

VALORACIÓN Y ANÁLISIS DE LA
BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS
ECOSISTÉMICOS ASOCIADOS A
CAMPOS CLONALES DE **CAUCHO** EN
CAQUETÁ, AMAZONIA COLOMBIANA

Sterling Cuellar, Armando, Rodríguez León, Carlos Hernando (Editores)

Valoración y análisis de la biodiversidad y servicios ecosistémicos asociados a campos clonales de caucho en Caquetá, Amazonia colombiana. Armando Sterling Cuellar, Carlos Hernando Rodríguez León (Eds.). Bogotá, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, 2019

I. CAUCHO 2. Hevea brasiliensis 3. AGROBIODIVERSIDAD 4. SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS 5. AMAZONIA COLOMBIANA

ISBN: 978-958-5427-12-9

© **Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI**
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Primera edición: abril de 2019

Revisión técnica: Fausto Andrés Ortiz Morea, Ph.D
Leandro Cortés Ávila, MSc, cPhD

Fotografías: Armando Sterling Cuéllar, Deisy Yisenia Quiceno Mayo, Luis Carlos Loaiza Molina, Esther Joaquina Quiceno Mayo, Yennifer Andrea Carreño Guevara, Daniel Castro Torres, Clara Patricia Peña Vanegas, Natalia Alejandra Rodríguez Castillo, Eidy Janeth Martínez Viuche

Coordinación de la producción editorial: Diana Patricia Mora Rodríguez,
Jefe Oficina de Comunicaciones

Diseño de cubierta y concepto gráfico: Paola Aponte

Diseño, diagramación e impresión: Imagen editorial S.A.S

Reservados todos los derechos

Disponible en: Instituto SINCHI, Calle 20 No. 5-44 Bogotá, Colombia
Tel.: 4442084
www.sinchi.org.co

Impreso en Colombia

Printed in Colombia





VALORACIÓN Y ANÁLISIS DE LA
**BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS
ECOSISTÉMICOS** ASOCIADOS A
CAMPOS CLONALES DE **CAUCHO**
EN CAQUETÁ, AMAZONIA COLOMBIANA

EDITORES

Armando Sterling Cuéllar, Ph.D
Carlos Hernando Rodríguez





LUZ MARINA MANTILLA CÁRDENAS
Directora General

CARLOS ALBERTO MENDOZA VÉLEZ
Subdirector Administrativo y Financiero

MARCO EHRLICH
Subdirector Científico y Tecnológico

MARIA SOLEDAD HERNÁNDEZ
Coordinadora Programa Sostenibilidad e Intervención

CARLOS HERNANDO RODRIGUEZ LEÓN
Coordinador Sede Florencia



GERARDO ANTONIO CASTRILLÓN ARTUNDUAGA
Rector

ALBERTO FAJARDO OLIVEROS
Vicerrector de Investigaciones y Posgrados

ALCIDES VILLAMIZAR OCHOA
Vicerrector Académico

MARLON PELÁEZ RODRIGUEZ
Decano Facultad de Ciencias Básicas



Asociación de Reforestadores
y Cultivadores de Caucho del Caquetá

JOSÉ RICARDO GUTIERREZ ROJAS
Representante legal

Junta Directiva

JOSÉ RICARDO GUTIERREZ ROJAS
Presidente

GREYCIOMARA CASANOVA MARIN
Vicepresidente

CARLOS ARTURO ROJAS BARRERA
Secretario

JESÚS ARCENIO ROJAS RIVERA
HÉCTOR EDUARDO DIAZ GALLEGU
Miembros principales

VALORACIÓN Y ANÁLISIS DE LA
**BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS
ECOSISTÉMICOS** ASOCIADOS A
CAMPOS CLONALES DE **CAUCHO**
EN CAQUETÁ, AMAZONIA COLOMBIANA

EQUIPO TÉCNICO

Armando Sterling Cuéllar, Ph.D

Investigador Principal

Co-investigadores

Carlos Hernando Rodríguez León

Eidy Janeth Martínez Viuche

Natalia Rodríguez Castillo

Clara P. Peña Venegas

Daniel Castro

Jean Alexander Gamboa

Deisy Yisenia Quiceno Mayo

Esther Quiceno Mayo

Yeny Rocio Virgüez Díaz

Adriana Karina Gómez-Torres

Jesica Andrea Fonseca Restrepo

Ginna Patricia Velasco Anacona

Jhon Faiver Trujillo Collazos

Edwin Andrés Clavijo Arias

Tatiana K. Andrade Ramírez

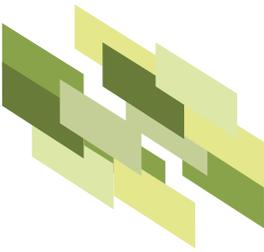
Maria Fernanda Bermudez

Andrea Carreño

Diego Ferney Caicedo Rodríguez

Bernardo Betancurt Parra

Maolenmarx Tatiana Garzón





INTRODUCCIÓN

El caucho [*Hevea brasiliensis* (Willd. Ex ADR. de Juss.) Muell.-Arg.] es una especie de origen suramericano productora de látex destinado principalmente a la industria llantera (Compagnon, 1998). Dada la importancia del caucho natural y su creciente demanda en el mercado internacional, en Colombia se han venido adelantando planes masivos para la expansión del cultivo la mayoría de ellos apoyados en el establecimiento de nuevas hectáreas en pequeños y medianos cultivadores cuya estrategia busca en general, compensar en primer lugar la demanda interna. Según CCC (2017) en el último censo cauchero realizado en 2015 se reportaron 53.223 ha en Colombia de las cuales cerca de 5.000 ha se encuentran en el departamento del Caquetá, Amazonia colombiana.

En Colombia, todas las plantaciones comerciales se han establecido con clones introducidos y en regiones como el Caquetá el fomento y desarrollo del cultivo de caucho se ha limitado históricamente al uso de tres clones (Castellanos et al., 2009). Esta reducida base genética y las condiciones ambientales y culturales limitantes han afectado la productividad y la competitividad del sector cauchero en el Caquetá (Asoheca, 2010).

En este sentido, el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, la Universidad de la Amazonía y la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá Asoheca han contribuido en Caquetá con información preliminar sobre la ampliación de la base genética de caucho con nuevos materiales promisorios a través de la evaluación preliminar de genotipos regionales élite (Sterling y Rodríguez, 2011, 2017, 2018) y de clones promisorios introducidos a la región (Sterling y Rodríguez, 2012, 2017, 2018), como una de las principales estrategias con que necesita la región para fortalecer y sustentar mediante la investigación científica la competitividad del sector cauchero en el Caquetá para los próximos 50 o 60 años.

No obstante, la sostenibilidad productiva del cultivo del caucho no sólo depende del tipo de material genético, sino que además está influenciada por diversos factores ambientales entre los que destaca la capacidad de los sistemas de producción con caucho para proveer bienes y servicios ambientales de interés agroambiental. Por ello, otros aspectos de interés a evaluar en los nuevos clones es su capacidad de promover condiciones que permitan conservar la biodiversidad, recuperar los suelos degradados, mitigar los efectos del cambio climático, entre otros.

En este documento se presentan las bases técnicas para la valoración y el análisis de los principales recursos de la biodiversidad (avifauna, entomofauna e indicadores biológicos de suelos) y el servicio ecosistémico de secuestro de carbono, asociados a campos clonales de caucho con materiales genéticos promisorios para el departamento del Caquetá y con potencial para la región amazónica colombiana. Esta publicación está dirigida principalmente a productores y técnicos de caucho, estudiantes y profesionales del sector, como una herramienta didáctica que busca valorar y analizar la importancia de estos nuevos materiales genéticos de caucho por su capacidad para proveer bienes y servicios ecosistémicos en el Caquetá, mediante la evaluación agroambiental a pequeña y a gran escala de nuevos clones con potencial para la Amazonía colombiana.

Esta publicación se deriva del proyecto de investigación denominado: “Ampliación de la base genética de caucho, Caquetá, Amazonia”. Este proyecto hace parte integral del Convenio No. 59 -2013 suscrito entre la Gobernación del Caquetá y el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, co-ejecutado con la Universidad de la Amazonía y la Asociación de Reforestadores y

Cultivadores de Caucho del Caquetá Asoheca y cofinanciado con recursos del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación–FCTel del Sistema General de Regalías – SGR.

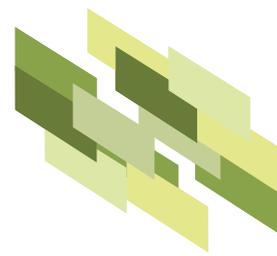
La presente cartilla se dividió en cuatro capítulos que explican en detalle las etapas del proceso técnico inherente a la identificación, la evaluación y el manejo de las principales plagas y enfermedades del cultivo del caucho.

El capítulo 1 presenta una primera aproximación al conocimiento de los insectos (diferente a las plagas ya conocidas por el sector cauchero) asociados al cultivo de caucho en las primeras fases de su establecimiento en dos campos clonales a gran escala establecidos con genotipos élite caquetenses de caucho en los municipios de El Paujil y San Vicente del Caguán en el departamento del Caquetá. Este capítulo pretende ser una guía técnica ilustrada para productores, estudiantes, técnicos y demás personas interesadas en el campo de la entomología, la cual proporcionará una primera aproximación taxonómica a nivel de familias y ordenes, morfología y principales aspectos ecológicos inherentes a la entomofauna asociada a estos clones de caucho en Caquetá.

El capítulo 2 presenta en el marco de la identificación y selección de nuevos árboles o progenies élite-franco de caucho en fincas caucheras del Caquetá, la caracterización de las principales aves presentes en diversos sistemas de producción con caucho (monocultivo, agroforestal y con regeneración natural) asociados a estas progenies élite con el fin de reconocer y valorar la importancia ambiental de estos sistemas y contribuir a futuro con bases técnicas tendientes a generar pautas para el manejo y conservación de la avifauna asociada a sistemas productivos.

El capítulo 3 presenta los resultados de la composición de comunidades de termitas y de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) asociados a los nuevos clones de caucho establecidos en campos clonales a gran escala (CCGE) y a pequeña escala (CCPE) en el departamento del Caquetá, tomando como referencia el clon testigo IAN 873. En este sentido, se analizaron dos recursos asociados a la nutrición del caucho: la capacidad de albergar comunidades diversas de termitas, directamente relacionadas con el ciclaje de la materia orgánica en el suelo, y de formar micorrizas arbusculares, importantes en la obtención de fósforo para su nutrición.

El capítulo 4 estudió la capacidad de acumulación de carbono de clones promisorios de caucho en etapa improductiva en tres Campos Clonales a Gran Escala (CCGE) en el departamento del Caquetá, con el fin de identificar el potencial de uso de estos clones en estrategias de mitigación al cambio climático y la posibilidad de que éste valor agregado pueda ser utilizado a futuro por los productores para acceder a beneficios tributarios o al pago por servicios ambientales (PSA) asociados a estas nuevas plantaciones de caucho.





AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todo el personal directivo y administrativo del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi adscrito al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por su apoyo y acompañamiento permanentemente en la presente investigación, en especial a la doctora Luz Marina Mantilla Cárdenas, Directora General, al doctor Carlos Alberto Mendoza Vélez, Subdirector Administrativo y Financiero y al doctor Marco Ehrlich, Subdirector Científico y Tecnológico.

A la Gobernación del Caquetá, a todo el personal directivo, técnico y administrativo, en especial al doctor Álvaro Pacheco Álvarez Gobernador del Caquetá, a la doctora Lorena Rodríguez Plazas Secretaria de Agricultura Departamental y Fabio Jaramillo, Darío, funcionarios de la Secretaría de Agricultura Departamental por su valioso apoyo y colaboración al desarrollo del convenio 59-2013 Suscrito entre la Gobernación del Caquetá y el Instituto Sinchi.

A la Confederación Cauchera Colombiana CCC, en especial al doctor Juan Carlos Silva director de la CCC, a la doctora Narda Sabogal Barbosa y a la ingeniera Gisella Saldaña, por su valiosa colaboración y desarrollo a la interventoría del convenio 59-2013.

Al doctor José Ricardo Gutiérrez Rojas, Representante Legal de la Asociación de Reforestadores y Cultivadores del Caquetá (Asoheca) y a todo el personal directivo, técnico y administrativo por su apoyo y contribución al proyecto.

Al doctor Gerardo Antonio Castrillón rector de la Universidad de la Amazonia, al doctor Alberto Fajardo Vicerrector de Investigaciones y Posgrados, Al doctor Alcides Villamizar Vicerrector Académico, a Marlon Peláez Rodríguez Decano de la Facultad de Ciencias Básicas y a todo el personal directivo, administrativo y personal técnico por su apoyo y contribución al proyecto.

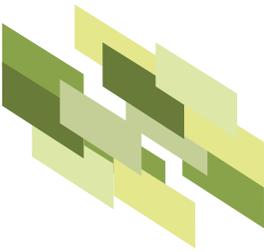
Al Laboratorio de Microbiología del Instituto Sinchi, localizado en la sede principal Leticia y a su equipo de trabajo por el apoyo en los análisis microbiológicos, biológicos y ensayos asociados a los procesos de caracterización de los suelos analizados en la presente investigación.

Al Laboratorio de Entomología de la Universidad de la Amazonía y a su equipo de trabajo, por su valiosa colaboración en la recepción, almacenamiento, procesamiento de ejemplares y posterior determinación taxonómica del componente entomofauna.

Al biólogo Amadeo Perdomo por sus aportes en la clasificación taxonómica de la avifauna, y al biólogo Esteban Carrillo Chica, investigador del Instituto Sinchi sede Leticia por su valiosa colaboración en la revisión de la clasificación taxonómica del componente aves, por sus comentarios a los resultados y a la estructura del documento.

Por otro lado, extendemos nuestros agradecimientos a los coordinadores técnico y técnicos de caucho del proyecto por su apoyo en la compilación de información técnica de campo, especialmente a Heberth Góngora Ocampo, Ismael Dussán Huaca, Yenifer Patricia Tavera Urazán, José García Siscué, Edna Rocío Rodríguez Reinoso, Rafael Baquero Triana, Fabio Baquero Vargas, Luis Erney Muñoz y Aldemar Perdomo.

Finalmente expresamos nuestros agradecimientos al Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación-FCTel del Sistema General de Regalías – SGR por la financiación de la presente investigación, al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación COLCIENCIAS y al Departamento Nacional de Planeación DNP.



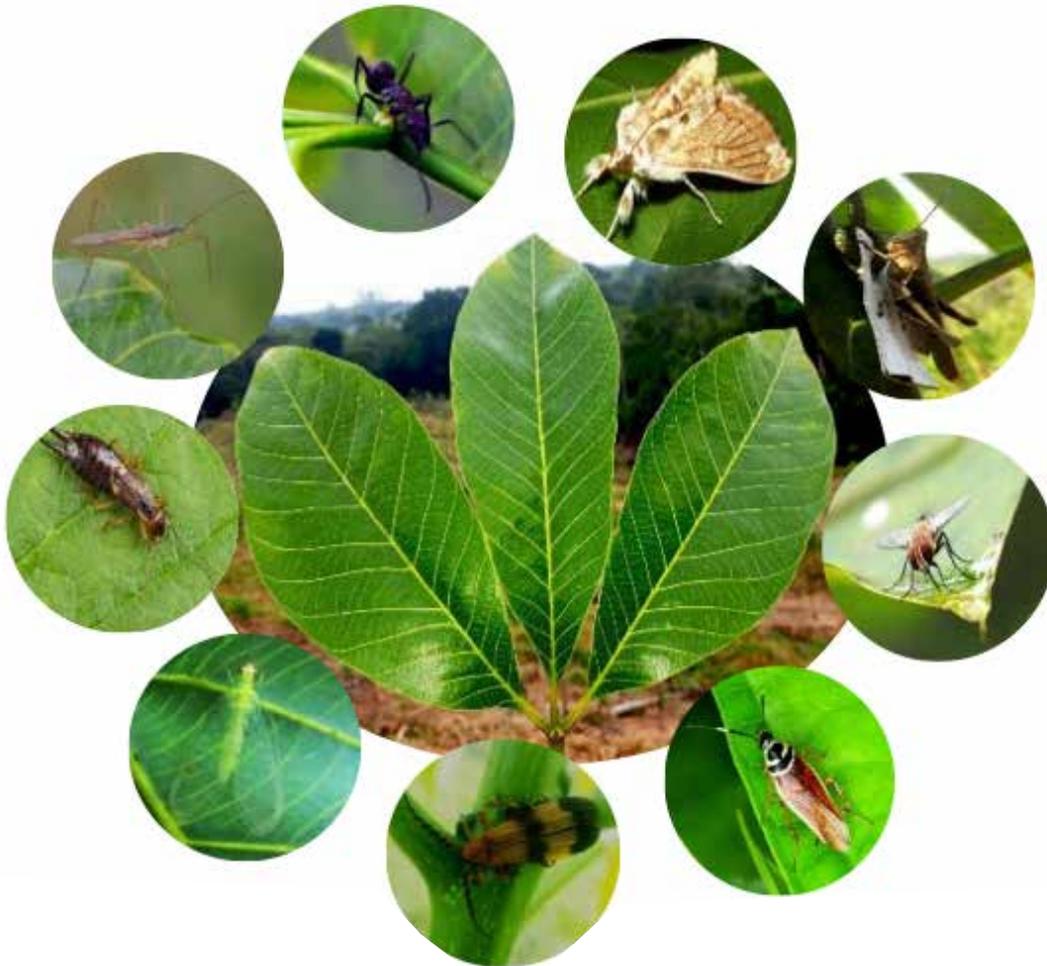
Contenido

CAPÍTULO 1. Entomofauna asociada a campos clonales a gran escala de caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>) en el departamento del Caquetá	13
INTRODUCCIÓN	14
METODOLOGÍA	15
Descripción del área de estudio y diseño experimental	15
Recolecta de la entomofauna asociada a los dos CCGE	16
Fase de laboratorio	17
Análisis de la información	18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
Análisis de riqueza y abundancia por localidad	20
Análisis de la riqueza y abundancia por genotipo	20
Análisis de la riqueza y abundancia para cada genotipo en cada localidad.	21
Análisis de similaridad entre genotipos para la riqueza de familias en cada localidad	22
Principales aspectos morfológicos y ecológicos de la entomofauna reportada	23
CONSIDERACIONES FINALES	54
BIBLIOGRAFÍA	55
CAPÍTULO 2. Diversidad de aves presentes en diferentes sistemas de producción de caucho asociados a progenies élite de <i>Hevea brasiliensis</i> en el departamento del Caquetá	67
INTRODUCCIÓN	68
METODOLOGÍA	70
Área de estudio	70
Observación e identificación de aves	71
Análisis estadísticos	73
Descripción de especies observadas	73
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	74
Tipificación y caracterización de fincas caucheras a partir de la avifauna presente en diferentes sistemas de producción de caucho	74
CONSIDERACIONES FINALES	96
BIBLOGRAFÍA	97
APENDICE	99
CAPÍTULO 3. Evaluación de indicadores biológicos de suelo en campos clonales de caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>) en el departamento del Caquetá	101
INTRODUCCIÓN	102
TERMITAS	104
Generalidades de las termitas	104
Rol ecosistémico de las termitas	104
HONGOS DE MICORRIZA ARBUSCULAR (HMA)	105
Generalidades de los HMA	105
Rol ecosistémico de los HMA	105
Área de estudio	107

Muestreo de termitas	107
Identificación de las termitas en laboratorio	112
Muestreo de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA)	112
Identificación de hongos de micorriza arbuscular	113
Diversidad de termitas en los campos clonales de caucho	114
Termitas como posibles agentes dañinos para el caucho	119
Abundancia de esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares	122
Diversidad de morfoespecies de esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares	122
Colonización de raíces de caucho por hongos formadores de micorrizas arbusculares	126
CONSIDERACIONES FINALES	129
CAPÍTULO 4. Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea de 10 clones de caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>) en campos clonales a gran escala en el departamento del Caquetá	135
INTRODUCCIÓN	136
Generalidades	136
Almacenamiento de carbono en cultivos de caucho	137
¿Cómo medir el almacenamiento de carbono?	139
Mejoramiento genético del caucho y su implicación en la captura de carbono	140
METODOLOGÍA	142
Área de estudio	142
Material vegetal	142
Diseño experimental	143
Mediciones dasométricas y fisiológicas y estimación del almacenamiento de carbono	143
RESULTADOS	146
DISCUSIÓN	149
CONSIDERACIONES FINALES	151

CAPÍTULO I

Entomofauna asociada a campos clonales a gran escala de caucho (*Hevea brasiliensis*) en el departamento del Caquetá



Jean Alexander Gamboa Tabares¹, Armando Sterling Cuelar^{2*}, Deisy Yisenia Quiceno-Mayo³, Esther Quiceno-Mayo³, Yeny Rocio Virgüez-Díaz³, Adriana Karina Gómez-Torres³, Maria Fernanda Bermudez¹, Andrea Carreño¹.

¹ Laboratorio de Entomología Universidad de la Amazonía - Convenio de Cooperación Uniamazonía - Instituto SINCHI, Florencia, Caquetá

² Investigador Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI Sede Florencia, Caquetá

³ Co-Investigador del proyecto - Convenio 59- 2013 - Gobernación de Caquetá-Instituto SINCHI

*Autor para correspondencia: asterling@sinchi.org.co



INTRODUCCIÓN

El cultivo del caucho natural no solo se limita a la producción del látex, si no que también posee otros beneficios más allá de su enfoque productivo. Estos beneficios de naturaleza ambiental, hacen que el cultivo del caucho sea una especie reconocida también por su alto valor agroambiental (Hidalgo y Acevedo, 2012). El cultivo puede concebirse como un bosque productor de oxígeno, como capturador de CO₂ y apoyo a la mitigación de los efectos del calentamiento global; también puede contribuir en la recuperación y conservación del suelo al reducir los procesos erosivos; sirve como corredor biológico e incrementa la biodiversidad; igualmente genera regulación hídrica y aporta biomasa al suelo (Azabache, 2012; Ocampo *et al.*, 2013).

Dentro del servicio ecosistémico denominado conservación de la biodiversidad, la biota entomológica es un componente esencial tanto en cultivos agrícolas, forestales y sistemas total o parcialmente controlados por el hombre (Santos *et al.*, 2009), ya que ejerce un papel clave en su productividad al proporcionar servicios ecosistémicos como el reciclaje de nutrientes, control biológico y la polinización (Hart, 1979; Hidalgo y Acevedo, 2012). En efecto, la descomposición de la materia orgánica ocurre gracias a la acción metabólica (digieren la celulosa mediante bacterias o protozoos simbióticos), de algunos insectos (detritívoros, coprófagos, necrófagos y xilófagos), que procesan y devuelven al medio natural enormes cantidades de nutrientes, que de una u otra manera no podrían ser aprovechables por el resto de seres vivos (Galante y Marcos, 1997; Jordán, 2013).

Un ejemplo importante son los escarabajos coprófagos pertenecientes a la subfamilia Scarabaeinae, que se caracterizan por alimentarse principalmente del excremento de vertebrados, cuyo papel trascendental en el procesos de ciclaje de nutrientes, control de parásitos, fertilidad, aireación del suelo y dispersión de semillas (Nichols *et al.*, 2008). De manera similar, los escarabajos necrófagos y xilófagos son comúnmente atraídos por animales y plantas en descomposición, por lo cual, también contribuyen en los procesos de degradación de la materia (Amat, Gasca, y Amat, 2005; Jiménez, Quezada y Padilla, 2012).

Según Vázquez (2012), en los agroecosistemas solo el 3% de los insectos fitófagos se manifiesta como plaga, mientras que los restantes son regulados naturalmente por entomófagos y entomopatógenos, entre otros factores naturales (temperatura, humedad relativa y precipitación). El incremento de la biodiversidad insectil permite establecer relaciones beneficiosas entre especies que conllevan a mantener un equilibrio ecológico (Lozano *et al.*, 1999; Altieri y Nicholls, 2009).

De acuerdo con lo anterior, el presente capítulo muestra una primera aproximación al conocimiento de los insectos (diferente a las plagas ya conocidas por el sector cauchero), asociados al cultivo de caucho en las primeras fases de su establecimiento en campo clonal a gran escala en Caquetá, y se constituye en una guía técnica ilustrada para productores, estudiantes, técnicos y demás personas interesadas en el campo de la entomología. que proporcionará una primera aproximación taxonómica a nivel de familias y ordenes, morfología y principales aspectos ecológicos inherentes a la entomofauna presente en dos campos clonales a gran escala establecidos con genotipos élite caquetenses de caucho en los municipios de El Paujil y San Vicente del Caguán en el departamento del Caquetá, Amazonia colombiana.

METODOLOGÍA

Descripción del área de estudio y diseño experimental

El estudio se realizó en el departamento del Caquetá (Colombia), en dos campos clonales a gran escala CCGE, de un año de edad, establecidos con nueve genotipos élite caquetenses de origen franco, denominados Serie 100 (E25, E29, E35, E60, E64, E66, E73, E83, E90), y el clon testigo IAN 873 (Sterling y Rodríguez, 2011; Sterling y Rodríguez, 2018). Estos CCGEs se encuentran localizados en dos zonas climáticas contrastantes (IGAC, 2010): a) zona con clima cálido muy húmedo [precipitación= 3344 mm/año, humedad relativa= 82,3% y temperatura= 25,4 °C), municipio de El Paujil (vereda Moravia, con coordenadas 01°31'38,46" N y 75°17'32,59" W, altitud 470 msnm)]; y b) zona con clima cálido húmedo [precipitación= 2145 mm/año, humedad relativa= 85,1% y temperatura= 25,5 °C, municipio de San Vicente del Caguán (vereda Buenos Aires, con coordenadas 02°01'42,62" N y 74°54'38,95" W, altitud 346 msnm)] (Figura 1.1). Cada CCGE siguió un diseño de bloques completos al azar, cada bloque con 10 tratamientos (9 genotipos élite y el IAN 873) y cada tratamiento con 60 plantas. Las plantas se sembraron con un distanciamiento de 3 m x 7 m para una densidad de 476 plantas/ha (Apéndice 1).

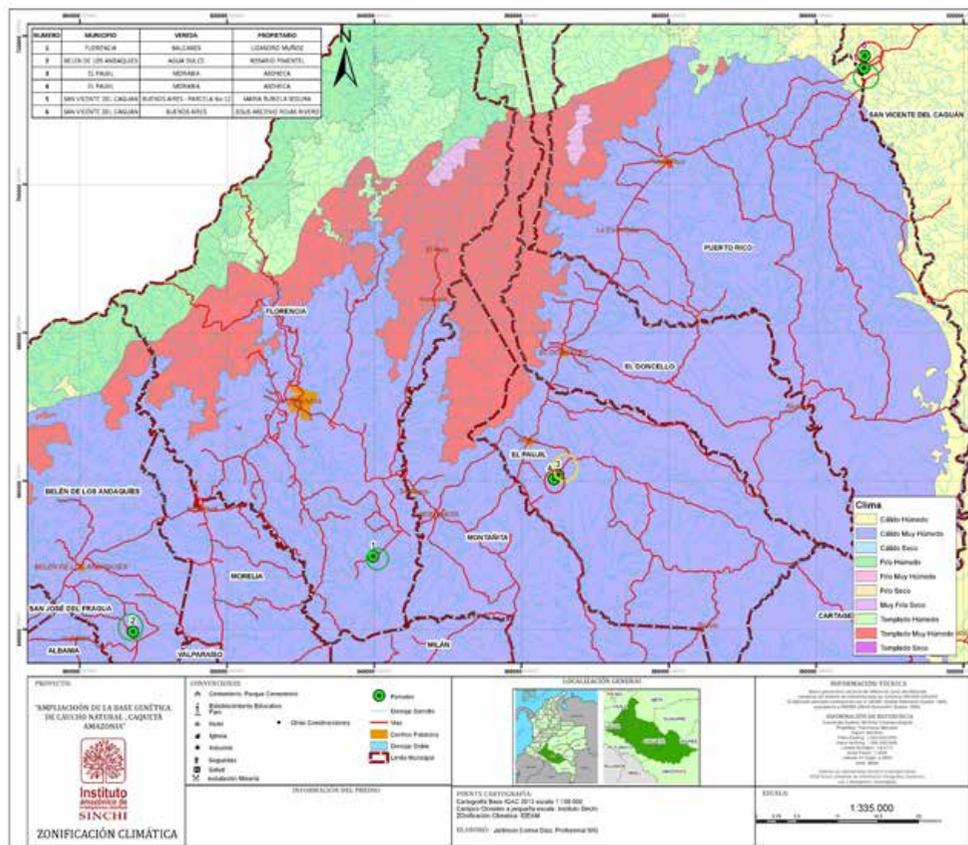


Figura 1.1. Mapa climático del área de estudio (El Paujil y San Vicente del Caguán), localizada en el departamento del Caquetá (Colombia).

Fuente: Sterling y Rodríguez (2018)

Recolecta de la entomofauna asociada a los dos CCGE

En cada una de las localidades se realizaron tres muestreos por mes, entre diciembre de 2017 y febrero de 2018. Para ello, se efectuó un recorrido en cada uno de los campos con el fin de explorar de forma minuciosa partes como las hojas (haz y envés), ramas y tallos de cada una de las 60 plantas por parcela. Una vez inspeccionada cada planta, el muestreo de insectos se realizó mediante redes entomológicas, trampas malaise y envases plásticos que contenían alcohol etílico al 96%. Posteriormente, los ejemplares capturados se llevaron a viales plásticos debidamente rotulados los cuales contenían un líquido fijador de tejidos llamado solución Kahle, compuesto por alcohol etílico al 96%, formaldehído, ácido acético y agua destilada (Figura 1.2).



Figura 1.2. Recolecta de insectos en plántulas de caucho (*Hevea brasiliensis*). **A.** Inspección de plantas en busca de insectos. **B.** Captura de insectos. **C.** Viales con alcohol etílico al 96% debidamente rotulados.

Fuente: Elaboración propia.

■ Fase de laboratorio

El material entomológico se organizó e identificó en el Laboratorio de Entomología de la Universidad de la Amazonía (LEUA), en Florencia, Caquetá. Los insectos obtenidos en cada muestreo fueron separados por morfoespecies utilizando estereoscopios, cajas de petri, pinzas entomológicas, tubos eppendorf y láminas de icopor, entre otros. Cada grupo se colocó en tubos eppendorf de 2ml con alcohol etílico al 96%, posteriormente se ubicaron en gradillas de icopor teniendo en cuenta el muestreo, localidad, bloque y genotipo al cual pertenecía cada espécimen (Figura 1.3).



Figura 1.3. Fase de laboratorio en el que se separaron por morfoespecie los insectos recolectados en cada muestreo utilizando estereoscopio, cajas de petri, pinzas entomológicas, tubos eppendorf y claves taxonómicas.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, algunos especímenes se montaron en alfileres entomológicos donde fueron identificados taxonómicamente a nivel de familia, por medio de comparación morfológica y utilizando claves propuestas por Fernández (2003), Fernández y Sharkey (2006), Rafael *et al.* (2012) (Figura 1.3).

▀ **Análisis de la información**

A partir de los registros de presencia y ausencia de cada familia de insectos y el número de individuos recolectados para cada familia, se determinó la riqueza (número de familias), y la abundancia (número de individuos), por cada CCGE, en cada genotipo de caucho y según el genotipo dentro de cada CCGE. Así mismo, se compararon mediante un análisis de varianza las medias de la riqueza y la abundancia con el fin de analizar la significancia estadística de estos dos atributos biológicos. Finalmente, a través de un árbol de similaridad basado en la riqueza de familias, se determinó el nivel de similitud entre los 10 genotipos en cada uno de los campos clonales.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se recolectaron 9.947 individuos de insectos pertenecientes a nueve ordenes [Hymenoptera (avis-
pas, hormigas, abejas, entre otros), Coleoptera (cucarrones), Hemiptera (chinches), Diptera (mos-
cas), Neuroptera (crisopas y mantispas), Orthoptera (grillos y saltamontes), Dermaptera (tijeretas),
Blattodea (cucarachas) y Lepidoptera (mariposas y polillas)] y 91 familias (Apéndice 2). En general,
Hymenoptera fue el orden con mayor abundancia (77% del total de individuos capturados), segui-
do por el orden Coleoptera con el 11%. Las familias con mayor número de detecciones fueron
Formicidae (hormigas, 7.367), Chrysomelidae (mariquitas, 797), Pachygronthidae (chinches, 162),
Lampyridae (luciérnagas, 137), Tachinidae (moscas parasíticas, 114), Cicadellidae (chicharritas o lo-
ritos verdes, 111), Vespidae (avis-
pas, 106), Reduviidae (chinches asesinos, 95), Lycidae (escarabajos
alas de red, 79) y Sarcophagidae (moscas común de la carne, 75), (Figura 1.4), distribuidas en los
órdenes Hymenoptera, Coleoptera, Hemiptera y Diptera (Apéndice 2). Dermaptera (tijeretas, 1)
fue el orden con menor riqueza y abundancia (Apéndice 2).

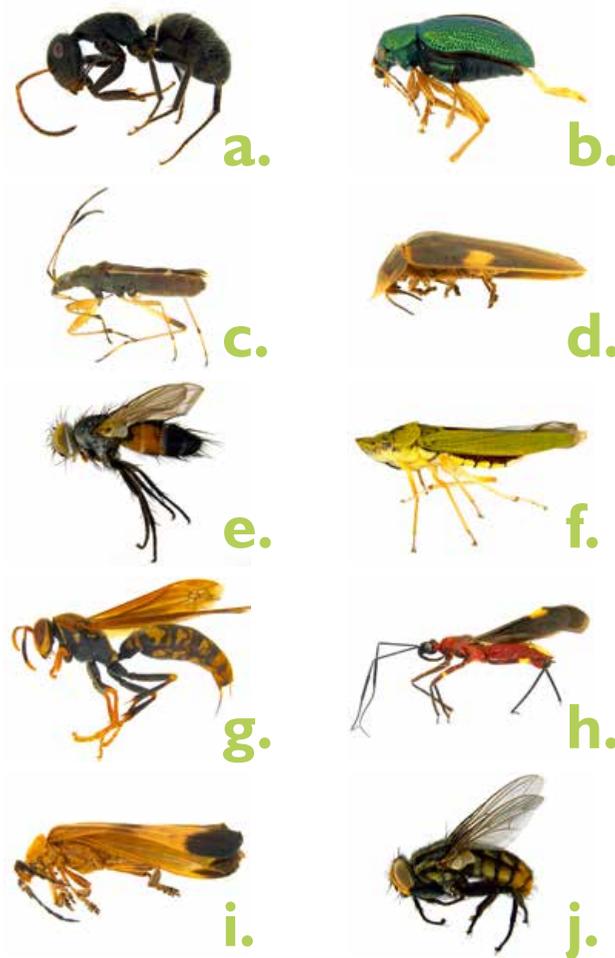


Figura 1.4. Principales familias de la entomofauna asociada a dos campos clonales a gran escala de caucho (*Hevea brasiliensis*) en dos localidades de Caquetá, Colombia. A. Formicidae. B. Chrysomelidae. C. Pachygronthidae. D. Lampyridae. E. Tachinidae. F. Cicadellidae. G. Vespidae. H. Reduviidae. I. Lycidae. J. Sarcophagidae.

Fuente: Elaboración propia.

■ Análisis de riqueza y abundancia por localidad

Según la figura 1.5A, la mayor riqueza de insectos se reportó en el campo clonal a gran escala CCGE de caucho de San Vicente del Caguán con 76 de las 91 familias determinadas. No obstante, al comparar el promedio de la riqueza no se encontraron diferencias significativas entre las dos localidades (Figura 1.5C). En relación con la abundancia, el CCGE de El Paujil presentó el mayor número total (6.723) y promedio de individuos en comparación con el municipio de San Vicente del Caguán (Figuras 1.5B y D, respectivamente).

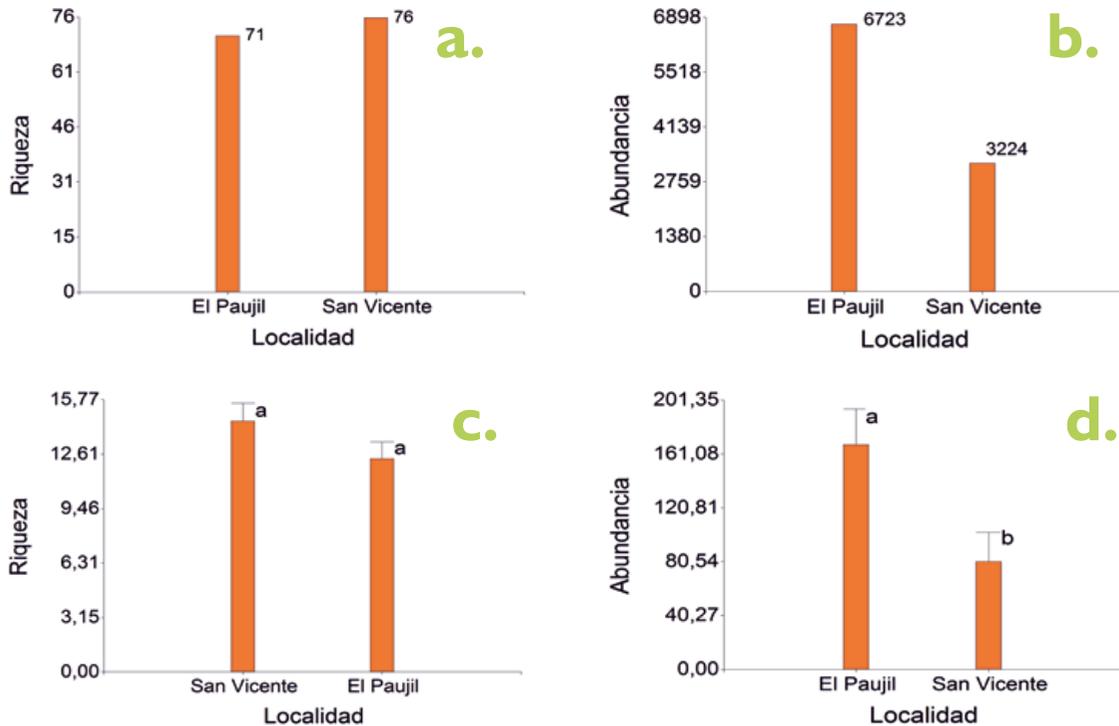


Figura 1.5. Comparación de la riqueza (número de familias), y riqueza media (número promedio de familias), **(A y C)**, y la abundancia (número de individuos) y abundancia media (número promedio de individuos), **(B y D)**, de la entomofauna asociada a dos campos clonales a gran escala de caucho (*Hevea brasiliensis*) en dos localidades de Caquetá, Colombia.

Fuente: Elaboración propia.

■ Análisis de la riqueza y abundancia por genotipo

En la figura 1.6A, la mayor riqueza de insectos se reportó en los genotipos E64, E66 y E83 con 50, 48 y 47 de las 91 familias registradas, respectivamente. A la vez, al comparar las medias de la riqueza entre genotipos, se observaron diferencias significativas (Figura 1.6C). La mayor abundancia se observó en los genotipos E66, E90 y E73 con 1.331, 1.303 y 1.160 individuos, respectivamente

(Figura 1.6B). No obstante, al comparar las medias de la abundancia entre genotipos, no se observaron diferencias significativas. En general, el genotipo E29 fue el material que presentó el menor número de familias (33) y el menor número de individuos (729) (Figura 1.6A-B).

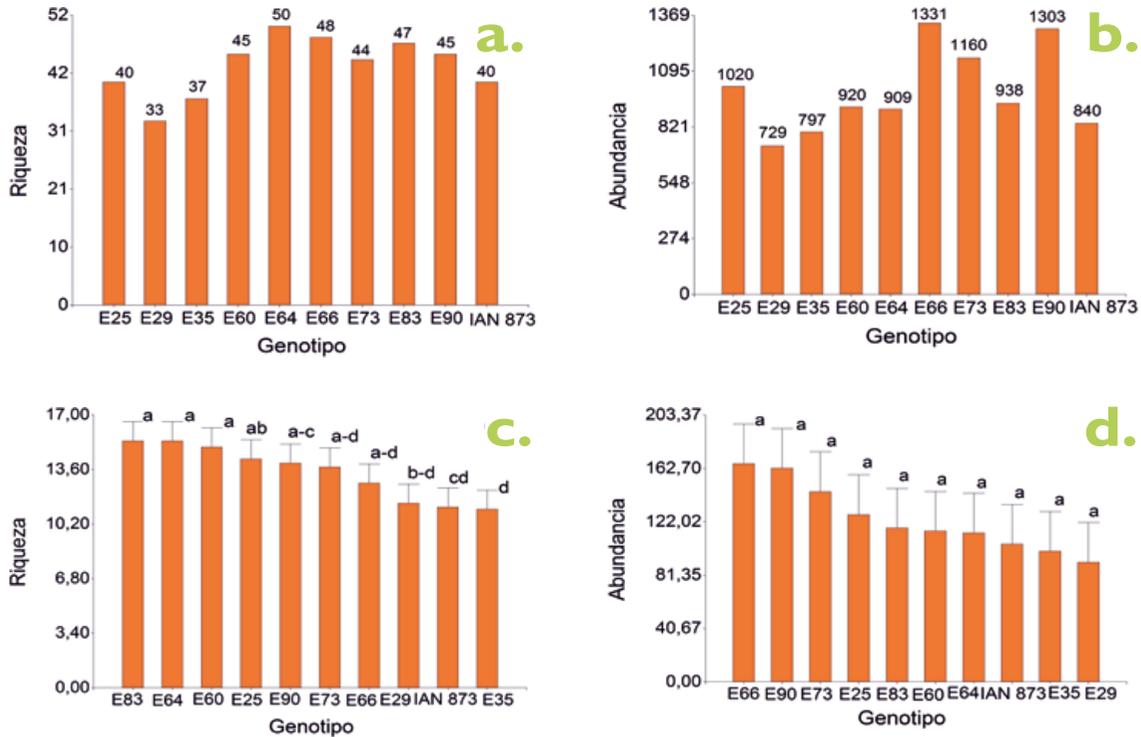


Figura 1.6. Comparación de la riqueza (número de familias) y riqueza media (número promedio de familias) (A y C), y la abundancia (número de individuos) y abundancia media (número promedio de individuos) (B y D) de la entomofauna asociada a 10 genotipos de caucho (nueve élite caquetenses y el testigo IAN 873) en Caquetá, Colombia.

Fuente: Elaboración propia.

▀ Análisis de la riqueza y abundancia para cada genotipo en cada localidad.

Como se puede observar en la figura 1.7A, en general en el municipio de San Vicente del Caguán se observó la mayor riqueza de familias para los diferentes genotipos de caucho, con excepción del genotipo E90 cuya riqueza fue superior en el municipio de El Paujil. Los genotipos E64, E66 y E83 presentaron las mayores riquezas en el municipio de San Vicente del Caguán, con 38, 37 y 37 familias, respectivamente. La menor riqueza se registró en el clon testigo IAN 873 en municipio de El Paujil (15 familias). No obstante, al comparar las medias de la riqueza entre genotipos en cada una de las localidades, no se observaron diferencias significativas.

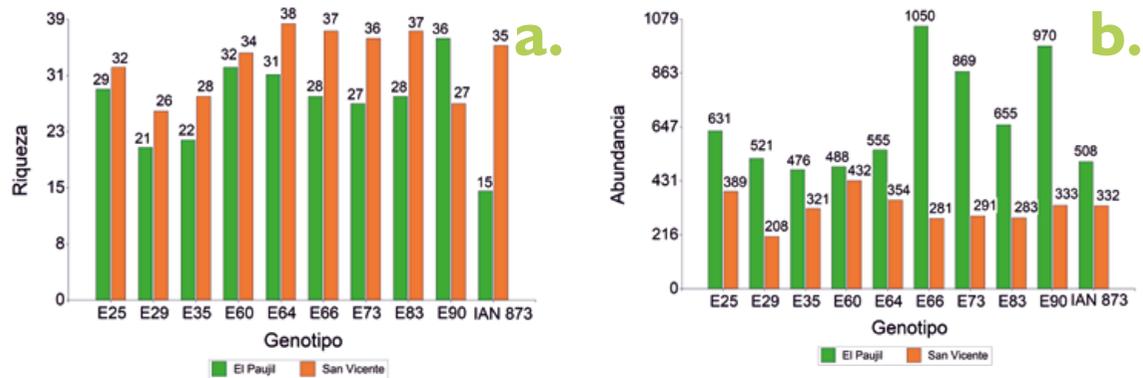


Figura 1.7. Comparación de la riqueza (número de familias) **(A)** y la abundancia (número de individuos) **(B)** de la entomofauna asociada a 10 genotipos de caucho (nueve élite caquetenses y el testigo IAN 873), en dos localidades de Caquetá, Colombia.

Fuente: Elaboración propia

En relación con la figura 1.7B, la mayor abundancia de insectos se observó en los genotipos de caucho establecidos en el CCGE de El Paujil. Los genotipos E66, E90 y E73 presentaron la mayor abundancia con 1.050, 970 y 869 individuos, respectivamente. El menor número de individuos recolectados se presentó en los genotipos E29 y E66 en San Vicente del Caguán (Figura 1.7B). Al comparar las medias de la abundancia entre genotipos en cada una de las localidades, no se evidenciaron diferencias significativas.

■ Análisis de similitud entre genotipos para la riqueza de familias en cada localidad

El análisis de similitud realizado a partir de la presencia o ausencia de las 91 familias de insectos determinadas en el presente estudio, permitió identificar cuatro grupos de genotipos de caucho en cada uno de los dos CCGE (El Paujil y San Vicente del Caguán) (Figura 1.8).

En el CCGE de El Paujil, se agruparon siete de los 10 genotipos en el grupo 3, mientras que los genotipos E25, IAN 873 y E64 se asignaron a los grupos 1, 2 y 4, respectivamente (Figura 1.8A). En el grupo 3 se encontraron los genotipos con mayor riqueza de insectos (36 y 32 familias para los E90 y E60, respectivamente), en comparación con el grupo 2 (IAN 873) en donde se registró la menor riqueza (15 familias) (Figura 1.8A).

En el CCGE de San Vicente del Caguán, se presentó una distribución más equitativa en el número de genotipos que se asignaron a cada grupo (Figura 1.8B). En este sentido, se generaron los grupos 2, 3 y 4 cada uno con dos genotipos y el grupo 1 con los cuatro genotipos restantes. En general, en los grupos 3, 4 y 2 se encontraron los genotipos con mayor riqueza (E64, E66 y E83, respectivamente), mientras que en el grupo 1 se reportaron los genotipos con las menores riquezas (E29, E90 y E35) (Figura 1.8B).

