

VALORACIÓN INICIAL DEL **POTENCIAL**
PRODUCTIVO DE *Hevea brasiliensis*
EN LA AMAZONIA COLOMBIANA MEDIANTE
LA EVALUACIÓN DE NUEVOS CLONES
PROMISORIOS PARA LA REGIÓN

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

Valoración inicial del potencial productivo de *Hevea brasiliensis* en la Amazonia colombiana mediante la evaluación de nuevos clones promisorios para la región. Armando Sterling Cuellar, Carlos Hernando Rodríguez León (Eds.). Bogotá, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, 2020

I. CAUCHO 2. *Hevea brasiliensis* 3. CLONES 4. AMAZONIA COLOMBIANA

ISBN: 978-958-5427-20-4

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

Primera edición: abril de 2020

Revisión técnica: Juan Fernán Sierra Hayer, Ph.D
José Alfredo Orjuela Chaves, cPhD

Fotografías: Armando Sterling Cuellar, Yerson Duban Suárez Córdoba, Edwin Andrés Clavijo Arias, Tatiana Karolina Andrade Ramírez, Natalia Rodríguez Castillo, Jesica Andrea Fonseca Restrepo, Eidy Janeth Martínez Viuche, Diego Alexander Pachón Roncancio

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

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 INICIAL DEL **POTENCIAL**
PRODUCTIVO DE *Hevea brasiliensis*
EN LA AMAZONIA COLOMBIANA MEDIANTE
LA EVALUACIÓN DE NUEVOS CLONES
PROMISORIOS PARA LA REGIÓN

EDITORES

Armando Sterling Cuéllar, Ph.D
Carlos Hernando Rodríguez





LUZ MARINA MANTILLA CÁRDENAS
Directora General

DIEGO FERNANDO LIZCANO BOHÓRQUEZ
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



FABIO BURITICÁ BERMEO
Rector

WILFRAND FERNEY BEJARANO HERRERA
Vicerrector de Investigaciones y Posgrados

JAVIER MARTÍNEZ PLAZAS
Vicerrector Académico

LIS MANRIQUE LOSADA
Decana Facultad de Ciencias Básicas



Asociación de Reforestadores
y Cultivadores de Caucho del Caquetá

YAMILE MENDOZA CASANOVA
Representante legal

Junta Directiva

JOSÉ RICARDO GUTIERREZ ROJAS
Presidente

GREYCIOMARA CASANOVA MARIN
Vicepresidente

JAIME GUEVARA CALDERÓN
Secretario

JESÚS ARCENIO ROJAS RIVERA
HÉCTOR EDUARDO DIAZ GALLEGO
Miembros principales

VALORACIÓN INICIAL DEL **POTENCIAL**
PRODUCTIVO DE *Hevea brasiliensis*
EN LA AMAZONIA COLOMBIANA MEDIANTE
LA EVALUACIÓN DE NUEVOS CLONES
PROMISORIOS PARA LA REGIÓN

EQUIPO TÉCNICO

Armando Sterling Cuéllar, Ph.D

Investigador Principal

Co-investigadores

Carlos Hernando Rodríguez León

Yerson Duban Suárez Córdoba

Natalia Rodríguez Castillo

Ariel Antonio Agudelo Sánchez

Jesica Andrea Fonseca Restrepo

Tatiana Karolina Andrade Ramírez

Edwin Andrés Clavijo Arias

Armando Gamboa Tabares

GINNA QUIROGA CHITIVA

Deicy Lorena Losada

Ana Yiceth Guillen Motta

Juan Diego Hoyos Duarte

Luis Carlos Loaiza Molina

Yeny Rocio Virgüez Díaz

Lyda Constanza Galindo Rodríguez

Norma Bonilla Ríos

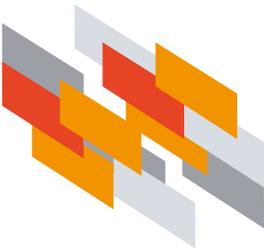
Ismael Dussán Huaca

Heberth Góngora Ocampo

Diego Ferney Caicedo Rodríguez

Bernardo Betancurt Parra

Maolenmarx Tatiana Garzón





PRESENTACIÓN

Uno de los mayores retos que tiene el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI es contribuir con la reconversión de los procesos de intervención inadecuada en la Amazonia colombiana, a través de la caracterización de los sistemas productivos, sus dinámicas y la valoración de alternativas productivas sostenibles e innovadoras, que respondan a las demandas de sus habitantes con criterios de desarrollo sostenible.

Entre estas alternativas productivas está el caucho natural (*Hevea brasiliensis*); una especie arbórea nativa de la selva amazónica, que ha representado en los últimos 60 años una opción económica importante para muchos colonos campesinos en la Amazonia colombiana. En departamentos como Caquetá (Colombia) ha sido el segundo renglón económico **más importante** del sector primario, con aproximadamente 1200 familias campesinas beneficiadas, que históricamente han dejado atrás otras prácticas inadecuadas o de uso ilícito, y que encontraron en el caucho una opción de vida. Sin embargo, diversos factores como los cambios ambientales, las dinámicas socio-económicas y la pérdida del potencial genético de esta especie, han afectado significativamente la sostenibilidad y la competitividad de este sector, no sólo en el departamento sino en toda la región.

En este sentido, el Instituto SINCHI en alianza con la Universidad de la Amazonía y la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá –Asoheca- iniciaron en el año 2008 el primer programa de investigación orientado a mejorar la base genética del caucho en Caquetá, y desde entonces han contribuido de manera preliminar con la identificación y valoración de nuevos materiales genéticos promisorios con potencial de uso para toda la región amazónica colombiana. Es así, como a partir del avance de esta investigación, presentamos a la comunidad nacional e internacional la publicación: “Valoración inicial del potencial productivo de *Hevea brasiliensis* en la Amazonia colombiana mediante la evaluación de nuevos clones promisorios para la región”.

La presente publicación es el fruto del proyecto: “Ampliación de la base genética de caucho natural, Caquetá, Amazonia”, ejecutado por el Instituto SINCHI mediante el convenio No. 59-2013 suscrito con la Gobernación del Caquetá y cofinanciado con recursos del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación–FCTel del Sistema General de Regalías – SGR. Este proyecto cuenta además con la co-ejecución de la Universidad de la Amazonía y la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá –Asoheca-.

La presente publicación es la cuarta del proyecto sobre el estado de avance en la investigación de estos nuevos clones de caucho y en esta entrega ofrecemos al lector los resultados preliminares correspondientes al primer informe científico, sobre el comportamiento productivo de los nuevos materiales de caucho en el Caquetá y su potencial de uso en la Amazonia colombiana.

Finalmente, es importante resaltar que estos resultados constituyen las primeras evaluaciones productivas de los nuevos clones de caucho en Caquetá, y representan un reto interinstitucional en el que aspiramos en un periodo no inferior a 3 ó 4 años, a realizar la



selección final y a recomendar su uso a través de los modelos agroambientales que han sido diseñados y validados por el Instituto SINCHI en la región, con lo que esperamos contribuir en los próximos 50 o 60 años al mejoramiento de la sostenibilidad y la competitividad de las familias campesinas, que ven en el caucho una herencia para sus hijos y para las futuras generaciones.

Luz Marina Mantilla Cárdenas
Directora General



INTRODUCCIÓN

El látex del árbol del caucho [*Hevea brasiliensis* (Willd. Ex ADR. de Juss.) Muell.-Arg.] es la principal fuente a nivel mundial de caucho natural para las diferentes industrias que lo demandan, representando hasta el 90% del caucho comercializado en los mercados globales (Wu *et al.*, 2018), como son la fabricación de neumáticos, pinturas, plásticos, artículos deportivos, productos farmacéuticos, y otros productos (Prabhakaran, 2010; Quesada Méndez *et al.*, 2012). Colombia cuenta con aproximadamente 53.223 hectáreas (ha) de cultivo de caucho natural, distribuidas en 17 departamentos (Ramírez *et al.*, 2018). Las áreas productivas en caucho a nivel departamental, en su orden son: Meta con 25.000 ha, Santander con 9.000 ha, Caquetá con 6.700 ha y Antioquía con 6.000 ha. La mayor producción de caucho natural en el país lo registró Meta con 2.150 toneladas (ton), seguido de Santander con 1.450 ton, Caquetá con 1.100 ton y Antioquía con 950 ton (MADR, 2018).

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 afectan cada vez más la productividad y la competitividad del sector cauchero en el Caquetá (Asoheca, 2018).

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 caquetenses (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 la región para los próximos 50 o 60 años.

En este documento se presentan las bases técnicas para la valoración inicial del potencial productivo de clones introducidos de origen americano asociados a campos clonales de caucho y genotipos regionales caquetenses presentes en campo clonal a pequeña escala, materiales genéticos promisorios para el departamento del Caquetá y con potencial de uso para la región amazónica colombiana. Esta publicación está dirigida principalmente a productores y técnicos de caucho, estudiantes y profesionales del sector, como una herramienta de consulta que busca divulgar los avances preliminares y algunos elementos técnicos de interés para técnicos y productores, asociados del comportamiento productivo de los nuevos clones de caucho que se vienen investigando en la región, y que representa la principal oferta en el corto y mediano plazo de nuevo material de siembra para ampliar la base genética de caucho en la región amazónica 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 publicación se dividió en cuatro capítulos que explican en detalle los principales aspectos relacionados con el manejo y el seguimiento de los principales parámetros relacionados con el potencial productivo (producción, comportamiento fisiológico y susceptibilidad a problemas fitosanitarios) de nuevos clones promisorios de caucho (*H. brasiliensis*) en el departamento del Caquetá, Amazonia colombiana

El capítulo 1 presentan los resultados de la evaluación inicial del desempeño productivo (producción temprana) de 10 materiales de caucho (nueve clones americanos introducidos y el clon testigo IAN 873) durante la etapa de madurez en tres campos clonales a gran escala en el departamento del Caquetá (Colombia).

El capítulo 2 expone los resultados de la evaluación inicial del desempeño productivo (microsangría) de 100 materiales de caucho (99 genotipos caquetenses de la serie ECC-200 y el clon testigo IAN 873) durante la etapa de inmadurez en campo clonal a pequeña escala en el municipio del El Paujil, Caquetá (Colombia).

En el capítulo 3 se presenta la evaluación inicial de la respuesta fisiológica (parámetros fotosintéticos de intercambio gaseoso) y su relación con la producción de látex en 10 materiales de caucho (nueve clones americanos introducidos y el clon testigo IAN 873) en etapa temprana de producción en tres campos clonales a gran escala en el departamento del Caquetá (Colombia).

En el capítulo 4 se discuten las principales enfermedades asociadas al panel de sangría en nueve clones de caucho introducidos y 99 genotipos caquetenses frente al clon testigo IAN 873 en tres campos clonales a gran escala y un campo clonal a pequeña escala, respectivamente, en el departamento del Caquetá (Colombia).





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 Diego Fernando Lizcano Bohórquez, 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 Arnulfo Gasca Trujillo Gobernador del Caquetá, al doctor Jhon Fredy Criollo Arciniegas Secretario Ambiental y de Agricultura Departamental y Fabio Jaramillo, funcionarios de la Secretaría Ambiental y 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 Fernando García su director, a la doctora Narda Sabogal Barbosa y a la ingeniera Gicela Saldaña, por su valiosa colaboración y desarrollo de la interventoría del convenio 59-2013.

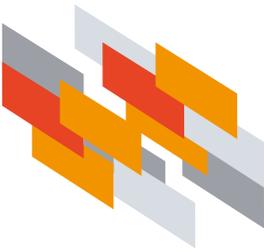
A la ingeniera Yamile Mendoza Casanova, Representante Legal de la Asociación de Reforestadores y Cultivadores del Caquetá, Asoheca y a todo el personal directivo, técnico y administrativo por su apoyo y contribución al proyecto.

Al doctor Fabio Buriticá Bermeo rector de la Universidad de la Amazonia, al doctor Wilfrand Ferney Bejarano Herrera Vicerrector de Investigaciones y Posgrados, Al doctor Javier Martínez Plazas Vicerrector Académico, a Lis Manrique Losada 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 la planta procesadora de caucho técnicamente especificado de la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá, Asoheca y a su equipo de trabajo, por su valiosa colaboración en la recepción, almacenamiento, procesamiento y posterior determinación de los indicadores de calidad y cantidad de caucho seco recolectado en cada uno de los campos experimentales.

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, Diego Alexander Pachón, Judith Andrea Montoya, Braian Eduardo García, Albenis Quintero Segura, Rafael Baquero Triana, Fabio Baquero Vargas, Luis Erney Muñoz y Aldemar Perdomo.

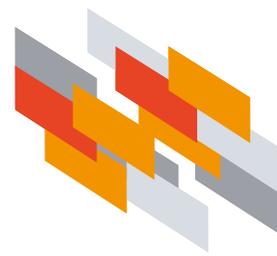
Finalmente expresamos nuestros agradecimientos al Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación-FCTel del Sistema General de Regalías – SGR por la financiación de la presente investigación, al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación COLCIENCIAS, hoy Ministerio de Ciencia, Tecnología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



CONTENIDO

CAPÍTULO 1. Evaluación inicial de la producción temprana de 10 clones de caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>) en campos clonales a gran escala en el departamento del Caquetá	15
INTRODUCCIÓN	17
METODOLOGÍA	18
Área de estudio	18
Material vegetal	19
Diseño experimental	19
Manejo técnico del experimento	20
Montaje y equipamiento del proceso de sangría	21
Evaluación inicial de los parámetros asociados a la producción temprana	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
Vigor pre-sangría (CAP)	26
Producción de caucho seco	28
Contenido de caucho seco (DRC) y contenido de sólidos totales (TSC)	33
CONSIDERACIONES FINALES	35
BIBLIOGRAFÍA	36
CAPÍTULO 2. Evaluación inicial de la producción en microsangría de genotipos caquetenses de caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>) en campo clonal a pequeña escala en el departamento del Caquetá	39
INTRODUCCIÓN	41
METODOLOGÍA	42
Área de estudio	42
Material vegetal	43
Diseño experimental	43
Manejo técnico del experimento	43
Montaje y equipamiento del proceso de microsangría	48
Evaluación inicial de la producción en microsangría	53
Análisis de la información	54
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
Parámetros asociados a la microsangría entre genotipos	55
Parámetros asociados a la microsangría entre grupos de genotipos	57
CONSIDERACIONES FINALES	60
CAPÍTULO 3. Respuesta fisiológica de 10 clones de caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>) en etapa de sangría temprana en campos clonales a gran escala en el departamento del Caquetá	63
INTRODUCCIÓN	65
Generalidades	65
METODOLOGÍA	70
Área de estudio	70
Material vegetal	70
Diseño experimental	70
Mediciones fisiológicas	70
Análisis de la información	71

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	72
CONSIDERACIONES FINALES	77
BIBLIOGRAFÍA	78
CAPÍTULO 4. Enfermedades del panel de sangría en diferentes clones de caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>) en campos clonales a pequeña y gran escala en el departamento del Caquetá	81
INTRODUCCIÓN	83
Principales enfermedades asociadas al panel de sangría	84
Moho ceniciento (<i>Ceratocystis fimbriata</i> Ellis & Halsted)	84
Raya negra o chancro estriado (<i>Phytophthora</i> spp.)	85
Fusariosis del árbol de caucho (<i>Fusarium</i> spp.)	85
Mal rosado o rubeola (<i>Erytricum salmnicolor</i> (Berk. Et Br.) Burds)	86
Antracnosis del panel de sangría (<i>Colletotrichum</i> spp.)	87
METODOLOGÍA	88
Área de estudio	88
Material vegetal y diseño experimental	88
Manejo técnico fitosanitario	88
Evaluación de las principales enfermedades asociadas al tronco	88
Caracterización morfológica de hongos patógenos presentes en el panel de sangría	89
Análisis de la información	90
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	91
Reconocimiento en campo de las principales enfermedades asociadas a los paneles de sangría	91
Caracterización en laboratorio de los agentes causales de las enfermedades identificadas en campo	93
Principales enfermedades asociadas al panel de sangría en campos clonales a gran escala	96
Principales enfermedades asociadas al panel de microsangría en campo clonal a pequeña escala	99
CONSIDERACIONES FINALES	103
BIBLIOGRAFÍA	104



CAPÍTULO I

Evaluación inicial de la producción temprana de 10 clones de caucho (*Hevea brasiliensis*) en campos clonales a gran escala en el departamento del Caquetá

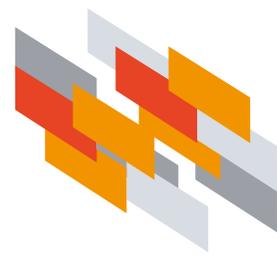


Armando Sterling Cuellar^{1*}, Yerson Duban Suárez-Córdoba²,
Ariel Antonio Agudelo Sánchez², Armando Gamboa Tabares²,
Ismael Dussán Huaca², Carlos Hernando Rodríguez¹, Bernardo
Betancurt¹, Maolenmarx Tatiana Garzón

¹ Investigador Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Sede Florencia

² Co-Investigador del proyecto - Convenio 59- 2013 - Gobernación de Caquetá-Instituto SINCHI

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



INTRODUCCIÓN

El Cis-1,4-poliisopreno, también conocido como caucho natural es sintetizado por el árbol de caucho de la especie *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg., usando como precursor principal a la sacarosa (Chow *et al.*, 2012). Los compuestos orgánicos de mayor abundancia en el látex de la especie *H. brasiliensis* son los hidrocarburos del caucho, los cuales se encuentran en las células laticíferas altamente especializadas dentro del floema (Wu *et al.*, 2017). La producción de caucho depende del flujo y la regeneración del material celular entre dos sangrías (Silva *et al.*, 2012).

Diversos parámetros asociados a aspectos bioquímicos de la síntesis del caucho son muy importantes para valorar la calidad del látex producido. El contenido de sólidos totales (TSC) es el principal parámetro de calidad y tiene un efecto dual sobre la productividad del caucho, ya que limita el flujo de látex sobre un umbral superior y presenta actividad de síntesis sobre un umbral inferior (Tang *et al.*, 2013). Asimismo, el contenido de caucho seco (DRC) representa otro parámetro fundamental relacionado con la productividad de los clones, en el sentido que un mayor DRC estará relacionado con un potencial productivo. En países como Malasia se ha reportado que este parámetro puede oscilar entre 34 y 38% (Yip, 1990). En Brasil se han reportado promedios de DRC entre 32 y 36% por Ferreira *et al.* (2002) y Moreno *et al.* (2003) reportaron promedios de DRC entre 29 y 34%.

El caucho natural tiene importancia económica por ser la principal fuente de materia prima para la fabricación de llantas, guantes, globos, material médico y farmacéutico entre otros (Santana *et al.*, 2018). A nivel mundial, el caucho natural es bien valorado, ya que, para el año 2018 se reportó una producción total de 13.883 millones de toneladas, dicha producción se concentró en Asia-Pacífico (91,3%), África (6,4%) y América (2,3%) (IRSG, 2019). En Colombia para el mismo año, el área establecida para los cultivares de caucho se acercó a 60.000 hectáreas, de las cuales el departamento del Meta cuenta con 25.000 ha seguido por Santander con cerca de 10.000 ha. El área de caucho sembrada en el país aportó una producción total nacional de 5.000 toneladas de caucho seco (MADR, 2018). El Caquetá se reportó un área sembrada de 4.534,9 ha en las cuales se producen 183 toneladas de caucho natural (Ramírez *et al.*, 2018).

La mayoría de las plantaciones establecidas en Colombia han perdido productividad, esto ha impulsado la necesidad de ampliar la base genética de caucho mediante la evaluación a pequeña y a gran escala de materiales con caracteres fenotípicos acordes con las características de cada región (Sterling y Hernandez, 2012). El principal objetivo del mejoramiento genético es obtener clones con alto potencial de producción temprana, además de variables secundarias deseables para contribuir al éxito del programa. El vigor, el crecimiento del tallo durante la sangría, el grosor de la corteza virgen, la regeneración de la corteza, la resistencia a enfermedades, la tolerancia al viento y al panel seco son los principales parámetros deseables (Lima, 2009; Souza, 2016).

En el presente capítulo, se presentan los resultados de la evaluación inicial del desempeño productivo (producción temprana) de 10 materiales de caucho (nueve clones americanos introducidos y el clon testigo IAN 873) durante la etapa de madurez en tres campos clonales a gran escala en el departamento del Caquetá (Colombia).

Área de estudio

El departamento de Caquetá se localiza en el noroeste de la región amazónica colombiana, con una extensión de 89.530 km² que corresponde al 7,8% de la superficie continental del país. Caquetá limita por el Norte con los departamentos del Huila y Meta, por el Este con los departamentos del Guaviare y Vaupés, por el Sur con el río Caquetá que lo separa de los departamentos Amazonas y Putumayo, y por el Oeste con los departamentos del Cauca y Huila (IGAC, 2014) (Figura 1.1).

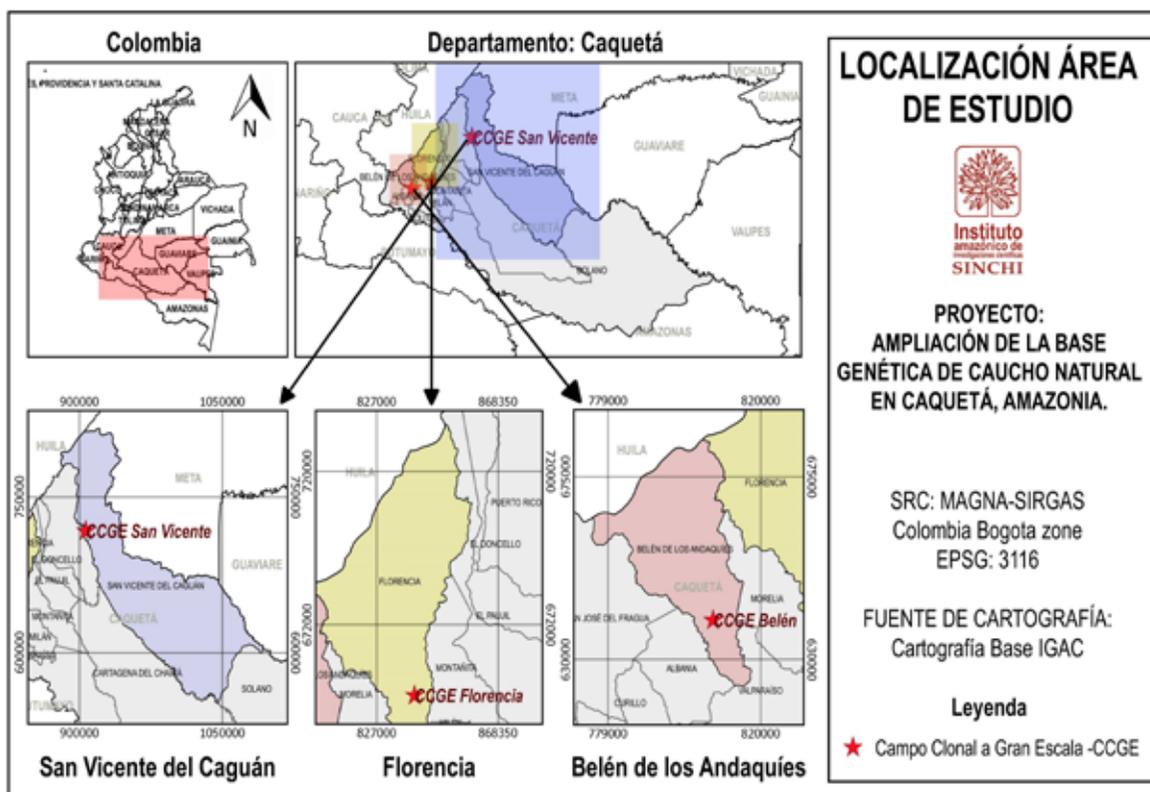


Figura 1.1. Localización del área de estudio (Campos Clonales a Gran Escala -CCGEs) en el departamento del Caquetá (Colombia).

Fuente: Elaboración propia

Los experimentos denominados Campos Clonales a Gran Escala (CCGE) se establecieron en el año 2009 en tres municipios del Caquetá: a) Florencia (vereda Balcanes, con coordenadas 01°37'03" N y 75°37'03" W); b) Belén (vereda Agua Dulce, con coordenadas 1°25'28" N y 75°52'11" W); y c) San Vicente del Caguán (vereda Buenos Aires, con coordenadas 02°02'41" N y 74°55'12" W) (Figura 1.1).

Material vegetal

El material vegetal correspondió a 10 clones de caucho originarios de América Central y del Sur (Tabla 1.1). Estos materiales se eligieron por su resistencia al mal suramericano de las hojas, buen vigor y características favorables de producción (Cardoso *et al.*, 2014; Garcia *et al.*, 2004; Le Guen *et al.*, 2002) y Ecuador (Rivano *et al.*, 2010).

Tabla 1.1. Descripción del material vegetal: diez clones de árboles de caucho evaluados en el departamento del Caquetá (Colombia).

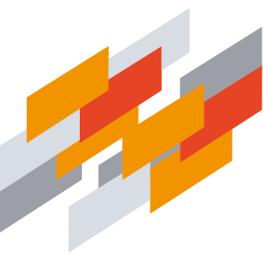
Clon	Parentales (hembra x macho)	País de origen	Año de introducción al Caquetá (Colombia)
CDC 56	MDX 91 x RRIM 614	Guatemala	2002
CDC 312	AVROS 308 x MDX 40	Guatemala	2002
GU 198	GT 711 x FX16	Guatemala	2000
IAN 873 (control)	PB 86 x FA 1717	Brasil	1964
FX 4098	PB 86 x B 110	Brasil	2000
FX 3899 P1 (poliploide)	F4542 x AVROS 363	Brasil	1996
MDF 180	Clon primario	Perú	2002
FDR 4575	FDR 18 x FX 3032	Brasil	2002
FDR 5597	HAR 68 x TU 42-525	Brasil	2002
FDR 5788	HAR 8 x MDF 180	Brasil	2002

Fuente: Sterling *et al.* (2019).

