APOYO AL PROYECTO RELACIONADO CON EL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE CONTROL BIOLÓGICO DE PLAGAS EN CAUCHO SABANERO (*Ficus americana* Aubl.*)* EN TRES PARQUES DE BOGOTÁ

Presentado por:
Nicolás Becerra
Código: 20152010005

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Ingeniería Forestal
Bogotá D.C
2022

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

APOYO AL PROYECTO RELACIONADO CON EL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE CONTROL BIOLÓGICO DE PLAGAS EN CAUCHO SABANERO (*Ficus americana* Aubl.) EN TRES PARQUES DE BOGOTÁ

Trabajo de grado en la modalidad de pasantía como requisito para optar por el título de Ingeniero Forestal.

Presentado por:

Nicolás Becerra

Código: 20152010005

Paola Andrea Olaya Arenas, Ph.D. Pos Doc.

Directora externa

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt

Olga Patricia Pinzón Florián, Ph.D.

Directora interna

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Ingeniería Forestal

Bogotá D.C

2022



Tabla de contenido

Resumen 6
Abstract 7
Introducción 8
Metodología 9
Área de estudio 9
Objetivo 1 10
Fase de campo 10
Fase de laboratorio 10
Análisis de datos 11
Resultados 11
Abundancia 12
Agaonidae polinizador y no polinizador de *Ficus americana* 13
Riqueza y Diversidad 13
Objetivo 2 16
Parasitismo 16
Fase de Campo 16
Fase de laboratorio 17
Análisis de datos 17
Resultados 17
Insectos escama 17
Pupas de mosca blanca. 18
Áfidos 19
Psílidos. 19
Objetivo 3 19
Fase de Campo 19
Análisis de datos 19
Resultados: 20
Evaluación fitosanitaria 20
Fluctuación de la abundancia de *Synoza cornutiventris* 20
Correlación entre abundancia de *Synoza cornutiventris* y las variables de crecimiento DAP y Altura de *Ficus americana* 21
Discusión 22
Conclusiones 27
Recomendaciones 27

Agradecimientos 27
Bibliografía 29

Índice de figuras

Figura 1. Parques objeto de estudio con sus respectivos buffers de 200 m. (Elaborado por Paola Olaya Arenas usando la base de datos del SIGAU (Jardín Botánico de Bogotá). Los puntos azules representan los individuos de caucho sabanero muestreados. 10

Figura 2. Recolección de insectos por jameo 10

Figura 3. Proceso de limpieza de la muestra obtenida por jameo. 11

Figura 4. (a). Eulophidae, (b). Coccidae. 11

Figura 5. Abundancia de grupos funcionales en árboles de *Ficus americana* en parques y andenes. Significativo ***p < 0.001, **p < 0.01 and *p < 0.05, ns = no significativo. 12

Figura 6. Porcentaje de *Pegoscapus* sp e *Idarnes* sp en árboles de *Ficus americana* ubicados en parques y andenes, en la ciudad de Bogotá. Significativo ***p < 0.001, **p < 0.01 and *p < 0.05, ns = no significativo.. 13

Figura 7. Números de Hill para Herbívoros, (a) Riqueza de especies ($q0$); (b) Medida de diversidad orden $q1$: (c) Medida de diversidad orden $q2$ y (d) Esfuerzo de muestreo..... 14

Figura 8. Números de Hill para Depredadores, (a) Riqueza de especies ($q0$); (b) Medida de diversidad orden $q1$: (c) Medida de diversidad orden $q2$ y (d) Esfuerzo de muestreo..... 15

Figura 9. Números de Hill para Parasitoides, (a) Riqueza de especies ($q0$); (b) Medida de diversidad orden $q1$: (c) Medida de diversidad orden $q2$ y (d) Esfuerzo de muestreo..... 16

Figura 10. Colecta de rama en árbol ubicado en andén..... 16

Figura 11. Porcentaje de insectos escama parasitados en árboles de *Ficus americana* ubicados en parques y andenes, en la ciudad de Bogotá. Significativo ***p < 0.001, **p < 0.01 and *p < 0.05, ns = no significativo. 18

Figura 12. Porcentaje de pupas de mosca blanca parasitadas en árboles de *Ficus americana* ubicados en parques y andenes, en la ciudad de Bogotá. Significativo ***p < 0.001, **p < 0.01 and *p < 0.05, ns = no significativo. 18

Figura 13. Fluctuación de la abundancia de *S. cornutiventris*, por mes y lugar de emplazamiento. 21

Figura 14. Matriz de correlación entre *S. cornutiventris* y el DAP y Altura de los árboles de *Ficus americana* ubicados en parques. Significativo ***p < 0.001, **p < 0.01, *p < 0.05, ■ p > 0.05, ns = no significativo. 22

Figura 15. Matriz de correlación entre *S. cornutiventris* y el DAP y Altura de los árboles de *Ficus americana* ubicados en andenes. Significativo ***p < 0.001, **p < 0.01 and *p < 0.05, ns = no significativo. 22

Índice de Tablas

Tabla 1. Ubicación y cantidad de árboles de caucho sabanero muestreados en cada zona seleccionada..... 9

Tabla 2. Abundancia de OTU´s en estado adulto recolectadas en parques y andenes. 12

Tabla 3. Efecto de la ubicación de los árboles en la abundancia de los grupos funcionales de artrópodos. Significativo ***p < 0.001, **p < 0.01 y *p < 0.05, ns = no significativo. . 12

Tabla 4. Insectos escama parasitados en árboles de *Ficus americana* ubicados en parques y andenes, en la ciudad de Bogotá Significativo a ***p < 0.001, **p < 0.01 y *p < 0.05, ns = no significativo. 17

Tabla 5. Evaluación fitosanitaria mostrando el grado medio de afectación (GMD), porcentaje de Incidencia y Severidad de afectación para los árboles de *Ficus americana* ubicados en parques y andenes, en tres localidades de Bogotá. 20

Tabla 6. Efecto de la ubicación de los árboles y los meses de muestreo en la abundancia de *Synoza cornutiventris*. Una prueba de Tukey se usó para comparar emplazamientos y meses entre sí. Significativo ***p < 0.001, **p < 0.01 and *p < 0.05, ns = no significativo..... 21

Resumen

El arbolado urbano provee múltiples servicios ecosistémicos tales como: la regulación climática, captura de material particulado, mejora de la calidad del paisaje de la ciudad, y conservación de la biodiversidad de vertebrados e invertebrados. Sin embargo, los árboles urbanos se encuentran sometidos a múltiples presiones como por ejemplo la contaminación ambiental, el estrés hídrico, y los daños mecánicos a sus órganos, generando vulnerabilidad a afectaciones por plagas y enfermedades transmitidas por estas. El arbolado urbano de Bogotá está compuesto por especies arbóreas tanto nativas como introducidas, el caucho sabanero *Ficus americana* Aubl. (MORACEAE), está ampliamente distribuida por la ciudad, conformando aproximadamente el 12% de árboles plantados. Desde los inicios del establecimiento del caucho sabanero en el arbolado urbano de Bogotá, esta especie se ha visto infestada por chupadores de savia, que afectan gravemente su estado fitosanitario por lo que es de vital importancia buscar soluciones por medio de investigaciones como la que se presenta a continuación. En estudio se muestrearon 41 árboles de caucho sabanero durante cuatro meses, con el objetivo de evaluar el efecto de las condiciones donde crecen (parque versus andén) en la abundancia y diversidad de los insectos asociados, la regulación de plagas por los parasitoides y su estado fitosanitario. De manera general, se encontró mayor abundancia de herbívoros y depredadores en árboles ubicados en andenes y mayor abundancia y diversidad de herbívoros, en parques mientras que para los grupos de parasitoides y depredadores no se encontraron diferencias significativas en las medidas de diversidad evaluadas. Adicionalmente, se observó parasitismo en cuatro especies de insectos escama y en menor medida en pupas de mosca blanca, afidos y psílidos. Finalmente, en cuanto al estado fitosanitario de los árboles de caucho sabanero se encontró que más del 50% individuos arbóreos muestreados que presentan emplazamiento en andenes se encuentran en categorías con alto porcentaje de afectación de la copa, mientras que el 65% de los árboles emplazados en parques se ubican en categorías con bajo porcentaje de afectación de la copa. Por lo que se concluye que la ubicación de los árboles en la ciudad juega un papel importante en la dinámica de los insectos asociados y por ello se recomienda considerar el ambiente y distribución de los árboles al para poder darle un mejor manejo a los problemas fitosanitarios a la vez que se provea protección a la diversidad asociada.

Palabras clave: Caucho sabanero, control biológico, arbolado urbano, herbívoros, parasitoides, depredadores, evaluación fitosanitaria, riqueza y diversidad.

Abstract

Urban trees provide multiple ecosystem services such as climate regulation, capture of particulate matter, improvement of the quality of the city landscape, and conservation of vertebrate and invertebrate biodiversity. However, urban trees are subject to multiple pressures such as environmental contamination, water stress, and mechanical damage to their organs, generating vulnerability to pests and pest-borne diseases. Bogota's urban tree population comprises native and introduced tree species. The species caucho sabanero *Ficus americana* Aubl. (MORACEAE), is widely distributed throughout the city, composing approximately 12% of the planted trees. Since the beginning of the establishment of the caucho sabanero, as ornamental species the city of Bogota, it has been severely affected by sap suckers, so it is of vital importance to seek solutions to the current problems of urban trees in Bogotá through research such as the one presented below. The study sampled 41 caucho sabanero trees during four months intended to compare the effect of the conditions where the trees grow (park versus sidewalk), on the abundance and diversity of associated insects, the regulation of pests by parasitoids and the phytosanitary state of the trees. As results, the abundance of herbivores and predators was higher in trees located on platforms than in parks and diversity of hervibores was higher in parks than in platforms, while not differences were observed in parasitoid and predator groups. Also, parasitism was observed in four species of scale insects and to a lesser extent in whitefly pupae, aphids and psyllids. Finally, regarding the phytosanitary status of the caucho sabanero trees, more than 50% of the trees sampled that are located on sidewalks are in categories with a high percentage of canopy damage, while 65% of the trees located in parks are in categories with a low percentage of canopy damage. Therefore, it is concluded that the location of trees in the city plays an important role in the dynamics of associated insects, factor that should be taken into account at the time of urban trees diversity and distribution planning, to better manage pest problems and to protect the beneficial diversity associated with them.

Key words: Caucho sabanero, biological control, urban trees, herbivores, parasitoids, predators, phytosanitary evaluation, richness and diversity.

Introducción

Las ciudades varían en edad, tamaño, densidad poblacional infraestructura, clima, regulaciones gubernamentales y aspectos socioeconómicos (Grimm et al., 2008). Todos estos factores crean una heterogeneidad de hábitats que impacta a la biodiversidad (Adams et al., 2020). Las megaciudades con más de 10'000.000 millones de habitantes presentan mayor superficie impermeables (edificios, carreteras, estacionamientos), mayor contaminación ambiental, altas temperaturas y fragmentación de los hábitats naturales (Miles et al., 2019). Bogotá está catalogada como una megaciudad que contiene una biodiversidad única y que está en peligro de extinción debido a la expansión de la urbanización (Weller et al., 2021).