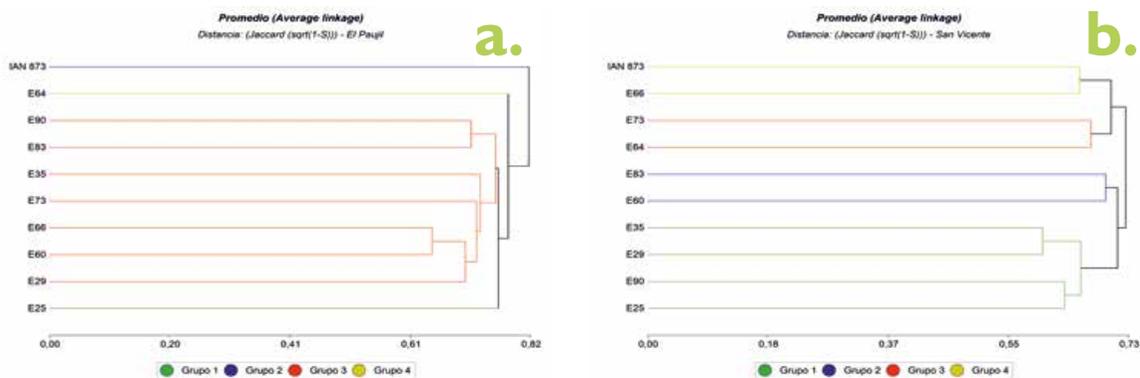


Figura 1.8. Árbol de similitud resultante del análisis de conglomerados (método UPGMA y distancia obtenida a partir del índice de Jaccard), con 91 familias de insectos para nueve genotipos élite y el clon testigo IAN 873 en dos localidades de Caquetá (Colombia). **A.** Municipio de El Paujil. **B.** Municipio de San Vicente del Caguán.

Fuente: Elaboración propia

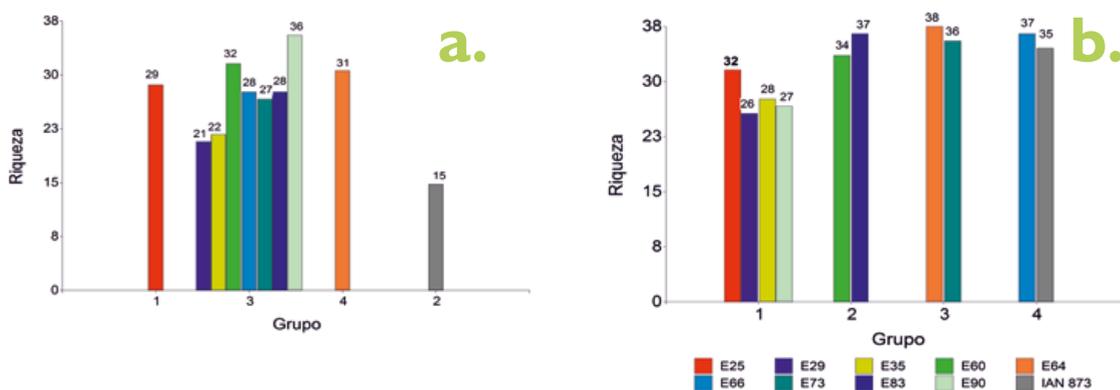


Figura 1.9. Comparación de la riqueza (número de familias) de la entomofauna asociada a 10 genotipos de caucho (9 élite caquetenses y el testigo IAN 873), clasificados en cuatro grupos genéticos para dos localidades de Caquetá, Colombia. **A.** El Paujil. **B.** San Vicente del Caguán.

Fuente: Elaboración propia

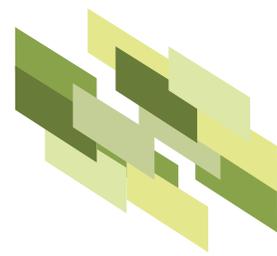
Principales aspectos morfológicos y ecológicos de la entomofauna reportada

Aunque son escasas las investigaciones sobre la entomofauna asociada al cultivo de caucho, algunos de los documentos reportados son en función del daño ocasionado por las principales plagas (*Erinnys ello* y *Leptopharsa heveae*) (Sterling *et al.*, 2014, 2016). Sin embargo, Arriola *et al.* (2018) reportan en México la presencia de cinco familias de insectos (Cerambycidae, Curculionidae, Termitidae, Formicidae y Spingidae), asociados a plantaciones comerciales de caucho con más de un año de

establecidas. Estos autores no detectaron daños considerables ocasionados por los mismos. De igual manera, en un estudio comparativo que realizó Novais *et al.* (2016), entre un bosque, un cultivo tradicional de cacao y un sistema agroforestal con caucho encontraron seis familias (Cerambycidae, Curculionidae, Elateridae, Membracidae, Cicadellidae y Lygaeidae), las cuales no presentaron ningún tipo de daño.

De acuerdo con lo anterior, la riqueza de insectos reportada en el presente estudio puede estar relacionada con diversos factores fisiológicos y ambientales asociados a las plantas de caucho, como la presencia de glándulas secretoras de néctar, la presencia de sustancias atractivas para polinizadores, la materia orgánica en descomposición, arvenses, bosque circundante, entre otros, los cuales originan un conjunto de relaciones y cadenas tróficas complejas que contribuyen a mantener cierto equilibrio poblacional fitófago – entomófago coexistente entre plantas cultivadas de caucho y arvenses asociadas al sistema (Vázquez, 2012).

Por otro lado, las condiciones ambientales de las zonas donde se encuentran los CCGE son propicias para favorecer la presencia de insectos tropicales que pueden alterar o ayudar con las condiciones normales de los cultivos. Por ello, es preciso conocer la entomofauna asociada al cultivo del caucho, su biología y su ecología, además de aplicar un sistema de monitoreo permanente, con el fin de identificar posibles agentes dañinos, enemigos naturales, parasitoides, entre otros, con el fin de definir acciones necesarias para su conservación biológica o el control oportuno en el marco de un apropiado manejo integrado de plagas. Cabe resaltar que aunque la mayoría de las familias reportadas no son consideradas agentes dañinos, es importante referenciar que algunas de estas familias pueden ser potenciales agentes de control biológico para las principales plagas del cultivo del caucho. A continuación se presentan las descripciones morfológicas y ecológicas más relevantes de los principales ordenes y familias reportados en el presente estudio:





ORDEN: HYMENOPTERA

(Abejas, abejorros, avispas y hormigas)

Su nombre significa alas membranosas (*hymen*: membrana y *pteros*: alas), cuentan con cuatro alas y su venación suele ser reducida; las alas anteriores frecuentemente son más grandes que las posteriores y éstas se acoplan entre sí por una hilera de ganchitos existentes en el borde de las alas posteriores (Torruella, 2004). Las hormigas generalmente no tienen alas (ápteras), sólo presentan alas las reinas y los machos reproductores. Presentan ojos compuestos normalmente bien desarrollados, antenas de diez o más segmentos siendo relativamente largas, aparato bucal especialmente masticador, aunque adaptado en algunos casos a lamer, tarso generalmente de cinco segmentos; las hembras tienen un ovopositor en forma de taladro, aguijón o sierra (Fernández y Pujade, 2015). En la figura 1.10 se presenta resumidamente la clasificación general del Orden.

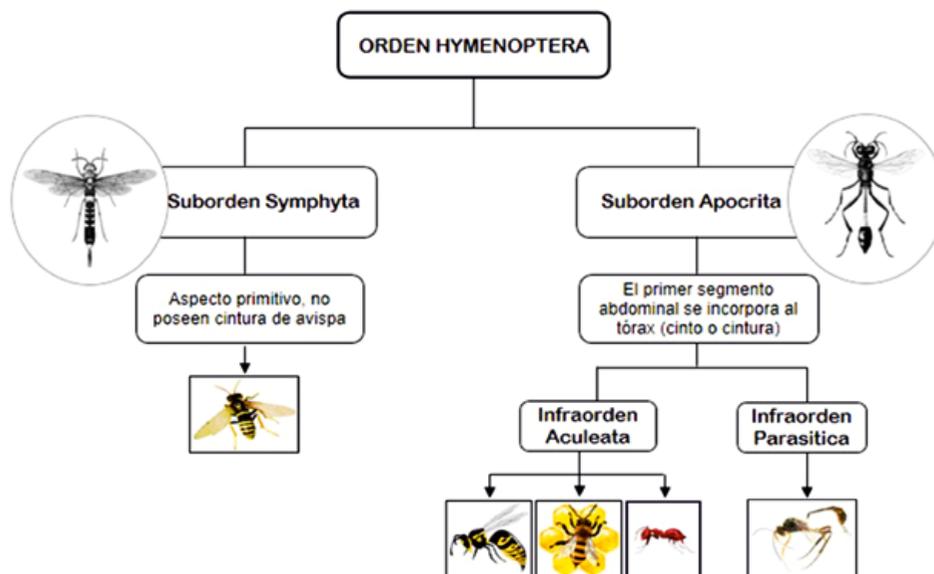
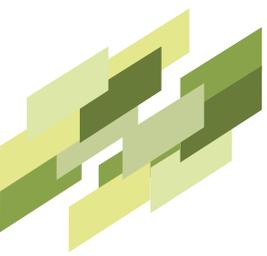


Figura 1.10. Clasificación del orden Hymenoptera.

Fuente: Elaboración propia.





Familia Formicidae

Nombre común:
hormigas

Son organismos sociales, viven en colonias dentro de las cuales es posible distinguir una casta obrera y una reproductora (Fernández y Palacio, 2006; Mamani *et al.*, 2012; Ríos-Casanova, 2014). Tienen varias estrategias para obtener su alimento, pueden ser depredadoras, carroñeras, recolectoras o cultivadoras de hongos (Branstetter y Sáenz, 2012). Las hormigas del género *Atta* y *Acromyrmex*, conocidas comúnmente como cortadoras o arrieras son consideradas como una de las cinco plagas más destructivas, puesto que efectúan cortes semicirculares hasta defoliar completamente las plantas; atacan fuertemente plantaciones agrícolas, frutales y forestales (Yepes, 1999; León, 2012).

Las hormigas en el cultivo de caucho se encuentran sobre el haz de las hojas, ramas, nectarios, brácteas y cogollos de las plantas. Las hormigas cortadoras o arrieras son particularmente dañinas consideradas plagas agresivas en plántulas jóvenes de caucho, realizan cortes semicirculares en las hojas y en ataques severos corta también las yemas (Proforest, 2005). La hormiga transporta los trozos de folios hacia las cámaras de almacenamiento de los hormigueros, donde se convierten en el sustrato para la reproducción del hongo *Rhizites gongylophoral*, que es su fuente de alimentación (Garzón, 2000; Alarcón *et al.*, 2012).

■ Características morfológicas

Se caracterizan por tener la cabeza de tipo prognata, ocelos presentes en hembras, machos, y algunas obreras de algunos grupos, presentan ojos compuestos; el primer segmento antenal (escapo), es alargado, formando un ángulo con el pedicelo y el flagelo (antenas geniculadas), mesosoma y metasoma separados por un peciolo, aunque también podrían presentar un peciolo y postpeciolo; glándula metapleurale presente con apertura en el propodeo (Fernández y Palacio, 2006; Branstetter y Sáenz, 2012) (Figura 1.11). Alas presentes en la reina y en todos los machos, ausentes en las hormigas obreras (Bolton *et al.*, 2003). En la figura 1.12, se muestran diferentes morfoespecies de hormigas encontradas en los CCGE de caucho.





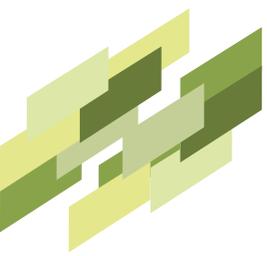
Figura 1.11. Principales características morfológicas para identificar la familia Formicidae.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 1.12. Vista lateral de 12 morfoespecies de Formicidae encontrados en dos CCGE de caucho en período de crecimiento.

Fuente: Elaboración propia.





Familia Vespidae

Nombre común:
avispas alfareras

Son depredadores generalistas, se alimentan de néctar y otros insectos, principalmente de larvas de lepidópteros, dípteros y coleópteros (Drees y Jackman, 1998; Nájera y Souza, 2010). Por lo tanto, actúan como reguladores de varias plagas agrícolas, considerándose ésta familia como importante en los programas de control biológico en diferentes cultivos (Fateryga, 2009; Elisei et al., 2010; Ghoneim, 2014).

En los CCGE de caucho se observaron depredando larvas de mariposas. De hecho, las especies *Polistes erythrocephalus*, *Polistes canadensis* y *Polybia liliácea* son depredadoras del gusano cachón (*Erinnyis ello*), principal plaga del cultivo del caucho (Apéndice 3), se alimenta de pequeñas larvas y llevan gran cantidad de ellas a sus nidos para alimentar a sus crías ejerciendo el papel de control biológico (Martin y Bellotti, 1986; León et al., 2010).

▀ Características morfológicas

Su longitud varía entre 5,5 y 25mm, presentan coloración diversa que van desde completamente amarillo hasta azul oscuro, antena geniculada con 12 segmentos en la hembra y 13 en el macho, el primer tergo y esterno metasomal están fusionados parcialmente, pronoto extendido lateralmente hasta la tégula (Figura 1.13) (Carpenter et al., 2012).



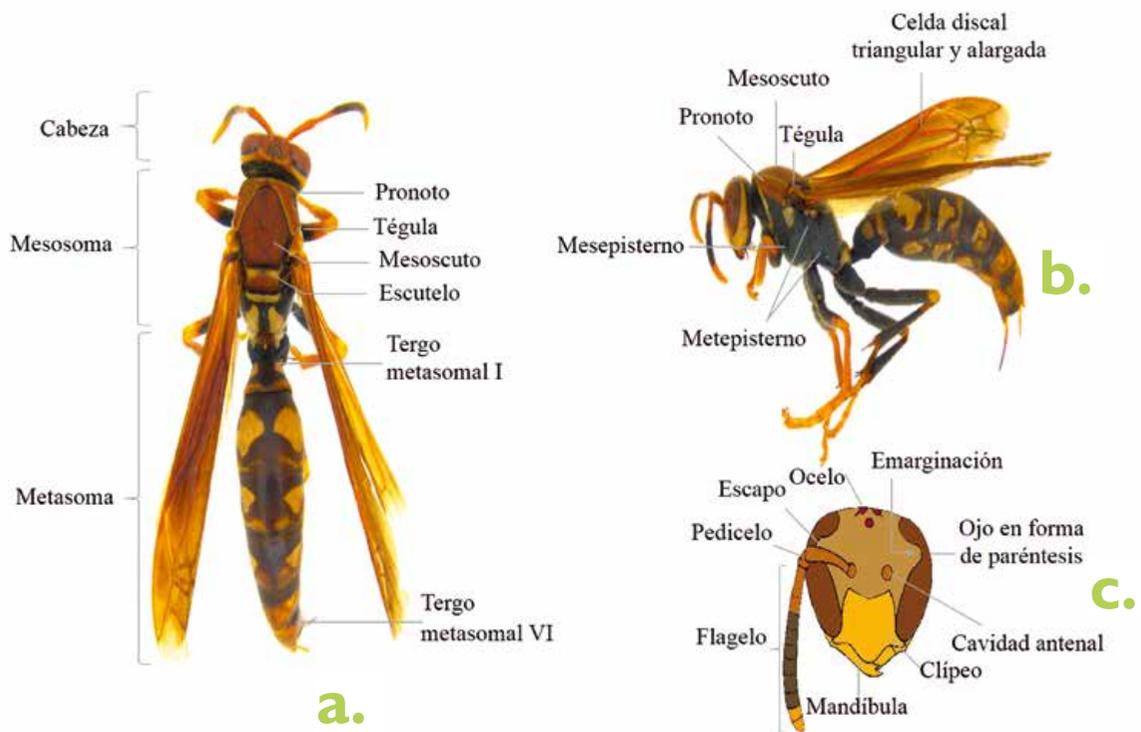


Figura 1.13. Características morfológicas para identificar la familia Vespidae. **A.** Vista dorsal. **B.** Vista lateral. **C.** Cabeza en vista anterior.

Fuente: Elaboración propia.



Familia Apidae

**Nombre común:
abejas abejorros**

Familia muy diversa, agrupa abejas solitarias, sociales y cleptoparásitas. Se alimentan de polen y néctar, por tanto, para satisfacer sus requerimientos individuales, los de la cría y la colonia, deben visitar grandes cantidades de flores diariamente, éste trabajo convierte a las abejas en los principales agentes polinizadores (Nates, 2005). Cumplen papel fundamental en el funcionamiento, desarrollo y equilibrio de los ecosistemas y sistemas agrícolas, así como el consecuente mantenimiento de la variabilidad genética (Verde y Demedio, 2010; Lucia, 2011; Bonet, 2016).

En los CCGE de caucho se hallaron sin causar daño alguno, se encuentran en los nectarios y cicatrices generadas por las podas. Su presencia esta influenciada posiblemente por ser una planta con flores (angiosperma), dependiendo directa o indirectamente de la polinización realizada por las abejas (Crane, 1972). A la vez, se puede atribuir la existencia de diferentes arvenses provistas de flores, convirtiéndose en el medio para hallar su alimento.

▀ **Características morfológicas**

Coloración negra, aunque pueden presentar zonas que van del pardo al blanco o amarillo, presencia de pelos plumosos o ramificados en varias partes del cuerpo (pubescencia), tibia posterior en forma de corbícula o canasto de polen, basitarso posterior más alargado, ancho y aplanado que los segmentos siguientes del tarso (Figura 1.14) (Nates y Fernández, 1992).



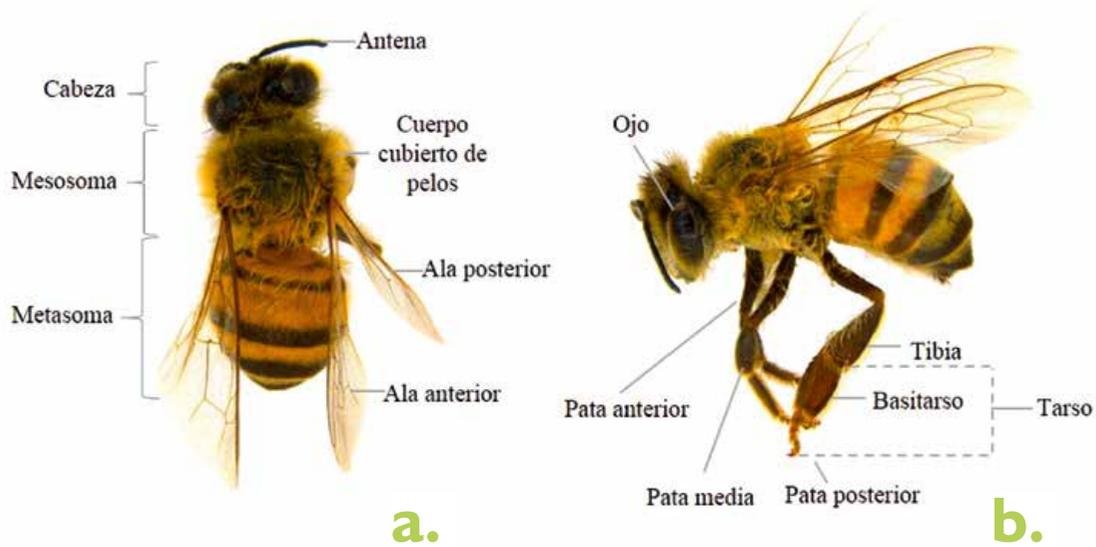
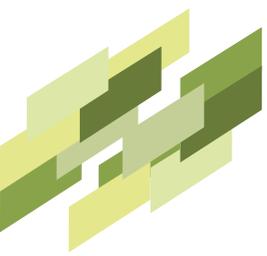


Figura 1.14. Características morfológicas para identificar la familia Apidae. **A** Vista dorsal. **B**. Vista lateral.

Fuente: Elaboración propia.



ORDEN: COLEOPTERA

(Escarabajos, cucarrones, catarinas, mariquitas)

Su nombre significa alas formando estuches, son holometábolos, es decir, durante su ciclo de vida pasan por el estado de huevo, larva, pupa y adulto. Presentan cuerpo muy esclerotizado (endurecido), antenas generalmente con hasta 12 segmentos, aparato bucal masticador, alas anteriores endurecidas (élitro) mientras que las posteriores son generalmente frágiles y membranosas raramente expuestas (Figura 1.15) (Casari y Ide, 2012).

Algunas de las familias de este orden se reportan como plagas en cultivos como papa, cebolla, alfalfa, lechuga y caucho. *Xyleborus* sp. Conocido como pasadores y minadores del tronco, es un cucarron pequeño de color negro que perforan la corteza del árbol del caucho, llegando al leño y sacando al exterior deyecciones cilíndricas de aserrín como síntoma característico, llevando a la muerte repentina del árbol (Asoheca, 2009).

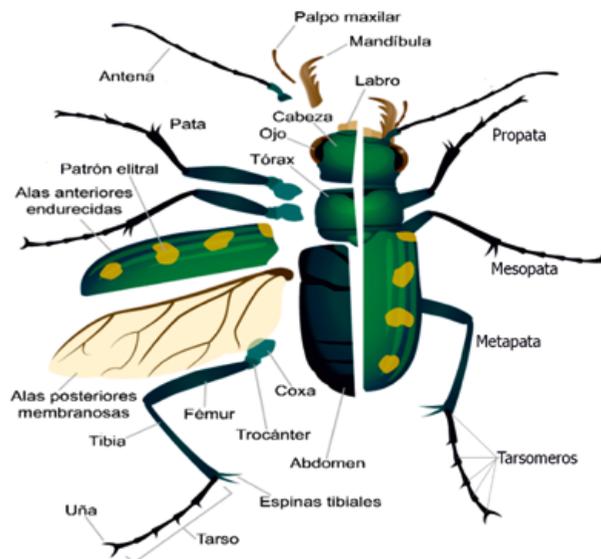


Figura 1.15. Morfología general de un coleóptero.

Fuente: Dr. Biology (2017)

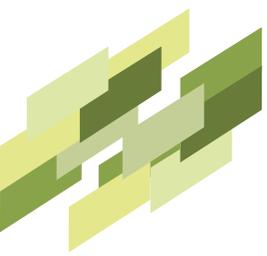


Son insectos fitófagos, la mayoría de adultos se alimentan de hojas aunque algunos de polen y anteras. Por el contrario las larvas tienen un hábito alimenticio más diverso (follaje, raíces, flores, polen, frutos y semillas), además pueden alimentarse sobre y dentro de las hojas comportándose como minadores del follaje.

Los crisomélidos se reportan como plagas en cultivos como papa, cebolla, alfalfa, lechuga, zanahoria, acelga, frijol, zapallo, haba, maíz y avena, las hembras colocan sus huevos en el suelo, al eclosionar, las larvas buscan semillas y raíces para su alimentación, cuando son adultos buscan hojas tiernas y se comen el parénquima de forma diferentes según la especie vegetal (Arce, 1992; Ochoa, 1993; Montes y Costa, 2011; Ramos *et al.*, 2015). En éste estudio los adultos no se observaron causando daño o perforaciones en las hojas de caucho. Las mariquitas son insectos benéficos que depredan pulgones, ácaros y cochinillas de las plantas, por lo que podrían ser útiles en control biológico.

▀ Características morfológicas

Tienen cuerpo cilíndrico a hemisférico, presentan coloración variable, con frecuencia brillante o metalizada; generalmente de dos colores dorsalmente o formando patrones distintos, fórmula tarsomerar 5 – 5 – 5 (Figura 1.16).



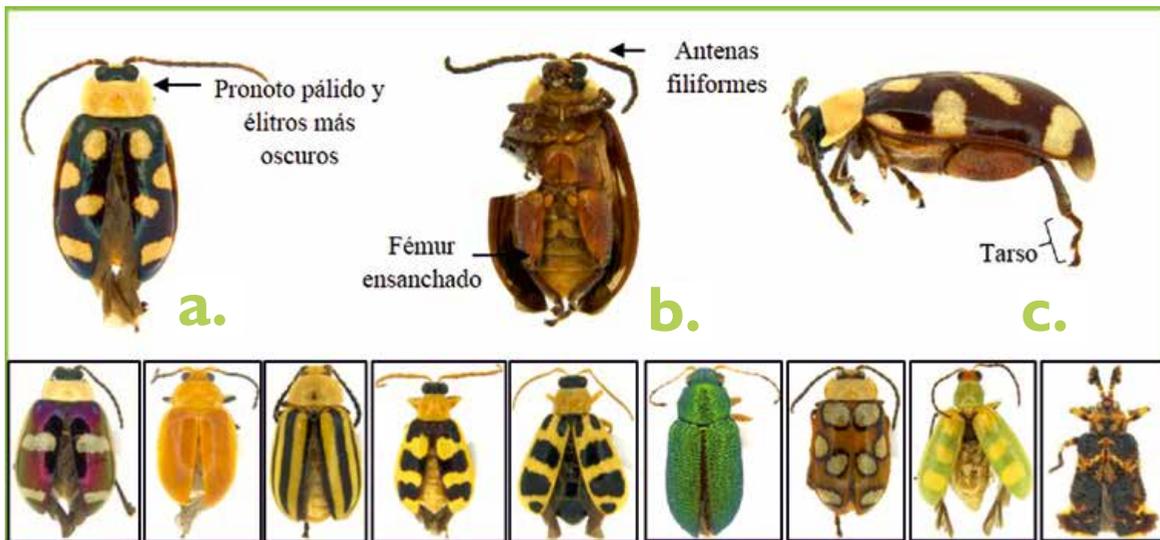


Figura 1.16. Características morfológicas para identificar la familia Chrysomelidae. **A.** Vista dorsal. **B.** Vista ventral. **C.** Vista lateral.

Fuente: Elaboración propia.



Familia Lampyridae

Nombre común: Luciérnagas o cucuyos

Se caracterizan por su capacidad de emitir luz, fenómeno denominado bioluminiscencia, tienen metamorfosis completa (Adam y Bravo, 2013). Las larvas habitualmente viven en lugares encharcados, como suelos, raíces, hojarascas y piedras siendo activas en la noche, son depredadores de caracoles, babosas, milpiés y orugas (Casari y Ide, 2012). Presentan mandíbulas falciformes con las que inyectan sustancias paralizantes a las presas. En los CCGE de caucho se presentaron sin causar daño en los cultivos, por lo cual, se puede atribuir que son una familia que controlan las poblaciones de otros organismos, posiblemente a las orugas del gusano cachón. Por lo tanto, puede ser recomendado como control biológico.

Ésta familia muestran un dimorfismo sexual notorio en la mayoría de las especies, las hembras conservan un aspecto larvario mientras los machos alcanzan un desarrollo completo. El patrón de emisión de luz es una reacción química que usa la luciérnaga macho para atraer a las hembras y éstas responden también emitiendo luz. Aunque en ocasiones la utilizan para atraer a las presas (Casari y Ide, 2012). La reacción se da cuando la luciferina, molécula responsable de la emisión de luz, es transformada en oxiluciferina por una enzima llamada luciferasa (Adam y Bravo, 2013).

▀ Características morfológicas

Generalmente con cuerpo cubierto de pelusilla fina y suave, cuenta con un órgano productor de luz en la parte inferior del abdomen (Figura I.17).

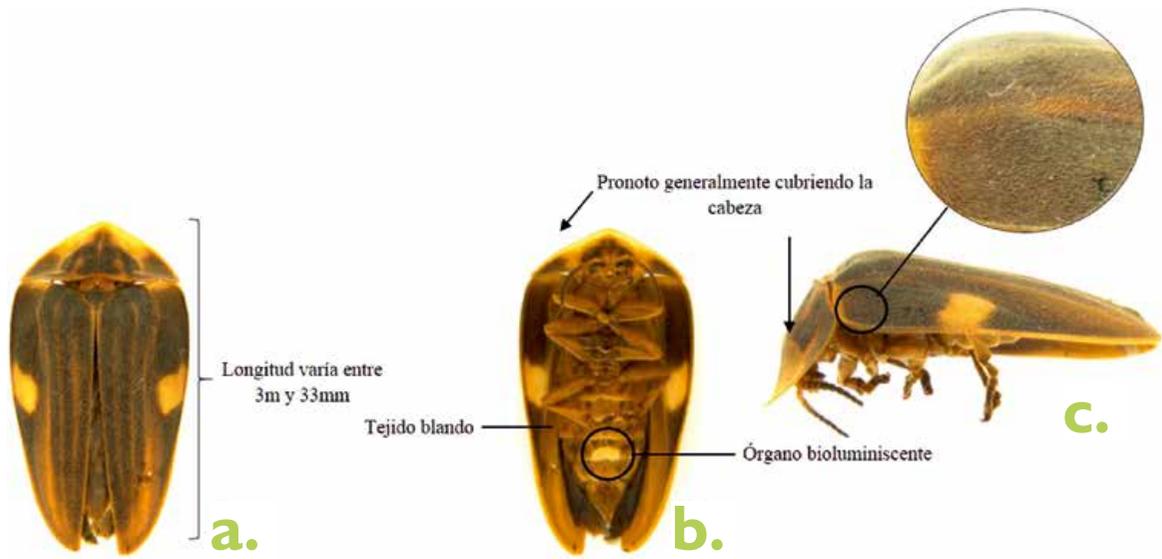


Figura 1.17. Características morfológicas para identificar la familia Lampyridae. **A.** Vista dorsal; **B.** Vista ventral; **C.** Vista lateral.

Fuente: Elaboración propia.



Familia Lycidae

Nombre común:
escarabajo alas de red

Son insectos de hábito diurno, con mayor actividad en la madrugada y al atardecer. Se les puede encontrar en las hojas, flores y hojarasca. Las larvas son depredadoras, se desarrollan en lugares con madera en descomposición, alimentándose de los jugos del material vegetal muerto y de larvas xilófagas (Bahillo y Puebla, 2002). Los adultos se ubican en el follaje y flores, donde muchas especies se alimentan de polen y néctar (Casari y Ide, 2012). En el cultivo de caucho fue reportado en hojas, peciolo y tallo. Sin embargo, no se observaron daños causados por esta familia, contrario a esto las larvas podrían emplearse como controladores biológicos de insectos plagas como el *Xyleborus* sp., quien perfora la corteza del árbol del caucho, llevando a la muerte repentina del mismo (Asoheca, 2009).

▀ Características morfológicas

Tienen forma alargada y aplastada dorso-ventralmente, presentan cuerpo blando, generalmente con colores llamativos, rojo, amarillo o anaranjado combinados con negro, longitud variada (3 – 25mm), cabeza parcialmente cubierta por el pronoto, éste presenta carenas (Zaragosa *et al.*, 2006). Los élitros son reticulados, poseen líneas longitudinales y transversales, además ensanchados en la parte apical (Figura 1.18) (Triplehorn y Johnson, 2005).

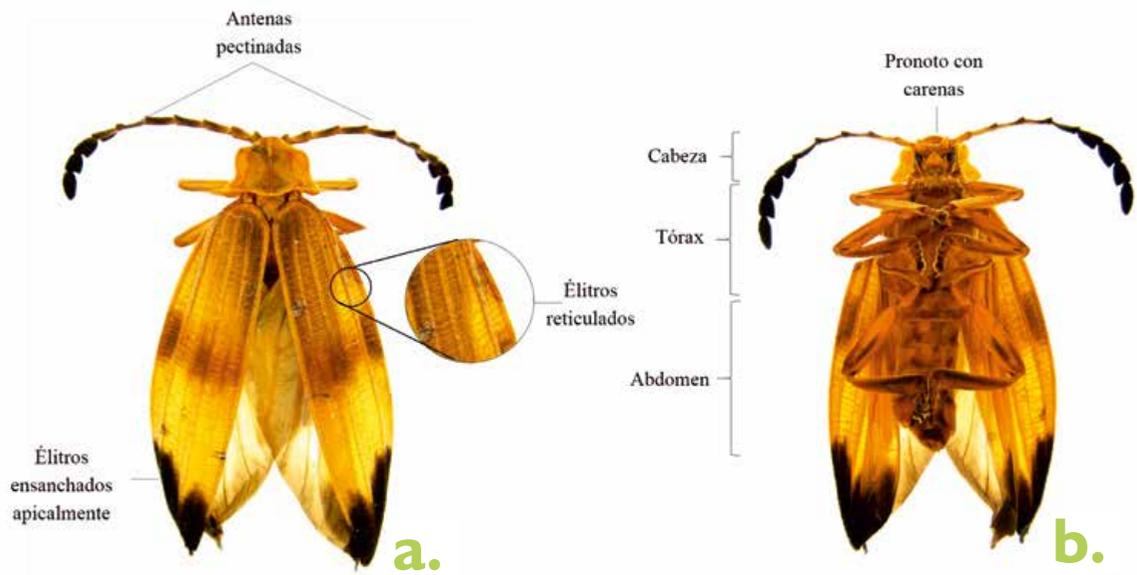


Figura 1.18. Características morfológicas para identificar la familia Lycidae. **A.** Vista dorsal. **B.** Vista ventral.

Fuente: Elaboración propia.



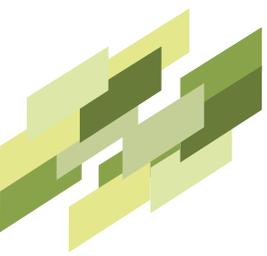
ORDEN: HEMIPTERA

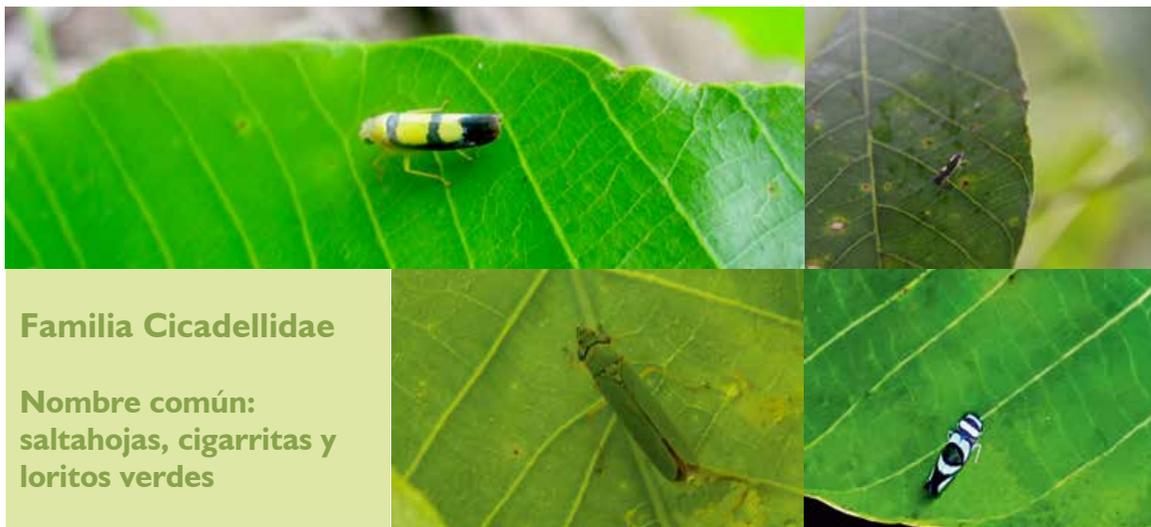
(chinchas o grafos)



Insectos terrestres, acuáticos o semiacuáticos, se caracterizan por presentar piezas bucales alargadas que forman un estilete, alas anteriores en hemélitros (mitad coriáceas y mitad membranosas), presentan glándulas odoríferas pares, situadas en el abdomen (ninfas) o en el metatórax (adultos). Con longitudes variadas de 0,5 a 130 mm, con coloración uniforme predominando el castaño o negro. Sin embargo, algunas especies pueden presentar coloración rojo brillante, amarillo, azul o verde. Antenas con tres a diez segmentos y tarsos generalmente trímeros (Costa *et al.*, 2006; Grazia *et al.*, 2012).

Características como el color de las hojas, la presencia de tricomas, la temperatura y la nutrición se han citado como factores que determinan la preferencia de estos insectos por sus plantas hospedadoras (Oriani y Vendramim, 2010; Castillo-López *et al.*, 2010; Ugine, 2012). Algunas especies de este orden de insectos son considerados plagas en diferentes cultivos. Una de estas especies es *Leptopharsa heveae*, un insecto originario de la región amazónica, y considerado como una de las plagas más agresivas del cultivo del caucho (Moreira, 1986; Junqueira *et al.*, 1999; Garzón, 2000; Sterling *et al.*, 2016, Sterling y Rodríguez, 2018).





Familia Cicadellidae

Nombre común:
saltahojas, cigarritas y
loritos verdes

Se encuentran con frecuencia sobre la hierba, grama, arbustos y árboles. Son insectos exclusivamente fitófagos, siendo de importancia fitosanitaria debido a que son vectores de diferentes patógenos (Nielson, 1968; Nault y Ammar, 1989; Lenicov y Virla, 1993).

Esta familia afecta gran variedad de cultivos como cítricos, pastos, maíz, plátano, lechuga, papaya, papa, aguacate, yuca, entre otros (Arroyo et al., 2015). Los daños son provocados particularmente por la toxicidad de la saliva y por su papel en la transmisión, dispersión y reservorio de patógenos como virus, espiroplasmas, bacterias y principalmente fitoplasmas (Catalano, 2011). En los CCGE de caucho los cicadélidos fueron observados sobre el haz y el envés de las hojas, su incidencia pudo deberse por la presencia de pasturas, y por las diferentes especies de arvenses las cuales tienen un profundo impacto en la composición e interacción con la entomofauna del cultivo (Blanco y Leyva, 2013). Sin embargo, es muy importante realizar más estudios sobre su interacción con el caucho, dado que en otros cultivos genera daños debidos a la toxicidad de su saliva.

▀ Características morfológicas

De longitud variada entre 2 y 18 mm, algunas especies con patrones de colores vistosos, antenas en forma de cerda (setáceas), su pronoto no extiende sobre el abdomen y tiene dos o más hileras de espinas en la tibia posterior (Figura 1.19).



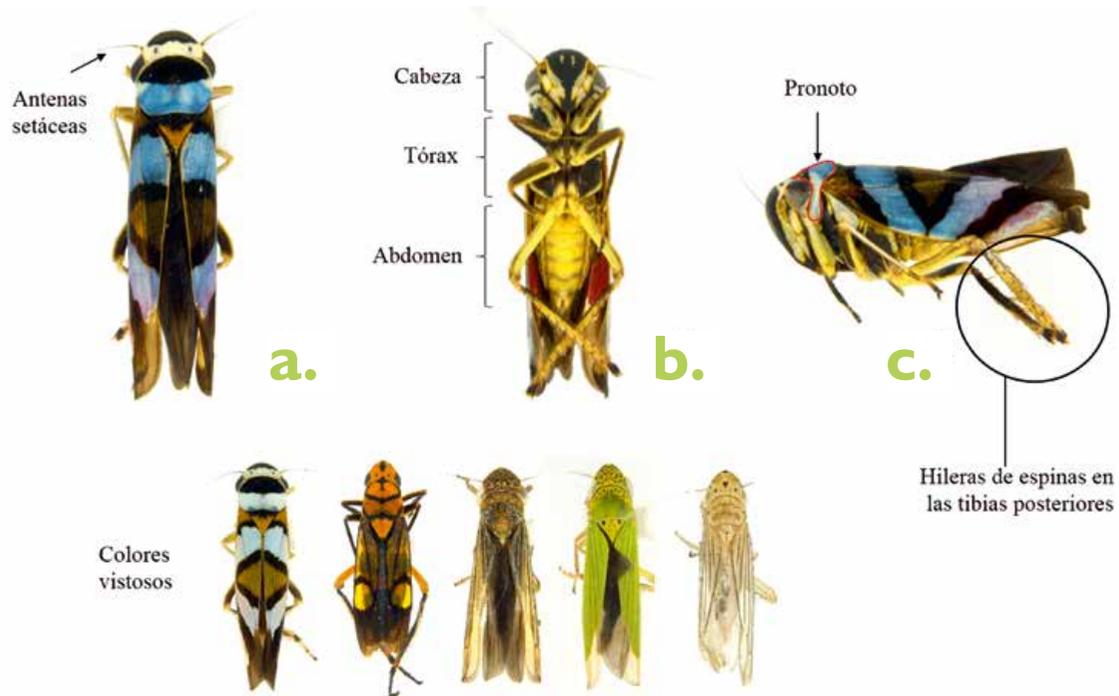


Figura 1.19. Características morfológicas para identificar la familia Cicadellidae. **A.** Vista dorsal. **B.** Vista ventral. **C.** Vista lateral.

Fuente: Elaboración propia.



Familia Reduviidae

**Nombre común:
chinchas asesinas**

Son depredadores generalistas, presentan un gran valor ecológico y biomédico. Esta familia se posa sobre las hojas a la espera de la presa, cuando la detectan la capturan con sus patas anteriores, le insertan su aparato bucal y le inyectan una sustancia tóxica para inmovilizarla (Brailovsky et al., 2007; Grazia et al., 2012). En los llanos orientales se reportan los géneros *Montina* y *Zelus* como depredadores de larvas de gusano cachón, donde se alimentan de la hemolinfa del gusano, y lo hacen succionando todo su contenido hasta dejar solo el exoesqueleto (Leon et al., 2010). Por lo tanto, es considerada una especie benéfica para el cultivo del caucho, ya que actúan como biocontrolador del gusano cachón.

■ Características morfológicas

Presentan variedad de formas y tamaños (4- 60mm) (Figura 1.20C, D y E), cuerpo delgado y robusto, cabeza larga y angosta con especie de cuello, antena generalmente de cuatro segmentos y probóscide de tres, la cual se ubica en una hendidura ventral (Figura 1.18Ay B). Abdomen frecuentemente ancho y cóncavo a lo largo del dorso, glándula de Brindley presentes con frecuencia en el primer segmento abdominal (en ninfas se encuentra en el mesopleura), sutura transversal entre los ojos compuestos (Bar, 2009; Grazia et al., 2012).



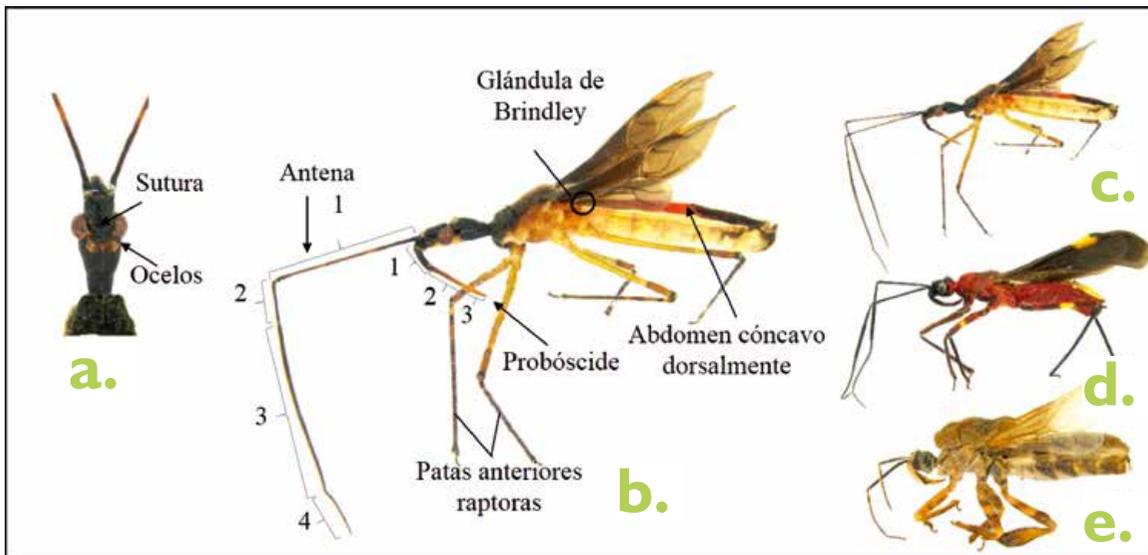


Figura 1.20. Características morfológicas para identificar la familia Reduviidae. **A.** Cabeza en vista dorsal. **B y C.** Vista lateral de morfo 1. **D.** Vista lateral de morfo 2. **E.** Vista lateral de morfo 3.

Fuente: Elaboración propia.



ORDEN: DIPTERA

(Moscas, mosquitos, jejenes, zancudos y tábanos)



Su nombre proviene del griego *di*: dos y *ptera*: ala, pues se caracterizan por presentar sólo un par de alas funcionales (mesotorácicas), ya que las posteriores o metatorácicas se han transformado en pequeños órganos denominados halterios o balancines, los cuales ayudan a mantener la estabilidad durante el vuelo; poseen dos ojos compuestos que ocupan gran parte de la cabeza (holópticos o dicópticos), presentan antenas setiforme o aristada, aparato bucal constituido por una trompa o probóscide de tipo perforador – o simplemente chupador (Figura 1.21) (Gállego, 2006; Tolrá, 2015).

Algunas familias revisten especial interés desde el punto de vista económico por su interés agrícola, veterinario o médico. En lo agronómico tienen interés debido a que algunas especies son plagas de los cultivos y en otros casos forman parte de la fauna auxiliar que controlan las especies plaga, depredadoras o parasitoides (Barranco, 2003).





Familia Tachinidae

**Nombre común:
moscas parasíticas**

Se encuentran en casi todos los hábitats terrestres (desiertos, bosques, pasturas, montañas y tundras), consideradas moscas de gran interés e importancia agrícola por su capacidad endoparasitoide de otros artrópodos, atacando en su mayoría huéspedes en estado larval (Molinari y Avalos, 1997; Vega, 2003; Stireman *et al.*, 2006).

En los CCGE se observaron en los nectarios y sobre el haz de las hojas de caucho. Leon *et al.* (2010), mencionan que son moscas parasitoides, estas colocan sus huevos sobre el gusano cachón y las larvas al nacer penetran el gusano para completar el desarrollo en su interior, permitiendo que el hospedero alcance el estado de pupa, del cual después emergen de 1 a 3 moscas adultas por cada larva de cachón parasitada. Por lo tanto, esta familia podría desempeñar un rol potencial interesante como controlador biológico en plantaciones de caucho.

▀ Características morfológicas

Cuerpo robusto con abdomen cubierto de setas, presenta colores grises o pardos, alcanzan de 2 a 20 mm de longitud, arista generalmente desnuda, poseen una hilera de setas hipopleurales presentes en el tórax y un postescutelo, prominente (Figura 1.22) (Madrigal, 2001; Serna, 2018).