AVROS: Algemene Vereniging Rubberplanters Oostkust Sumatra; **B:** Belterra, Brazil; **CDC:** Clavellinas Dothidella Cross; **FDR:** Firestone Dothidella Resistant; **FX:** Ford Cross; **MDF:** Madre de Dios Firestone; **MDX:** Madre de Dios Cross; **HAR:** Harbel Estate (Firestone), Liberia; **TU:** Turrialba, Costa Rica; **PB:** Prang Besar, Malaysia; **GT:** Gondang Tapen, Indonesia; **FA:** Ford Acre; **F:** Ford, Brasil; **GU:** Guatemala; **IAN:** Instituto Agronômico do Norte; **RRIM:** Rubber Research Institute of Malaysia.

Diseño experimental

Los experimentos (3) denominados campos clonales a gran escala -CCGEs, siguieron un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones (bloques), cada uno con un área total de 5,04 ha y 1,16 ha por bloque (Figuras 1.2, 1.3 y 1.4). En cada bloque se establecieron los 10 clones (tratamientos) y por cada tratamiento se emplearon 60 plantas sembradas en surcos sencillos con una distancia de siembra de 7,0 m x 3,0 m.



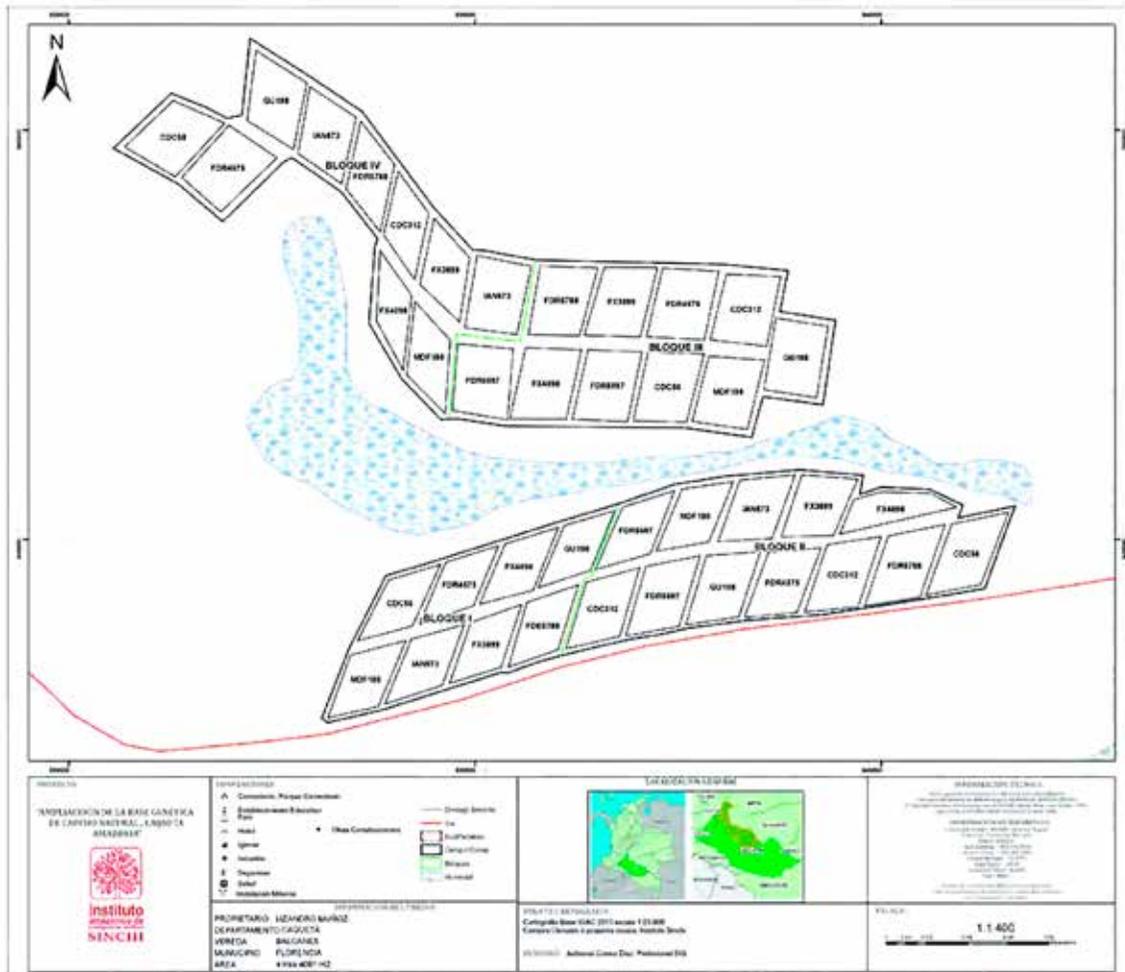
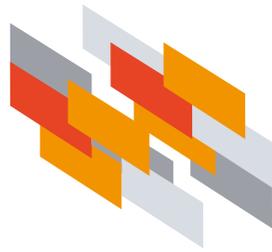


Figura 1.2. Campo Clonal a Gran Escala (CCGE), diseño de bloques completos al azar. Municipio de Florencia, Caquetá.

Fuente: Sterling *et al.* (2018)

▀ Manejo técnico del experimento

El manejo técnico de los campos clonales incluyó: el control manual, mecánico o químico de arvenses con una frecuencia trimestral; la implementación de un plan de fertilización basado en la aplicación de abono orgánico (1000 kg.ha⁻¹), mezcla de fertilizante (NPK + elementos menores) (270 kg.ha⁻¹.año⁻¹) y el control de acidez del suelo con cal dolomita (1,5 t.ha⁻¹). En el caso de los paneles de sangría se empleó un fungicida sistémico (Ridomil®) (20 g.l⁻¹.árbol⁻¹) con aplicaciones semanales en periodo lluvioso y quincenal en periodos con bajas precipitaciones.



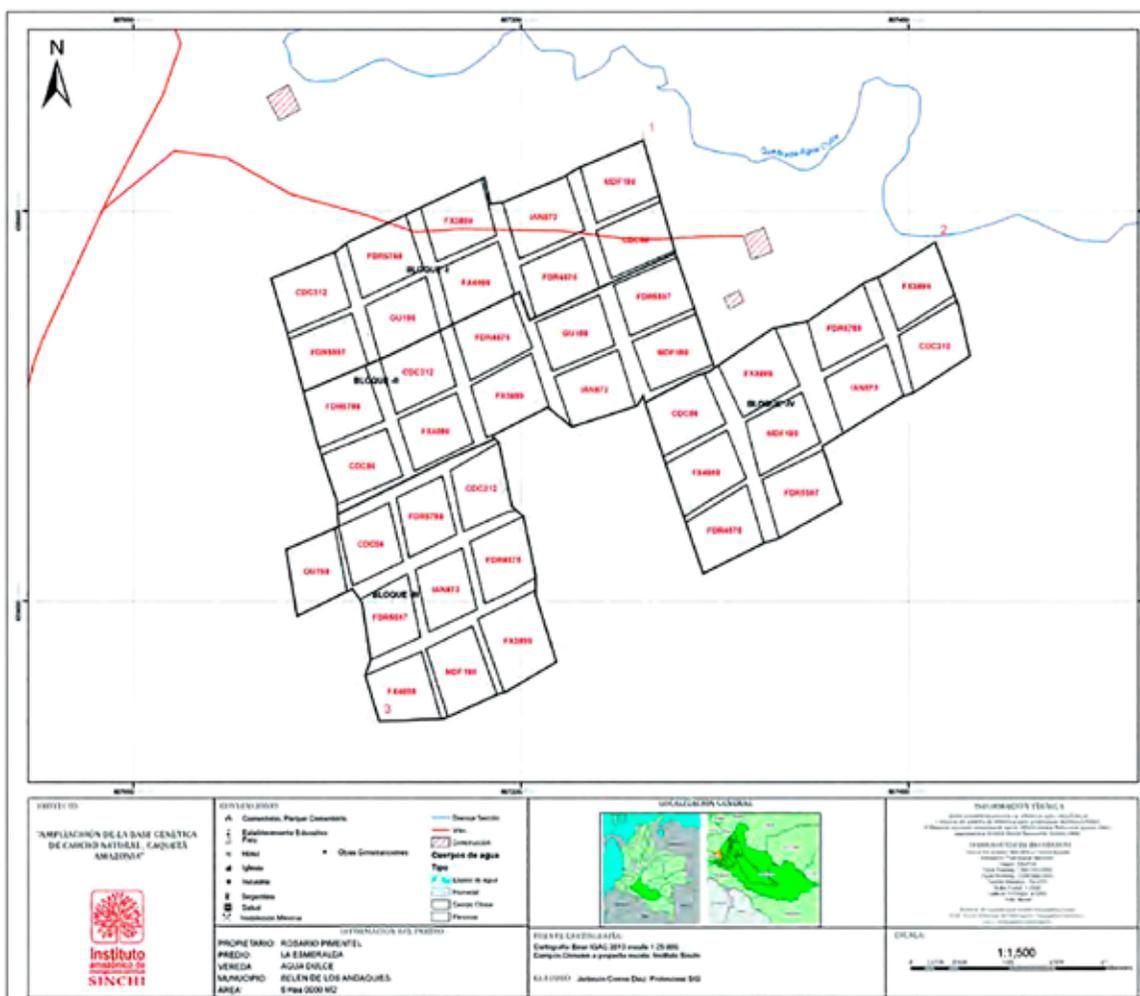


Figura 1.3. Campo Clonal a Gran Escala (CCGE), diseño de bloques completos al azar. Municipio de Belén de los Andaquíes, Caquetá.

Fuente: Sterling et al. (2018)

▀ Montaje y equipamiento del proceso de sangría

El montaje y equipamiento de los árboles para el proceso de sangría temprana consistió en realizar un diagnóstico de los árboles aptos para producción, seguido de la preparación y equipamiento de cada uno de estos (Figura 1.5), como se muestra a continuación:

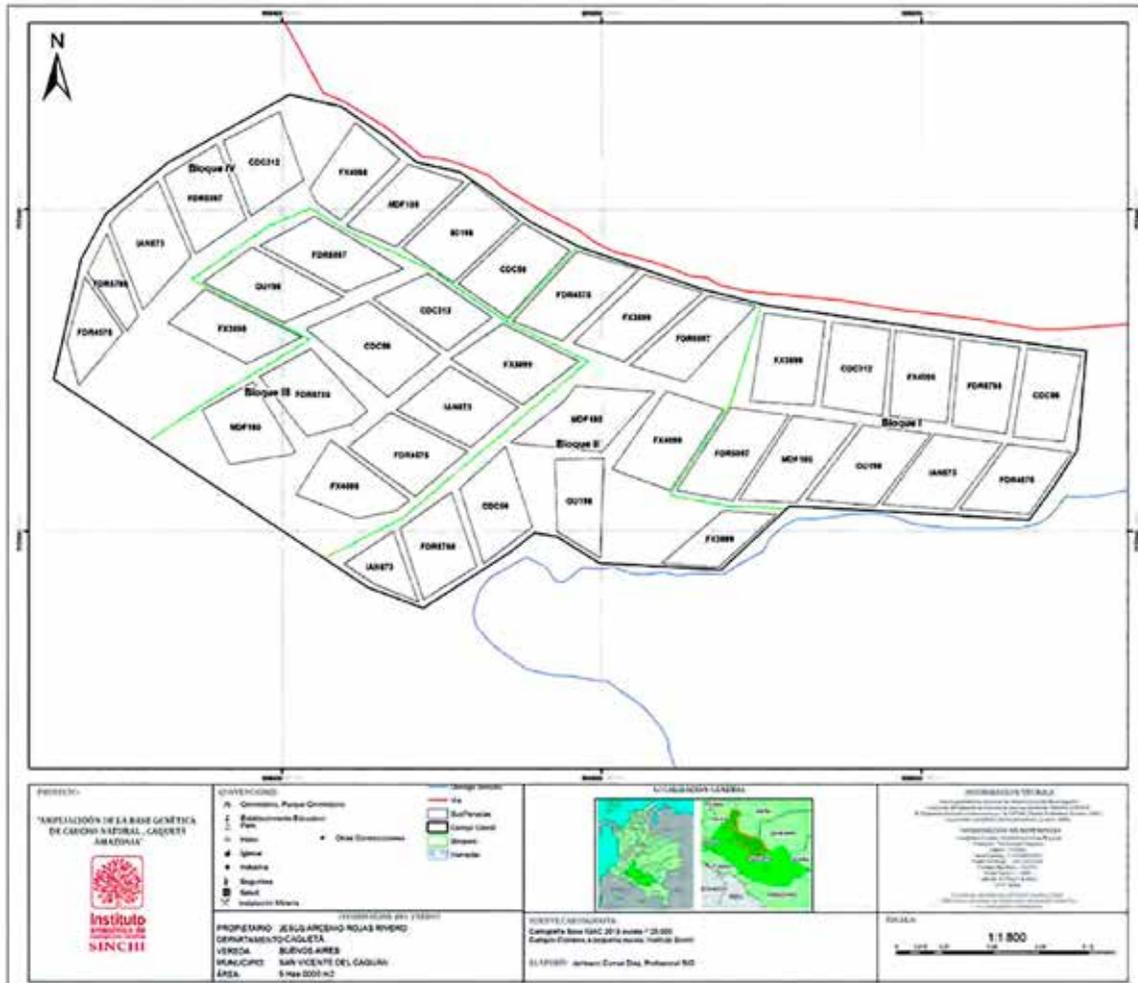


Figura 1.4. Campo Clonal a Gran Escala (CCGE), diseño de bloques completos al azar. Municipio de San Vicente del Caguán, Caquetá.

Fuente: Sterling *et al.* (2018)

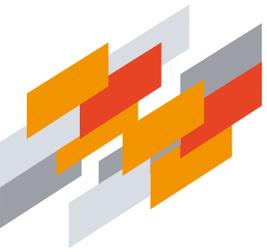
- Inventario de la plantación y selección de árboles para equipar: Se midió la circunferencia a la altura del pecho CAP (cm), para identificar y marcar los árboles aptos ($CAP \geq 45$ cm). Asimismo, se marcaron los árboles con CAP entre 40 y 44 cm, para monitorear su crecimiento y equiparlos cuando cumplan el vigor requerido.





Figura 1.5. Campos clonales a gran escala -CCGEs de caucho equipados para labores de sangría temprana en los municipios de San Vicente del Caguán, Belén de los Andaquíes y Florencia, Caquetá (Colombia).

Fuente: Elaboración propia



- Preparación de los árboles: Se realizó la división del tronco, que consiste en trazar en cada fuste dos líneas verticales opuestas diametralmente llamadas directrices, con la finalidad de dividirlo en dos partes iguales. Seguidamente se procedió a realizar el trazado del panel, en el cual con ayuda de una banderola y un punzón se marcaron las líneas de inclinación que trae la banderola. Por último, se realizó la apertura del panel donde después de marcar las líneas de inclinación de la banderola, se procedió a ejecutar un corte suave sobre la corteza hasta llegar a los vasos conductores de látex, seguidamente se realizó un canal vertical en dirección al suelo, para facilitar el escurrimiento del látex a la canaleta y finalmente a la taza.
- Equipamiento de los árboles: Consistió en colocar una canaleta entre 10 y 20 cm abajo del corte al final del canal de escurrimiento. Luego se trazó un espiral 10 a 20 cm debajo de la canaleta, y finalmente con la ayuda de un alambre se colocaron tazas plásticas negras para la recolección del látex con lo que se culminó el equipamiento de los árboles en los tres CCGE.

▀ Evaluación inicial de los parámetros asociados a la producción temprana

Una vez realizado el montaje y equipamiento de la plantación se procedió en horas de la mañana con las labores de sangría empleando un sistema de explotación 1/2S↓ d/4 6d/7 10 m/12 Etrhel 2,5% I (2) Ba 4/Y (corte de media espiral descendente cada cuatro días, un día de descanso en la semana, con una periodicidad de diez meses al año con dos meses de descanso, con cuatro “estimulaciones” con Etrhel al 2,5% con aplicación de un gramo en la franja de dos centímetros sobre la corteza raspada cuatro veces al año) (Rojas et al., 2017). Este sistema genera un bajo consumo de corteza y menor incidencia de enfermedades en el panel.

▀ Vigor pre-sangría

Para la evaluación del vigor pre-sangría, se realizó la medición de la circunferencia a la altura del pecho CAP (cm) a la altura de 1,2 m desde la base del injerto, con ayuda de una cinta métrica.

▀ Producción de caucho seco

Para la evaluación de la producción de caucho seco PCS ($\text{g.árbol}^{-1}.\text{sangría}^{-1}$) en los primeros seis meses de sangría, se procedió a realizar recolección de los coágulos cada tres sangrías hasta completar dos coágulos para un total de seis sangrías. La recolección se realizó para cada árbol en producción y posteriormente se calculó la cantidad de caucho seco de una muestra representativa en cada parcela y se estimó el rendimiento caucho seco por ha ($\text{kg}.\text{ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$).

▀ Contenido de caucho seco (DRC) y contenido de sólidos totales (TSC)

Empleando la metodología de Mendoza y Jimenez (2018) se realizó la evaluación del DRC y del TSC en cada ensayo por cuadruplicado. Una vez finalizado el proceso de sangría se tomó una muestra de látex y se preservó con amoníaco al 5 % v/v. El análisis de DRC se obtuvo pesando 10 g de látex al que se adicionó solución de ácido fórmico al 5 % v/v hasta obtener coagulación, luego se laminó



y se secó a 55°C hasta peso constante en un horno de convección natural. El DRC se calculó con la siguiente ecuación:

$$DRC (\%) = \frac{B}{A} \times 100$$

Donde:

DRC: Contenido de caucho seco (%)

A: Peso de la muestra inicial (g)

B: Peso del coagulo seco (g)

Mientras que para el TSC se pesaron 2,5 g de látex en una caja Petri y se secaron a 100°C hasta obtener peso constante en horno de convección natural. El TSC se calculó con la siguiente ecuación:

$$TSC = \frac{C - A}{B - A} \times 100$$

Donde:

TSC: Contenido de solidos totales (%)

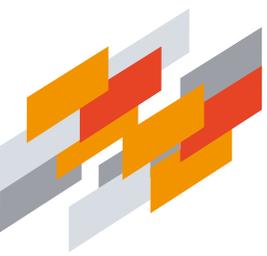
A: Peso inicial de la caja de Petri (g)

B: Peso caja Petri más muestra de látex inicial (g)

C: Peso caja Petri más muestra seca (g)

Análisis de la información

Las variables: circunferencia a la altura del pecho CAP (cm), producción de caucho seco PCS ($\text{g}\cdot\text{árbol}^{-1}\cdot\text{sangría}^{-1}$), contenido de caucho seco DRC (%) y contenido de solidos totales (TSC) (%), se analizaron mediante una ANOVA con el fin de determinar la variación entre localidades, entre clones y sus interacciones. Una prueba LSD de Fisher al 5% de significancia permitió contrastar la diferencia entre los valores promedios de estas variables. Todas las pruebas estadísticas se realizaron en el programa InfoStat versión 2018 (Di Rienzo et al., 2018).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Vigor pre-sangría (CAP)

En San Vicente del Caguán (49,51 cm) y Belén de los Andaquíes (48,68 cm) se observaron las mayores medias de CAP, en relación con lo observado en Florencia (47,73 cm) (Figura 1.6).

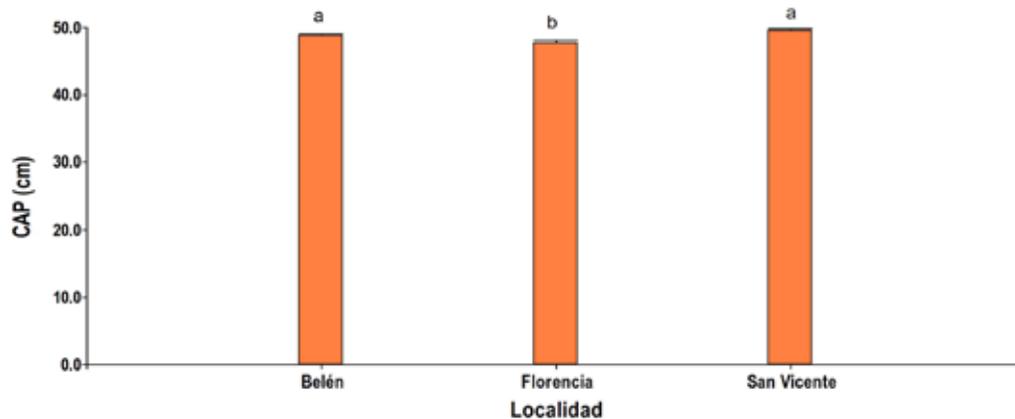


Figura 1.6. Media de la circunferencia a la altura del pecho CAP (cm) de los árboles de caucho en cada una de las localidades de Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

En relación con los clones, la mayor circunferencia del tronco se registró en los clones GU 198, el FDR 5597 y el FDR 5788 con medias de 51,93 cm, 51,41 cm y 50,88 cm, respectivamente. Estos clones presentaron un crecimiento significativamente superior a los demás clones (Figura 1.7).

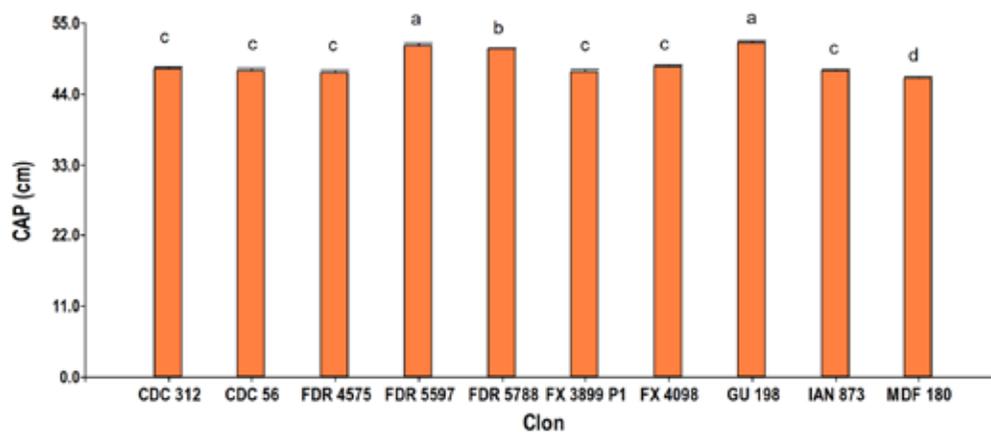
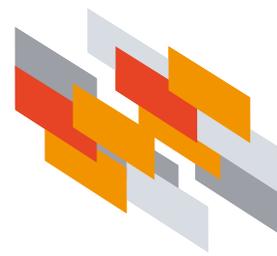


Figura 1.7. Media de la circunferencia a la altura del pecho CAP (cm) de los 10 clones de caucho establecidos en Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia



El análisis de la interacción localidad x clon, permitió comparar el crecimiento de cada clon en cada localidad. En San Vicente del Caguán los clones GU 198, FDR 5597, FDR 5788 y CDC 56 presentaron el mayor CAP (54,48 cm, 54,37 cm, 52,00 cm y 50,17 cm, respectivamente). En Belén de los Andaquíes los clones más vigorosos fueron FDR 5597, GU 198 y FDR 5788 (52,67 cm, 51,35 cm y 50,10 cm, respectivamente). En Florencia, el clon FDR 5788 fue el mayor crecimiento (50,55 cm) (Figura 1.8).

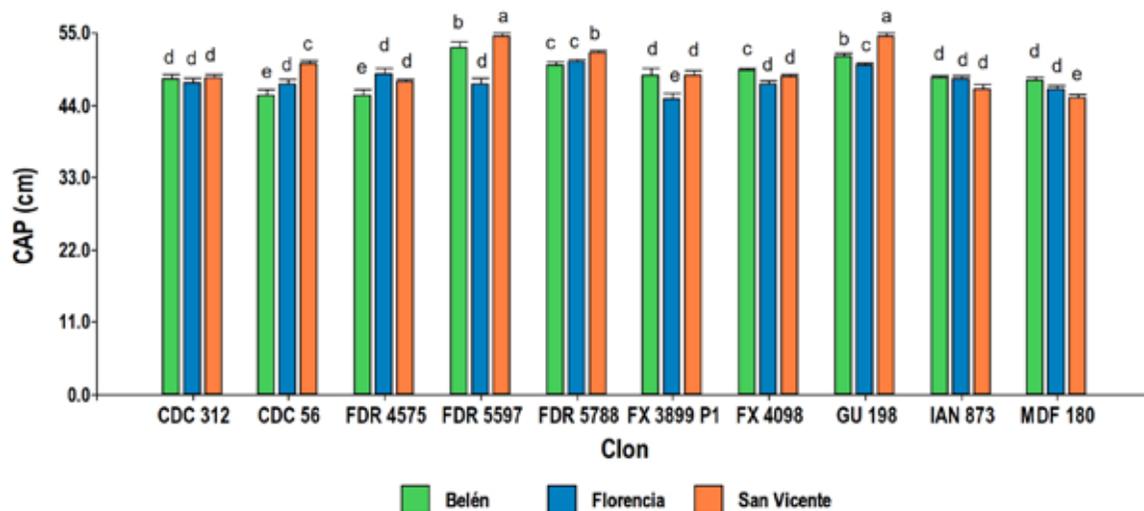


Figura 1.8. Media de la circunferencia a la altura del pecho CAP (cm) de los 10 clones de caucho en cada una de las tres localidades de Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

En general, se pudo determinar que los clones GU 198, FDR 5597, FDR 5788 y CDC 56 presentaron los mayores crecimientos del tronco con medias superiores a 52,0 cm y una tasa promedio de crecimiento de 6,5 $\text{cm}\cdot\text{año}^{-1}$. Otros estudios han demostrado el crecimiento destacado de estos materiales, y ha reportado para los clones FDR 5788 y CDC 56 una tasa promedio de 10,0 $\text{cm}\cdot\text{año}^{-1}$ y en el clon FDR 5597 una tasa de 7,5 $\text{cm}\cdot\text{año}^{-1}$ (Rivano *et al.*, 2013).