En Bogotá, para el 2017, el porcentaje de espacio público verde representado por parques y jardines era del 4.90% (World Cities Culture Forum, 2017). A la fecha Bogotá tiene 1,322.458 árboles que corresponden a 374 especies (nativas y exóticas) y planea sembrar 80.000 árboles y arbustos en el espacio urbano para contribuir a la reforestación de la ciudad (Semana, 2021). La reducción de la diversidad y complejidad de la vegetación en las ciudades es uno de los principales factores influenciando cambios en la abundancia y diversidad de artrópodos (Raupp et al., 2010). Las plantas han co-evolucionado con los artrópodos por muchos años, por lo que cambios en la vegetación tiene un impacto en las interacciones planta-artrópodos y los servicios ecosistémicos (polinización, regulación de plagas, descomposición de materia orgánica y ciclo de nutrientes) que los artrópodos proveen (McIntyre 2000; Buchholz and Kowarik, 2019).

Una de las plantas nativas utilizadas para reforestar la ciudad de Bogotá fue el caucho sabanero (*Ficus americana* Aubl.) y por varios años este fue el árbol emblemático de la ciudad. Los árboles del género *Ficus* son considerados especies piedra angular ya que tienen un gran impacto en el sistema en relación con su abundancia. La producción asincrónica de frutos hace que estos estén disponibles para frugívoros a lo largo del año y en épocas donde otros árboles no producen frutos (Serrato y Nakagawa, 2012). Los frutos de *Ficus* se producen a través de su relación mutualistas con las avispas en la familia Agaonidae. No todas las especies en la familia Agaonidae polinizan los *Ficus*, pero si dependen de estos para su sobrevivencia (Serrato y Nakagawa, 2012). Los árboles de *Ficus* interactúan con una amplia comunidad de artrópodos, (~1875 especies) de registros de especies comerciales y ornamentales, que incluye chupadores de savia, masticadores de hojas, barrenadores de tallos, polinizadores y parasitoides (Basset et al., 1997). Por tanto, las especies de *Ficus* juegan un papel importante en mantener la diversidad local de artrópodos y posiblemente de la avifauna que se alimenta de ellos.

La heterogeneidad de los hábitats en las ciudades varía a escalas amplias y finas causando un impacto en la biodiversidad (Adams et al., 2020). Los árboles de *Ficus* al estar distribuidos en parques y andenes en Bogotá, crecen bajo diferentes micro-condiciones abióticas, por ejemplo, en los andenes los árboles crecen con sus raíces cubiertas por cemento, bajo temperatura menos amortiguada, con mayor exposición a la polución de los carros etc. Estos factores pueden causar un deterioro fitosanitario y su remoción del paisaje. Debido a la importancia que los árboles de *Ficus* por ser especies nativas tienen para el ecosistema y con el fin de generar criterios que promuevan la inclusión de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos en la toma de decisiones sobre el espacio público en las ciudades colombianas, los objetivos de este estudio fueron: 1) Conformar una colección representativa de los

insectos plaga y benéficos asociados a *Ficus americana* y evaluar el efecto de la ubicación (parques versus andenes) de los árboles de *Ficus americana* en la abundancia y diversidad de los insectos asociados. 2) Estimar y comparar las tasas de parasitismo en plagas asociadas a *Ficus americana* en parques y andenes y 3) Realizar una evaluación fitosanitaria de los árboles de *Ficus americana* en parques y andenes.

Este trabajo de pasantía con énfasis en investigación fue desarrollado en el departamento de Gestión Territorial de la Biodiversidad del Instituto Alexander Von Humboldt como apoyo al proyecto de investigación de postdoctorado de Paola Olaya Arenas "Generación de criterios que promuevan la inclusión de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos en la toma de decisiones sobre el espacio público en las ciudades colombianas", financiado por Minciencias y desarrollado con apoyo del Instituto Alexander Von Humboldt, el Jardín Botánico José Celestino Mutis y la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Metodología

Área de estudio

El muestreo de árboles urbanos de caucho sabanero (*Ficus americana* Aubl.) se llevó a cabo en tres parques de la ciudad de Bogotá y en sus alrededores dentro de un buffer de 200 m a partir del límite de los parques, como se muestra en la (Figura 1). Los diferentes sitios se seleccionaron teniendo en cuenta que la abundancia de caucho sabanero en los parques y en los andenes fuera casi igual. Los parques seleccionados fueron: La Independencia (localidad Santafé), Ciudad Jardín (localidad Antonio Nariño) y San Cristóbal (localidad San Cristóbal). Se seleccionaron y mapearon árboles en el parque y en los andenes en un buffer de 200 m. Los árboles muestreados se seleccionaron con el objetivo de evaluar el efecto de las condiciones donde crecen (parque versus andén) en la abundancia y diversidad de los insectos asociados, la regulación de plagas por los parasitoides y su estado fitosanitario. Se realizaron cuatro muestreos, en los meses de diciembre de 2020, marzo, abril y mayo de 2021. En total se evaluaron 41 árboles de caucho sabanero, 21 árboles en parques y 20 árboles en andenes (Tabla 1).

Tabla 1. Ubicación y cantidad de árboles de caucho sabanero muestreados en cada zona seleccionada

Parques	Árboles ubicados dentro del parque	Árboles ubicados en andenes dentro del buffer	Total de árboles muestreados
Ciudad Jardín	7	9	16
La Independencia	6	6	12
San Cristóbal	8	5	13
Total	21	20	41



Figura 1. Parques objeto de estudio con sus respectivos buffers de 200 m. (Elaborado por Paola Olaya Arenas usando la base de datos del SIGAU (Jardín Botánico de Bogotá). Los puntos azules representan los individuos de caucho sabanero muestreados.

Objetivo 1

Conformar una colección representativa de los insectos plaga y benéficos asociados a *Ficus americana* y evaluar el efecto de la ubicación (parques versus andenes) de los árboles de *Ficus americana* en la abundancia y diversidad de los insectos asociados.

Fase de campo

Por medio de una jama entomológica se llevó a cabo la recolección de los organismos presentes en las ramas y hojas de los cuatro puntos cardinales (N, S, E, O) de cada árbol (Fig. 2). La muestra total obtenida se dispuso en una bolsa ziploc, la cual contenía alcohol al 70%. Cada muestra fue almacenada en un refrigerador hasta su revisión.



Figura 2. Recolección de insectos por jameo

Fase de laboratorio

Se recolectaron un total de 164 muestras, 84 en árboles en parques y 80 en árboles en andenes. Cada muestra en alcohol se limpió (Fig. 3) y se llevó a cabo la separación, conteo y toma de fotografías de los individuos encontrados en las muestras (Fig. 4a y 4b). La identificación de los artrópodos, se realizó con el uso de claves entomológicas y guías (Carrejo & Gonzáles, 2012; Goula & Mata 2015; Fernández & Villar, 2015) y adicionalmente se contó con la ayuda de varios profesionales especialistas en determinados órdenes y grupos de interés. Cada unidad taxonómica operativa (OTU) se depositó en un frasco de vidrio de 4 ml y se incluyó una etiqueta con un número y código QR proporcionada por el Instituto Alexander von Humboldt (IAvH), sede Villa de Leyva donde se depositará la colección completa.

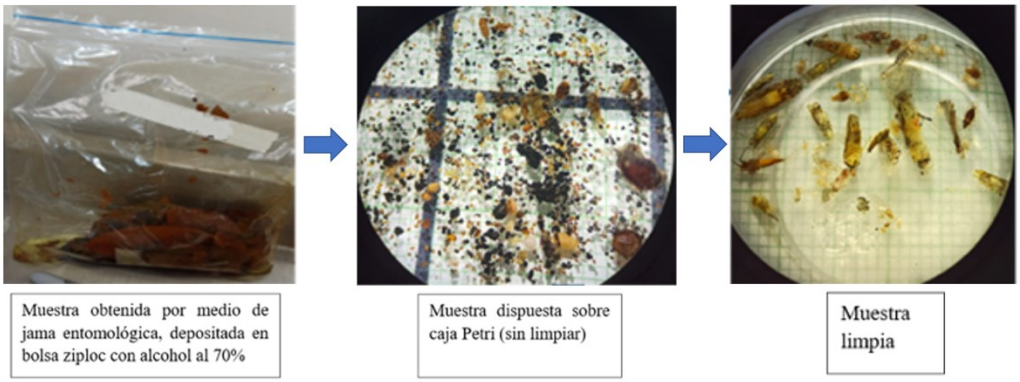


Figura 3. Proceso de limpieza de la muestra obtenida por jameo.

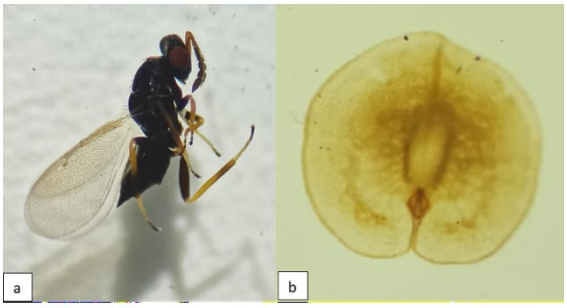


Figura 4. (a). Eulophidae, (b). Coccidae.

Análisis de datos

Para comparar la abundancia y riqueza de OTU´s de insectos entre los arboles localizados en las calles y los localizados en los parques, estas se distribuyeron en cuatro grupos funcionales correspondientes a herbívoros, depredadores, parasitoides, y *Ficus* polinizadores y no polinizadores. Las diferencias en abundancia de OTU´s entre los grupos funcionales, (herbívoros, depredadores y parasitoides), y polinizador o no polinizador del *Ficus* se evaluaron con una prueba Z de dos proporciones. Las diferencias en riqueza y diversidad de OTU´s de herbívoros, depredadores y parasitoides se evaluaron utilizando los números de Hill (Hill, 1973) y la aproximación de Chao (2012), donde $q0$ representa la riqueza de especies, $q1$ representa la diversidad Hill-Shannon que no enfatiza especies raras ni comunes y $q2$ representa la diversidad Hill-Simpson que enfatiza las especies comunes (Roswell et al., 2021). Para estimar la representatividad del muestreo se realizaron curvas de rarefacción con base en la cobertura de la muestra. El análisis se implementó con el software R (versión 4.2.0) y se utilizaron los paquetes INEXT (Chao et al., 2014), ggplot2 (Wickham, 2016) y devtools (Wickham et al., 2021).

Resultados

Se recolectaron 303 OTU´s de insectos en estado adulto, distribuidos en las siguientes clases y órdenes. (Tabla 2)

Tabla 2. Abundancia de OTU´s en estado adulto recolectadas en parques y andenes.

Clase	Orden	Andén	Parque	Total
Arachnida	Acari	159	253	**412**
Arachnida	Araneae	77	67	**144**
Insecta	Coleoptera	82	58	**140**
Insecta	Dermaptera	0	1	**1**
Insecta	Diptera	129	231	**360**
Insecta	Hemiptera	3308	952	**4260**
Insecta	Hymenoptera	342	424	**766**
Insecta	Lepidoptera	5	29	**34**
Insecta	Neuroptera	10	19	**29**
Insecta	Psocoptera	1604	1068	**2672**
Insecta	Thysanoptera	14	15	**29**
Total		**5730**	**3117**	**8847**

Abundancia

El emplazamiento de los árboles en parques y andenes influyó significativamente en la abundancia de herbívoros y depredadores, pero no en la abundancia de parasitoides. En los árboles de los andenes se observaron más herbívoros y depredadores, mientras la abundancia de los parasitoides no fue diferente (Figura 5, Tabla 3).