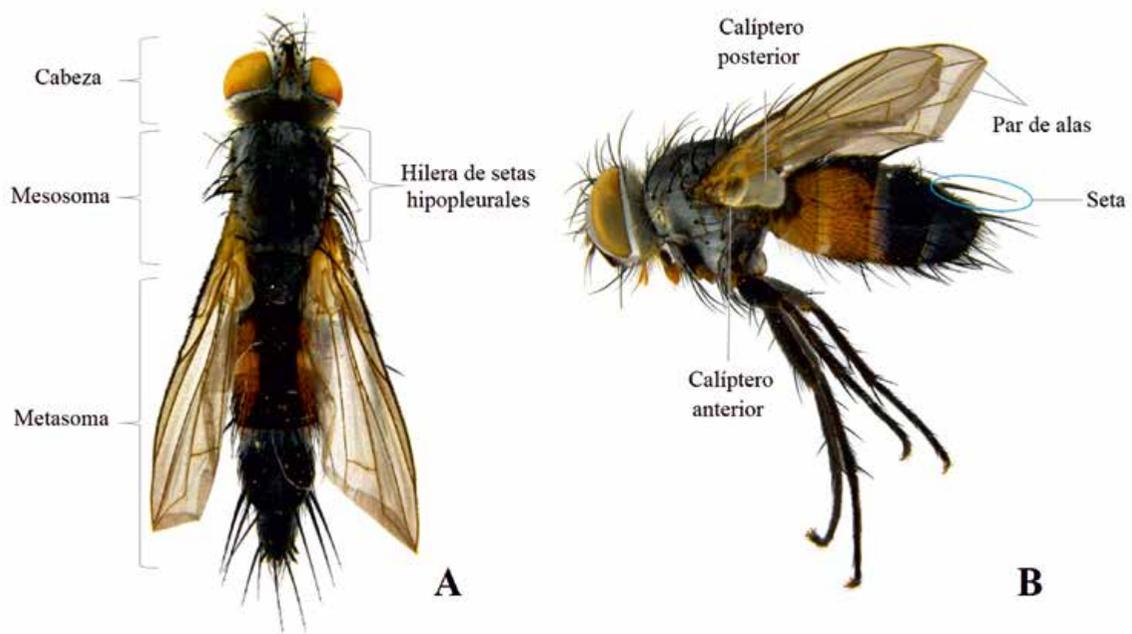


Figura 1.22. Características morfológicas para identificar la familia Tachinidae. **A.** Vista dorsal. **B.** Vista lateral.

Fuente: Elaboración propia.



Las hembras son larvíparas, es decir, en vez de huevo colocan directamente el gusano o larva sobre un sustrato para completar el ciclo de su cría, ésta se alimenta principalmente de tejidos de animales y humanos (Hall y Smith, 1993). Tienen hábito variado, se pueden encontrar sobre las flores, cadáveres en descomposición y excremento, comportándose como necrófagos, coprófagos, depredadores y parasitoides de insectos del orden orthoptera, coleóptera y lepidóptera (Pape, 1996; Tolrá, 1997; Serna, 2018).

Esta familia estuvo presente en los nectarios y sobre el haz de las hojas de caucho. Suelen ser atraídas por fuentes de alimento líquido con alto contenido de proteínas, como el néctar o exudados de materia orgánica en descomposición (Mello *et al.*, 2014). Especies de esta familia son consideradas en caucho como control biológico, en especial de gusano cachón (Leon *et al.*, 2010).

▀ Características morfológicas

Robustas, varían entre 2 a más de 25mm de longitud, poseen coloración grisácea con tres franjas longitudinales negras en el mesotórax, usualmente con cuatro setas (pelos) notopleurales, también con setas en el mero y anepimero (Figura 1.23).

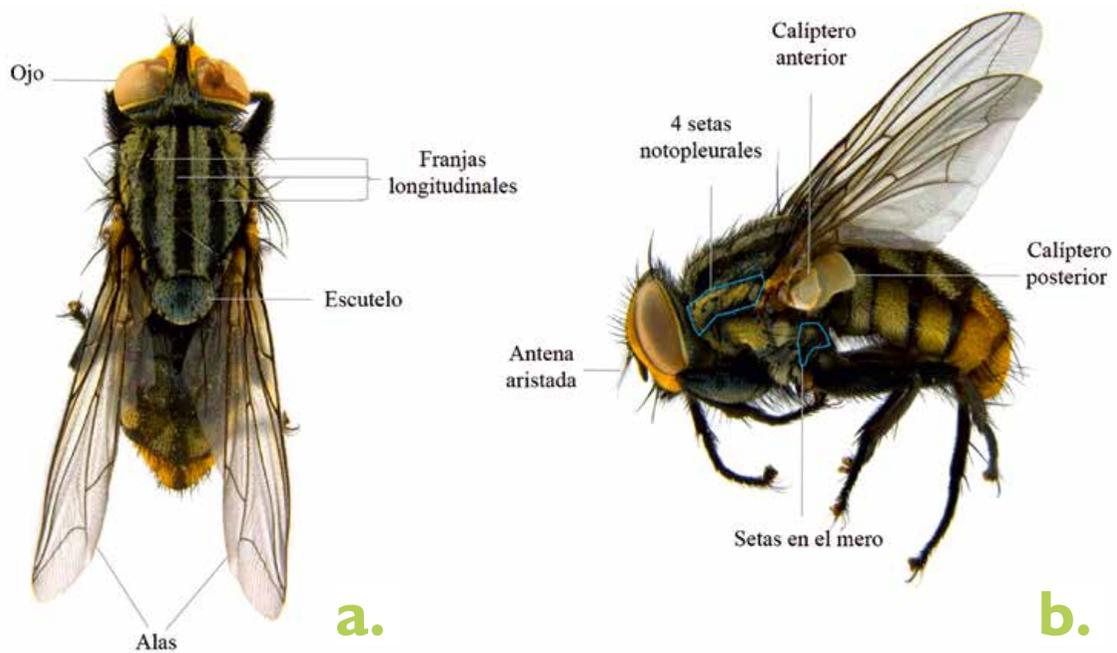


Figura I.23. Características morfológicas para identificar la familia Sarcophagidae. **A.** Vista dorsal. **B.** Vista lateral.

Fuente: Elaboración propia.



ORDEN: NEUROPTERA

(Crisopa y Mantispa)

Su nombre proviene del griego *neûron* que significa “nervio” y *pteron* “ala”, es considerado el grupo de insectos superiores más primitivo (Montserrat, 2010). Se caracterizan por poseer cuerpo blando, cabeza prognata con ojos compuestos bien desarrollados, en ocasiones con ocelos, presentan dos pares de alas membranosas con venación reticulada asemejando una red, antenas largas y filiformes, con aparato bucal masticador y patas marchadoras (patas raptoras en los mantispidos) (Ribera y Melic, 2015). Son organismos depredadores tanto en estado larval como en adultos, las larvas presentan mandíbulas adaptadas para succionar los fluidos de sus presas (Reguilón, 2008; Contreras y Rosas, 2014).

Una de las familias más abundantes e importantes ecológicamente (control biológico) dentro de este orden es chrysopidae (Cadena, Gomez y Gonzales, 2007; Monserrat, 2008). Todas las especies en estado larval y algunos adultos son depredadores alimentándose de gran variedad de insectos como: áfidos (Hemíptera: Aphididae), cóccidos (Hemíptera: Coccidae), mosquitas blancas (Hemíptera: Aleyrodidae) y otros insectos de cuerpo blando que se localizan en el follaje (Palomares, Barajas y Arredondo, 2017). Las larvas por su actividad depredadora favorecen el control biológico en la agricultura, estas se encuentran generalmente en el follaje de las plantaciones y algunas veces en hormigueros (Montserrat, 2010; Contreras y Rosas, 2014). Fueron reportadas en los CCGE. Sin embargo, no se observaron daños causados por estos insectos, contrario a esto podrían ejercer un papel de control biológico en las plantaciones de caucho.

Por otro lado, se reportó la familia Mantispidae, insectos de hábito principalmente diurno, aunque existen especies con actividad nocturna; las larvas y adultos son depredadores generalistas, se alimentan de pequeños insectos voladores de cuerpo blando, generalmente dípteros, pequeños lepidópteros, abejas, larvas de avispas (Madrigal, 2001; Triplehorn y Johnson, 2005; Wolff, 2006; Monserrat, 2014). Esta familia de insectos podría incluir especies controladoras biológicas de larvas de plagas como gusano cachón y gusano peludo (*Premolis semirrufa*).



ORDEN: ORTHOPTERA

(Grillos, Saltamontes, langostas y chapulines)

Su nombre proviene del griego *ortho*: recto y *pteron*: alas. Son insectos hemimetábolos (huevo, ninfa y adulto), predominantemente fitófagos, algunas especies se manifiestan como plagas en los agroecosistemas (maíz, girasol, soja, entre otros). Constituyen un complejo de numerosas especies, pero generalmente una cantidad reducida conforman las poblaciones que provocan daños a nuestros cultivos. En los CCGE de caucho la familia Acridiidae estuvo presente en el envés de las hojas, y aunque es considerada de importancia económica en otros cultivos, en caucho no se han reportado daños causados por estos insectos.

Morfológicamente poseen cabeza hipognata, con ocelos, antenas filiformes relativamente largas, aparato bucal masticador, pronoto descendente cubriendo los costados (propleura), alas anteriores endurecidas o apergaminadas llamadas tegminas, las posteriores son membranosas y están generalmente plegadas bajo las tegminas; fémur posterior ensanchado adaptado para el salto, además poseen órganos productores de sonido, emitidos especialmente durante la noche (Figura 1.24) (Sperber *et al.*, 2012; Aguirre y Barranco, 2015).





ORDEN LEPIDOPTERA

(Mariposas y polillas)

Su nombre proviene del griego *lepidos*: escamas y *pteron*: alas (alas escamosas). Este orden incluye las mariposas y polillas, tienen gran importancia en los bosques y en la agricultura, dado que las larvas de la mayoría de especies son fitófagas, llegando al punto de comportarse como plagas en cultivos y en masas forestales (Trochez, 1987; Monasterio, 2007).

En CCGEs de caucho en Caquetá se han reportado las especies *Erinnyis ello* y *Premolis semirufa* como unas de las principales plagas (Sterling *et al.*, 2014, 2016, Sterling y Rodríguez, 2018). Sin embargo, en relación con otras especies de lepidópteros asociados a CCGEs reportados en el presente estudio, se observaron las familias Cambridae y Noctuidae con una baja incidencia y sin provocar daños algunos. Contrario a esto, estas familias se alimentan por medio de la espiritrompa de fluidos como néctar, agua, extractos frutales, entre otros, de manera que su visita a las flores favorece la polinización de las mismas (García *et al.*, 2015). El tamaño de los adultos varía de 1 a 100 mm de longitud, poseen dos pares de alas membranosas, cuerpo y demás apéndices cubiertos por escamas, aparato bucal de tipo sifón – chupador o también denominada espiritrompa (Figura 1.25) (Duarte *et al.*, 2012).

ORDEN BLATTODEA

(Cucarachas)



Se distribuyen en todo el mundo pero presentan mayor abundancia y diversidad en zonas tropicales, son de hábito nocturno, se alimentan de una gran variedad de materiales (omnívoros), aunque prefieren los que contengan almidón y azúcares (Pascual, 2015; Del Angel, 2017). Se pueden reconocer por su forma aplanada, cabeza opistognata cubierta por el pronoto, aparato bucal masticador, ojos grandes más dos ocelos, antenas largas, filiformes y multisegmentadas, patas largas con espinas y tarsos de cinco segmentos, en el último segmento abdominal presenta dos cercos (Figura 1.26) (Grabdcolas y Pellens, 2012).

Las cucarachas son importantes en los procesos ecológicos, ya que contribuyen en la degradación de detritos, además transportan bacterias que permiten mejorar la eficiencia de los procesos de descomposición (Bell *et al*, 2007). En los CCGE se encontró la familia Ectobiidae en el ápice y en el envés de las hojas, estas presentaron una baja incidencia, sin provocar daño a las plantas de caucho. Nuevos estudios relacionados con la ecología de estas especies podrían precisar mejor el rol de estos insectos en los cultivos de caucho.



ORDEN DERMAPTERA

(Tijereta)



Su nombre proviene del griego *derma*: piel y *pteron*: ala indicando que el segundo par de alas presenta una textura suave; su mayor diversidad se encuentra en las regiones tropicales específicamente en los bosques ecuatorianos (Herrera, 2015). Se caracterizan por cuerpo alargado, ligeramente aplanado, de tamaño pequeño a mediano, de color negro o castaño, con alas anteriores de aspecto elitroide que recubre las posteriores (membranosas) (Figura 1.27), viven bajo piedras, en las frutas o en la corteza de los árboles (Triplehorn y Johnson, 2005; Herrera, 2015; Hass, 2018).

Este grupo fue el de menor riqueza y abundancia en los CCGE de caucho. En general, son insectos omnívoros, aunque algunas especies prefieren una dieta estrictamente carnívora o herbívora (Hass y Gorh, 2004; Wappler, Engel y Haas, 2005). Los dermápteros no presentan importancia económica en los cultivos, sin embargo, algunas especies son biocontroladoras (Hass, 2012) como *Forficula auricularia* que es depredadora de pulgones en cítricos (Cañellas, Piñol y Espadaler, 2005). En los CCGE se encontraron en el envés de las hojas sin presentar daños en las mismas. Dadas sus características ecológicas positivas para los cultivos, nuevos estudios podrían revelar su capacidad emplear estos insectos en programas de control biológico en caucho.



CONSIDERACIONES FINALES

En general, la mayor riqueza de insectos por materiales genéticos se registró en los genotipos E64, E66 y E83 casi duplicando la riqueza observada en el clon IAN 873. Esto indica que estos materiales debido a su estado de desarrollo y mejor condición fitosanitaria, posiblemente generaron mejores condiciones ecosistémicas para proveer hábitat y alimento a los insectos allí presentes. Lo que refleja el valor ambiental que poseen estos materiales de caucho para conservar este recurso de la biodiversidad.

Los inventarios realizados permitieron evidenciar como estos campos clonales de caucho proporcionan condiciones propicias para la incidencia y desarrollo de diversos insectos de los órdenes Hymenoptera, Coleoptera, Hemiptera, Diptera, Neuroptera, Orthoptera, Dermaptera, Blattodea y Lepidoptera, la mayoría de los cuales poseen roles ecológicos benéficos para el cultivo del caucho, especialmente en procesos como la polinización o el control biológico potencial de insectos plagas del cultivo, lo que genera nuevas oportunidades de investigación para ahondar más en su taxonomía (su determinación a nivel de especie), biología, ecología y su importancia económica para los cultivos de caucho en la Amazonia colombiana.

La importante riqueza de insectos (91 familias), reportada en el presente estudio, es un indicador relevante para resaltar y valorar la importancia que tiene el cultivo del caucho en la conservación de la entomofauna, y a su vez es un mensaje para los productores de caucho en conservar esta biodiversidad y un indicador ecológico para técnicos e investigadores en propender por el estudio y la implementación de nuevas prácticas agronómicas que permitan conservar esta diversidad y aprovechar sus potencialidades mediante nuevas prácticas de manejo ambientalmente amigables como el control biológico, minimizando así el uso de agrotóxicos que además de generar resistencia en los agentes nocivos, conlleva a la pérdida de este valioso recurso de la biodiversidad.



BIBLIOGRAFÍA

- Adam, C., y Bravo, M. V. (2013). De las luciérnagas a luz química. Química reactiva. El paraninfo. Recuperado de http://www.fiq.unl.edu.ar/culturacientifica/wpcontent/uploads/2013/10/paraninfo_96_web.pdf.
- Aguirre, S. A., y Barranco, V. P. (2015). Orden orthoptera. Rev. IDE@–Sociedad Entomológica Aragonesa., 46, 1-13. Recuperado de: http://sea-entomologia.org/IDE@/revista_46.pdf.
- Alarcón, J., Jiménez, A., Galindo, J., y Álvarez, J. (2012). Manejo Integrado de plagas y enfermedades en el cultivo del caucho (*Hevea brasiliensis*), Medidas para la temporada invernal. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-MADR, Instituto Colombiano Agropecuario-ICA, Procaucho. 32p.
- Altieri, M. A., y Nicholls, C. (2009). Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas. Editorial Iacari. Barcelona. 21p.
- Amat, G., Gasca, H., y Amat, E. (2005). *Guía para la cría de escarabajos*.
- Anaya, R. S., Romero, N. J., y López, M. V. (2000). Manual de diagnóstico para las especies de chapulín (Orthoptera:acridoidea) del estado de Tlaxcala y estados adyacentes. Colegio de Posgraduados. Instituto de Sanidad. Montecillo Edo. México. 266p.
- Arce, M. G. (1992). Aspectos morfológicos y bioecológicos de *Systema argentinensis jacob*y (Coleoptera: Chrysomelidae), especie dañina a cultivos agrícolas. Rev. Soc. Entolol.Argent. 51 (1-4): 108-115.
- Arriola, P. V. J., Muñoz, B. S. N., Pérez, M. R., Pérez, S. M., Gijón, H. A. R., Ortiz, C. E., y Hernández, C. J.M. (2018). Entomofauna asociada a plantaciones comerciales de hule (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg., 1865) en México. Entomología Mexicana, 5, 468–473. ISSN: 2448-475X
- Arroyo, P. W., Pérez, H. A., Díaz, S. J., y Beltrán, H. J. (2015). Identificación de morfotipos de *Empoasca* spp. (Hemiptera: Cicadellidae) en agroecosistemas de ñame y yuca (Sucre, Colombia). Rev. Colomb. Entomol. 41 (2): 163-169. ISSN 0120-0488.
- Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá–ASOHECA. (2009). Ficha técnica para el manejo integrado de plagas – MIP en el cultivo de caucho natural. 30p.
- Azabache, L. (2012). Proyecto de factibilidad para la producción de caucho natural (*Hevea brasiliensis*) en el municipio de Puerto Carreño vichada. Trabajo de grado. Facultad de ciencias agropecuarias. Universidad de la Salle. Bogotá, D.C.
- Bahillo, P., y Puebla, J. L. C. (2002). Los Lycidae Laporte, 1836 ibéricos con representación en la Comunidad Autónoma Vasca y sus áreas limítrofes (Coleoptera). Heteropterus Rev. Entomol. 2, 19-29.
- Bar, M. E. (2009). Orden Hemiptera. Biología de artrópodos.
- Barranco, V. P. (2003). Dípteros de interés agronómico. Agromícidos plaga de cultivos hortícolas intensivos. Bol. S.E.A. Entomología aplicada. 33, 293-307.
- Bell, W. J., Roth, L. M., y Nalepa, C. A. (2007). Cockroaches: Ecology, Behavior and Natural History. The Johns Hopkins University Press. Baltimore, Estados Unidos de América. 230p.
- Blanco, Y., Leyva, A. (2013). Las arvenses y su entomofauna asociada en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris*, L.) posterior al periodo crítico de competencia. Avances en Investigación Agropecuaria. 17(3): 51-65.
- Bolton, B., Palacio, E. E., y Fernández, F. (2003). Capítulo 14. Morfología y glosario. En: Fernandez, F. (ed), (2003). Introducción a las hormigas de la región Neotropical. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 221p

- Bonet, F. M. (2016). Biodiversidad de abejas (Hymenoptera: Apoidea) de la flora acompañante en un cafetal con mejo rustico y ecológico de la región subcaribeña (México, Mesoamérica). Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Complutense de Madrid.
- Brailovsky, H., Mariño, R., y Barrera, E. (2007). Cinco especies nuevas de Pselliopus (Hemiptera: Heteróptera: Reduviidae: Harpactorinae: Harpactorini) para México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 78, 85-98
- Branstetter, M. G., y Sáenz, L. (2012). Las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de Guatemala. En E. B. Cano y J. C. Schuster (Ed.), (2012). Biodiversidad de Guatemala. Guatemala. 221p.
- Cadena, P., Angel, F., Gómez, L. A., y González, R. (2007). Diferenciación morfológica y molecular de especies de crisópidos (Neuroptera: Chrysopidae). *Revista Colombiana de Entomología*. 33(2): 171-177.
- Caffarilla, N. (2009). Earwig diagram with wings extended. Recuperado de: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Earwig_description.svg.
- Cañellas, N., Piñol, J., y Espaldaler, X. (2005). Las tijeretas (Dermaptera, Forficulidae) en el control del pulgón en cítricos. *Boletín de sanidad vegetal. Plagas*. 31(2): 161-170.
- Carpenter, J. M., Garcete-Barrett, B. R., y López, Y. J. (2012). Las Vespidae (Hymenoptera: Vespoidea) de Guatemala. *Biodiversidad de Guatemala*. 2, 269-279.
- Casari, S. A., y Ide, S. (2012). Coleoptera. En: Rafael, J. A., Melo, G. A., de Carvalho, C. J., Casari, S. A., y Constantino, R. (Eds.). *Insetos do Brasil. Diversidade e taxonomia Brasil: Holos Editora*. 454-526pp.
- Castillo-López, J. L., Cano-Santana, Z., y Oyama, K. (2010). Preferencias y supervivencia de *Lophocermata pyrrrha*, un noctuido gregario constructor de refugios, en dos plantas hospederas. *Dugesiana*. 17(2): 229-236.
- Catalano, M. I. (2011). Cicadélidos vectores de fitoplasmas a cultivos de importancia económica en la Argentina. *Sistemática y bioecología (Insecta-Auchenorrhyncha-Cicadellidae)[PhD thesis]*. [La Plata]: Universidad Nacional de La Plata.
- Contreras, R. A., y Rosas, M. V. (2014). Biodiversidad de Neuroptera en México. *Revista mexicana de biodiversidad*. 85, 264-270.
- Costa, C., Ide, S., Simonka, C. E., y Aragonese, S. E. (2006). Insectos inmaduros: metamorfosis e identificación. *Sociedad Entomológica Aragonesa*.
- Crane, E. (1972). *Pollination of Seed Crops*. Bee Research Association, London. 163p.
- Del Angel, M. K. A. (2017). Cucarachas (Insecta: Blattodea) en el área urbana de Francisco I. Madero Coahuila. Tesis de pregrado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila. México.
- Drees, B., y Jackman, J. (1998). *A field guide to common. Texas insects*. Houston, Texas. 251p.
- Duarte, M., Marconato, G., Specht, A., y Casagrande, M. M. (2012). Lepidóptera. En: Rafael, J. A., Melo, G. A., de Carvalho, C. J., Casari, S. A., y Constantino, R. (Eds.). *Insetos do Brasil. Diversidade e taxonomia (626-698 pp)*. Brasil: Holos Editora.
- Elisei, T., Nunes, J., Ribeiro, J. C., Fernandes, J. A. J., y Prezoto, F. (2010). Uso da vespa social *Polistes versicolor* no control de desfolhadores de eucalipto. *Pesq. Agropec. Brasil*. Brasilia. 45 (9): 958- 964.
- Fateryga, A.V. (2009). Trophic relations between vespoid wasps (Hymenoptera: Vespidae) and flowering plants in the Crimea. *Entomological Review*. 9 (6): 698-705.

- Fernández, E. (2003) Introducción a las hormigas de la región neotropical. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Bogotá, Colombia. 398p.
- Fernández, E., y Palacios, E. E. (2006). Familia Formicidae. En F. Fernández y M. J. Sharkey (Eds.). Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical. Sociedad Colombiana de Entomología y Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C, Colombia: Guadalupe Ltda. 521p.
- Fernández, F., y Sharkey M. J. (2006). Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical. Sociedad Colombiana de Entomología y Universidad Nacional de Colombia Bogotá D.C, Colombia: Guadalupe Ltda. 521p.
- Fernández, G. S., y Pujade. V. J. (2015). Orden Hymenoptera. Rev. IDEA@–Sociedad Entomológica Aragonesa. 59, 1- 36.
- Galante, E., y Marcos, M. (1997). Detritívoros, coprófagos y necrófagos. *Bol.S.E.A.*, (20), 57–64.
- Gállego, B. J. (2006). Manual de parasitología: morfología y biología de los parásitos de interés sanitario. Universidad de Barcelona. España. ISBN 84-475-3141-4. 431p.
- García, B. E., Romo, H., Sarto, I. V., Munguira, M. L., Baixeras, J., Vive, M. A., y Yela, G. J. L. (2015). Orden lepidóptera. Rev. IDE@. Sociedad Entomológica Aragonesa. 65, 1-25. Recuperado de: http://sea-entomologia.org/IDE@/revista_65.pdf.
- Garzón, C. F. (2000). Principales enfermedades y plagas en el cultivo de caucho *Hevea brasiliensis* (Wild. Ex. Adr. De Juss) Muel. Arg., Con Énfasis en la Amazonia Colombiana. SINCHI-PLANTE. Produmedios. 63p.
- Ghoneim, K. (2014). Predatory insects and arachnids as potential biological control agents against the invasive tomato leafminer, *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae), in perspective and prospective. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 2 (2): 52-71.
- Grandcolas, P., y Pellens, R. (2012). Blattaria. En: Rafael, J. A., Melo, G. A., de Carvalho, C. J., Casari, S. A., y Constantino, R. (Eds.). *Insetos do Brasil. Diversidade e taxonomía* (334-344 pp). Brasil: Holos Editora.
- Grazia, J., Cavichioli, R. R., Wolff, V. R., Fernandes, J. A., y Takiya, D. M. (2012). Hemiptera. En Rafael, J. A., Melo, G. A., de Carvalho, C. J., Casari, S. A., y Constantino, R. (Eds.). *Insetos do Brasil. Diversidade e taxonomía Brasil: Holos Editora*. 348-397pp.
- Haas, F. (2012). Dermaptera. En: Rafael, J. A., Melo, G. A., de Carvalho, C. J., Casari, S. A., y Constantino, R. (Eds.). *Insetos do Brasil. Diversidade e taxonomía* (298-304 pp). Brasil: Holos Editora
- Haas, F. (2018). Biodiversity of Dermaptera. *Insect Biodiversity: Science and Society*. 2, 315-334.
- Haas, F., y Gorb, S. (2004). Evolution of locomotory attachment pads in the Dermaptera (Insecta). *Arthropod structure and development*. 33(1): 45-66.
- Hall, M. J. R., y Smith, K. G. V. (1993). Diptera causing myiasis in man. *Medical Insects and Arachnids*, 429–469. doi:10.1007/978-94-011-1554-4_12.
- Hart, R. (1979). Capítulo 3. Sistemas agrícolas. En: *Agroecosistemas conceptos básicos*. CATIE- Centro agro-nómico tropical de investigación y enseñanza. Turrialba, Costa rica.
- Herrera, M. L. (2015). Clase Insecta, Orden Dermáptera. Rev. IDEA@. Sociedad Entomológica Aragonesa. 42, 1-10. Recuperado de: http://sea-entomologia.org/IDE@/revista_42.pdf.
- Hidalgo, M. J. A., y Acevedo, O. A. (2012). Efectos de la biodiversidad en el control biológico dentro de los agroecosistemas. *Inventum* N° 13. Facultad de ingeniería. Universidad Minuto de Dios.

- Jiménez, E., Quezada, R., y Padilla, J. (2012). Diversidad de escarabajos necrófilos (Coleoptera: Scarabaeidae, Silphidae, Staphylinidae y Trogidae) en una región semiárida del valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. *Revista de Biología Tropical*, 61(3), 1475–1491.
- Jordán, F. (2013). *El universo de los insectos*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Junqueira, N. T. V., Pinheiro, E., Alves, R. T., Celestino Filho, P., Pereira, A.V., Oliveira, M. A. S., Fialho, J. F., y Gasparotto, L. (1999). Controle biológico do percevejo-de-renda (*Leptopharsa heveae* Drake y Poor) em seringais de cultivo. Planaltina: Embrapa Cerrados. (Circular Técnica). 3, 30p.
- Lenicov, A. M., y Virla, E. G. (1993). Homópteros auquenorrincos asociados al cultivo de trigo en la República Argentina. I. Análisis preliminar de la importancia relativa de las especies. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*. 28(4): 211-222.
- León, M. G. (2012). *Insectos de los cítricos*. Corporación Universitaria Lasallista. 154p.
- León, M. G. A., Beltrán, R. J. A., Campos, P. J. C. (2010). Enemigos naturales y manejo integrado del gusano cachón (*Erinnys ello*) en el cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*). Colombia. Corpoica. 24p.
- Lozano, T. M. D., Gómez, C. L. E., Simons, M. R., Barragan, Q. E., y Rey, B. L. (1999). Capítulo 4: Manejo integrado de plagas, enfermedades y maleza. En: El cultivo del ajonjolí producción y utilización. Boletín técnico. Corpoica, Regional 6. Ibagué, Tolima
- Lucia, M. (2011). Estudio biosistemático de las abejas de la tribu Xylocopini (Hymenoptera: Apidae) de interés agronómico en Argentina. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de la Plata. Museo de la Plata.
- Madrigal, C. A. (2001). *Fundamentos de control biológico de plagas*. Medellín, Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de ciencias. 70p.
- Mamani-Mamani, B., Loza-Murguía, M., Smeltekop, H., Almanza, J. C., y Limachi, M. (2012). Diversidad genérica de hormigas (Himenópteros: Formicidae) en ambientes de bosque, borde de bosque y áreas cultivadas tres Comunidades del Municipio de Coripata, Nor Yungas Departamento de La Paz, Bolivia. *Journal of the Selva Andina Research Society*. 3(1): 26-43.
- Martín, P. C. A., y Belloti, A. C. (1986). Biología y comportamiento de *Polistes erythrocephalus* Ltr. (Hymenoptera: Vespidae), predador del “Gusano cachón” de la yuca *Erinnys ello* L. (Lepidóptera: Sphingidae). *Acta Agron.* 36(1): 63-76.
- Mello, P. C. A., Mariluis, J. C., Silva, K. P., Patitucci, L. D., y Mulieri, P. R. (2014). Sarcophgidae. Biodiversidad de Artrópodos Argentinos. 4, 475-490.
- Molinari, A. M., y Avalos, D. S. (1997). Contribución al conocimiento de taquinidos (Díptera) parasitoides de defoliadoras (Lepidóptera) del cultivo de soja. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*. 56, 1-4.
- Monasterio, L. Y. (2007). Los lepidópteros en La Rioja. *Páginas de Información Ambiental*. 25, 24- 28.
- Monserrat, V. J. (2008). Nuevos datos sobre algunas especies de crisópidos (Insecta: Neuroptera, Chrysopidae). *Heteropterus Revista de Entomología*, 8(1), 171-196
- Monserrat, V. J. (2010). Los neurópteros (Insecta: Neuroptera) en el arte. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*. 46, 635-660.
- Monserrat, V. J. (2014). Los mantispidos de la península ibérica y baleares (Insecta, Neuropterida, Neutóptera, Mantispidae). *Rev. Graellsia.*, 70 (1), 1-52. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/grawllsia.2014.v70.115>



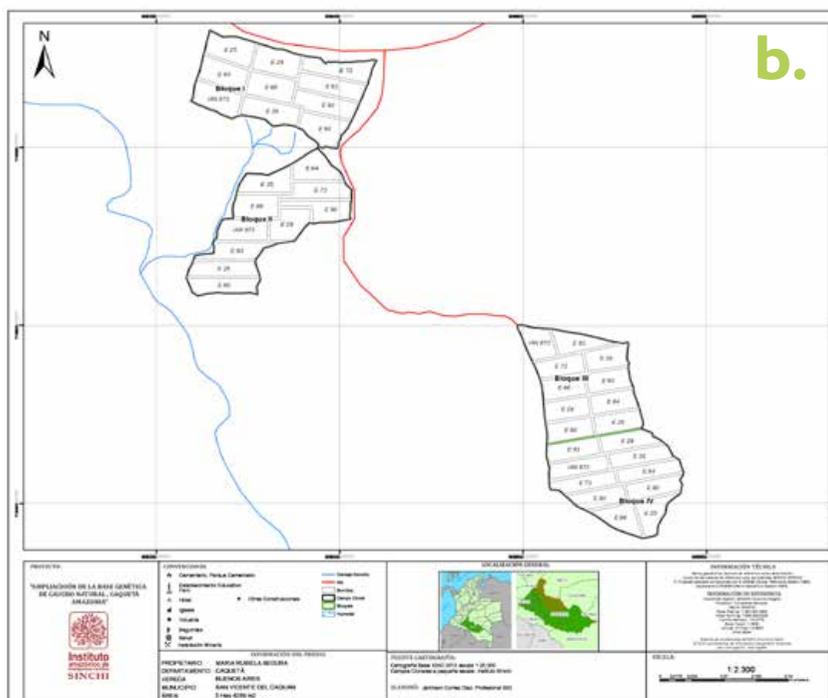
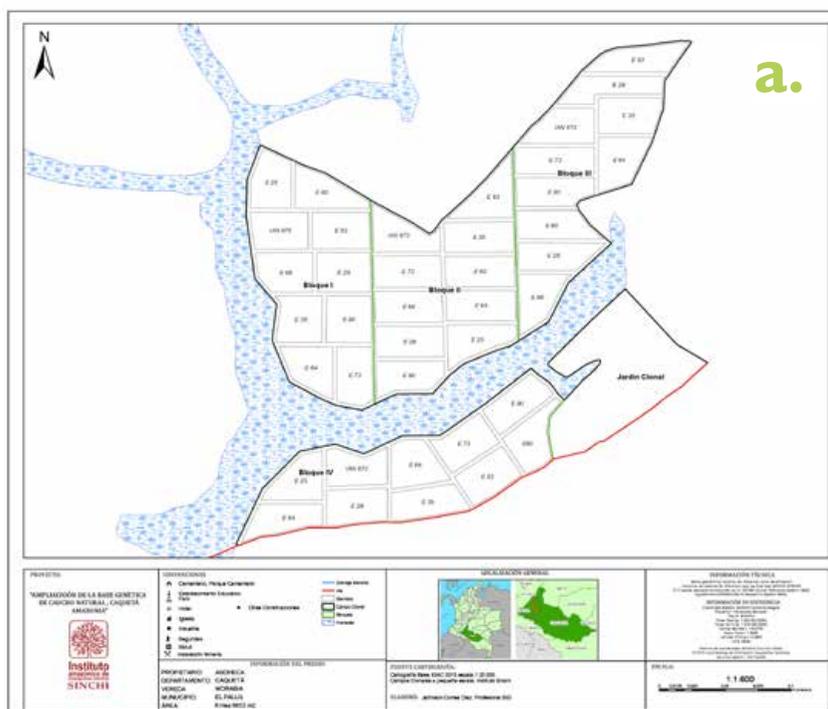
- Montes, S. M., y Costa, V. (2011). Parasitismo de huevos de *Paraselenis flava* (Coleoptera: Chrysomelidae) en batata (*Ipomoea batatas*). *Rev. Colomb. Entomol.* 37(2): 249- 250.
- Nájera, R. M. B., y Souza, B. (2010). Insectos benéficos. Guía para su identificación. Primera edición. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).
- Nates, P. G. (2005). Abejas silvestres y polinización. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica). 75, 8p.
- Nates, P. G., y Fernández, F. (1992). Abejas de Colombia II claves preliminares para las familias, subfamilias y tribus (Hymenoptera: Apoidea). *Acta Biológica Colombiana.* 2(8): 55-89.
- Nault, L. R., y Ammar, E. D. (1989). Leafhopper and planthopper transmission of plant viruses. *Annual review of entomology.* 34(1): 503-529.
- Nichols, E., Spector, S., Louzada, J., Larsen, T., Amezcuita, S., y Favila, M. E. (2008). Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biological Conservation*, 141(6), 1461–1474. <https://doi.org/10.1016/j.BIOCON.2008.04.011>
- Nielson, M. W. (1968). The leafhopper vectors of phytopathogenic viruses (Homoptera, Cicadellidae): taxonomy, biology, and virus transmission (No. 1382). US Department of Agriculture.
- Niemiec, M. (2018). Ilustraciones y ficheros vectoriales de archivo. Mosca doméstica. I23RF. Identificador de imagen 17612696. Recuperado de: https://es.i23rf.com/clipartvectorizado/biting_fly.html?sti=ne4lgux0c3v6hmy7g5|&mediapopup=17612696
- Novais, S. M., Macedo, R. L. E., Darocha, W., y Neves, F. (2016). Effects of habitat management on different feeding guilds of herbivorous insects in cacao agroforestry Systems. Universidad de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* Vol. 64 (2): 763-77. Doi: 10.15517/rbt.v64i2.19100.
- Nylander, E. (2018). Monarch Butterfly Coloring Page Images For Artwork Pages Free. Recuperado de: <http://bridalshowerideas.co/monarch-butterfly-coloring-page/monarch-butterfly-coloring-page-images-for-artwork-pages-free/>.
- Ocampo, A. C., Avila, T. L., Jiménez, M. B., y González, C. L. (2013). Ficha técnica para el manejo del cultivo de caucho en el oriente del departamento de Caldas. Colombia. 7p.
- Ochoa, A. J. C. (1993). Evaluación de tres sistemas de manejo de cultivo de zapallo (*Cucurbita pepo* L.) en la incidencia de virosis. Tesis de pregrado. Escuela Agrícola Panamericana. Honduras.
- Oriani, M. A. G., y Vendramim, J. D. (2010). Influence of trichomes on attractiveness and ovipositional preference of *Bemisia tabaci* (Genn.) B biotype (Homoptera, Aleyrodidae) on tomato genotypes. *Neotropical Entomology.* 39, 1002-1007.
- Palomares, P. M., Barajas, R. M., y Arredondo, B. H. C. (2017). Producción masiva de *Ceraeochrysa valida* (banks) (Neuroptera: Chrysopidae) a 30° C. *Chilean journal of agricultural y animal sciences, (AHEAD)*.
- Pape, T. (1996). Catalogue of the Sarcophagidae of the world (Insecta: díptera). *Memoirs on Entomology, International.* Associated Publishers. 8p.
- Pascual, T. F. (2015). Orden Blattodea. *Rev. IDE@.* Sociedad Entomológica Aragonesa. 48, 1-13. ISSN 2386-7183.
- Proforest, S. A. (2005). Informe final, proyecto familias guarda bosques caucho. Programa Colombia forestal. U.S. Agency for International Development Colombia.

- Rafael, J. A., Melo, G. A., de Carvalho, C. J., Casari, S. A., y Constantino, R. (2012). Insetos do Brasil. Diversidade e taxonomía Brasil: Holos Editora. 810p.
- Ramos, Y., Gómez, J., Espinosa, R., Días, F., Crespo, A., y Machado, R. (2015). Etología de los crisomélidos (Coleóptera: Chrysomelidae) asociados a tres variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en época intermedia. *Revista de Protección Vegetal*. 30(3): 165-170.
- Reguilón, C. (2008). Orden Neuroptera. En: Biodiversidad de Insectos de la Argentina II. San Miguel de Tucumán, Argentina.
- Ribera, I., y Melic, A. (2015). Orden Neuroptera ss (Planipennia). *Revista IDE@-SEA*. 58, 1-12.
- Ríos-Casanova, L. (2014). Biodiversidad de hormigas en México. *Revista mexicana de biodiversidad*. 85, 392-398.
- Santos, M. A., Barrios, H. E., y Luna, I. G. (2009). Diversidad de insectos en cuatro especies de plantas made- rables nativas establecidas en monocultivos y cultivos mixtos en sardinilla, panamá. *Rev. Entomotropica*. 1, 11-22.
- Serna, C. F. J. (2018). Introducción al estudio de los dípteros. Grupo Calyprata. Sarcophagidae. 14p.
- Sperber, C. F., Mews, C. M., Gonçalves, L. M., Chamorro., y Mesa, A. (2012). Orthoptera. En: Rafael, J. A., Melo, G. A., de Carvalho, C. J., Casari, S. A., y Constantino, R. (Eds.). *Insetos do Brasil. Diversidade e taxonomía* (272-286 pp). Brasil: Holos Editora.
- Sterling, A., Rodríguez, C. H. (Eds.). (2011). Nuevos clones de caucho natural para la Amazonia Colombiana: Énfasis en la resistencia al mal suramericano de las hojas (*Microcyclus ulei*). Instituto Amazónico de Inves- tigaciones Científicas – SINCHI. Bogotá, Colombia. 195 p.
- Sterling, C. A., Salas, T. Y. M., Virgüez, D. Y., Vargas, L. M. A., Obando, G. L. K. (2014). Evaluación fitosanitaria con énfasis en la reacción a *Microcyclus ulei* de tres clones de caucho (*Hevea brasiliensis*) en sistema agro- forestal con copoazú (*Theobroma grandiflorum*) y plátano hartón (*Musa AAB*). (Capítulo 3) pp.107-191. En: Sterling, C. A.; y Rodríguez, L. C. H. (Eds.). *Agroforestería en el Caquetá: clones promisorios de caucho en asocio con copoazú y plátano hartón con potencial para la Amazonia colombiana*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas–SINCHI. Scripto S.A.S. Bogotá. Colombia. 220p.
- Sterling, A., Salas, T. Y. M., y Virgüez, D. Y. (2016). *Erinyis ello* (Lepidoptera: Sphingidae) y *Leptopharsa heveae* (Hemiptera: Tingidae) en *Hevea brasiliensis* en sistema agroforestal. *Revista Colombiana de Entomología*. 42(2): 124-132.
- Sterling, A., Rodríguez, C.H. (Eds.). (2018). Estrategias de manejo para las principales enfermedades y plagas del cultivo del caucho con énfasis en la amazonia colombiana. Bogotá, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi, 2018
- Stireman, J. O., O'Hara, J. E., y Wood, D. M. (2006). Tachinidae: evolution, behavior, and ecology. *Annu. Rev. Entomol.* 51, 525-555.
- Tolrá, M. C. (1997). Los dípteros y el hombre. *Bol. Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A)*, 20, 405-425. Consultado el 26 de agosto de 2018. En: http://sea-entomologia.org/PDF/BOLETIN_20/B20-039-405.pdf.
- Tolrá, M. C. (2015). Orden díptera. *Rev. Ibero diversidad entomológica*. N° 63. Sociedad entomológica aragonesa.
- Torruella, X. J. (2004). Himenópteros con potencial patógeno para el ser humano. *Piel*. 19(10): 538-548. doi:10.1016/s0213-9251(04)72910-x.

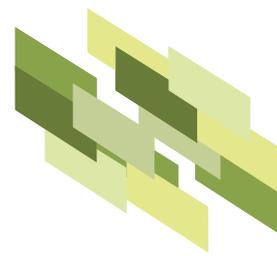
- Triplehorn, C. A., y Jonhson, N. F. (2005). Borrór and DeLon´s. Introduction to the study of Insects. United States of America. Thomson Brooks/ Cole. 477p.
- Trochez, A. (1987). Manual de reconocimiento de insectos asociados en productos almacenados. IICA / ICA. Bogotá, Colombia. 98p.
- Ugine, T. A. (2012). Developmental times and age-specific life tables for *Lygus lineolaris* (Heteroptera: Miridae), reared at multiple constant temperatures. *Environmental Entomology*. 41, 1-10.
- Vázquez, M. L. L. (2012). Los insectos, los agricultores y el manejo de la finca .Leisa, *Rev. Agroeco*. 28, 5-8. Recuperado de <http://www.leisa-al.org/web/images/stories/revistapdf/vol28n1.pdf>.
- Vega, P. B. (2003). Dípteros de interés agronómico. Agromicídios plaga de cultivos hortícolas intensivos. *Bol. SEA*. 33(1): 293-307.
- Verde, M., y Demedio, J. (2010). Origen e importancia de la apicultura en el contexto agrícola actual. *Rev. Asociación Cubana de Producción Animal (ACPA)*.Cuba.
- Wappler, T., Engel, M. S., y Haas, F. (2005). The earwigs (Dermaptera: Forficulidae) from the middle Eocene Eckfeld maar, Germany. *Polskie Pismo Entomologiczne*. 74(3): 227-250.
- Wolff, E. M. (2006). Insectos de Colombia. Guía básica de familias. Universidad de Antioquia. Colombia. Laboratorio de Colecciones Entomológicas- GLEM. 275p.
- Yepes, R. F. (1999). Las hormigas arrieras (Hymenoptera: Formicidae) en los ecosistemas de frutales. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia.
- Zaragoza, C. S., Sarmiento, C. M. A., Pacheco, R. M. L., y Zurita, G. M. L. (2006). Patrones de distribución de la familia Lycidae (Coleóptera). En: Morrone, J. J., y Llorente, B (Eds). Componentes bióticos principales de la entomofauna Mexicana Las prensas de ciencias. UNAM. México. D.F. 393-424pp.

APÉNDICES

Apéndice I. Planos del diseño experimental en dos campos clonales a gran escala CCGE de caucho (*Hevea brasiliensis*) en Caquetá. **A.** municipio de El Paujil. **B.** municipio de San Vicente del Caguán.



Fuente: Sterling y Rodriguez (2018)



Apéndice 2. Listado de familias de insectos y números de individuos registrados en 9 genotipos élite y en el clon testigo IAN 873 de caucho (*Hevea brasiliensis*) en dos campos clonales a gran escala (El Paujil y San Vicente del Caguán).

Familia	El Paujil										San Vicente del Caguán									
	E25	E29	E35	E60	E64	E66	E73	E83	E90	IAN 873	E25	E29	E35	E60	E64	E66	E73	E83	E90	IAN 873
Formicidae	509	441	398	336	402	781	757	487	863	453	260	100	230	244	231	202	171	155	140	207
Vespidae	2	1	0	1	2	1	3	6	5	0	3	12	1	4	6	1	2	6	42	8
Ichneumonidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	7	3	1	2	3	2	0	0	0
Dryinidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Chalcididae	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	3	1	1	1	0	0	0
Halictidae	1	2	1	2	3	2	4	3	1	0	1	1	3	1	6	3	6	1	8	7
Tenthredinidae	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Eucharitidae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
Evanidae	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Apidae	0	0	1	0	0	1	1	0	2	0	8	6	3	3	8	2	6	3	7	8
Chrysididae	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Braconidae	0	0	0	2	0	1	0	2	1	0	0	0	0	1	0	2	0	1	0	0
Eurytomidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
Proctotrupidae	0	0	0	0	1	0	2	0	2	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0
Diapriidae	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Perilampidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Pteromalidae	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Aphelinidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pompilidae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Colletidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Eulophidae	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Mutillidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Pentatomidae	3	0	2	3	2	1	1	7	1	0	3	19	3	1	1	2	2	2	4	3
Membracidae	3	9	2	4	2	6	3	6	1	1	1	1	7	2	3	3	3	3	5	3
Cicadellidae	5	4	4	6	8	1	1	8	0	0	3	10	8	6	8	6	8	9	8	8
Coreidae	2	2	0	0	1	1	1	1	2	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0
Reduviidae	10	3	6	6	7	5	12	7	6	6	6	1	3	7	2	1	0	0	5	2
Cercopidae	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pyrrhocoridae	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Tingidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Scutelleridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	1	0	0
Lygaeidae	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	8	2	3	11	14	2	10	2	2	4
Flatidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cicadidae	0	0	1	1	0	1	2	0	1	0	1	0	0	3	2	1	2	0	1	1
Alydidae	4	1	0	3	4	0	3	0	2	4	3	4	0	6	1	1	2	7	3	2
Berytidae	2	0	0	0	2	0	0	2	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	2
Rhyparochromidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	3	0	2	0	5	3	1
Pachygronthidae	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	5	3	2	72	3	3	1	7	60	4
Derbidae	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	2	1	1	1	0	1	0
Largidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
Fulgoridae	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	4	4	4	0	3	3	4	2	3	3
Cixiidae	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anthocoridae	0	0	2	2	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Chrysomellidae	52	19	24	73	63	166	35	53	32	24	23	18	27	25	26	20	35	25	22	35
Curculionidae	0	1	0	1	1	2	0	4	1	0	1	2	0	3	0	0	2	0	0	0
Lampyridae	11	11	13	9	14	25	7	23	2	4	13	0	0	0	0	3	2	0	0	0
Lycidae	1	0	1	1	0	3	0	0	2	2	8	3	3	11	7	2	2	24	4	5

Apéndice 2 (cont). Listado de familias de insectos y números de individuos registrados en 9 genotipos élite y en el clon testigo IAN 873 de caucho (*Hevea brasiliensis*) en dos campos clonales a gran escala (El Paujil y San Vicente del Caguán).