El clon testigo (IAN 873) mostró menor crecimiento (48,08 cm) y presentó un incremento medio anual inferior a los 6,0 $\text{cm}\cdot\text{año}^{-1}$. No obstante, en países como Brasil se ha reportado medias de 48,0 cm en el año 7 del establecimiento y una tasa media de crecimiento 6,9 $\text{cm}\cdot\text{año}^{-1}$ (Goncalves *et al.*, 2000). Estas diferencias demuestran la pérdida de vigor que este clon presenta actualmente en las condiciones de Caquetá, debido a diversos factores que podrían relacionarse con el manejo agronómico inadecuado (Suárez *et al.*, 2015), limitaciones hídricas y nutricionales (Goncalves y Monteiro, 2007; Goncalves, 1998) y evidentemente su alta susceptibilidad al mal suramericano de las hojas (Sterling *et al.*, 2018).

Producción de caucho seco

Según la figura 1.9, la mayor producción de caucho seco se reportó en el CCGE de San Vicente del Caguán con una media de 21,7 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹. En contraste, en el CCGE de Belén se presentó la menor producción (15,2 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹). La producción registrada en San Vicente significativamente superior a lo registrado en Belén y Florencia.

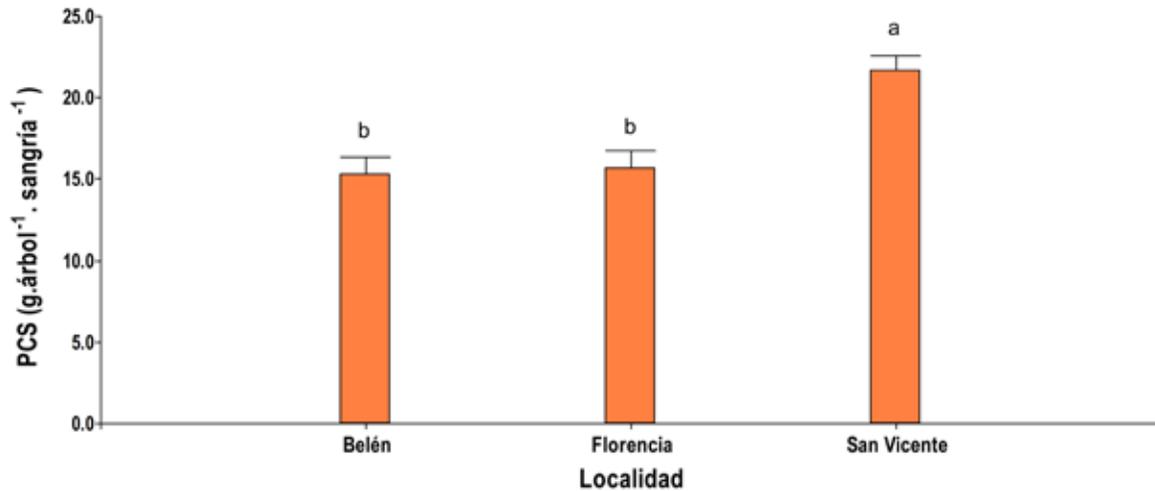
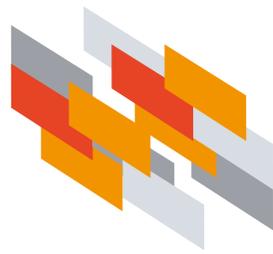


Figura 1.9. Media del peso de caucho seco PCS (g.árbol⁻¹.sangría⁻¹) estimada en tres localidades de Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

Según la figura 1.10, los clones que expresaron la mayor producción de caucho seco fueron el FDR 4575, FX 3899 PI y GU 198 con valores promedio de 34,59, 29,75 y 21,45 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹, respectivamente. El clon MDF 180 presentó la menor media de producción (5,40 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹). En la figura 1.11 se puede visualizar en general el desempeño (vigor y producción) expresado por cada clon de caucho independiente de la localidad en la que fueron establecidos.



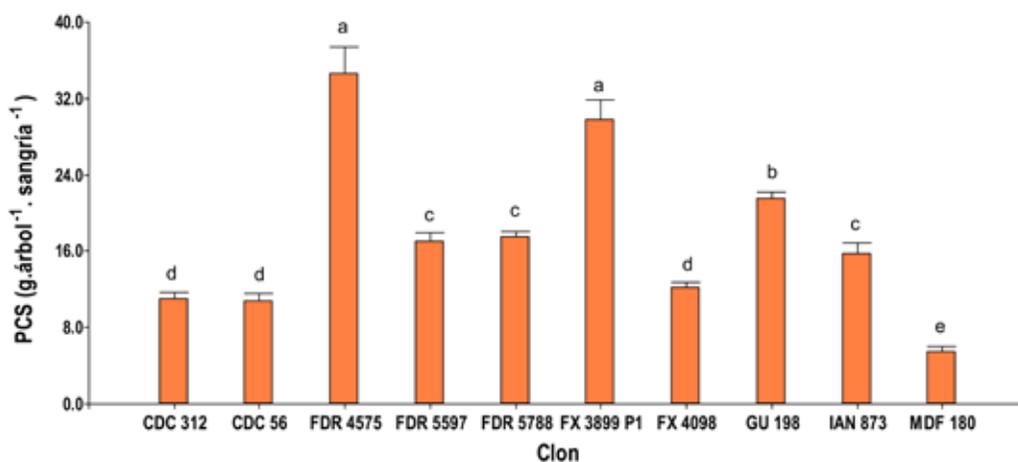
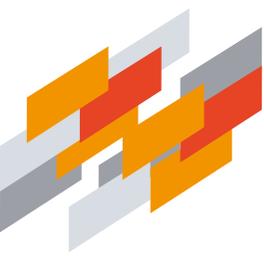


Figura 1.10. Media del peso de caucho seco PCS (g.árbol⁻¹.sangría⁻¹) de los 10 clones de caucho establecidos en Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia



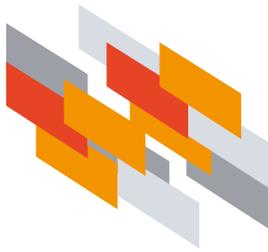
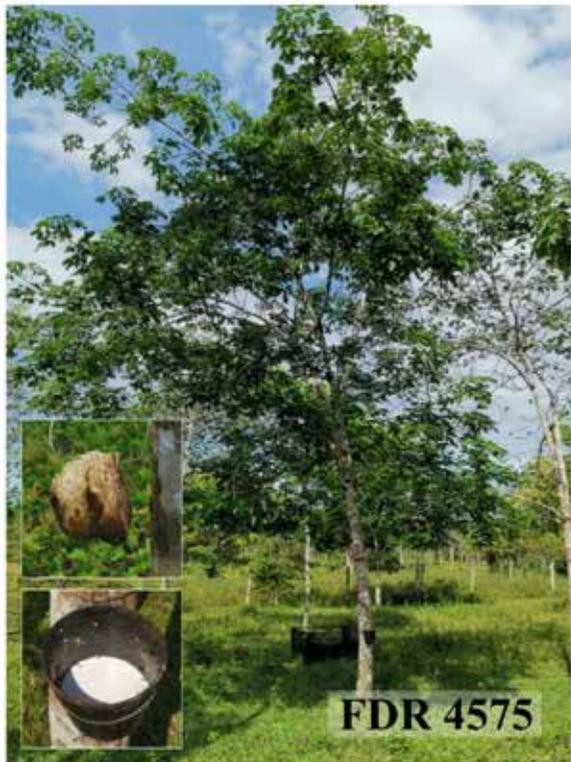
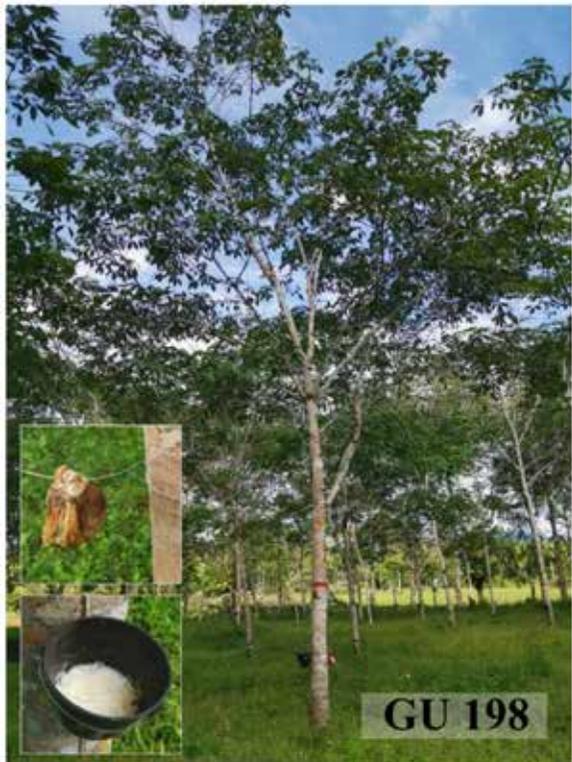
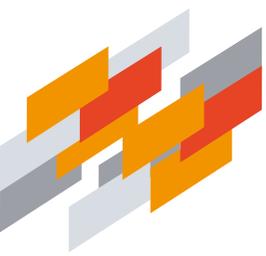




Figura 1.11. Registro fotográfico del desempeño (vigor y producción) observado en cada uno de los 10 clones de caucho evaluados en campo clonal a gran escala en Caquetá (Colombia).

Fuente: Elaboración propia



Como se observa en la figura 1.12, en el municipio de San Vicente del Caguán se presentó la mayor producción de caucho seco en la mayoría de los clones estudiados, con excepción de los clones CDC 312 y FX 4098 que presentaron una producción superior en Florencia y el clon MDF 180 en Belén. Los clones FX 3899 PI y FDR 4575 presentaron la mayor producción en el municipio de San Vicente del Caguán con 44,04 y 41,96 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹, respectivamente. La menor producción de caucho seco se registró en el clon MDF 180 en Florencia y San Vicente del Caguán (5,02 y 4,95 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹, respectivamente).

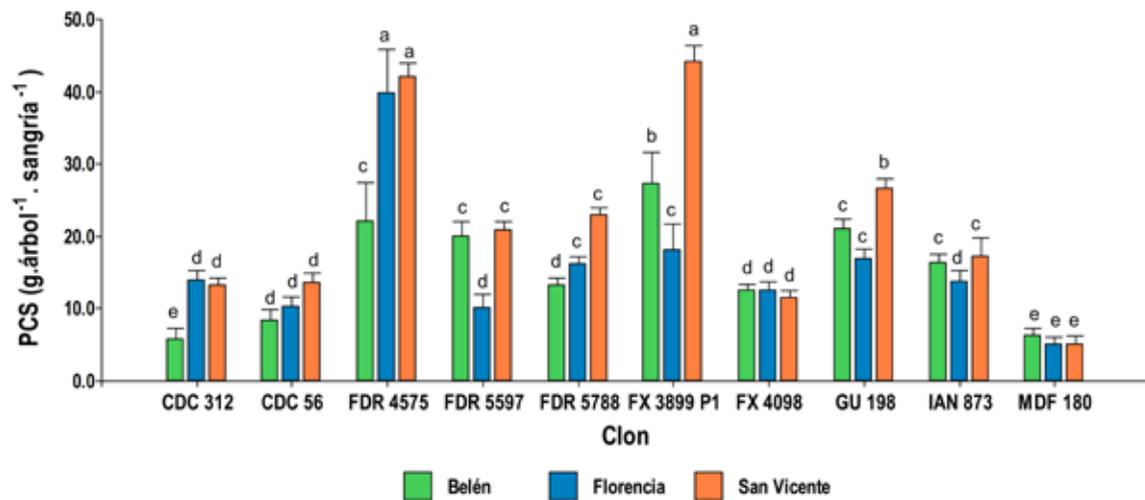
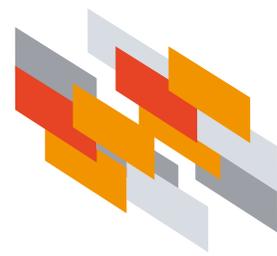


Figura 1.12. Media del peso de caucho seco PCS (g.árbol⁻¹.sangría⁻¹) de los 10 clones de caucho en cada una de las tres localidades de Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

El clon testigo IAN 873 presentó una producción promedio de caucho seco de 15,7 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹ (Figura 1.10), dicho resultado difiere con los datos reportados por Quarteroli (2008) quien reportó en Brasil un producción media para el primer año de 35,0 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹ en un sistema ½S d/4.ET 2,5%. Asimismo los resultados del presente trabajo contrastan con Lima (2014) que reportó una media de 32,5 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹ también en el primer año de producción. Es importante aclarar que los resultados de la presente investigación corresponden a los primeros seis meses de sangría, por lo que los registros de producción al cabo del primer año se esperan incrementen paulatinamente.

El clon FX 3899 PI presentó una producción media de 29,7 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹ (Figura 1.10), un valor superior a la reportado (18,6 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹) por De Souza et al. (2001) en Brasil primer año de producción bajo un sistema de explotación ½S d/2 5d/7. l l m/a. Asimismo, los reportes de De Souza et al. (2000) en Paríquera-Açú (Brasil) evidenciaron una producción de 39,60 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹ para el segundo año de producción con un sistema de explotación ½S d/3 5d/7 del Clon FX 3899 PI, lo que indica una tendencia potencial de este clon en generar incrementos importantes en su rendimiento productivo.



La estimación realizada para la producción de caucho seco por hectárea y por año a partir de los registros iniciales de producción de los clones estudiados en el presente estudio, permitió determinar potenciales productivos importantes en clones como FDR 4575 y FX 3899 PI con rendimientos de 934,00 y 803,26 kg.ha⁻¹.año⁻¹, respectivamente, seguidos por el clon GU 198 con un potencial de 579,08 kg.ha⁻¹.año⁻¹. El clon MDF 180 presentó el menor potencial productivo (145,69 kg.ha⁻¹.año⁻¹) (Tabla 1.2).

El clon IAN 873 (testigo) obtuvo un media potencial de 424,96 kg.ha⁻¹.año⁻¹ similar a los reportes presentados por Gonçalves *et al.* (2000) y Quarteroli (2008), quienes afirmaron que la producción de este clon se aproxima a los 500 kg.ha⁻¹.año⁻¹. El clon FX 3899 PI presentó una media potencial de 803,26 kg.ha⁻¹.año⁻¹, por lo que se presume que hacia el segundo año de producción este clon podría duplicar esta proyección, similar a lo reportado por Gonçalves *et al.* (2000) que registró una media de 1400 kg.ha⁻¹.año⁻¹.

Tabla 1.2. Media del potencial del rendimiento productivo (kg.ha⁻¹.año⁻¹) estimado para los 10 clones de caucho estudiados en campo clonal a gran escala en Caquetá (Colombia).

Factor	Nivel	Producción (kg.ha ⁻¹ .año ⁻¹)
Clon	CDC 312	295,55 ± 20,96d
	CDC 56	289,45 ± 22,40d
	FDR 4575	934,00 ± 75,28a
	FDR 5597	458,40 ± 27,18c
	FDR 5788	471,68 ± 15,53c
	FX 3899 PI	803,26 ± 56,12a
	FX 4098	328,49 ± 16,35d
	GU 198	579,08 ± 21,10b
	IAN 873	424,96 ± 29,18c
	MDF 180	145,69 ± 17,15e

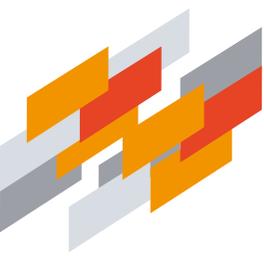
Valores en cada columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

▀ Contenido de caucho seco (DRC) y contenido de sólidos totales (TSC)

Las mayores medias del contenido de sólidos totales (TSC) (37,57%) y del contenido de caucho seco (DRC) (34,75%) se presentaron en Belén de los Andaquíes, mientras que en Florencia se registraron las menores medias de TSC (34,17 %) y de DRC (32,28 %) (Tabla 1.3).

Los clones FDR 5597, FDR 5788 y MDF 180 presentaron las mayores medias de TSC (40,22, 39,59 y 39,06%, respectivamente) y de DRC (38,02, 37,03 y 36,24%, respectivamente) significativamente



diferentes al resto de los clones (Tabla 1.3). En contraste el clon FX 3899 PI presentó las menores medias para ambos parámetros. El clon IAN 873 (testigo) presentó medias de TSC y DRC similares a los demás clones, es decir, un desempeño intermedio para ambos parámetros.

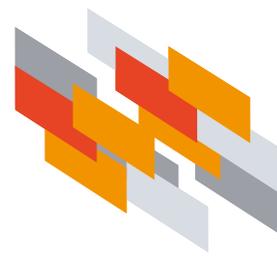
Tabla 1.3. Medias del contenido de caucho seco DRC (%) y del contenido de sólidos totales TSC (%) para 10 clones de caucho y tres localidades de Caquetá (Colombia)

Factor	Nivel	TSC (%)	DRC (%)
Clon	CDC 312	37.40 ± 1.35b	33.68 ± 1.69b
	CDC 56	36.14 ± 1.32b	34.05 ± 1.63b
	FDR 4575	33.74 ± 1.37b	30.62 ± 1.56b
	FDR 5597	40.22 ± 1.27a	38.02 ± 1.57a
	FDR 5788	39.56 ± 1.01a	37.03 ± 1.25a
	FX 3899 PI	30.13 ± 1.43c	27.57 ± 1.75c
	FX 4098	36.08 ± 1.10b	33.24 ± 1.36b
	GU 198	35.04 ± 1.01b	32.30 ± 1.25b
	IAN 873	33.61 ± 1.38b	31.33 ± 1.67b
	MDF 180	39.06 ± 1.20a	36.24 ± 1.43a
Localidad	Belén	37.57 ± 0.93a	34.75 ± 1.30a
	Florencia	34.17 ± 0.49b	32.28 ± 0.91a
	San Vicente	36.55 ± 0.57a	33.19 ± 0.82a

Valores en cada columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

El DRC y el TSC son parámetros de calidad para clasificar el caucho o el látex natural preservado en cuanto a su calidad y posible uso como materia prima en la industria, (Cáceres y Gauthier-maradei, 2012; Mendoza y Jimenez, 2018). Según Quesada-Méndez *et al.* (2012) existe una correlación negativa entre TSC y la producción, debido a la presencia de fracciones sedimentales en el látex que conlleva a un incremento en la viscosidad del látex, limitando el flujo del látex, y por tanto, una disminución en el volumen de producción. Lo anterior coincide con lo reportado en el presente estudio debido a que los clones que presentaron los mayores valores de TSC (Tabla 1.3), registraron bajas medias de producción de caucho seco (PCS) (Figura 1.10). En contraste, clones como FX 3899 PI que presentó uno de los mayores índices de producción, registró las menores medias de TSC y DRC (Figura 1.10 y tabla 1.3).





CONSIDERACIONES FINALES

El presente estudio analizó en los primeros seis meses de evaluación, el potencial productivo mediante la técnica de sangría temprana en árboles de ocho años de edad de nueve clones americanos introducidos y el clon testigo IAN 873 presentes en tres campos clonales a gran escala en tres municipios del Caquetá (Colombia). Se identificaron tres clones (GU 198, FDR 5597 y FDR 5788) con un vigor superior ($CAP > 50$ cm) al clon IAN 873, tres clones (FDR 4575, FX 3899 PI y GU 198) con un potencial productivo superior ($PCS > 21$ g.árbol.sangría) al IAN 873 y tres clones (FDR 5597, FDR 5788 y MDF 180) con valores de TSC ($> 39\%$) y DRC ($> 36\%$) mayores al IAN 873. Entre localidades, San Vicente del Caguán es la zona con mejor potencial productivo para los diferentes clones estudiados.

De acuerdo con lo anterior, clones como FDR 5597, FDR 5788, FDR 4575, GU 198 y FX 3899 PI representan un grupo de materiales con un comportamiento superior al clon IAN 873 (testigo) en los diferentes parámetros evaluados. No obstante, como se explicó en el presente documento estos resultados son muy preliminares (seis meses), y aunque representa una aproximación inicial importante sobre el comportamiento característico de cada clon, su seguimiento no debe ser inferior a un periodo de 4-5 años antes de ofrecer una recomendación final al nivel del productor.

BIBLIOGRAFÍA

- Cáceres, A., Gauthier-maradei, P., 2012. Análisis termogravimétrico como un nuevo método para la determinación de contenido de sólidos totales (CST) y caucho seco (CCS) del látex natural. *Rev. ION* 25, 57–65.
- Cardoso, S.E.A., Freitas, T.A., Silva, D. da C., Gouvêa, L.R.L., Gonçalves, P. de S., Mattos, C.R.R., Garcia, D., 2014. Comparison of growth, yield and related traits of resistant *Hevea* genotypes under high South American leaf blight pressure. *Ind. Crops Prod.* 53, 337–349. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.12.033>
- CCC, 2015. Estado actual del gremio cauchero colombiano.
- Chow, K.-S., Mat-Isa, M.-N., Bahari, A., Ghazali, A.-K., Alias, H., Mohd-Zainuddin, Z., Hoh, C.-C., Wan, K.-L., 2012. Metabolic routes affecting rubber biosynthesis in *Hevea brasiliensis* latex. *J. Exp. Bot.* 63, 1863–71. <https://doi.org/10.1093/jxb/err363>
- De Souza, P., Bortoletto, N., Sambugaro, R., Furtado, E.L., Bataglia, O.C., Ortolani, A.A., Júnior, G.G., 2001. Desempenho de clones de seringueira de origem amazônica no planalto do Estado de São Paulo. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 36, 1469–1477. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2001001200004>
- De Souza, P., Saes, L., Furtado, E., Sambugaro, R., Sakai, M., 2000. Clones promissores de seringueira para a região do vale do ribeira, são paulo. *Pesq. agropec. bras* 35, 2343–2353.
- Ferreira, M., Moreno, R.M.B., Gonçalves, P.S., Mattoso, L.H.C., 2002. Evaluation of Natural Rubber from Clones of *Hevea Brasiliensis*. *Rubber Chem. Technol.* 75, 171–177. <https://doi.org/10.5254/1.3547668>
- Garcia, D., Mattos, C.R.R., Gonçalves, P. de S., Le Guen, V., 2004. Selection of Rubber Clones for Resistance to South American Leaf Blight and Latex Yield in the Germplasm of the Michelin Plantation of Bahia (Brazil). *J. Rubber Res.* 7, 188–198.
- Gonçalves, P. de S., de Souza, S., Brioschi, A., Filho, A., May, A., Alarcon, R., 2000. Efeito da frequência de sangria e estimulação no desempenho produtivo e econômico de clones de seringueira. *Pesq. agropec. bras* 35, 1081–1091.
- Gonçalves, P.D.S., 1998. Recomendação de clones de seringueira para o choice of rubber tree clones for planting.
- Goncalves Paulo, 2000. Clones promissores de seringueira para a região 2343–2353.
- Goncalves y Monteiro, 2007. Aptidão para a cultura da seringueira em Minas Gerais. *Informe Agropecuario. Belo Horizonte* v. 28, n., 39–43.
- Gouvêa, L.R.L., 2014. Seleção de progênies e clones de seringueira quanto à estabilidade e adaptabilidade por diferentes métodos de avaliação. Instituto Agrônomo.
- IGAC, I.G.A.C., 2014. Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Caquetá, escala 1:100.000. Imprenta Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- IRSG, 2019. Statistical summary of world rubber situation, Rubber statistical Bulletin.
- Le Guen, V., Garcia, D., Mattos, C.R.R., Clément-Demange, A., 2002. Evaluation of field resistance to *Microcyclus ulei* of a collection of Amazonian rubber tree (*Hevea brasiliensis*) germplasm. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* 2, 141–148.
- Lima, L., 2009. Divergência genética em seringueira estimada a través de técnicas multivariadas e marcadores moleculares microsatélites. Instituto Agronomico IAC.
- MADR, 2018. Cadena de caucho natural Indicadores e Instrumentos, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

- Mendoza, L.P., Jimenez, J.A., 2018. Efecto de inclusión de anticoagulantes durante el beneficio de *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg. Colomb. For. 21, 91. <https://doi.org/10.14483/2256201X.11878>
- Moreno, R., Ferreira, M., Gonçalves, P. de S., Mattoso, L.H.C., 2003. Avaliação do látex e da borracha natural de clones de seringueira no Estado de São Paulo. Pesq. agropec. bras 38, 583–590.
- Quarteroli, J., 2008. Sistemas de explotación en clones de seringueira: caracteres agronômicos e viabilidade econômica. Instituto Agronomico de Campinas (IAC).
- Quesada-Méndez, I., Aristizábal-Gutiérrez, F., Montoya-Castaño, D., 2012. Characterization of two latex parameters from *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg. clones in the Colombian Altillanura. Colomb. For. 15, 139. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2012.1.a06>
- Ramírez, U., Charry, A., Jäger, M., Hurtado, J., Rosas, G., Sterling, A., Romero, M., Sierra, L., Quintero, M., 2018. Estrategia Sectorial de la cadena de productos no maderables del bosque en Caquetá, con enfoque agroambiental y cero deforestación.
- Rivano, F., Martinez, M., Cevallos, V., Cilas, C., 2010. Assessing resistance of rubber tree clones to *Microcyclus ulei* in large-scale clone trials in Ecuador : a less time-consuming field method. Eur. J. Plant Pathol. 126, 541–552. <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9563-7>
- Rivano, F., Mattos, C.R.R., Cardoso, S.E.A., Martinez, M., Cevallos, V., Le Guen, V., Garcia, D., 2013. Breeding *Hevea brasiliensis* for yield, growth and SALB resistance for high disease environments. Ind. Crops Prod. 44, 659–670. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.09.005>
- Rojas, J., Rojas, M., Rueda, G.H., Suárez, Y.J., Furtado, E.L., 2017. Efecto de sistemas de sangría sobre la productividad de *Hevea brasiliensis* en el Magdalena Medio Santandereano. Rev. Colomb. Ciencias Hortícolas 11, 184–192. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6160>
- Santana, A.S. de, Soares, N.S., Schröder, C.A., 2018. Competitiveness and efficiency for the rubber tree production system in southern bahia (brazil) through by the policy analysis matrix (PAM). Rev. Árvore 42, e420606. <https://doi.org/10.1590/1806-90882018000600006>
- Silva, J.Q., Scaloppi Júnior, E.J., Moreno, R.M.B., de Souza, G.B., Gonçalves, P. de S., Filho, J.A.S., 2012. Producción y propiedades químicas del caucho en clones de *Hevea* según los estados fenológicos. Pesqui. Agropecuária Bras. 47, 1066–1076.
- Souza, A.M.D., 2016. Variabilidade genética em progênes de seringueira e associações entre variáveis secundárias e produção de borracha. Instituto Agronômico.
- Sterling, A., Fonseca, J., Velasco, G., Zapata, J., Rodríguez, D., Caicedo, D.F., 2018. Capítulo 4. El mejoramiento genético como estrategia de control de enfermedades y plagas en el cultivo del caucho (*Hevea brasiliensis*), in: Sterling, A., Rodríguez, C.H. (Eds.), 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, pp. 99–124.
- Sterling, A., Hernandez, E., 2012. Desempeño de genotipos élites de caucho *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg.] en periodo de inmadurez en el suroccidente del caquetá, Colombia. Ing. Amaz. 5.
- Sterling, A., Martínez-Viuche, E.J., Pimentel-Parra, G.A., Suárez-Córdoba, Y.D., Fonseca-Restrepo, J.A., Virguez-Díaz, Y.R., 2019. Dynamics of adaptive responses in growth and resistance of rubber tree clones under South American leaf blight non-escape conditions in the Colombian Amazon. Ind. Crops Prod. 141, 111811. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111811>

- Tang, C., Xiao, X., Li, Heping, Fan, Y., Yang, J., Qi, J., Li, Huibo, 2013. Comparative Analysis of Latex Transcriptome Reveals Putative Molecular Mechanisms Underlying Super Productivity of *Hevea brasiliensis*. PLoS One 8, e75307. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0075307>
- Wu, C., Sun, L., Li, Y., Zeng, R., 2017. Molecular characterization and expression analysis of two farnesyl pyrophosphate synthase genes involved in rubber biosynthesis in *Hevea brasiliensis*. Ind. Crops Prod. 108, 398–409. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.042>
- Yaneth, Y., Suarez, J., Molina, J.R., Furtado, E.L., Centro, C., La, D.I., Quebrada, A., No, S., Cnpq, B., 2015. Clones de *Hevea brasiliensis* de alta productividad caracterizados por resistencia a *Microcyclus ulei* en jardín clonal en el Magdalena medio colombiano 115–120.
- Yip, E., 1990. Clonal characterization of latex and rubber properties. J. Nat. Rubber Res. 5, 52–80.



