

Artículo original

Evaluación fitosanitaria de *Juglans neotropica* y *Quercus humboldtii* en arbolado urbano de Popayán-Cauca, Colombia

Phytosanitary evaluation of *Juglans neotropica* and *Quercus humboldtii* in an urban woodland of Popayán-Cauca, Colombia

Clara Inés Giraldo-Aristizábal*, Yamid Arley Mera-Velasco,
Sandra Carlina Rivas-Zúñiga, Darly Gabriela Muñoz-Lara, Lina María Acosta-Hilamo,
Nathaly Pérez-Muñoz, Juan C. Villalba-Malaver, Alex Enrique Ordóñez-Hoyos

Departamento de Biología, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia

Resumen

Quercus humboldtii y *Juglans neotropica* son especies nativas de Colombia de gran importancia cultural y económica que se encuentran en los bosques urbanos de la ciudad de Popayán y están expuestos a plagas y enfermedades que afectan su salud. El presente estudio tuvo como objetivo conocer el estado fitosanitario de 73 individuos de *Q. humboldtii* y *J. neotropica* ubicados en el campus de la Universidad del Cauca en las épocas secas y de lluvia. Para ello se aplicó la metodología basada en el sistema de evaluación de seis clases de **Hawksworth** (1977). Se registraron 21 síntomas en total y los de mayor incidencia y gravedad fueron *Colletotrichum* sp en *Q. humboldtii* y *Fusarium* sp y *Alternaria* sp en *J. neotropica*. En cuanto a insectos, se reconocieron nueve órdenes, siendo los de mayor frecuencia Collembola: Poduromorpha, Diptera y Coleoptera, con 29,43, 26,68 y 22,44 %, respectivamente, y en menor proporción Lepidoptera, Ephemeroptera, Dictyoptera (Blattodea) y Tysanoptera con 4,49, 0,25, 0,62 y 0,50 %, respectivamente. Estadísticamente no hubo diferencias entre la época y los síntomas asociados; sin embargo, hubo efectos significativos de la distancia entre los árboles y las vías en cuanto a los agentes fitosanitarios presentes. Aunque en ningún caso la gravedad de las enfermedades implicó daños que amenacen a corto plazo la supervivencia de los árboles, es necesario garantizar su salud implementando tratamientos preventivos y de control como la fertilización, las podas y el manejo fitosanitario.

Palabras clave: Enfermedades de los árboles; Espacio urbano; Hongos fitopatógenos; Insectos que afectan árboles; Silvicultura urbana.

Abstract

Quercus humboldtii and *Juglans neotropica* are species native to Colombia present in the urban forests of the city of Popayán; they are of great cultural and economic importance, but they are exposed to pests and diseases which affect their health. The present study aimed to know the phytosanitary status of 73 individuals of *Q. humboldtii* and *J. neotropica* located on the University of Cauca's campus both during dry and rainy seasons. To this end, we used the method based on the six-class evaluation system of **Hawksworth** (1977) and we recorded 21 symptoms of which *Colletotrichum* sp. in *Q. humboldtii* and *Fusarium* sp. and *Alternaria* sp. in *J. neotropica* had the highest incidence and severity. Nine orders of insects were identified, the most frequent being Collembola: Poduromorpha, Diptera, and Coleoptera with 29.43%, 26.68%, and 22.44%, respectively, and to a lesser extent Lepidoptera, Ephemeroptera, Dictyoptera (Blattodea), and Tysanoptera with 4.49%, 0.25%, 0.62%, and 0.50%, respectively. Statistically, there were no differences between time and associated symptoms; nevertheless, there were significant effects of the distance between the trees and the roads regarding the phytosanitary agents present. Although there were no cases of severe diseases posing a level of damage that may threaten the survival of the trees in the short term, it is necessary to ensure their health in the future by implementing preventive and control treatments such as fertilization, pruning, and phytosanitary management.

Keywords: Phytopathogenic fungi; Insects that trees; Tree diseases; Urban forestry; Urban space.

Citación: Giraldo-Aristizábal CI, Mera-Velasco YA, Rivas-Zúñiga SC, et al. Evaluación fitosanitaria de *Juglans neotropica* y *Quercus humboldtii* en arbolado urbano de Popayán-Cauca, Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. 46(178):169-181, enero-marzo de 2022. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefn.1542>

Editor: Carolina Romero

***Correspondencia:**

Clara Inés Giraldo-Aristizábal;
cigiraldo@unicauca.edu.co

Recibido: 20 de agosto de 2021

Aceptado: 9 de febrero de 2022

Publicado: 23 de marzo de 2022



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

Introducción

Los bosques urbanos y periurbanos abarcan todas las especies forestales que se encuentran dentro de las ciudades y sus alrededores (Dobbs, *et al.*, 2018). Su importancia cultural y económica se asocia con los diferentes usos, desde el embellecimiento de zonas verdes y revegetalización de ecosistemas hasta los servicios ecosistémicos que brinda, como filtrar el aire (Arroyave-Maya, *et al.*, 2019), preservar reservorios genéticos, generar sombra y evapotranspiración, reducir el volumen de agua de escorrentía, conservar la biodiversidad y ofrecer frutas y plantas medicinales, lo que genera un sentido de pertenencia por parte de la comunidad que se traduce a su vez en salud mental para los ciudadanos (Dobbs, *et al.*, 2018).

Sin embargo, pese a su importancia para las ciudades, las especies pueden sufrir deterioro progresivo y morir por causas como el estrés hídrico y térmico, la contaminación atmosférica, la urbanización, y las plagas y enfermedades, lo que disminuye sus aportes en los entornos urbanos (Restrepo, *et al.*, 2015). En Popayán se hizo un censo parcial del arbolado urbano y se evaluó su estado fitosanitario; se encontró que un 55,64 % de los árboles estaba afectado y el otro 41,04 %, sano (Alcaldía Municipal de Popayán y Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán, 2018). Por otra parte, Caicedo & Tobar (2013) y Azcárate & Díaz (2016) evidenciaron afectaciones fitosanitarias en las especies forestales del campus de la Universidad del Cauca.

Dos especies nativas presentes en los bosques urbanos de Popayán son el cedro negro (*Juglans neotropica* Diels 1906) y el roble blanco (*Quercus humboldtii* Bonpl. 1805), de las familias Juglandaceae y Fagaceae, respectivamente (Feuillet-Hurtado, *et al.*, 2011; Potosí-Gutiérrez, *et al.*, 2017), oriundas de los Andes y distribuidas en Colombia entre los 1.600 y los 3.100 m s.n.m. (Bernal, *et al.*, 2020) y los 750 y los 3.450 m s.n.m., respectivamente (Rangel, 2017; Bernal, *et al.*, 2020; Villalba, *et al.*, 2021; GBIF Secretariat, 2021). Estas especies se destacan a nivel cultural y biológico en la región por ser maderables (Cárdenas, *et al.*, 2007; Vargas, *et al.*, 2012; Rangel, 2017). Sin embargo, se encuentran categorizadas a nivel nacional como en peligro crítico (*J. neotropica*) y vulnerables (*Q. humboldtii*), es decir, en riesgo inminente (Gallagher, 2018; Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020; GBIF Secretariat, 2021).