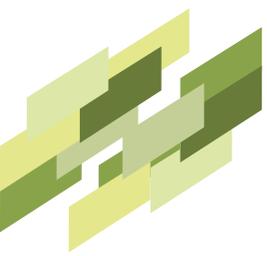
Familia	El Paujil										San Vicente del Caguán									
	E25	E29	E35	E60	E64	E66	E73	E83	E90	IAN 873	E25	E29	E35	E60	E64	E66	E73	E83	E90	IAN 873
Coccinelidae	0	0	0	3	2	0	3	6	1	0	3	3	0	0	0	2	0	1	1	1
Buprestidae	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Meloidae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Nitidulidae	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Mordeliidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Erotylidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
Cerambycidae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Brentidae	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elateridae	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cantharidae	2	6	0	0	1	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Muscidae	0	2	2	1	2	4	0	2	2	0	0	0	0	2	1	2	1	0	0	6
Tephritidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
Dolichopodidae	2	2	1	1	0	3	2	0	0	1	2	2	1	5	1	3	0	1	1	0
Milichidae	1	2	0	1	0	3	3	6	2	2	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1
Sepsidae	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1
Lauxaniidae	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	1	2	0
Drosophilidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Ulidiidae	0	2	0	1	1	0	0	2	1	1	0	0	1	0	2	0	1	0	1	0
Sarcophagidae	3	6	4	5	15	3	3	16	6	1	0	1	1	1	3	0	4	1	1	1
Tachinidae	5	3	2	9	7	31	15	4	18	5	2	1	3	0	2	1	3	2	0	1
Syrphidae	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	3	1
Clusidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Ephydriidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1
Sciaridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Stratiomyidae	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	3	4	0	1	0	0	0	1
Limoniidae	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Culicidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mycetophilidae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lonchaeidae	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Empididae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Calliphoridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Bibionidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	1	0	0
Canacidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Phoridae	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
Micropezidae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
Chrysopidae	0	0	0	3	2	1	0	0	0	2	0	0	0	1	1	0	0	1	0	3
Mantispidae	0	2	2	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Acrididae	3	1	3	0	0	1	2	2	1	0	1	2	2	2	3	1	4	6	4	2
Tettigoniidae	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
Romaleidae	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Blatellidae	0	0	0	1	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Forficulidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Cambridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Noctuidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	63	52	476	488	555	1050	869	655	970	508	389	208	321	432	354	281	291	283	333	332



Apéndice 3. Gusano cachón (*Erinnys ello*), principal plaga observada en los dos campos clonales a gran escala CCGE de caucho (*Hevea brasiliensis*) en Caquetá.



Fuente: elaboración propia





CAPÍTULO 2

Diversidad de aves presentes en diferentes sistemas de producción de caucho asociados a progenies élite de *Hevea brasiliensis* en el departamento del Caquetá



Eidy Janeth Martínez-Viuche¹, Armando Sterling Cuéllar^{2*},
Jesica Andrea Fonseca-Restrepo¹, Ginna Patricia Velasco-Anaconda¹, Carlos Hernando Rodríguez León², Diego Ferney Caicedo Rodríguez², Bernardo Betancurt Parra²

¹ Co-Investigador del proyecto - Convenio 59- 2013 - Gobernación de Caquetá-Instituto SINCHI

² Investigador Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Sede Florencia

* Autor para correspondencia: asterling@sinchi.org.co



INTRODUCCIÓN

Las aves poseen características bien definidas que les permite ser catalogadas como excelentes indicadores de la biodiversidad; algunas de estas características son: comportamiento llamativo, identificación rápida y confiable, diversidad y especialización ecológica, amplia distribución geográfica, proveen múltiples funciones ecosistémicas (dispersión de semillas, depredación, control de plagas), y son sensibles a las perturbaciones en el hábitat (González et al., 2003; Villarreal et al., 2004; Sekercioglu, 2006; Torresan, 2017).

Los efectos de la transformación de los paisajes naturales inciden directamente en la diversidad de especies y su abundancia relativa (Stauffer y Best, 1980; Balent y Courtiade, 1992; McIntyre, 1995; Lindenmayer y Hobbs, 2004). Particularmente, en las comunidades de aves la variación de los elementos del paisaje natural o modificado por intervención antrópica (paisajes productivos), proporcionan recursos como alimentación, refugio, sitios de anidación, y conectividad entre coberturas naturales e intervenidas, permitiendo atraer, sostener y mantener, determinadas especies de aves en diversos ecosistemas (Barrett et al., 1994; Haslem y Bennett, 2008; Nájera y Simonetti, 2010) y agroecosistemas presentes en regiones tropicales con alto valor agroambiental (Thiollay, 1995; Beukema et al., 2007; Sterling et al., 2014) damar (*Shorea javanica*).

Entre estos agroecosistemas, se destaca el cultivo del caucho (*Hevea brasiliensis*), una especie forestal caducifolia, originaria de Sudamérica y utilizada tradicionalmente en la obtención de látex destinado principalmente a la industria llantera (Compagnon, 1998). Esta especie, estructuralmente se caracteriza por una amplia adaptabilidad para asociarse con diferentes tipos de coberturas vegetales maderables y no maderables (sistemas agroforestales), vegetación en regeneración natural, tierras de pastoreo y monocultivos, sirviendo de hábitat para muchas especies de aves al proveer refugio, alimentación y anidación (Gouyon et al., 1993; Beukema et al., 2007; Sterling et al., 2014).

En regiones como la Amazonia colombiana y en zonas con amplia tradición cauchera como el departamento del Caquetá, en los últimos 15 años el cultivo de caucho se ha venido asociando con diferentes coberturas vegetales principalmente frutales y maderables, como una alternativa productiva sostenible orientada a la reconversión del uso inadecuado de suelo y a la sustitución de otras prácticas agrícolas de uso ilícito (Melgarejo et al., 2006; Barrera et al., 2009; Sterling y Rodríguez, 2014, 2015). Si bien estas plantaciones no compensan en su totalidad el impacto que generan los paisajes modificados, pueden proporcionar un mosaico de coberturas, representando importantes hábitats para la conservación de diversas especies de aves y contribuyen con la conectividad entre parches fragmentados (Beukema et al., 2007).

Sin embargo, para que estos sistemas de producción con caucho no sólo cumplan con su función productiva, sino también con su función ambiental como la conservación de la biodiversidad y en este particular del recursos avifaunístico, es fundamental que el mosaico de coberturas generadas por esta especie tenga la suficiente capacidad para ofrecer hábitat y alimento, las cuales están directamente relacionadas con la calidad del dosel, la que a su vez está influenciada por el material genético asociado a estos sistemas, pues, un dosel sano con mayor densidad foliar tiene más capacidad de ofrecer mejores condiciones ecológicas para la avifauna (Sterling et al., 2014).

En este sentido, en el año 2016 el Instituto SINCHI en alianza con la Universidad de la Amazonia y el gremio de productores de caucho Asoheca, realizaron la identificación y selección de nuevos materiales genéticos de caucho con características agronómicas y fitosanitarias sobresalientes, denominados árboles élite francos (origen sexual), o progenies élite presentes en fincas de productores de caucho en departamento del Caquetá, como una alternativa de rescate del germoplasma local con potencial de uso para recuperar la productividad del sector cauchero en el departamento (Sterling y Rodríguez, 2017), el cual históricamente ha reducido significativamente sus índices de rendimiento principalmente por problemas fitosanitarios (Sterling y Rodríguez, 2011, 2012), una situación que desde luego ha afectado la competitividad de este sector productivo y por tanto, la calidad ambiental de los bienes y servicios ecosistémicos que el mismo puede proveer (Sterling *et al.*, 2014).

De acuerdo con lo anterior, y en el marco de la identificación y selección de estos nuevos materiales genéticos, se efectuó el registro visual de las principales aves presentes en diversos sistemas de producción con caucho (monocultivo, agroforestal y con regeneración natural) asociados a estas progenies élite de *H. brasiliensis*, con el fin de reconocer y valorar la importancia ambiental de estos sistemas y contribuir con bases técnicas tendientes a generar pautas para el manejo y conservación de la avifauna asociada a sistemas productivos.

En este capítulo se presentan los resultados del registro visual de aves realizado durante el proceso de identificación y selección de 99 progenies élite de *H. brasiliensis* en 26 fincas de productores de caucho en 12 municipios del departamento del Caquetá.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El departamento del Caquetá, se encuentra localizado al sur de Colombia, forma parte de la región amazónica y de la subregión denominada Amazonia occidental, comprende un total de 16 municipios, siendo Florencia la capital del departamento (Figura 2.1). En cuanto a la precipitación se ha reportado totales anuales de 3000 y 4000 mm para una franja por debajo de los 300 m, la temperatura media anual es de 25,2°C, y la clasificación climática según Caldas Lang, es de cálido semihúmedo a húmedo y cálido húmedo (IGAC, 2010). Fisiográficamente, el departamento cuenta con zonas bien diferenciadas representadas por Zona de cordillera, Zona de piedemonte, Zona de altillanura y Zona de llanura Oriental (Ojeda, 2004).



Figura 2.1. Localización geográfica de las 26 fincas caucheras donde se realizó el registro visual de aves durante la identificación y selección de progenies élite de caucho, en 12 municipios del departamento de Caquetá.

Fuente: Elaboración propia.

La observación de aves se realizó en 12 municipios del departamento de Caquetá, incluyendo 26 fincas con plantaciones de caucho con diferentes sistemas de producción (monocultivo, agroforestal y regeneración natural), caracterizadas previamente en Caquetá por Sterling *et al.* (2014), y que para el presente estudio se describen en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Caracterización de las 26 fincas caucheras visitadas en 12 municipios del departamento de Caquetá.

FINCA	MUNICIPIO	VEREDA	SISTEMA	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (m)	EDAD (Años)	PROGENIE ÉLITE (PE)
Finca 1	Albania	El Quebradon	AG	01° 6' 34.6"	75° 7' 11.6"	303	13	PE 69, PE 71, PE 73, PE 74, PE 75
Finca 2	Albania	La Arenosa	AG	01° 17' 14.5"	75° 54' 01.3"	320	25	PE 42, PE 44, PE 45, PE 46
Finca 3	Albania	La Chuscalosa	RN	01° 14' 36.6"	75° 51' 00.1"	270	14	PE 77
Finca 4	Albania	Las Delicias	AG	01° 17' 22.0"	75° 55' 01.9"	330	13	PE 78
Finca 5	Belén de los Andaquíes	La Mono	RN	01° 17' 56.2"	75° 48' 31.6"	241	30	PE 29, PE 32, PE 33, PE 35, PE 37
Finca 6	Cartagena del Chairá	La Primavera	RN	01° 21' 28.7"	74° 44' 14.0"	255	30	PE 79, PE 80, PE 81, PE 82
Finca 7	Cartagena del Chairá	Teusaquillo	RN	01° 07' 26.4"	74° 50' 55.4"	247	30	PE 84, PE 85, PE 86, PE 88, PE 89, PE 128
Finca 8	Cartagena del Chairá	Teusaquillo	RN	01° 08' 60.4"	74° 51' 31.7"	275	20	PE 90
Finca 9	Doncello	La Tigresa	M	01° 37' 32.2"	75° 07' 48.1"	328	50	PE 120, PE 121, PE 122, PE 123
Finca 10	Florencia	Germania	AG	01° 25' 01.8"	75° 32' 43.4"	214	25	PE 47, PE 48
Finca 11	La Montañita	La Tigresa	RN	01° 26' 18.85"	75° 16' 39.0"	271	25	PE 127
Finca 12	Morelia	La Raya	M	01° 24' 20.9"	75° 36' 40.0"	217	25	PE 38, PE 39
Finca 13	Morelia	Rochela Alta	RN	01° 20' 59.1"	75° 40' 55.0"	304	30	PE 124, PE 125
Finca 14	Puerto Rico	12 de Octubre	M	01° 59' 27.9"	74° 57' 25.7"	337	22	PE 8, PE 11, PE 12
Finca 15	Puerto Rico	Buena Vista	M	01° 48' 28.6"	75° 11' 29.2"	341	21	PE 13, PE 15, PE 16, PE 17, PE 18, PE 20
Finca 16	Puerto Rico	Buena Vista	AG	01° 48' 12.8"	75° 08' 18.7"	277	27	PE 25
Finca 17	Puerto Rico	Coconuco	M	01° 47' 30.4"	75° 12' 42.0"	217	25	PE 93, PE 96
Finca 18	Puerto Rico	Maracaibo 1	M	01° 38' 06.1"	74° 56' 33.2"	283	29	PE 102, PE 103, PE 104
Finca 19	Puerto Rico	Maracaibo 2	RN	01° 38' 30.3"	74° 56' 44.2"	223	29	PE 105, PE 106
Finca 20	Puerto Rico	Nasa Kiwe	M	01° 59' 15.1"	74° 57' 34.8"	351	22	PE 62, PE 63, PE 64, PE 65, PE 66, PE 67
Finca 21	San José del Fragua	Bella Vista	RN	01° 18' 04.69"	75° 59' 29.13"	412	25	PE 113
Finca 22	San Vicente del Caguán	Buenos Aires	AG	02° 03' 11.4"	74° 55' 07.4"	332	25	PE 55, PE 56, PE 57
Finca 23	San Vicente del Caguán	Buenos Aires	M	02° 03' 32.6"	74° 55' 36.4"	334	22	PE 58, PE 59, PE 60
Finca 24	Solita	El Carmelo	RN	00° 58' 49.8"	75° 48' 36.7"	275	24	PE 101
Finca 25	Valparaiso	Galilea	M	01° 05' 31.5"	75° 47' 22.9"	242	14	PE 91, PE 92, PE 94, PE 95, PE 126
Finca 26	Valparaiso	Los Cedros	RN	01° 01' 16.0"	75° 45' 39.7"	277	35	PE 97, PE 98

AG: Agroforestal (Caucho, copoazú, cacao y plátano), **M:** Monocultivo (Caucho), **RN:** Regeneración natural (Caucho, vegetación arbustiva y arbórea)

Observación e identificación de aves

Mediante el método de observación directa se realizó el registro e identificación de aves, para lograrlo se empleó binoculares, cámara fotográfica y guías de campo. Como información adicional para caracterizar las especies observadas, se tuvo en cuenta atributos como: Localidad, altitud,

sistema productivo y/o cobertura vegetal, edad de la plantación, coordenadas, y la progenie élite de caucho previamente identificada y seleccionada.

Las coordenadas registradas en las 26 fincas caucheras visitadas en los 12 municipios del departamento de Caquetá, donde se realizó la observación de aves, fueron ilustradas en la figura 2.1. a través del software ArcGIS 10.4.



Figura 2.2. Registro fotográfico de individuos de guacamayas azuliamarillas (*Ara ararauna*), en dosel de árboles élite de caucho, mediante el método observación directa en un monocultivo ubicado en el municipio de Puerto Rico, Caquetá.

Fuente: Elaboración propia.

La caracterización de las aves avistadas se registró en fichas técnicas de campo incluyendo información como: fecha, hora, orden, familia, nombre científico, nombre común, abundancia y la actividad de la especie (reproducción, alimentación, anidación o percha). La clasificación taxonómica de cada especie se efectuó usando la Guía de campo de las aves de Colombia de Hilty y Brown (1986) y de McMullan *et al.* (2011). Además, se contó con el apoyo de especialistas del Instituto SINCHI sede Leticia para la confirmación taxonómica de las identificaciones realizadas.

■ Análisis estadísticos

Se realizó un análisis de conglomerados mediante el método de Ward y la distancia de Euclidea con el fin de agrupar las 26 fincas en tipologías basadas en las abundancias de las especies observadas. Luego, se calcularon los índices biológicos: riqueza, abundancia, diversidad de Shannon y dominancia de Simpson. Finalmente, un análisis de varianza (anova), permitió establecer comparaciones entre tipologías para los cuatro índices estudiados. Todas las pruebas estadísticas se realizaron con el software InfoStat versión 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).

■ Descripción de especies observadas

A partir del registro visual de la avifauna reportada durante el proceso de identificación y selección de las progenies élite de *H. brasiliensis* en las 26 fincas caucheras distribuidas en 12 municipios del Caquetá, se generaron una serie fichas descriptivas para las principales especies donde se incluyó información taxonómica, nombre común, aspectos ecológicos y distribución geográfica teniendo en cuenta la descripción encontrada en Hilty y Brown (1986), Restall *et al.* (2006) y McMullan (2018). Las especies se muestran según la clasificación taxonómica y secuencia lineal propuesta por McMullan (2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tipificación y caracterización de fincas caucheras a partir de la avifauna presente en diferentes sistemas de producción de caucho

Se observaron 48 especies, distribuidas en 9 órdenes, representadas en 22 familias, donde Tyrannidae agrupó el mayor número de especies (14), seguida de Thraupidae (5), el número de individuos por familia más representativo se observó en Thraupidae con 76 e Icteridae con 36, las especies con mayor número de individuos fueron la guacamaya azuliamarilla (*Ara ararauna*), con 35, azulejo palmero (*Thraupis palmarum*) con 31, azulejo común (*Thraupis episcopus*), con 24 y toche negro (*Ramphocelus carbo*), con 15. A través de un análisis de conglomerados se realizó la clasificación de las 26 fincas caucheras en cinco grupos o tipologías productivas, denominadas T1, T2, T3, T4 y T5 (Figura 2.3 y tabla 2.2).

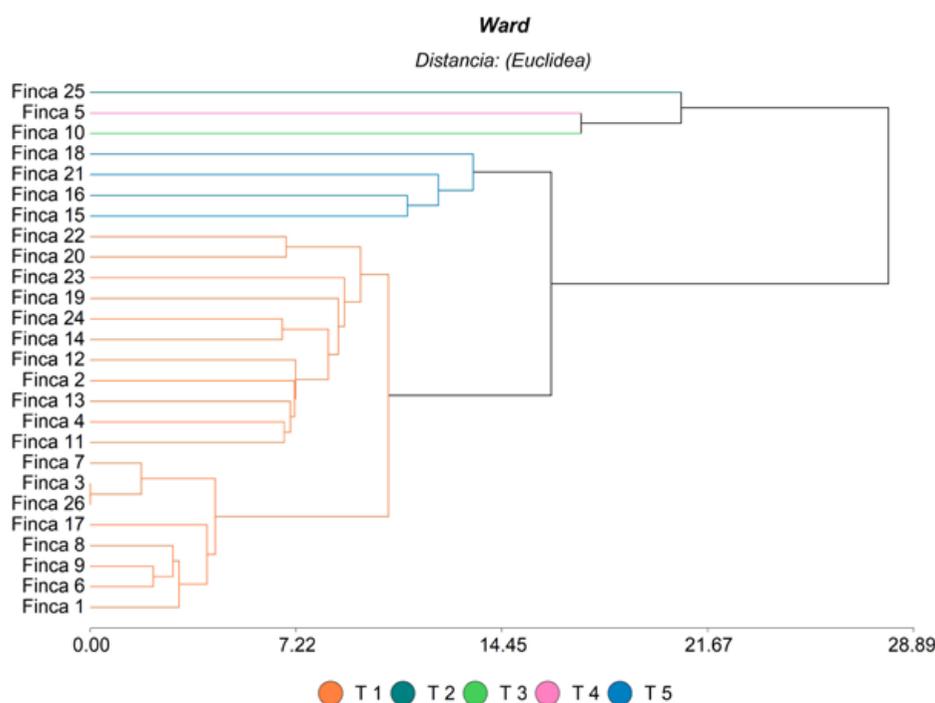


Figura 2.3. Análisis de conglomerados jerárquicos generado mediante el algoritmo Ward y la distancia de Euclidea sobre la matriz de abundancia de las aves asociadas a las progenies élites presentes en 26 fincas caucheras del departamento del Caquetá.

Fuente: Elaboración propia.

En este sentido la tipología T1 con el mayor número de 19 fincas reportó el mayor número de detecciones de aves (Tabla 2.2). Sin embargo, en esta tipología se registró una baja riqueza, la cual osciló entre 1 a 5 especies destacándose *Ara ararauna* y *Thraupis episcopus*, con 15 y 14 individuos, respectivamente.

Tabla 2.2. Tipologías generadas en el análisis de conglomerados de las 26 fincas caucheras en el departamento del Caquetá.

TIPOLOGÍA	FINCA	PROGENIE ÉLITE (PE)	SISTEMA	LOCALIZACIÓN
T1	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 17, 19, 20, 22, 23, 24, 26	PE 69, PE 71, PE 73, PE 74, PE 75, PE 77, PE 42, PE 44, PE 45, PE 46, PE 77, PE 78, PE 79, PE 80, PE 81, PE 82, PE 84, PE 85, PE 86, PE 88, PE 89, PE 128, PE 90, PE 120, PE 121, PE 122, PE 123, PE 127, PE 38, PE 39, PE 124, PE 125, PE 8, PE 11, PE 12, PE 93, PE 96, PE 105, PE 106, PE 62, PE 63, PE 64, PE 65, PE 66, PE 67, PE 55, PE 56, PE 57, PE 58, PE 59, PE 60, PE 101, PE 97, PE 98	Agroforestal, monocultivo, regeneración natural	Albania, Cartagena del Chaira, El Doncello, La Montañita, Morelia, Puerto Rico, San Vicente del Caguán, Solita, Valparaíso
T2	Finca 25	PE 91, PE 92, PE 94, PE 95, PE 126	Monocultivo	Valparaíso
T3	Finca 10	PE 47, PE 48	Agroforestal	Florencia
T4	Finca 5	PE 29, PE 32, PE 33, PE 35, PE 37	Regeneración Natural	Belén de los Andaquíes
T5	Finca 15, Finca 16, Finca 18, Finca 21	PE 13, PE 15, PE 16, PE 17, PE 18, PE 20, PE 25, PE 102, PE 103, PE 104, PE 113	Agroforestal, monocultivo, regeneración natural	Puerto Rico, San José del Fragua

Las fincas 9, 14 y 17 agrupadas en la tipología T1 ubicadas en los municipios de El Doncello y Puerto Rico y con monocultivos de caucho, permitieron detectar la presencia de *A. ararauna* alimentándose de las semillas de *H. brasiliensis* (Figura 2.4). Si bien la implementación de sistemas productivos en monocultivo representan una disminución en la diversidad de especies (Herrera *et al.*, 2005; Sicard y Altieri, 2010), en los cultivos de caucho se han reportado diferentes elementos estructurales que han contribuido a la conservación de la biodiversidad al constituir agroecosistemas que proveen hábitat y alimento para muchas aves (Beuckema *et al.* 2007; Sterling *et al.* 2014).

Característicamente, *A. ararauna* se alimenta en el dosel de los árboles, de forma silenciosa y se mueve estacionalmente en búsqueda de alimento, empleando bosques caducifolios en áreas secas (Hilty y Brown, 1986; Lindenmayer, 2004; Restall *et al.*, 2006; Haslem y Bennett, 2008), coincidiendo con lo reportado en la presente investigación (Figura 2.4).

La tipología T2 estuvo representada por la Finca 25, un monocultivo de caucho ubicado en el municipio de Valparaíso donde se seleccionaron las PE 91, PE 92, PE 94, PE 95 y PE 126 (Tabla 2.2). En esta tipología se registraron 36 individuos representados por 19 especies, siendo la segunda tipología con mayor riqueza y donde se registró la especie más abundante (Oropéndola crespado), (Figura 2.35). Esta especie se observó anidando en los doseles de diversas progenies élite de caucho (Figura 2.5) de forma similar a lo observado con la especie bichofué picudo (*Megarynchus pitangua*), donde se observaron individuos en etapa juvenil alojados en nidos (Figura 2.6).

De acuerdo con Peña *et al.* (2014), el género *Psarocolius* (oropéndola), suele encontrarse en parejas o en grupos forrajeando en la parte alta del dosel de los árboles y se caracteriza por construir en las ramas altas de los árboles nidos en forma de bolsa colgante. En el caso particular de la especie *Psarocolius angustifrons*, se ha documentado su hábito colonial para anidar, generando grupos de 5 a 10 nidos en una misma área, lo cual se evidencia en la figura 2.5.

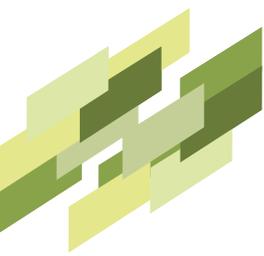




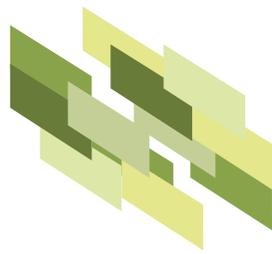
Figura 2.4. Guacamayas azuliamarillas (*Ara ararauna*) alimentándose de semillas de caucho en el municipio de Puerto Rico, Caquetá.

Fuente: Elaboración propia



Figura 2.5. Nidos de *Psarocolius angustifrons* (oropéndolas) observados en la finca 25, ubicada en Valparaíso, Caquetá.

Fuente: Elaboración propia.



A diferencia de muchas especies, *Megarynchus pitangua* (bichofue picudo), (Figura 2.6), anida en árboles de copa abierta con poco follaje, generalmente de 6-30 m de altura, poniendo de 2 a 3 huevos blanquecinos, gruesos, moteados marrones y lilas pálidas (Hilty y Brown, 1986). Esta característica fue visible en progenies élite de caucho cuya arquitectura de copa media o regular favoreció el crecimiento de diversa crías de este passeriforme (Figura 2.6).



Figura 2.6. Juveniles en nido de bichofué picudo (*Megarynchus pitangua*) observados en la finca 25, ubicada en el municipio de Valparaíso, Caquetá. Fuente: Elaboración propia.

En la tipología T3 se ubicó la finca 10, un sistema agroforestal en asocio de caucho con plantas de café, establecido en el municipio Florencia (Tabla 2.2). El área limita con cuerpos de agua, vegetación en zonas inundables y bosque denso (Figura 2.7). En esta tipología se evidenció conectividad entre bosques fragmentados, donde se reportó 18 individuos distribuidos en 13 especies, representados por especies como atila acanalado (*Attila cinnamomeus*) (Figura 2.27), arrocero buchicastaño (*Sporophila angolensis*) (Figura 2.30) y el frutero vulturino (*Gymnoderus foetidus*) (Figura 2.28) que se alimenta principalmente de frutos de yarumo y palmas, también de algunos insectos.

De acuerdo con Sreekar *et al.* (2016), las especies de aves frugívoras que se encuentran en plantaciones de caucho requieren más áreas de bosque que los insectívoros, debido a la falta de recursos adecuados en el cultivo. Sin embargo, el reporte de algunas de estas especies en estos sistemas productivos puede ser atribuido, a la dinámica de conectividad que ofrece estos sistemas entre parches fragmentados (Cotter *et al.*, 2009). En la figura 2.7, se observa la tipología 3 representada por la finca 10, en un sistema agroforestal de caucho en asocio con el cultivo de café, conectado a bosques densos fragmentados y cuerpos de agua.

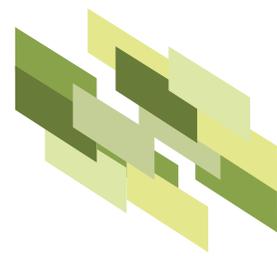


Figura 2.7. Ubicación geográfica de la tipología T3 en un sistema agroforestal de asocio caucho y café, establecido en el municipio Florencia, Caquetá.

Fuente: Google Earth (2018).

La tipología T4 con 12 especies y 21 individuos correspondió a la finca 5, una plantación de caucho en sistema de regeneración natural, ubicada en el municipio de Belén de los Andaquíes, donde se destacó *Thraupis episcopus* (Figura 2.31) con cuatro individuos. Además, se registraron dos especies migratorias boreales: la reinita rayada (*Setophaga striata*) representada en la Figura 2.34 y el atrapamoscas sulfurado (*Myiodynastes luteiventris*) (Figura 2.25), es decir, aves que se desplazan con bastante frecuencia en busca de alimento, parejas sexuales, refugios temporales o permanentes y para escapar de depredadores (Naranjo et al., 2012).

Finalmente, la tipología T5 agrupó cuatro fincas (15, 16, 18 y 21), las tres primeras ubicadas en Puerto Rico y la cuarta en San José del Fragua (Tabla 2.2), en esta tipología se observaron 18 especies con 65 individuos. En la finca 18 se registró un individuo de *Coccyzus americanus* (Figura 2.13) un ave migratoria boreal, además una pareja de *Piaya cayana* (Figura 2.8), esta especie también fue registrada en las fincas 15 y 16; y en la finca 21 se reportó la especie *Setophaga striata* reportada en la tipología T4.



El cuco ardilla (*Piaya cayana*) (Figura 2.8) reportada en la tipología T5 es una de las especies más versátiles, pues, habita en áreas modificadas en recuperación, con cobertura vegetal en regeneración natural y en plantaciones forestales y su dieta se basa principalmente en insectos (Hilty y Brown, 1986; Sreekar et al., 2016). En el presente estudio se observó esta especie depredando larvas de gusano peludo (*Premolis semirufa*), un insecto plaga que genera cortes de forma angular en las nervaduras de las hojas adultas del caucho (Sterling et al., 2011, 2012), por lo que esta especie podría considerarse como un excelente biocontrolador del gusano peludo, lo que resalta aún más la necesidad de conservar su hábitat y la importancia que tienen los cultivos de caucho en la conservación de esta especie.



Figura 2.8. Ejemplar de cuco ardilla (*Piaya cayana*) en plantación de caucho en monocultivo, ubicado en el municipio de Puerto Rico, Caquetá.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la figura 2.9A y B, las tipologías T1 y T5 (ambas con los tres sistemas de producción de caucho) presentaron la mayor riqueza y abundancia de especies de aves. No obstante, la diversidad de especies fue muy similar entre las cinco tipologías (Figura 2.9C) y la tipología T5 presentó la mayor dominancia de especies (Figura 2.9D).

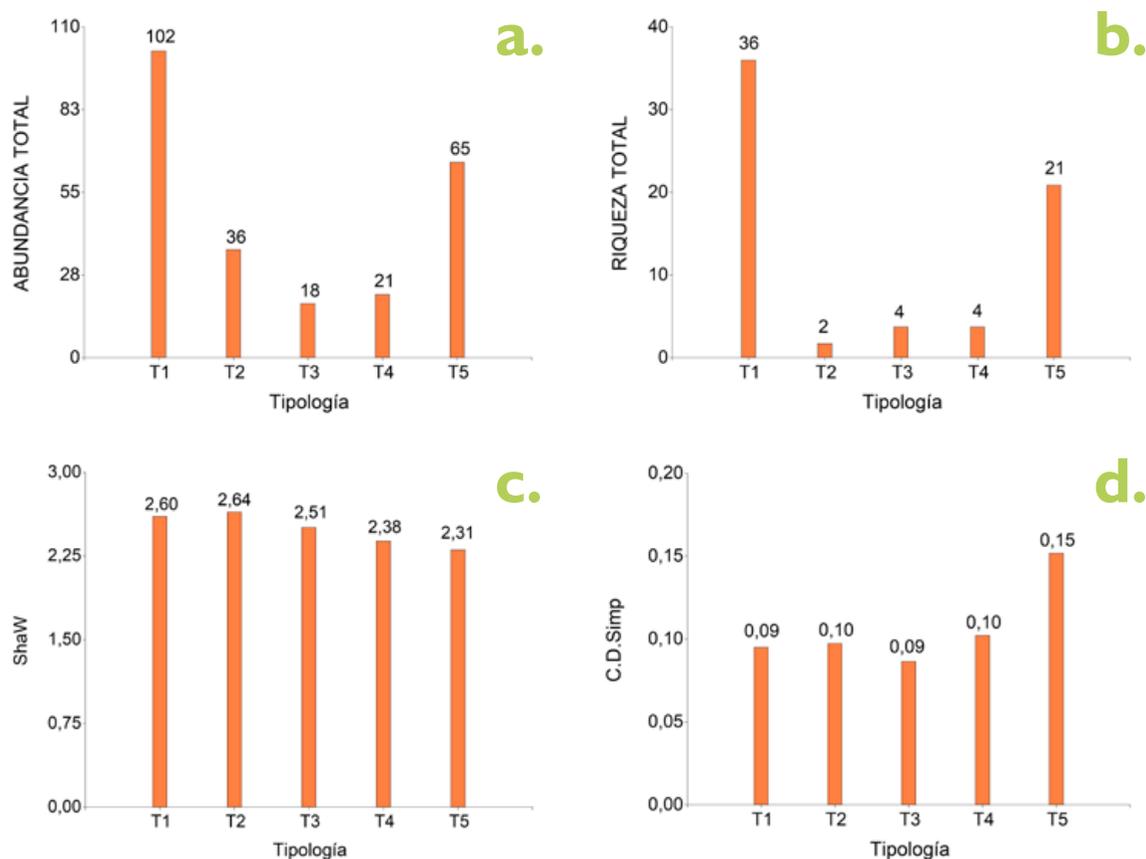


Figura 2.9. Comparación de cuatro índices ecológicos asociados a la diversidad de aves entre tipologías de fincas caucheras. A. Abundancia. B. Riqueza. C. Índice de Shannon-Weiner. D. Índice de Simpson.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, al analizar las medias de los cuatro índices estudiados (Figura 2.10), se encontraron las mayores medias de riqueza y abundancia en la tipología T2 en contraste con lo observado en la tipología T1 (Figura 2.10 A y B) que presentó la menor diversidad (Figura 2.10C), y por tanto, la mayor dominancia de especies (Figura 2.10D). Esta disminución significativa en las medias calculadas para la tipología T1 se debe principalmente al mayor número de fincas que se agruparon en esta tipología, lo que indica que los mayores índices explicados en la Figura 2.8 respondieron a un mayor número de fincas visitadas y no a la mayor presencia de aves registradas por finca.

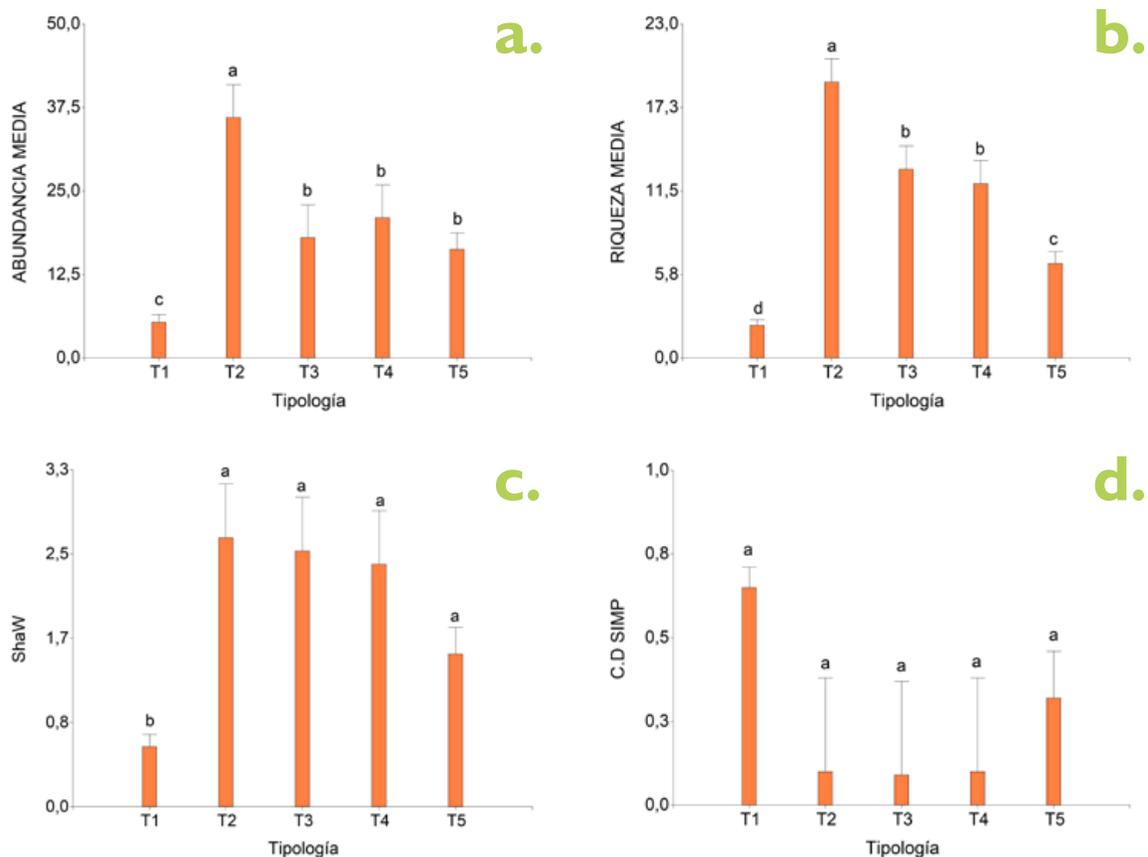


Figura 2.10. Comparación de las medias de cuatro índices ecológicos asociados a la diversidad de aves entre tipologías de fincas caucheras. A. Abundancia media. B. Riqueza media C. Media del índice de Shannon-Weiner. D. Media del índice de Simpson. Medias con la misma letra entre tipologías no difieren estadísticamente (Prueba LSD de Fisher, $p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

Descripción de las principales especies de aves observadas en los diferentes sistemas de producción de caucho



Fuente: Eidy Janeth Martínez-Viuche



Tortolita rojiza

Nombre científico: *Columbina talpacoti*
(Temminck, 1809).

Familia: Columbidae

Orden: Columbiformes

Descripción: Presenta amplia distribución en Latinoamérica y es común en diversos ecosistemas tropicales. Se observa en sabanas, áreas abiertas con pastizales, parques, jardines, orillas de los caminos rurales, sistemas agroforestales y de monocultivo de caucho, donde se alimenta principalmente de semillas pequeñas de herbáceas asociadas al suelo de estos sistemas productivos.



Cuco-ardilla chico

Nombre científico: *Coccyua minuta*
(Vieillot, 1817).

Familia: Cuculidae

Orden: Cuculiformes

Descripción: Habita en el subdosel de bosques de tierras bajas, sistemas agroforestales o monocultivo con cobertura representativa, claros y bordes de bosque, usualmente cerca de cuerpos de agua o en áreas pantanosas. En los cultivos de caucho, se alimenta principalmente de invertebrados que encuentra asociados a los troncos y ramas de los árboles.



Cuco americano

Nombre científico: *Coccyzus americanus* (Linnaeus, 1758).

Familia: Cuculidae

Orden: Cuculiformes

Descripción: Especie migratoria boreal, En Colombia se encuentra hasta 2600 m en las tres cordilleras, comprendiendo el oriente de los Andes en Casanare, Caquetá, Meta, Putumayo y Sierra de la Macarena. Habita en bordes de bosque, vegetación arbustiva asociada a cuerpos de agua que se encuentren en procesos de restauración y en plantaciones agroforestales (Echeverry y Morales, 2007). En su dieta incluye pequeñas ranas, huevos de otras aves, frutas y en el cultivo de caucho se alimenta de pequeños insectos, principalmente orugas, escarabajos y saltamontes asociados a las hojas de sus árboles.



Currucutú

Nombre científico: *Megascops choliba* (Vieillot, 1817)

Familia: Strigidae

Orden: Strigiformes

Descripción: Se distribuye desde Costa Rica hasta el nororiente de Argentina, Paraguay y sur de Brasil. En Colombia se encuentra en todo el territorio nacional excepto en la vertiente occidental de la cordillera Occidental. Habita en sabanas, bosques de galería, bordes de selva de tierras bajas, áreas abiertas con árboles dispersos, plantaciones y en ocasiones áreas suburbanas. Se alimenta principalmente de artrópodos como grillos, arañas, escorpiones, lombrices, mantis, cucarachas y chicharras, en los cultivos de caucho se alimenta de escarabajos y polillas que se encuentren en sus ramas. Es un ave nocturna que durante el día descansa en cavidades o en ramas. Forrajea a alturas bajas y captura sus presas en ramas o en el suelo, frecuentemente a lo largo de carreteras.



Trogón coliblanco oriental

Nombre científico: *Trogon viridis*
(Linnaeus, 1766)

Familia: Trogonidae

Orden: Trogoniformes

Descripción: Se distribuye en los bosques húmedos tropicales de Suramérica. Habita en bosques de montaña y bosques de galería, perchando en el estrato medio y rara vez en la copa de los árboles. Se alimenta de frutos y grandes invertebrados que captura en vuelo ascendente a partir de su percha, retornando casi siempre a la misma. En el cultivo de caucho se alimenta de saltamontes e insectos asociados al sistema de producción.



Gavilán caminero

Nombre científico: *Rupornis magnirostris*
(Gmelin, 1788)

Familia: Accipitridae

Orden: Accipitriformes

Descripción: Se distribuye desde el sur de México hasta Argentina pasando por todo Centroamérica. En Colombia es el ave rapaz más común, habita en bosques secos y húmedos en crecimiento secundario, sabanas con bosques de galería, rastrojos y zonas abiertas con árboles dispersos. Ave diurna, común, se ve solitaria o en parejas. Su alimento está constituido principalmente por insectos, lagartos y aves más pequeñas. Anida sobre árboles protegidos, en donde empolla hasta dos huevos. En los cultivos de caucho se observa que realiza el asecho y persecución para cazar otras aves (*Megarynchus pitangua*) junto a las crías en sus nidos.



Jacamar barbiblanco

Nombre científico: *Galbula tombacea*
(Spix, 1824)

Familia: Galbulidae

Orden: Galbuliformes

Descripción: En Colombia llega hasta 400 m al oriente de los Andes desde el occidente de Putumayo, y desde allí se extiende hasta el oriente de Guainía y al sur de Amazonas. Habita en bosques de transición, claros de selvas húmedas, riveras de arroyos y ríos en tierras bajas, diferentes sistemas agroforestales como el cultivo de caucho, donde se alimenta principalmente de pequeños insectos asociados a sus hojas y ramas.



Monjita piquirroja

Nombre científico: *Monasa nigrifrons*
(Strickland, 1850)

Familia: Bucconidae

Orden: Galbuliformes

Descripción: Esta especie se distribuye desde el suroriente de Colombia, oriente de Ecuador, Perú, Bolivia hasta Brasil. En Colombia se encuentra por debajo de 500 m al oriente de los Andes. Habita en bosques a lo largo de ríos y arroyos, islas fluviales pantanosas, bosques de várzea, bosques de galería y sistemas agroforestales. En el cultivo de caucho se alimenta de artrópodos asociados a las ramas, hojas y suelo de estas plantaciones: mariposas, grillos, avispas, termitas, arañas, cigarras y chinches.



Monjita piquiamarilla

Nombre científico: *Monasa flavirostris*
(Strickland, 1850)

Familia: Bucconidae

Orden: Galbuliformes

Descripción: Se encuentra en la cuenca del río Amazonas en el suroriente de Colombia, oriente de Ecuador y Perú, occidente de Brasil y norte de Bolivia. En Colombia se encuentra por debajo de 1400 m a lo largo de las estribaciones inferiores de la cordillera Oriental desde el suroccidente del departamento de Casanare, Caquetá hasta Putumayo y el extremo nororiental de Amazonas. Habita en bosques húmedos y bordes de bosque de *tierra firme*. Comúnmente utiliza bosques secundarios con árboles dispersos o cultivos en o cerca de piedemontes. En el cultivo de caucho se alimenta principalmente de artrópodos.



Torito filigrana

Nombre científico: *Capito auratus*
(Dumont, 1816)

Familia: Capitonidae

Orden: Piciformes

Descripción: Se encuentra en Colombia, Perú, Ecuador, Venezuela, Bolivia y Brasil. En Colombia llega hasta 1200 m en el oriente de los Andes, occidente de Caquetá y Meta hasta la serranía de la Macarena. También se encuentra en el suroriente de Nariño, oriente de Guainía, Vaupés y suroriente de Amazonas. Habita en bosques de tierra firme, bosques ribereños, bosques en sucesión secundaria, bordes y claros de bosque, jardines y plantaciones. Se alimenta de pequeños frutos y néctar de las flores, en el cultivo de caucho, se alimenta de artrópodos como saltamontes y arañas.



Carpintero dorado

Nombre científico: *Piculus chrysochloros*
(Vieillot, 1818)

Familia: Picidae

Orden: Piciformes

Descripción: Presenta una amplia distribución en Latinoamérica. En Colombia se encuentra por debajo de 500 m, Habita en bosques húmedos de tierra firme y de várzea en donde comúnmente utiliza bordes de bosque. También puede ser encontrado en parches de bosque en sabana y en el norte del país en bosques lluviosos y bosques secos. Se alimenta de insectos, principalmente de hormigas (*Camponotus sp.*), y termitas. Los cultivos de *H. brasilienses* presentan una fuerte asociación con las especies de aves pertenecientes a los gremios de forrajeo consumidores de insectos del interior de troncos grandes, en este sentido, los individuos de *P. chrysochloros* pueden presentar una alta afinidad por este tipo de vegetación, más que otros taxones de aves y son considerados como uno de los grupos de más requerimiento ecológico (Velásquez, 2009).



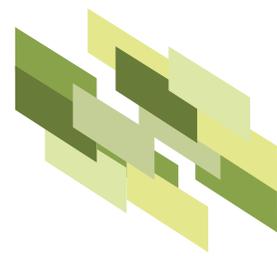
Pigua

Nombre científico: *Milvago chimachima*
(Vieillot, 1816)

Familia: Falconidae

Orden: Falconiformes

Descripción: Presenta amplia distribución en Suramérica. En Colombia, se encuentra en todo el territorio nacional hasta 1800 m. Habita principalmente en zonas abiertas con árboles dispersos, potreros, sabanas, sistemas agroforestales, bordes de bosque y a lo largo de ríos. Es un ave rapaz omnívora en cuya dieta incluye insectos, ranas, peces, crías de aves, frutos de palma, maíz y carroña. Comúnmente se le observa alimentándose de garrapatas en el lomo del ganado. Los cultivos de caucho son utilizados por esta especie para perchar y asechar a sus presas.