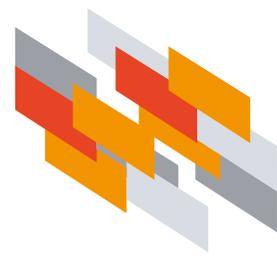
CAPÍTULO 2

Evaluación inicial de la producción en micro-sangría de genotipos caquetenses de caucho (*Hevea brasiliensis*) en campo clonal a pequeña escala en el departamento del Caquetá



Armando Sterling Cuéllar^{1*}, Edwin Andrés Clavijo-Arias², Tatiana Karolina Andrade-Ramírez², Deicy Lorena Losada², Heberth Góngora-Ocampo², Carlos Hernando Rodríguez¹, Diego Ferney Caicedo¹

-
- 1 Investigador Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Sede Florencia
2 Co-investigador del proyecto – Convenio 59-2013 – Gobernación del Caquetá – Instituto SINCHI
* Autor para correspondencia: asterling@sinchi.org.co



INTRODUCCIÓN

La selección de materiales de alto desempeño en especies de ciclo tardío requiere de programas de investigación de largo plazo que pueden durar de 20 a 30 años (Gonçalves *et al.*, 1997) hasta la recomendación final al productor, esto ha llevado a la implementación de nuevas estrategias capaces de mejorar el desarrollo de métodos de selección temprana, reducción de ciclos de selección y explotación del potencial parental (Bombonato, 2014). Los estudios en plantas juveniles a través de métodos de análisis temprano en pruebas de progenies, predicen la variabilidad genética y la ganancia de selección de la población que sirve de base para futuros programas de mejoramiento, haciendo posible la recomendación de nuevos cultivares en un menor periodo de tiempo (Khusala, 2010).

Las evaluaciones iniciales de producción como la microsangría en experimentos a pequeña escala, permiten identificar clones con potencial productivo en regiones específicas, posteriormente dichos materiales se deben someter a experimentos de nivel regional (gran escala) antes de su liberación comercial (Gonçalves *et al.*, 2006). Estimar la variabilidad genética entre progenies es fundamental para programas de mejoramiento, una alta variabilidad indica un mayor potencial para la selección de plantas superiores (Diniz Souza, 2016).

En Colombia, el reducido número de clones de *H. brasiliensis* para uso comercial, ha impulsado la necesidad de ampliar la base genética de caucho en el país, mediante la evaluación a pequeña y a gran escala de materiales con caracteres fenotípicos acordes con las características edáficas y climáticas de cada región (Castellanos *et al.*, 2009). En este sentido, en el departamento del Caquetá, el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, la Universidad de la Amazonia y la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá-Asoheca, iniciaron en el año 2008 la ampliación de la base genética de *H. brasiliensis* en la región mediante la selección de 99 progenies élite de origen franco (árboles plus originados de polinización cruzada natural y parentales desconocidos) (Sterling *et al.*, 2011), las cuales se propagaron asexualmente [genotipos de la serie ECC-100 (Élite Caquetá Colombia)] y luego se evaluaron frente al clon testigo IAN 873 en un experimento denominado campo clonal a pequeña escala CCPE (Sterling y Hernández, 2012; Sterling y Rodríguez, 2011).

Del mismo modo, en el año 2016 la misma alianza interinstitucional llevó a cabo la segunda selección de progenies élite caquetenses y se evaluaron mediante el uso de indicadores agroambientales 99 genotipos de la serie ECC-200 frente al clon IAN 873 en un nuevo CCPE en el Paujil, Caquetá, (Sterling y Rodríguez, 2019, 2018, 2017).

En el presente capítulo, se presentan los resultados de la evaluación inicial del desempeño productivo (microsangría) de 100 materiales de caucho (99 genotipos caquetenses de la serie ECC-200 y el clon testigo IAN 873) durante la etapa de inmadurez en campo clonal a pequeña escala en el municipio del El Paujil, Caquetá (Colombia).

Área de estudio

El experimento está localizado en la vereda Moravia ($01^{\circ}30'55.31''$ N y $75^{\circ}17'38.20''$ W, altitud 270 msnm), municipio de El Paujil, Caquetá, Colombia (Figura 2.1).

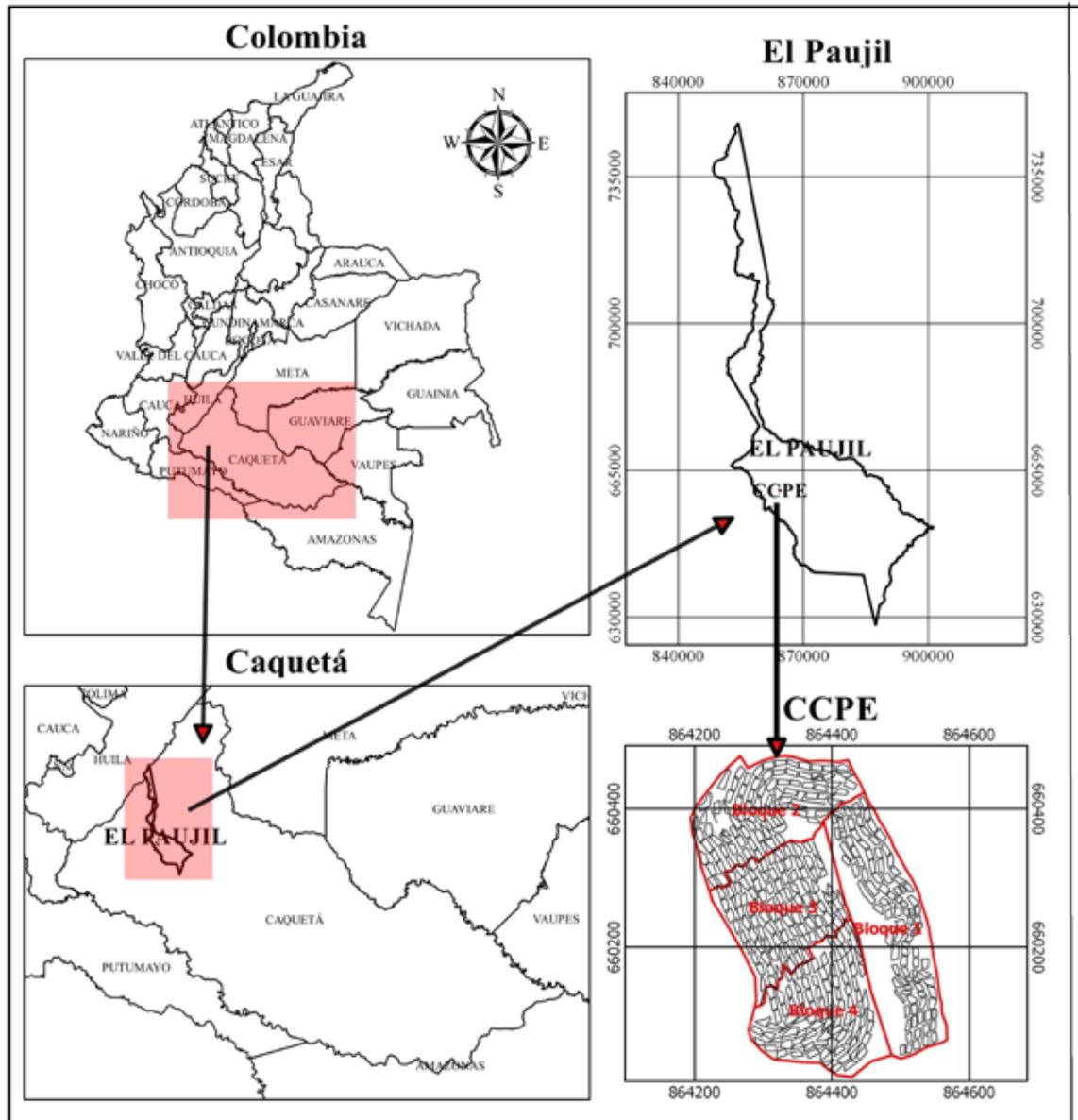


Figura 2.1. Localización y plano del campo clonal a pequeña escala (CCPE) con genotipos éliticos caquetenses de caucho de la serie ECC-200, vereda Moravia, municipio de El Paujil, Caquetá (Colombia).

Fuente: Elaboración propia

Los suelos del área de estudio son pobremente drenados, muy superficiales y profundos, con alta saturación de aluminio, baja saturación de bases; el calcio, el magnesio, el potasio, fósforo y el sodio son bajos (IGAC, 2014). Las condiciones climáticas corresponden a una región tropical húmeda, con una temperatura promedio de 25,8 C, una humedad relativa promedio de 80,01% y una precipitación anual de 3120,8 mm año⁻¹ con un régimen climático monomodal (IDEAM, 2015; Murad y Pearse, 2018).

Material vegetal

Se seleccionaron 99 genotipos caquetenses de caucho de la serie ECC-200 (Élite Caquetá Colombia): ECC 101, ECC 102, ECC 103..., ECC 199 pertenecientes al Banco de germoplasma del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, ubicado entre las coordenadas: 1°32'54 " de latitud norte y 75° 28'47 " de longitud oeste en la vereda Itarca, La Montañita (Caquetá, Colombia) (Sterling y Rodríguez, 2017). Estos materiales se obtuvieron mediante la propagación asexual (clonación) de árboles francos élite con una edad entre 14 y 50 años (Tabla 2.1), originados mediante polinización cruzada natural (parentales desconocidos) en fincas de productores de 11 municipios del departamento del Caquetá (Sterling y Rodríguez, 2017). El clon IAN 873 fue el testigo.

Diseño experimental

El experimento denominado campo clonal a pequeña escala (CCPE) siguió un diseño de bloques completos al azar con 100 tratamientos (genotipos) y cuatro repeticiones completamente al azar en bloques con 12 árboles por réplica y por clon (Figura 2.2). La distancia de siembra fue de 7 m × 3 m, proporcionando una densidad de 476 árboles por hectárea, para un área total de CCPE de 10,1 ha. La unidad de parcela correspondió a 12 árboles organizados en dos hileras de seis árboles. En el perímetro del CCPE se estableció una hilera de abarco (*Cariniana pyriformis* Miers) como barrera rompe vientos.

Manejo técnico del experimento

El CCPE siguió un manejo de fertilización con una frecuencia cada seis meses de un fertilizante compuesto [N (15%), P₂O₅ (15%), K₂O (15%), CaO (2,2%), S-SO₄ (1,7%)] con una dosis de 150 g planta⁻¹ (Figura 2.3D), un fertilizante con elementos menores [N (8%), P₂O₅ (5%), CaO (18%), MgO (6%), S (1,6%), B (1%), Cu (0,14%), Mo (0,005%) y Zn (2,5%)] (75 g planta⁻¹) y materia orgánica (1000 g planta⁻¹) (Sterling *et al.*, 2019). Se realizaron controles mecánicos de arvenses con una frecuencia cada tres meses, manejo de chupones y podas de formación con una frecuencia mensual y aplicación de correctivos al suelo con cal (Figura 2.3).

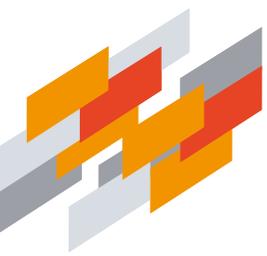




Figura 2.2. Campo clonal a pequeña escala (CCPE) con genotipos élite caquetenses de caucho de la serie ECC-200 en la vereda Moravia, municipio de El Paujil, Caquetá (Colombia).

Fuente: Elaboración propia

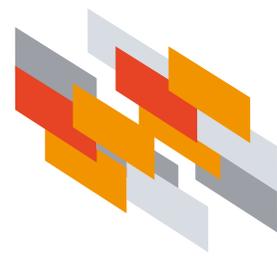
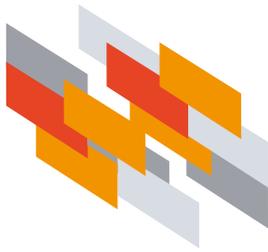
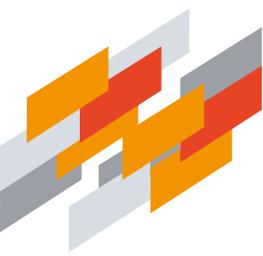


Tabla 2.1. Lista de los 99 genotipos caquetenses de caucho de la serie ECC-200 establecidos en un campo clonal a pequeña escala en Caquetá, Colombia

Genotipo	Progenie (Arbol elite)	Edad (años)	Geo-Posicionamiento		Municipio	Procedencia		CAP	Rendimiento	PCSC	RMSH
			Latitud	Longitud		Municipio	Vereda				
ECC 101	PE 1	18	01° 56' 19.6"	74° 56' 19.6"	Puerto Rico	Valle Bonito	1,11	800	62	CR	
ECC 102	PE 100	14	01° 03' 46.4"	75° 44' 43.3"	Valparaiso	Las Golondrinas	0,80	720	58	PR	
ECC 103	PE 3	25	01° 44' 10.8"	75° 08' 0.8"	Puerto Rico	La Orquidea	2,00	400	63	CR	
ECC 104	PE 101	24	00° 58' 49.8"	75° 48' 36.7"	Solita	La Carmelo	1,06	400	66	PR	
ECC 105	PE 105	29	01° 38' 30.3"	74° 57' 44.2"	Puerto Rico	Maracaibo I	0,90	350	58	CR	
ECC 106	PE 6	25	01° 44' 11.8"	75° 08' 09.1"	Puerto Rico	La Orquidea	2,00	300	58	PR	
ECC 107	PE 7	25	01° 44' 09.4"	75° 08' 09.2"	Puerto Rico	La Orquidea	2,50	500	66	PR	
ECC 108	PE 8	22	01° 59' 27.4"	74° 57' 24.2"	Puerto Rico	12 de octubre	1,80	130	60	CR	
ECC 109	PE 102	29	01° 38' 06.1"	74° 56' 33.1"	Puerto Rico	Maracaibo I	1,20	400	60	CR	
ECC 110	PE 103	29	01° 38' 05.4"	74° 56' 32.7"	Puerto Rico	Maracaibo I	1,42	500	57	CR	
ECC 111	PE 11	22	01° 59' 27.9"	74° 57' 25.7"	Puerto Rico	12 de octubre	0,98	200	59	CR	
ECC 112	PE 12	22	01° 59' 28.2"	74° 57' 27.3"	Puerto Rico	12 de octubre	1,14	350	58	PR	
ECC 113	PE 13	21	01° 48' 28.7"	75° 11' 25.5"	Puerto Rico	Buena Vista	1,41	400	59	PR	
ECC 114	PE 104	29	01° 38' 05.1"	74° 56' 32.3"	Puerto Rico	Maracaibo I	1,04	500	66	CR	
ECC 115	PE 15	21	01° 48' 25.2"	75° 11' 30.1"	Puerto Rico	Buena Vista	1,15	421	64	PR	
ECC 116	PE 16	21	01° 48' 26"	75° 11' 29.5"	Puerto Rico	Buena Vista	1,40	100	61	CR	
ECC 117	PE 17	21	01° 48' 28.6"	75° 11' 29.2"	Puerto Rico	Buena Vista	0,78	200	56	CR	
ECC 118	PE 18	21	01° 48' 29.6"	75° 11' 26.0"	Puerto Rico	Buena Vista	1,10	110	57	PR	
ECC 119	PE 5	25	01° 44' 10.9"	75° 08' 08.8"	Puerto Rico	La Orquidea	1,35	400	58	PR	
ECC 120	PE 20	21	01° 48' 28"	75° 11' 25"	Puerto Rico	Buena Vista	1,00	190	58	CR	
ECC 121	PE 106	29	01° 38' 29.3"	74° 57' 47.3"	Puerto Rico	Maracaibo I	1,00	800	58	CR	
ECC 122	PE 107	23	01° 37' 31.3"	75° 04' 26.6"	El Doncello	Tirocha F	0,80	500	60	CR	
ECC 123	PE 108	30	01° 37' 58.6"	75° 04' 11.1"	El Doncello	Tirocha F	2,10	450	74	CR	
ECC 124	PE 126	14	01° 05' 31.5"	75° 47' 22.9"	Valparaiso	Galilea	1,76	400	63	PR	
ECC 125	PE 25	27	01° 48' 12.8"	75° 08' 18.7"	Puerto Rico	Buena Vista	1,33	800	64	PR	
ECC 126	PE 93	27	01° 47' 31.0"	75° 12' 41.7"	Puerto Rico	Coconuco I	1,42	431	58	CR	
ECC 127	PE 111	10	01° 58' 37.4"	75° 09' 0.8"	Puerto Rico	Alto Londres	0,76	480	57	CR	
ECC 128	PE 112	10	01° 58' 36.7"	75° 09' 07.8"	Puerto Rico	Alto Londres	0,60	500	58	CR	
ECC 129	PE 29	30	01° 17' 57"	75° 48' 33.5"	Belén de los Andaquíes	La Mono	1,00	300	61	CR	
ECC 130	PE 113	25	01° 18' 4.69"	75° 59' 29.13"	San José del Fragua	Bella Vista	0,94	280	62	CR	
ECC 131	PE 96	27	01° 47' 30.4"	75° 12' 42.0"	Puerto Rico	Coconuco I	1,69	345	58	CR	
ECC 132	PE 32	30	01° 17' 55.4"	75° 48' 32.0"	Belén de los Andaquíes	La Mono	0,59	300	57	CR	
ECC 133	PE 33	30	01° 17' 56.2"	75° 48' 31.6"	Belén de los Andaquíes	La Mono	0,98	300	56	CR	
ECC 134	PE 115	30	01° 17' 59.01"	75° 48' 31.12"	Belén de los Andaquíes	La Mono	0,85	400	56	PR	
ECC 135	PE 35	30	01° 17' 58.3"	75° 48' 34.2"	Belén de los Andaquíes	La Mono	0,63	400	59	CR	
ECC 136	PE 116	30	01° 17' 55"	75° 48' 31.19"	Belén de los Andaquíes	La Mono	0,67	345	57	CR	
ECC 137	PE 37	30	01° 17' 59.2"	75° 48' 35.4"	Belén de los Andaquíes	La Mono	0,78	300	57	PR	

Genotipo	Progenie (Arbol élite)	Edad (años)	Geo-Posicionamiento		Municipio	Vereda	CAP	Rendimiento	PCSC	RMSH
			Latitud	Longitud						
ECC 138	PE 38	25	01° 24' 20.9"	75° 36' 40.0"	Morelia	La Raya	1.65	800	60	CR
ECC 139	PE 39	25	01° 24' 21.3"	75° 53' 37.9"	Morelia	La Raya	1.20	700	60	PR
ECC 140	PE 40	23	01° 01' 25.6"	75° 53' 44.3"	Curillo	Primavera	1.50	600	59	CR
ECC 141	PE 117	30	01° 38' 30.5"	75° 09' 29.8"	El Doncello	Maguare	0.90	550	68	CR
ECC 142	PE 42	25	01° 17' 15.7"	75° 54' 0.22"	Albania	Arenosa	1.00	600	58	PR
ECC 143	PE 118	26	01° 39' 05.2"	75° 15' 46.2"	El Doncello	Anayasito bajo	0.96	330	58	CR
ECC 144	PE 44	25	01° 17' 14.5"	75° 54' 01.3"	Albania	Arenosa	1.35	600	58	PR
ECC 145	PE 45	25	01° 17' 14.3"	76° 54' 01.5"	Albania	Arenosa	0.95	580	58	CR
ECC 146	PE 46	25	01° 17' 14.2"	75° 54' 01.3"	Albania	Arenosa	1.35	600	58	CR
ECC 147	PE 47	25	01° 24' 56.8"	75° 32' 37.2"	Florencia	Germania	1.06	400	59	CR
ECC 148	PE 48	25	01° 24' 56.8"	75° 32' 37.2"	Florencia	Germania	1.17	420	58	PR
ECC 149	PE 49	22	01° 46' 28.2"	75° 05' 47.1"	Puerto Rico	Coconuco 2	1.22	200	57	CR
ECC 150	PE 50	22	01° 46' 29.3"	75° 05' 48.2"	Puerto Rico	Coconuco 2	1.35	150	56	CR
ECC 151	PE 51	26	01° 39' 05.2"	75° 15' 46.2"	El Doncello	Anayasito bajo	1.12	330	58	CR
ECC 152	PE 52	22	01° 46' 25.0"	75° 05' 43.6"	Puerto Rico	Coconuco 2	1.50	100	56	CR
ECC 153	PE 53	25	02° 03' 12.1"	74° 55' 08.4"	San Vicente del Caguán	Buenos Aires	1.39	500	63	CR
ECC 154	PE 120	50	01° 40' 40.0"	75° 16' 54.7"	El Doncello	La Tigre	1.96	464	66	CR
ECC 155	PE 55	25	02° 03' 11.4"	74° 55' 07.4"	San Vicente del Caguán	Buenos Aires	2.05	500	62	CR
ECC 156	PE 56	25	02° 03' 10.6"	74° 55' 06.7"	San Vicente del Caguán	Buenos Aires	1.65	500	57	CR
ECC 157	PE 57	25	02° 03' 16.4"	74° 55' 08.0"	San Vicente del Caguán	Buenos Aires	1.46	500	60	CR
ECC 158	PE 58	22	02° 03' 32.6"	74° 55' 36.4"	San Vicente del Caguán	Buenos Aires	1.42	250	63	CR
ECC 159	PE 59	22	02° 03' 35.7"	74° 55' 36.7"	San Vicente del Caguán	Buenos Aires	1.21	300	57	PR
ECC 160	PE 60	22	02° 03' 36.5"	74° 55' 37.0"	San Vicente del Caguán	Buenos Aires	1.45	230	68	PR
ECC 161	PE 121	50	01° 37' 32.2"	75° 07' 48.1"	El Doncello	La Tigre	1.53	348	60	CR
ECC 162	PE 62	22	01° 59' 15.1"	74° 57' 34.8"	Puerto Rico	Resguardo Indígena Nasakiwe	0.90	300	70	PR
ECC 163	PE 63	22	01° 59' 15.0"	74° 57' 35.9"	Puerto Rico	Resguardo Indígena Nasakiwe	1.00	300	55	CR
ECC 164	PE 64	22	01° 59' 15.1"	74° 57' 37.6"	Puerto Rico	Resguardo Indígena Nasakiwe	0.45	150	60	CR
ECC 165	PE 65	22	01° 59' 15.2"	74° 57' 37.7"	Puerto Rico	Resguardo Indígena Nasakiwe	0.60	150	56	CR
ECC 166	PE 66	22	01° 59' 15.5"	74° 57' 37.9"	Puerto Rico	Resguardo Indígena Nasakiwe	0.85	200	58	CR
ECC 167	PE 67	22	01° 59' 15.7"	74° 57' 38.4"	Puerto Rico	Resguardo Indígena Nasakiwe	1.16	200	68	CR
ECC 168	PE 122	50	01° 37' 31.5"	75° 07' 14.4"	El Doncello	La Tigre	1.42	400	62	CR
ECC 169	PE 69	13	01° 17' 04.6"	75° 57' 21"	Albania	El Quebradon	0.83	100	68	CR
ECC 170	PE 123	50	01° 37' 32.6"	75° 07' 47.5"	El Doncello	La Tigre	1.36	406	65	CR
ECC 171	PE 71	13	01° 17' 03.5"	75° 57' 18.3"	Albania	El Quebradon	0.81	100	57	CR
ECC 172	PE 124	30	01° 20' 59.1"	75° 40' 55.0"	Morelia	La Rochela alta	1.73	580	61	CR
ECC 173	PE 73	13	01° 16' 34.6"	75° 57' 11.6"	Albania	El Quebradon	1.23	150	59	CR
ECC 174	PE 74	13	01° 16' 33.6"	75° 57' 10.5"	Albania	El Quebradon	0.97	100	58	CR
ECC 175	PE 75	13	01° 16' 33.2"	75° 57' 14.1"	Albania	El Quebradon	0.96	100	58	CR
ECC 176	PE 125	30	01° 21' 07.1"	75° 40' 57.9"	Morelia	La Rochela alta	1.20	406	63	PR
ECC 177	PE 77	14	01° 14' 36.6"	75° 51' 00.1"	Albania	Chuscalosa	0.90	300	56	PR
ECC 178	PE 78	13	01° 17' 22.0"	75° 55' 01.9"	Albania	Delicias	0.52	100	58	PR