Asimismo, a nivel departamental se sabe que los remanentes de roble están reducidos a pequeños fragmentos dispersos localizados a lo largo de los taludes de ríos en áreas de fuertes pendientes que se cree alcanzan un total de 748 ha (Paz & Ospina, 2012), en tanto que no hay datos y estudios conocidos sobre el cedro negro.

En ese contexto, es necesario contribuir al conocimiento de las especies, a su conservación y su manejo en entornos urbanos, por lo que el objetivo del presente estudio fue conocer el estado fitosanitario de *Q. humboldtii* y *J. neotropica* en un espacio urbano del municipio de Popayán para aportar al diagnóstico y manejo sanitario del arbolado.

Materiales y métodos

Área de estudio

El trabajo se desarrolló en la zona urbana de Popayán, en áreas del Campus de la Universidad del Cauca (2°27' N y 76°37' W) (Figura 1). Esta zona está ubicada entre las cordilleras Occidental y Central, al occidente del país, con una altura promedio de 1.760 m s.n.m. y temperatura media de 18 °C, que alcanza las máximas en julio, agosto y septiembre.

Diagnóstico fitosanitario

Se hizo el censo y la georreferenciación de 73 individuos de las especies de interés utilizando navegadores GPS y recolectores de datos SIG localizados geográfica y espacialmente utilizando la plataforma de Google Earth. Estos se cargaron con la herramienta Mapping Application de ArcGis Online (Casanova, 2021) (Figura 1). Además, se determinó la distancia en metros entre cada árbol y entre estos y los edificios y vías cercanas. Los datos se convirtieron en coordenadas planas y se exportaron al programa QGis 3.20 (Quantum GIS Development Team, 2021).

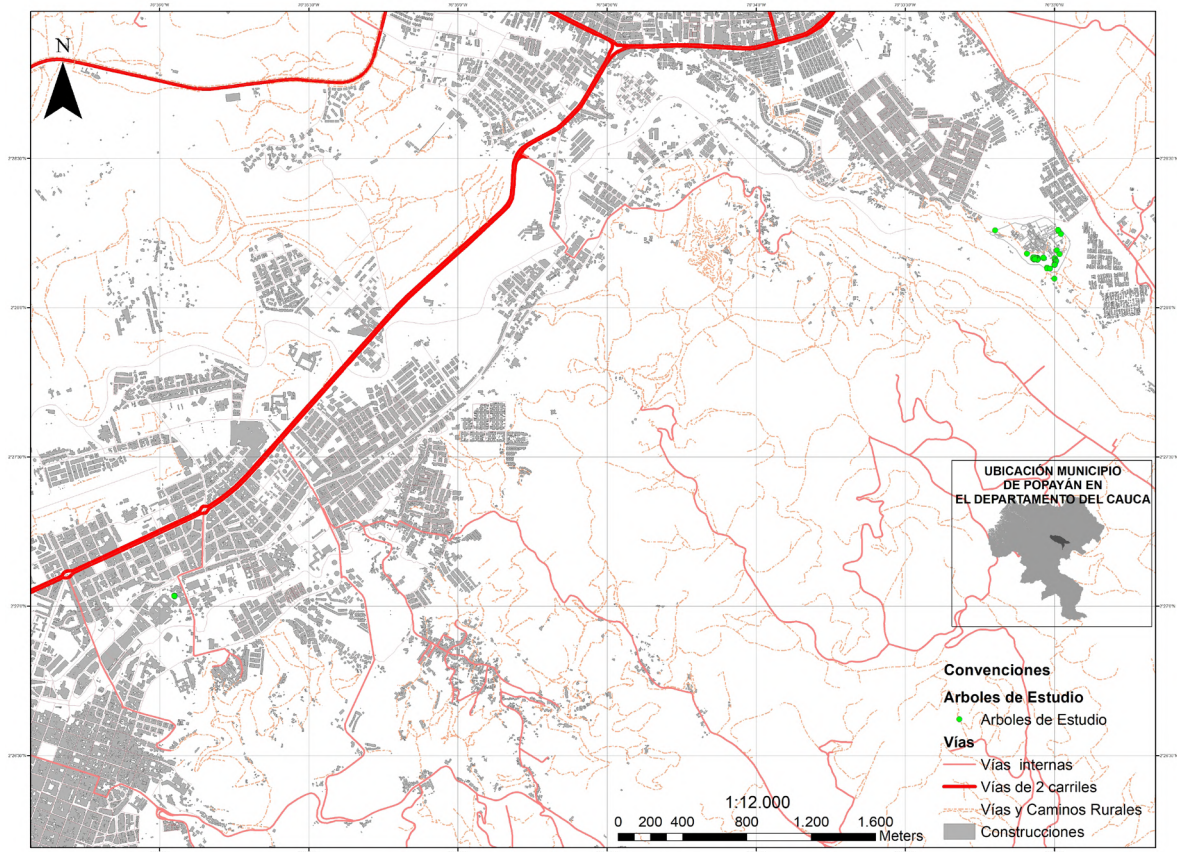


Figura 1. Puntos de registro de las especies en estudio y zona urbana del municipio de Popayán-Cauca. Modificado del **Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC** (2020).

A continuación, con cinta diamétrica se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) de cada uno de los árboles y se seleccionaron los que presentaron un DAP mayor a 10 cm. Se hizo una inspección mediante examen visual para detectar síntomas en el tallo y el dosel usando como referencia guías ilustradas y claves de síntomas generales para enfermedades en plantas (Agrios, 2005; Trigiano, 2007; Aprea & Murace, 2019).

Para calificar el nivel de enfermedad o los daños en los árboles afectados por uno o varios síntomas, se aplicó una metodología basada en el sistema de evaluación de seis clases de Hawksworth (1977): se dividió el dosel en tres estratos y se evaluó cada uno por separado asignándoles un valor de cero, uno o dos de la siguiente manera (Figura 2): cero, cuando el árbol no presentaba ningún síntoma; uno, cuando la mitad o menos del total de las ramas se encontraban afectadas por el síntoma, y dos, cuando más de la mitad del total de las ramas presentaba el síntoma.

El grado de infección de cada árbol se obtuvo sumando los valores de los tres estratos del dosel. Los valores iguales a uno, dos o tres indicaban un impacto reducido o nulo de los agentes fitosanitarios sobre el crecimiento de los árboles, y aquellos iguales a cuatro, cinco y seis, una disminución del crecimiento y el vigor con mucho riesgo para el árbol (Hawksworth, 1977). Con los datos obtenidos se calculó la incidencia y la gravedad de cada síntoma fitosanitario evaluado. La incidencia se definió como el porcentaje de plantas enfermas de un total de plantas evaluadas y la gravedad como el área (relativa o absoluta) de la unidad de muestreo (hoja, rama, fruto, etc.) que mostraba síntomas de la enfermedad (Bock, *et al.*, 2010). Se hicieron dos diagnósticos fitosanitarios, uno en época de lluvia (diciembre 2019) y otro en época seca (agosto 2018).