Guacamaya azuliamarilla

Nombre científico: *Ara ararauna*
(Linnaeus, 1758)

Familia: Psittacidae

Orden: Psittaciformes

Descripción: Se encuentra en Panamá, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Venezuela, Guayanas y Brasil. La guacamaya azul y amarilla habita principalmente en selva y algunas en áreas abiertas con árboles grandes y palmeras (Hilty y Brown 2001). Ha sido registrada alimentándose de semillas de canangucha, corozo, *almendro*, habillo y guamo, consume néctar de *zapote*, pulpa de *ficus* y hojas de palma *Iriartea*. También las semillas de caucho hacen parte de su dieta.



Suelda cabecigris

Nombre científico: *Myiozetetes granadensis*
(Lawrence, 1862)

Familia: Tyrannidae

Orden: Passeriformes

Descripción: Atrapamoscas de tierras bajas y hábitos solitarios. Se encuentra en Honduras, Bolivia, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Ecuador, Venezuela, Perú y occidente de Brasil. En Colombia llega hasta 800 m en la costa pacífica, en tierras bajas y húmedas al norte de los Andes y al oriente hasta el valle del Magdalena. Al oriente de los Andes desde el occidente del Meta hasta el sur de Vaupés. Habita en bordes de selva con matorral, claros y bosque en sucesión secundaria con árboles altos dispersos en áreas húmedas y muy húmedas. Se alimenta de bayas y semillas de tamaño pequeño. Utiliza los cultivos de caucho para perchar en las copas de sus árboles y atrapar insectos con intrincadas maniobras aéreas.



Atrapamoscas sulfurado

Nombre científico: *Myiodynastes luteiventris* (Sclater, 1859)

Familia: Tyrannidae

Orden: Passeriformes

Descripción: Ave Migratoria boreal, se encuentra desde el suroccidente de Estados Unidos hasta Costa Rica. Inverna principalmente en el oriente de Ecuador, Perú, Bolivia y occidente de Brasil. En Colombia se encuentra entre 400 y 2600 m, puntualmente al occidente de los Andes y al oriente cerca de Florencia, Caquetá. Habita en áreas abiertas, montes claros y bordes de bosque, plantaciones y matorrales (Naranjo *et al.*, 2012). Se alimenta de insectos, complementa su dieta con bayas y semillas carnosas, consumiéndolas casi siempre mientras vuela.



Bichofué picudo

Nombre científico: *Megarynchus pitangua* (Linnaeus, 1766)

Familia: Tyrannidae

Orden: Passeriformes

Descripción: Se encuentra desde México hasta el nororiente de Argentina. También en Centroamérica, en Colombia llega hasta 1400 m en el noroccidente del país desde el Chocó hasta el río Juradó. También en tierras bajas del Caribe hasta la Guajira, sur del valle del Magdalena hasta Huila y al oriente de los Andes hasta Caquetá. Habita en bordes de bosque y bosque secundarios siempre que haya árboles grandes en los cuales pueda construir su nido y atrapar insectos. Se alimenta de insectos principalmente chicharras en época seca, otros invertebrados y vertebrados pequeños. Además, come semillas y bayas carnosas de plantas como *Ficus* y *Miconia*. Utiliza los arboles de caucho con coberturas representativas para perchar y anidar.



Atila acanelado

Nombre científico: *Attila cinnamomeus*
(Gmelin, 1789)

Familia: Tyrannidae

Orden: Passeriformes

Descripción: Esta especie se encuentra en las Guayanas y en el oriente y sur de Venezuela hasta el oriente de Ecuador. En Colombia es poco común, llega hasta 500 m en el oriente de los Andes hasta el Amazonas. Habita en bosque pantanoso y orilla de lagos. Se alimenta de frutos pequeños y utiliza el cultivo de caucho para perchar y consumir insectos asociados a sus ramas.



Frutero vulturino

Nombre científico: *Gymnoderus foetidus*
(Linnaeus, 1758)

Familia: Cotingidae

Orden: Passeriformes

Descripción: En Colombia se encuentra por debajo de 500 m al oriente de los Andes desde el occidente del Meta y la región del Orinoco hacia el sur. Habita en bordes de selva de inundable y tierra firme. Se alimenta principalmente de frutos de yarumo y palmas como *Oenocarpus* y *Euterpe*. Con menor frecuencia incluye insectos en su dieta por lo que utiliza los árboles de caucho para perchar y capturar mantis, grillos, hormigas y termitas que se encuentren en sus hojas y ramas.



Titira colinegra

Nombre científico: *Tityra cayana*
(Linnaeus, 1766)

Familia: Tityridae

Orden: Passeriformes

Descripción: Se encuentra en Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Venezuela, Guayana francesa, Guyana, Paraguay, Perú, Surinam, Trinidad y Tobago. Vive en los bordes de bosque húmedo, bosques secundarios, plantaciones con árboles de sombra, en platanales o sabanas, bosques de tierra firme y en bosque de áreas estacionalmente inundables. Se alimentan principalmente de frutos de tamaño mediano, aunque a veces también consumen insectos.



Arrocero buchicastaño

Nombre científico: *Sporophila angolensis*
(Linnaeus, 1766)

Familia: Thraupidae

Orden: Passeriformes

Descripción: Se encuentra en Colombia, Venezuela, Trinidad y Tobago, Guyana, Brasil, Ecuador, Perú, Paraguay y norte de Argentina. En Colombia se encuentra desde el nivel del mar hasta 1600 m al oriente de los Andes. Habita en bordes y claros de bosque, bosques en crecimiento secundario y en pastizales con arbustos. En los cultivos de caucho, agroforestales o monocultivo, se alimentan de insectos que se encuentren en sus ramas, pero principalmente se alimentan de semillas de gramíneas (Poaceas), asociadas a los suelos de estos sistemas de producción.



Azulejo común

Nombre científico: *Thraupis episcopus*
(Linnaeus, 1766)

Familia: Thraupidae

Orden: Passeriformes

Descripción: Se distribuye desde el este de México hasta el oeste de Perú, norte de Bolivia y Amazonas brasileiro. En Colombia se encuentra en todo el territorio hasta 2600 m Habita en bosques abiertos, plantaciones y toda clase de áreas pobladas, en regiones desde secas hasta muy húmedas (Hilty y Brown, 1986). Se alimenta principalmente de frutos e insectos y en los arboles de caucho obtiene su alimento del néctar de sus flores.



Azulejo palmero

Nombre científico: *Thraupis palmarum*
(Wied, 1821)

Familia: Thraupidae

Orden: Passeriformes

Descripción: Se encuentra en Nicaragua, norte de Bolivia, Paraguay, Trinidad y suroriente de Brasil. En Colombia se encuentra en todo el territorio nacional hasta 2100 m. Común en áreas pobladas, matorrales, bordes de bosque, y en plantaciones. Se alimenta principalmente de frutos (Hilty y Brown, 1986) y en los arboles de caucho se alimenta de pequeños arácnidos (arañas y ácaros).



Zabanero zumbador

Nombre científico: *Ammodramus aurifrons*
(Spix, 1825)

Familia: Emberizidae

Orden: Passeriformes

Descripción: Esta especie se encuentra desde el norte de Colombia hasta el sur de Argentina. En Colombia se encuentra por debajo de 1000 m en el norte del país, valle del río Magdalena hasta el sur del Huila y las estribaciones orientales de la cordillera Oriental en los departamentos del Meta y Caquetá. Habita en pastizales abiertos, praderas y campos de cultivo. Se alimenta principalmente de semillas de gramíneas. Utiliza las ramas de los árboles de caucho para perchar y capturar pequeños artrópodos asociados a la planta.



Reinita rayada

Nombre científico: *Setophaga striata*
(J. R. Forster, 1772)

Familia: Parulidae

Orden: Passeriformes

Descripción: Esta ave migra desde Norteamérica hacia Suramérica pasando sobre el océano Atlántico logrando abarcar casi 3.000 km en vuelos de hasta 88 horas sin escalas. En Colombia se encuentra distribuida en todo el país hasta los 2600 m. Durante la migración y en las áreas invernales se encuentra en una variedad de bosques, plantaciones forestales, matorrales y hábitats arbustivos (Hilty y Brown, 1986). Se alimenta principalmente de insectos que atrapa en las hojas y troncos de los árboles, también de arañas y frutas especialmente durante la migración. Los diferentes sistemas productivos de caucho natural, actúan como elementos de conectividad entre paisajes, facilitando el fenómeno de migración característico de esta especie.



Oropéndola variable

Nombre científico: *Psarocolius angustifrons*
(von Spix, 1824)

Familia: Icteridae

Orden: Passeriformes

Descripción: Se extiende por la Amazonia occidental y las selvas de tierras altas del norte y centro de los Andes. Habita bordes de selva húmeda y muy húmeda, en claros con árboles dispersos, en sistemas productivos cercanos a áreas de piedemontes. Es común en los bosques secundarios de la Amazonia y a orillas de ríos. Se alimenta principalmente de frutos y néctar por lo que percha en las plantaciones de caucho para obtener el néctar de sus flores.



Oropéndola crespada

Nombre científico: *Psarocolius decumanus*
(Pallas, 1769)

Familia: Icteridae

Orden: Passeriformes

Descripción: Se encuentra ampliamente distribuida en Latinoamérica. En Colombia se distribuye hasta los 2600 m. Habita en selva húmeda, bordes de bosque, tierras bajas y piedemontes. Su dieta se basa principalmente en el consumo de frutos pequeño y de los árboles de caucho obtiene el néctar de sus flores como alimento.





CONSIDERACIONES FINALES

Se registró un total de 48 especies con 242 individuos, siendo *Ara ararauna* (Guacamaya azuliamarilla), la más representativa, por reportar la abundancia más alta con 36 individuos. Esta especie fue observada en seis fincas, una de estas ubicada en El Doncello y las demás en Puerto Rico, cinco de las plantaciones de caucho correspondían a monocultivo y una a sistema agroforestal, en este sentido se deduce que las plantaciones de caucho en monocultivo son un sistema de interés para la conservación de esta especie ya que sus semillas son una fuente de alimento importante en la dieta de esta especie.

Se logró evidenciar que la especie conocida comúnmente como cuco ardilla (*P. cayana*), es un depredador activo de larvas de gusano peludo (*P. semirufa*), un insecto plaga del cultivo de caucho, por lo que *P. cayana* es una especie que podría ser utilizada como controlador biológico al regular las poblaciones de esta plaga en el cultivo de caucho.

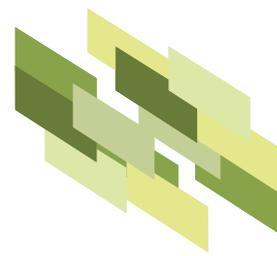
Finalmente, considerando la condición ecológica de migración que presentan algunas especies como *Setophaga striata*, *Coccyzus americanus* y *Myiodynastes luteiventris* reportadas en este trabajo, las cuales se caracterizan por recorrer grandes distancias en busca de alimento, condiciones óptimas para su reproducción, refugio y protección frente a los depredadores, se puede concluir que los diferentes sistemas de producción de caucho asociados a progenies élite de *H. brasiliensis* en el departamento del Caquetá, juegan un papel fundamental como espacios de refugio y elementos de conectividad entre paisajes que facilitan la distribución biogeográfica y la conservación de muchas especies de aves que visitan este tipo de agroecosistemas tropicales en la Amazonia colombiana.



BIBLOGRAFÍA

- Balent, G., Courtiade, B., 1992. Modeling Bird Communities Landscape Patterns Relationships in a Rural Area of South-Western France. *Landsc. Ecol.* 6, 195-211. <https://doi.org/10.1007/BF00130031>.
- Barrett, G.W., Ford, H., Recher, H., 1994. Conservation of woodland birds in a fragmented rural landscape. *Pacific Conserv. Biol.* 1, 245-256. <https://doi.org/10.1071/PC940245>.
- Beukema, H., Danielsen, F., Vincent, G., Hardiwinoto, S., Van Andel, J., 2007. Plant and bird diversity in rubber agroforests in the lowlands of Sumatra, Indonesia. *Agrofor. Syst.* 70, 217-242. <https://doi.org/10.1007/s10457-007-9037>.
- Cotter, M., Martin, k., Sauerborn, J., 2009. How Do “Renewable Products” Impact Biodiversity and Ecosystem Services – The Example of Natural Rubber in China. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics.* 110-1, 9–22. www.jarts.info/index
- González, M.A., Guzman, J., Martin, M., Domínguez, L., 2003. Un método para la selección de aves bioindicadoras con base en sus posibilidades de monitoreo. *Huitzil.* 4, 2.10-16, 1870-7459. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75640201>.
- Gouyon, A., De Foresta, H., Levang, P., 1993. Does “jungle rubber” deserve its name? An analysis of rubber agroforestry systems in southeast Sumatra. *Agrofor. Syst.* 22, 181-206. <https://doi.org/10.1007/BF00705233>.
- Haslem, A., Bennett, A.F., 2008. Countryside elements and the conservation of birds in agricultural environments. *Agric. Ecosyst. Environ.* 125, 191-203. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.01.001>.
- Herrera, J., 2005. Diversidad de la arthropofauna en monocultivo y policultivo de maíz (*Zea mays*) y habichuela (*Phaseolus vulgaris*). *Boletín. Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 6(1):23-31. <http://entomologia.univalle.edu.co>.
- Hilty, S.L., Brown, W.L., 1986. *Aguide to the birds of Colombia*. Princetn. Univ. Press, Princeton, J.I. 32-0-69108371-1.
- Lindenmayer, D.B., Hobbs, R.J., 2004. Fauna conservation in Australian plantation forests A review. *Biol. Conserv.* 119, 151-168. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2003.10.028>.
- McIntyre, N.E., 1995. Effects of forest patch size on avian diversity. *Landscpe Ecol.* 10, 85-99. <https://article/10.1007/BF00153826>.
- McMullan, M., Quevedo, A., Donegan, T., 2011. *Guía de campo de las aves de Colombia*. Proaves. Bogotá. <http://www.proaves.org>.
- Melgarejo, M.L., Hernández, M., Barrera, J., Carrillo, M., 2006. Oferta y potencialidades de un banco de germoplasma del género *Theobroma* en el enriquecimiento de los sistemas productivos de la región amazónica. <https://www.sinchi.org.co>.
- Nájera, A., Simonetti, J.A., 2010. Enhancing avifauna in commercial plantations: Research note. *Conserv. Biol.* 24, 319-324. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01350>.
- Naranjo, L., Amaya, J., González, D., Sarmiento, Y., 2012. *Guía de las Especies Migratorias de la Biodiversidad en Colombia -Aves*. Bogotá, D.C. Colombia. 708. <http://www.horizonteverde.org.co>
- Restall, R., Rodner, C., Lentino, M., 2006. *Birds of Northern South America an identification guide*. Yal. Univ. Press. New Haven and London. 1-978-0-300-10862-0.

- Sekercioglu, C.H., 2006. Increasing awareness of avian ecological function. *Trends Ecol. Evol.* 21, 464-471. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.05.007>.
- Sicard, T.L., Altieri, M.A., 2010. Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones. Bogotá. 296–978-958-719-572-9. <https://www.socla.co>.
- Sreekar, R., Huang G., Yasuda, M., Chang, R., Goodale, G., Corlett I., R., Tomlinson I., K., 2016. Effects of forests, roads and mistletoe on bird diversity in monoculture rubber plantations. *Scientific Reports* 6-21822. www.nature.com/scientificreports.
- Stauffer, F.D., Best, L.B., 1980. Habitat Selection by Birds of Riparian Communities : Evaluating Effects of Habitat Alterations. *J. Wildl. Manage.* 44.1, 1-15. <http://www.jstor.org>.
- Sterling, A., Rodríguez, C., 2011. Evaluación del desempeño y comportamiento fitosanitario de genotipos élites de *H. brasiliensis* de origen franco en Campo Clonal a Pequeña Escala CCPE, Nuevos clones de caucho natural para la Amazonia colombiana: énfasis en la resistencia al mal suramericano de las hojas (*Myrcocyclus ulei*). Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas “SINCHI”. <https://www.sinchi.org.co>.
- Sterling, A., Rodríguez, C., 2012. Ampliación de la base genética de caucho de caucho natural con proyección para la Amazonia colombiana: fase de evaluación en periodo improductivo a gran escala. Instituto Amazónico De Investigaciones Científicas SINCHI. Colombia. 147 P. <https://www.sinchi.org.co>.
- Sterling, A., Rodríguez, C., Rodríguez, C.H., 2014. Estructura de la comunidad de aves en diferentes sistemas de producción de caucho (*Hevea brasiliensis*) en Caquetá, Colombia. *Rev. Colomb. Amaz.* N.7, 88. <https://www.researchgate.net/publication/301200833>.
- Sterling, A., Rodríguez, C., 2014. Agroforestería en el Caquetá : Clones Promisorios de Caucho en Asocio con Copoazú y Plátano Hartón con Potencial para la Amazonia colombiana. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. <https://www.sinchi.org.co>.
- Sterling, A., Rodríguez, C., Melgarejo, L., 2015. Evaluación inicial del asocio caucho-copoazú en el Caquetá: una alternativa de enriquecimiento agroforestal con potencial para la Amazonia colombiana. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. <https://www.sinchi.org.co>.
- Sterling, A., Rodríguez, C., 2017. Bases técnicas para la selección, propagación y establecimiento de materiales regionales élite de caucho en Caquetá. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. <https://www.sinchi.org.co>.
- Thiollay, J.M., 1995. The role of traditional agroforests in the conservation of rain forest bird diversity in Sumatra. *Conserv. Biol.* 9, 335-353. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1995.9020335>.
- Torresan, F.E., 2017. Diversidade de espécies da avifauna na heveicultura. *Bol. Pesqui. e Desenvol.* 22. 2. Biodiversidade. 3. Seringueira. I. Título. II. Série. <https://doi.org/Aves>.
- Villarreal, H.M., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M., Umaña, A., 2004. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa Inventar. Biodiversidad; Inst. Investig. Recur. Biológicos Alexander von Humboldt 236. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

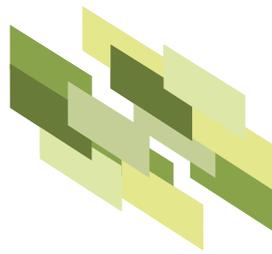


APÉNDICE

Listado de especies observadas y valores de abundancia registrados en cinco tipologías de fincas (T1, T2, T3, T4, T5) ubicadas en trece municipios del departamento del Caquetá.

ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	T1	T2	T3	T4	T5
Columbiformes	Columbidae	<i>Patagioenas plumbea</i>	0	1	0	0	0
Columbiformes	Columbidae	<i>Columbina talpacoti</i>	1	2	0	0	0
Cuculiformes	Cuculidae	<i>Crotophaga ani</i>	0	1	0	1	0
Cuculiformes	Cuculidae	<i>Coccyca minuta</i>	0	1	0	0	0
Cuculiformes	Cuculidae	<i>Piaya cayana</i>	3	0	0	0	6
Cuculiformes	Cuculidae	<i>Coccyzus americanus</i>	0	0	0	0	1
Strigiformes	Strigidae	<i>Megascops choliba</i>	0	0	0	2	0
Trogoniformes	Trogonidae	<i>Trogon viridis</i>	9	1	0	0	4
Accipitriformes	Accipitridae	<i>Rupornis magnirostris</i>	0	0	1	0	0
Galbuliformes	Galbulidae	<i>Galbula tombacea</i>	1	0	0	0	0
Galbuliformes	Bucconidae	<i>Monasa nigrifrons</i>	1	0	0	0	1
Galbuliformes	Bucconidae	<i>Monasa flavirostris</i>	1	0	0	0	2
Piciformes	Capitonidae	<i>Capito auratus</i>	0	0	2	0	2
Piciformes	Picidae	<i>Picumnus lafresnayi</i>	0	0	0	1	1
Piciformes	Picidae	<i>Celeus sp</i>	0	0	1	0	0
Piciformes	Picidae	<i>Piculus chrysochloros</i>	0	0	0	2	0
Falconiformes	Falconidae	<i>Milvago chimachima</i>	1	0	0	0	0
Psittaciformes	Psittacidae	<i>Ara ararauna</i>	15	0	0	0	20
Passeriformes	Furnariidae	<i>Dendroplex picus</i>	0	0	0	0	1
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Myiopagis gaimardii</i>	0	1	0	0	0
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Empidonax sp</i>	0	0	0	0	1
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Contopus cf. Virens</i>	0	0	0	0	1
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Legatus leucophaius</i>	1	0	1	0	1
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Myiozetetes similis</i>	0	1	0	0	0
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Myiozetetes granadensis</i>	1	1	1	1	0
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Myiodynastes luteiventris</i>	0	0	1	1	0
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Myiodynastes maculatus</i>	1	0	0	0	0
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Megarynchus pitangua</i>	0	4	0	0	0
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Tyrannus melancholicus</i>	0	1	1	0	2
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Myiarchus sp1</i>	1	0	0	0	0
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Myiarchus tuberculifer</i>	0	1	0	0	0
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Myiarchus sp 2</i>	0	0	0	1	0
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Attila cinnamomeus</i>	0	0	1	0	0
Passeriformes	Cotingidae	<i>Gymnoderus foetidus</i>	0	0	1	0	0

ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	T1	T2	T3	T4	T5
Passeriformes	Tityridae	<i>Tityra cayana</i>	4	1	0	0	2
Passeriformes	Corvidae	<i>Cyanocorax violaceus</i>	2	0	0	0	0
Passeriformes	Turdidae	<i>Turdus ignobilis</i>	2	1	0	0	0
Passeriformes	Thraupidae	<i>Ramphocelus carbo</i>	1	2	2	2	8
Passeriformes	Thraupidae	<i>Sporophila angolensis</i>	0	0	2	0	0
Passeriformes	Thraupidae	<i>Tangara mexicana</i>	3	1	0	0	0
Passeriformes	Thraupidae	<i>Thraupis episcopus</i>	14	4	2	4	0
Passeriformes	Thraupidae	<i>Thraupis palmarum</i>	14	3	2	2	10
Passeriformes	Emberizidae	<i>Ammodramus aurifrons</i>	0	1	0	0	0
Passeriformes	Parulidae	<i>Setophaga striata</i>	0	0	0	2	1
Passeriformes	Icteridae	<i>Psarocolius angustifrons</i>	6	8	0	0	0
Passeriformes	Icteridae	<i>Psarocolius decumanus</i>	11	0	0	2	0
Passeriformes	Icteridae	<i>Cacicus cela</i>	9	0	0	0	0
Passeriformes	Fringillidae	<i>Euphonia</i> sp	0	0	0	0	1
Total			102	36	18	21	65



CAPÍTULO 3

Evaluación de indicadores biológicos de suelo en campos clonales de caucho (*Hevea brasiliensis*) en el departamento del Caquetá



Clara P. Peña-Venegas¹, Daniel Castro Torres¹, Armando Sterling Cuellar^{2*}, Tatiana K. Andrade-Ramírez³

¹ Investigador Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI Sede Leticia

² Investigador Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI Sede Florencia

³ Co-investigador del proyecto - Convenio No. 59-2013 - Gobernación de Caquetá-Instituto SINCHI

* Autor para correspondencia: asterling@sinchi.org.co



INTRODUCCIÓN

En Colombia, todas las plantaciones comerciales se han establecido con clones introducidos y en regiones como el departamento del Caquetá (Amazonia colombiana) el fomento y desarrollo del cultivo de caucho se ha limitado históricamente al uso de tres clones (Castellanos *et al.*, 2009). Esta reducida base genética y las condiciones ambientales y culturales limitantes han afectado la productividad y la competitividad del sector cauchero en el Caquetá (Asoheca, 2010).

En este sentido, el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, la Universidad de la Amazonía y la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá Asoheca han contribuido a nivel local con información preliminar sobre la ampliación de la base genética de caucho a través de la evaluación de genotipos regionales élite (Sterling y Rodríguez, 2011, 2016), y de clones promisorios introducidos a la región (Sterling y Rodríguez, 2012, 2016), como una de las principales estrategias para fortalecer la sostenibilidad del sector cauchero en Caquetá y con potencial para la región amazónica colombiana.

No obstante, la sostenibilidad productiva del cultivo del caucho no sólo depende del tipo de material genético, sino que además está influenciada por diversos factores ambientales entre los que destacan las propiedades fisicoquímicas, biológicas y microbiológicas relacionadas con la fertilidad del suelo (Apkan *et al.*, 2007). Por ello, otros aspectos de interés a evaluar en los nuevos clones es su capacidad de promover condiciones que promuevan una mejor nutrición de las plantas. Para el presente trabajo, dos recursos asociados a la nutrición del caucho fueron evaluados: la capacidad de albergar comunidades diversas de termitas, directamente relacionadas con el ciclaje de la materia orgánica en el suelo, y de formar micorrizas arbusculares, importantes en la obtención de fósforo para su nutrición.

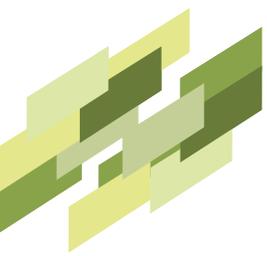
El ciclaje de nutrientes está mediado inicialmente por los llamados ingenieros del ecosistema (Decaëns *et al.*, 1994; Lavelle, 1997; Mathieu *et al.*, 2005; Barros *et al.*, 2008), en donde las termitas hacen parte de este grupo. Las termitas son excelentes indicadores de la biodiversidad debido a que comprenden gran cantidad de especies y representan una porción importante de la biomasa total (Eggleton *et al.*, 1997; Jones *et al.*, 2003).

Las termitas son los primeros descomponedores del material vegetal, tienen variados hábitos alimenticios pudiendo dividirse en cuatro grupos: los consumidores de hojarasca, los xilófagos que se alimentan de madera, los intermedios que se alimentan de la interfase suelo-madera y los consumidores de suelo (de Souza y Brown, 1994; Eggleton *et al.*, 1997; Barbosa, 2012) each 5 x 2 m. El equilibrio de los diferentes grupos tróficos de termitas en el suelo se reflejará en una mejor nutrición para las plantas (en este caso para el caucho), y el control de las diversas comunidades para no favorecer aquellas que pueden convertirse en plagas y afectar el cultivo.

Uno de los elementos importantes en la nutrición del caucho es el fósforo, que es además uno de los elementos más escasos en los suelos amazónicos. Muchas plantas suplen sus requerimientos de fósforo asociándose con hongos Glomeromicetos para establecer micorrizas arbusculares. Se denomina micorriza arbuscular a la asociación hongo-planta por medio de la cual se moviliza el fósforo desde el suelo hacia la raíz de la planta a través del micelio del hongo. Esta asociación además de mejorar la nutrición de la planta también previene la incidencia de patógenos de raíz y reduce el estrés por condiciones medioambientales adversas, haciendo que la planta se desarrolle en mejores

condiciones (Cardoso y Kuyper, 2006). Por ello, las micorrizas arbusculares se consideran una alternativa sostenible y económica de manejo de suelos en cultivos de caucho.

En el presente capítulo se presentan los resultados de la composición de comunidades de termitas y de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) asociados a clones promisorios establecidos en campos clonales de caucho a gran escala (CCGE) y a pequeña escala (CCPE) en el departamento del Caquetá, tomando como referencia el clon testigo IAN 873, ampliamente difundido a escala comercial a nivel regional, pero que en los últimos 30 años ha reducido significativamente su rendimiento productivo e incrementado su susceptibilidad a diversos limitantes fitosanitarios.



Generalidades de las termitas

Las termitas o comejenes son insectos sociales, relacionados evolutivamente con las cucarachas (Orden Blattodea). Actualmente se encuentran agrupadas en la superfamilia Termitoidea. En Colombia tres familias de termitas han sido reportadas TERMITIDAE, RHINOTERMITIDAE y KALOTERMITIDAE, todas presentes en la región amazónica colombiana (Vargas-Niño *et al.*, 2005; Almeida *et al.*, 2017).

Estos insectos producen estructuras en el suelo tales como nidos y túneles subterráneos que permite la mezcla del suelo con la materia orgánica, influenciando significativamente la composición y estructura del suelo (Barros *et al.*, 2002; Eggleton, 2011; Ali *et al.*, 2013). Por lo anterior hacen parte de los denominados “ingenieros del ecosistema”, junto con las hormigas y las lombrices de tierra (Lavelle, 1997; Decaëns *et al.*, 1999; Barros *et al.*, 2008; Lavelle *et al.*, 2014).

Las termitas comprenden alrededor de 3150 especies conocidas y su mayor riqueza se encuentra en el trópico (Constantino y Acioli, 2008) presentando además un mayor endemismo que en otras regiones biogeográficas, Particularmente en la región Neotropical se registran aproximadamente 520 especies, la mayoría de Brasil con cerca de 280 especies reportadas (Constantino, 2005). Aunque Colombia no tiene un buen conocimiento de la diversidad de termitas que posee, en los últimos años se ha podido avanzar significativamente con nuevos reportes de especies y nuevas especies descritas (Casalla *et al.*, 2016; Pinzon *et al.*, 2017; Castro *et al.*, 2018; Castro y Peña, 2018; Pinzon y Castro, 2018).

Rol ecosistémico de las termitas

Las termitas son un grupo de insectos de gran importancia ecológica en la dinámica de los ecosistemas contribuyendo en los procesos biológicos de descomposición y mineralización de la materia orgánica (Cabrera y Crespo, 2001; Lewis, 2009). Junto a las lombrices y las hormigas, las termitas son reconocidas como uno de los grupos predominantes de la macrofauna edáfica en ecosistemas tropicales favoreciendo los procesos de ciclaje de nutrientes y formación del suelo (Awadzi *et al.*, 2004; Rossi *et al.*, 2006).

Las termitas están presentes en varias etapas del ciclaje de materia orgánica, gracias a los grupos tróficos donde cada especie se especializa en consumir diferentes tipos de materia orgánica en diferentes grados de descomposición, una de las clasificaciones más citadas, divide los grupos tróficos en cuatro grupos: **Consumidores de suelo** que se alimentan de suelo mineral y humus (Humívoros); **intermedios** que se alimentan de la interfase suelo-madera; **xilófagos** que se alimentan de madera y por último **consumidores de hojarasca** que se alimentan de hojarasca y pequeños trozos de madera (de Souza y Brown, 1994; Eggleton *et al.*, 1997; Barbosa, 2012).

Las termitas han sido utilizadas como indicadores biológicos de fragmentación y de perturbación de ecosistemas (Constantino y Acioli, 2008; Bignell *et al.*, 2012), y su relación con dinámica de ciclaje de la materia orgánica y generación de nutrientes. Las termitas también han sido usadas como indicadores de restauración de suelos en plantaciones comerciales, incluidas algunas plantaciones de caucho. Sin embargo, la profundidad taxonómica de estos trabajos ha sido baja (Arifin *et al.*, 2014; Dosso *et al.*, 2013; Pinzón *et al.*, 2012; León *et al.*, 2009; Varma and Swaran, 2007), y en ninguno de los casos se ha incluido el estudio de estas comunidades en campos clonales de caucho.

HONGOS DE MICORRIZA ARBUSCULAR (HMA)

Generalidades de los HMA

Los hongos son un grupo diverso en los suelos. Se ha estimado que aproximadamente el 50% (unas 26.250 especies) de los hongos existentes en la naturaleza se encuentran en el suelo. Dentro de los hongos están los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA), pueden constituir entre el 5/50% de la biomasa microbiana del suelo (Olsson *et al.*, 1999). Estos hongos tienen especialmente en la Amazonia un papel fundamental en la nutrición vegetal, en la fijación de carbono y en la estabilidad de los suelos.

Rol ecosistémico de los HMA

Los hongos formadores de micorrizas arbusculares forman la asociación micorriza arbuscular con las plantas. Su papel en mejorar la absorción de nutrientes relativamente inmóviles y en particular el fósforo, así como varios micronutrientes, ha sido reconocido como el más significativo beneficio de esta asociación a la nutrición de las plantas en los diferentes ecosistemas y muy especialmente en los trópicos. En ecosistemas tropicales como la Amazonia donde dominan los suelos del tipo Oxisol, la baja disponibilidad de fósforo imita el crecimiento vegetal.

La baja disponibilidad del fósforo es debida por la fuerte adsorción del H_2PO_4 a los hidróxidos de aluminio o hierro, que lo hacen inmóvil para las plantas. La forma como la micorriza arbuscular mejora la absorción del fósforo hacia las plantas consiste en una mayor exploración del suelo de parte del hongo que le permite acceder a lugares donde existe fósforo disponible y que son difíciles de llegar por el sistema radicular de las plantas. Sin embargo, se ha sugerido que otros mecanismos, más allá de la simple exploración física del suelo pueden también ser mediados por la micorriza arbuscular, como lo es el transporte activo del fósforo (Smith *et al.*, 2003), desde depósitos de materia orgánica de difícil acceso (Joner y Jakobsen, 1995) creando diferenciales químicos que hacen más soluble el fósforo para su absorción.

En suelos ácidos, las micorrizas arbusculares también mejoran la asimilación del nitrógeno en su forma (NH_4^+), que es menos móvil que el nitrato (NO_3) de forma directa o en asociación con otros microorganismos como las bacterias fijadoras de nitrógeno, o las bacterias promotoras de crecimiento (Paula *et al.*, 1993), generando un efecto conjunto positivo en la nutrición de las plantas. Las micorrizas arbusculares también tienen un papel importante en la absorción del zinc, que es uno de las mayores deficiencias de micronutrientes en países tropicales. Se ha evidenciado que existe una interacción entre la absorción del fósforo y el zinc, por cuanto una buena micorrización asegurara una buena absorción de estos dos nutrientes hacia la planta.

Se ha evidenciado que una alta fertilización puede inhibir la acción de las micorrizas arbusculares, resultando en una menor absorción del zinc y menores tasas de este micronutriente en sus tejidos. Adicionalmente en suelos tropicales, y dada la alta micorrización de las plantas, se especula que es posible que la micorriza arbuscular también mejore la resistencia de las plantas a la alta toxicidad al aluminio que es muy común en suelos tropicales así como en los suelos amazónicos. También



pueden restaurar el desequilibrio nutricional causado por la presencia de metales pesados en el suelo (Siqueira *et al.*, 1999; Carneiro *et al.*, 2001).

Además de ser importantes en la nutrición de las plantas, las micorrizas arbusculares también contribuyen a proteger las plantas de bacterias, hongos y nematodos patógenos existentes en el suelo al inhibir su ingreso a raíces colonizadas por hongos formados de micorrizas arbusculares. Las micorrizas arbusculares también contribuyen en mejorar y mantener la estructura del suelo. Las micorrizas arbusculares contribuyen a mantener la estructura del suelo por medio del crecimiento de las hifas del hongo al interior del suelo aumentando la porosidad entre partículas, ayudando a la microagregación que junto con las raíces de las plantas forman macroagregados, y agregando en forma directa materia orgánica en el suelo a partir de la segregación de glomalina, una proteína formada por el hongo que actúa como un pegante (Miller y Jastrow, 1990, 2000). Por ello, las micorrizas pueden tener un papel más importante en la estructura del suelo que otros hongos.

Se considera entonces que los hongos formadores de micorrizas arbusculares tienen un efecto multifuncional en los ecosistemas (Newsham *et al.*, 1995), mejorando la calidad física y química del suelo, la nutrición y condiciones medioambientales para el buen desarrollo de las plantas.

■ Área de estudio

Se muestrearon tres CCGE (CCGE) de 9 años de edad en etapa de improductiva, establecidos con nueve clones introducidos: FDR 4575, FDR 5597, FDR 5788, MDF 180, CDC 56, CDC 312, GU 198, FX 3899, FX 4098 y el clon testigo IAN 873 (Sterling and Rodríguez, 2018; Sterling and Rodríguez, 2012), localizados en el municipio de Florencia (vereda Balcanes, con coordenadas 01°37'03" N y 75°37'03" W, altitud 270 msnm), Belén (vereda Agua Dulce, con coordenadas 1°25'28" N y 75°52'11" W, altitud 300 msnm) y San Vicente del Caguán (vereda Buenos Aires, con coordenadas 02°02'40.8" N y 74°55'11.7" W, altitud 300 msnm) (Figura 3.1 A, B y C)

Asimismo, se realizaron muestreos en dos CCGE de un año de edad establecidos con nueve genotipos élite caquetenses de origen franco de la Serie 100 (E25, E29, E35, E60, E64, E66, E73, E83, E90) y el clon testigo IAN 873 (Sterling y Rodríguez, 2011; Sterling y Rodríguez, 2018), los cuales se encuentran localizados en los municipios de El Paujil (vereda Moravia, con coordenadas 01°31'38.46" N y 75°17'32.59" W, altitud 470 msnm), y San Vicente del Caguán (con coordenadas 02°01'42.62" N y 74°54'38.95" W, altitud 346 msnm) (Figura 3.1 D y E).

Finalmente, se muestreó un CCPE establecido con 99 genotipos élite caquetenses de origen franco denominados Serie 200 y el clon testigo IAN 873 (Sterling y Rodríguez, 2017; Sterling y Rodríguez, 2018), los cuales se encuentran localizados en el municipio de El Paujil, (vereda Moravia, con coordenadas 01°30'55.31" N y 75°17'38.20" W, altitud 270 msnm) (Figura 3.1 F).

Cada CCGE correspondió a un diseño de bloques completos al azar, dividido en cuatro bloques, con 10 tratamientos (clones) y 60 árboles por clon (parcela elemental) para un total de 600 árboles por bloque. Los árboles de caucho se encontraban establecidos en surcos sencillos con una distancia de siembra de 7.0 x 3.0 m. El CCPE siguió el mismo tipo de diseño con la diferencia que se utilizaron 100 tratamientos (99 genotipos y el clon testigo) y 12 plantas por tratamiento (parcela elemental) para un total de 1200 plantas por bloque.

Adicionalmente, y para poder establecer cambios en la composición de HMA al reconvertir potreros en sitios de cultivo de caucho, se muestrearon potreros (CPo) en uso entre 15 y más de 50 años presentes en la matriz de pastura aledaña a los actuales campos clonales de caucho.

■ Muestreo de termitas

Las termitas se muestrearon siguiendo el protocolo del transecto (Jones y Eggleton, 2000), el cual ofrece una herramienta rápida para la investigación de los patrones espaciales y temporales de la estructura de los ensamblajes de termitas en ecosistemas tropicales. A dicho protocolo se le introdujo una modificación consistente en aumentar en 5 m la longitud del transecto en cada lote para un total de 105 m para obtener un total de 15 parcelas de 7 x 3 metros teniendo como guías las distancias de plantación del caucho.

En cada parcela de caucho se trazaron tres transectos de 90 metros (usualmente paralelos entre sí, pero dependiendo de las características del rodal) a no menos de 50 m del borde de la parcela y de sí mismas, con cinco divisiones contiguas (parcelas) de 7 x 3 m (Figura 3.2 A) y dejando una sección de 7 x 3 m sin intervención entre cada parcela muestreada para un total de 45 m muestreados por transecto.

Cada una de las parcelas fue examinada por un equipo de cuatro personas durante 20 minutos, en donde tres personas se encargaban de buscar termitas en hojarasca, ramas secas, tocones, montículos aéreos y epigeos y suelo hasta 5 cm de profundidad, y una única persona se encargaba de muestrear suelo hasta 15 cm de profundidad. En potrero, al no tener líneas de plantación se instalaban tres transectos de 45 metros divididos en cinco parcelas cada 7 metros y se muestrearon en zigzag (Figura 3.2 B).

Este método proporciona una medida semi-cuantitativa de la abundancia relativa de termitas según el número de encuentros de cada especie por transecto. Un encuentro se define como la presencia de una especie en una sección. En otras palabras, si una especie se encuentra presente en todas las secciones de un transecto, la abundancia relativa de esa especie tendrá un valor de cinco (Jones, 2000).

Todas las muestras colectadas se codificaron y fueron guardadas en bolsas Ziploc debidamente marcadas para su debido proceso de curaduría y taxonomía en los laboratorios del Instituto SINCHI en la ciudad de Leticia.

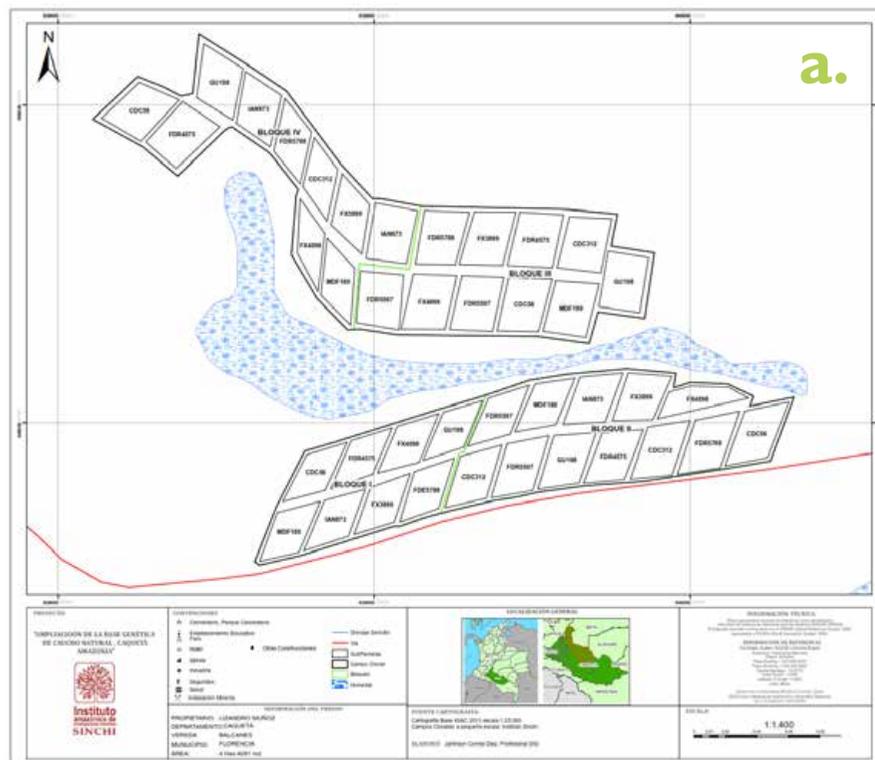
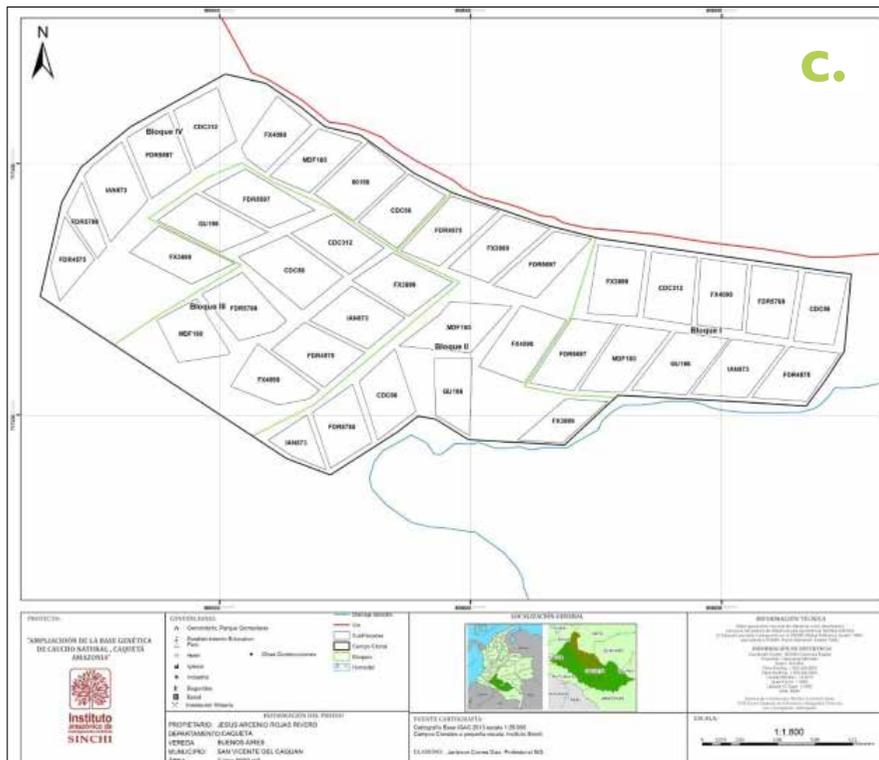
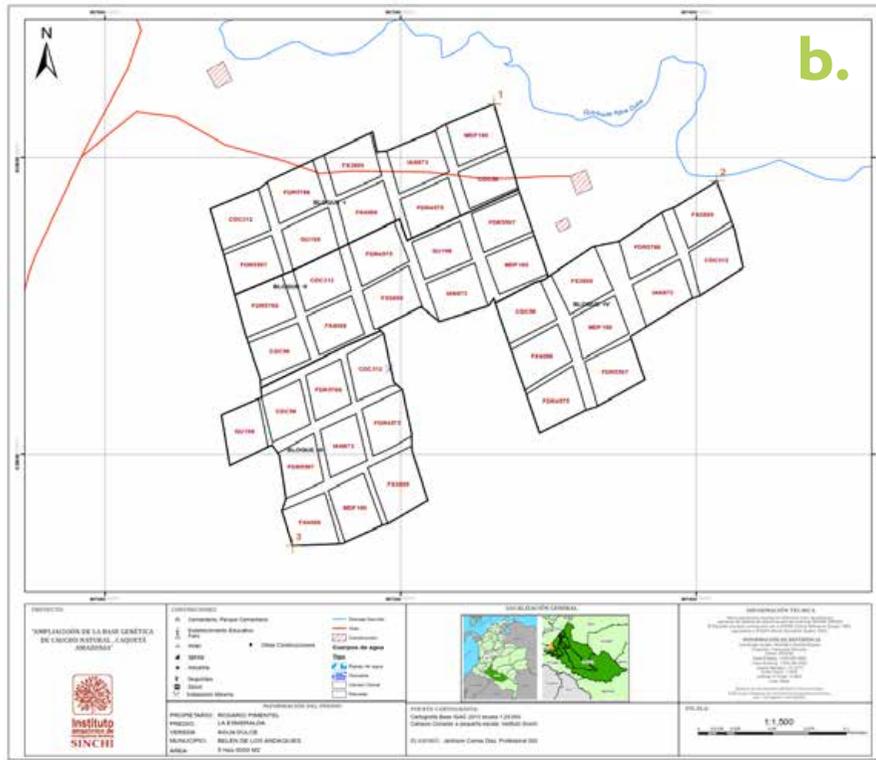
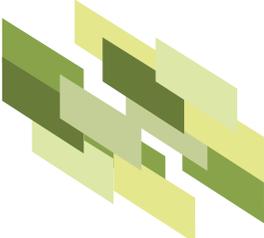
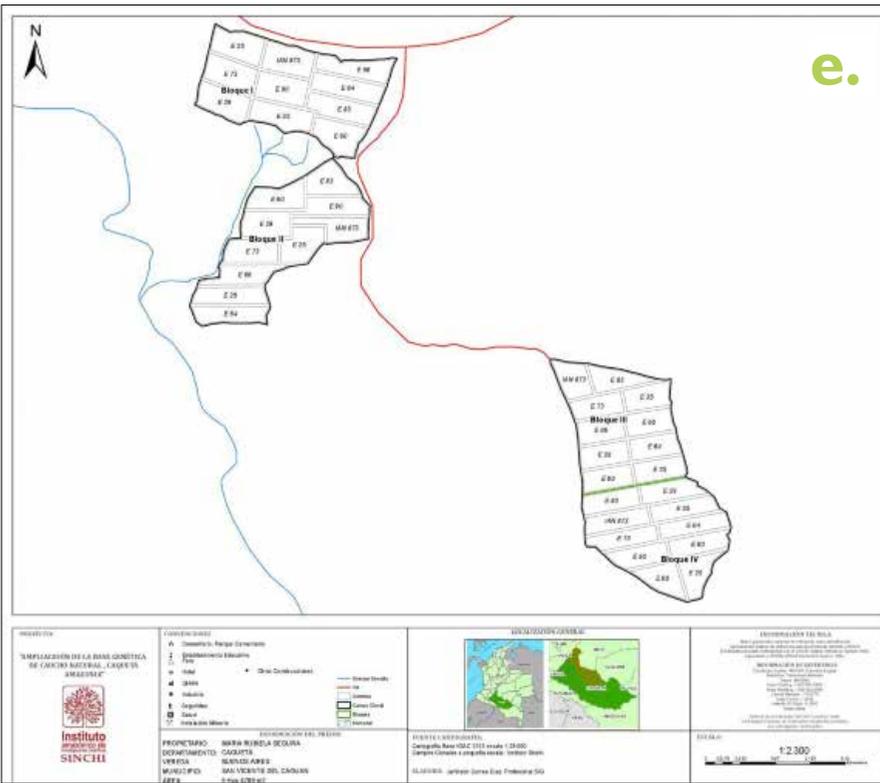
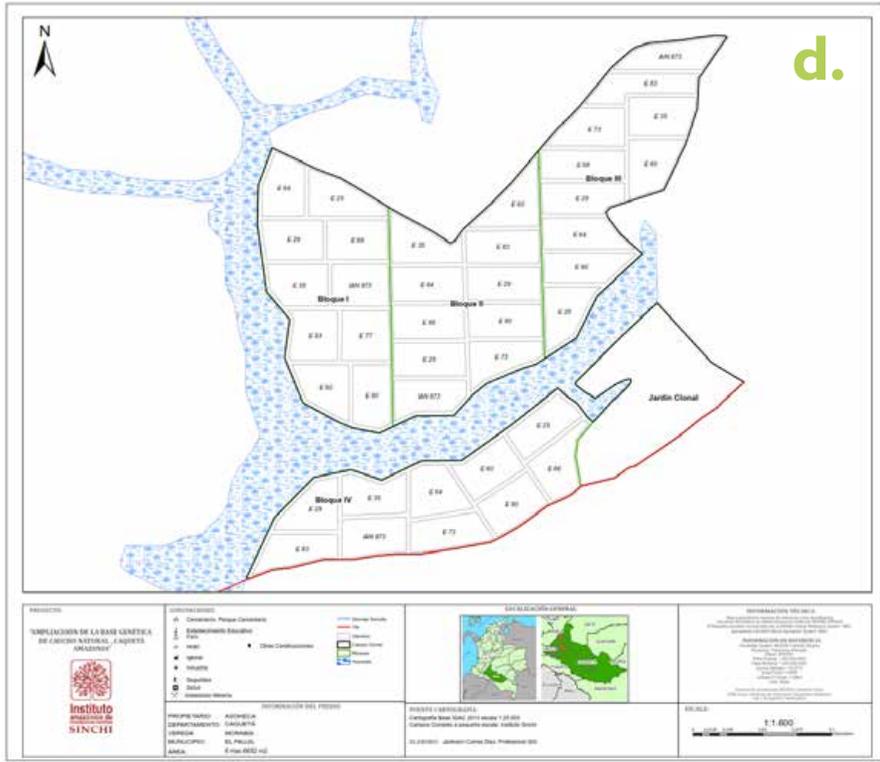


Figura 3.1. Planos de los Campos Clonales a Gran Escala (CCGE) y a Pequeña Escala (CCPE) con materiales genéticos de caucho promisorios en Caquetá (A, B, C, clones introducidos, y D, E, F, genotipos élite). A. CCGE de Florencia. B. CCGE de Belén de los Andaquíes. C. CCGE de San Vicente del Caguán. D. CCGE de El Paujil. E. CCGE de San Vicente del Caguán. F. CCPE de El Paujil.

