ecology of frugivorous birds in abandoned Amazonian pastures. *Conservation biology, 10*(2), 491-503.

Celis, G. & Jose, S. (2011). Restoring abandoned pasture land with native tree species in Costa Rica: Effects of exotic grass competition and light. *Forest Ecology and Management, 261*(10), 1598-1604.

Célleri, R., & Feyen, J. (2009). The Hydrology of Tropical Andean Ecosystems: Importance, Knowledge Status, and Perspectives. *Mountain Research and Development, 29*(4), 350–355.

Cintra, R. (1997). Spatial distribution and foraging tactics of tyrant flycatchers in two habitats in the Brazilian Amazon. *Studies on Neotropical Fauna and Environment, 32*(1), 17-27.

Clewell, A. F., & Aronson, J. (2013). *Ecological restoration: principles, values, and structure of an emerging profession*. Washington D. C., United States of America: Island Press.

Cole, R. J., Holl, K. D. & Zahawi, R. A. (2010). Seed rain under tree islands planted to restore degraded lands in a tropical agricultural landscape. *Ecological Applications, 20*(5), 1255-1269.

Connell, J. H., & Slatyer, R. O. (1977). Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *The American Naturalist, 111*(982), 1119-1144.

Cubina, A., & Aide, T. 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.

Dent, D. H., Bagchi, R., Robinson, D., Majalap-Lee, N., & Burslem, D. F. (2006). Nutrient fluxes via litterfall and leaf litter decomposition vary across a gradient of soil nutrient supply in a lowland tropical rain forest. *Plant and Soil, 288*(1-2), 197-215.

de la Peña-Domene, M., Martínez-Garza, C., Palmas-Pérez, S., Rivas-Alonso, E., & Howe, H. F. (2014). Roles of Birds and Bats in Early Tropical-Forest Restoration. *PLoS One, 9*(8), 1-6.

Elgar, A. T., Freebody, K., Pohlman, C. L., Shoo, L. P., & Catterall, C. P. (2014). Overcoming barriers to seedling regeneration during forest restoration on tropical pasture land and the potential value of woody weeds. *Frontiers in plant science, 5*, 1-10.

Finegan, B. (1996). Pattern and process in neotropical secondary rain forests: The first 100 years of succession. *Trends in Ecology and Evolution, 11*, 119–124.

Fitzpatrick, J. W. (1981). Search strategies of tyrant flycatchers. *Animal Behaviour, 29*(3), 810-821.

Gómez, P. & Vargas, O. (2011). Grupos funcionales de especies promisorias para la restauración

ecológica con base en sus rasgos de historia de vida en la reserve natural Ibanasca (Ibagué, Tolima, Colombia). En O. Vargas & S. Reyes (eds.), *La Restauración Ecológica en la Práctica* (241-249). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Gondard, H., Juffrest, S., Lavorel, S. & Aronson, J. (2001). Plant Functional Types: a promising tool for the restoration of degraded land. Applied Vegetation Science, 6(2), 223-234.

Graham, L. L. B., & Page S. E. (2011). Artificial Bird Perches for the Regeneration of Degraded Tropical Peat Swamp Forest: A Restoration Tool with Limited Potential. *Restoration Ecology, 20*(5), 631-637.

Grubb, P. J. (1977). The maintenance of species-richness in plant communities: the importance of the regeneration niche. *Biological Review, 52*(4), 107-145.

Guariguata M. R. & Ostertag, R. (2001). Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management, 148*, 185–206

Guedes, M. C., Melo, V. A., & Griffith, J. J. (1997). Uso de poleiros artificiais e ilhas de vegetação por aves dispersoras de sementes. *Ararajuba, 5*(2), 229-232.

Halpern, C. B. (1989). Early successional patterns of forest species: interactions of life history traits and disturbance. *Ecology, 70*(3), 704-720.

Hammer, O., Harper, D.A.T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica 4*(1). Recuperado de http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf

Heelemann, S., Krug, C. B., Esler, K. J., Reisch, C., & Poschlod, P. (2012). Pioneers and Perches—Promising Restoration Methods for Degraded Renosterveld Habitats? *Restoration Ecology, 20*(1), 18-23.

Hobbs, R. J., Walker, L. R., & Walker, J. (2007). Integrating restoration and succession. En L. R. Walker, J. Walker & R. J. Hobbs, *Linking restoration and ecological succession* (pp. 168-179). New York, United States of America: Springer.

Holl, K. D. (1998). Do bird perching structures elevate seed rain and seedling establishment in abandoned tropical pasture? *Restoration Ecology, 6*(3) 253–261.

Holl, K. D., Loik, M. E., Lin, E. H. V. & Samuels, I. A. (2000). Tropical Montane Forest Restoration in Costa Rica: Overcoming Barriers to Dispersal and Establishment. *Restoration Ecology, 8*(4), 339–349.

Hooper, E., Legendre, P. & Condit, R. (2005). Barriers to forest regeneration and of deforested and abandoned land in Panama. *Journal of Applied Ecological, 42*, 1165–1174.