Genotipo	Progenie (Árbol élite)	Edad (años)	Geo-Posicionamiento		Municipio	Procedencia	Vereda	CAP	Rendimiento	PCSC	RMSH
			Latitud	Longitud							
ECC 179	PE 79	30	01° 21' 28,7"	74° 44' 14,0"	Cartagena del Chaira	Primavera	1,05	350	59	PR	
ECC 180	PE 80	30	01° 21' 28,9"	74° 44' 12,5"	Cartagena del Chaira	Primavera	1,20	400	59	CR	
ECC 181	PE 81	30	01° 21' 28,3"	74° 44' 11,8"	Cartagena del Chaira	Primavera	1,10	460	58	PR	
ECC 182	PE 82	30	01° 21' 29,7"	74° 44' 08,4"	Cartagena del Chaira	Primavera	1,67	600	58	CR	
ECC 183	PE 127	25	01° 26' 16,8"	75° 16' 38,0"	La Montañita	La Tigre	1,26	350	57	CR	
ECC 184	PE 84	30	01° 07' 26,4"	74° 50' 55,3"	Cartagena del Chaira	Teusaquillo	1,05	800	58	CR	
ECC 185	PE 85	30	01° 07' 26,9"	74° 50' 55,2"	Cartagena del Chaira	Teusaquillo	1,00	1000	57	PR	
ECC 186	PE 86	30	01° 07' 28,4"	74° 50' 52,9"	Cartagena del Chaira	Teusaquillo	0,90	500	58	CR	
ECC 187	PE 128	30	01° 07' 23,7"	74° 50' 55,40"	Cartagena del Chaira	Teusaquillo	1,22	340	60	CR	
ECC 188	PE 88	30	01° 07' 24,6"	74° 50' 56,0"	Cartagena del Chaira	Teusaquillo	1,20	460	57	CR	
ECC 189	PE 89	30	01° 07' 24,2"	74° 50' 55,7"	Cartagena del Chaira	Teusaquillo	0,80	520	58	CR	
ECC 190	PE 90	20	01° 08' 50,4"	74° 51' 31,3"	Cartagena del Chaira	Teusaquillo	1,50	460	60	CR	
ECC 191	PE 91	14	01° 05' 33,3"	75° 47' 23,0"	Valparaiso	Galilea	1,60	1000	65	PR	
ECC 192	PE 92	14	01° 05' 33,0"	75° 47' 23,3"	Valparaiso	Galilea	1,20	800	58	PR	
ECC 193	PE 129	30	01° 38' 14,2"	75° 09' 0,58"	El Doncello	Maguare	1,72	400	75	CR	
ECC 194	PE 94	14	01° 05' 31,8"	75° 47' 23,6"	Valparaiso	Galilea	1,24	500	68	CR	
ECC 195	PE 95	14	01° 05' 44,4"	75° 47' 36,9"	Valparaiso	Galilea	1,61	552	65	CR	
ECC 196	PE 130	50	01° 37' 32,2"	75° 07' 46,8"	El Doncello	La Tigre	1,58	464	57	CR	
ECC 197	PE 97	35	01° 01' 16,0"	75° 45' 39,7"	Valparaiso	Los Cedros	1,10	460	57	PR	
ECC 198	PE 98	35	01° 01' 17"	75° 45' 39,7"	Valparaiso	Los Cedros	1,35	1000	56	PR	
ECC 199	PE 131	30	1° 38' 30,6"	75° 09' 32,6"	El Doncello	Maguare	1,63	570	64	PR	

Abreviaturas: **CAP:** Circunferencia a la altura del pecho (m), **Rendimiento** (g árbol⁻¹ sangría⁻¹), **PCSC:** Proporción de caucho seco en coágulo (%), (la recolección del coágulo se realizó en un periodo de 5 a 8 días después de la última sangría), **RMSH:** Resistencia al mal suramericano de la hoja, (**CR:** Completamente resistente, **PR:** Parcialmente resistente).



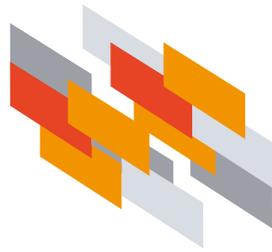
Figura 2.3. **A.** Deschuponado y podas de formación. **B.** Manejo de fertilizante compuesto. **C.** Aplicación de correctivo (Ca). **D.** Control mecánico de malezas.

Fuente: Elaboración propia

▀ Montaje y equipamiento del proceso de microsangría

▀ Vigor pre-microsangría

Se realizó inventario y medición de crecimiento del perímetro del fuste a 1 m del suelo, a todo genotipo del CCPE. Los individuos de 24 meses de edad que presentaron una circunferencia mínima de 15 cm en el fuste a 1 m del suelo se seleccionaron para la prueba de microsangría (Neto *et al.*, 2007). En este sentido, se seleccionaron 78 genotipos caquetenses y el clon testigo IAN 873 los cuales presentaron el vigor requerido para las pruebas de microsangría (Tabla 2.2).



Con la información obtenida a partir del inventario, las plantas seleccionadas se marcaron a una altura de 1,8 m con una brocha No. 4 y pintura de aceite de color rojo, las cuales se identificaron con una línea roja formando un anillo en toda la circunferencia del fuste y con un número correspondiente a la posición de siembra en lote (Figura 2.4A y B). Del mismo modo, los vasos de recolección de látex se identificaron con la misma rotulación de la planta. Adicionalmente, individuos con circunferencias entre 10 y 14 cm se rotularon de la misma forma, pero empleando un color azul, esto con el fin de monitorear su vigor y realizar el equipamiento respectivo una vez alcancen el crecimiento requerido para la prueba de microsangría.



Figura 2.4. A. Selección de individuos aptos para evaluación de microsangría en campo clonal a pequeña escala (CCPE). B. Rotulación de árboles aptos para evaluación de microsangría en CCPE.

Fuente: Elaboración propia

Preparación de los árboles

La preparación de los árboles consistió en trazar dos directrices (líneas verticales en las caras opuestas del fuste de manera que quedo simétrico diametralmente), la primera directriz se trazó con una regla de madera (1 m de largo) y el punzón, quedando direccionado hacia la calle donde se colocó la taza recolectora (Figura 2.5A). La línea trazada se marcó con la cuchilla de sangría con cuidado, sin profundizar sobre la incisión para evitar daños mecánicos en el cambium (Figura 2.5B y C), este daño mecánico puede provocar atrofiamiento y deformación sobre la corteza el cual se encuentran ubicados los vasos laticíferos (Asoheca, 2009; SENA, 2006).



Figura 2.5. Montaje y equipamiento del proceso de microsangría. **A.** Ubicación inicial para el trazado de directrices. **B.** Línea trazada con punzón (primera directriz, 1 m de largo). **C:** Marcación de guía para segunda de directriz. **D-E.** Posicionamiento de la banderola sobre el tronco y marcado de líneas con el punzón. **F-G.** Apertura del panel de sangría. **H-I:** Equipamiento de los árboles (canaleta y recipiente de recolección de látex).

Fuente: Elaboración propia



Se tomó una cuerda de 150 cm de longitud, que contenía tres nudos, un nudo en cada extremo y uno en el centro, el nudo del centro quedó sobre la directriz ya marcada, se abrazó el árbol con los extremos de las puntas de la cuerda (Figura 2.5C), quedando opuesto a la primera directriz, es decir la otra cara del fuste, se marca con el punzón el punto de unión de los extremos de la cuerda, dicho procedimiento también se realizó en la zona más baja cercana de la base del injerto, para obtener un segundo punto y marcar la segunda directriz con la regla (Asoheca, 2009).

La regla de la banderola se ubicó sobre la primera directriz marcada, con la pierna izquierda se apoya el extremo inferior de la regla cerca de la base del árbol, luego se coloca la banderola sobre el tronco de derecha a izquierda y se marcan las líneas con el punzón en dirección a la inclinación de esta se retira la banderola y se unieron los puntos hasta formar las líneas (Figura 2.5D y E) (Asoheca, 1998).

■ **Apertura del panel de microsangría**

La apertura del panel de microsangría consistió en pasar varias veces la cuchilla previamente desinfectada por encima de la línea ya marcada con la banderola, desgastando la corteza suavemente hasta llegar a los vasos laticíferos que se encuentran entre los tejidos inferiores y el cambium (Figura 2.5F y G), posterior se realizó una pequeña incisión al final del corte inicial en forma de canal entre 15 y 20 cm de longitud para facilitar el escurrimiento del látex hacia la canaleta (Cenicauco y Corpoica, 2013).

■ **Equipamiento de los árboles a producción**

Para el equipamiento de los árboles se fijó en cada planta una canaleta entre 10 y 20 cm abajo del corte, es decir al final del canal de escurrimiento, se colocó el alambre o una abrazadera plástica a una distancia de 20 cm de la canaleta y se colocó el vaso de recolección de látex previamente rotulado con el número de identificación de la planta (Figura 2.5H y I).

■ **Microsangría y recolección de la producción**

Para la evaluación de la producción se realizó mediante el sistema de sangría 1/2S ↓ d/4 6d/7 (sangría en media espiral (Figura 2.6A), cada cuatro días con un día de descanso en la semana sin estimulación. Cada tres sangrías se realizó la recolección de coágulos húmedos (Figura 2.6B) y se empacó la muestra de cada árbol en bolsas plásticas debidamente rotuladas (Figura 2.6C).

Una hora después del procedimiento se aplicó 1 ml de ácido fórmico al 85% (60 ml/L H₂O) en las tazas de rayado de cada árbol para evitar pérdidas de producción (Neto, Mattos, y Cavaloc, 2007).

■ **Manejo técnico del panel**

Con el fin de prevenir infecciones en el panel de sangría, se realizó tratamiento fitosanitario con el uso único del fungicida compuesto [Metalaxil (4 g) – Mancozeb (64 g)], en dosis de 25g/L H₂O mezclado con óxido de hierro color amarillo, empleando un pincel a lo largo del corte de sangría (Figura 2.7) una vez por semana en épocas de lluvias y cada dos semanas en época seca, siguiendo las recomendaciones de manejo preventivo del panel de microsangría, desarrolladas por Sterling y Rodríguez (2011) en el departamento del Caquetá.

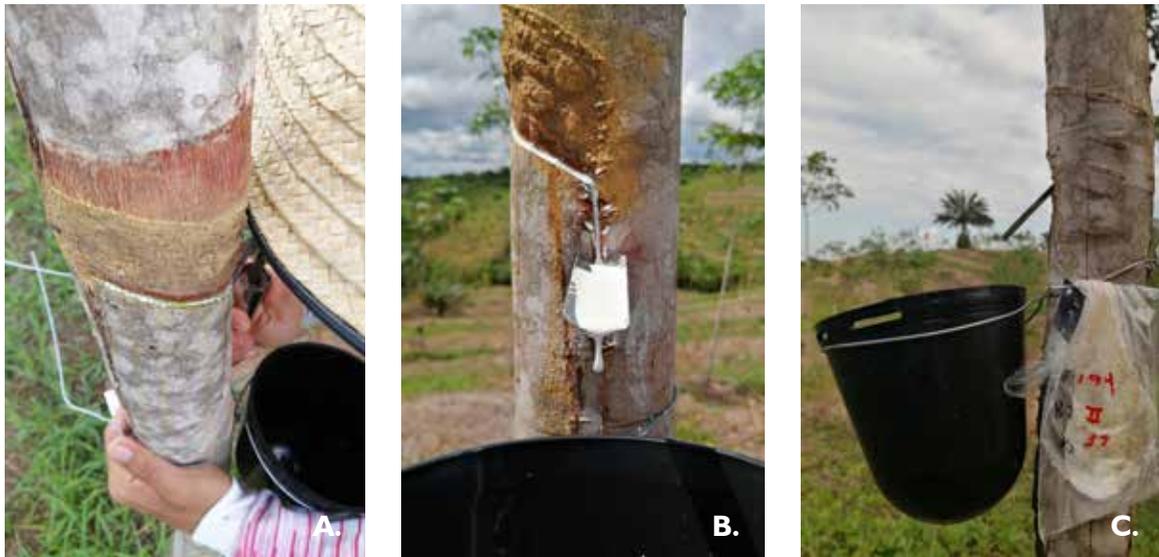


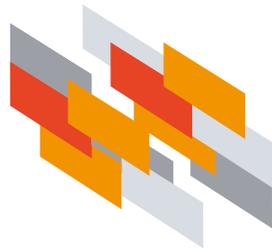
Figura 2.6. Microsangría y recolección de la producción. **A.** Sangría en media espiral. **B.** Recolección de caucho fresco. **C.** Colecta de la producción en bolsas plásticas debidamente rotuladas.

Fuente: Elaboración propia



Figura 2.7. Tratamiento fitosanitario con el uso de fungicida compuesto mezclado con óxido de hierro color amarillo en campo clonal a pequeña escala (CCPE) en el municipio de El Paujil- Caquetá.

Fuente: Elaboración propia



▀ Evaluación inicial de la producción en microsangría

▀ Fase de campo

Parámetros de microsangría

Cada tres microsangrías se recolectó por cada individuo el coágulo de las tazas y se midió en gramos el peso del caucho fresco (PCF) con una balanza digital. Los coágulos en campo se recolectan seis horas después de la tercer microsangría. Al completar dos coágulos (cada seis microsangrías) las muestras se llevan al laboratorio para cuantificar el peso del caucho seco (PCS) y calcular también la proporción de caucho seco en el coágulo (PCSC).

▀ Fase de laboratorio

Evaluación de PCSC

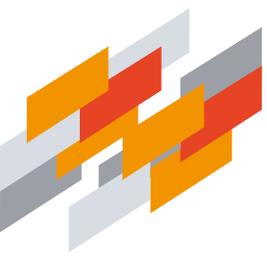
En laboratorio se homogenizaron las muestras recolectadas en campo, considerando que el volumen de la producción inicial en microsangría impide la laminación uniforme del coágulo en la mayoría de los genotipos evaluados, se procedió a llevar las muestras a un horno en un molde de aluminio debidamente rotulado durante 4 horas y se sometieron a secado en una atmosfera de aire a 120° C (Figura 2.8).



Figura 2.8. A. Muestras de coágulo dispuestas en horno para el proceso de secado, laboratorio Instituto de Investigaciones Científicas SINCHI, sede Florencia- Caquetá. B. Muestras rotuladas (genotipo, bloque y código de árbol).

Fuente: Elaboración propia

Luego las muestras se retiraron del horno y se colocaron en un desecador a temperatura ambiente para su pesaje. Se repitió el proceso de secado, enfriamiento en desecador y pesado hasta que la pérdida de masa fue constante e inferior a 1 mg (ISO 126, 2005; Mendoza y Jiménez, 2018). Las variables PCS y PCSC se calcularon respectivamente con las ecuaciones 1 y 2:



$$\text{PCS} = (\text{PCF} - \text{PCA}) \quad (1)$$

$$\text{PCSC} = \text{PCS} * 100/\text{PCF} \quad (2)$$

En donde, PCA corresponde al peso (g) del contenido de agua presente en el coágulo de campo.

▀ **Análisis de la información**

Se realizó un análisis de varianza y la prueba LSD Fisher al 5% de significancia para estudiar el comportamiento del crecimiento (CT) y las variables de producción en microsangría (PCS y PCSC) entre genotipos. Asimismo, se empleó un análisis de conglomerados para obtener grupos de genotipos similares de acuerdo con el comportamiento de estas variables. Todas las pruebas estadísticas se realizaron en el programa InfoStat versión 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).



Parámetros asociados a la microsangría entre genotipos

Se encontraron diferencias muy significativas en el peso de caucho seco (PCS) entre los 79 genotipos estudiados (Tabla 2.2). La circunferencia del tallo (CT) y la proporción de caucho seco en coágulo (PCSC) no presentaron diferencias significativas. Luego de dos años del establecimiento del CCPE, el valor medio de CT fue de 15,51 cm, el cual osciló entre 15,0 cm en los genotipos ECC 105, ECC 107, ECC 139 y ECC 191, y 16,98 cm en el genotipo ECC 129. El clon testigo IAN 873 presentó una media intermedia de 15,2 cm. Estos valores fueron superiores a los registrados por Sterling y Hernández (2012) y Sterling y Rodríguez, (2011) en genotipos caquetenses de la serie ECC-100, al igual los reportes presentados por Gonçalves *et al.* (2001) en clones de la serie IAC 300 en la región noroeste del estado de São Paulo y Vélez y Nieto (2013) en clones americanos evaluados en campo clonal a gran escala (CCGE) en Vichada (Colombia).

En relación con los parámetros de producción, se registró un PCS con una media general de 0,073 g. árbol⁻¹. microsangría⁻¹, un valor inferior a lo reportado por Sterling y Hernández (2012) en genotipos caquetenses de la serie ECC-100, los cuales reportaron un promedio de 0,35 g. árbol⁻¹. microsangría⁻¹. Es importante destacar que los valores presentados en ésta investigación corresponden a los datos iniciales de la primera fase de microsangría, cuyo comportamiento productivo es creciente en cada ciclo de recolección (tres microsangrías) (ciclo 1: 0,057 g. árbol⁻¹. microsangría⁻¹; ciclo 2: 0,075 g. árbol⁻¹. microsangría⁻¹; ciclo 3: 0,108 g. árbol⁻¹. microsangría⁻¹). No obstante, el rango medio de PCS osciló entre 0,0157 en el genotipo ECC 105 y 0,81 g. árbol⁻¹. microsangría⁻¹ en el genotipo ECC 192 (Tabla 2.2), un máximo de producción que superó el máximo reportado por Sterling y Hernández (2012) en materiales de la serie ECC-100 (ECC 87 = 0,37).

El promedio de la proporción de caucho seco en coágulo (PCSC) fue de 73,86%, en donde el genotipo ECC 149 registró el valor máximo (87,5 %) y el genotipo ECC 145 presentó la menor media (63,02%) (Tabla 2.2). 34 genotipos presentaron una PCSC superior a la registrada en el clon testigo IAN 873 (74,76%). Estos genotipos superaron además los reportes presentados por Sterling y Hernández (2012) y Sterling y Rodríguez, (2011) en genotipos de la serie ECC-100.

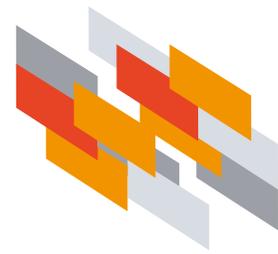
En general, se observaron mayores índices de PCS y PCSC en los genotipos más vigorosos. Según Gonçalves *et al.* (1984) una alta correlación entre producción, altura de la planta y diámetro, evidencia la posibilidad de obtener materiales jóvenes con una alta capacidad productiva y de gran vigor. Los valores destacados de PCS y PCSC reportados en la presente investigación representan un buen indicador del potencial de producción de estos genotipos, no obstante, su potencial real productivo debe ser validado en la etapa productiva del cultivo (7-8 años de edad) antes de ofrecer una recomendación final al nivel del productor (Quesada *et al.*, 2012).

Tabla 2.2. Desempeño de 78 genotipos caquetenses de caucho de la serie ECC-200 (Élite Caquetá Colombia) y el clon IAN 873 de acuerdo con los parámetros de crecimiento promedio: circunferencia del tronco (CT), y los parámetros medios de microsangría: peso de caucho seco (PCS) y proporción de caucho seco en coágulo (PCSC (%)), luego de 2 años del establecimiento en un Campo Clonal a Pequeña Escala CCPE en El Paujil, Caquetá (Colombia).

Genotipo	CT (cm)	PCSC (%)	PCS (g.árbol ¹ , microsangría ¹)	Genotipo	CT (cm)	PCSC (%)	PCS (g.árbol ¹ , microsangría ¹)
ECC 102	15,52 ± 0,30b	69,71 ± 2,42a	0,13 ± 0,03bc	ECC 152	15,65 ± 0,48b	69,55 ± 5,42a	0,07 ± 0,07bc
ECC 103	15,45 ± 0,28b	72,50 ± 2,83a	0,04 ± 0,04bc	ECC 153	15,50 ± 0,48b	70,02 ± 6,64a	0,03 ± 0,09bc
ECC 105	15,90 ± 0,48b	72,44 ± 6,64a	0,02 ± 0,09c	ECC 154	16,00 ± 0,34b	68,89 ± 3,55a	0,04 ± 0,05bc
ECC 106	15,52 ± 0,30b	72,31 ± 3,13a	0,04 ± 0,04bc	ECC 155	15,73 ± 0,39b	71,57 ± 2,83a	0,18 ± 0,04bc
ECC 107	15,00 ± 0,68b	67,82 ± 6,64a	0,07 ± 0,09bc	ECC 157	15,45 ± 0,48b	73,47 ± 5,42a	0,02 ± 0,07bc
ECC 109	15,00 ± 0,68b	66,67 ± 9,39a	0,02 ± 0,13bc	ECC 158	15,53 ± 0,39b	64,46 ± 4,20a	0,02 ± 0,06bc
ECC 110	15,25 ± 0,48b	69,91 ± 4,70a	0,07 ± 0,06bc	ECC 159	15,80 ± 0,28b	70,58 ± 2,15a	0,07 ± 0,03bc
ECC 111	15,43 ± 0,39b	64,70 ± 4,20a	0,09 ± 0,06bc	ECC 160	16,00 ± 0,48ab	67,61 ± 5,42a	0,02 ± 0,07bc
ECC 112	16,20 ± 0,34ab	70,87 ± 3,55a	0,04 ± 0,05bc	ECC 161	15,30 ± 0,68b	82,50 ± 9,39a	0,06 ± 0,13bc
ECC 113	15,86 ± 0,30b	71,13 ± 2,05a	0,06 ± 0,03bc	ECC 162	15,05 ± 0,48b	75,07 ± 5,42a	0,03 ± 0,07bc
ECC 114	15,35 ± 0,48b	76,44 ± 4,70a	0,10 ± 0,06bc	ECC 164	15,35 ± 0,34b	69,13 ± 2,71a	0,08 ± 0,04bc
ECC 115	15,68 ± 0,24b	72,87 ± 1,92a	0,05 ± 0,03bc	ECC 166	15,46 ± 0,30b	74,00 ± 3,13a	0,08 ± 0,04bc
ECC 116	15,20 ± 0,48b	67,50 ± 6,64a	0,02 ± 0,09bc	ECC 167	15,60 ± 0,28b	73,52 ± 1,88a	0,07 ± 0,03bc
ECC 118	15,20 ± 0,68b	80,00 ± 9,39a	0,03 ± 0,13bc	ECC 168	15,55 ± 0,28b	75,91 ± 2,83a	0,02 ± 0,04bc
ECC 119	15,67 ± 0,26b	74,78 ± 1,88a	0,06 ± 0,03bc	ECC 170	15,40 ± 0,28b	77,93 ± 2,28a	0,06 ± 0,03bc
ECC 121	15,63 ± 0,23b	71,76 ± 1,81a	0,04 ± 0,02bc	ECC 171	15,20 ± 0,39b	77,05 ± 4,70a	0,02 ± 0,06bc
ECC 122	15,53 ± 0,34b	73,27 ± 2,10a	0,07 ± 0,03bc	ECC 173	16,37 ± 0,26ab	76,15 ± 2,15a	0,04 ± 0,03bc
ECC 123	15,20 ± 0,48b	79,29 ± 6,64a	0,03 ± 0,09bc	ECC 174	15,50 ± 0,34b	75,98 ± 4,20a	0,03 ± 0,06bc
ECC 124	15,51 ± 0,39b	72,64 ± 2,97a	0,04 ± 0,04bc	ECC 175	15,43 ± 0,39b	73,64 ± 2,83a	0,03 ± 0,04bc
ECC 125	15,90 ± 0,30b	69,74 ± 3,83a	0,05 ± 0,05bc	ECC 176	15,20 ± 0,48b	73,01 ± 5,42a	0,07 ± 0,07bc
ECC 126	15,60 ± 0,34b	67,05 ± 3,13a	0,06 ± 0,04bc	ECC 178	15,53 ± 0,28b	72,58 ± 1,81a	0,25 ± 0,02b
ECC 127	15,34 ± 0,30b	74,22 ± 1,96a	0,07 ± 0,03bc	ECC 179	15,42 ± 0,28b	72,55 ± 2,35a	0,06 ± 0,03bc
ECC 129	16,98 ± 0,21a	71,21 ± 1,59a	0,03 ± 0,02bc	ECC 180	15,18 ± 0,34b	73,74 ± 2,71a	0,06 ± 0,04bc
ECC 131	15,10 ± 0,48b	76,10 ± 4,70a	0,03 ± 0,06bc	ECC 181	15,05 ± 0,48b	75,70 ± 4,70a	0,05 ± 0,06bc
ECC 134	15,38 ± 0,34b	68,54 ± 2,60a	0,04 ± 0,04bc	ECC 182	15,64 ± 0,24b	77,49 ± 1,48a	0,06 ± 0,02bc
ECC 135	15,82 ± 0,20b	70,65 ± 1,63a	0,09 ± 0,02bc	ECC 183	15,55 ± 0,28b	76,85 ± 2,71a	0,05 ± 0,04bc
ECC 136	15,94 ± 0,23b	77,14 ± 1,66a	0,04 ± 0,02bc	ECC 184	16,00 ± 0,68ab	68,29 ± 9,39a	0,09 ± 0,13bc
ECC 137	15,13 ± 0,34b	74,12 ± 3,55a	0,07 ± 0,05bc	ECC 185	15,15 ± 0,48b	79,45 ± 4,70a	0,13 ± 0,06bc
ECC 138	16,20 ± 0,39ab	81,77 ± 4,20a	0,05 ± 0,06bc	ECC 186	15,35 ± 0,48b	76,96 ± 5,42a	0,07 ± 0,07bc
ECC 139	15,00 ± 0,48b	86,92 ± 5,42a	0,06 ± 0,07bc	ECC 187	15,53 ± 0,28b	74,93 ± 1,84a	0,08 ± 0,02bc
ECC 140	15,80 ± 0,30b	71,99 ± 3,13a	0,04 ± 0,04bc	ECC 191	15,00 ± 0,68b	75,18 ± 9,39a	0,17 ± 0,13bc
ECC 141	15,15 ± 0,34b	79,21 ± 2,51a	0,09 ± 0,03bc	ECC 192	15,47 ± 0,39b	78,21 ± 3,83a	0,81 ± 0,05a
ECC 142	15,33 ± 0,39b	75,91 ± 4,70a	0,05 ± 0,06bc	ECC 193	15,43 ± 0,26b	75,37 ± 1,71a	0,06 ± 0,02bc
ECC 143	15,40 ± 0,34b	71,50 ± 2,83a	0,07 ± 0,04bc	ECC 194	15,54 ± 0,30b	73,57 ± 2,15a	0,12 ± 0,03bc
ECC 144	15,90 ± 0,39b	83,42 ± 5,42a	0,12 ± 0,07bc	ECC 195	15,10 ± 0,39b	78,44 ± 5,42a	0,04 ± 0,07bc
ECC 145	15,10 ± 0,68b	62,03 ± 9,39a	0,08 ± 0,13bc	ECC 197	16,10 ± 0,48ab	75,30 ± 4,70a	0,13 ± 0,06bc
ECC 147	15,36 ± 0,24b	78,74 ± 2,71a	0,05 ± 0,04bc	ECC 198	15,35 ± 0,34b	77,03 ± 3,13a	0,14 ± 0,04bc
ECC 149	15,20 ± 0,68b	87,50 ± 9,39a	0,02 ± 0,13bc	ECC 199	15,48 ± 0,28b	75,25 ± 2,71a	0,05 ± 0,04bc
ECC 150	16,48 ± 0,34ab	76,45 ± 3,55a	0,03 ± 0,05bc	IAN 873	15,20 ± 0,48b	74,76 ± 6,64a	0,02 ± 0,09bc
ECC 151	15,15 ± 0,48b	72,58 ± 4,20a	0,11 ± 0,06bc				

^aError estándar

^bValores en cada columna seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente prueba LSD ($P < 0,05$).