Tabla 3. Efecto de la ubicación de los árboles en la abundancia de los grupos funcionales de artrópodos. Significativo ***p < 0.001, **p < 0.01 y *p < 0.05, ns = no significativo.

Grupo funcional	X^2	df	95% CI	p	Nivel de significancia
Herbívoros	4025.2	1	0.57 - 0.60	< 0.001	***
Depredadores	29.7	1	0.12 - 0.25	< 0.001	***
Parasitoides	0.02	1	-0.05 - 0.04	0.88	ns

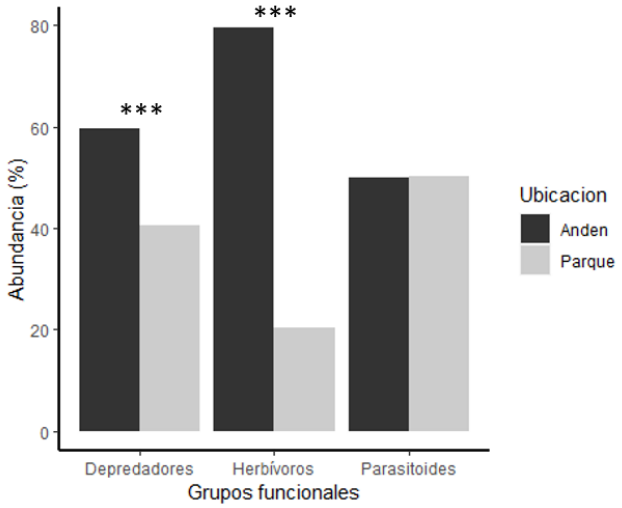


Figura 5. Abundancia de grupos funcionales en árboles de *Ficus americana* en parques y andenes. Significativo ***p < 0.001, **p < 0.01 and *p < 0.05, ns = no significativo.

Agaonidae polinizador y no polinizador de *Ficus americana*.
Aunque se encontraron otros agaonidos en las muestras solo se identificaron el género *Idarnes* y *Pegoscapus*. *Pegoscapus* es un polinizador mientras *Idarnes* es un formador de agallas (Cardona et al., 2007). La abundancia de *Pegoscapus* no fue significativamente diferente entre árboles ubicados en parques (52.6%) y los árboles ubicados en andenes (47.4%), (x^2= 19.63, df = 1, p = 0.57). Por el contrario, *Idarnes* fue más abundante en los árboles de los andenes (78.7%) que en los árboles de los parques (21.3%), (x^2= 0.32, df = 1, p <0.001), (Fig. 6).

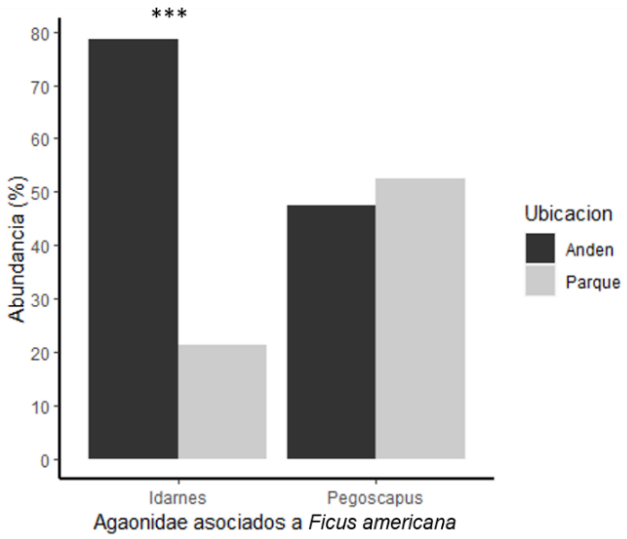


Figura 6. Porcentaje de *Pegoscapus* sp e Idarnes sp en árboles de *Ficus americana* ubicados en parques y andenes, en la ciudad de Bogotá. Significativo ***p < 0.001, **p < 0.01 and *p < 0.05, ns = no significativo.

Riqueza y Diversidad

Herbívoros
La riqueza y la diversidad verdadera de OTU´s fue mayor en los arboles localizados en los parques en comparación lo aquellos localizados en los andenes. En la riqueza (q0, CI=95%) se encontró que los árboles ubicados en los parques son significativamente más ricos en especies de herbívoros (60.81) que los árboles ubicados en andenes (39.68). (Figura 7a). Los árboles ubicados en los parques fueron 1.5 veces más ricos en especies que los árboles ubicados en los andenes. Seguido de esto al calcular la medida de diversidad (q=1, CI=95%) incluyendo la abundancia media de todas las especies, se encontró que la tendencia se mantiene, donde los árboles ubicados en los parques fueron más diversos (2.9 veces más diversos) en especies de herbívoros que los ubicados en los andenes, en estos últimos se encontraron 4.88 especies efectivas mientras que en los árboles en parques se encontraron 14.18 especies efectivas (Figura 7b). Por último, en la medida de diversidad (q=2, CI=95%), igualmente se obtuvo que las especies comunes de herbívoros en árboles emplazados en parques (6.69) fueron mayores respecto a las encontradas en arboles emplazados en andenes (2.67), (Figura 7c). En cuanto al esfuerzo de muestreo para los herbívoros fue del 98% en los parques y del 96%, en los andenes (Figura 7d). Lo que indica que, si se llegara a aumentar el

esfuerzo de muestreo en cualquiera de los dos lugares de emplazamiento es muy poco probable que se encuentren nuevas especies. Este esfuerzo de muestreo de 85% representa adecuadamente la diversidad de insectos esperada, por esto se puede inferir que el muestreo realizado para los herbívoros durante cuatro meses fue representativo.

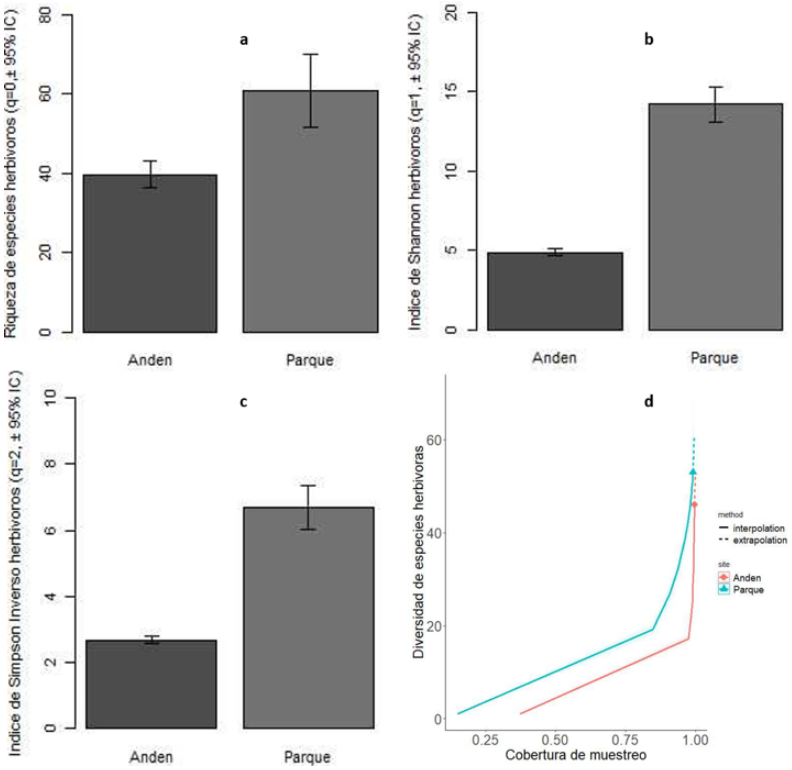


Figura 7. Números de Hill para Herbívoros, (a) Riqueza de especies (q0); (b) Medida de diversidad orden *q*1: (c) Medida de diversidad orden *q*2 y (d) Esfuerzo de muestreo

Depredadores

La riqueza y la diversidad de OTU´s de depepredadores del orden 1 y orden 2 fueron similares entre parques y andenes. El número de especies efectivas (*q*0, CI=95%) en los árboles ubicados en los parques fue de 45.6, mientras que los árboles ubicados en andenes fue de 39.51, (Figura 8a). La diversidad (*q*=1, CI=95%) en los árboles ubicados en los parques fue 21.2 y en los árboles de los andenes de 16.32 (Figura 8b). Finalmente, la diversidad de orden 2 (*q*=2, CI=95%), tampoco vario en el número de especies comunes de árboles emplazados en parques 12.86 y árboles emplazados en andenes 10.037, (Figura 8c). En cuanto al esfuerzo de muestreo para los depredadores fue del 94% en los parques y del 95%, en los andenes (Figura 8d). Lo que indica que, si se llegara a aumentar el esfuerzo de muestreo en cualquiera de los dos lugares de emplazamiento es muy poco probable que se encuentren nuevas especies de depredadores dentro de los meses muestreados.

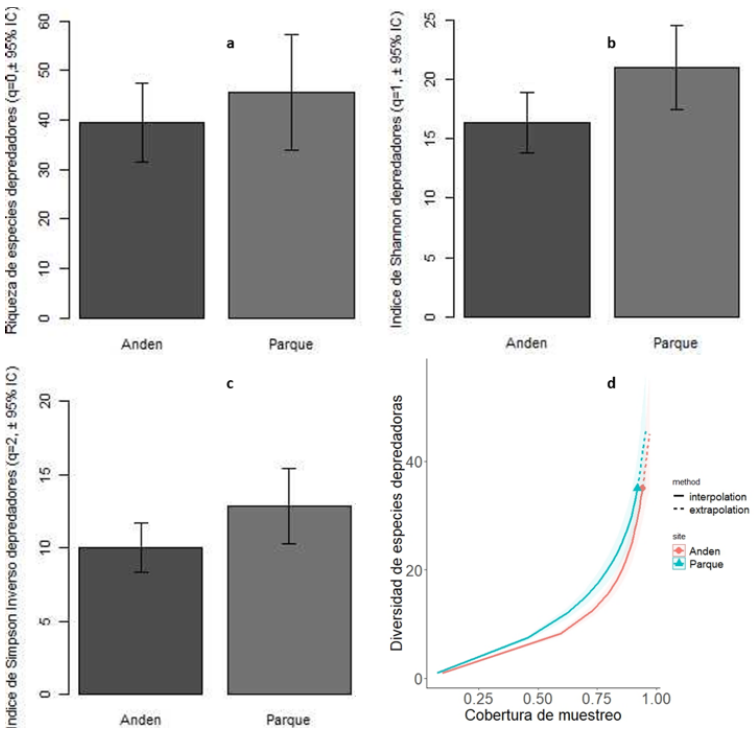


Figura 8. Números de Hill para Depredadores, (a) Riqueza de especies (q0); (b) Medida de diversidad orden *q*1: (c) Medida de diversidad orden *q*2 y (d) Esfuerzo de muestreo

Parasitoides

En los parasitoides, de nuevo la riqueza y la diversidad de OTU´s del orden 1 y orden 2 fueron similares entre parques y andenes. El número de especies efectivas (*q*0, CI=95%) en los árboles ubicados en los parques fue de 68.64, mientras que los árboles ubicados en andenes fue 58.47, (Figura 9a). La diversidad (*q*=1, CI=95%) en los árboles ubicados en los parques fue 26.36 y en los árboles de los andenes de 24.23 (Figura 9b). Finalmente, la diversidad de orden 2 (*q*=2, CI=95%), tampoco varió en el número de especies comunes de árboles emplazados en parques 12.80 y árboles emplazados en andenes 11.67, (Figura 9c). En cuanto al esfuerzo de muestreo para los depredadores fue del 88% en los parques y del 91%, en los andenes (Figura 9d). Lo que indica que, si se llegara a aumentar el esfuerzo de muestreo en cualquiera de los dos lugares de emplazamiento es muy poco probable que se encuentren nuevas especies de parasitoides dentro de los meses muestreados.