Fuente: Sterling y Rodríguez (2018).





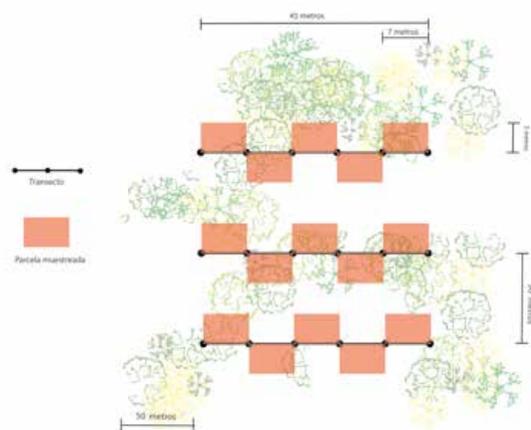
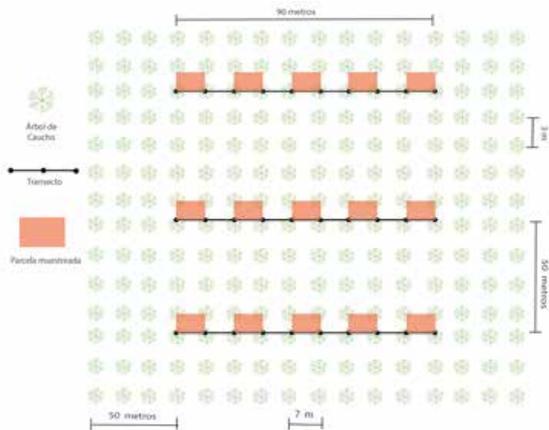
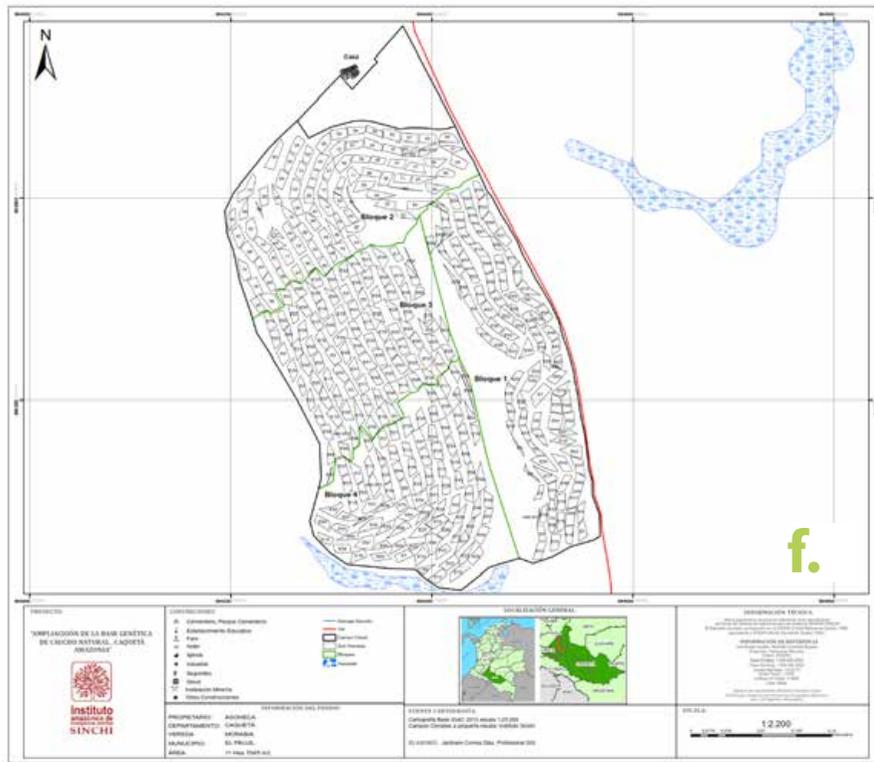


Figura 3.2. Esquema de muestreo. A. CCGE de caucho. B. Potrero.

Fuente: Elaboración propia

Identificación de las termitas en laboratorio

En el laboratorio, se identificaron las especies de termitas por características morfológicas. Inicialmente para la identificación de géneros se utilizaron claves para género y descripciones recientes de géneros (Constantino, 2002; Bourguignon *et al.*, 2010, 2016; Rocha *et al.*, 2012). Para especie se utilizaron las características morfológicas de los soldados para todas las termitas exceptuando la subfamilia Apicotermatinae. Para la subfamilia Apicotermatinae se utilizaron claves, revisiones y descripciones originales de las especies (Emerson, 1928; Emerson y Banks, 1957, 1965; Krishna y Araujo, 1968; Mathews, 1977; Fontes, 1985; Constantino, 1995, 1998; Constantino y De Souza, 1997; Canello y Noiroto, 2003; Constantino *et al.*, 2006; Engel y Krishna, 2007; Constantini y Canello, 2016; Oliveira y Constantino, 2016).

Para las termitas sin soldado (subfamilia Apicotermatinae) también se procedió a hacer disección de la válvula entérica en los casos que fue posible. Estas se morfotiparon o de identificaron igualmente con ayuda de la morfología de las mandíbulas y del tubo digestivo, con las claves y descripciones recientes para este grupo de termitas (Bourguignon *et al.*, 2016, 2010; Scheffrahn *et al.*, 2017; Castro *et al.*, 2018).

Muestreo de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA)

En cada campo clonal se estableció una cuadrícula de 60 x 60 m. En cada esquina y en el centro se tomaron las muestras de suelo de 100 g y muestras de aproximadamente 10-15 raíces finas de los cinco árboles de caucho más cercanos a cada punto de muestreo (Figura 3.3).

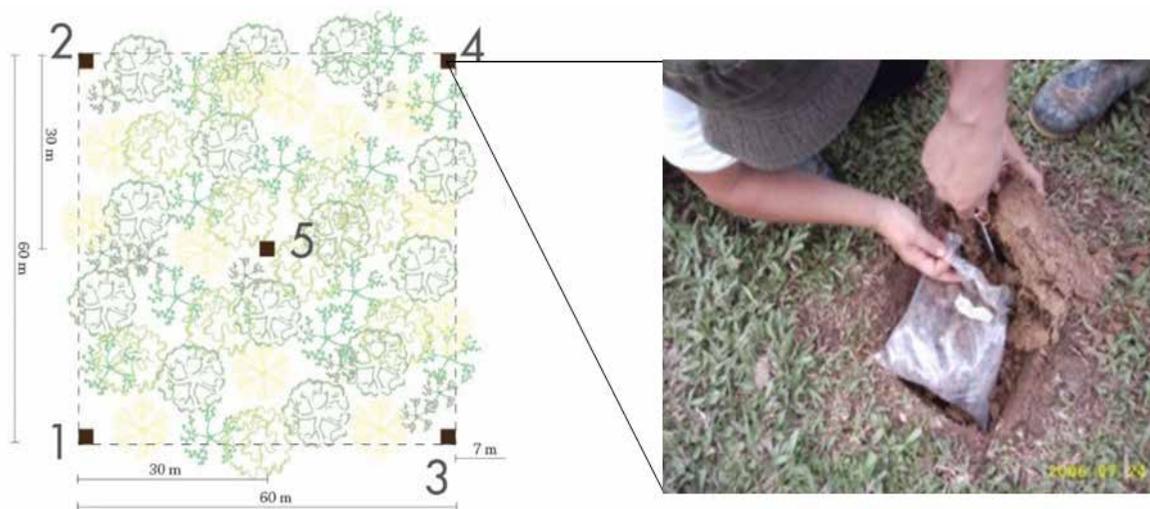


Figura 3.3. Esquema de toma de muestras de suelo para estimación de abundancia y morfotipos de hongos formadores de micorrizas arbusculares.

Fuente: Elaboración propia

En los potreros no se hizo colección de raíces por no existir árboles de caucho allí. Los suelos fueron transportados en bolsas de polietileno, secados posteriormente a temperatura ambiente y guardados en nevera hasta su procesamiento en el laboratorio. Las muestras de raíces colectadas en campo se colocaron en bolsas de papel con silica gel como secante durante su transporte hasta el laboratorio.

En los campos clonales de caucho se tomaron igualmente las cinco muestras de suelo. Adicionalmente se colectaron muestras por duplicado de los 10 genotipos y los 10 clones de caucho establecidos en los CCGE y en los 99 genotipos de caucho establecidas en el CCPE más una muestra por duplicado de raíces del clon IAN 873 para su comparación con los clones caquetenses.

▀ Identificación de hongos de micorriza arbuscular

En el laboratorio, las muestras de suelo fueron procesadas para extraer las esporas de HMA presentes en cada una de las muestras a partir de 10 g de suelo, por medio de un tamizado húmedo y centrifugación en un gradiente de sacarosa siguiendo la metodología de Gendermann y Nicolson (1964). Las esporas obtenidas fueron cuantificadas. Los diferentes morfotipos de esporas fueron fotografiados, dibujados y medidos para determinar el género a que correspondían y así la riqueza de morfoespecies en cada campo clonal muestreado.

Las muestras de raíces colectadas fueron lavadas para eliminar el suelo adherido, clareadas y teñidas con azul de tripano, siguiendo la metodología de Phillips y Hayman (1970), sustituyendo el lactofenol por lactoglicerina. Las raíces teñidas fueron colocadas enteras y organizadas horizontalmente en láminas portaobjetos para su revisión al microscopio a un aumento de 400 x de amplificación. La cuantificación de la colonización de raíces por HMA se realizó siguiendo la metodología de estimación del porcentaje de colonización por el método de intersección de cuadrícula propuesto por Giovannetti y Mosse (1980).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diversidad de termitas en los campos clonales de caucho

En total se colectaron 276 muestras y 6.187 individuos entre los campos clonales y los potreros muestreados.

Se identificaron 31 especies de dos familias diferentes (Tabla 3.1). La familia más abundante fue TERMITIDAE con un 60.5% el total de muestras colectadas, y la familia RHINOTERMITIDAE con un 39.5%. La especie más abundante fue *Heterotermes tenuis* siendo la única representante de la familia RHINOTERMITINAE. Esta especie es reconocida como una de las principales plagas en Colombia, pero no se encontró evidencia de daños a los árboles. Estas se encontraron en las ramas secas caídas en el suelo consumiendo madera seca.

Tabla 3.1 Especies de termitas encontradas en tres campos clonales a gran escala y potreros en el departamento del Caquetá. G. trófico: X: Xilófago, Hu: Humívoro, I: Intermedio, H: Consumidor de hojarasca. Nidificación: W: madera seca, T: termitero epigeo (sobre el suelo), A: termitero aéreo, S: suelo.

FAMILIA/ SUBFAMILIA/ ESPECIE	Campo Clonal	Potrero	Total general	G. Trófico	Nidificación
Rhinotermitidae	85	24	109		
Heterotermitinae	85	24	109		
<i>Heterotermes tenuis</i> Hagen, 1858	85	24	109	X	S, T, W
Termitidae	117	50	167		
Apicotermatinae	76	30	106		
<i>Anoplotermes cf. banksi</i> Emerson, 1925	6	7	13	Hu	S, T, W
<i>Anoplotermes cf. pacificus</i> Müller, 1873	1		1	Hu	S
<i>Anoplotermes</i> sp1	6	6	12	Hu	S, T, W
<i>Anoplotermes</i> sp2	5	1	6	Hu	S
Apicotermatinae sp1	25	5	30	Hu	S, T, W
Apicotermatinae sp3	8		8	Hu	S, W
Apicotermatinae sp5		1	1	Hu	T
<i>Compositermes vindai</i> Scheffrahn, 2013	3		3	Hu	S, W
<i>Humitermes krishnai</i> Bourguignon & Roisin, 2016	7	8	15	Hu	S, T
<i>Longustitermes manni</i> Snyder, 1922	11	1	11	Hu	S
<i>Patawatermes turricola</i> Silvestri, 1901	4		4	Hu	S, T
<i>Rubeotermes jheringi</i> Holmgren, 1906		1	1	Hu	S
Nasutitermitinae	15	5	20		
<i>Araujotermes nanus</i> Constantino, 1991	1		1	In	W
<i>Atlantitermes osborni</i> Emerson, 1925		1	1	In	T
<i>Atlantitermes raripilus</i> Emerson, 1925	1		1	In	W
<i>Nasutitermes. guyanae</i> Holmgren, 1910	6		6	X	A, T, W

FAMILIA/ SUBFAMILIA/ ESPECIE	Campo Clonal	Potrero	Total general	G. Trófico	Nidificación
<i>Nasutitermes cf. surinamensis</i> Holmgren, 1910		3	3	X	A, T, W
<i>Nasutitermes corniger</i> Motschulsky, 1855	5		5	X	A, W
<i>Subulitermes baileyi</i> Emerson, 1925		1	1	Hu	S
<i>Triangularitermes triangulariceps</i> Mathews, 1977	2		2	X	S, W
Syntermitinae	11	13	24		
<i>Embiratermes neotenicus</i> Holmgren, 1906	10	8	18	In	T, W
<i>Silvestritermes euamignathus</i> Silvestri, 1901		4	4	In	T, W
<i>Silvestritermes holmgreni</i> Snyder, 1926	1		1	In	T
<i>Syntermes molestus</i> Burmeister, 1839		1	1	H	T
Termitinae	15	2	17		
<i>Crepitermes verruculosus</i> Emerson, 1925		1	1	Hu	S
<i>Cylindrotermes parvignathus</i> Emerson, 1949	2		2	X	S, W
<i>Neocapritermes talpa</i> Holmgren, 1906	7		7	In	S
<i>Neocapritermes taracua</i> Krishna & Araujo, 1968	1		1	In	W
<i>Spinitermes trispinosus</i> Hagen, 1858	1		1	Hu	T
<i>Termes hispaniolae</i> Banks, 1918	4	1	5	In	S, T
Total general	202	74	276		

La familia TERMITINAE estuvo representada por cuatro subfamilias: Apicotermitinae (63,4%), Nasutitermitinae (11,9%), Syntermitinae (14,3%) y Termitinae (10,2%); La subfamilia Apicotermitinae es de gran importancia ecológica para los suelos debido a que está conformado por especies humívoras y su presencia contribuye significativamente a la disponibilidad de nutrientes. Esta subfamilia además de ser la más abundante fue la más diversa con 12 especies reportadas.

El uso técnicas de disección de la válvula entérica y la confirmación de expertos internacionales de las especies, aspectos comúnmente no incluidos en otros trabajos, permitieron la identificación de varias de estas especies, alcanzando así un número considerable de especies descritas donde se destaca el reporte de 5 especies de termitas de suelo que aún no están descritas para la ciencia (Figura 3.4).

La especie más abundante de la familia TERMITIDAE fue *Apicotermitinae sp.1* (Figura 3.5), una especie cuyo genero aún no está descrito para la ciencia. La segunda especie fue *Embiratermes neotenicus*, (Figura 3.6), una especie que consume hojarasca y que se encontró mayoritariamente en termiteros epigeos, siendo una especie que no presenta ningún riesgo para las plantaciones.

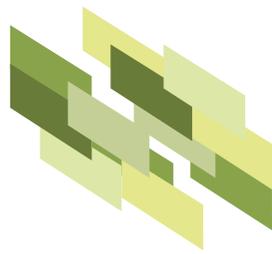
La tercera especie más abundante fue *Humitermes krishnai* (Figura 3.7), especie que solo se había reportado en el departamento del Casanare y en la Guyana Francesa, por lo que es el primer registro para la Amazonia.



Figura 3.4. Válvulas entéricas de especies aún descritas. A: *Apicotermitinae* sp3 y B: *Apicotermitinae* sp5.

Fuente: Elaboración propia

Se encontró un total de 23 especies en los campos clonales y 17 especies en potreros. La diferencia en diversidad entre los campos clonales y los potreros no fue muy grande. La poca diferencia en el número de especies se puede explicar porque aún los campos clonales son muy jóvenes, hay poca disponibilidad de materia orgánica en el suelo a causa de las prácticas silviculturales de manejo que se hacen, haciendo que especies poco adaptativas puedan establecerse en estas condiciones.



Sin embargo, en abundancia los campos clonales casi triplica lo encontrado en los potreros, reflejando que especies promisorias tienen mayor oportunidad en los campos clonales que en los potreros, siendo este un efecto positivo del cambio de cobertura de potrero a campo clonal.

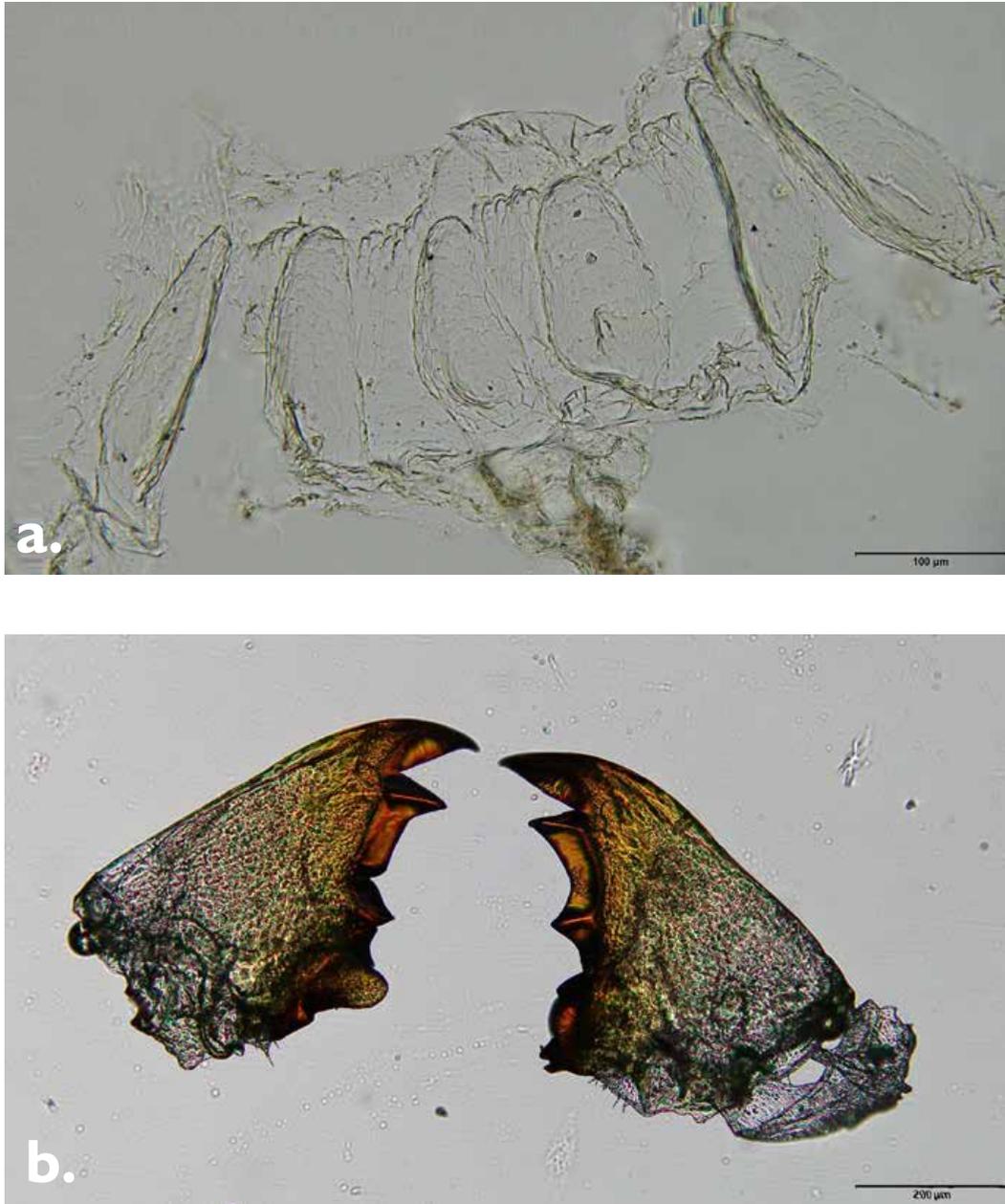


Figura 3.5. A: Válvula entérica y B: mandíbulas de *Apicotermiteae* sp I.

Fuente: Elaboración propia

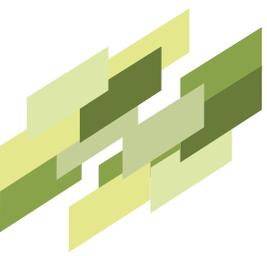




Figura 3.6. A: Vista dorsal, B: lateral de *Embiratermes neotenicus*. Escala 1mm.

Fuente: Elaboración propia

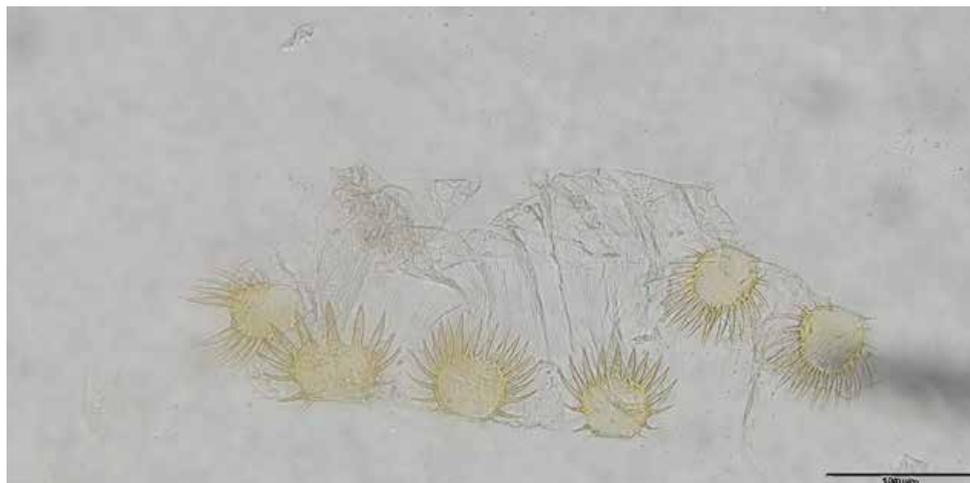
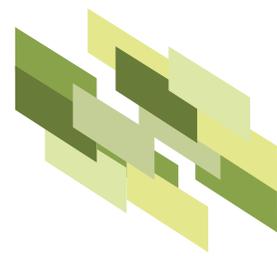


Figura 3.7 Válvula entérica de *Humutermes krihsnai*.

Fuente: Elaboración propia



Tanto en campos clonales como en potrero se encontraron termiteros aéreos y terrestres (Figura 3.8). Las termitas que se encontraron en madera seca y suelo fueron más abundantes en los campos clonales debido a la disponibilidad de materia orgánica. Una mayor presencia de termitas de suelo en campos clonales indica que los suelos están teniendo una transformación positiva frente a los potreros como forma de uso del suelo.



Figura 3.8 A: Termitero aéreo, B: termitas en suelo en campos clonales de caucho.

Fuente: Elaboración propia

El tipo de nido de termita menos encontrado fue el termitero aéreo (Figura 3.9). En el potrero por la escasez de árboles allí presentes, y en los campos clonales por los manejos contra plagas que se realizan y que eliminan este tipo de nidos de los árboles.

▀ **Termitas como posibles agentes dañinos para el caucho**

Las termitas son más reconocidas por su potencial dañino que por su potencial ecológico. En el presente muestreo se evidenciaron tres especies que en algunos casos se pueden convertir en plaga cuando se producen desequilibrios en el sistema: *Heterotermes tenuis*, *Nasutitermes guyanae* y *Nasutitermes corniger*.

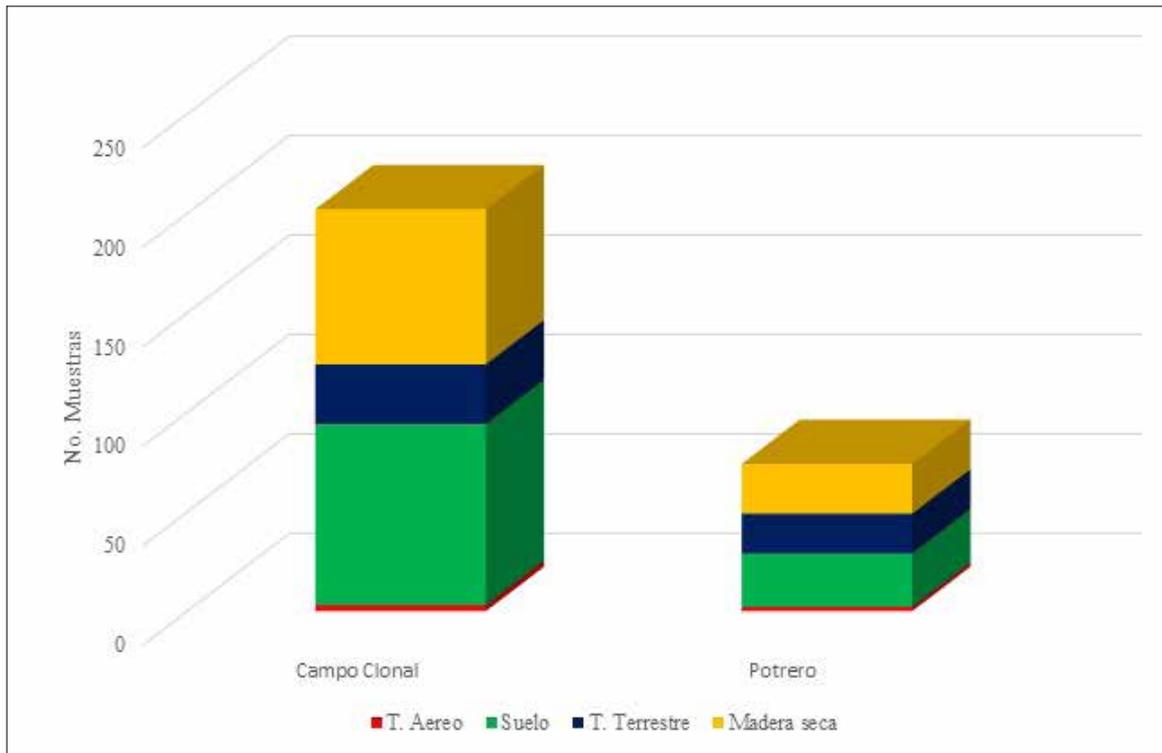


Figura 3.9. Tipos de nidos de termitas encontrados.

Fuente: Elaboración propia

Es importante que el productor pueda detectar algún signo temprano para poder actuar preventivamente. Estas especies pueden ser fáciles de identificar a simple vista (Figura 3.10). El soldado de *Heterotermes tenuis* tiene la cabeza amarilla y su cuerpo es blanquecino. Puede ser confundido con *Cylindrotermes parvignatus*, pero este último no tiene el cuerpo blanquecino y es mucho más pequeño. Además *H. tenuis* suele encontrarse en madera muy seca mientras *C. parvignatus* se encuentra en madera muy descompuesta.

Las otras dos especies *Nasutitermes corniger* y *Nasutitermes guyanae* (Figura 3.11) pertenecen al mismo género y diferenciarlas entre sí a simple vista puede ser difícil. Las dos especies son grandes, oscuras y suelen construir sus nidos en los árboles, aunque no suelen alimentarse del árbol en pie, es importante monitorearlas porque pueden atacar las raíces o las cicatrices de las podas.

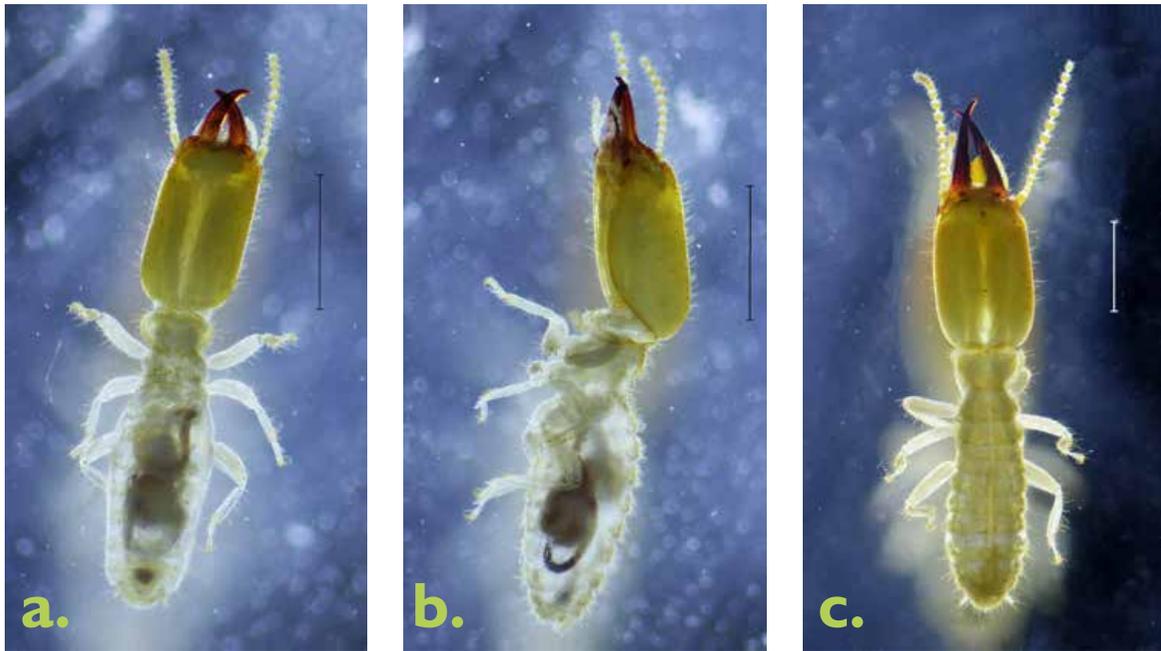


Figura 3.10. A y B: *Cylindrotermes parvignatus*. C: *Heterotermes tenuis*. Escala 1 mm.

Fuente: Elaboración propia

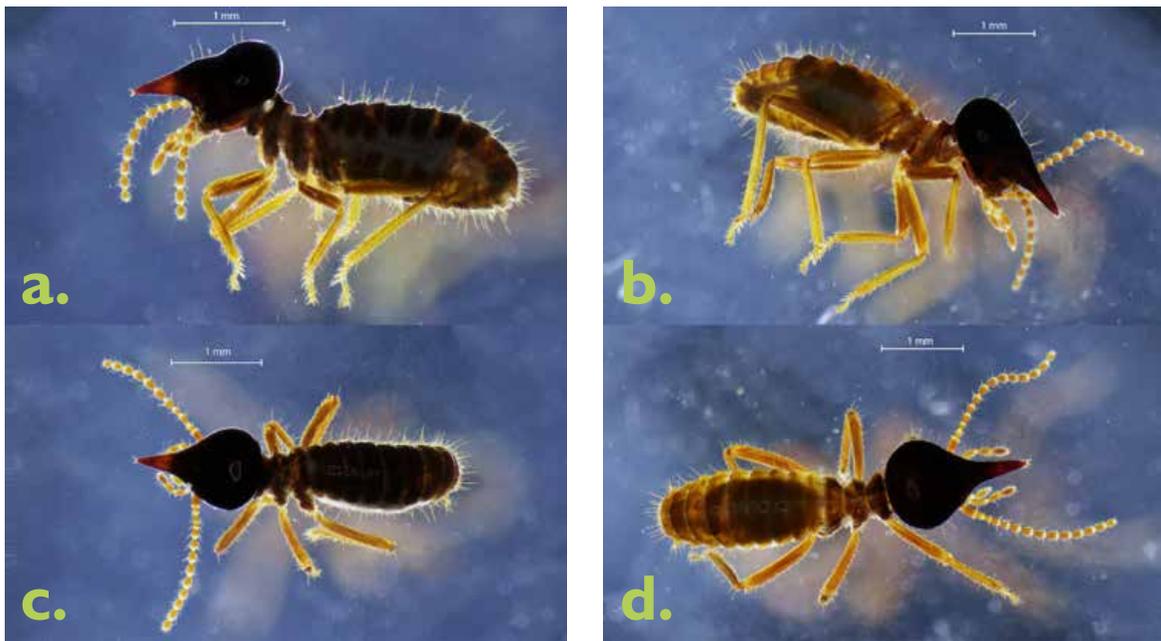
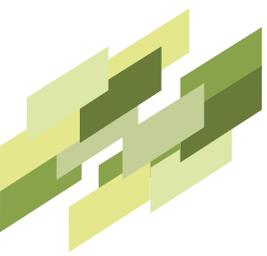


Figura 3.11. A y C: *Nasutitermes corniger*, B y D: *Nasutitermes guayanae*.

Fuente: Elaboración propia



▀ Abundancia de esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares

Uno de los parámetros más usados para estimar la presencia y composición de las comunidades de HMA, es el recuento de esporas en el suelo. Se puede estimar la abundancia, así como la diversidad de morfotipos (tipos de esporas diferentes) que pueden representar especies de HMA diferentes presentes en el suelo estudiado. Los resultados muestran que existe un mayor número de esporas en potreros que en campos clonales de caucho (Figura 3.12).

Al momento de la toma de muestras se pudo evidenciar que algunos de los campos clonales son limpiados con herbicidas. Los herbicidas eliminan muchos huéspedes de HMA tales como gramíneas y herbáceas (Sieverding y Leihner, 1984), lo que hace que la cantidad de inóculo de HMA en el suelo disminuya, reflejándose en un menor número de esporas en suelos de campos clonales. Sin embargo, el número de esporas de HMA en el suelo de campos clonales fue alto (298 esporas por 10 g de suelo en promedio), no siendo un factor que pueda afectar de manera drástica la colonización de raíces de caucho por HMA.

▀ Diversidad de morfoespecies de esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares

A partir de la diversidad de morfoespecies de esporas encontradas se pudo establecer que existe una menor diversidad en los campos clonales de caucho que en los potreros (Figura 3.13), aun cuando la diferencia no es significativa.

Los manejos y cuidados que se hacen al caucho en estos primeros años suelen favorecer el crecimiento de las especies sembradas, aun en detrimento de otras plantas y organismos del suelo. Sieverding y Leihner (1984) observaron que no todos los herbicidas tienen el mismo efecto sobre los HMA y que algunos no solo reducen en general el inóculo de HMA presente en el suelo, sino que afectan de manera más directa algunas especies de estos hongos cambiando la composición de sus comunidades, reflejándose en una menor diversidad de HMA en el suelo.



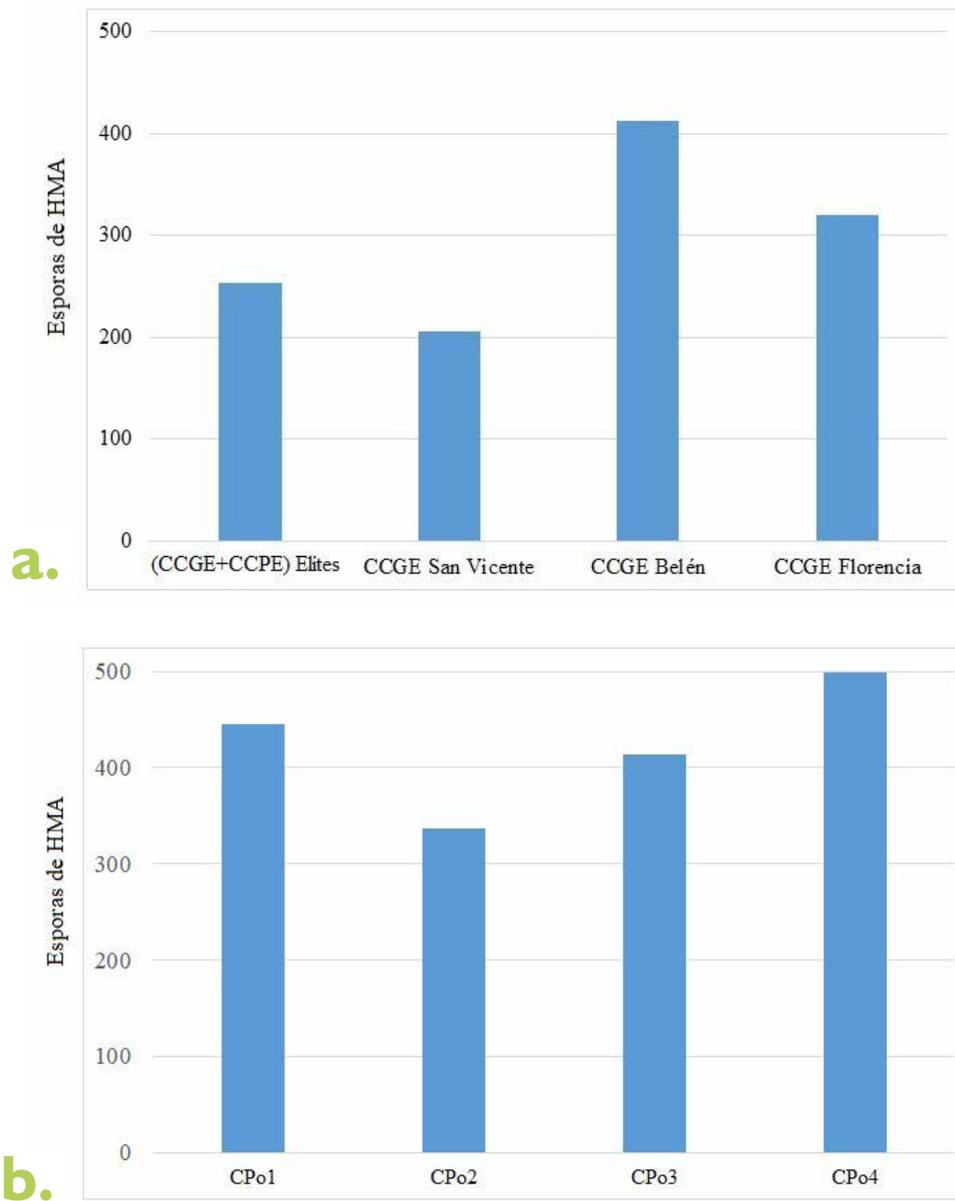


Figura 3.12. Recuento de esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares en campos clonales a de caucho (A) y en potreros (CPo) en uso (B) del departamento de Caquetá.

Fuente: Elaboración propia

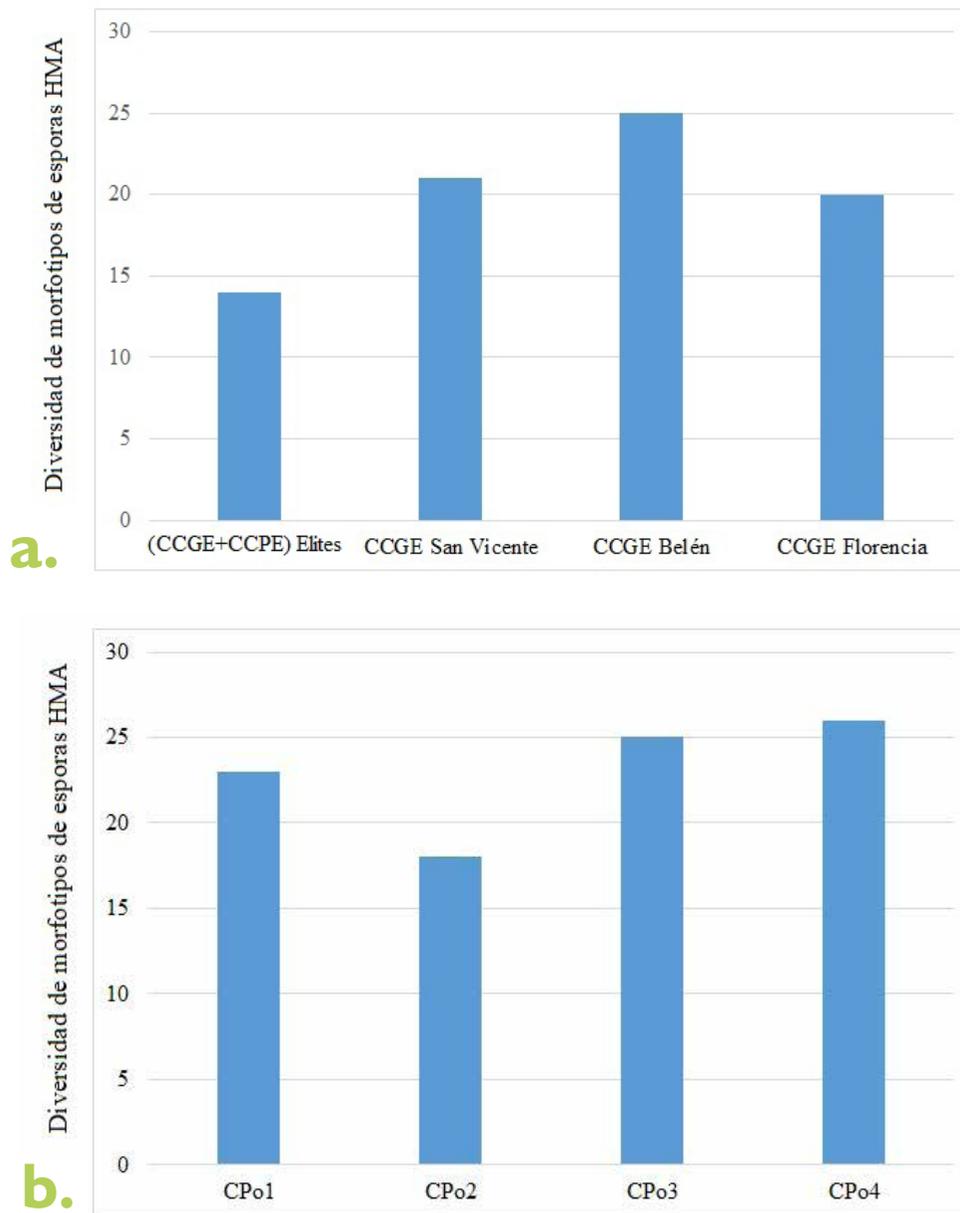


Figura 3.13. Diversidad de morfotipos de esporas HMA encontradas en suelos de campos clonales de caucho (A) y poteros (CPo) en uso (B) del departamento de Caquetá.