Parámetros asociados a la microsangría entre grupos de genotipos

El árbol de agrupamiento presentado en la figura 2.9 permitió identificar cinco grupos de genotipos: grupo 1 conformado por 13 genotipos, grupo 2 con 22 genotipos incluido el clon testigo IAN 873, grupo 3 con 22 genotipos, grupo 4 con 21 genotipos y grupo 5 con un solo genotipo (ECC 192). Luego un análisis de varianza permitió analizar las diferencias entre los parámetros de crecimiento y producción en microsangría entre los cinco grupos de genotipos (Figuras 2.10, 2.11 y 2.12).

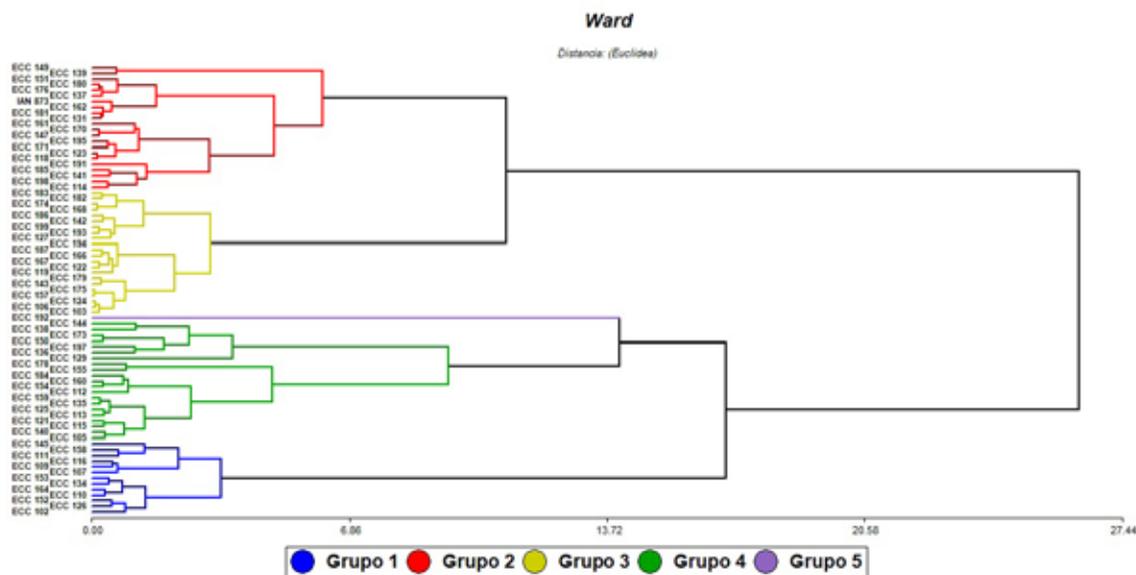


Figura 2.9. Árbol de agrupamiento de 78 genotipos caquetenses (serie ECC-200) y el clon testigo IAN 873 a partir del análisis de similitud de los parámetros circunferencia del tronco (CT), peso de caucho seco (PCS) y proporción de caucho seco en coágulo (PCSC) en un campo clonal a pequeña escala CCPE en El Paujil, Caquetá (Colombia).

Fuente: Elaboración propia

Según la figura 2.10, el grupo 4 presentó la mayor circunferencia del tallo (CT) con una media de 15,99 cm significativamente distinta de los otros grupos. El grupo 3 presentó una CT media de 15,49 cm, el grupo 5 una media de 15,47 cm, el grupo 1 una media de 15,35 cm y el grupo 2 una media de 15,18 cm, sin que estas medias fueran estadísticamente significativas.

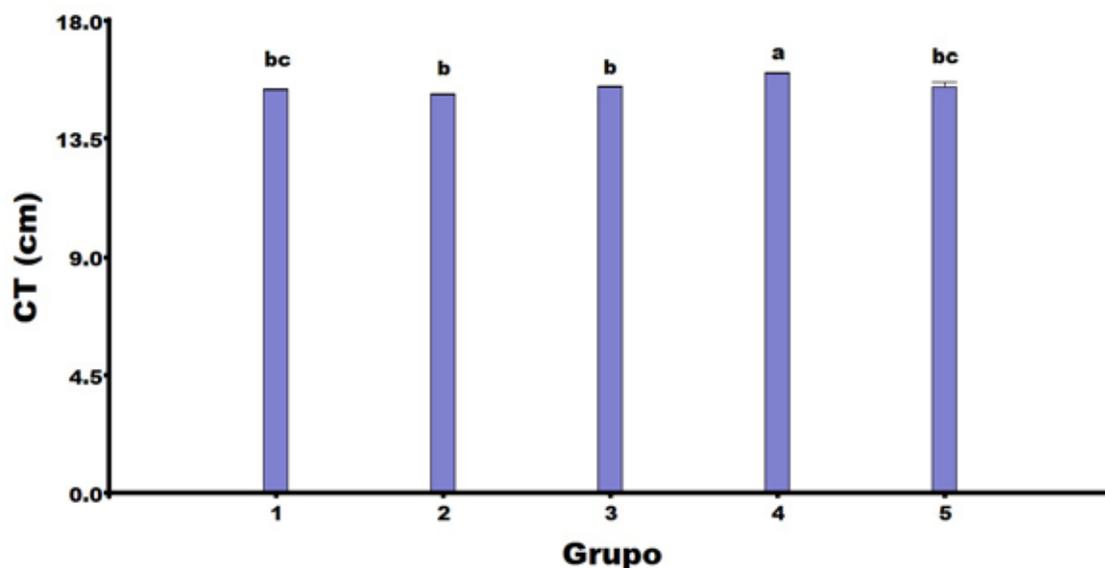
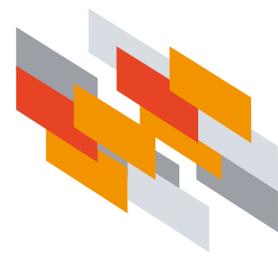


Figura 2.10. Medias con error estándar de la circunferencia de tallo (CT) (cm) para cinco grupos de genotipos de caucho establecidos en un campo clonal a pequeña escala CCPE en El Paujil, Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Con relación a los parámetros de producción, se observó que el grupo 5 representado por el genotipo ECC 192 presentó la mayor media de peso de caucho seco (PCS) ($0,81 \text{ g.árbol}^{-1} \cdot \text{microsangría}^{-1}$) significativamente distinta de los otros grupos, los cuales no superaron los $0,07 \text{ g.árbol}^{-1} \cdot \text{microsangría}^{-1}$ y no presentaron diferencias significativas entre sí (Figura 2.11). En cuanto a la proporción de caucho seco en coágulo (PCSC) se evidenció que los grupos 5, 2, 3 y 4 presentaron las mayores medias PCSC con valores de 78,21%, 77,76%, 74,39% y 72,97%, respectivamente (Figura 2.12). El grupo 1 presentó la menor media de PCSC (67,47%) significativamente inferior a los otros grupos.



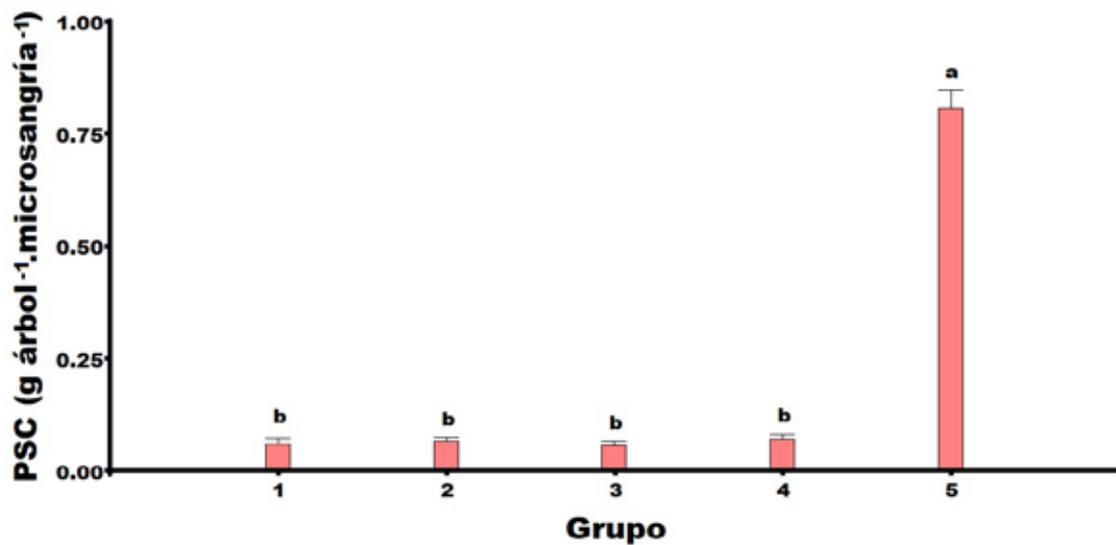


Figura 2.11. Medias con error estándar del peso de caucho seco (PCS) (g.árbol⁻¹.microsangría⁻¹) para cinco grupos de genotipos de caucho establecidos en un campo clonal a pequeña escala CCPE en El Paujil, Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

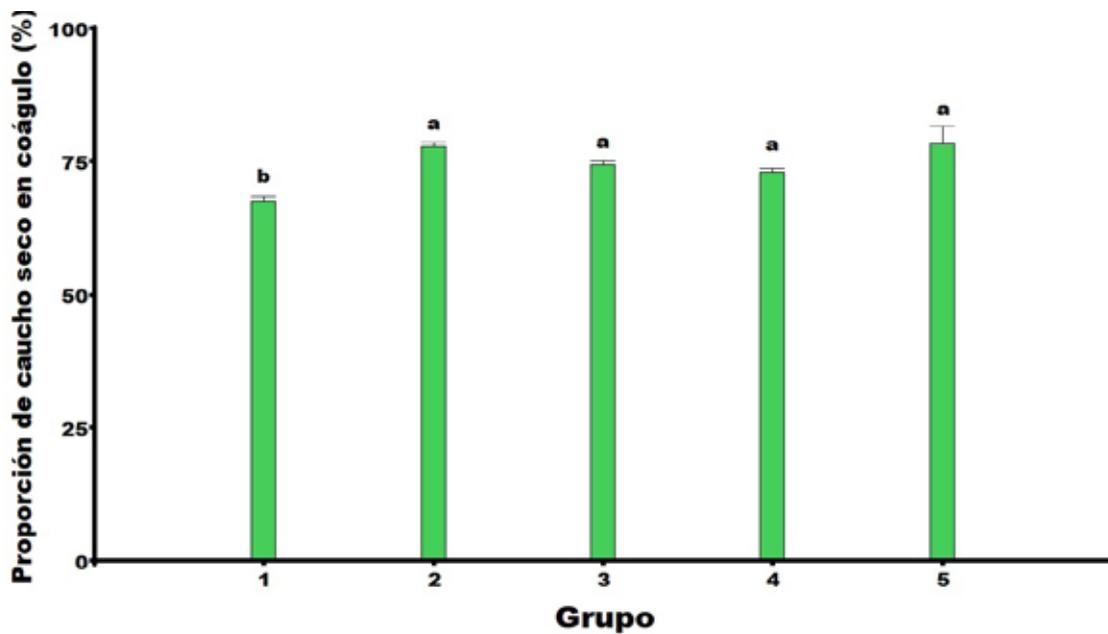
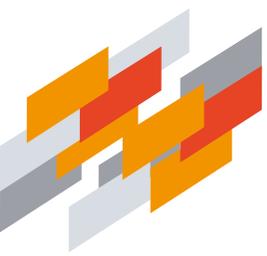


Figura 2.12. Medias con error estándar de la proporción de caucho seco en coágulo (PCSC) (%) para cinco grupos de genotipos de caucho establecidos en un campo clonal a pequeña escala CCPE en El Paujil, Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

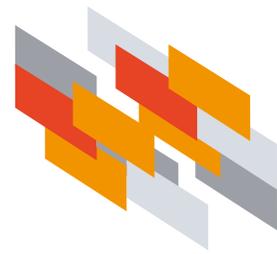




CONSIDERACIONES FINALES

El presente estudio evaluó el potencial productivo temprano mediante la técnica de microsangría en árboles de dos años en 78 de genotipos caquetenses y el clon testigo IAN 873 en un campo clonal a pequeña escala en el municipio de El paujil, Caquetá (Colombia). Se identificaron 58 genotipos con un vigor superior al clon IAN 873 ($CT > 15,20$ cm), 69 genotipos caquetenses con un potencial productivo superior al IAN 873 ($PCS > 0,02$. árbol⁻¹. microsangría⁻¹) y 34 genotipos con una proporción mayor de caucho seco en coágulo ($PCSC > 74,76\%$) en comparación con el testigo.

De acuerdo con lo anterior, genotipos como ECC 192, ECC 178, ECC 155, ECC 191, ECC 198, ECC 197, ECC 185, ECC 102, ECC 144, ECC 194, ECC 151, ECC 114, ECC 184, ECC 111, ECC 141, ECC 135, ECC 145, ECC 166, ECC 164 y ECC 187 representan un grupo de materiales con un comportamiento superior en los diferentes parámetros evaluados y superan los índices de producción en microsangría en comparación con los genotipos de la serie ECC-100 evaluados la zona sur del departamento del Caquetá. No obstante, como se explicó en el presente documento estos resultados aún son preliminares, por lo que se continuará con la etapa final de la fase de microsangría. Luego los genotipos en una fase 2 serán propagados, establecidos y evaluados en un nuevo experimento denominado campo clonal a gran escala mediante pruebas de producción temprana en árboles adultos (7-8 años de edad) por un periodo no inferior a 4-5 años antes de ofrecer una recomendación final al nivel del productor.



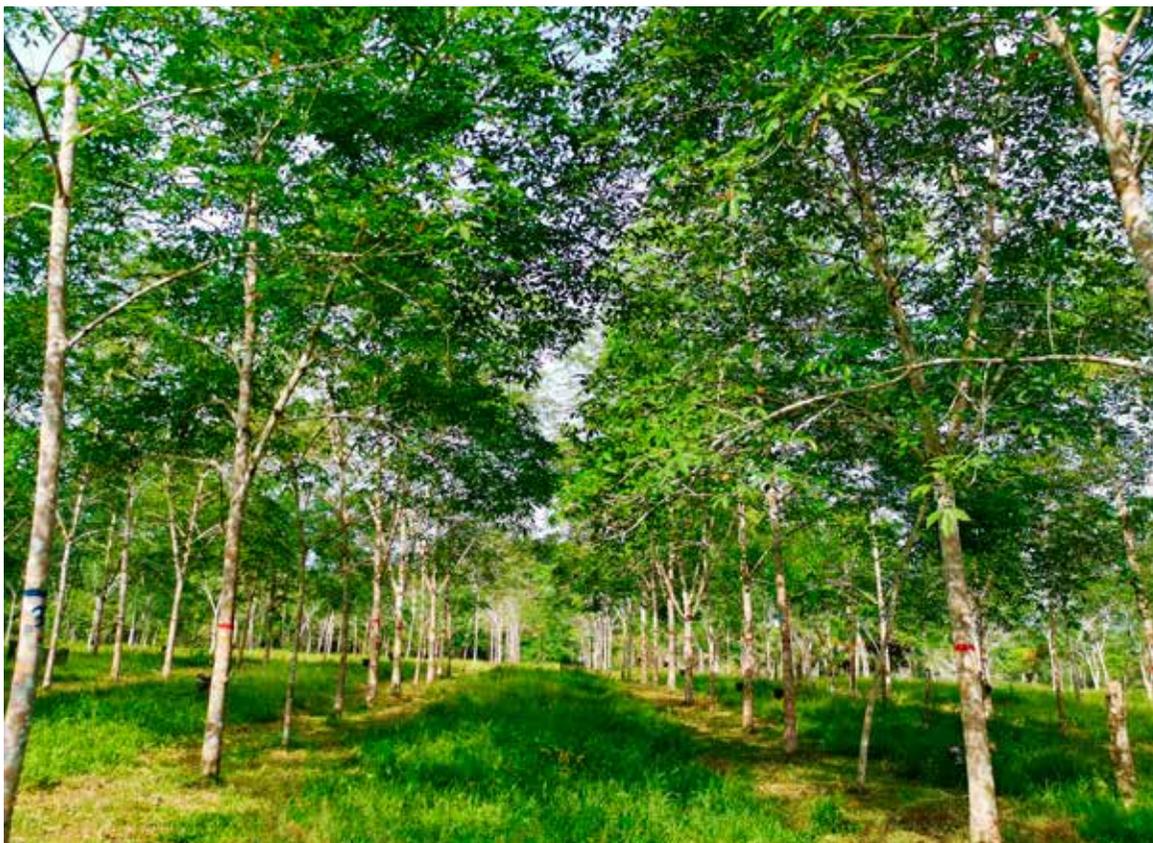
- Asociación de Reforestadores y Cultivadores del Caucho en Caquetá (Asoheca), 2009. Ficha técnica de san-gría y recolección de caucho natural.
- Asociación de Reforestadores y Cultivadores del Caucho en Caquetá (ASOHECA), 1998. Programa nacional de transferencia de tecnología agropecuaria PRONATTA. Aprovechamiento del cultivo y beneficio del látex del caucho natural.
- Bombonato, A.L., 2014. Correlação entre o desempenho dos indivíduos (Ortetes) de seringueira nos testes de progênies e dos seus respectivos clones (Rametes). Instituto Agronômico.
- Castellanos, O.F., Fonseca, S.L., Barón, M.R., 2009. Agenda Prospectiva De Investigación Y Desarrollo Tec-nológico Para La Cadena Productiva De Caucho Natural Y Su Industria En Colombia, MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL Proyecto Transición de la Agricultura.
- Cenicaucho y Corpoica, 2013. Modelo productivo para el cultivo del árbol de caucho natural en la Orinoquia. Zonas de escape y no escape al mal suramericano de las hojas del caucho.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W., 2017. InfoStat ver-sión (2017).
- Diniz Souza, M.A., 2016. Variabilidade genética em progênies de seringueira e associações entre variáveis secundárias e produção de borracha. Instituto Agronômico.
- Gonçalves, P. d. S., Ortolani, A.A.E., Cardoso, M., 1997. Melhoramento genético da seringueira: uma revisão. Instituto Agronômico IAC, Campinas, Brasil.
- Gonçalves, P., Rossetti, A.G., Valois, A.C., Viegas, I.J., 1984. Estimativas de correlações genéticas e fenotípicas de alguns caracteres quantitativos em clones jovens de seringueira. Rev. Bras. Genética 7, 95–107.
- Gonçalves, P.D.E.S., Aguiar, A.T.D.E., Gouvêa, R.L.L., 2006. Expressão fenotípica de clones de seringueira na região noroeste do estado de São Paulo. Bragantia, Campinas 65–3, 389–398.
- Gonçalves, P.D.S., Bortoletto, N., Furtado, E.L., 2001. Desempenho de clones de seringueira da série IAC 300 selecionados para a região noroeste do Estado de São Paulo (I) Material e Métodos 589–599.
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2015. Promedios precipitación y tem- peratura media. Promedio de los años 1981-2015 [WWW Document]. Inst. Hidrol. Meteorol. y Estud. Ambient.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), 2014. Estudio general de suelos y zonificación de tierras depar- tamento de Caquetá, escala 1:100.000. Imprenta Nacional de Colombia, Bogotá, DC.
- ISO 126, 2005. Standar Internacional. Natural rubber latex concentrate — Determination of dry rubber content.
- Khusala, C.V., 2010. Estimativas de parâmetros genéticos e de estabilidade em progênies de seringueira (He- vea spp.). Insututo Agronômico.
- Mendoza, L.P., Jiménez., J.A., 2018. Efecto de inclusión de anticoagulantes durante el beneficio de hevea brasiliensis (willd. ex a.juss.) müll.arg. Colomb. For. 21(1), 91–100.
- Murad, C.A., Pearse, J., 2018. Landsat study of deforestation in the Amazon region of Colombia: Departments of Caquetá and Putumayo. Remote Sens. Appl. Soc. Environ. 11, 161–171. <https://doi.org/10.1016/j.RSASE.2018.07.003>

- Neto, J.F., Mattos, C., Cavaloc, E., 2007. Nota técnica para microsangría do campo de avaliação de sementes Plantacoes Michelin da Bahia Ltda.
- Quesada, I., Aristizábal, F., Montoya, D., 2012. Characterization of two latex parameters from *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg. clones in the Colombian Altillanura 15, 139–146.
- Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), 2006. Caracterización ocupacional del caucho natural.
- Sterling, A., Galindo, L.C., Suárez, Y.D., Velasco, G., Andrade, T., Gómez, A.K., 2019. Early assessing performance and resistance of Colombian rubber tree genotypes under high South American Leaf Blight pressure in Amazon. *Ind. Crop. Prod.* 141, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111775>
- Sterling, A., Hernández, E., 2012. Desempeño de genotipos élitos de caucho [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg.] en período de inmadurez en el suroccidente del Caquetá, Colombia. *Ing. Amaz.* 5.
- Sterling, A., Rodríguez, C.H., 2019. Valoración y análisis de la biodiversidad y servicios ecosistémicos asociados a campos clonales de caucho en Caquetá, Amazonia colombiana. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A., Rodríguez, C.H., 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, Florencia, Colombia.
- Sterling, A., Rodríguez, C.H., 2017. Bases técnicas para la selección, propagación y establecimiento de materiales regionales élite de caucho en Caquetá. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas–SINCHI, Florencia, Colombia.
- Sterling, A., Rodríguez, L.C.H., 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 Investigaciones Científicas – SINCHI, Bogotá, DC.
- Sterling, A., Rodríguez, O.L., Rodríguez, C.H., Martínez, O., Bonilla, N.C., Dussán, I., 2011. Variabilidad genética de genotipos élitos de *Hevea brasiliensis* mediante el uso de descriptores morfológicos. *Rev. Colomb. Amaz.* 129–142.
- Vélez, D.F., Nieto, V.M., 2013. Desempeño inicial de clones de caucho en el municipio de Puerto Carreño, Vichada, Colombia. *Colomb. For.* 16, 186–199.