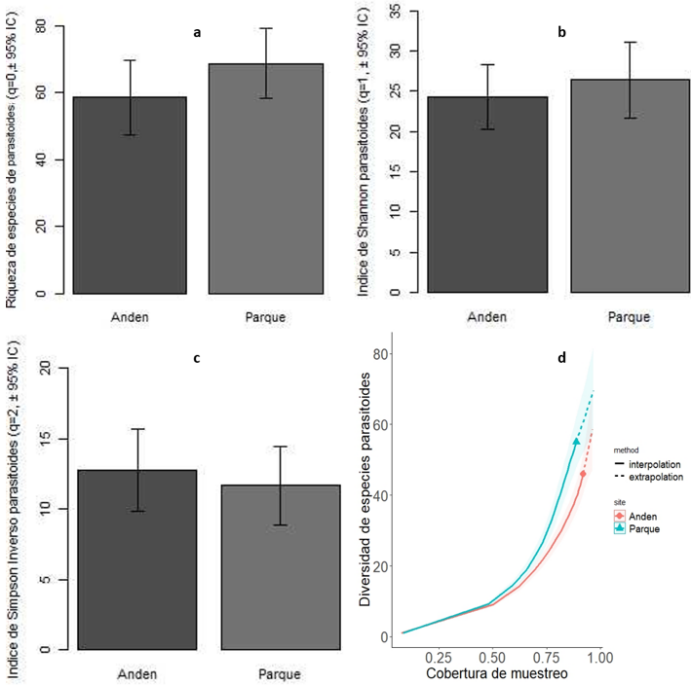


Figura 9. Números de Hill para Parasitoides, (a) Riqueza de especies ($q0$); (b) Medida de diversidad orden $q1$: (c) Medida de diversidad orden $q2$ y (d) Esfuerzo de muestreo

Objetivo 2

Estimar y comparar las tasas de parasitismo en plagas asociadas a *Ficus americana* en parques y andenes

Parasitismo

Fase de Campo

Por medio de un corta ramas, se obtuvo una rama secundaria de un tamaño aproximado de 30 cm, siempre ubicada con dirección hacia el norte (Fig. 10) en cada uno de los arboles muestreados. La rama recolectada de cada individuo era secundaria, con el objetivo de no estropear el crecimiento apical de la planta. Cada muestra obtenida se depositó en una bolsa ziploc y fue almacenada en el laboratorio.



Figura 10. Colecta de rama en árbol ubicado en andén

Fase de laboratorio

Las ramas recolectadas se mantuvieron en bolsa tipo Ziploc modificadas para facilitar la ventilación y así evitar la pudrición y perdida del material vegetal. Se seleccionaron cinco hojas por rama (generalmente las que mostraban mayor infestación). Las hojas se observaron al estereoscopio para contar el total de ninfas y adultos de insectos escamas, pupas de mosca blanca y otros insectos parasitados y no parasitados. Se evaluó parasitismo en 420 hojas de árboles en parques y 400 hojas de árboles en andenes.

Las escamas se identificaron al máximo nivel de resolución taxonómica posible, excepto individuos en la familia Diaspididae, siguiendo el protocolo de Williams y Granara de Willink (1992), este procedimiento se llevó a cabo en el Laboratorio de Sanidad Forestal de la UDFJC. Las pupas de mosca blanca, afidos y psilidos no se identificaron a especie o genero por tanto se trataron como unidad taxonómica operativa (OTU).

Análisis de datos

Para evaluar diferencias en la proporción de individuos parasitados entre árboles en parques versus árboles en andenes se realizó una prueba Z de dos proporciones usando el software R versión 4.2.0.

Resultados

Insectos escama

Se identificaron siete especies y una familia. Las especies *Ceroplastes mosquerai* (Ben-Dov, 1993)*, Pseudococcus calceolariae* (Maskell, 1879) y *Pulvinaria psidii* (Maskell, 1893), no presentaron parasitismo, mientras que las especies *Coccus hesperidum* (Linnaeus, 1758)*, Parasaissetia nigra* (Nietner, 1861) y *Pseudokermes vitreus* presentaron parasitismo y fue significativamente mayor en parques para *Coccus hesperidum* y *Pseudokermes vitreus* (Cockerell, 1894) (Fig. 11). *Parasaissetia nigra* y los individuos de la familia Diaspididae no mostraron diferencias significativas en la tasa de parasitismo entre parques y andenes (fig 11). *Pulvinaria caballeroramosae* (Tanaka & Kondo, 2015) solo fue observada con 7.5% de parasitación en andenes (3 de 40) de los individuos fueron parasitados (Fig. 11), (Tabla 4).

Tabla 4. Insectos escama parasitados en árboles de Ficus americana ubicados en parques y andenes, en la ciudad de Bogotá Significativo a ***p < 0.001, **p < 0.01 y *p < 0.05, ns = no significativo.

Escamas	X^2	df	95% CI	p	Nivel de significancia
Coccus hesperidum	20.25	1	0.05-0.23	< 0.001	***
Diaspididae	0.388	1	-0.13-0.04	0.53	ns
Parasaissetia nigra	0.484	1	-0.27-0.69	0.486	ns
Pseudokermes vitreus	6.585	1	0.02-0.47	<0.01	**

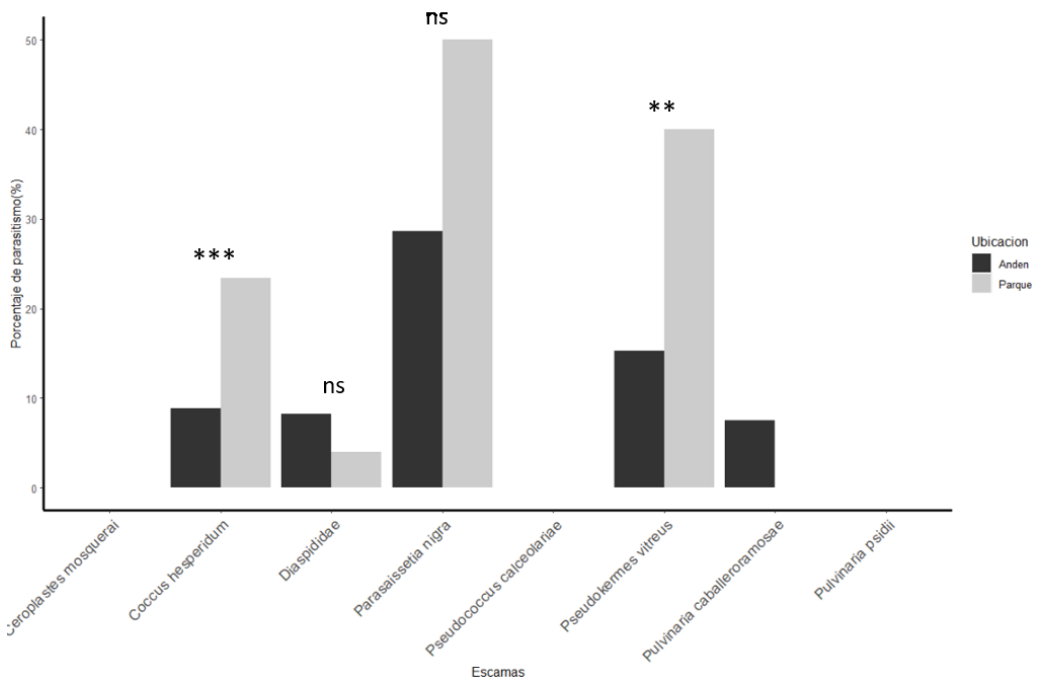


Figura 11. Porcentaje de insectos escama parasitados en árboles de *Ficus americana* ubicados en parques y andenes, en la ciudad de Bogotá. Significativo ***p < 0.001, **p < 0.01 and *p < 0.05, ns = no significativo.

Pupas de mosca blanca. Se encontraron cuatro OTU's. Las OTU´s 1 y 2 presentaron parasitismo en árboles en parques y andenes, pero la tasa de parasitismo solo fue significativamente mayor para la OTU1 en parques (x^2= 13.5, df = 1, p < 0.01), mientras que la OTU2 no mostro diferencias significativa (x^2= 2.9, df = 1, p = 0.08), (Fig. 12). Las OTU's 3 y 4 solo presentaron parasitismo en parques y fue de 64.7% (22 de 34 individuos) para la OTU3 y 3.2% (1 de 31) para OTU4, (Fig. 12).

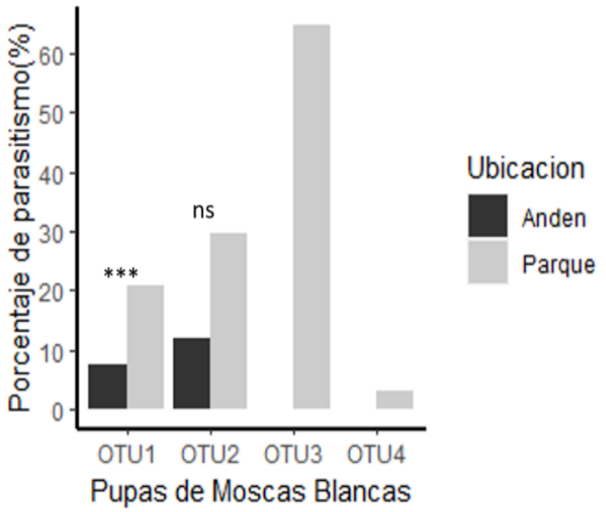


Figura 12. Porcentaje de pupas de mosca blanca parasitadas en árboles de *Ficus americana* ubicados en parques y andenes, en la ciudad de Bogotá. Significativo ***p < 0.001, **p < 0.01 and *p < 0.05, ns = no significativo.

Áfidos. Se encontró solo una OTU, con una tasa de parasitismo muy baja y solo en insectos capturados en individuos arbóreos con emplazamiento en andenes, solo 3 de 94 individuos fueron parasitados (3.1%).

Psílidos. En la familia Psyllidae igualmente se encontró solo una OTU, pero a diferencia de los áfidos los individuos parasitados estaban en árboles emplazados en parques y 6 de 18 individuos (33.3%), mostraron parasitismo.

Objetivo 3
Realizar una evaluación fitosanitaria de los árboles de *Ficus americana* en parques y andenes.

Se realizó una única evaluación fitosanitaria general a los árboles muestreados en el mes de marzo, mediante los indicadores de incidencia y severidad. Adicionalmente, se seleccionó como un indicador indirecto del estado fitosanitario del árbol la evaluación del nivel de infestación (abundancia espacial y temporal de la especie *Synoza cornutiventris* (Enderlein, 1918), chupador de savia específico de *Ficus*.