Instrucciones	Ejemplo
Paso 1 Dividir el dosel en tres tercios	Asignar un valor igual a cero (0), si el tercio no presenta síntomas visibles.
Paso 2 Evaluar cada tercio por separado, asignando un valor (cero, uno, dos) de la siguiente manera: (0) No presenta síntomas visibles (1) La mitad o menos del total de las ramas se encuentran afectadas por el síntoma. (2) Más de la mitad del total de las ramas presentan el síntoma.	Asignar un valor igual a uno (1), si el tercio está levemente afectado
Paso 3 Sumar los valores de los tercios para obtener el valor total del árbol.	Asignar un valor igual a dos (2), si el tercio está muy afectado
	En este ejemplo el árbol alcanzó un grado: $0 + 1 + 2 = 3$



Figura 2. Sistema de evaluación de seis clases (modificado de **Hawksworth**, 1977).

Aislamiento e identificación de agentes fitosanitarios

El aislamiento de hongos fitopatógenos se hizo para los 14 árboles (19,18 % de la población evaluada) con mayores niveles de incidencia y gravedad. Se recolectaron muestras de órganos que presentaban síntomas y se depositaron individualmente en bolsas plásticas rotuladas que fueron transportadas a la Unidad de Microscopía Electrónica de la Universidad del Cauca, donde fueron cultivadas con el método de siembra directa (**Rivas-Zúñiga & Giraldo-Aristizábal**, 2021). Una vez obtenidos los cultivos puros se hizo la identificación taxonómica a nivel de género aplicando la clave de **Gepp** (2009) y se obtuvieron fotomicrografías usando un microscopio Nikon Eclipse 80i.

El material entomológico se recolectó con trampas de caída (*pitfall*) arbóreas ubicadas a 1 m del suelo, red de golpeo, vareo o batido de follaje y escrutinio visual para luego trasladarlo al Laboratorio de Morfología y Fisiología de la Universidad del Cauca donde se hizo la identificación con ayuda de las claves taxonómicas de **Triplehorn, et al.** (2005) y **Rafael, et al.**, 2012, y las fuentes electrónicas de **Miller, et al.** (2014) y el **Invasive Species Specialist Group** (2011). Los ejemplares recolectados se depositaron en la colección del Museo de Historia Natural de la Universidad del Cauca (MHNUC).

Análisis de datos

Primero, se hizo un análisis descriptivo (histogramas) de las abundancias relativas de los hongos y los principales grupos de insectos presentes en la totalidad de muestras, así como su caracterización y registro de los posibles problemas fitosanitarios ocasionados por ellos. Después, se hizo un análisis de varianza multivariado con permutaciones (PERMANOVA) y un escalonamiento multidimensional no métrico (NMDS) para evaluar posibles diferencias entre los síntomas y las diferentes épocas de recolección (seca y lluviosa). Para evaluar el efecto de las distancias de los árboles (*Q. humboltii* y *J. neotropica*) a los edificios y vías más próximas, se utilizó un modelo de análisis de regresión múltiple (MRLM) para ver su efecto. El procesamiento estadístico se hizo en el *software* de programación para el análisis de datos y gráficos de libre distribución R, versión 4.0.3 (**R CORE TEAM**, 2020).

Resultados

La evaluación fitosanitaria en *J. neotropica* se llevó a cabo en 13 árboles durante la época seca y se encontraron siete síntomas, de los cuales el cribado, las manchas necróticas y el amarillamiento de las hojas tuvieron una incidencia de > 40 % (Figura 3a). En época de lluvias se registraron 12 síntomas, de los cuales el cribado, las manchas necróticas, los puntos necróticos y la necrosis apical tuvieron una incidencia de > 40 % (Figura 3a).

En la época seca se observó un número equivalente de árboles con síntomas de gravedad catalogados de uno a seis para las manchas necróticas y el amarillamiento, en tanto que el cribado en cerca del 50 % de los árboles tuvo un grado tres de gravedad. En la época lluviosa se observó una disminución del amarillamiento, pero aumentó la necrosis apical en 62 % de los árboles, con puntajes de gravedad entre cuatro y seis. Asimismo, aparecieron puntos necróticos en el 50 % de los árboles con puntajes de gravedad de uno a tres, en tanto que el cribado disminuyó en oposición a la ocurrido en la época seca (Figura 3a).

Asimismo, se hizo la evaluación fitosanitaria de 60 árboles de *Q. humboldtii* durante la época seca y se registraron 17 síntomas, de los cuales el cribado, las manchas necróticas, el amarillamiento, los puntos necróticos, la clorosis, el tizón y la necrosis apical tuvieron una incidencia de > 40 % (Figura 3b). En época de lluvia se registraron 14 síntomas, de los cuales el cribado, las manchas necróticas, la clorosis, el tizón, la necrosis apical y las pústulas tuvieron una incidencia de > 40 % (Figura 3b). En las dos épocas la incidencia fue alta pero la gravedad de los síntomas no lo fue, ya que la mayoría de los árboles se encontraba en los grados uno, dos o tres, lo que indica poco o nulo impacto sobre su crecimiento, aunque el cribado fue de grados tres y cuatro en la mayoría de los casos.

A partir de los síntomas seleccionados por su mayor incidencia y gravedad, se obtuvieron aislamientos fúngicos identificados a nivel de género. En *J. neotropica* se evidenciaron puntos necróticos, puntos con tonalidad oscura, borde irregular y halo clorótico (Figura 4a y 4b), y se aisló *Fusarium* sp., cuyas colonias presentaron un color rojo-marrón con topografía lisa y textura algodonosa, hifas septadas, conidióforos simples y conidias alargadas con forma de hoz y septos transversales (Figura 4c y 4d). Además, se observaron síntomas como puntos necróticos y puntos bien definidos (redondeados), con el centro de color blanco y más pequeños que los observados en el caso anterior (Figura 4e y 4f), y

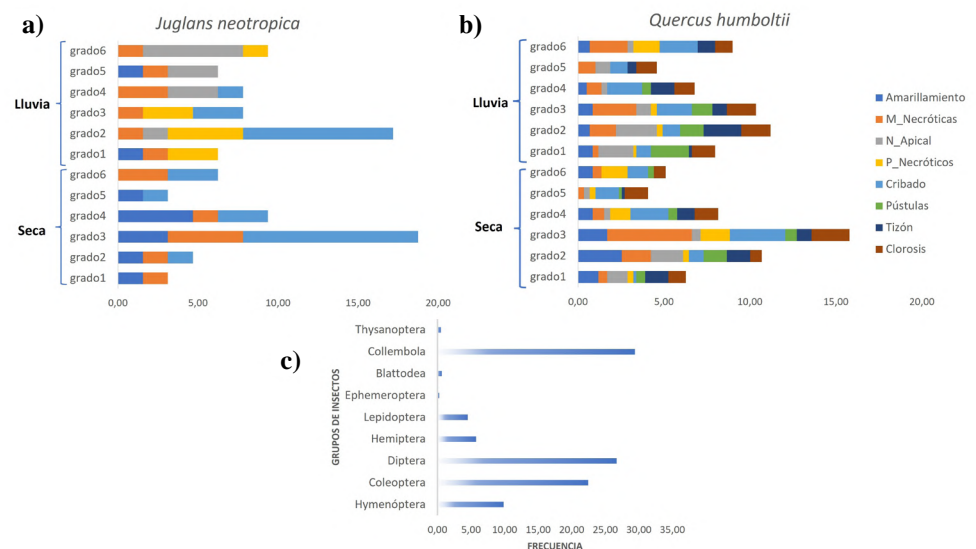


Figura 3. a) Incidencia y gravedad de las enfermedades por hongos asociados a *Juglans neotropica*. **b)** Incidencia y gravedad de enfermedades por hongos asociados a *Quercus humboldtii*. **c)** Frecuencia de presencia de grupos de insectos en las especies de estudio

se aisló *Alternaria* sp., especie que presentó colonias de color marrón, topografía lisa y textura algodonosa, hifas septadas, conidióforos simples y conidias con forma de granada y septos transversales y longitudinales (**Figura 4g y 4h**).