CAPÍTULO 3

Respuesta fisiológica de 10 clones de caucho (*Hevea brasiliensis*) en etapa de sangría temprana en campos clonales a gran escala en el departamento del Caquetá

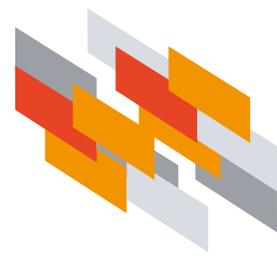


Natalia Rodríguez Castillo¹, Armando Sterling Cuéllar^{2*}, Ana Yiceth Guillen Motta¹, Edwin Andrés Clavijo-Arias¹, Carlos Hernando Rodríguez²

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

² Investigador Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Sede Florencia

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



Generalidades

En condiciones de campo las plantas están expuestas a variaciones en la intensidad y calidad de luz, temperatura, precipitación, concentración de CO_2 , condiciones nutricionales, características del suelo, plagas, enfermedades y otras variables a lo largo del día y en diferentes épocas del año. Estas variaciones influyen en la respuesta ecofisiológica de las plantas, es decir, en el funcionamiento de las plantas y su respuesta a las condiciones ambientales.

Entre las variables ecofisiológicas más importantes esta la fotosíntesis, ya que el aparato fotosintético de las plantas responde muy rápidamente a la mayoría de los factores de estrés que las plantas tienen que enfrentar en condiciones de campo abierto (Holá *et al.*, 2010), y además es el principal proceso por el que las plantas transforman la energía lumínica del sol, junto con la toma de CO_2 , agua y minerales para elaborar los compuestos básicos como carbohidratos (fotoasimilados) que son distribuidos a los diferentes órganos de la planta, que son la fuente de energía para su crecimiento y desarrollo (Priyadarshan, 2017) (Figura 3.1).

Las hojas son el órgano por el que se realiza la fotosíntesis. En estas se encuentran unas estructuras conocidas como estomas por las que se hace el intercambio de gases, ingresa dióxido de carbono (CO_2), y a su vez hay pérdida de agua (H_2O) y liberación de oxígeno (O_2) a la atmósfera (Fig 3.1.A). La planta puede usar mecanismos para reducir la cantidad de agua pérdida a través del cierre de estomas, que se puede medir por la reducción de la conductancia estomática o *gs* (grado de apertura de los estomas) y la tasa de transpiración (*E*), que mide la tasa a la que es movida el agua a través de las hojas hacia la atmósfera, la presión (potencial de presión) que es ejercida para empujar el agua hacia arriba y así se pueda distribuir a lo largo del árbol. El uso eficiente del agua (*WUE*) es un indicador importante de que tan eficiente es la planta en la producción de biomasa sin generar grandes pérdidas de agua, muy útil en la selección de plantas que crezcan en ambientes secos.

Relación fuente-vertedero en la planta

Los productos de la fotosíntesis se originan y exportan desde los órganos productores, o **FUENTE** que generalmente son las hojas en madurez fisiológica, hacia los órganos receptores de estos productos fotosintéticos, órganos no-fotosintéticos o **VERTEDEROS** (utilizan los productos de la fotosíntesis) como son las hojas jóvenes, frutos, semillas y otros órganos en formación (Figura 3.1.B). Las interacciones entre las condiciones ambientales que pueden tener un componente biótico (organismos vivos) y abiótico (ej. condiciones climáticas, topografía), y las características propias de la especie como su genotipo influyen fuertemente en el balance fuente-vertedero de las plantas (Fischer *et al.*, 2013).

Se ha reportado en muchas especies, principalmente en árboles frutales, que el desarrollo de nuevos vertederos como frutos u otras estructuras que necesiten fotoasimilados requieren una mayor capacidad fotosintética en comparación con árboles en un estado vegetativo o sin vertederos con mayor demanda de fotoasimilados (Fischer *et al.*, 2013; Guan *et al.*, 2015; Morandi *et al.*, 2014).

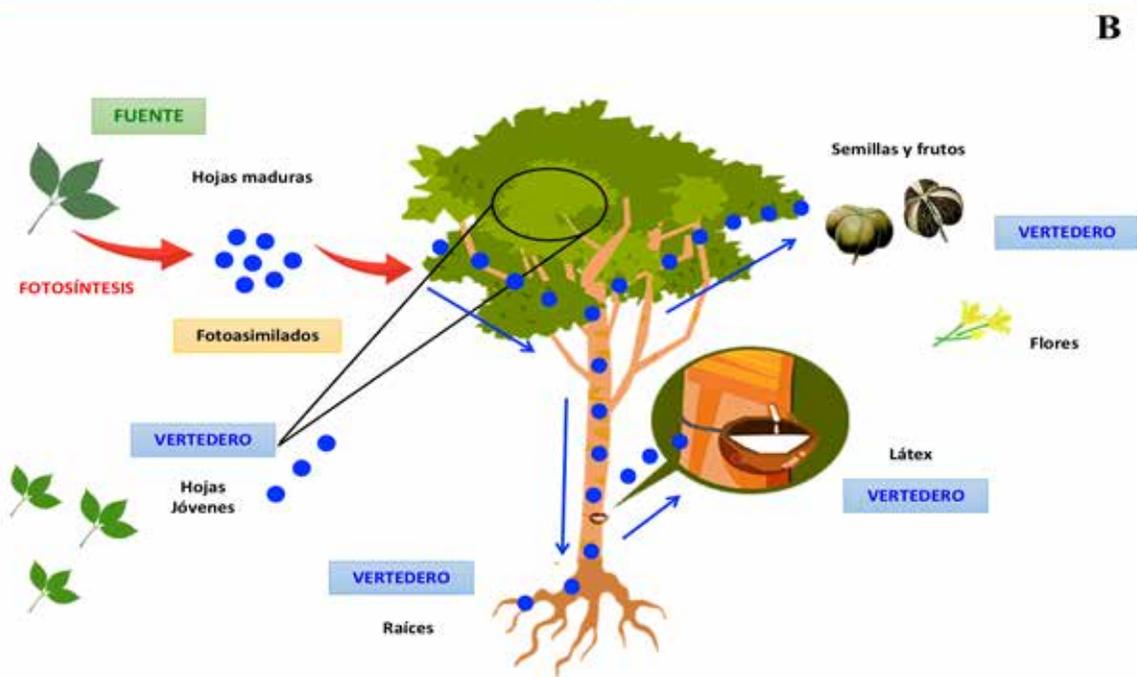
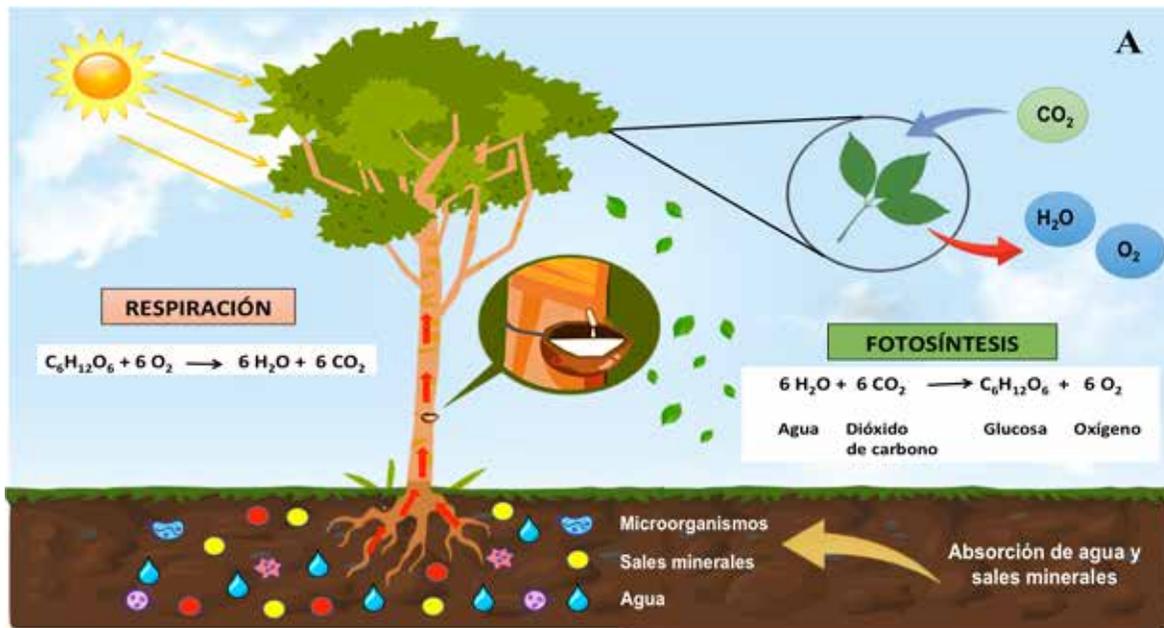


Figura 3.1. A. Proceso de fotosíntesis y respiración en un árbol de caucho natural (*Hevea brasiliensis*). **B.** Relación fuente – vertedero en los diferentes órganos de un árbol de caucho en etapa productiva de extracción de látex.

Fuente: Elaboración propia.



Efectos de la sangría sobre la respuesta fisiológica del caucho

El cultivo de caucho presenta una fase inmadura o improductiva que varía entre 5 a 9 años dependiendo de las condiciones agroclimáticas y del manejo del cultivo (Priyadarshan *et al.*, 2009). Durante esta fase el árbol está produciendo asimilados para crecimiento y mantenimiento, y una parte puede almacenarse como reservas de carbohidratos. Estas reservas juegan un papel importante cuando la producción de asimilados por la fotosíntesis no es suficiente para las demandas requeridas por la planta, por ejemplo, cuando hay recambio de hojas en el árbol de caucho o cuando experimenta algún tipo de estrés como estrés hídrico o daño por plagas y enfermedades, estas reservas de carbohidratos son movilizadas (Chantuma *et al.*, 2009).

Cuando el árbol de caucho comienza su fase productiva, la corteza es rayada para extraer el látex para la producción de caucho (sangría), generando así un nuevo vertedero para los productos de la fotosíntesis. Este proceso de rayado induce la regeneración del látex por un lado, y también el corte del tronco induce a la síntesis de látex como mecanismo de defensa, siendo los dos procesos de un gran costo en términos de carbono, que puede desviar una proporción importante de asimilados que antes eran usados para crecimiento y mantenimiento (Chantuma *et al.*, 2009; Silpi *et al.*, 2007) (Figura 3.2).

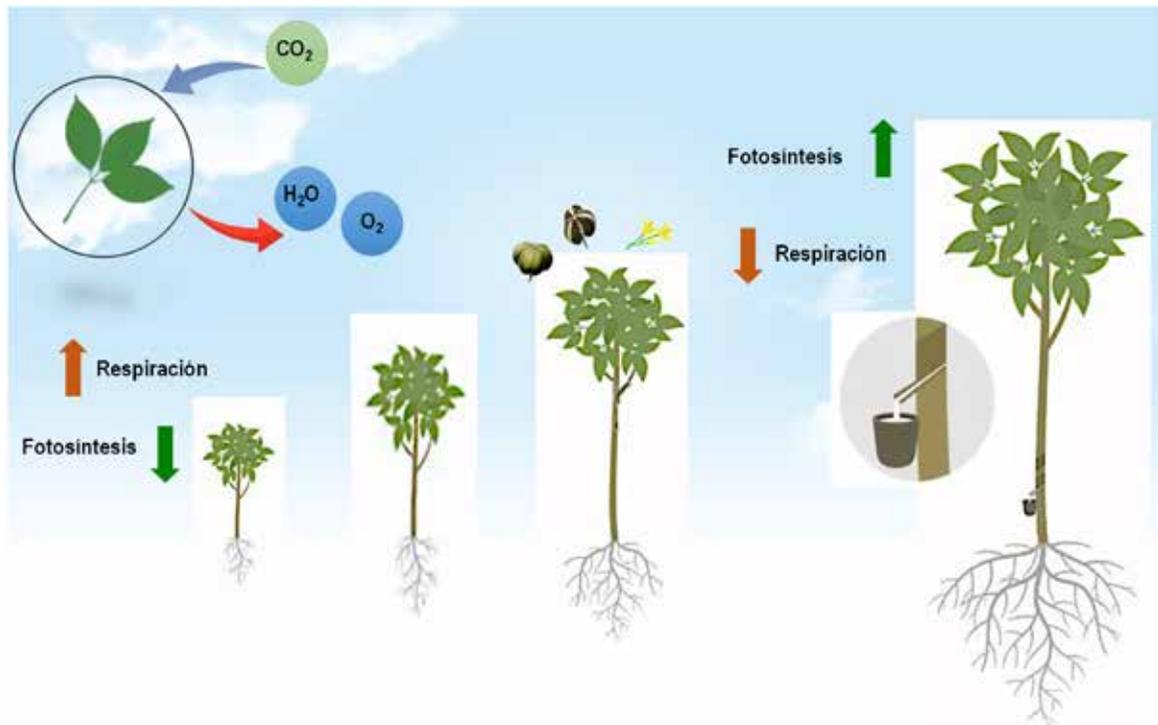


Figura 3.2. Estados de desarrollo de un árbol de caucho. En los primeros estados de desarrollo del árbol de caucho se realiza más respiración para crecimiento rápido y menor fotosíntesis al tener menor cantidad de órganos productores de asimilados. Cuando el árbol es adulto y comienza el proceso de sangría de látex se espera mayor fotosíntesis al haber más presencia de órganos productores de asimilados y otros que demandan los mismos.

Fuente: Elaboración propia.

La acumulación o la remoción de alguno de estos órganos (fuentes o vertederos) puede o no generar cambios en la fotosíntesis en los órganos restantes y en la concentración de carbohidratos móviles, que afectará la tasa de crecimiento de las plantas (Li et al., 2002), como se ha observado en la reducción en el crecimiento del tronco del árbol de caucho (Chantuma et al., 2009; Silpi et al., 2007, 2006). Por lo tanto, se espera que la asimilación de CO₂ sea mayor en árboles con sangría en comparación con árboles sin sangría ya que la extracción de látex y su regeneración consumen asimilados (Priyadarshan et al., 2009), aumentando así la demanda (Figura 3.2).

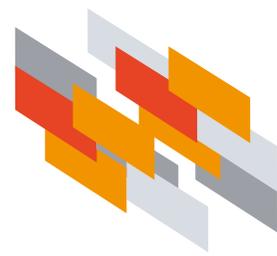
El agua juega un papel importante en el flujo de látex después de la sangría, por lo que todos los factores ecofisiológicos que afecten el balance hídrico y el flujo de agua en el árbol influyen en el flujo de látex y la coagulación de este (Priyadarshan et al., 2009). La sangría es mejor realizarla temprano en la mañana porque la presión (potencial de presión) que se necesita para mover el flujo de agua es mayor, por lo tanto, el flujo de látex es mayor ya que la tasa de transpiración (*E*) también es mayor. A medida que avanza el día la temperatura ambiental aumenta y la humedad disminuye, por lo que la tasa de transpiración (*E*) y el flujo de látex disminuyen (Carr, 2012).

Mejoramiento genético del caucho y sus implicaciones en etapas tempranas de sangría

El látex de *Hevea* es la principal fuente a nivel mundial de caucho natural para las diferentes industrias que lo demandan, representando hasta el 90% del caucho comercializado en los mercados globales (Wu et al., 2018). Colombia cuenta con aproximadamente 53.223 hectáreas (ha) de cultivo de caucho natural, distribuidas en 17 departamentos (Ramírez et al. 2018). Las áreas productivas en caucho a nivel departamental, en su orden son: Meta con 25.000 ha, Santander con 9.000 ha, Caquetá con 6.700 ha y Antioquía con 6.000 ha. La mayor producción de caucho natural en el país lo registró Meta con 2.150 toneladas (ton), seguido de Santander con 1.450 ton, Caquetá con 1.100 ton y Antioquía con 950 ton (MADR, 2018).

Algunas de las causas de la baja participación en la producción de caucho para suplir la demanda interna del país por parte del departamento del Caquetá es la baja implementación de buenas prácticas agronómicas y el aumento en la susceptibilidad a factores fitosanitarios como la enfermedad conocida como el mal suramericano de las hojas (*Microcyclus ulei*, recientemente renombrado como *Pseudocercospora ulei*). Esta enfermedad genera la caída prematura de hojas o en algunos casos la defoliación total del árbol lo que afecta la fotosíntesis (Sterling et al., 2012), siendo el principal proceso fisiológico por el cual se transforman y sintetizan compuestos orgánicos (Rodríguez-Castillo et al., 2019), que son insumo para la producción de látex.

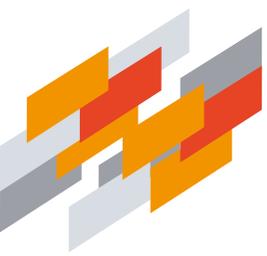
Los programas de mejoramiento genético para la selección de clones de caucho (*Hevea brasiliensis*) con alta producción, resistencia a enfermedades y buena adaptación a diferentes ambientes tradicionalmente pueden tardar hasta 20 y 30 años, por lo que es importante identificar variables relevantes de alta productividad y resistencia a enfermedades en las etapas tempranas del desarrollo vegetativo y reproductivo (Pethin et al., 2015; Priyadarshan, 2017; Silpi et al., 2006). En caucho, se han realizado esfuerzos en programas de mejoramiento y selección de clones más productivos y adaptados a diferentes condiciones agroclimáticas a partir de la evaluación de variables fisiológicas como rendimiento, producción de biomasa, uso eficiente del agua (*WUE*), tasa fotosintética (*A*) (Ahmad et al., 2009; Nataraja and Jacob, 1999; Nunes et al., 2016), entre otros.



Diversos estudios han planteado que a través del mejoramiento genético es posible ampliar la base genética de caucho con el fin de promover el fomento exitoso del cultivo en zonas con altas limitaciones agroclimáticas (Gonçalves *et al.*, 1997; Rivano *et al.*, 2013; Sterling and Rodríguez, 2012). El análisis de los rasgos fisiológicos relacionados con la fotosíntesis forman parte de los principales atributos de selección utilizados para la identificación de materiales genéticos deseables (Holá *et al.*, 2010). En caucho, las tasas fotosintéticas (A) y uso eficiente del agua (WUE) son variables fisiológicas que se han asociado a clones de alto rendimiento (Nugawela *et al.* 1995). Ahmad *et al.* (2009) encontraron que variables como A , E , g_s y características de los estomas tienen una correlación positiva con el rendimiento de látex. Se han reportado altos valores de A en árboles en etapa de extracción de látex, lo que probablemente podría relacionarse con la remoción de asimilados durante el rayado en forma de látex, estimulando así el proceso de fotosíntesis a través del efecto fuente-vertedero (Gunasekera *et al.*, 2013).

El programa de mejoramiento genético de caucho que lidera el Instituto SINCHI en alianza con la Universidad de la Amazonia y la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá-Asoheca, en el departamento del Caquetá (Colombia), han permitido identificar clones en fase improductiva con un alto potencial fisiológico para la producción de látex. Sterling y Rodríguez (2019) destacan los clones FX 4098, FDR 4575, MDF 180, GU 198 y FDR 5788 que presentaron un mejor desempeño fisiológico frente a distintas condiciones agroclimáticas, especialmente en épocas de menor precipitación como son la época seca y la transición hacia la época seca. Sin embargo, el comportamiento fisiológico en etapa productiva y su implicación en la producción de látex resulta fundamental antes de utilizar este criterio como un parámetro final de selección.

En el presente capítulo, se presentan los resultados de la evaluación inicial de la respuesta fisiológica (parámetros fotosintéticos de intercambio gaseoso) y su relación con la producción de látex en 10 materiales de caucho (nueve clones americanos introducidos y el clon testigo IAN 873) en etapa temprana de producción en tres campos clonales a gran escala en el departamento del Caquetá (Colombia).



METODOLOGÍA

Área de estudio

El estudio se realizó en tres experimentos denominados Campos Clonales a Gran Escala (CCGE) presentes en los municipios de Florencia, Belén de los Andaquíes y San Vicente del Caguán en el departamento del Caquetá (Colombia) (ver Figura 1.1; Capítulo 1).

Material vegetal

Se estudiaron nueve clones de caucho promisorios de origen americano (CDC 312, FDR 5597, GU 198, FDR 4575, FDR 5788, CDC 56, FX 4098, FX 3899 P1 y MDF 180) y el clon testigo IAN 873 (ver Tabla 1.1; Capítulo 1).

Diseño experimental

Cada uno de los Campos Clonales a Gran Escala (CCGE) correspondió a un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, 10 tratamientos (clones) por bloque y 60 árboles (unidad experimental) por tratamiento (ver Figuras 1.2, 1.3 y 1.4; Capítulo 1).

Mediciones fisiológicas

Para las evaluaciones fisiológicas se seleccionó un árbol en etapa de sangría temprana por cada clon en cada bloque, totalizando cuatro árboles por clon en cada CCGE ó 40 árboles por cada CCGE. En cada árbol se seleccionaron dos hojas que estuvieran expandidas y con buen estado nutricional y fitosanitario localizadas en la parte media del dosel en estadio fenológico D (Hallé *et al.*, 1978) con un contenido relativo de clorofila (CCI) entre 18 y 38 unidades, registrado con un medidor de concentración de clorofila MC-100 (Apogee Instruments Inc., USA) (Figura 3.3).

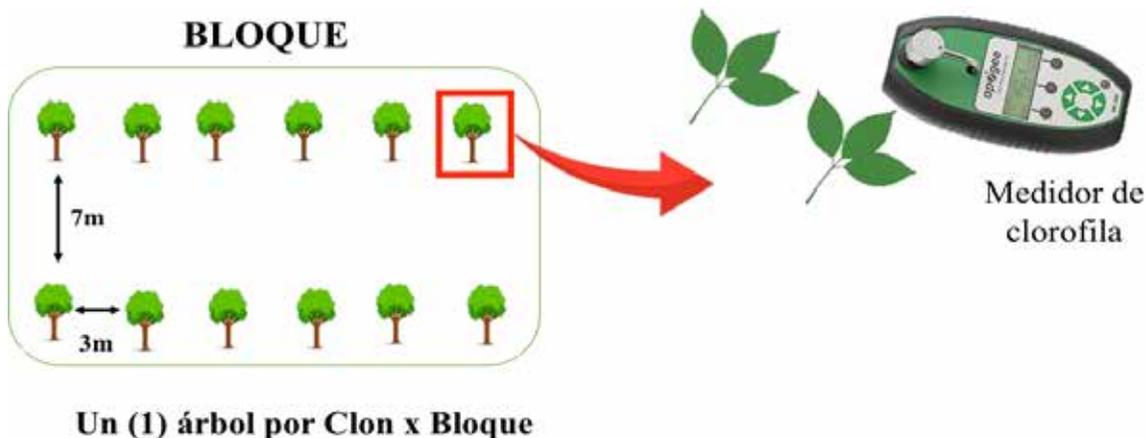


Figura 3.3. Selección de árboles y hojas de caucho de acuerdo a unidades CCI con el medidor de concentración de clorofila MC-100 (Apogee Instruments Inc., USA).

Fuente: Elaboración propia.

Las evaluaciones fisiológicas relacionadas con la fotosíntesis se realizaron en días soleados entre las 9:00 y 11:00 h con un equipo conocido como analizador de gases infrarrojo portátil CIRAS-3 (PP Systems, USA) (Figura 3.4). Las variables medidas fueron: tasa neta de asimilación de CO_2 (A), tasa de transpiración (E), conductancia estomática (g_s) y uso eficiente del agua extrínseco (WUE) que se calcula a partir de A/E (dos Santos *et al.*, 2013).



Figura 3.4. Evaluación de las variables tasa asimilación de CO_2 (A), tasa de transpiración (E), conductancia estomática (g_s) y uso eficiente del agua extrínseco (WUE) con el equipo de intercambio gaseoso CIRAS-3 (PP-Systems, USA) en los tres Campos Clonales a Gran Escala (CCGE) en el departamento de Caquetá. Fuente: Elaboración propia

▀ Análisis de la información

Las variables fisiológicas se analizaron con un análisis de varianza (ANOVA) para estudiar los efectos localidad, clon y su interacción. 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 Y DISCUSIÓN

Se encontraron diferencias significativas en las variables E , g_s y WUE entre localidades y hubo un efecto del clon sobre E (Tabla 3.1). Variaciones significativas en el uso eficiente del agua (WUE) entre clones fueron influenciadas por la localidad.

Tabla 3.1. Análisis de varianza (ANOVA) de los efectos localidad (L), clon (C) y su interacción para las variables de la asimilación neta de CO_2 (A), tasa de transpiración (E), conductancia estomática (g_s) y uso eficiente del agua (WUE) en 10 clones de caucho (*Hevea brasiliensis*) en Caquetá, Colombia.

Variables	p-valores basados en el estadístico de Fisher (F)		
	L	C	L x C
A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	0,0653	0,2365	0,6945
E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	0,0190	0,0390	0,8780
g_s ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	0,0176	0,1855	0,9378
WUE ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$)	0,0002	0,1245	0,0289

L = localidad, C = clon

En Florencia se registraron las mayores tasas fotosintéticas ($A = 10,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), sin embargo, en San Vicente del Caguán se registraron los mayores promedios de E ($3,8 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y g_s ($271 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). La mayor eficiencia en el uso del agua se registró en Belén de los Andaquíes ($3,29 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) (Figura 3.5).

De acuerdo con lo anterior, Florencia y San Vicente del Caguán fueron las localidades con mejor desempeño fisiológico, sin embargo, en Florencia se registraron las menores medias de crecimiento (circunferencia del tronco) y producción (gramos de caucho seco por sangría por árbol) en comparación con San Vicente del Caguán donde estos parámetros fueron superiores (ver Figuras 1.6 y 1.9; Capítulo 1).