Horn, H. S. (1974). The ecology of secondary succession. *Annual Review of Ecology and Systematics, 5*, 25-37

Howe, H.F., & Smallwood, J. (1982). Ecology of seed dispersal. *Annual Review of Ecology and Systematics, 13*, 201–228.

Huston, M., & Smith, T. (1987). Plant succession: life history and competition. *American Naturalist, 130*(2), 168-198.

Kissling, W. D., Böhning–Gaese, K. & Jetz, W. (2009). The global distribution of frugivory in birds. *Global Ecology and Biogeography, 18*, 150–162.

Loik, M. E., & Holl, K. D. (2001). Photosynthetic response of tree seedlings in grass and under shrubs in early-successional tropical old fields, Costa Rica. *Oecologia, 127*, 40–50.

McClanahan, T.R., & Wolfe, R. W. (1993). Accelerating Forest Succession in a Fragmented Landscape:

The Role of Birds and Perches. *Conservation Biology, 7*(2), 279-288.

McDonnell, M. J., & E. W. Stiles. (1983). The structural complexity of old field vegetation and the recruitment of bird-dispersed plant species. *Oecologia, 56*(1), 109-116.

Melo, V. A. (1997). *Poleiros artificiais e dispersão de sementes por aves em uma área de reflorestamento, no estado de Minas Gerais* (Tesis de Maestría). Recuperado de http://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/melo,va.pdf

Mikich, S. B., & da Silva Possette, R. F. (2007). Análise quantitativa da chuva de sementes sob poleiros naturais e artificiais em Floresta Ombrófila Mista. *Pesquisa Florestal Brasileira*, (55), 103-105.

Oliveira, F. F. (2006). *Plantio de espécies nativas e uso de poleiros artificiais na restauração de uma área pertubada de cerrado sentido restrito em ambiente urbano no Distrito Federal, Brasil* (Tesis de maestría). Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.

Ortega-Pieck, A., López-Barrera, F., Ramírez-Marcial, N., & García-Franco, J. G. (2011). Early seedling establishment of two tropical montane cloud forest tree species: The role of native and exotic grasses. *Forest Ecology and Management, 261*(7), 1336-1343.

Pearson, T. R. H., Burslem, D. F. R. P., Mullins, C. E., & Dalling, J. W. (2002). Germination ecology of neotropical pioneers: interacting effects of environmental conditions and seed size. *Ecology, 83*(10), 2798-2807.

Pejchar, L., Pringle, R. M., Ranganathan, J., Zook, J. R., Duran, G., Oviedo, F. & Daily, G. C. (2008). Birds as agents of seed dispersal in a human-dominated landscape in southern Costa Rica. *Biological Conservation, 141*, 536-544.

Pickett, S. T. A., Collins, S. & Armesto, J. J. (1987). Models, Mechanisms and pathways of succession. *Botanical Review, 53*(3), 335-371.

Pickett, S. T. A., Cadenasso, M. L., & Meiners, S. J. (2005). Vegetation dynamics. En E. van der Maarel & J. Franklin, *Vegetation ecology* (172-198). Estados Unidos de América: Wiley-Blackwell.

Pillatt, N., Pillatt, N., Franco, E. T. H., & Coelho, G. C. (2010). Dry artificial perches and the seed rain in a subtropical riparian forest. *Revista Brasileira de Biociências, 8*(3), 246-252.

Poschlod, P., Tackenberg, O., & Bonn, S. (2005). Plant dispersal potential and its relation to species frequency and coexistence. En E. van der Maarel & J. Franklin, *Vegetation ecology* (147-171). Estados Unidos de América: Wiley-Blackwell.

Pywell, R. F., Bullock, J. M., Roy, D. B., Warman, L., Walker, K. J. & Rothery, P. (2003). Plant traits as predictors of performance in ecological restoration. *Journal of Applied Ecology, 40*(1), 65–77.

Reid, J. L., & Holl, K. D. (2013). Arrival≠ survival. *Restoration Ecology, 21*(2), 153-155.

Reis, A., Bechara, F. C., Espíndola, M. D., Vieira, N. K., & Souza, L. D. (2003). Restauração de áreas degradadas: a nucleação como base para incrementar os processos sucessionais. *Natureza & Conservação, 1*(1), 28-36.

Rincón, D. A. (2005). *Bird perches increase seed dispersal in abandoned pastures at colombian andean forests* (Trabajo de grado). Recuperado de http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/116/2/118074.pdf

Roberts, R. E., Clark, D. L. & Wilson, M. V. (2010). Traits, neighbours, and species performance in prairie restoration. *Applied Vegetation Science, 13*(3), 270–279.

Rodríguez, N., Armenteras, D., Morales, M., & Romero, M. (2004). *Ecosistemas de los Andes Colombianos*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, D. C., Colombia.