Fuente: Elaboración propia

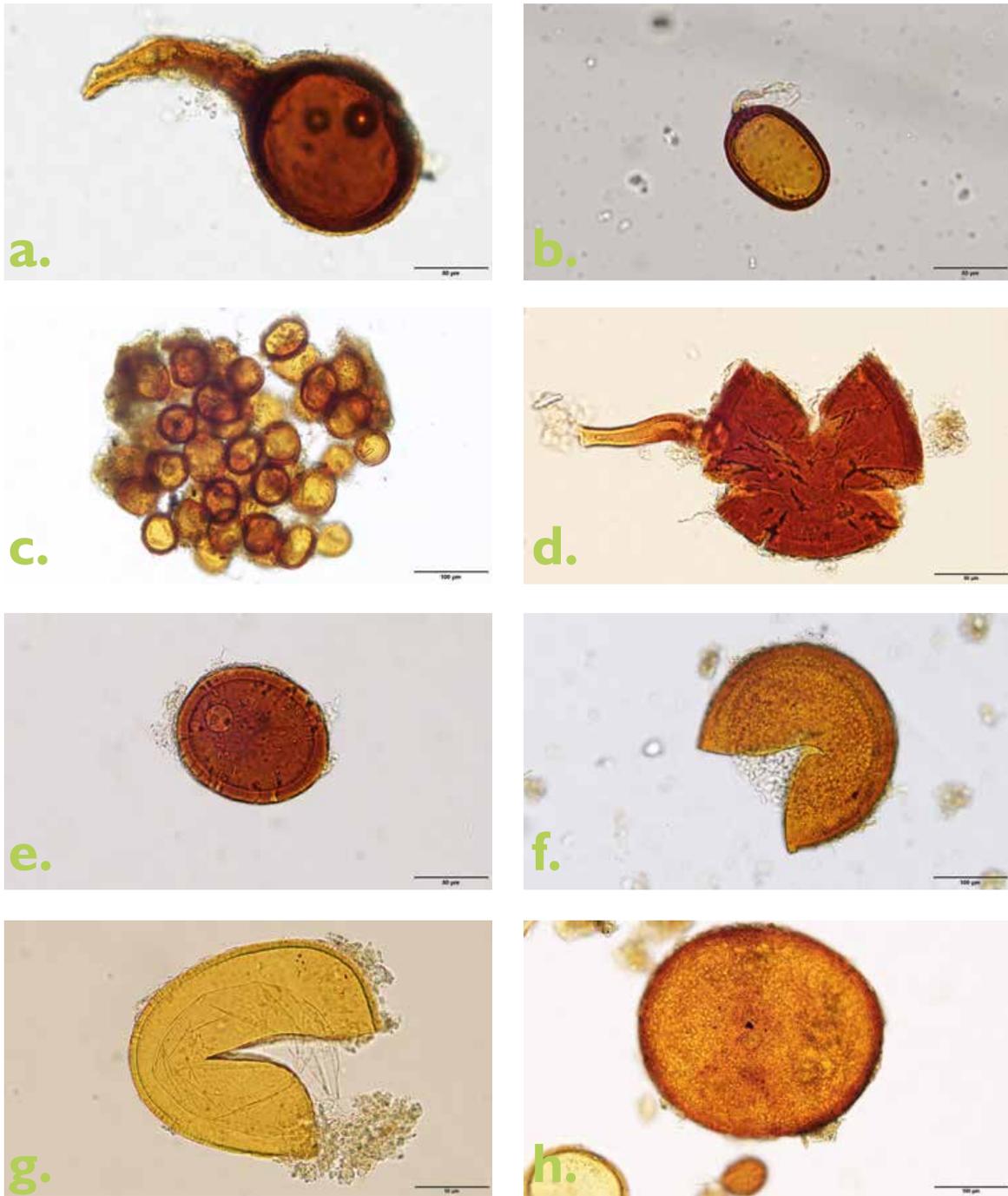
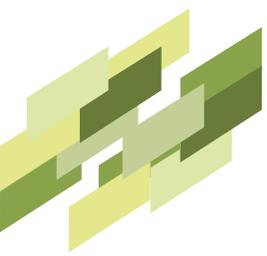


Figura 3.14. Morfoespecies de esporas de A, B, C, D: *Glomus* sp. y E, F, G, H: *Acaulospora* sp. asociados a campos clonales de caucho.

Fuente: Elaboración propia



La presencia de micorrizas arbusculares en raíces de caucho ha sido reportada ampliamente (Schwob *et al.*, 1999; Peña-Venegas, 2010; Pereira *et al.*, 2014), siendo una especie que micorriza y que se beneficia de esta asociación. Se ha estimado que la raíz de un árbol de caucho puede ser colonizado entre 16 y 21 especies diferentes de HMA (Herrmann *et al.*, 2016). Un promedio de 20 especies diferentes de HMA en el suelo (asumiendo que cada morfotipo de espora es una especie de HMA diferente), sería un inóculo suficiente para el establecimiento de la asociación.

Los géneros comúnmente asociados a caucho son *Glomus* y *Acaulospora* (Herrmann *et al.*, 2016). Estos géneros fueron también los más diversos y abundantes en los suelos de los campos clonales visitados (Figura 3.14), conformando más del 80% de la comunidad de HMA. Estos dos géneros son también los más abundantes en suelos amazónicos bajo coberturas naturales y antrópicas (Peña-Venegas, 2010; Stürmer y Siqueira, 2011; Freitas *et al.*, 2014), siendo una comunidad con alta resiliencia a los cambios de cobertura y de uso del suelo.

■ Colonización de raíces de caucho por hongos formadores de micorrizas arbusculares

En general, la colonización de raíces de caucho por HMA en campos clonales fue baja, siendo en promedio de 40% en clones de caucho introducidos en campos clonales de 9 años (Figura 3.15) y de 30% en genotipos élitos de caucho en campos clonales de 1 año de edad (Figura 3.16). Mayores porcentajes de colonización por HMA en raíces de caucho han sido reportados en plantaciones comerciales en Brasil (40-50%) (Schwob *et al.*, 1999), en plantaciones comerciales en Meta-Colombia (80-95%) (Sosa *et al.*, 2013) y en plantaciones comerciales y bosques naturales de la Amazonia colombiana (45-55%) (Peña-Venegas, 2010).

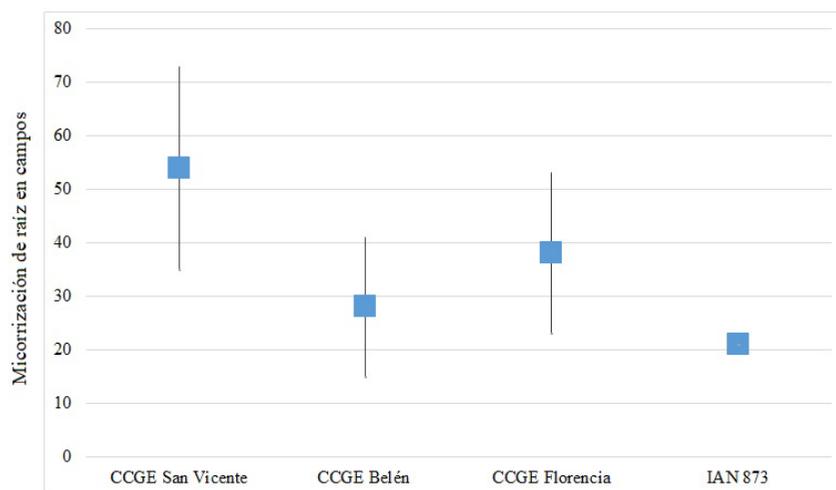


Figura 3.15. Porcentaje de colonización de raíces de caucho por hongos formadores de micorrizas arbusculares en tres campos clonales a gran escala de 9 años de edad (CCGE con clones introducidos) en comparación con el clon testigo IAN 873 en el departamento del Caquetá.

Fuente: Elaboración propia

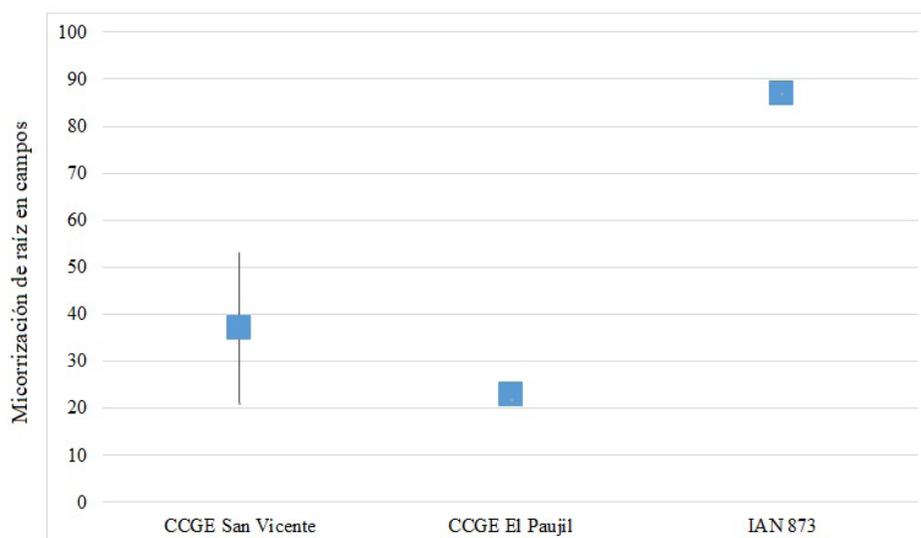


Figura 3.16. Porcentaje de colonización de raíces de caucho por hongos formadores de micorrizas arbusculares en dos campos clonales a gran escala de 1 año de edad (CCGE con genotipos élite caquetenses) en comparación con el clon testigo IAN 873 en el departamento del Caquetá.

Fuente: Elaboración propia

Claramente, el manejo agronómico de los campos clonales no favorece el establecimiento de un abundante inóculo de HMA en los suelos y por ende una mejor colonización de las raíces de caucho. Sin embargo, a pesar que el porcentaje de colonización de las raíces fue bajo, se observó una colonización en raíz de las plantas muestreadas bien establecida, con diversas estructuras (Figura 3.17), lo que indicaría que la asociación es efectiva y debe estar beneficiando a las plantas micorrizadas.

La colonización de genotipos élites de caucho establecidos en el campo clonal a pequeña escala (CCPE) de El Paujil, por el contrario, mostró una buena colonización de raíz por HMA, siendo en promedio de 65% (Figura 3.18). Aun cuando este campo clonal tiene un manejo similar al que se les da en las fincas caucheras, la historia del potrero donde fueron establecidas ha hecho que en él se establezca y mantenga una mejor comunidad de HMA, lo cual ha favorecido la colonización micorrizal de las plantas.

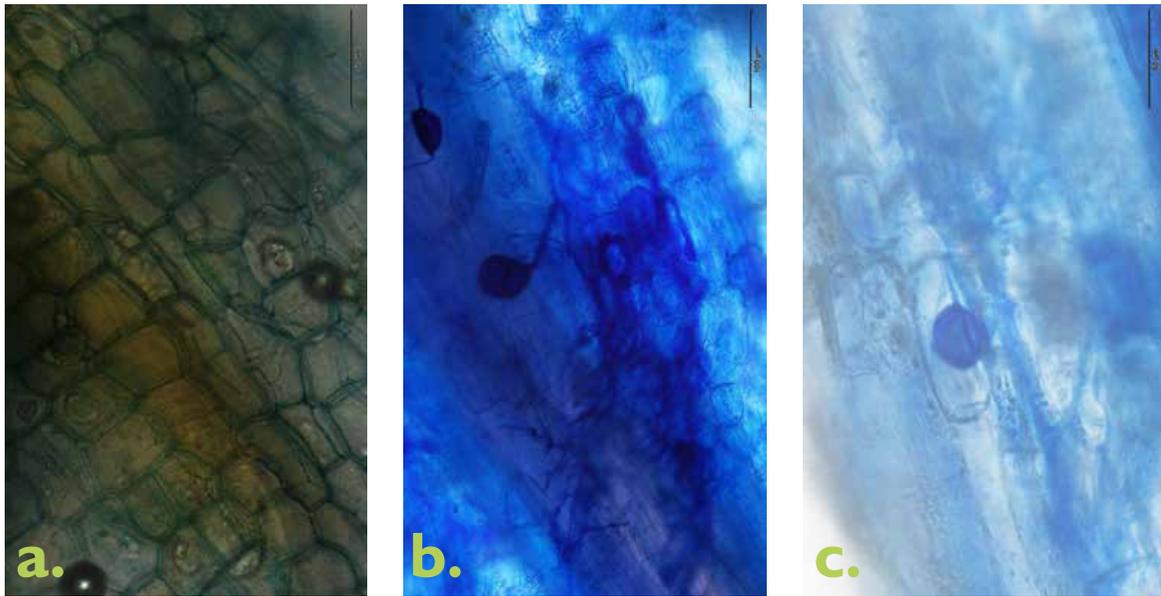


Figura 3.17. Estructuras de micorrizas arbusculares observadas en raíces de caucho: A. Raíz sin colonizar; B y C. Raíz micorrizada con vesículas (V), esporas (E) y micelio (M).

Fuente: Elaboración propia

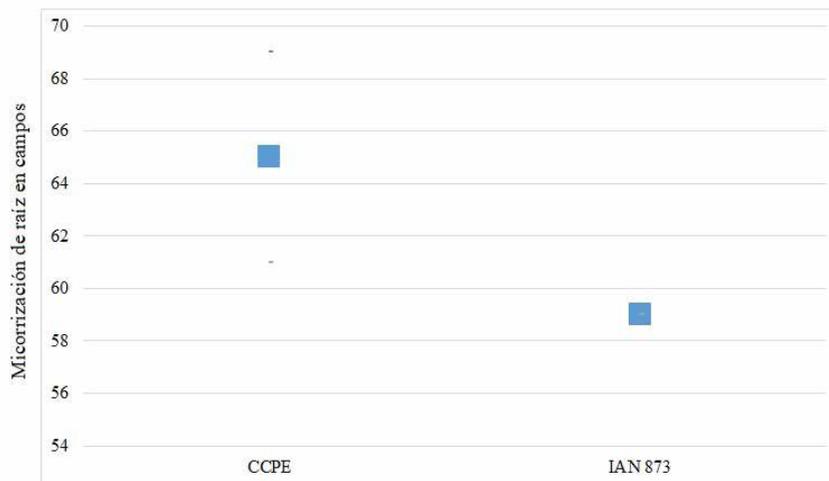


Figura 3.18. Porcentaje de colonización de raíces de caucho por hongos formadores de micorrizas arbusculares en un campo clonal a pequeña escala de 1 año de edad (CCPE con 99 genotipos élite caquetenses) en comparación con el clon testigo IAN 873 en el departamento del Caquetá.

Se ha demostrado que una pre-inoculación de plántulas de caucho con HMA disminuye la mortalidad (Sosa *et al.*, 2013), lo cual justifica los esfuerzos que se hagan para mantener una comunidad de HMA abundante en los suelos donde será plantado caucho.



CONSIDERACIONES FINALES

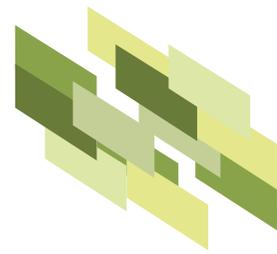
El suelo alberga unas comunidades bióticas que favorecen el establecimiento, desarrollo y producción del caucho. Se pudo evidenciar que el paso de potrero a campo clonal tiene efectos positivos sobre las comunidades de termitas, incrementando los grupos de termitas del suelo que están directamente relacionadas con el ciclaje de nutrientes. Adicionalmente se observó que todos los clones y genotipos de caucho muestreadas estuvieron micorrizadas, siendo un factor a favor de la nutrición de las plantas. Sin embargo, los manejos agronómicos que buscan favorecer las condiciones medioambientales para los nuevos árboles de caucho establecidos pueden afectar algunas de las comunidades biológicas como ocurre para los HMA, evidenciándose una reducción en la abundancia de HMA en el suelo y en la colonización en las raíces de caucho. Dado que las micorrizas arbusculares son un recurso natural del suelo que incide positivamente en la nutrición del caucho, valdría la pena evaluar otras prácticas silviculturales y agronómicas que no solo favorezcan el establecimiento de las plantas de caucho, sino que tengan un efecto positivo sobre los suelos y sus comunidades biológicas, garantizando a largo plazo una sostenibilidad y buena producción del ecosistema.

BIBLIOGRAFÍA

- Ali, I., Sheridan, G., French, J., Ahmed, B., 2013. Ecological benefits of termite soil interaction and microbial symbiosis in the soil ecosystem. *Earth Sci. Geotech. Eng.* 3, 63–85.
- Almeida, C.S., Cristaldo, P.F., Florencio, D.F., Ribeiro, E.J.M., Cruz, N.G., Silva, E.A., Costa, D.A., Araújo, A.P.A., Almeida, C.S., Cristaldo, P.F., Florencio, D.F., Ribeiro, E.J.M., Cruz, N.G., Silva, E.A., Costa, D.A., Araújo, A.P.A., 2017. The impact of edge effect on termite community (Blattodea: Isoptera) in fragments of Brazilian Atlantic Rainforest. *Brazilian J. Biol.* 77, 519–526. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.17815>
- Apkan, A., Edem, S., Ndaeyo, N., 2007. Latex yield of rubber (*Hevea brasiliensis* Muell Argo) as influenced by clone planted and locations with varying fertility status. *Agric. Soc. Sci.* 2, 1813–2235.
- Arifin, Z., Dahlan, Z., Irsan, C., Hartono, Y., 2014. Characteristics, morphometry and spatial distribution of populations of subterranean termites *Macrotermes gilvus* Hagen (Isoptera: Termitidae) in the rubber plantation land habitat which managed without pesticides and chemical fertilizers. *Int. J. Sci. Res.* 3, 102–106.
- Asoheca, 2010. Informe Final de Coordinación de Proyectos.
- Awadzi, T.W., Cobblah, M.A., Breuning-Madsen, H., 2004. The role of termites in soil formation in the tropical semi-deciduous forest zone, Ghana. *Geogr. Tidsskr.* 104, 27–34. <https://doi.org/10.1080/00167223.2004.10649516>
- Barbosa, P., 2012. Hábitos alimentares de cupins Sul-Americanos da família Termitidae (Insecta: Isoptera). Universidade de Brasília.
- Barbosa, P.R., 2012. Hábitos alimentares de cupins Sul-Americanos da família Termitidae (Insecta: Isoptera) 54.
- Barros, E., Mathieu, J., Tapia-Coral, S., Nascimento, A., Lavelle, P., 2008. Comunidades da Macrofauna de Solo na Amazônia Brasileira, in: Moreira, F., Siqueira, J., Brussaard, L. (Eds.), *Biodiversidade Do Solo Em Ecossistemas Brasileiros*. Universidade Federal de Lavras, Lavras–MG, pp. 171–191.
- Barros, E., Pashanasi, B., Constantino, R., Lavelle, P., 2002. Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. *Biol. Fertil. Soils* 35, 338–347. <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0479-z>
- Bignell, D., Constantino, R., Csuzdi, C., Karyanto, A., Konaté, S., Louzada, J., 2012. Macrofauna. In: Moreira, F.; Huising, E.; Bignell, D.E. (Eds.), *Manual de Biología de Suelos Tropicales. Muestreo y Caracterización de La Biodiversidad Bajo Suelo*.
- Bourguignon, T., Scheffrahn, R.H., Krecek, J., Nagy, Z.T., Sonet, G., Roisin, Y., 2010. Towards a revision of the Neotropical soldierless termites (Isoptera: Termitidae): redescription of the genus *Anoplotermes* and description of *Longustitermes*, gen. nov. *Invertebr. Syst.* 24, 357–370. <https://doi.org/10.1111/zoj.12305>
- Bourguignon, T., Scheffrahn, R.H., Nagy, Z.T., Sonet, G., Host, B., Roisin, Y., 2016. Towards a revision of the Neotropical soldierless termites (Isoptera: Termitidae): redescription of the genus *G rigiotermes* Mathews and description of five new genera. *Zool. J. Linn. Soc.* 176, 15–35. <https://doi.org/10.1111/zoj.12305>
- Cabrera, G., Crespo, G., 2001. Influencia de la biota edáfica en la fertilidad de los suelos en ecosistemas de pastizales. *Rev. Cuba. Cienc. Agrícola* 35, 3–9.
- Canello, E.M., Noirot, C., 2003. *Paraconvexitermes acangapua* (Isoptera: Termitidae, Nasutitermitinae), a new genus and new species of the so-called “small Neotropical soil-feeding nasutes” from South America. *Ann. la Soc. Entomol. Fr.* 39, 187–193.
- Cardoso, I., Kuyper, T., 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agric. Ecosyst. Environ.* 116, 72–84.
- Carneiro, M.A.C., Siqueira, J.O., Moreira, F.M.D., 2001. Estabelecimento de plantas herba'ceas em solo com contaminacao de metais pesados e inoculacao de fungos micorrizicos arbusculares. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 36, 1443–1452.

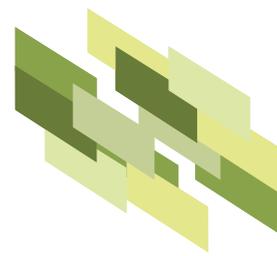
- Casalla, R., Scheffrahn, R., Korb, J., 2016. *Proneotermes macondianus*, a new drywood termite from Colombia and expanded distribution of *Proneotermes* in the Neotropics (Isoptera, Kalotermitidae). *Zookeys* 623, 43–60.
- Castellanos, O.F., Fonseca, S.L., Barón, M.R., 2009. Agenda Prospectiva De Investigación Y Desarrollo Tecnológico Para La Cadena Productiva De Caucho Natural Y Su Industria En Colombia, MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL Proyecto Transición de la Agricultura.
- Castro, D., Peña, C., 2018. First record of *Embiratermes ignotus* Constantino 1991 (Termitidae: Syntermitinae) in Colombia. *Dugesiana* 25, 111–113.
- Castro, D., Scheffrahn, R.H., Carrijo, T.F., 2018. *Echinotermes biriba*, a new genus and species of soldierless termite from the Colombian and Peruvian Amazon (Termitidae, Apicotermitinae). *Zookeys* 748, 21–30. <https://doi.org/10.3897/zookeys.748.24253>
- Constantini, J., Canello, E., 2016. A taxonomic revision of the Neotropical termite genus *Rhynchotermes* (Isoptera, Termitidae, Syntermitinae). *Zootaxa* 4, 109: 501.
- Constantino, R., 2005. Padrões de diversidade e endemismo de térmitas no bioma cerrado. In: Scariot, L.; Silva, J.C.S.; Felfili, J.M. (Eds.), *Biodiversidade, Ecologia e Conservação Do Cerrado*.
- Constantino, R., 2002. An illustrated key to Neotropical termite genera (Insecta: Isoptera) based primarily on soldiers. *Zootaxa* 67, 1–40.
- Constantino, R., 1998. Description of a new *Planicapritermes* from Central Amazonia, with notes on the morphology of the digestive tube of the *Neocapritermes-Planicapritermes* group (Isoptera: Termitidae: Termitinae). *Sociobiology* 32, 109–118.
- Constantino, R., 1995. Revision of the neotropical termite genus *Syntermes* Holmgren (Isoptera: Termitidae). *Dept. Entomol. Univ. Kansas* 55, 455–518.
- Constantino, R., Acioli, A., 2008. Diversidade de Cupins (Insecta: Isoptera) no Brasil. *Biodiversidade do Solo em Ecossistemas Bras.* 278–297.
- Constantino, R., Acioli, A.N.S., Schmidt, K., Cuezso, C., Carvalho, S.H.C., Vasconcellos, A., 2006. A taxonomic revision of the Neotropical termite genera *Labiotermes* Holmgren and *Paracornitermes* Emerson (Isoptera: Termitidae: Nasutitermitinae). *Zootaxa* 44, 1–44.
- Constantino, R., De Souza, O.F.F., 1997. key to the of *Atlantitermes* Fontes 1979, with a new species from Brazil (Isoptera Termitidae Nasutitermitinae). *Trop. Zool.*
- de Souza, O.F.F., Brown, V.K., 1994. Effects of habitat fragmentation on Amazonian termite communities. *J. Trop. Ecol.* 10, 197. <https://doi.org/10.1017/S0266467400007847>
- Decaëns, T., Lavelle, P., Jimenez, J.J., Rippstein, G., G, E., 1994. Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia. *Eur. J. Soil Biol.* 30, 157–168.
- Decaëns, T., Mariani, L., Lavelle, P., 1999. Soil surface macrofaunal communities associated with earthworm casts in grasslands of the Eastern Plains of Colombia. *Appl. Soil Ecol.* 13, 87–100. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(99\)00024-4](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(99)00024-4)
- Dosso, K., Deligne, J., Yéo, K., Konaté, S., Linsenmair, K.E., 2013. Changes in the termite assemblage across a sequence of land-use systems in the rural area around Lamto Reserve in central Côte d'Ivoire. *J. Insect Conserv.* 17, 1047–1057. <https://doi.org/10.1007/s10841-013-9588-2>

- Eggleton, P., 2011. Biology of Termites: a Modern Synthesis, in: Bignell, D.E., Roisin, Y., Lo, N. (Eds.), *Biology of Termites: A Modern Synthesis*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 1–26. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3977-4>
- Eggleton, P., Eggleton, P., Homathevi, R., Homathevi, R., Jeeva, D., Jeeva, D., Jones, D.T., Jones, D.T., Davies, R.G., Davies, R.G., Maryati, M., Maryati, M., 1997. The species richness and composition of termites (Isoptera) in primary and regenerating lowland dipterocarp forest in Sabah, east Malaysia. *Ecotropica*.
- Emerson, A.E., 1928. Termites of the Belgian Congo and the Cameroon. *Bull. Am. Museum Nat. Hist.*
- Emerson, A.E., Banks, F.A., 1965. The Neotropical genus *Labiotermes* (Holmgren): its phylogeny, distribution, and ecology (Isoptera, Termitidae, Nasutitermitinae). *Am. Museum Novit.* 2208, 1–34.
- Emerson, A.E., Banks, F.A., 1957. Five New Species and One Redescription of the Neotropical Genus *Armitermes* Wasmann (Isoptera, Termitidae, Nasutitermitinae). *Am. Museum Novit.* 1–18.
- Engel, M.S., Krishna, K., 2007. New *Dolichorhinotermes* from Ecuador and in Mexican Amber (Isoptera: Rhinotermitidae). *Am. Museum Novit.* 3592, 1–8. [https://doi.org/10.1206/0003-0082\(2007\)3592\[1:NDFEAI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1206/0003-0082(2007)3592[1:NDFEAI]2.0.CO;2)
- Fontes, L.R., 1985. New genera and new species of Nasutitermitinae from the Neotropical Region (Isoptera: Termitidae). *Rev. Bras. Zool.*
- Freitas, R., Buscardo, E., Nagy, L., Maciel, L., Carrenho, R., Luizão, R., 2014. Arbuscular mycorrhizal fungal communities along a pedo-hydrological gradient in a Central Amazonian terra firme forest. *Myccorrhiza* 24, 21–32.
- Gendermann, J., Nicolson, T., 1964. Spores of mycorrhizal *Endogone* extracted from soil by wet-sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 46, 235–244.
- Giovannetti, M., Mosse, B., 1980. An evaluation of techniques of measuring vesicular-arbuscular infection in roots. *New Phytol.* 84, 489–500.
- Herrmann, L., Lesueur, D., Bräu, L., Davison, J., Jairus, T., Robain, H., Robin, A., Vasar, M., Wiriyakitnateekul, W., Öpik, M., 2016. Diversity of root-associated arbuscular mycorrhizal fungal communities in a rubber tree plantation chronosequence in Northeast Thailand. *Myccorrhiza* 26, 863–877.
- Joner, E.J., Jakobsen, I., 1995. Growth and extracellular phosphatase activity of arbuscular mycorrhizal hyphae as influenced by soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 27, 1153–1159.
- Jones, D., 2000. Termite assemblages in two distinct montane forest types at 1000 m elevation in the Maliau Basin, Sabah. *Trop. Ecol.* 16, 271–286.
- Jones, D., Eggleton, P., 2000. Sampling termite assemblages in tropical forests: Testing a rapid biodiversity assessment protocol. *Appl. Ecol.* 37, 191–203.
- Jones, D.T., Susilo, F.X., Bignell, D.E., Hardiwinoto, S., Gillison, a N., Eggleton, P., 2003. Termite assemblage collapse along a land-Use intensification gradient in lowland central Sumatra, Indonesia. *J. Appl. Ecol.* 40, 380–391. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2003.00794.x>
- Krishna, K., Araujo, R.L., 1968. A revision of the Neotropical termite genus *Neocapritermes* (Isoptera, Termitidae, Termitinae). *Bull. Am. Museum Nat. Hist.*
- Lavelle, P., 1997. Faunal activities and soil processes: adaptative strategy that determine ecosystem function, *Adv Ecol Res.* [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60007-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60007-0)



- Lavelle, P., Rodríguez, N., Arguello, O., Bernal, J., Botero, C., Chaparro, P., Gómez, Y., Gutiérrez, A., Hurtado, M. del P., Loaiza, S., Pullido, S.X., Rodríguez, E., Sanabria, C., Velásquez, E., Fonte, S.J., 2014. Soil ecosystem services and land use in the rapidly changing Orinoco River Basin of Colombia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 185, 106–117. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.12.020>
- León, G., Alfonso, M., Pablo, J., John, M.A., Zuluaga, J., 2009. Manejo de termitas o comejenes en el cultivo del caucho. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica.
- Lewis, V., 2009. Isoptera. *Encyclopedia of Insects*.
- Mathews, A., 1977. Studies of termites from Mato Grosso State, Brazil. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro.
- Mathieu, J., Rossi, J.P., Mora, P., Lavelle, P., Martins, P.F.D.S., Rouland, C., Grimaldi, M., 2005. Recovery of soil macrofauna communities after forest clearance in Eastern Amazonia, Brazil. *Conserv. Biol.* 19, 1598–1605. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00200.x>
- Miller, R.M., Jastrow, J.D., 1990. Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation. *Soil Biol. Biochem.* 22, 579–584.
- Miller, R.M., Jastrow, J.D., 2000. Mycorrhizal fungi influence soil structure. In: Kapulnik, Y., Douds, D.D. (Eds.), *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Kluwer Academic, Dordrecht, pp. 3–18.
- Newsham, K.K., Fitter, A.H., Watkinson, A.R., 1995. Multifunctionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizas. *Trends Ecol. Evol.* 10, 407–411.
- Oliveira, D.E., Constantino, R., 2016. A taxonomic revision of the neotropical termite genus *Diversitermes* (Isoptera: Termitidae: Nasutitermitinae) 4158, 221–245.
- Olsson, P.A., Thingstrup, I., Jakobsen, I., Bååth, E., 1999. Estimation of the biomass of arbuscular mycorrhizal fungi in a linseed field. *Soil Biol. Biochem.* 31, 1879–1887
- Paula, M.A., Siqueira, J.O., Dobereiner, J., 1993. Ocorrência de fungos micorrízicos vesicularbusculares e de bactérias diazotróficas na cultura da batata-doce. *Rev. Bras. Ci. Solo* 17, 349–356.
- Peña-Venegas, C., 2010. Arbuscular mycorrhizal fungi in the Amazon region. In: *Mycorrhiza: occurrence in natural and restored environments*. M. Pagano eds. Nova Publishers, New York.
- Pereira, C., Da Silva, D., Ferreira, A., Goto, B., Maia, L., 2014. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Atlantic forest areas under different land uses. *Agric. Ecosyst. Environ.* 185, 245–252.
- Phillips, J., Hayman, D., 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55, 158–161.
- Pinzon, O., Baquero, L., Beltran, M., 2017. Termite (Isoptera) Diversity in a Gallery Forest Relict in the Colombian Eastern Plains. *Sociobiology* 64, 92–100.
- Pinzon, O., Castro, D., 2018. New records of termites (Blattodea: Termitidae: Syntermitinae) from Colombia. *Threat. Taxa* 10.
- Pinzón, O.P., Hernández, A.M., Malagón, L.A., 2012. Diversidad de termitas (Isoptera: Termitidae, Rhinotermitidae) en plantaciones de caucho en Puerto López (Meta, Colombia). *Rev. Colomb. Entomol.* 38, 291–298.
- Rocha, M.M., Canello, E.M., Carrijo, T.F., 2012. Neotropical termites: Revision of *Armitermes* Wasmann (Isoptera, Termitidae, Syntermitinae) and phylogeny of the Syntermitinae. *Syst. Entomol.* 37, 793–827. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2012.00645.x>

- Rossi, J.P., Mathieu, J., Cooper, M., Grimaldi, M., 2006. Soil macrofaunal biodiversity in Amazonian pastures: Matching sampling with patterns. *Soil Biol. Biochem.* 38, 2178–2187. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.01.020>
- Scheffrahn, R.H., Carrijo, T.F., Postle, A.C., Tonini, F., 2017. *Disjunctitermes insularis*, a new soldierless termite genus and species (Isoptera, termitidae, apicotermitinae) from Guadeloupe and Peru. *Zookeys* 2017, 71–84. <https://doi.org/10.3897/zookeys.665.11599>
- Schwob, I., Ducher, M., Coudret, A., 1999. Effects of climatic factors on native arbuscular mycorrhizae and *Meloidogyne exigua* in a Brazilian rubber tree (*Hevea brasiliensis*) plantation. *Plant Pathol.* 48, 19–25.
- Sieverding, E., Leihner, D., 1984. Effects of herbicides on population dynamics of VA-mycorrhiza with cassava. *Angew Bot.* 58, 283–294.
- Siqueira, J.O., Pouyu, E., Moreira, F.M.S., 1999. Micorrizas arbusculares no crescimento pos-transplante de mudas de arvores em solo com excesso de metais pesados. *Rev. Bras. Ci. Solo* 23, 569–580.
- Smith, S.E., Smith, F.A., Jakobsen, I., 2003. Mycorrhizal fungi can dominate phosphate supply to plants irrespective of growth responses. *Plant Physiol.* 133, 16–20.
- Sosa, T., Dupré, H., Granet, F., Aurel, S., Melgarejo, L., Arron, M., Eclerck, S., 2013. In vitro mycorrhization of the rubber tree *Hevea brasiliensis* Müll Arg. *Vitr. Cell Dev. Biol. Plant* 49, 207–215.
- Sterling, A., Hernandez, C., 2012. Ampliación de la base genética de caucho natural con proyección para la Amazonia colombiana: fase de evaluación en periodo improductivo a gran escala. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – SINCHI, Bogotá, Colombia.
- Sterling, A., Rodríguez, C., 2018. Estrategias de Manejo para las principales enfermedades y plagas del cultivo del caucho con énfasis en la amazonia colombiana. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Bogotá, Colombia.
- Sterling, A., Rodríguez, C., 2016. Bases técnicas para la selección, propagación y establecimiento de materiales regionales élite de caucho en Caquetá. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Bogotá- Colombia.
- Sterling, A., Rodríguez, C., 2012. Ampliación De La Base Genética De Caucho De Caucho Natural Con Proyección Para La Amazonia Colombiana: Fase De Evaluación En Periodo Improductivo A Gran Escala. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – Sinchi, Bogotá, Colombia.
- Sterling, A., Rodríguez, H., 2011. Nuevos clones de caucho natural para la Amazonia colombiana: énfasis en la resistencia al mal suramericano de las hojas (*Microcyclus ulei*).
- Stürmer, S., Siqueira, J., 2011. Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in Western Brazilian Amazon. *Mycorrhiza* 21, 255–267.
- Vargas-Niño, a. P., Sánchez-Muñoz, O.D., Serna-Cardona, F.J., 2005. Lista de los géneros de Termitidae (Insecta: Isoptera) de Colombia. *Biota Colomb.* 6, 181–190.
- Varma, R.V., Swaran, P.R., 2007. Diversity of termites in a young eucalypt plantation in the tropical forests of Kerala, India. *Int. J. Trop. Insect Sci.* 27, 95. <https://doi.org/10.1017/S1742758407788458>



Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea de 10 clones de caucho (*Hevea brasiliensis*) en campos clonales a gran escala en el departamento del Caquetá



Natalia Rodríguez Castillo¹, Armando Sterling Cuéllar^{2*}, Esther Quiceno-Mayo¹, Jhon Faiver Trujillo-Colllazos¹, Edwin Andrés Clavijo-Arias¹, Ginna Patricia Velasco-Anaconda¹, Carlos Hernando Rodríguez², Maolenmarx Tatiana Garzón²

¹ Co-Investigador del proyecto–Convenio 59- 2013–Gobernación de Caquetá–Instituto SINCHI

² Investigador Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI Sede Florencia

* Autor para correspondencia: asterling@sinchi.org.co

INTRODUCCIÓN

Generalidades

Los ecosistemas proporcionan múltiples servicios ambientales tales como agua limpia, purificación del aire, polinización de las especies silvestres y de los cultivos, suministro de alimentos, combustibles y suelos fértiles, entre otros, que son esenciales para el bienestar humano (Guarín y Hotz, 2015). Sin embargo, la pérdida y degradación de los ecosistemas es una amenaza constante para el suministro y flujo continuo de estos servicios ecosistémicos, de los cuales depende el bienestar de las generaciones humanas presentes y futuras (de Groot et al., 2010).

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático–IPCC (por sus siglas en inglés), señala que hay fuertes evidencias de que la acción humana tiene gran responsabilidad en el cambio del clima del planeta, principalmente en el incremento de la temperatura atmosférica debido al aumento en la concentración de gases contaminantes, entre ellos los llamados Gases de Efecto Invernadero – GEI como es el dióxido de carbono o CO_2 , que tiene la capacidad de retener calor y alterar el equilibrio térmico del clima del planeta (Alvarenga y Carmo, 2006).

Una de las estrategias implementadas para mitigar y compensar las emisiones de gases de efecto invernadero es reducir la concentración de CO_2 en la atmósfera a través de la biomasa almacenada y secuestrada por los bosques naturales, los sistemas agroforestales (SAF), y plantaciones que representan sumideros de carbono importantes (Figura 4.1) (Schroth et al., 2002; Alvarenga y Carmo, 2006; Durán et al., 2011;).



Figura 4.1. Efecto del cambio climático y estrategias implementadas para mitigar y compensar las emisiones de gases de efecto invernadero por sistemas forestales como el caucho natural (*Hevea brasiliensis*).

Fuente: Elaboración propia.

El almacenamiento del CO₂ en la atmósfera por los árboles se produce a partir del proceso de fotosíntesis. La fotosíntesis es el principal proceso fisiológico por el cual los organismos fotosintéticos, como las plantas, transforman y sintetizan compuestos orgánicos a través de la energía lumínica del sol, la fijación de CO₂, la toma de minerales y agua, que luego almacenan en forma de biomasa aérea y subterránea (Nelson, 2011), (Figura 4.2). A su vez, a través del proceso de respiración de la planta, la descomposición de sus residuos y carbonización de la biomasa por actividades como la deforestación, el carbono se emite de nuevo y regresa a la atmósfera (Alvarenga y Carmo, 2006).

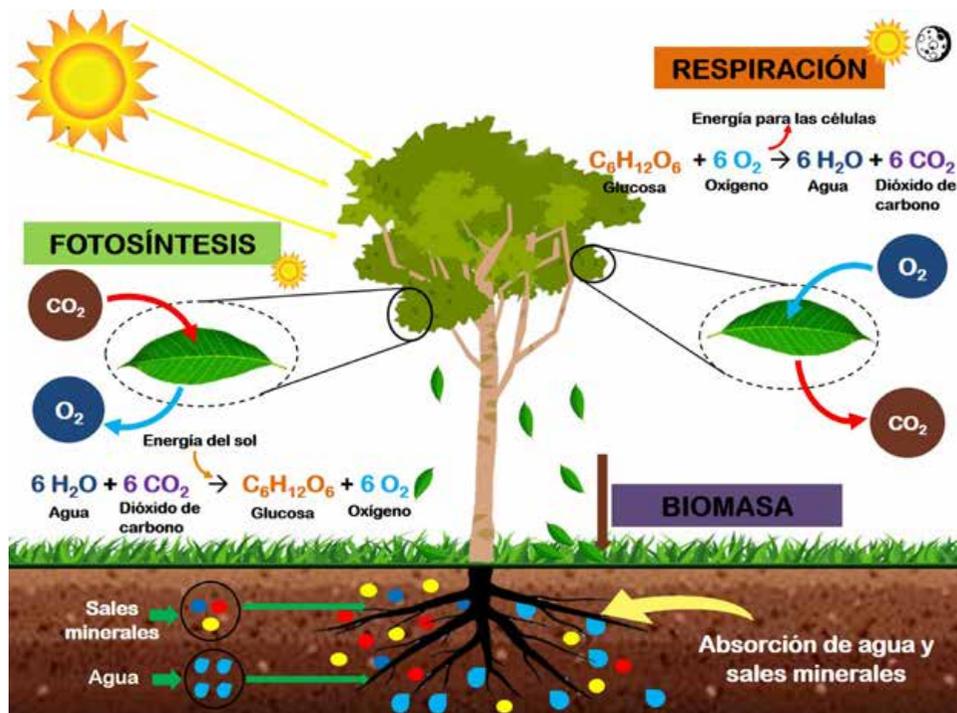


Figura 4.2. Proceso de fotosíntesis y respiración en las plantas.

Fuente: Elaboración propia.

Estudios recientes han estimado que los reservorios de carbono en la biomasa aérea de bosques primarios tropicales en Sur América, se ubican dentro del rango de 150 a 200 toneladas de carbono por hectárea (t C/ha), mientras en el caso de las plantaciones forestales, dependiendo de la especie, pueden alcanzar valores de captura de carbono entre 100,89 t C/ha para el caso de *Tectona grandis* (teca), y 114,38 t C/ha para *Hevea brasiliensis* (caucho), después de 20 años de siembra (Schroth et al., 2002).

Almacenamiento de carbono en cultivos de caucho

La producción mundial de caucho natural principalmente de *Hevea brasiliensis* genera anualmente 10 millones t/ha, de las cuales el 80% son producidos por pequeños productores, proporcionando un medio de vida para cerca de 20 millones de personas en el mundo (Rivano et al., 2013). La mayor

parte de esta producción mundial, se deriva de las plantaciones en el sudeste de Asia, con cerca de 93 a 376 t C/ha (Blagodatsky *et al.*, 2016). En Tailandia, la cantidad de carbono almacenado en biomasa que varía de acuerdo con la edad del cultivo, alcanza valores desde 34,5 t C/ha en árboles de caucho de 4–6 años hasta 139 t C/ha en árboles de 20 años (Petsri *et al.*, 2013). Un rango similar en carbono almacenado se ha reportado para las plantaciones de caucho de Brasil con 14 – 25 años de edad (41,7 t C/ha), y en Gana (África), en plantaciones de 2 – 14 años (76,3 t C/ha) (Wauters *et al.*, 2008). Maggiotto *et al.* (2014), estimaron el contenido de carbono en una plantación con clones de PB 235 en el estado de Paraná en Brasil, donde encontraron un total de carbono en árboles de 4 y 15 años de edad de 66,9 y 79,3 t C/ha, respectivamente. En China, en una plantación de caucho se ha encontrado que al aumentar la rotación del cultivo hasta por 40 años se genera una mayor producción de látex y almacenamiento de carbono con cerca de 186,65 t C/ha (Nizami *et al.*, 2014). Otro estudio que comparó la capacidad de almacenamiento de biomasa y secuestro de carbono de cinco plantaciones diferentes de clones de siete años de edad, encontró que los clones difieren en el almacenamiento total de carbono siendo el clon MDX 624 superior a los otros (Diniz *et al.*, 2015).

En el caso del departamento del Caquetá, se concentra el 22% de la deforestación nacional del país y ocupa el tercer lugar en emisiones de CO₂ (19,84 t CO₂e), principalmente por el cambio de cobertura de suelo de bosque natural a pastizales y otras tierras forestales que aportan el 84% de las emisiones totales del departamento (IDEAM y PNUD, 2015; Ramírez *et al.*, 2018). Esta problemática se hace más evidente al considerar que los bosques naturales de Colombia almacenan en promedio 121,9 t C/ha (Ramírez *et al.*, 2018). Para alcanzar el objetivo propuesto por el Gobierno Nacional de deforestación neta cero en la Amazonia colombiana para el año 2020, se reconoce la necesidad de proporcionar a la población de la región amazónica oportunidades que le permita un desarrollo económico sostenible como alternativa a las actividades motoras de la deforestación (Ramírez *et al.*, 2018).

Una de las alternativas de desarrollo económico sostenible, es la implementación del cultivo de caucho en áreas que fueron subutilizadas o degradadas, evitando así la ampliación de la frontera agrícola en zonas de bosque natural (Diniz *et al.*, 2015; Brahma *et al.*, 2016; Priyadarshan, 2017). El cultivo de caucho, en comparación con la mayoría de los cultivos anuales que tienen un uso intensivo de mecanización, es un cultivo a largo plazo que constituye un tipo de aprovechamiento del suelo extremadamente deseable desde el punto de vista ecológico, ya que protege el suelo y los cuerpos de agua y proporciona madera al final de su vida útil productiva (Alvarenga y Carmo, 2006; Maggiotto *et al.*, 2014). La copa del árbol de caucho proporciona un tipo de protección al suelo, reduciendo el impacto del sol, la lluvia y los vientos, y también arrojando raíces a un nivel más profundo que los cultivos anuales, reduciendo así la cantidad de nutrientes por unidad de superficie de suelo (Alvarenga y Carmo, 2006).

Con respecto a los acuerdos internacionales sobre cambio climático, puede ser considerado un cultivo que trae beneficios al sistema ecológico por tratarse de una especie forestal. Beneficios entre los cuales se encuentran el carbono capturado de la atmósfera en la madera (biomasa), así como en la producción del látex natural que exuda, pues en la actualidad se usan productos derivados de la explotación del petróleo para la fabricación del caucho sintético, por lo tanto, incentivar la producción de caucho natural no solo reduce las emisiones de carbono, sino que también se reduce

el uso de fuentes no renovables (petróleo), por fuentes renovables (caucho natural), que necesita básicamente de luz del sol, agua y CO₂ (recursos naturales renovables), para la producción de látex (Alvarenga y Carmo, 2006; Roy *et al.*, 2014). Adicionalmente, implementar el uso de tecnología, buenas prácticas agrícolas y material genético adecuado, implicará el aumento en la producción de biomasa local y, consecuentemente, el secuestro y almacenamiento de carbono en el cultivo de caucho (Alvarenga y Carmo, 2006; Orjuela *et al.*, 2014).

■ ¿Cómo medir el almacenamiento de carbono?