En *Q. humboldti* se observó necrosis apical y porciones de tejido necrótico en el ápice de la hoja con forma semejante a un triángulo o rombo (**Figura 4i y 4j**). Se aisló e identificó el hongo *Colletotrichum* sp., el cual presentó colonias de color naranja con topografía lisa y textura algodonosa, hifas septadas, conidióforos simples y conidias unicelulares (**Figura 4k y 4l**).

En cuanto a los insectos, se reconocieron nueve órdenes (**Figura 3c**), siendo los órdenes más frecuentes Collembola: Poduromorpha, Diptera y Coleoptera, con 29,43, 26,68 y 22,44 %, y en menor proporción Lepidoptera, Ephemeroptera, Dictyoptera (Blattodea) y Tysanoptera, con 4,49, 0,25, 0,62 y 0,50 %, respectivamente (**Figura 5**). Entre los registros obtenidos se destacan los órdenes Coleoptera y Hemiptera (Heteroptera, Auchenorrhyncha y Sternorrhyncha) por presentar daños o deterioro de estructuras de la planta en hojas, frutos o tallos (cribado). En este último orden, con el 5,74 % de registros, se destacó la presencia de las familias Membracidae (Hemiptera: Auchenorrhyncha) y Coreidae (Hemiptera: Heteroptera), de los géneros *Leptoglossus* (**Figura 5b**) sp. y *Umbonia* sp. (**Figura 5c**), los

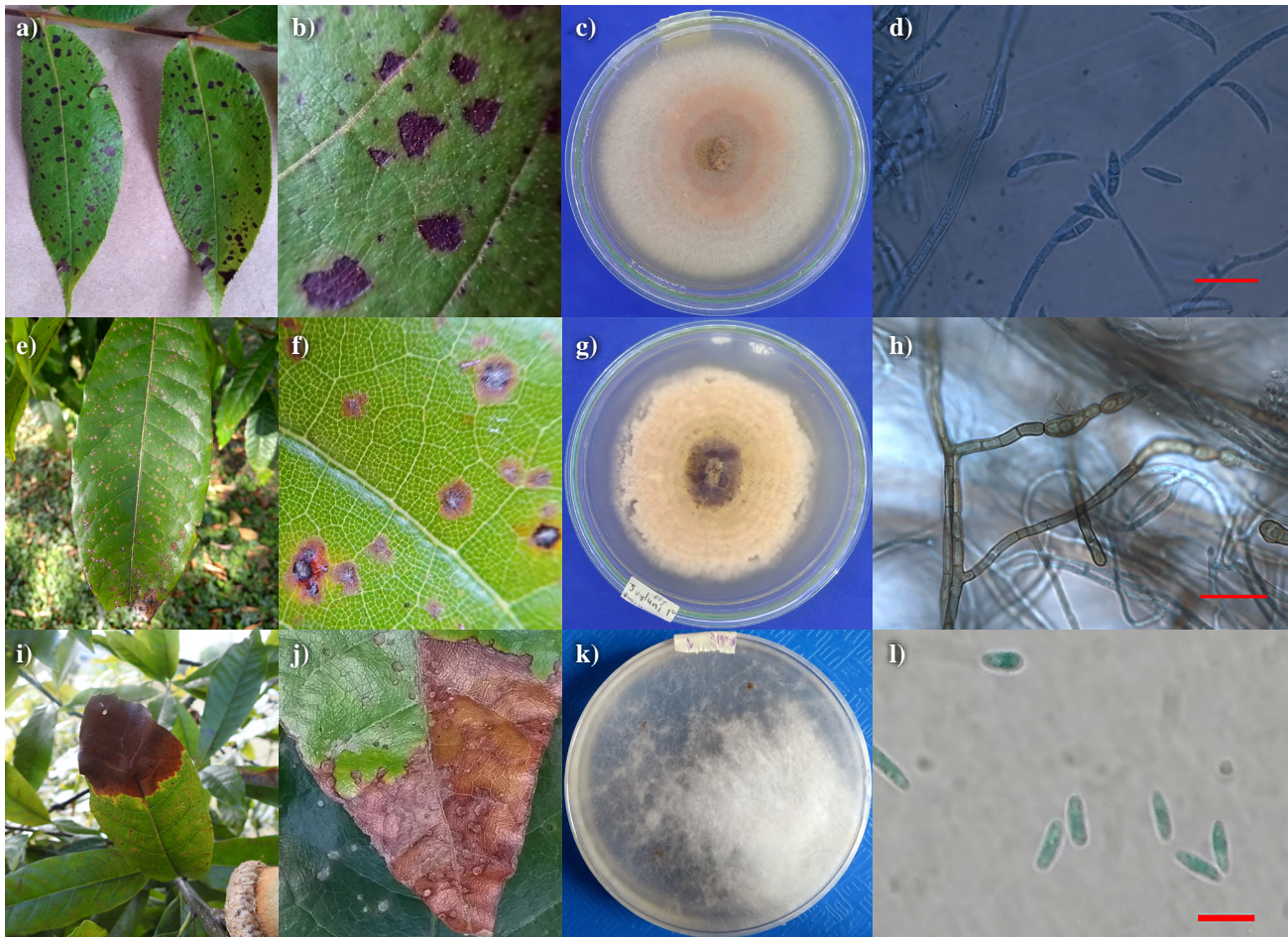


Figura 4. Síntomas y agentes causales de enfermedades en las especies de estudio. **a, b)** Puntos necróticos con halo clorótico por *Fusarium* sp. en *J. neotropica*. **c)** Cultivo en PDA de *Fusarium* sp. **d)** Conidias de *Fusarium* sp., tinción con azul de lactofenol, escala: 20 μ m. **e, f)** Puntos necróticos con centro blanco por *Alternaria* sp. en *J. neotropica*. **g)** Cultivo en PDA de *Alternaria* sp. **h)** Conidias de *Alternaria* sp., tinción con azul de lactofenol, escala: 20 μ m. **i, j)** Necrosis apical por *Colletotrichum* sp. en *Q. humboldti*. **k)** Cultivo en PDA de *Colletotrichum* sp. **l)** Conidias de *Colletotrichum* sp., tinción con azul de lactofenol, escala: 20 μ m