Rodríguez, N., Armenteras, D., Morales, M., & Romero, M. (2006). *Ecosistemas de los Andes Colombianos* (Segunda edición). Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Dolors_Armenteras/publication/236173774_Ecosistemas_de_los_andes_Colombianos/links/547b439c0cf205d16881c3f0.pdf

Rudas, G., Marcelo, D., Armenteras, D., Rodríguez, N., Morales, M., Delgado L. C. & Sarmiento, A. (2007). *Biodiversidad y actividad humana: relaciones en ecosistemas de bosque subandino en Colombia*. Recuperado de http://www.quimica.unal.edu.co/unciencias/data-file/user_26/bosque_subandino.pdf

Samuels, I. A., & Levey D. J. (2005). Effects of gut passage on seed germination: do experiments answer the questions they ask? *Functional Ecology, 19*(2), 365–368.

Schupp, E. W., Howe, H. F., Augspurger, C. K. & Levey, D. J. (1989). Arrival and survival in tropical treefall gaps. *Ecology, 70*(3), 562-564.

Scott, R., Pattanakaew, P., Maxwell, J. F., Elliott, S., & Gale, G. (2000). The effect of artificial perches and local vegetation on bird-dispersed seed deposition into regenerating sites. En S. Elliot, J. Kerby, D. Blakesley, K. Hardwick, K. Woods, & V. Anusarnsunthorn (eds.), *Forest Restoration for Wildlife Conservation* (326-337). Chiang Mai, Thailand: Forest Restoration Research Unit

Sekercioglu, Ç. H. (2006). Increasing awareness of avian ecological function. *Trends in Ecology & Evolution, 21*(8), 464–471.

SER (Society for Ecological Restoration). (2004). *Principios de SER International sobre la restauración ecológica*. Washington D. C., United States of America: Tucson, Society for Ecological Restoration International.

Shiels, A. B. & Walker, L. R. (2003). Bird Perches Increase Forest Seeds on Puerto Rican Landslides. *Restoration Ecology, 11*(4), 457–465.

Snow, D. W. (1981). Tropical Frugivorous Birds and Their Food Plants: A World Survey. *Biotropica, 13*, 1-14.

Tomazi, A. L., Zimmermann, C. E., & Laps, R. R. (2010). Poleiros artificiais como modelo de nucleação para restauração de ambientes ciliares: caracterização da chuva de sementes e regeneração natural. *Biotemas, 23*(3), 125-135

Traveset, A., & Verdú, M. (2002). A meta-analysis of the effect of gut treatment on seed germination. En D. J. Levey, W. R. Silva, & M. Galetti (eds.), *Seed dispersal and frugivory: Ecology, evolution and conservation* (pp. 339-350). Wallingford, U. K.: CABI Publishing.

van der Maarel, E., & Sykes, M. T. (1993). Small-scale plant species turnover in a limestone grassland: the carousel model and some comments on the niche concept. *Journal of Vegetation Science, 4*(2), 179–188.

Vargas, O., Díaz–Espinosa, A., Trujillo, L., Velasco-Linares, P., Díaz-Martín, R., León, O., & Montenegro, A. (2007). Barreras para la restauración ecológica 46-66. En O. Vargas (ed.), *Estrategias para la restauración ecológica del bosque altoandino. El caso de la reserva forestal municipal de Cogua, Cundinamarca* (pp. 57-84). Bogotá, D. C., Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Velasco-Linares, P., & Vargas, O. (2007). La dispersión por aves y la restauración de los ecosistemas altoandinos. 171-181 En O. Vargas (ed.), *Estrategias para la restauración ecológica del bosque altoandino. El caso de la reserva forestal municipal de Cogua, Cundinamarca* (pp. 217-230). Bogotá, D. C., Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Velasco, P. (2007). Dispersión de semillas ornitócoras a zonas de potreros y potreros- ripiaras del embalse de Chisacá. En O. Vargas (ed.), *Restauración ecológica del bosque altoandino: estudios diagnósticos y experimentales en los alrededores del embalse de chisacá (Localidad de Usme, Bogotá D. C.)* (pp. 445-461). Bogotá, D. C., Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Vicente, R., Martins, R., Zocche, J. J., & Harter-Marques, B. (2010). Seed dispersal by birds on artificial perches in reclaimed areas after surface coal mining in Siderópolis municipality, Santa Catarina State, Brazil. *Revista Brasileira de Biociencias, 8*(1), 14-23.

Walker, L. R., & del Moral, R. (2003). *Primary Succession and Ecosystem Rehabilitation*. Cambridge, U. K.: Cambridge University Press.

Wunderle, J. M. (1997). The role of animal seed dispersal in accelerating native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management, 99*(1-2), 223–235.

Zahawi, R. A., and C. K. Augspurger. (2006). Tropical forest restoration: tree islands as recruitment foci in degraded lands of Honduras. *Ecological Applications, 16*(2), 464–478.

Zanini, L. & Ganade, G. (2005), Restoration of Araucaria Forest: The Role of Perches, Pioneer Vegetation, and Soil Fertility. *Restoration Ecology, 13*, 507–514.