Fase de Campo: La evaluación fitosanitaria comprendió una medión de variables dasometricas como la altura (m), CAP (cm), bifurcaciones, diámetro de copa (m) y la evaluación de la incidencia, y la severidad de afectación de la copa, esta última expresada en las cinco categorías de daño indicados en la tabla 5. Los signos del daño, consistieron en la abundancia absoluta de *S. cornutiventris* recolectados con jama.

Análisis de datos: Se realizaron los siguientes cálculos, siguiendo la metodología propuesta por Parra (1999).

Grado medio de daño **(GMD):** Corresponde al valor ponderado del número de árboles por cada nivel de daño definido y dividido en el total de árboles evaluados. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$GMD = \sum (N_i * CD_i) / N$$

Donde:
i: 1 a 5
Ni: Número de árboles en la categoría de daño i
CDi: Categoría de daño i
N: Total de árboles medidos

Incidencia **(INC):** La incidencia refleja el porcentaje de árboles afectados respecto al total de árboles evaluados y se utiliza la siguiente ecuación:

$$INC = (\#\ de\ árboles\ afectados * 100) / \#Total\ de\ árboles$$

Severidad de daño **(I):** También es llamada "Intensidad" y corresponde a un valor ponderado del número de árboles por cada nivel de daño y dividido por el total de árboles evaluados multiplicado por el número de categorías de daño. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$I = (\sum (N_i * CD_i) / (5 * N)) * 100$$

Donde:
i: 1 a 5
Ni: Número de árboles en la categoría de daño i
CDi: Categoría de daño i
N: Total de árboles medidos

Para comparar la abundancia de *S. cornutiventris* entre los meses de muestreo y el lugar de ubicación de los árboles de caucho sabanero, se realizó un modelo lineal generalizado (GLM) con distribución de Poisson, y una prueba de Tukey. Adicionalmente, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson entre la abundancia absoluta de *Synoza cornutiventris*, el DAP y la altura de los árboles seleccionados, analizar una posible asociación negativo en el crecimiento de los árboles. Para los análisis se utilizaron los paquetes estadísticos lme4 (Bates et al., 2015), y PerformanceAnalytics (Peterson and Carl, 2020).

Resultados:

Evaluación fitosanitaria

El 50% de los individuos arbóreos con emplazamiento en andenes tuvieron afectación de la copa en la categoría 4 que tiene un grado de afectación entre el 50.1% y el 75%, mientras que el 65% de los individuos arbóreos con emplazamiento en parques estuvieron en la categoría 2, que presenta un grado de afectación entre el 1 y 25%. Vale la pena resaltar que los únicos individuos presentes en la categoría 5 que es la de mayor afectación (<75%) son individuos con emplazamiento en andenes. (Tabla 5). El grado medio de daño, la incidencia y la severidad de afectación fueron más altos en los árboles en andenes respecto a los árboles en parques. (Tabla 5).

Tabla 5. Evaluación fitosanitaria mostrando el grado medio de afectación (GMD), porcentaje de Incidencia y Severidad de afectación para los árboles de Ficus americana ubicados en parques y andenes, en tres localidades de Bogotá.

Categoría de daño	Porcentaje de afectación del follaje	Emplazamiento		Total	GMD		INC (%)		I (%)	
		Parque	Andén		Parque	Andén	Parque	Andén	Parque	Andén
1	Sano	1	0	1						
2	1 - 25	13	3	16						
3	25.1 - 50	5	5	10	2.3	3.55	95	100	46	71
4	50.1 - 75	1	10	11						
5	75.1 - 100	0	2	2						

Fluctuación de la abundancia de *Synoza cornutiventris*

La abundancia media de *S. cornutiventris* en todos los meses de muestreo fue mayor en los árboles con emplazamiento en andenes que en los árboles con emplazamiento en los parques (Fig. 13, Tabla 6). Marzo y abril fueron los meses con mayor abundancia de *Synoza cornutiventris* y ambos meses mostraron diferencias significativas con diciembre y mayo (Tabla 6).

Esta diferencia significativa fue principalmente en los árboles ubicados en los parques (Fig. 13).

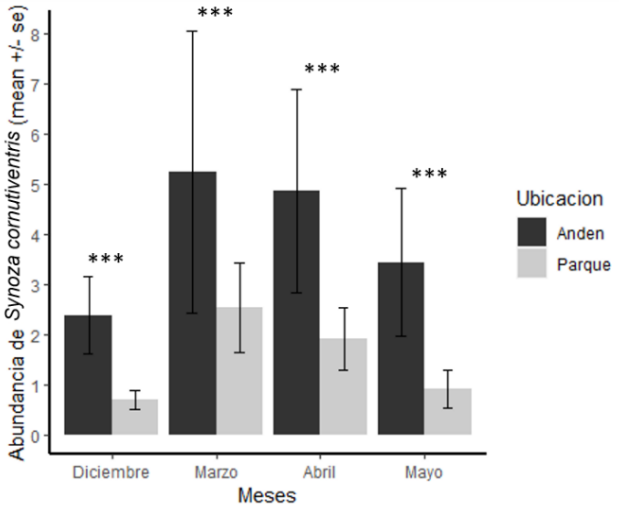


Figura 13. Fluctuación de la abundancia de *S. cornutiventris*, por mes y lugar de emplazamiento.

Tabla 6. Efecto de la ubicación de los árboles y los meses de muestreo en la abundancia de Synoza cornutiventris. Una prueba de Tukey se usó para comparar emplazamientos y meses entre sí. Significativo ***p < 0.001, **p < 0.01 and *p < 0.05, ns = no significativo.

Abundancia de *S. cornutiventris*					
Efectos fijos	**Estimado**	**Error estándar**	**Valor z**	**Pr(>|z|)**	**Nivel de significancia**
(Intercept)	1.62924	0.09901	16.455	< 2e-16	***
Ubicación	-1.03618	0.19005	-5.452	4.98E-08	***
Diciembre	-0.71295	0.17264	-4.13	3.63E-05	***
Marzo	0.07551	0.13745	0.549	0.5828	
Mayo	-0.34831	0.15392	-2.263	0.0236	*
Parque: Diciembre	-0.28558	0.35714	-0.8	0.4239	
Parque: Marzo	0.2069	0.25699	0.805	0.4208	
Parque: Mayo	-0.39891	0.32491	-1.228	0.2195	
Prueba de Tukey					
Hipótesis Lineal	**Estimado**	**Error estándar**	**Valor z**	**Pr(>|z|)**	**Nivel de significancia**
Parque - Anden == 0	-1.1556	0.1191	-9.703	<2e-16	***
Diciembre -Abril == 0	-0.8557	0.1786	-4.792	< 0.001	***
Marzo - Abril == 0	0.179	0.1285	1.393	0.49797	
Mayo - Abril == 0	-0.5478	0.1625	-3.372	0.00413	**
Marzo-Diciembre ==0	1.0347	0.1742	5.94	< 0.001	***
Mayo -Diciembre== 0	0.308	0.2005	1.536	0.41012	
Mayo - Marzo == 0	-0.7267	0.1576	-4.611	< 0.001	***

Correlación entre abundancia de *Synoza cornutiventris* y las variables de crecimiento DAP y Altura de *Ficus americana*

La abundancia de *S. cornutiventris* mostró una correlación positiva y significativa con del DAP de los árboles en ambos emplazamientos (Fig. 14 y Fig. 15). Esta correlación fue más

fuerte para los árboles encontrados en parques (0.71) que para los árboles en andenes (0.46). La altura de los árboles mostro una correlación positiva y significativa con la abundancia de *S. cornutiventris* solo en los árboles de los parques (Fig. 14 y Fig. 15).

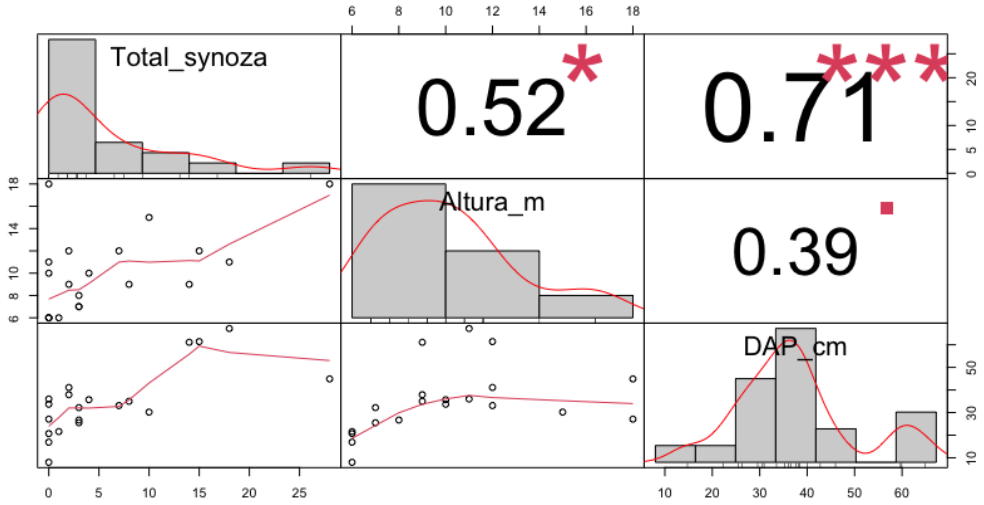


Figura 14. Matriz de correlación entre *S. cornutiventris* y el DAP y Altura de los árboles de *Ficus americana* ubicados en parques. Significativo ***p < 0.001, **p < 0.01, *p < 0.05, ■ p > 0.05, ns = no significativo.

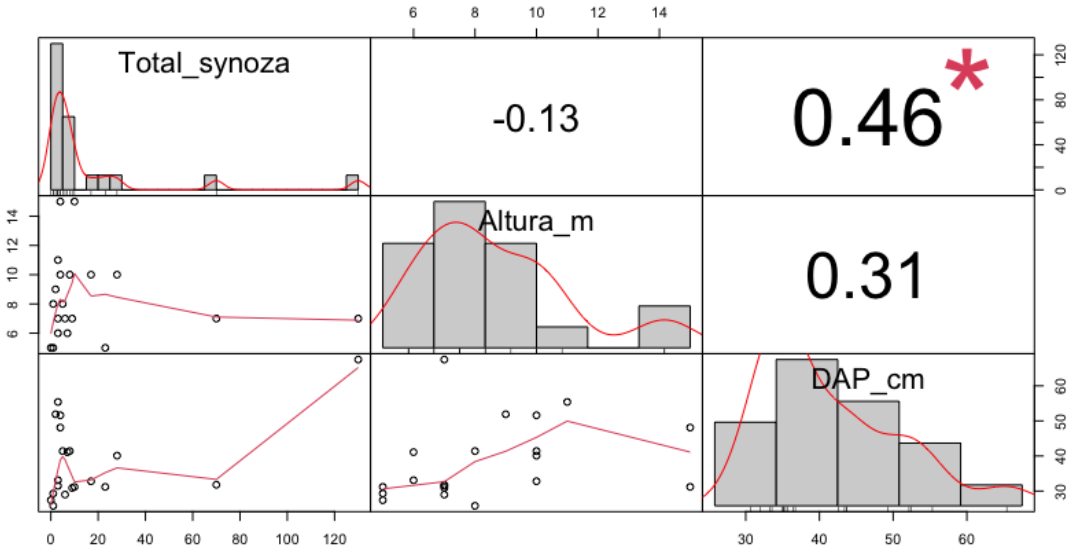


Figura 15. Matriz de correlación entre *S. cornutiventris* y el DAP y Altura de los árboles de *Ficus americana* ubicados en andenes. Significativo ***p < 0.001, **p < 0.01 and *p < 0.05, ns = no significativo.