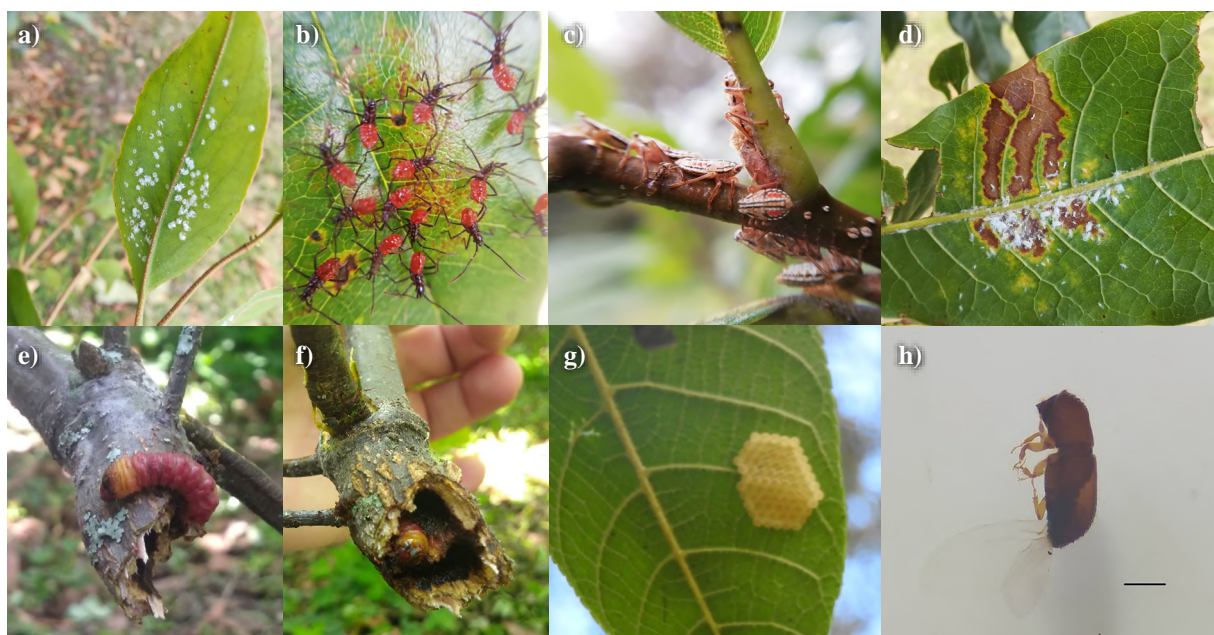


Figura 5. Insectos encontrados en las especies estudiadas: **a, d)** *Aleroydae* spp. (Hemiptera: Sternorrhyncha) en *J. neotropica* y en *Q. humboldtii*; **b)** *Leptoglossus* sp. (Heteroptera: Coreidae) en *Q. humboldtii*; **c)** *Umbonia* sp. (Heteroptera: Auchenorrhyncha) en *Q. humboldtii*; **e, f)** Larva de Cerambycidae en *Q. humboldtii*; **g)** huevos de Lepidoptera en *J. neotropica*; **h)** *Xyleborus* sp. (Coleoptera: Scolytidae) en *Q. humboldtii*.). Escala: 1 mm

cuales causan daño debido a su hábito fitófago de consumir savia y localizarse en las partes jóvenes o de crecimiento en la planta. Se reportó, asimismo, la presencia de individuos de la familia *Aleyrodidae* spp. (Hemiptera: Sternorrhyncha) (**Figura 5a** y **5d**) causantes de amarillamientos aislados en hojas.

Se registró la presencia de una larva y un adulto de la familia Cerambycidae, orden Coleoptera, causando daño y deterioro evidentes en una rama de *Q. humboldtii* (**Figura 5e** y **5f**). También se capturaron en trampas de caída especímenes del género *Xyleborus* sp. (Scolytinae), comúnmente denominados escarabajos ambrosiales (**Figura 5h**), los cuales se caracterizan por su relación simbiótica y nutricional obligada con diversas especies de hongos que cultivan en las paredes de las galerías en el xilema del árbol hospedero (**Hughes, et al., 2015; Ángel-Restrepo, et al., 2019**).

El análisis de los datos mediante un modelo PERMANOVA y la interpretación gráfica de NMDS no arrojó diferencias significativas entre las épocas seca y lluviosa para la variable de síntoma ($p > 0,05$) (**Figura 6a**).

Se evaluó igualmente el efecto de la distancia de los árboles (*Q. humboldtii* y *J. neotropica*) a los edificios y las vías más próximas (**Figura 6b**) en la presencia de síntomas y la diversidad de insectos utilizando un modelo de regresión lineal múltiple (MRLM) (**Anexo 1S**, <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/1542/3198>). Después de revisar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas (**Anexo S1**, <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/1542/3198>), se encontraron diferencias significativas, con $p < 0,05$ y $R^2 = 0,45$, lo que evidenció una relación entre la distancia de los árboles y la frecuencia de aparición de hongos e insectos (**Anexo 2S**, <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/1542/3198>). Es decir, a medida que aumentó la distancia en metros entre las vías y los árboles, la incidencia de hongos disminuyó en un 0,53 % y aumentó la abundancia de insectos asociados a los árboles en un 0,73 %. Sin embargo, no se encontró relación entre la distancia de los árboles a los edificios y la sintomatología asociada a la presencia de hongos e insectos.

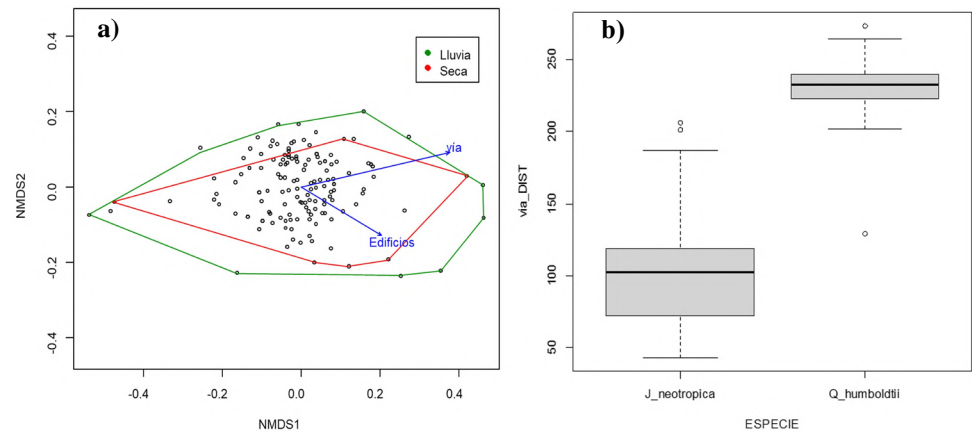


Figura 6. a) Ordenación NMDS (estrés=0,178). La gráfica muestra la congruencia entre los árboles de estudio, los daños ocasionados y la distancia de cada uno en relación con las vías y edificios principales. La delimitación de polígonos indica las épocas de muestreo y su relación con la incidencia de hongos entomopatógenos en los árboles de estudio. **b)** Diagrama de cajas y diferencias en la distancia entre árboles *Q. humboldtii*, *J. neotropica* y las vías principales

Discusión

Las enfermedades constituyen uno de los factores principales que determinan la dinámica de los ecosistemas forestales junto con las plagas, el fuego y las condiciones climáticas (Pildain & De Errasti, 2011). En este sentido, los hongos son los principales agentes causantes de enfermedades forestales, ya que atacan diferentes partes de los árboles (Boa, 2008; Pildain & De Errasti, 2011) y pueden causar problemas leves, que solo tienen implicaciones estéticas, o graves, como la reducción de la tasa fotosintética por defoliación, el debilitamiento del transporte vascular por presencia de chancros en el tronco y la disminución de la absorción de agua y minerales por pudrición de la raíz que pueden llevar a la muerte del árbol (Pildain & De Errasti, 2011).