En general, existen dos métodos para estimar la biomasa almacenada en los árboles de un bosque, sistema agroforestal (SAF), o plantación: el directo y el indirecto. El método directo o destructivo, consiste en cosechar la biomasa de todos los árboles en un área conocida, es decir, talar los árboles y separar sus diferentes componentes (raíces, tronco, ramas, hojas, entre otros), calcular el peso seco y, posteriormente, obtener el contenido de carbono aplicando un factor de conversión (Figura 4.3). Sin embargo, este método es destructivo, e implica inversiones altas de tiempo, recursos y mano de obra (Yepes *et al.*, 2011). Este método es usado para construir ecuaciones alométricas, que hace referencia a una relación estadística (lineal o no) entre dos características de tamaño de los árboles (variables dasométricas como la altura o el diámetro sobre la altura del pecho).

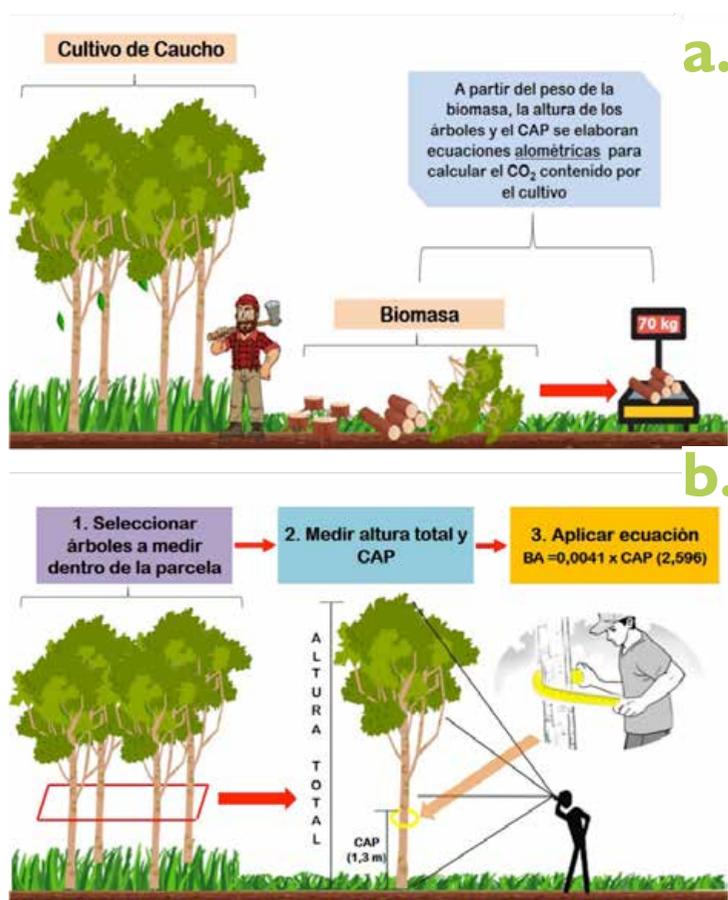


Figura 4.3. Métodos para la determinación de CO₂ en plantas. A) Método directo y B) Método indirecto.

Fuente: Elaboración propia.

El método indirecto consiste en utilizar las ecuaciones alométricas obtenidas del método directo, midiendo las variables más relevantes en campo, como la altura del árbol o el diámetro del tronco, e incluirlas en la ecuación alométrica seleccionada en la literatura existente, y de este modo, calcular la biomasa (Yepes *et al.*, 2011; Breu *et al.*, 2012; Casanoves y Jara, 2017). Para calcular la cantidad de carbono a partir de la biomasa estimada desde cualquiera de los dos métodos se utiliza el coeficiente de 0,5, debido a que se ha establecido que el contenido de carbono corresponde a cerca del 50% de la biomasa (IPCC, 2003).

■ **Mejoramiento genético del caucho y su implicación en la captura de carbono**

El objetivo de muchos programas de mejoramiento de caucho en la actualidad, es reemplazar los materiales antiguos con nuevos clones que produzcan altos rendimientos de látex, y adicionalmente presenten una alta capacidad en el secuestro de carbono y otros usos como materia prima (Baettig *et al.*, 2010; Petsri *et al.*, 2013), así como la selección de material vegetal adecuado para cada condición ambiental y menos vulnerables al cambio climático (Lau *et al.*, 2011). Dicha producción, está condicionada por elementos bioquímicos, morfológicos, fisiológicos de la planta (Yu, 2001), y su interacción con el ambiente, por lo que realizar seguimientos y evaluaciones para correlacionar estas características, permitiría dar un valor agregado a un programa de mejoramiento genético de caucho.

Los principales programas de mejoramiento genético de caucho desarrollados a nivel mundial, se han centrado esencialmente en la obtención de materiales con características deseables de producción de látex y resistencia a limitantes fitosanitarios como el Mal Suramericano de las Hojas, por sus siglas en inglés *South American Leaf Blight* (SALB), causado por el hongo *Pseudocercospora ulei* conocido tradicionalmente como *Microcyclus ulei* (P. Henn.) v. Arx (Gasparotto *et al.*, 2012; Hora Júnior *et al.*, 2014). Como resultado de estos programas se han generado una serie de clones, entre los que sobresalen la serie RRIM, PB, IAN, MDF, MDX, FX entre otras. Si un clon presenta potencial de captura de carbono en relación con la proporción significativa de su biomasa, dicho valor dependerá de un desempeño agronómico sobresaliente reflejado en el DAP (Diniz *et al.*, 2015), siendo ésta la variable que mejor explica el comportamiento de la biomasa (Durán *et al.*, 2011).

No obstante, evaluaciones del comportamiento fisiológico de dos diferentes clones de caucho (FX 4098 y FX 3894), han reportado una reducción en el rendimiento fotosintético proporcional al progreso del SALB (Sterling y Melgarejo, 2018), por lo que una menor proporción de hojas en las copas de los árboles (principal efecto del SALB), implica una menor tasa de fotosíntesis debido a la reducción del área foliar fotosintética (Rios *et al.*, 2014), lo cual repercute en el desarrollo adecuado de la biomasa de la planta y su capacidad de almacenamiento de carbono.

En el 2008 en la Amazonia colombiana se inició el primer programa de mejoramiento de caucho en el departamento del Caquetá, cuyo principal objetivo fue la ampliación de su base genética incluyendo la evaluación y selección preliminar en periodo improductivo de nuevos clones promisorios introducidos al país, los cuales fueron sembrados en Campos Clonales a Gran Escala con diferentes



condiciones ambientales (Florencia, Belén de los Andaquíes y San Vicente del Caguán) (Figura 4.4) (Sterling y Rodríguez, 2012).

Las evaluaciones realizadas en torno al comportamiento fitosanitario, agronómico y ecofisiológico de estos clones, sumado al potencial de secuestro de carbono, resultan ser insumos científicos fundamentales para asistir un programa de mejoramiento genético de caucho, en el sentido en que la identificación de nuevos clones para la región amazónica no sólo debe responder a una necesidad productiva del sector sino además contribuir con la provisión de bienes y servicios ecosistémicos como la mitigación al cambio climático (secuestro de carbono). Esta visión agroambiental, desde luego, debe contribuir con la generación de un valor agregado de naturaleza ambiental, los cuales en conjunto puedan impulsar la competitividad del sector cauchero en el departamento del Caquetá bajo el eslogan: “nuevas variedades de caucho altamente productivas, con baja susceptibilidad a problemas fitosanitarios y con alto potencial para mitigar los efectos del cambio climático”.

En el presente capítulo se estudió la capacidad de acumulación de carbono de 10 clones de caucho en etapa improductiva en tres Campos Clonales a Gran Escala (CCGE), en el departamento del Caquetá (Colombia), con el fin de identificar el potencial de uso de estos clones en estrategias de mitigación al cambio climático y la posibilidad de que éste valor agregado pueda ser utilizado a futuro por los productores para acceder a beneficios tributarios o al pago por servicios ambientales (PSA), asociados a estas nuevas plantaciones de caucho.



Figura 4.4. Campos Clonales a Gran Escala de caucho en el departamento del Caquetá, Colombia. **A.** Clon comercial (IAN 873) testigo con alta susceptibilidad a problemas fitosanitarios (baja capacidad para secuestrar carbono). **B.** Clon promisorio (FDR 5788) con baja susceptibilidad a problemas fitosanitarios (alta capacidad de almacenar carbono). Fuente: Elaboración propia.

Área de estudio

El área de estudio se localizó en la región nororiental de la Amazonia colombiana en el departamento del Caquetá, sobre la margen izquierda del río Caquetá, según los reportes del IGAC (2014), las precipitaciones en el departamento del Caquetá en general son superiores a los 3000 mm anuales, alcanzando máximos de 4500 mm anuales en la zona del piedemonte amazónico. La temperatura media anual es de 25,2°C, con una tendencia monomodal a lo largo del año, evidenciando un clima cálido.

Las mediciones dasométricas se realizaron durante la época lluviosa en 10 clones de caucho establecidos en tres Campos Clonales a Gran Escala (CCGE), ubicados en los municipios de Florencia, Belén de los Andaquíes y San Vicente del Caguán (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Clasificación climática de los municipios de Belén de los Andaquíes, Florencia y San Vicente del Caguán en el departamento del Caquetá (Colombia), localidades en las cuales se establecieron los tres campos clonales a gran escala.

	Latitud	Longitud	Vereda	Altura (msnm)	Precipitación Anual (mm)	T (°C)	Humedad Relativa (%)	Brillo Solar (horas luz)	Indice de lang	Clasificación de Caldas Lang
San Vicente del Caguán	02°09´	74°48´	Buenos Aires	300	2503	25,4	79	1552,3	98,6	Cálido semihúmedo a húmedo
Belén de los Andaquíes	01° 20´	75° 48´	Agua Dulce	300	3471	25	85,7	1462,3	138,7	Cálido Húmedo
Florencia	01° 37´	75° 36´	Balcanes	270	3669	25	84	1465,4	146,7	Cálido Húmedo

Fuente: IGAC (2010)

Material vegetal

Se seleccionaron nueve clones promisorios de caucho y el testigo IAN 873, con individuos de aproximadamente nueve años de edad (Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Listado de clones de caucho natural considerados en el estudio

Clon	Progenitores	Especie de Hevea	Origen
CDC 56	MDX 91 x RRIM 614.	<i>H. brasiliensis</i> x <i>H. brasiliensis</i>	Guatemala
CDC 312	AVROS 308 x MDX 40	<i>H. brasiliensis</i> x <i>H. brasiliensis</i>	Guatemala
GU 198	GT 711 x FX 16	<i>H. brasiliensis</i> x <i>H. brasiliensis</i>	Guatemala
IAN 873	FA 1717 x PB 86	<i>H. brasiliensis</i> x <i>H. brasiliensis</i>	Brasil
FX 4098	PB 86 x B 110	<i>H. brasiliensis</i> x <i>H. brasiliensis</i>	Brasil
FX 3899 P1*	F4542 x AVROS 363	<i>H. bentamiana</i> x <i>H. brasiliensis</i>	Brasil
MDF 180	Clon primario	<i>H. brasiliensis</i>	Perú
FDR 4575	FDR 18 x FX 3032	<i>H. brasiliensis</i> x <i>H. brasiliensis</i>	Brasil
FDR 5597	HARB 68 x TU 42-525	<i>H. brasiliensis</i> x <i>H. brasiliensis</i>	Brasil
FDR 5788	HARB 8 x MDF 180	<i>H. brasiliensis</i> x <i>H. brasiliensis</i>	Brasil

Tomado de: Sterling y Rodríguez (2012). *En este clon se han alterado el número de cromosomas por medios químicos. La notación P1 quiere decir poliploides que presentan producciones más altas que los diploides correspondientes, debido al mayor calibre de los vasos laticíferos (Dunham et al., 1983).

▀ Diseño experimental

Cada CCGE con un área de 5,04 hectáreas (ha), siguió un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones (Figura 4.5). En cada bloque se establecieron los 10 clones y por cada clon se emplearon 60 plantas en surcos sencillos con un distanciamiento de 7 m x 3 m (21 m²), para un total de 600 árboles por bloque (Sterling y Rodríguez, 2012).

▀ Mediciones dasométricas y fisiológicas y estimación del almacenamiento de carbono

Para las mediciones dasométricas, en cada CCGE se seleccionaron cuatro árboles de cada clon, cada árbol seleccionado en uno de los cuatro bloques de siembra. En este sentido, en cada árbol se midió con un decámetro la circunferencia a la altura del pecho (1,3 m) (CAP). Adicionalmente, se registró en cada árbol la tasa de fotosíntesis ($A-\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) que se midió con un analizador de gas infrarrojo portátil (CIRAS-3 PP Systems, USA), debido a que esta variable fisiológica permite entender mejor la relación entre el CO₂ capturado por los árboles en el proceso de la fotosíntesis, y, por lo tanto, su conversión y almacenamiento a carbono orgánico en la biomasa de los árboles (Abbas et al., 2017; Priyadarshan, 2017).

A partir de las mediciones dasométricas y utilizando modelos o ecuaciones alométricas se realizó la estimación de la biomasa aérea (BA) en cultivos de caucho. (Tabla 4.3). Se seleccionó la ecuación de $BA = 0,0041 \times CAP^{2,596}$ (Moreno et al., 2005), por ser el modelo más parsimonioso, presentar un intercepto cercano a cero y debido a que fue construido a partir de métodos destructivos utilizando árboles de caucho del departamento del Caquetá. Se calculó la biomasa aérea debido a que gran parte del total de las reservas forestales de carbono (cerca 60%) se almacena en esta parte de la biomasa (Yepes et al., 2011). Finalmente, se realizó el cálculo de las toneladas de C/ha (t C/ha) teniendo en cuenta la densidad siembra de 476 árboles/ha que se obtiene con un distanciamiento de 7 m x 3 m.

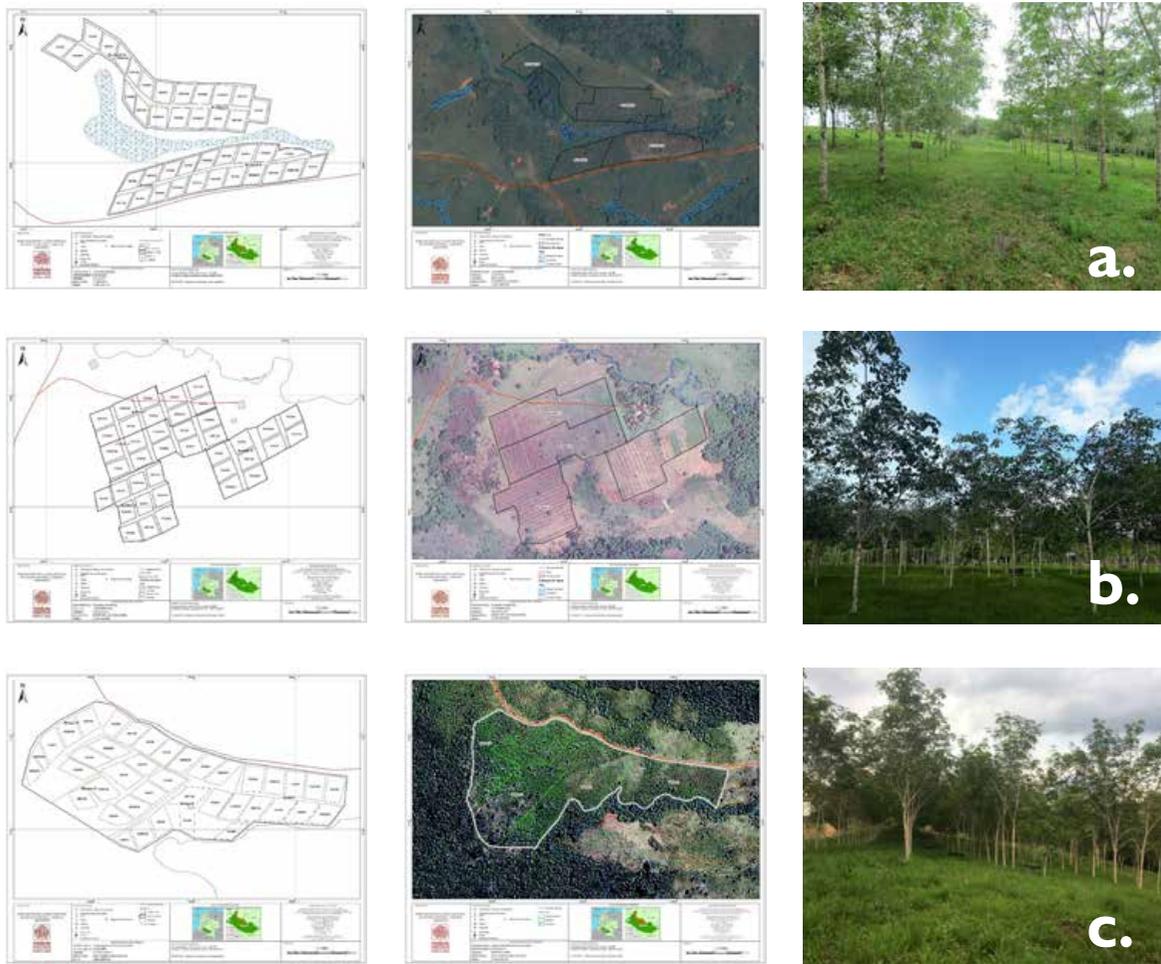


Figura 4.5. Campos clonales a gran escala CCGE en tres localidades del Caquetá, Colombia. **A, B y C**, plano, imagen satelital y fotografía del CCGE en el municipio de Florencia, respectivamente. **D E y F**, plano, imagen satelital y fotografía del CCGE en el municipio de Belén de los Andaquíes, respectivamente. **G, H y I**, plano, imagen satelital y fotografía del CCGE en el municipio de San Vicente del Caguán, respectivamente.

Fuente: Sterling *et al.* (2018).



Tabla 4.3. Ecuaciones alométricas reportadas en la literatura para caucho (*Hevea brasiliensis*) en la Amazonia. *BA* es la biomasa aérea (Kg); *AB* es área basal del árbol, *CAP* es la circunferencia a la altura del pecho (cm), *DAP* es el diámetro a la altura del pecho (cm), *Ht* es altura total (m).

Ecuación	R ²	Fuente
$BA = -3,84 + 0,528 AB + 0,001 AB^2$	0,99	Schroth <i>et al.</i> (2002)
$BA = -0,59 + 0,34 (DAP)^2$	0,98	Durán <i>et al.</i> (2011)
$BA = 0,0041 \times CAP (2,596)$	0,98	Moreno <i>et al.</i> (2005)
$BA = \ln (-2,3748) + (2,5739 \times \ln CAP)$	0,97	Moreno <i>et al.</i> (2005)
$BA = -2,35205 + 2,43795 \ln (DAP) + 0,11394 \ln (Ht)$	0,90	Diniz <i>et al.</i> (2015)
$BA = 8,99 + 0,93 (Edad) + 1,70 (DAP)$	0,99	(Buitrago y Arias, 2012)

A partir de la biomasa aérea estimada con la ecuación alométrica, se calculó el contenido de carbono almacenado multiplicando el valor obtenido por el coeficiente de 0,5 (IPCC, 2003). El CO₂ equivalente (CO₂e), corresponde a la medida métrica utilizada para hacer las comparaciones de las emisiones de varios gases de efecto invernadero (GEI). Según el IPCC (2003) se recomienda utilizar el factor de conversión de $44 / 12 = 3,67$ (peso atómico de una molécula de CO₂ sobre el peso específico del carbono) para estimar el CO₂e (Yepes *et al.*, 2011). Este valor se multiplicó por la cantidad de toneladas de carbono almacenado por árbol crecido en cada uno de los tres CCGE de caucho.

Una vez se obtuvieron los datos de biomasa, carbono, CO₂ equivalente y la tasa de fotosíntesis (A), se empleó un análisis de análisis de varianza (ANOVA) para comparar los posibles efectos asociados a la localidad, el clon y la interacción clon x localidad. La separación de medias se realizó mediante una prueba LSD de Fisher con un nivel de significancia del 5%. Todas las pruebas se realizaron utilizando el software Infostat 2017 (Di Rienzo *et al.*, 2017).

RESULTADOS

Se encontraron diferencias significativas para la mayoría de las variables estudiadas principalmente entre localidades y entre clones según la localidad (Tabla 4.4). La acumulación de biomasa, el almacenamiento de carbono y la tasa fotosintética fueron muy influenciadas por la localidad ($P < 0,01$). El efecto del clon sólo fue evidente para la fotosíntesis. No obstante, cuando se analizó el efecto del clon en cada localidad éste fue evidente tanto para biomasa como para carbono. Esto significa que en cada localidad las diferencias observadas en el almacenamiento de carbono entre clones, no fueron las mismas. Así por ejemplo, mientras en una localidad un clon presentó un alto almacenamiento de carbono, en otra su estimado fue muy inferior.

Tabla 4.4. Análisis de varianza (ANOVA) de los efectos localidad (L), clon (C) y su interacción para las variables de biomasa aérea (BA t/ha), carbono almacenado (t C/ha), CO_2 equivalente (t CO_2 e/ha) y la tasa de fotosíntesis (A) en 10 clones de caucho (*Hevea brasiliensis*) en el CCGE de San Vicente del Caguán, Belén de los Andaquíes y Florencia, departamento de Caquetá, Colombia.

Variables ^a	p-valores basados en el estadístico de Fisher (F)		
	L	C	L x C
BA (t/ha)	0,0094	0,0879	0,0017
C (t/ha)	0,0094	0,0879	0,0017
CO_2 e (t/ha)	0,0094	0,0879	0,0017
A ($\mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	<0,0001	<0,0001	0,4903

L = localidad, C = clon.

En San Vicente es la localidad donde los clones reportan los valores más altos de BA (22 t/ha), almacenamiento de carbono (11 t C/ha) y CO_2 e (40 t/ha), seguido por Belén con 18, 2 t/ha, 9,08 t C/ha y 33 t CO_2 e/ha, respectivamente (Tabla 4.5). Los clones **FDR 5788** y **GU 198** presentaron una alta fotosíntesis, indicando que a través del proceso fotosintético se promueve una mayor toma de CO_2 , así una mayor acumulación en biomasa (25 y 36 t/ha), carbono (12 y 18 t C/ha), y por tanto, una mayor cantidad de CO_2 que se retiene en el árbol al no ser emitida a la atmósfera (CO_2 e) (Tabla 4.5).

Tabla 4.5. Medias de la biomasa aérea (BA t/ha), carbono almacenado (t C/ha), CO_2 equivalente (t CO_2 e/ha) y tasa fotosintética (A) en 10 clones de caucho (*Hevea brasiliensis*) presentes en tres CCGE en Caquetá, Colombia.

Factor	Nivel	A	BA	C	CO_2 e
Localidad	San Vicente	4,64 ± 0,28 b	22,09 ± 2,31 a	11,04 ± 1,15 a	40,53 ± 4,24 a
	Belén de los Andaquíes	3,16 ± 0,28 c	18,17 ± 2,31 ab	9,08 ± 1,15 ab	33,34 ± 4,24 ab
	Florencia	7,85 ± 0,28 a	14,79 ± 2,31 b	7,40 ± 1,15 b	27,15 ± 4,24 b
Clon	CDC 312	6,14 ± 0,50 a	14,21 ± 4,22 bc	7,10 ± 2,11 bc	26,07 ± 7,74 bc
	FDR 5597	5,81 ± 0,50 ab	16,66 ± 4,22 bc	8,33 ± 2,11 bc	30,56 ± 7,74 bc
	GU 198	6,17 ± 0,50 a	25,76 ± 4,22 ab	12,88 ± 2,11 ab	47,26 ± 7,74 ab
	FDR 4575	3,52 ± 0,50 c	14,86 ± 4,22 bc	7,43 ± 2,11 bc	27,28 ± 7,74 bc
	FDR 5788	6,12 ± 0,50 a	36,60 ± 4,22 a	18,30 ± 2,11 a	67,16 ± 7,74 a
	CDC 56	5,81 ± 0,50 ab	13,32 ± 4,22 c	6,66 ± 2,11 c	24,44 ± 7,74 c
	FX 4098	5,18 ± 0,50 ab	15,70 ± 4,22 bc	7,85 ± 2,11 bc	28,81 ± 7,74 bc
	FX 3899	3,32 ± 0,50 c	20,70 ± 4,22 bc	10,35 ± 2,11 bc	37,99 ± 7,74 bc
	MDF 180	4,54 ± 0,50 bc	11,37 ± 4,22 c	5,68 ± 2,11 c	20,86 ± 7,74 c
	IAN 873	5,79 ± 0,50 ab	14,31 ± 4,22 bc	7,16 ± 2,11 bc	26,27 ± 7,74 bc

En la Figura 4.6 se muestra la tasa de fotosíntesis (A), la biomasa aérea (BA), el secuestro de carbono (C) y el CO₂ no emitido a la atmósfera (CO₂e). Los árboles crecidos en Florencia tienen una mayor tasa de fotosíntesis (A), mientras para San Vicente y Belén es menor en un 41 y 60%, respectivamente (Figuras 4.6 y 4.7). Sin embargo, la biomasa, el carbono almacenado y el CO₂ equivalente registraron los valores más bajos en Florencia.

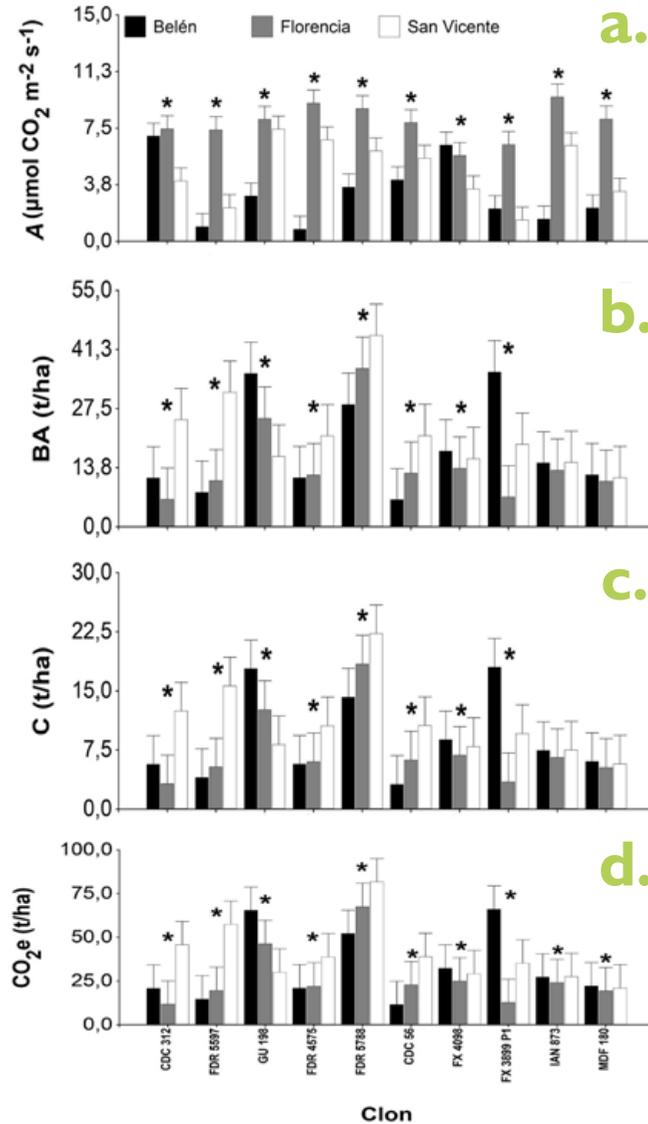


Figura 4.6. Medias para la tasa fotosintética (A) (A), biomasa aérea (t BA/ha) (B), carbono almacenado (t C/ha) (C) y CO₂ equivalente (t CO₂e/ha) (D), en 10 clones de caucho (*Hevea brasiliensis*) en tres campos clonales a gran escala CCGE localizados en tres municipios de Caquetá, Colombia. Las barras representan el error estándar de la media (n = 4). Los asteriscos (*) indican diferencia significativa entre localidades para cada clon (prueba LSD; P < 0,05).

Fuente: Elaboración propia.

FDR 5788



IAN 873



San Vicente

Belén

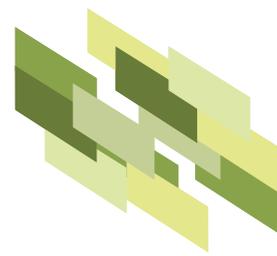
Florencia

Figura 4.7. Árboles de caucho natural (*Hevea brasiliensis*) del clon FDR 5597 que acumula mayor biomasa, carbono y CO_2e y el clon testigo IAN 873 establecidos en CCGE de Belén de los Andaqués, Florencia y San Vicente del Caguán.

Fuente: Elaboración propia.

Los árboles del clon **FDR 5788** registraron sus valores más altos para biomasa, almacenamiento de carbono y CO_2e en la localidad de San Vicente (44 t/ha, 18 t C/ha y 82 t CO_2e /ha, respectivamente) (Figura 4.6). En la Figura 4.7 se observa el clon **FDR 5788** crecido en los tres CCGE siendo árboles con una mayor densidad de copa y grosor del tronco (mayor circunferencia o *CAP*) en comparación con el testigo **IAN 873** con un copa asimétrica, menos densa y menor grosor del tronco.

Por el contrario, los clones **CDC 56** y **MDF 180** acumularon menos biomasa aérea (5 t/ha) y carbono (11 y 13 t C/ha), y, por tanto, una menor capacidad para reducir la emisión de CO_2 a la atmósfera (20 y 24 t CO_2e /ha) (Tabla 4.5, Figura 4.6). Los clones **FX 3899** y **CDC 312** en Florencia, y el clon **CDC 56** en Belén mostraron valores significativamente inferiores a 7 t/ha en biomasa, 3 t/ha de carbono y 12 t CO_2e /ha. En San Vicente, el clon **MDF 180** fue el que presentó menores valores con una biomasa de 11 t/ha y carbono 6 t/ha (Figura 4.6).





DISCUSIÓN

La cantidad de biomasa y secuestro de carbono en los árboles de los campos clonales a gran escala en promedio en las tres localidades fue de 18,35 t/ha y 9,17 t C/ha respectivamente. Los resultados evidencian que las condiciones ambientales de cada sitio donde se establece un cultivo son importantes en la capacidad de los árboles para almacenar biomasa y carbono, como ocurrió en el CGGE de Florencia.

Los valores de biomasa y carbono estimados en este estudio son más altos a los reportados por Durán et al. (2011), con un promedio por hectárea de 8,97 t/ha de biomasa aérea y 6,9 t C/ha en árboles de *H. brasiliensis* sembrados en sistemas agroforestales (SAF) en fase inicial de crecimiento entre 1 a 7 años de edad. En otro estudio donde se estimó el potencial de almacenamiento de carbono en plantaciones de caucho en monocultivo y sistemas agroforestales (SAF) en el Caquetá (1 a 7 años y 8 a 20 años de edad), sembrados con clones introducidos de FX 25, FX 3864, IAN 710, IAN 873 y FX 4098, encontrando que a medida que la edad del cultivo aumenta también lo hace el almacenamiento de carbono, siendo las plantaciones jóvenes las que almacenaron un promedio de 4 t C/ha tanto en monocultivo y SAF, y en plantaciones adultas 57 t C/ha en monocultivo y en SAF un promedio de 45 t C/ha (Orjuela et al., 2014).

El clon con la mayor capacidad de secuestro de carbono es el **FDR 5788** (18,3 t C/ha), seguido del clon **GU 198** (12,8 t C/ha), que también son los clones que registran la mayor tasa de fotosíntesis (A). Esto indica que son clones que tienen una alta eficiencia fotosintética que resulta en un mayor secuestro de carbono. Diniz et al. (2015) encontraron que el clon **FDR 5788** en una plantación de siete años de edad en Brasil tiene la capacidad de almacenar 50,9 t C/ha en la biomasa aérea, y de hasta 135 t C/ha en biomasa total. Otros clones evaluados en este estudio fueron CDC 312 (44 t C/ha), FX 3864 (49 t C/ha), PMB 1 (33 t C/ha), y MDX 624 que tuvo una mayor acumulación de carbono en comparación a los otros clones (77 t C/ha). Adicionalmente, en nuestro estudio se encontró diferencia significativa de las variables medidas entre localidades (Tabla 4.4), distinto a lo reportado por Diniz et al. (2015) quienes demostraron que existen diferencias significativas entre distintos clones de cacho natural (FX 3864, FDR 5788, CDC 312) pero no entre localidades.

Otros estudios como el de Alvarenga y Carmo (2006), cuantificaron la biomasa total en clones de IAN 873 y RRIM 600 en plantaciones de caucho natural de aproximadamente 15 a 20 años de edad en Brasil, donde encontraron que más del 50% de la biomasa total estaba localizada en parte aérea (tallos, hojas, ramas), que representó un total de 117,2 t/ha para el clon IAN 873, y 132,5 t/ha para RRIM 600. El contenido de carbono también fue estimado en plantación con clones de PB 235 en el estado de Paraná en Brasil, donde el total de carbono en árboles de 4 y 15 años de edad fue de 66,9 y 79,3 t C/ha, respectivamente (Maggiotto et al., 2014).

En comparación con el testigo **IAN 873**, los clones introducidos tienen copas más densas, el tamaño de tronco es mayor, por lo que la acumulación de biomasa y carbono también. La captura y almacenamiento de carbono atmosférico de estos sistemas de producción de caucho en monocultivo sembrados en áreas degradadas o subutilizadas, los convierte en un potencial para mitigar el CO₂ de la atmósfera.

Los clones como **FDR 5788** y **GU 198** tienen una alta capacidad de almacenamiento de biomasa y carbono, disminuyendo la cantidad de CO₂ emitido a la atmósfera (CO₂e) como gas de efecto

invernadero. Los clones del Campo Clonal a Gran Escala de Florencia mostraron una mayor capacidad de almacenamiento de biomasa y carbono, pero para el caso del clon **FDR 5788** fue mejor en el CCGE de San Vicente del Caguán. Los clones que menor desempeño tuvieron en general en términos de acumulación de biomasa (5 t/ha) y carbono (11 y 13 t C/ha) fueron **CDC 56** y **MDF 180**. Los clones **FX 3899** y **CDC 312** en Florencia, el clon **CDC 56** en Belén y **MDF 180** en San Vicente mostraron valores significativamente bajos en el almacenamiento de biomasa y secuestro de carbono.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio junto a los reportados a lo largo del documento a nivel mundial, regional y local, el cultivo de caucho con plantaciones de genotipos mejorados tiene un gran potencial en el secuestro de carbono como una estrategia de implementación en zonas que han sido degradadas y subutilizadas, brindando una opción sostenible y competitiva para los pequeños productores, así como una posibilidad de acceso a mecanismos de compensación como pagos por servicios ambientales que podría generar ingresos adicionales al productor y a la vez mejorar la calidad de vida de las comunidades rurales y los ecosistemas.

Varios de los estudios mencionados a lo largo del capítulo señalan diferencias en la cantidad de biomasa y carbono almacenado en las plantaciones de caucho que están influenciadas por factores ambientales, fisiológicos y genéticos de la especie. Durante la fase juvenil, el balance de CO₂ en el árbol del caucho se ve especialmente afectado por una respiración más alta, pues el árbol está en un proceso de crecimiento y necesita aumentar la concentración de CO₂ (Miguel *et al.*, 2007), por lo que la edad es un factor que influye sobre la cantidad de biomasa, y por ende, de carbono que se secuestra en el árbol. Otros factores importantes a considerar en el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea son las condiciones agroecológicas del sitio, las prácticas de manejo y condiciones climáticas (Brahma *et al.*, 2018). A partir de los resultados obtenidos se evidencian diferencias significativas del comportamiento de almacenamiento de carbono en los clones dependiendo de la localidad donde se encuentran establecidos (Tabla 4.5 y Figura 4.6), y que está muy influenciado por los factores mencionados anteriormente.

Algunas prácticas que pueden ser implementadas en el cultivo incluyen una mejor conservación del suelo y el agua es implementar cobertura de leguminosas, aplicación de abonos orgánicos, mulching, cultivos intercalados, que se sabe que han ayudado en el enriquecimiento incrementado el carbono orgánico del suelo en cerca de un 30-50% (Priyadarshan, 2017), y harán más eficiente en términos de producción y secuestro de carbono al cultivo.





CONSIDERACIONES FINALES

En el presente estudio donde se evaluó la capacidad de acumulación de carbono de 10 clones de caucho en etapa improductiva en tres Campos Clonales a Gran Escala (CCGE), en el departamento del Caquetá (Colombia), donde se logró identificar que San Vicente del Caguán fue la localidad donde los clones reportaron los valores más altos de biomasa aérea, almacenamiento de carbono y emitieron menor cantidad de CO₂. Por otro lado, los clones **FDR 5788** y **GU 198** son los que presentaron mayor biomasa aérea y tasa de fotosíntesis (A), y por ende los que tienen más capacidad para secuestrar más carbono y emitir menos CO₂ a la atmósfera. Los clones **CDC 56** y **MDF 180** son los clones que acumularon menos biomasa aérea y carbono, y, por tanto, tienden a emitir mayor CO₂ a la atmósfera en contraste con los demás clones evaluados.

Teniendo en cuenta el comportamiento de cada clon en cada una de las tres localidades consideradas, los clones **FX 3899** y **CDC 312** acumularon mayor biomasa y carbono en Florencia, los clones **GU 198** y **FX 3899 PI** en Belén de los Andaquíes, y los clones **FDR 5788** y **GU 198** en Florencia. El clon **MDF 180** en San Vicente, **CDC 56** en Belén y **FX 3899 PI** en Florencia presentaron los menores valores de acumulación de biomasa y carbono.

En general, la mayor capacidad estimada para el secuestro de carbono y CO₂ de la atmósfera en los clones que presentaron mayor biomasa aérea, permite sugerir que estos materiales son los que poseen un mayor potencial para ser incluidos en una estrategia de pago por servicios ambientales (PSA) como un valor económico agregado a la producción del látex del caucho en la Amazonia colombiana.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbas, F., Hammad, H.M., Fahad, S., Cerdà, A., Rizwan, M., Farhad, W., Ehsan, S., Bakhat, H.F., 2017. Agroforestry: a sustainable environmental practice for carbon sequestration under the climate change scenarios—a review. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 11177–11191. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8687-0>
- Alvarenga, A.D.P., Carmo, C.A.F. de S. do, 2006. *Sequestro de carbono: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural*, 2006th ed. MG, Viçosa.
- Baettig, R., Yáñez, M., Albornoz, M., 2010. Cultivos dendroenergéticos de híbridos de álamo para la obtención de biocombustibles en Chile : estado del arte Short rotation woody crops of hybrid poplars for bioenergy in Chile : state of the art. *Bosque* 31, 89–99.
- Blagodatsky, S., Xu, J., Cadisch, G., 2016. Agriculture , Ecosystems and Environment Carbon balance of rubber (*Hevea brasiliensis*) plantations : A review of uncertainties at plot , landscape and production level. *Agric. Ecosyst. Environ.* 221, 8–19. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.025>
- Brahma, B., Nath, A.J., Das, A.K., 2016. Managing rubber plantations for advancing climate change mitigation strategy managing rubber plantations for advancing climate change mitigation strategy. *Current Sci.* 110, 2015–2019. <https://doi.org/10.18520/cs/v110/i10/2015-2019>
- Brahma, B., Nath, A.J., Sileshi, G.W., Das, A.K., 2018. Estimating biomass stocks and potential loss of biomass carbon through clear-felling of rubber plantations. *Biomass and Bioenergy* 115, 88–96. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.04.019>
- Breu, F., Guggenbichler, S., Wollmann, J., 2012. Manual for building tree volume and biomass allometric equations: from field measurement to prediction., *Vasa*. <https://doi.org/10.1073/pnas.0703993104>
- Buitrago, M.A., Arias, D.A., 2012. Modelo alométrico para estimar el almacenamiento de carbono en *Hevea brasiliensis* para los clones IAN 710 y FX 3864 bajo condiciones muy húmedas en la amazonia colombiana. Universidad de la Amazonia.
- Casanoves, F., Jara, M.C., 2017. Estimación del carbono a partir de inventarios forestales nacionales: Buenas prácticas para la recolección, manejo y análisis de datos. Turrialba, Costa Rica.
- de Groot, R.S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., Willemen, L., 2010. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecol. Complex.* 7, 260–272. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.10.006>
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W., 2017. InfoStat versión (2017).
- Diniz, A.R., Pereira, M.G., Balieiro, F. de C., da Silva, E.V., Santos, F.M., Lisboa, F.J.G., de Oliveira, A.B., da Cruz, R.B., 2015. Contraste de plantios clonais de seringueira quanto ao estoque de carbono no solo e na biomassa. *Rev. Bras. Cienc. do Solo* 39, 1378–1385. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140274>
- Dunham, R.J., Silva, E.R., Santos, A.G., 1983. Comportamento dos clones de seringueira e novos materiais para futuros plantios na Fazenda Três Pancadas – Ituberá e Camamu/BA, in: *Seminário de Recomendação de Clones de Seringueira*, I, Brasília, 1982, Anais: MIC/SUDHEVEA. pp. 65–88.
- Durán, E.H., Duque, L., Suárez, J.C., 2011. Estimación de carbono en sistemas agroforestales de *Hevea brasiliensis* en la amazonia colombiana. *Ingenierías Amaz.* 4, 19–28.
- Gasparotto, L., Ferreira, F.A., Dos Santo, A.F., Rezende, P.J., Furtado, E.L., 2012. Capítulo 3: Doenças das folhas, in: Gasparotto, L., Pereira, R.J.C. (Eds.), *Doenças Da Seringueira No Brasil*. EMBRAPA Amazônia Occidental, Brasília, DF, pp. 39–176.

- Guarín, A., Hotz, H., 2015. El análisis de servicios ecosistémicos forestales como herramienta para la formulación de políticas nacionales en el Perú, Global Green Growth Institute-Deutsches Institut für Entwicklungspolitik.
- Hora Júnior, B.T. Da, De Macedo, D.M., Barreto, R.W., Evans, H.C., Mattos, C.R.R., Maffia, L.A., Mizubuti, E.S.G., 2014. Erasing the past: A new identity for the damoclean pathogen causing South American leaf blight of rubber. *PLoS One* 9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104750>
- IDEAM, PNUD, 2015. Inventario Nacional Y Departamental De Gases Efecto Invernadero–Colombia, Zetta Comunicadores.
- IGAC, 2014. Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras Departamento de Caquetá. bogotá.
- IPCC, 2003. Intergovernmental Panel on Climate Change Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
- Lau, C., Jarvis, A., Ramírez, J., 2011. Agricultura colombiana: Adaptación al cambio climático. CIAT Políticas en Síntesis, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- Maggiotto, S.R., Oliveira, D. De, Marur, C.J., Maria, S., Stivari, S., Leclerc, M., Wagner-riddle, C., 2014. Acta Scientiarum Potential carbon sequestration in rubber tree plantations in the northwestern region of the Paraná State , Brazil. *Acta Sci.* 36, 239–245. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v36i2.17404>
- Miguel, A., Oliveira, L.E., Ramos, P., Oliveira, D.M., 2007. Photosynthetic behaviour during the leaf ontogeny of rubber tree clones [*Hevea brasiliensis* (Wild. ex. ADR. de Juss.) Muell. Arg.], in Lavras, MG. *Ciência e Agrotecnologia* 31, 91–97. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000100014>
- Moreno, J.A., Burgos Salcedo, J.D., Nieves, H.E., Buitrago, C.E., 2005. Modelo alométrico general para la estimación del secuestro de carbono por plantaciones de caucho *Hevea brasiliensis* Müll Arg. en Colombia. *Colomb. For.* 9, 5. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2005.1.a01>
- Nelson, N., 2011. Photosystems and global effects of oxygenic photosynthesis. *Biochim. Biophys. Acta* 1807, 856–863. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2010.10.011>
- Nizami, S.M., Yiping, Z., Liqing, S., Zhao, W., Zhang, X., Wang, S., 2014. Managing carbon sinks in rubber (*Hevea brasiliensis*) Plantation by changing rotation length in SW China. *PLoS One* 9, 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115234>
- Orjuela, J.A., Andrade, H., Vargas, Y., 2014. Potential of carbon storage of rubber (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) plantations in monoculture and agroforestry systems in the colombian amazon. *Trop. Subtrop. Agroecosystems* 17, 231–240.
- Petsri, S., Chidthaisong, A., Pumijumnong, N., Wachrinrat, C., 2013. Greenhouse gas emissions and carbon stock changes in rubber tree plantations in Thailand from 1990 to 2004. *J. Clean. Prod.* 52, 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.003>
- Priyadarshan, P.M., 2017. Biology of Hevea Rubber, 1st ed. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-54506-6>
- Ramírez, U., Charry, A., Jäger, M., Huertado, J., Sterling, A., Romero, M., Sierra, L., Quintero, M., 2018. Estrategia Sectorial de la Cadena de Caucho en Caquetá , con Enfoque Agroambiental y Cero Deforestación. No. 451. Cali.

- Rios, J.A., Rodrigues, F. de Á., Debona, D., Silva, L.C., 2014. Photosynthetic gas exchange in leaves of wheat plants supplied with silicon and infected with *Pyricularia oryzae*. *Acta Physiol. Plant.* 36, 371–379. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1418-3>
- Rivano, F., Mattos, C.R.R., Cardoso, S.E.A., Martinez, M., Cevallos, V., Le, V., Garcia, D., 2013. Breeding *Hevea brasiliensis* for yield, growth and SALB resistance for high disease environments. *Ind. Crop. Prod.* 44, 659–670. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.09.005>
- Roy, M., Mahavidyalaya, R., Saha, S., Roy, M., 2014. Ecological Impact of Rubber Plantations : Tripura Perspective. *Int. J. Curr. Res.* 6, 10334-0340.
- Schroth, G., D'Angelo, S., Geraldes, T.W., Haag, D., Lieberei, R., 2002. Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years. *For. Ecol. Manage.* 163, 131–150. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00537-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00537-0)
- Sterling, A., Melgarejo, L.M., 2018. Leaf gas exchange and chlorophyll a fluorescence in *Hevea brasiliensis* in response to *Pseudocercospora ulei* infection. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 103, 143–150. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2018.07.006>
- Sterling, A.S., Rodríguez, C.H., 2012. Ampliación de la base genética de caucho natural con proyección para la Amazonia colombiana: fase de evaluación en periodo improductivo a gran escala. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Bogotá.
- Wauters, J.B., Coudert, S., Grallien, E., Jonard, M., Ponette, Q., 2008. Carbon stock in rubber tree plantations in Western Ghana and Mato Grosso (Brazil). *For. Ecol. Manage.* 255, 2347–2361. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.038>
- Yepes, A.P., Navarrete, D., Duque, a. J., Phillips, J.F., Cabrera, K.R., Alvarez, E., García, M.C., Ordoñez, M.F., 2011. Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia. Bogotá.
- Yu, Q., 2001. Can physiological and anatomical characters be used for selecting high yielding hybrid aspen clones? *Silva Fenn.* 35, 137–146.