Discusión

La abundancia de herbívoros y depredadores fue mayor en los árboles ubicados en andenes que en los árboles ubicados en parques, mientras que la abundancia de los parasitoides no se diferenció entre ambos tipos de emplazamiento. La riqueza y diversidad de insectos herbívoros fue mayor en los árboles ubicados en parques que en los árboles ubicados en andenes, mientras que la riqueza y diversidad de depredadores y parasitoides no fue diferente

entre los dos ambientes. El polinizador *Pegoscapus* mostró un porcentaje de abundancia muy similar entre parques (52.6%)) y andenes (47.4%), lo opuesto se observó con el formador de agallas *Idarnes,* que se encontró principalmente en andenes (78.7%) comparado con parques (21. 3%).Los parasitoides cumplen un papel importante en la regulación de escamas, moscas blancas, áfidos y psilidos que se encuentran en árboles de *Ficus* americana ubicados en parques y andenes. Asimismo, la evaluación fitosanitaria mostró que más del 50% individuos arbóreos muestreados que presentan emplazamiento en andenes se encuentran en categorías con alto porcentaje de afectación de la copa, mientras que el 65% de los árboles emplazados en parques se ubican en categorías con bajo porcentaje de afectación de la copa. *Synoza cornutriventris* mostro diferencias espacio temporales en la abundancia durante los meses y los dos ambientes muestreados, y se encontró que la edad de los arboles (representada por la variable DAP) de los árboles es un factor que se relaciona positivamente con la presencia de este chupador de savia.

Nuestros resultados respecto a la abundancia de los herbívoros fueron consistentes con lo reportado por Dale & Frank (2014); Burkman & Gardiner (2014); Meineke et. al. (2013) quienes afirman que los árboles ubicados en áreas urbanas (como p. ej. zonas endurecidas) presentan mayor abundancia de herbívoros que los ubicados en áreas rurales y zonas verdes (como p. ej. parques) un factor al que se hace énfasis es la temperatura, donde a mayor temperatura (caso de los andenes y separadores) presentan más herbívoros asociados a ellos. El aumento de la temperatura en ambientes urbanos con mayor cantidad de zonas endurecidas y con construcciones se debe a factores como los explicados por Kim (1992), uno de estos son las denominadas "islas de calor urbanas" las cuales presentan mayores temperaturas que las áreas rurales aledañas y lugares con pocas zonas endurecidas, debido a que en las áreas urbanas se presentan en gran cantidad superficies impermeables y que se calientan con facilidad (como edificios, asfalto, casas, carreteras, andenes y demás construcciones) las cuales por el material que las compone y sus tonalidades oscuras absorben en gran medida la luz y generan calor, adicionalmente por ser impermeables no permiten que el agua las enfrié.

En estas áreas más calurosas y soleadas, los herbívoros se desarrollan más rápido mientras que sus depredadores tienden a disminuir (Benrey & Denno,1997; Lepping, 2003; Raupp, Shrewsbury, & Herms, 2010). Sin embargo, para este último caso en el presente estudio encontramos que la abundancia de los depredadores no disminuyó, esto debido a que se detectaron gran cantidad de depredadores generalistas y gran cantidad de presas, por ejemplo por mencionar algunos casos *H.* axydiris fue el depredador más abundante en andenes la cual depreda áfidos (que también fueron muy abundantes en andenes), *Empicoris* se alimenta de psocidos y estos fueron altamente abundantes en los árboles de los ándenes, por otro lado adultos de *Chrysoperla* sp. fueron más abundantes en los parques y esto puede atribuirse a mayor disponibilidad de polen y néctar que completa la dieta de los adultos (Lundgren et al., 2005). Adicionalmente encontramos otras especies de coccinélidos que ayudan en la regulación de áfidos (*Neda norrisi*), psilidos y membracidos (*Mulsantina mexicana*), junto con representantes del orden Araneae (Quintero et al., 2007; Iannacone & Perla, 2011; Valverde et al., 2016). Otro factor que hace que los árboles presenten mayor abundancia de herbívoros tales como los pulgones, escamas, psílidos chinches, y ácaros (Herms, 2002), es que en condiciones de estrés los árboles reducen la producción de metabolitos secundarios que favorece la mayor fecundación de estos herbívoros (Glynn et al, 2007). Un factor adicional en zonas endurecidas es el estrés por sequía, sin embargo, este factor es muy

variable, un ejemplo de esto es la mayor abundancia de chinches de encaje y pulgones (chupadores de sabia) en árboles de roble sometidos a sequía respecto a los árboles con mejores condiciones, esto se debe a que los individuos arbóreos en condiciones de estrés están mas susceptibles a ataques de insectos por la reducción en la producción de metabolitos secundarios, como lo mencionan Mattson & Haack (1978), Hanks y Denno (1993) y Cregg & Dix (2001).

En cuanto a las avispas de la familia Agaonidae encontradas en los andenes, el polinizador *Pegoscapus* va a tener más competencia con *Idarnes* que en los parques, debido a que como bien lo mencionan West & Herre (1994), el género *Idarmes* forma agallas en las flores femeninas generando una competencia con los polinizadores (en este caso *Pegoscapu*s sp.) por lugares de oviposición, donde este resultado puede tener consecuencias negativas para los árboles de *Ficus* pues la producción de frutos depende de la polinización, y estos pueden escasear reduciendo la disponibilidad para otros animales en el ecosistema urbano (Cardona, Chacón, & Kattan, 2007;Serrato & Nakagawa, 2012).

Por otro lado, en cuanto a la diversidad de los tres grupos funcionales, el resultado de menor diversidad correspondió al grupo de herbívoros encontrados en árboles ubicados en andenes lo cual es consistente con los hallazgos en ambientes urbanos perturbados (Lepping, 2003; Shrewsbury & Raupp, 2006; Raupp, Shrewsbury, & Herms, 2010; Dale & Frank, 2014). Esto además demuestra que los árboles en los parques de la ciudad de Bogotá están albergando mayor diversidad de herbívoros que puede estar relacionado con una mayor diversidad arbórea en los parques tal como lo han reportado Herms, Akers, & Nielsen, 1984; Thomas, 1989; Kim, 1992; Shrewsbury & Raupp, 2006 y más amortiguamiento micro climático. En cuanto a los parasitoides y depredadores el no encontrar diferencias en la riqueza ni en la diversidad de especies, podemos pensar que estos grupos pueden estar más guiados por las presas, que por la heterogeneidad de las condiciones abióticas en las que se encuentran los árboles de *Ficus americana* en el paisaje, ya que no siempre hay una relación lineal entre factores como déficit hídrico y de nutrientes, contaminación, producción de metabolitos secundarios y la presencia de parasitoides y depredadores. (Loch & Zalucki, 1996; Speight, Hails, Gilbert, & Foggo, 1998). Adicionalmente en varios estudios como los realizados por Alaruikka et al. (2002), Martison y Raupp (2013) mencionan que la riqueza de depredadores en ambientes urbanos cambia drásticamente en comparación a la riqueza encontrada en bosques, esto debido a que en los bosques se cuenta con depredadores especialistas mientras que en áreas urbanas se encuentran especies generalistas, como ocurre muchas veces con las arañas que son muy resistentes a la urbanización. Esto se ve reflejado en nuestro estudio ya que el orden más rico de depredadores corresponde a Araneae (con aproximadamente 40 OTU´s), sin embargo, también mencionan que la diversidad y dominancia están dadas por otros factores como la competencia y disponibilidad de presas, lo que indica que el factor de interés para el presente estudio que es el emplazamiento no estaría jugando un rol primordial en la diversidad de los depredadores, por esto no se encontraron diferencias significativas entre parques y andenes. La tendencia de los parasitoides es muy similar a la de los depredadores según los estudios realizados por Bennet y Gratton (2012) y Christie y Hochuli (2009), donde la riqueza de especies hymenopteras no cambió de manera significativa entre un área más urbanizada en comparación a un área de un parque nacional de Australia, sin embargo encontraron que si podía cambiar un poco la composición de la comunidad donde

algunas familias y especies variaban dependiendo del lugar de muestreo, esto concuerda con lo encontrado en nuestro estudio debido a que algunas OTU´s de la familia Mymaridae estuvieron presentes de una manera más clara en andenes que en parques mientras que en varias OTU´s de la familia Encyrtidae ocurrió lo contrario, fue más claro en parques que en andenes. Por otra parte, Fenoglio et al. (2009), afirman que los parasitoides presentes en las ciudades son de tipo generalista y que escasean los de tipo especialista, sin embargo, este patrón se debe a factores como la diversidad arbórea, la cantidad de hospederos y demás aspectos diferentes de la urbanización. Esto concuerda con lo encontrado en el presente estudio debido a que no se presentaron diferencias significativas entre parasitoides recolectados en parques respecto a los recolectados en andenes.

En cuanto al parasitismo que presentó diferencias significativas mayores para parques que en andenes (*P. vitreus*, *Coccus hesperidum* y la OTU 1 de las pupas de mosca blanca) se puede explicar en base a lo estudiado por Frankie et al. (1992), donde mencionan que los parasitoides pueden encontrar refugio de una manera más fácil en ambientes con individuos arbóreos más diversos, como es el caso de los parques, lo que hace que los parasitoides puedan cumplir su rol de una forma más eficiente que en los andenes, adicionalmente en el caso de los andenes los depredadores tienen una mayor abundancia que en los parques, por los que la competencia entre depredadores y parasitoides en cuanto a la disponibilidad de presas en parques va a ser menor que en andenes, favoreciendo así el parasitismo en parques. Por otra parte respecto al bajo y nulo parasitismo evidenciado en el presente estudio (*Ceroplastes mosquerai, Pseudococcus calceolariae, Pulvinaria psidii*, *P. caballeroramosae*, escamas de la familia Diaspididae, afidos y psilidos) se puede explicar debido a factores como los mencionados por Kahn & Cornell (1898) donde se explica que muchas veces en ambientes urbanos las relaciones huésped-parasitoide y presa-depredador se desvinculan por las presiones a las que están sometidos los árboles urbanos, en comparación a árboles ubicados en bosques o áreas más rurales. Esto se puede evidenciar para la ciudad de Bogotá, donde se han reportado gran variedad de plagas asociadas al caucho, por ejemplo, el complejo Hemiptera compuesto por *Pulvinaria caballeroramosae*, *Pulvinaria psidii*, *Ceroplastes cundinamarcensis*, *Pseudococcus calceolariae*, *Toumeyella* sp e *Icerya* sp. De igual manera se ha reportado la presencia de psilidos (*Synoza cornutiventris*), áfidos y moscas blancas (Campos-Salazar, 2013; Castro, 2009; Mahecha Vega et al., 2010; Rendón et al, 2017; Chica et al, 2017). Todas estas plagas son consistentes con las encontradas en el presente estudio, donde se evidenció que las relaciones huésped-parasitoide y presa-depredador si se vieron afectadas más que todo en árboles emplazados en andenes, ya que en muy pocos casos el parasitismo fue significativo, un claro ejemplo de esto es la alta abundancia de *Pulvinaria caballeroramosae* (donde esta especie de insecto escama solo fue parasitada en un 7% equivalente a 3 de 40 individuos) y por otro lado la alta abundancia de *S. cornutiventris* que se debe a la poca depredación de esta especie ya que en estados inmaduros está recubierta por abundante cera a manera de filamentos.