En este estudio, las especies evaluadas *Q. humboldtii* (roble) y *J. neotropica* (cedro) presentaron síntomas leves a moderados principalmente en las hojas: manchas necróticas, puntos necróticos, necrosis apical, pústulas, tizón, amarillamiento y clorosis. Según Boa (2008) y Singh, *et al.* (2017), estos síntomas son causados principalmente por hongos. Sin embargo, en algunos casos pueden ser ocasionados por bacterias, virus o factores abióticos.

Los hongos aislados de los géneros *Colletotrichum*, *Fusarium* y *Alternaria*, se encuentran entre los patógenos vegetales más frecuentes tanto en especies forestales como agrícolas y ornamentales (Cannon, *et al.*, 2012; Summerell, 2019; Dalinova *et al.*, 2020). Este hallazgo coincide con otros estudios en Colombia, como el de Monroy-Castro & Lizarazo-Forero (2010), quienes identificaron los hongos *Fusarium* spp. y *Alternaria* spp. en robles en los departamentos de Boyacá y Santander, pero a diferencia de nuestro estudio, en bosques naturales; no se determinó la incidencia ni la gravedad de las enfermedades.

Por otro lado, otro de los tensores bióticos evaluados fueron los insectos, que ocasionaron daños no significativos. Sin embargo, la presencia de insectos fitófagos, xilófagos y defoliadores como *Aleyrodidae* spp., *Leptoglossus* sp., *Umbonia* sp., larvas de Cerambycidae, *Xyleborus* sp. y especies como *Atta cephalotes*, que se registraron alimentándose parcialmente de estos árboles, alertan sobre potenciales daños (Vasconcelos, *et al.*, 2006; Sermeño-Chicas & Pérez, 2015; Amaya-Hernández, *et al.*, 2019). Se resalta el caso de *Xyleborus* sp. debido al posible establecimiento simbiótico y nutricional obligado con diversas especies de hongos que cultivan en las paredes de galerías en el xilema del árbol hospedero, como lo evidenciaron Hughes, *et al.* (2015) y Ángel-Restrepo, *et al.* (2019), quienes destacan, además, la importancia de este insecto por su asociación con especies

forestales y agrícolas en procesos de descomposición de árboles muertos o enfermos (Steininger, *et al.*, 2015; Hulcr, *et al.*, 2017). Según Burgos-Solorio (2007), estos insectos se cuentan entre los primeros organismos en colonizar plantas cuando hay estrés por algún tensor ambiental y pueden desencadenar la muerte del individuo.

En cuanto a la influencia del patrón climático en la incidencia y gravedad de las enfermedades de los árboles, tampoco se encontraron diferencias significativas, probablemente porque los valores de humedad relativa y temperatura no variaron ampliamente (91,6 % y 25,7 °C en época seca y 94,6 % y 25,2 °C en época lluviosa). Sin embargo, se registró una diferencia en la precipitación entre las épocas de estudio seca y lluviosa, con 11,2 y 48,8 mm, respectivamente, lo cual se encuentra en consonancia con lo hallado por Talley, *et al.* (2002), quienes señalan tres características como parámetros medioambientales críticos en el desarrollo de enfermedades en el crecimiento de los patógenos, la esporulación y la germinación de esporas: una humedad relativa por encima de 50 %, una temperatura entre 20 y 30 °C y la presencia prolongada de agua superficial en los tejidos vegetales.

Por último, podemos decir que en la actualidad se reporta que la susceptibilidad de los árboles frente a agentes patógenos aumenta cuando se encuentran en espacios urbanos, ya que afrontan el estrés ocasionado por tensores físicos, bióticos y antrópicos que pueden condicionar el debilitamiento de los árboles y la predisposición al ataque por hongos e insectos dañinos, como lo reportan Moreno & Hoyos (2015) y Wilkaniec, *et al.* (2021), y llevar a un deterioro de la calidad de vida de los árboles e, indirectamente, de las personas que habitan estos lugares (Dobbs, *et al.*, 2018). Por ejemplo, Moreno & Hoyos (2015) reportaron 34 tensores en su guía para el manejo del arbolado urbano del Valle de Aburrá en Colombia. Asimismo, en un informe previo sobre el censo arbóreo urbano en espacio público de la comuna 4 del municipio de Popayán – fase 1 (Alcaldía Municipal de Popayán & Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán, 2018), se estableció que el 55,64 % de los árboles presentaba algún grado de afectación y que el 31,73 % se veía afectado por hongos e insectos. Estos hallazgos coinciden con lo reportado en este estudio en cuanto a la relación inversa entre la presencia de hongos y la distancia de los árboles a la vía principal, ya que la cercanía a las vías genera otro tensor: la contaminación del aire (Gaitán, *et al.*, 2007), lo cual remite a lo hallado por Castillo-Rivera & Sinisterra-Rodríguez (2019) en la zona urbana de Popayán, donde ha aumentado el consumo de combustibles del sector de transportes de 73.889 a 104.642 toneladas de diésel y de 71.280 a 86.154 toneladas de gasolina entre el 2012 y el 2015.

En la actualidad en Popayán no existen planes de manejo de los árboles urbanos que garanticen su salud en el largo plazo, tan solo hay informes de diagnóstico (Alcaldía Municipal de Popayán y Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán, 2018; Jurado, 2021). Los planes de manejo contienen, entre otros temas, lineamientos técnicos con altos estándares para las intervenciones silviculturales orientadas a disminuir el efecto de los factores de tensión en el arbolado urbano y minimizar el estrés en los individuos, buscando la generación de servicios ecosistémicos (Dobbs, *et al.*, 2018; Arroyave-Maya, *et al.*, 2019). Deben garantizarse altos estándares en las intervenciones, pues las podas excesivas o la reducción drástica de las copas pueden resultar inapropiadas y generar el efecto contrario, es decir, tensores en los árboles (Law, *et al.*, 2021). Cabe anotar que en el presente estudio se observaron podas antitécnicas en el trabajo de campo.

Conclusiones

Aunque en ningún caso la gravedad de las enfermedades produjo daños que amenazaran a corto plazo la supervivencia de los árboles, los resultados obtenidos evidencian que los organismos de estudio (hongos e insectos) tienen el potencial de generar afectaciones graves en condiciones de estrés en el arbolado como la proximidad a las vías de mayor flujo vehicular. Esta situación plantea nuevas preguntas cuya respuesta podría ampliar los resultados obtenidos en la presente investigación.

Los resultados de nuestro diagnóstico apuntan a la necesidad de estructurar planes de manejo con altos estándares técnicos que garanticen prácticas silviculturales de prevención tendientes a disminuir el estrés, todo ello teniendo en cuenta el crecimiento urbano que se está presentando en Popayán, lo que aumenta el efecto de los tensores que afectan la salud de los bosques urbanos.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad del Cauca (501100005682), por la financiación del proyecto “Evaluación fitosanitaria y potencial agroindustrial en dos especies del arbolado urbano de la Universidad del Cauca” (ID 4764), y a los estudiantes Andrés De la Cruz, Ángela Imbachí, Edna Ceballos, Jhon Casanova, Egnna Ñañez, Verónica Solarte, Robinson Medina y Sebastián Valencia de los Semilleros de Investigación Bosques y Silvicultura, Microbiología y Microscopía (SIMICRO) y Diversidad Funcional y Servicios Ecosistémicos de la Universidad del Cauca.