Sin embargo, es de gran importancia resaltar el rol que cumplen varias avispas correspondientes a las familias Eulophidae, Braconidae, Trichogrammatidae e Ichneumonidae, debido a que como bien lo mencionan Durán y colaboradores (2020), estas familias cuentan con una alta representatividad en especies del arbolado urbano de Bogotá y presentan hábitos parasitoides muy diversos. Los individuos pertenecientes a estas familias desempeñan un control biológico sobre insectos de los órdenes como Hemiptera,

Lepidoptera, Coleoptera, Diptera, Neuroptera y Thysanoptera y otros insectos que afectan a las especies del arbolado urbano de Bogotá (Díaz, 2018). Algunas especies que se encontraron y vale la pena resaltar son *Polynema* sp. (Mymaridae) y *Diversinervus elegans* (Encyrtidae), que también cumplen el rol de parasitismo sobre representantes del orden Hemiptera, en especial de la familia Coccoidea (géneros *Parassaiseta*, *Coccus*, Ceroplastes entre otros), correspondientes a plagas que se encontraron en el presente estudio que podrían ser parasitadas por estas especies de avispas. (Durán Prieto & Ocampo, 2019; Durán Prieto & García, 2019; Tulande M, Vargas, Duran Prieto, Ocampo, & Pérez, 2020). Sin embargo, ya que los himenópteros pueden alcanzar mayor dispersión en el paisaje por volar quizás 200 m de buffer no es una distancia suficiente para encontrar diferencias significativas entre este grupo y es posible que se muevan entre los parques y este rango buscando presas para parasitar. (Meineke, Dunn, Sexton, & Frank, 2013)

Respecto al estado fitosanitario se evidenció claramente que los árboles emplazados en andenes presentan un estado fitosanitario peor que los árboles emplazados en parques, esto se debe a factores como los mencionados por Kondo & Hardy (2008), Tanaka & Kondo (2015), donde mencionan que debido al ataque de plagas se pueden generar afectaciones en ramas y follaje, como en el caso de *Pseudococcus* sp. y *P. caballeroramosae*, las cuales producen ovisacos de apariencia algodonosa en la cual se desarrollan individuos inmaduros, adicionalmente en algunos casos los insectos escama también pueden generar sustancias cerosas, las cuales son ricas en azúcares dando paso a un daño adicional a los árboles que es la formación de fumagina causada por un complejo de hongos saprófitos, la cual quita parte de la superficie fotosintética a la planta afectando su crecimiento y empeorando aún más el estado fitosanitario de los árboles emplazados en zonas endurecidas (Kondo & Hardy, 2008; Smith, Cowels, & Hiskes, 2016). Por otra parte, la abundancia de *S. cornuventris* la correlación positiva encontrada entre esta especie y el DAP de los árboles puede verse explicado debido a que árboles emplazados en parques (donde la correlación fue más significativa) presentan mejores condiciones fitosanitarias y puede que la savia llegue a ser de mejor calidad, sin embargo en el presente estudio no se midió la calidad de la savia por lo que solo se infiere que este factor quizás pueda favorecer la relación altamente significativa entre *S. cornuventris* y los cauchos sabaneros emplazados en parques (Wilmot & Brett, 1995).

Finalmente esto vale la pena rescatar lo publicado por Posada (2012) donde menciona otro aspecto de importancia y es que, si se genera un monocultivo en el arbolado urbano, como muchas veces se observa en los separadores de la ciudad de Bogotá (p.ej. el caucho sabanero), se facilita la proliferación de plagas especialistas como *S. cornuventris* y *P. caballeroramosae* y generalistas como las escamas, las cuales afectan drásticamente el estado fitosanitario de los árboles, mientras que, si se tienen diferentes especies arbóreas correctamente distribuidas, y se tiene en cuanta la susceptibilidad a las especies de plagas estas no se propagan tan fácilmente y el estado fitosanitario podría mejorar.

Conclusiones

La ubicación de los árboles en la ciudad juega un papel importante en la dinámica de los insectos, sin embargo, el arbolado urbano actual de la ciudad de Bogotá no cuenta con la mejor distribución ni manejo y esto se puedo evidenciar en los ambientes inhóspitos de los andenes y separadores los cuales favorecen a especies plaga y disminuyen la defensa de los árboles frente a estas. En el caso del caucho sabanero se encontró que árboles emplazados en andenes favorece a especies no polinizadoras las cuales pueden causar un efecto negativo en los individuos arbóreos al inducir la formación de agallas reduciendo así la producción de frutos y semillas. Los parasitoides y depredadores desempeñan un rol fundamental en el control biológico de plagas en el caucho sabanero.

Recomendaciones

Al momento de establecer el arbolado urbano se debe considerar el ambiente y distribución de los árboles para poder darle un mejor manejo y protección a la diversidad asociada a ellos. Se deberían implementar soluciones un poco menos invasivas como el control biológico que es una gran alternativa y como se pudo evidenciar en el presente estudio, hay varias opciones, tal y como lo mencionan Durán Prieto, Tulande Marín, & Ocampo Flórez (2020), gracias a la riqueza y abundancia de avispas registradas en Bogotá que son parasitoides, implementar el control biológico por parte de estas avispas sería una gran alternativa para reducir el mal estado fitosanitario en el que se encuentra el arbolado urbano de Bogotá; y no solo se deberían tener en cuenta estos himenópteros, también se pueden implementar otros biocontroladores como representantes de los órdenes Coleoptera, Diptera, Neuroptera y de la clase Arachnida, adicionalmente se debería establecer un manejo más adecuado del arbolado urbano, en cuanto a selección de especies a sembrar, el tipo de emplazamiento, entre otros, ya que como bien se observó los árboles en espacios endurecidos casi siempre presentan condiciones deplorables, se debe tener en cuenta el emplazamiento del arbolado urbano y la diversidad de especies arbóreas y su correcta distribución en la ciudad para así mejorar las condiciones de este. Sin embargo, para implementar este tipo de control se deben realizar muchos más estudios como este para así poder tener un mejor panorama y mayor cantidad de opciones en cuanto al control biológico de plagas.

Agradecimientos

Agradezco a la Dra. Paola Andrea Olaya Arenas por incluirme y permitirme hacer parte de este gran proyecto, por darme la oportunidad de realizar mi pasantía en un tema que me gusta y me interesa demasiado y en un lugar tan prestigioso como el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, por todo lo que me enseñó, por su disposición, comprensión y paciencia. A mi directora del trabajo de grado la profesora Olga Patricia Pinzón, por guiarme en todo este proceso, por ayudarme a delimitar la propuesta de trabajo de grado y todo lo que necesité en el desarrollo de este, por todo el conocimiento que me dio y por su comprensión. A Biol. Walter García Suabita, por su apoyo y enseñanza en los análisis de diversidad. A Sandra Medina, por siempre estar dispuesta a prestar su ayuda de manera desinteresada, por hacer del laboratorio un lugar de trabajo cálido y amigable, por las recomendaciones y momentos y comentarios divertidos que nunca faltaron. Al Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y a la Universidad

Distrital Francisco José de Caldas por poner a disposición sus instalaciones para el procesamiento de todas las muestras y el desarrollo de esta pasantía.

A mis padres por brindarme todas las comodidades posibles a pesar de las adversidades, por siempre estar ahí y por brindarme la oportunidad de acceder a la educación superior. A mis hermanos y Ximena Castro por escucharme y darme aliento en los momentos más difíciles. A mi mejor amiga Laura Camila Romero que siempre estuvo presente de manera incondicional a lo largo de esta carrera. A mis amigos Daniel Morera, Eduardo Hernández, Esteban Aguirre, Geraldine Moreno, Eduar Pardo, Luis Jaramillo, Camila Forero, Carolina Guevara, Daniel Reyes y María Fernanda López, por su apoyo y por los buenos y malos momentos que pasamos a lo largo de esta carrera. Y finalmente a todos los docentes de ingeniería forestal por transmitir sus conocimientos y formarnos como ingenieros forestales

Bibliografía

Adams , V. M., Lacona , G. D., & Possingham , H. P. (2020). Weighing the benefits of expanding protected areas versus managing existing ones. *Nature sustainability*, 404-411.

Alaruikka, D., Kotze, D. J., Matveinen, K., & Niemela, J. (2002). Carabid beetle and spider assemblages along a forested urban-rural gradient in southern Findland. *Insect Conserv*, 195-206.

Basset, Y., Novotny, V., & Weiblen, G. (1997). Ficus: A Resource for arthropods in the tropics, with particular reference to ew Guinea. *Forests and Insects*, 22.

Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*.

Ben Dov, Y. (1993). A systematic catalogue of the soft scale insects of the world (Homoptera: Coccoidea: Coccidae) with data on geographical distribution, host plants, biology and economic importance. *Flora & Fauna Handbook*.

Bennett, A. B., & Gratton, C. (2012). Measuring natural pest suppression at different spatial scales affects the importance of local variables. *Environ Entomol*, 1077-1085.

Benrey, B., & Denno, R. (1997). The slow-growth-high-mortality hypothesis: a test using the cabbage butterfly. *Ecology*, 987-999.

Buchholz, S., & Kowarik, I. (2019). Urbanisation modulates plantpollinator interactions in invasive vs. native plant species. *Scientific reports*, 10.

Burkman, C. E., & Gardiner, M. (2014). Urban greenspace composition and landscape context influence natural enemy community composition and function. *ELSEVIER*, 58-67.

Campos Salazar, L. N. (2013). *Afectación fitosanitaria y manejo integral del arbolado urbano del Distrito Capital: un estudio de caso en Caucho sabanero (Ficus andicola).* Bogotá: Jardín Botánico José Celestino Mutis.

Cardona, W., Chacón, P., & Kattan, G. (2007). Avispas no polinizadoras asociadas a Ficus andicola (Moraceae) en la Cordillera Central de Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 165-170.

Carrejo Gironza, N. S., & Gonzales Obando, R. (2012). *Zoología de artrópodos: Guías de laboratorio.* Universidad del Valle.

Castro, J. A. (2009). *Principales plagas y enfermedades que afectan al arbolado urbano en la localidad de Chapinero, Bogotá D.C.* Bogotá: Jardín Botánico José Celestino Mutis.

Chao , A., Gotelli, N., Hsieh, T. C., L, E., Sander, K., Colwell, R., & Ellison, A. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, 45-67.

Chica Venegas, J. A., Polania, C. A., & Cubillos, K. Y. (2017). Evaluación ciclo biológico de Synoza cornutiventris (Hemiptera: Carsidaridae) bajo condiciones de laboratorio, plaga asociada a Ficus americana. *44 Congreso SOCOLEN - Entomología de impacto* (pág. 386). Bogotá: Socolen .

Christie , F. J., & Hochuli, D. F. (2009). Responses of wasp comminities to urbanization: effectis on community resilience and species diversity. *Insect Conserv*, 213-221.

Cockerell, T. (1894). Some new and little known Coccidae. *New York Entomol*.

Cregg, B., & Dix, M. (2001). Tree moisture stress and insect damage in urban areas in relation to heat island effects. *J. Arboric*, 8-17.

Dale, A. G., & Frank, S. D. (2014). The Effects of Urban Warming on Herbivore Abundance and Street Tree Condition. *Plos ONE*.

Díaz Niño, M. (2018). Parasitoides del género Trichogramma (Hymenoptera: Trichogrammatidae) como controladores biológicos de plagas. En A. M. Cotes, *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros* (pág. 568). Mosquera: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (agrosavia).

Durán Prieto, J., & García , J. (2019). LISTADO PRELIMINAR DE LOS GÉNEROS DE MYMARIDAE, ENCYRTIDAE, PTEROMALIDAE Y EULOPHIDAE (HYMENOPTERA: CHALCIDOIDEA) PRESENTES EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ (COLOMBIA) ASOCIADOS A SU VEGETACIÓN ARBÓREA. *Congreso Colombiano de Zoología-Reconciliarte con la biodiversidad un acto de paz* (pág. 162). Bogotá: Asociación Colombiana de Zoología.

Durán Prieto, J., & Ocampo, V. (2019). Registro de Diversinervus elegans Silvestri (Hymenoptera: Encyrtidae) para la ciudad de Bogotá, Colombia. *Dugesiana*, 51-52.

Durán Prieto, J., Tulande Marín , E., & Ocampo Flóres, V. (2020). Avispas (Insecta: Hymenoptera) asociadas a árboles urbanos de la ciudad de Bogotá, Colombia. *Revista Chilena de Encomología* , 681-698.

Enderlein, G. (1918). Psyllidologica V. Zoologische Jahrbücher. *Abteilung für Systematik, Geographie und Biologie der Tiere*, 479-486.

Fenoglio, M. S., Salvo, A., & Estallo, E. L. (2009). Effects of urbanisation on the parasitoid community if a leafminer. *Oecol*, 318-326.

Fernández, S., & Villar, J. (2015). Clase Insecta: Orden Hymenoptera. *Idea Sea*, 1-36.

Frankie, G. W., Morgan, D. L., & Grissell, E. E. (1992). . Effects of urbanization on the distribution and abundance of the cynipid gall wasp, Disholcaspis cinerosa, on ornamental live oak in Texas, USA. *Biology of insectis*, 258-279.

Glynn, C., Herms, D., Orians, C., Hansen, R., & Larsson, S. (2007). Testing the growthdifferentiation balance hypothesis: dynamic responses of willows to nutrient availability. *New Phytol*, 632-634.

Goula, M., & Mata, L. (2015). Clase Insecta: Orden Hemiptera. *Idea Sea*, 1-30.

Grimm, N. B., & Redman, C. L. (2008). Approaches to the study of urban ecosystems: The case of Central Arizona—Phoenix. *Urban Ecosystems*, 199-213.

Hanks, L. M., & Denno, R. F. (1993). Natural enemies and plant water relations influence the distribution of and armored scale insect. *Ecology*, 1081-1091.

Herms, D. (2002). Effects of fertilization on insect resistance of woody ornamental plants: reassessing an entrenched paradigm. *Environ. Entomol*, 923-933.

Herms, D., Akers, R., & Nielsen, D. (1984). The ornamental landscape as an ecosystem: implications for pest management. *J. Arboric*, 303-307.

Hill, M. O. (1973). *Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. Ecology* (Vol. 54). Ecology.

Iannacone, J., & Perla, D. (2011). NVASIÓN DEL DEPREDADOR HARMONIA AXYRIDIS (COLEOPTERA: COCCINELLIDAE) Y UNA EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL EN EL PERÚ. *The biologist*, 213-233.

Kahn, D., & Cornell, H. (1898). Leafminers, early leaf abscission, and parasitoids: a tritrophic interaction. *Ecology*, 1219-1226.

Kim, H. (1992). Urban heat-island. *Intl. J. Remote Sens.*, 2319-2336.

Kim, H. H. (1992). Urban heat island. *International Journal of Remote Sensing*, 2319-2336.

Kondo, T., & Hardy, N. (2008). Redescription of Inglisia vitrea Cockerell (Hemiptera, Coccidae) and its transfer to the genus Pseudokermes Cockerell. *ZooKeys*, 11-21.

Lepping, M. (2003). *The influence of thermal environment on development and vulnerability to predation of the azalea lace bug, Stephanitis pyrioides (Heteroptera: Tingidae).* Maryland : Univ. Md.

Linnaeus, C. (1758). Systema Naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. *Editio decima, reformata*, 824.

Loch, A., & Zalucki, M. (1996). Spatial distribution of pink wax scale, Ceorplastes rubens Makell (Hemiptera:Coccidea), on umbrella trees in South-eastern Queensland: the pattern of outbreak. *Aust. J. Zool*, 599-609.

Lundgren, J. G., Huber, A., & Wiedenmann, R. N. (2005). Quantification of consumption of corn pollen by the predator Coleomegilia maculata (Coleoptera: Coccinellidae) during anthesis in an Illinois cornfield. *Agricultural and Forest Entomology*, 53-60.

Mahecha Vega, G., Sanchez Hurtado, F., Chaparro Guerra, J., Cadena Carreno , H., Tovar Corzo, G., Villota Ojeda, L., & Quintero, M. (2010). *Arbolado urbano de Bogotá.* Bogotá.

Martinson, H. M., & Raupp, M. J. (2013). A meta-analysis of the effects of urbanization on ground beetle communities. *Ecosphere*, 1-24.

Maskell, W. M. (1879). On some Coccidae in New Zealand. *Transactions and Proceedings of the New Zealand Institute*.

Maskell, W. M. (1893). Further coccid notes: with descriptions of new species from Australia, India, Sandwich Islands, Demerara, and South Pacific. *ransactions and Proceedings of the New Zealand Institute*.

Mattson, W. J., & Haack, R. A. (1987). The role of drought in outbreaks of plant-eating insects. *BioScience*, 110-118.

Mcintyre, N. E. (2000). Ecology of U rban Arthropods: A Review and a Call to Action. *Annals of the Entomological Society of America*, 12.

Meineke, E. K., Dunn, R. R., Sexton, J. O., & Frank, S. D. (2013). Urban Warming Drives Insect Pest Abundance on Street Trees. *PLoS ONE*.

Miles, L. S., Breitbart, S. T., Wagner, H. H., & Johnson, M. T. (2019). Urbanization Shapes the Ecology and Evolution of Plant-Arthropod Herbivore Interactions. *Frontiers in Ecology an Evolution*, 310.

Nietner, J. (1861). Observations on the enemies of the coffee tree in Ceylon. .

Parra, P., Valencia, J., & Gonzáles, M. (1999). Manual de detección y evaluación sanitaria en eucalipto. INFOR. *Manual 24*, 124.

Peterson, B., & Carl, P. (2020). *PerformanceAnalytics: Econometric Tools for Performance and Risk Analysis_*. Obtenido de https://CRAN.R-project.org/package=PerformanceAnalytics

Posada, R. H., & Ramos Montaño, C. (2012). Efecto de la precipitaciÛn en la distribuciÛn de insectos plaga y sÌntomas de enfermedades en el arbolado urbano de Bogotá. *I Congreso Latinoamericano de EcologÌa Urbana DesafÌos y escenarios de desarrollo para las ciudades latinoamericanas.*

Quintero, P., Pinzón, O., González , R., Ruiz, J., & Wanumen, A. (2007). Mulsantina mexicana Chapin (COLEÓPTERA: COCCINELLIDAE) DEPREDADOR DE CHUPADORES DE SAVIA DE ÁRBOLES ORNAMENTALES DE BOGOTÁ. *Colombia Forestal*.

Raupp, M. J., Shrewsbury, P. M., & Herms, D. A. (2010). Ecology of Herbivorous Arthropods in Urban Landscapes. *Entomol*, 19-38.

Rendón Mera, D. S., & Bueckhardt, D. (2017). *Generic synopsis of the jumping plantlice (Hemiptera: Sternorrhyncha: Psylloidea).* Colombia.

Roswell, M., Dushoff, J., & Winfree, R. (2021). A conceptual guide to measuring species diversity. *Oikos*, 321-338.

Semana. (05 de 08 de 2021). *Una Bogotá más verde, la meta del Jardín Botánico*. Obtenido de https://www.semana.com/sostenible/medio-ambiente/articulo/una-bogota-mas-verde-la-meta-del-jardin-botanico/202143/

Serrato, A., & Nakagawa, K. (2012). Ficus y las avispas Agaonidae un mutualizmo calve de los ecosistemas tropicales. *ContactoS* , 5-10.

Shrewsbury, P., & Raupp, M. (2006). Do top-down or bottom-up forces determine Stephanitis pyrioides abundance in urban landscapes. *Ecol. Appl.*, 262-272.

Smith, H., Cowels, R., & Hiskes, R. (2016). *Insectos escama que son plagas en árboles ornamentales en el estado de Connecticut.* Connecticut: The Connecticut Agricultural experiments station.

Speight, M., Hails, R., Gilbert, M., & Foggo, A. (1998). Horse chestnut scale (Pulvinaria regalis) (Homoptera: Coccidae) and urban host tree environment. *Ecology*, 1503-1513.

Tanaka, H., & Kondo, T. (2015). Descripción de una nueva cochinilla blanda del género Pulvinaria Targioni Tozzetti (Hemiptera , Coccoidea , Coccidae) de Bogotá, Colombia. *ZooKeys*, 111-120.

Thomas, C. (1989). Predator-herbivore interaction and the escape of isolated plants from phytophagous insects. *Oikos*, 291-298.

Tulande M, E., Vargas, S. A., Duran Prieto, J., Ocampo, V., & Perez, L. G. (2020). *Phytophagous, predators and parasitoids collected from Lafoensia acuminata and Liquidambar styraciflua in Bogotá city parks.* Bogotá: Field Museum.

Turrini, T., Sanders, D., & Knop, E. (2016). Effects of urbanization on direct and indirect interactions in a tri-trophic system. *Ecological Applications*, 664-675.

Valverde Castro, C., Durán Prieto, J., Campos Salazar, L., & León Montoya, A. (2016). Coccinélidos (Colepotera: Cocinellidae) y Sírfidos (Diptera: Syrphidae) asociados al caucho sabanero en Bogotá. *43° Congreso sociedad Colombiana de Entomología - SOCOLEN*, (pág. 70). Manizales. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Luis-Constantino/publication/316595427_Libro_de_Resumenes_43_Congreso_de_la_Sociedad_Colombiana_de_Entomologia_2016_Manizales_member_of_the_editorial_committee/links/5905f041aca272116d3329b7/Libro-de-Resumenes-43-Congr

Weller, R., Hoch, C., & Huang, C. (2021). *The Atlas for the End of the World.* Kuala Lumpur: Universidad de Pennsylvania.

West, S. A., & Herre, E. A. (2001). Pollination andparasitism in functionally dioecious figs. *Proceedings of the RoyalSociety of London*, 651-659.

Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis.* Obtenido de ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis

Wickham, H., Hester, J., Chang, W., & Bryan, J. (2022). *Tools to Make Developing R Packages Easier.*

Williams, D. J., & Granara de Willinik, M. (1992). Mealybugs of Central and South America. *CAB International*, 635.

Wilmot, T., & Brett, P. (1995). *Vigor and Nutrition vs. Sap Sugar Concentration in Sugar Maples.* Burlington: Research Center, University of Vermont.

World Cities Culture Forum. (2017). *Global leadership on culture in cities*. Obtenido de http://www.worldcitiesscultureforum.com/data/of-public-green-space-parks-and-gardens