Información suplementaria

Anexo 1S. Gráficas de cumplimiento de normalidad y homocedasticidad de supuestos estadísticos en los residuos de datos de estudio. a) Gráfica de residuos y su aproximación a la distribución normal y b) gráfica de distribución de residuos. Ver anexo 1S en <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/1542/3198>

Anexo 2S. Matriz de correlación de salida del modelo de regresión lineal múltiple (MRLM). Ver anexo 2S en <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/1542/3198>

Contribución de los autores

CIG, YM, SRZ, JCVM, AEOH: concibieron y diseñaron el estudio de campo; CIG, YM, SRZ, DGML, LMAH, NPM: recolectaron los datos e identificaron los especímenes; CIG, YM: reunieron, concibieron y analizaron los datos; CIG, YM, SRZ, JCVM, AEOH: escribieron el primer borrador y contribuyeron significativamente a las ideas y las revisiones del manuscrito. Todos los autores aceptaron la versión final del manuscrito.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Referencias

- Agrios, G.N. (2005). Plant pathology (5th ed). San Diego, California, Elsevier Academic Press.
- Alcaldía Municipal de Popayán & Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán. (2018). Censo arbóreo urbano en espacio público de uso público sobre la comuna 4 del municipio de Popayán-fase 1. Convenio Interadministrativo No. 20171800011937. 269 pp.
- Amaya-Hernández, L.M., Mera-Velasco, Y.A., Gallego-Roper, M.C., Montoya-Lerma, J., Armbrrecht, I. (2019). Herbivoría de *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Formicidae) en parches de bosque seco tropical del suroccidente colombiano. Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. **23** (2): 171-189. <https://doi.org/10.17151/bccm.2019.23.2.9>
- Ángel-Restrepo, M., Ochoa-Ascencio, S., Fernández-Pavía, S., Marrufo-Vásquez, G., Equihua-Martínez, A., Barrientos-Priego, A., Correa-Suárez, M., Saucedo-Carabez, J. (2019). Identificación de escarabajos ambrosiales (Coleópteros: Curculionidae) asociados a árboles de aguacate en Michoacán, México. Folia Entomológica Mexicana. **5** (2): 80-88.
- Apra, A.M. & Murace, M.A. (2019). Problemáticas sanitarias del arbolado. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <https://doi.org/10.35537/10915/82977>
- Arroyave-Maya, M. del P., Posada-Posada, M. I., Nowak, D. J., Hoehn, R. E. (2019). Remoción de contaminantes atmosféricos por el bosque urbano en el valle de Aburrá. Colombia forestal. **22** (1): 5-16. <https://doi.org/10.14483/2256201X.13695>
- Azcárate, L. & Díaz, L. (2016). Plan de manejo para las especies forestales en las diferentes sedes de la Universidad del Cauca (Trabajo de grado). Universidad del Cauca.

- Bernal, R., Gradstein, S.R., Celis, M.** (eds.). (2020). Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. v1.1. Universidad Nacional de Colombia. Dataset/Checklist. <https://doi.org/10.15472/7avdhn>
- Boa, E.** (2008). Guía ilustrada sobre el estado de salud de los árboles. FAO y Organismo Internacional Regional De Sanidad Agropecuaria (OIRSA). Fecha de consulta: 20 de febrero de 2021, Disponible en: <http://www.fao.org/3/y5041s/y5041s00.htm>
- Bock, C., Poole, G., Parker, P.E., Gottwald, T.** (2010). Plant Disease Severity Estimated Visually, by Digital Photography and Image Analysis, and by Hyperspectral Imaging. *Critical Reviews in Plant Science*. **29** (2) 59-107. <https://doi.org/10.1080/07352681003617285>
- Burgos-Solorio, A.** (2007). Platypodidae y Scolytidae (Coleoptera) de Jalisco, México. *Dugesiana*. **14** (2): 59-82.
- Caicedo, A. & Tobar, J.** (2013). Diagnóstico silvicultural y formulación de recomendaciones para el manejo del componente arbóreo existente en las sedes de la Universidad del Cauca. (Trabajo de grado). Universidad del Cauca.
- Cannon, P.F., Damm, U., Johnston, P.R., Weir, B.S.** (2012). *Colletotrichum* – current status and future directions. *Studies in Mycology*. **73**: 181-213. <https://doi.org/10.3114/sim0014>
- Cárdenas, L.D. & Salinas, N.R.** (2007). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt & Universidad Nacional de Colombia (Eds.). Libro rojo de plantas de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt: Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales. 232 p.
- Casanova, J.** (2021). StoryMapJournal. Fecha de consulta: 22 de junio de 2021. Disponible en: <https://casanova311994.maps.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=cbcbadc8b14a433f8ebb4a8e0aaccf31>
- Castillo-Rivera, J.M. & Sinisterra-Rodríguez, M.M.** (2019). Gestión urbana y políticas públicas para reducir la contaminación del aire: el caso del municipio de Popayán (Colombia). *Perspectivas*. **11** (1): 48-55
- Dalinova, A.A., Salimova, D.R., Berestetskiy, A.O.** (2020). Fungi of the Genera *Alternaria* as producers of biological active compounds and mycoherbicides. *Applied Biochemistry and Microbiology*. **56** (3): 256-272. <https://doi.org/10.1134/S0003683820030023>
- Dobbs, C., Eleuterio, A.A., Amaya, J.D., Montoya, J., Kendal, D.** (2018). Beneficios de la silvicultura urbana y periurbana. *Unasylva: Revista Internacional de Silvicultura e Industrias Forestales*. **69** (250): 22-29.
- Feuillet-Hurtado, C., Macías-Pinto, D., Chito-Cerón, E.** (2011). Plantas útiles para la elaboración de artesanías en el departamento del Cauca (Colombia). *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*. **15** (2): 40-59.
- Gaitán, M., Cancino, J., Behrentz, E.** (2007). Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá. *Revista de Ingeniería*. **26**: 81-92
- Gallagher, G.** (2018). The IUCN Red List of Threatened Species. IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org/e>
- GBIF Secretariat.** (2021). GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset. <https://doi.org/10.15468/39omei> accessed via GBIF.org.
- Gepp, V.** (2009). Clave para identificar hongos y pseudohongos fitopatógenos. <https://studylib.es/doc/7474590/clave-para-identificar-hongos-y-pseudohongos-fitopato-genos>
- Hawksworth, F. G.** (1977). The 6-class dwarf mistletoe rating system. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Forest Service, U.S. Dept. of Agriculture. 7 pp.
- Hughes, M.A., Smith, J.A., Ploetz, R.C., Kendra, P.E., Mayfield, A.E., Hanula, J.L., Hulcr, J., Stelinski, L.L., Cameron, S., Riggins, J.J., Carrillo, D., Rabaglia, R., Eickwort, J., Pernas, T.** (2015). Recovery Plan for Laurel Wilt on Redbay and Other Forest Species Caused by *Raffaelealauricola* and Disseminated by *Xyleborusglabratus*. *Plant Health Progress*. **16** (4): 173-210. <https://doi.org/10.1094/PHP-RP-15-0017>
- Hulcr, J., Black, A., Prior, K., Chen, C.Y., Li, H.F.** (2017). Studies of Ambrosia beetles (Coleoptera: Curculionidae) in their native ranges help predict invasion impact. *Florida Entomologist*. **100** (2): 257-261. <https://doi.org/10.1653/024.100.0219>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi- IGAC.** (2020). Cartografía temática Popayán, Escala 1:20.000. Mapa, Shapefile. IGAC, datos abiertos, Bogotá
- Invasive Species Specialist Group-ISSG.** (2011). Global Invasive Species Database. Checklist dataset. <https://doi.org/10.15468/aaobov> accessed via GBIF.org on 2021-06-24
- Jurado, E.J.** (2021). Actualización del censo y evaluación física, fitosanitaria y del riesgo del arbolado urbano en la Universidad del Cauca. Ingeniería Forestal. (Trabajo de grado). Universidad del Cauca.

- Law, M.Y.C., Hui, L.C., Jim, C.Y., Ma, T.L.** (2021). Tree species composition, growing space and management in Hong Kong's commercial sky gardens. *Urban Forestry & Urban Greening*. **64**: 127267. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127267>
- Miller, D., Rung, A., Parikh, G., Venable, G., Redford, A.J., Evans, G.A., Gill, R.J.** (2014). Scale Insects, Identification Tool for Species of Quarantine Significance, edition 2. USDA APHIS PPQ Identification Technology Program (ITP). Fort Collins, CO. <http://idtools.org/id/scales/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.** (2020). Lista de especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica continental y marino-costera de Colombia - Resolución 1912 de 2017 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. v2.5. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Dataset/Checklist. <https://doi.org/10.15472/5an5tz>
- Monroy-Castro, L. & Lizarazo-Forero, L.** (2010). Identificación de hongos fitopatógenos asociados al roble (*Quercus humboldtii* Bonpl.), en los municipios de Encino (Santander), Arcabuco, y Tipacoque (Boyacá). *Colombia Forestal*. **13** (2): 347-356. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2010.2.a10>
- Moreno, F. & Hoyos, C.** (2015). Guía para el manejo del arbolado urbano en el Valle de Aburrá. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional de Colombia. 345 pp.
- Paz, J.P. & Ospina, R.** (2012). Características florísticas de un bosque de roble (*Quercus humboldtii*) en la meseta de Popayán (Cauca). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. **10** (2): 243-248.
- Pildain, M.B. & de Errasti, A.** (2011). Hongos patógenos de pinos en la Patagonia y su asociación con plagas entomológicas. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/84737>
- Potosí-Gutiérrez, A., Villalba-Malaver, J.C., Arboleda-Pino, L.Y.** (2017). Productos forestales no maderables asociados a bosques de roble *Quercus humboldtii* Bonpl. en La Vega, Cauca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. **15** (2): 22-29. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(15\)](https://doi.org/10.18684/BSAA(15))
- Quantum Gis Development Team.** (2021). Bienvenido al proyecto QGIS! (s/f). <https://www.qgis.org/es/site/>
- R CORE TEAM.** (2020). R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.Rproject.org>
- Rafael, J.A., Melo, G.A.R., Carvalho, C.J.B. de., Casari, S.A., Constantino, R.** (2012). Insetos do Brasil Diversidade e Taxonomia. Ribeirão Preto: Holos editora. 810 pp.
- Rangel-Ch., J.O.** (2017). Libro Impreso Colombia diversidad biótica XV. Los bosques de robles (Fagaceae) en Colombia. Composición florística, estructura, diversidad y conservación. Universidad Nacional de Colombia. 311 pp.
- Restrepo, O.H.I., Moreno, F.H., Hoyos, C. H.** (2015). Incidencia del deterioro progresivo del arbolado urbano en el Valle de Aburrá, Colombia. *Colombia forestal*. **18** (2): 225-240.
- Rivas-Zúñiga, S.C. & Giraldo-Aristizábal, C.I.** (2021). Manual práctico de microbiología básica. Editorial Universidad del Cauca. 180 pp.
- Sermeño-Chicas, J. M. & Pérez, D.** (2015). Insecto espina de rosa *Umboniaspinosa* (Fabricius, 1775) y *Umboniacrassicornis* (Amyot y Serville, 1843) (Homoptera: Membracidae) en árboles de paterno (*Inga paterno* Harms) y mangollano (*Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth) en El Salvador. *Bioma*. **37** (4): 13-26.
- Singh, A., Bhatnagar, S., Singh, S., Rathore, L. S.** (2017). Foliar disease infection on some forest trees. *Journal of Agriculture and Ecology*. **3**: 38-41.
- Steininger, M.S., Hulcr, J., Igut, M., Lucky, A.** (2015). Simple and Efficient Trap for Bark and Ambrosia Beetles (Coleoptera: Curculionidae) to Facilitate Invasive Species Monitoring and Citizen Involvement. *Journal of Economic Entomology*. **108** (3): 1115-1123. <https://doi.org/10.1093/jee/tov014>
- Summerell, B.A.** (2019). Resolving Fusarium: Current Status of the Genus. *Annual Review of Phytopathology*. **57** (1): 323-339. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082718-100204>
- Talley, S.M., Coley, P.D., Kursar, T.A.** (2002). The effects of weather on fungal abundance and richness among 25 communities in the Intermountain West. *BMC ecology*. **2**, 7. <https://doi.org/10.1186/1472-6785-2-7>
- Trigiano, R.N.** (2007). *Plant Pathology Concepts and Laboratory Exercises*. Second Edition. CRC Press. 576 pp.
- Triplehorn, C.A., Johnson, N.F., Borror, D.J.** (2005). Borror and DeLong's introduction to the study of insects. Thompson Brooks/Cole. USA, 864 pp.

-
- Vargas, P.S., Hoyos, J.L., Mosquera, S.A.** (2012). Uso de hojarasca de roble y bagazo de caña en la producción de *Pleurotostreatus*. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. **10** (1): 136-145.
- Vasconcelos, H.L., Vieira-Neto, E.H.M., Mundim, F.M., Bruna, E.M.** (2006). Roads Alter the Colonization Dynamics of a Keystone Herbivore in Neotropical Savannas1. *Biotropica*. **38** (5): 661-665. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2006.00180.x>
- Villalba, M.J.C., Avella M, E.A., Ospina M, R.** (2021). Silvicultura de especies latinoamericanas, *Quercus humboldtii* Bonpl. En: Pina Rodrigues, F., y Silva, J. M. *Silvicultura tropical: o potencial madeireiro e não madeireiro das espécies tropicais*. Sorocaba, São Paulo. 596 pp.
- Wilkaniec, A., BorowiakSobkowiak, B., Irzykowska, L., Breś, W., Świerk, D., Pardela, L., Durak, R., ŚrodulskaWielgus, J., Wielgus, K.** (2021). Biotic and abiotic factors causing the collapse of *Robinia pseudoacacia*L. veteran trees in urban environments. *PLoS ONE*. **16** (1): e0245398. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245398>