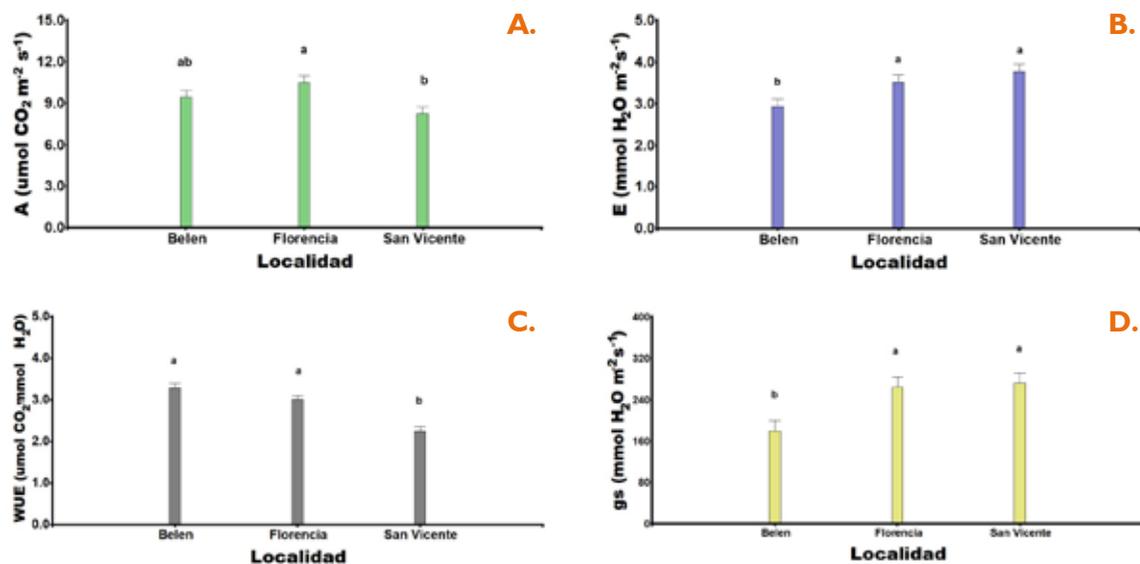


Figura 3.5. Medias para la tasa fotosintética (A) **A.** tasa de transpiración (E) **B.** conductancia estomática (g_s) **C.** y uso eficiente del agua (WUE) **D.** estimadas en tres localidades de Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

En principio, se espera que a una mayor tasa fotosintética (A), mayor sea el rendimiento de látex, pero es posible que la demanda de asimilados para los diferentes órganos supere el suministro de lo que se produce a partir de la fotosíntesis, y la planta se vea en la necesidad de usar las reservas de carbohidratos (asimilados) almacenadas en el árbol para abastecer esta demanda.

En caucho, la sangría induce a la regeneración del látex, una actividad de alto costo energético y de carbono, por lo que se requieren más fotoasimilados. En la biosíntesis del látex, el árbol demanda altos carbohidratos para su producción (Silpi *et al.*, 2007) los cuales provienen principalmente del fuste de los árboles (Chantuma *et al.*, 2009). Es posible, que en el caso de los árboles de caucho crecidos en Florencia y Belén los fotoasimilados producidos no hayan sido suficientes para suplir las demandas metabólicas requeridas para la producción de látex, induciendo así el uso de las reservas de carbohidratos presentes en los árboles.

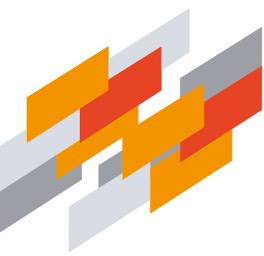
En general, la media de A osciló entre 10,98 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para el clon **GU 198** hasta 7,21 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para **FX 3899 PI**. Estos valores de fotosíntesis son mayores a los registrados (3 y 6 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) en los mismos clones durante la fase improductiva en los tres CCGE establecidos en Caquetá (Sterling y Rodríguez, 2019).

Los clones **FDR 5597**, **CDC 56**, **MDF 180** y el testigo **IAN 873** presentaron las mayores tasas de transpiración ($E > 3,5 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) en comparación con los clones **FX 3899 PI** y **FDR 4575** que presentaron los menores promedios ($< 2,9 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Figura 3.6).

En relación con el uso eficiente del agua (WUE), el clon **GU 198** registró la mayor media (4,46 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) en Belén de los Andaquíes, mientras este mismo clon presentó valores bajos en Florencia y en San Vicente del Caguán (3,36 y 2,23 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$, respectivamente) (Figura 3.7). En los clones **FX 4098**, **MDF 180** y **FDR 5788** se registraron altos valores de WUE en Belén de los Andaquíes y Florencia, sin embargo, en San Vicente del Caguán se registraron medias bajas (Figura 3.7).

El clon **FX 3899 PI** presentó un alto WUE en Florencia (3,01 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) pero bajos promedios en San Vicente del Caguán (1,96 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$). El clon **MDF 180** registró el menor valor de WUE en San Vicente del Caguán (1,63 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$), y valores altos en Belén de los Andaquíes y Florencia (3,92 y 3,55 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$, respectivamente) (Figura 3.7).

Los clones **GU 198** y **FDR 5597** registraron valores altos de crecimiento (CAP) y producción (ver Figura 1.6; Capítulo 1) que evidencian un alto desempeño fisiológico (altas tasas fotosintéticas) (Figura 3.6). No obstante, los clones **FX 3899 PI** y **FDR 4575** presentaron una alta producción de caucho pero un bajo desempeño fisiológico (Figura 3.7). Este bajo desempeño fisiológico coincide con lo reportado por Sterling y Rodríguez (2019) en fase improductiva.



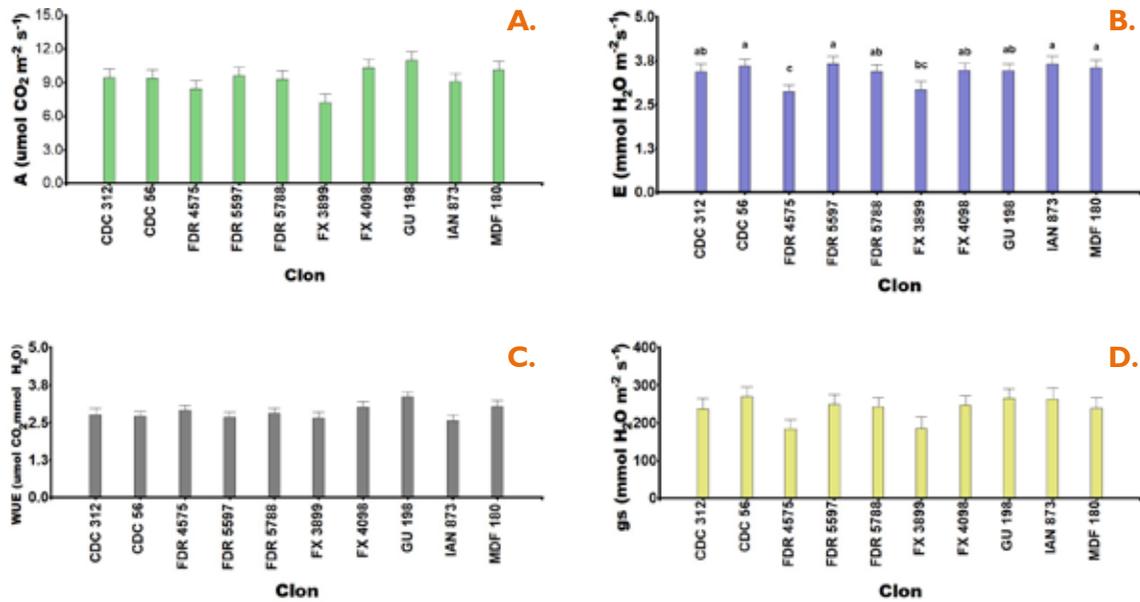


Figura 3.6. Medias para la tasa fotosintética (A) **A.** tasa de transpiración (E) **B.** conductancia estomática (g_s) **C.** y uso eficiente del agua (WUE) **D.** de los 10 clones de caucho establecidos en Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$). Fuente: Elaboración propia.

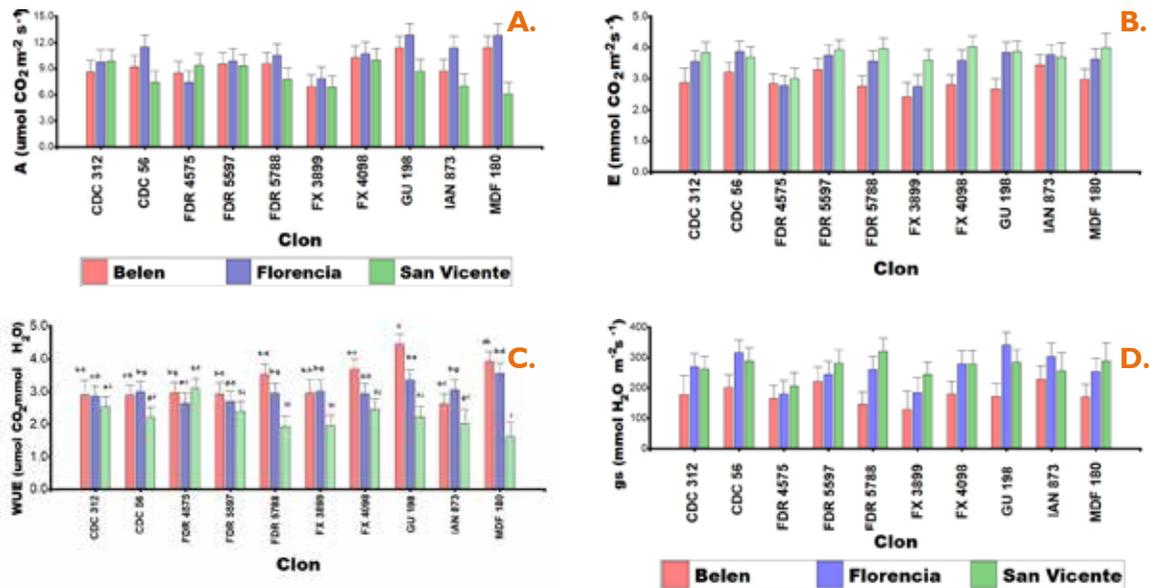
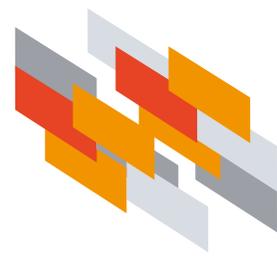


Figura 3.7. Medias para la tasa fotosintética (A) **A.** tasa de transpiración (E) **B.** conductancia estomática (g_s) **C.** y uso eficiente del agua (WUE) **D.** de los 10 clones de caucho en cada una de las tres localidades de Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).



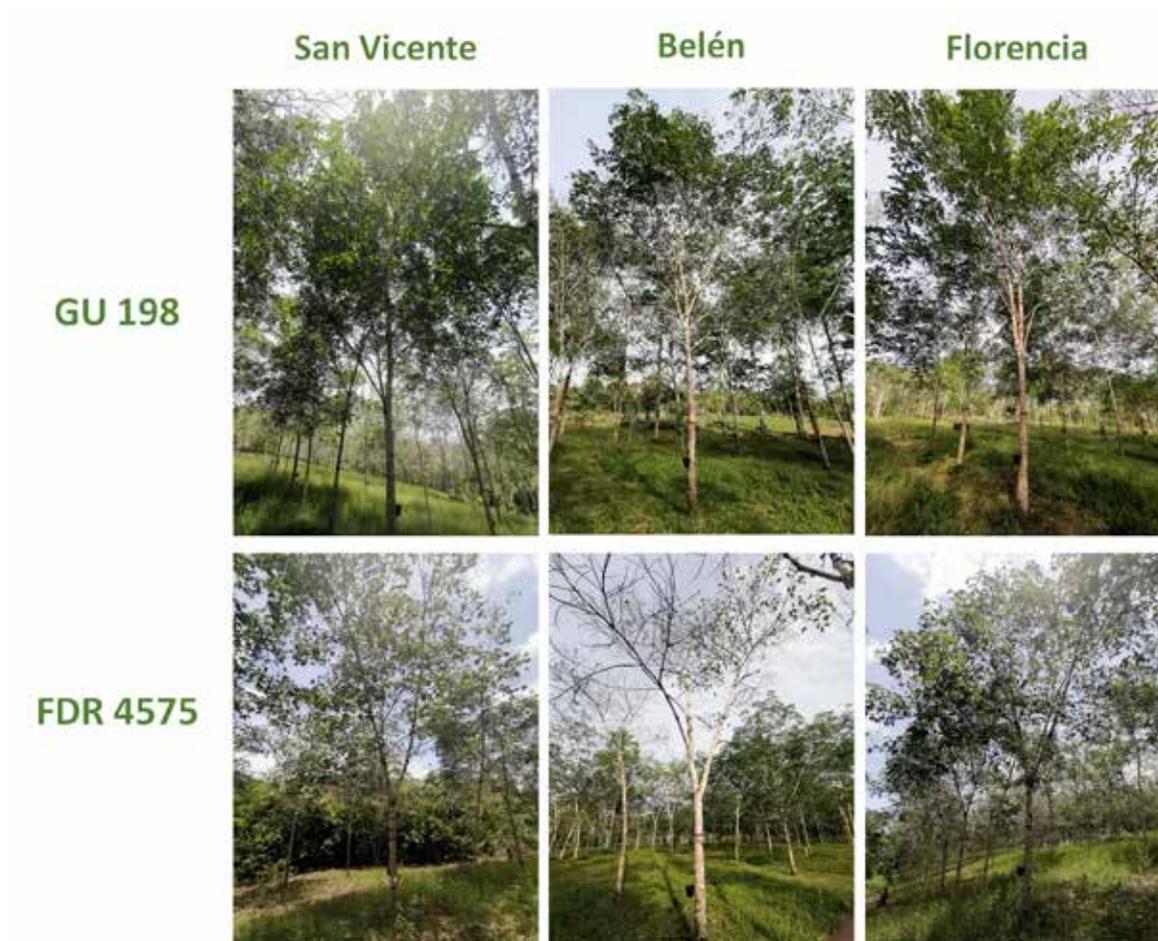


Figura 3.8. Árboles de caucho (*Hevea brasiliensis*) del clon GU 198 (buen desempeño fisiológico) y FDR 4575 (bajo desempeño fisiológico) establecidos en tres municipios de Caquetá (Colombia).

Fuente: Elaboración propia.

Sainoi *et al.* (2017) ha reportado que la producción de caucho está influenciada por diversos factores internos (clon y edad), factores externos (sistema de rayado, estimulación, la profundidad e inclinación de rayado y la profundidad del corte), caracteres anatómicos (diámetro y densidad de vasos laticíferos) y parámetros bioquímicos como la sacarosa requerida para la biosíntesis del látex. Es probable que los clones **FX 3899 PI** y **FDR 4575** tengan características genéticas que generen una mayor producción de látex que no está directamente relacionada con el desempeño fotosintético, sino con otras características fisiológicas que le permiten ser más eficientes en la producción de caucho.

El clon **MDF 180** presentó en los diferentes ambientes (Figura 3.9) altos valores de *E* y *A* (Figura 3.6), pero bajos promedios de crecimiento y producción (ver Figuras 1.7 y 1.9; Capítulo I). Este clon también presentó una menor eficiencia en la producción de biomasa por unidad de agua como lo evidencian los bajos valores de *WUE*.

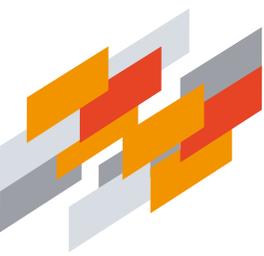




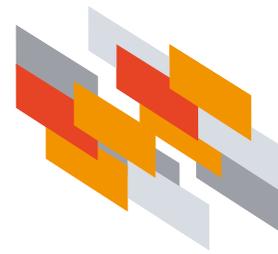
Figura 3.9. Árboles de caucho natural (*Hevea brasiliensis*) del clon MDF 180 que presentan un buen desempeño fisiológico pero bajo rendimiento en la producción de látex, establecido en tres municipios de Caquetá (Colombia).

Fuente: Elaboración propia.

Según Silva *et al.* (2012), mayores tasas transpiratorias (E) implicarán mayor pérdida de agua y por tanto, habrá un menor uso eficiente del agua (WUE) y menores índices de producción. En el proceso de sangría, los árboles de caucho utilizan más recursos como el agua y el carbono, lo que podría reducir el crecimiento (Kunjet *et al.*, 2013). En este sentido, el estado hídrico de la planta y el suelo pueden afectar directamente la producción del látex. Según Carr (2012), bajo condiciones de estrés hídrico, disminuye la conductancia estomática, y se limita la fotosíntesis y la transpiración. La producción de caucho se afecta por un bajo rendimiento de caucho seco asociado con un alto índice de taponamiento y una baja tasa de flujo inicial de látex en la estación seca.

En contraste, otros clones como **GU 198** y **FDR 5597** registraron valores altos de tasa fotosintética (A), crecimiento y producción, que coincidió con un alto desempeño fisiológico similar a lo reportado durante la fase improductiva (Sterling and Rodríguez, 2019). Este comportamiento también se ha evidenciado en clones como RRIM 600 en Tailandia en el que la sangría estimula una alta producción de caucho y una mayor disponibilidad de carbohidratos (Chantuma *et al.*, 2009; Silpi *et al.*, 2007).

En general, los clones evaluados en el presente estudio presentaron en etapa temprana un mejor desempeño fisiológico que lo observado en la etapa improductiva (Sterling and Rodríguez, 2019), similar a lo reportado en otros estudios con clones de origen asiático. Gunasekara *et al.* (2007) reportaron variaciones significativas en diversos parámetros agronómicos en los clones RRISL 211 y RRIC 121 en árboles con y sin sangría. El tratamiento con sangría incrementó los valores de A_{max, g_s} y LCP , y la sangría se incrementó en un 6%, mientras que la circunferencia del tronco disminuyó en los dos genotipos con la sangría. Krissada Sangsing *et al.* (2004) indican que son pocos los estudios que integran el análisis fisiológico con los parámetros productivos, lo que resulta fundamental en los programas de mejoramiento genético para la selección de genotipos con caracteres agronómicos deseables para el productor.





CONSIDERACIONES FINALES

San Vicente del Caguán fue la localidad donde los clones presentaron en general, un mejor desempeño fisiológico. Asimismo, los clones GU 198 y FDR 5597 presentaron un mayor desempeño fisiológico, y los clones FX 3899 PI y FDR 4575 en contraste, tuvieron el menor desempeño. Los clones GU 198 y FDR 5597 presentaron índices fisiológicos sobresalientes superiores al clon IAN 873 (testigo) que coinciden con el buen desempeño productivo reportado para los mismos clones. En general, el desempeño fisiológico observado en todos los clones durante la etapa temprana de sangría fue superior al reportado en la fase improductiva del cultivo en condiciones del departamento del Caquetá.

Es importante aclarar que este estudio representa un aproximación inicial importante sobre el comportamiento fisiológico de cada clon en fase de sangría temprana, por lo que el seguimiento fisiológico debe ser afin con el monitoreo productivo y no debe ser inferior a un periodo de 4-5 años antes de ofrecer una recomendación final al nivel del productor.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahmad, B., Idris, H., Sulong, S.H., 2009. Early Selection of Promising High Yielding *Hevea* Progenies based on Selected Physiological and. *J. Rubber Res.* 12, 140–150.
- Carr, M.K. V., 2012. the Water Relations of Rubber (*Hevea Brasiliensis*): a Review. *Exp. Agric.* 48, 176–193. <https://doi.org/10.1017/S0014479711000901>
- Chantuma, P., Lacoite, A., Kasemsap, P., Thanisawanyangkura, S., Gohet, E., Clment, A., Guillot, A., Amglio, T., Thaler, P., 2009. Carbohydrate storage in wood and bark of rubber trees submitted to different level of C demand induced by latex tapping. *Tree Physiol.* 29, 1021–1031. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpp043>
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W., 2017. InfoStat versión (2017).
- dos Santos, C.M., Verissimo, V., Wanderley Filho, H.C. de L., Ferreira, V.M., Cavalcante, P.G. da S., Rolim, E.V., Endres, L., 2013. Seasonal variations of photosynthesis, gas exchange, quantum efficiency of photosystem II and biochemical responses of *Jatropha curcas* L. grown in semi-humid and semi-arid areas subject to water stress. *Ind. Crops Prod.* 41, 203–213. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.04.003>
- Fischer, G., Almanza-Merchán, P.J., Ramírez, F., 2013. Source-sink relationships in fruit species: A review. *Rev. Colomb. Ciencias Hortícolas* 6, 238–253. <https://doi.org/10.17584/rcch.2012v6i2.1980>
- Gonçalves, P. d. S., Ortolani, A.A.E., Cardoso, M., 1997. Melhoramento genético da seringueira: uma revisão. Instituto Agronômico IAC, Campinas, Brasil.
- Guan, K., Pan, M., Li, H., Wolf, A., Wu, J., Medvigy, D., Caylor, K.K., Sheffield, J., Wood, E.F., Malhi, Y., Liang, M., Kimball, J.S., Saleska, S.R., Berry, J., Joiner, J., Lyapustin, A.I., 2015. Photosynthetic seasonality of global tropical forests constrained by hydroclimate. *Nat. Geosci.* 8, 284–289. <https://doi.org/10.1038/ngeo2382>
- Gunasekara, H.K.L.K., De Costa, W.A.J.M., Nugawela, E.A., 2007. Genotypic variation in canopy photosynthesis, leaf gas exchange characteristics and their response to tapping in rubber (*Hevea brasiliensis*). *Exp. Agric.* 43, 223–239. <https://doi.org/10.1017/S0014479706004583>
- Gunasekera, H.K.L.K., Costa, W.A.J.M., Nugawela, E.A., 2013. Canopy Photosynthetic Capacity and Light Response Parameters of Rubber *Hevea brasiliensis* with. *Current Agriculture Research Journal*, 1(1), 1–12.
- Hallé, F., Oldeman, R., Tomlinson, P.B., 1978. Tropical trees and forest. Springer, Berlin, DE.
- Holá, D., Benešová, M., Honnerová, J., Hnilička, F., Rothová, O., Kočová, M., Hniličková, H., 2010. The evaluation of photosynthetic parameters in maize inbred lines subjected to water deficiency: Can these parameters be used for the prediction of performance of hybrid progeny? *Photosynthetica* 48, 545–558. <https://doi.org/10.1007/s11099-010-0072-x>
- Kunjet, S., Thaler, P., Gay, F., Chuntuma, P., Sangkhasila, K., Kasemsap, P., 2013. Effects of drought and tapping for latex production on water relations of *Hevea brasiliensis* trees. *Kasetsart J.–Nat. Sci.* 47, 506–515.
- Li, M., Hoch, G., Körner, C., 2002. Source/sink removal affects mobile carbohydrates in *Pinus cembra* at the Swiss treeline. *Trees–Struct. Funct.* 16, 331–337. <https://doi.org/10.1007/s00468-002-0172-8>
- MADR (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural). 2018. Cadena de caucho natural. Indicadores e instrumentos. Bogotá. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Caucho/Documentos/2018-08-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf> (consultado en agosto 2018).

- Morandi, B., Losciale, P., Manfrini, L., Zibordi, M., Anconelli, S., Pierpaoli, E., Corelli Grappadelli, L., 2014. Leaf gas exchanges and water relations affect the daily patterns of fruit growth and vascular flows in Abbé Fénel pear (*Pyrus communis* L.) trees. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 178, 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.08.009>
- Nataraja, K.N., Jacob, J., 1999. Clonal differences in photosynthesis in *Hevea brasiliensis* Mull. Arg. *Photosynthetica*.
- Nugawela, A., Aluthewage, R.K., 1985. Gas exchange parameters for early selection of *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. *J. Rubber Res. Inst. Sri Lanka* 64, 13–19.
- Nugawela, A., Long, S.P., Aluthewage, R.K., 1995. Genotypic variation in non-steady state photosynthetic carbon dioxide assimilation of *Hevea brasiliensis*. *J. Rubber Res. Inst. Sri Lanka* 10, 266–275.
- Nunes, S., Santos, C., Moutinho-Pereira, J., Correia, C., Oliveira, H., Ferreira de Oliveira, J.M., Pereira, V.T., Almeida, T., Marum, L., Dias, M.C., 2016. Physiological characterization and true-to-typeness evaluation of in vitro and ex vitro seedlings of *Pinus elliottii*: A contribution to breeding programs. *Plant Physiol. Biochem.* 107, 222–227. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.05.039>
- Pethin, D., Nakkanong, K., Nualsri, C., 2015. Performance and genetic assessment of rubber tree clones in Southern Thailand. *Sci. Agric.* 72, 306–313. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0354>
- Priyadarshan, P.M., 2017. *Biology of Hevea Rubber*, 1st ed. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-54506-6>
- Priyadarshan, P.M., Gonçalves, P.S., Omokhafa, K.O., 2009. Breeding *Hevea* rubber. *Breed. Plant. Tree Crop. Trop. Species* 469–522. https://doi.org/10.1007/978-0-387-71201-7_13
- Ramírez, U., Charry, A., Jäger, M., Hurtado, J.J., Rosas, G., Sterling, A., Romero, M., Sierra, L., Quintero, M., 2018. Estrategia Sectorial de la Cadena de Caucho en Caquetá, con Enfoque Agroambiental y Cero Deforestación. Publicación CIAT No. 451. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 82 p.
- Rivano, F., Mattos, C.R.R., Cardoso, S.E.A., Martinez, M., Cevallos, V., Le Guen, V., Garcia, D., 2013. Breeding *Hevea brasiliensis* for yield, growth and SALB resistance for high disease environments. *Ind. Crops Prod.* 44, 659–670. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.09.005>
- Sainoi, T., Sdoodee, S., Lacote, R., Gohet, E., Chantuma, P., 2017. Stimulation affecting latex physiology and yield under low frequency tapping of rubber (*Hevea brasiliensis*) clone RRIM 600 in southern Thailand. *Aust. J. Crop Sci.* 11, 220–227. <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.02.p305>
- Sangsing, K., Kasemsap, P., Thanisawanyangkura, S., Sangkhasila, K., Gohet, E., Thaler, P., Cochard, H., 2004. Xylem embolism and stomatal regulation in two rubber clones (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). *Trees-Struct. Funct.* 18, 109–114. <https://doi.org/10.1007/s00468-003-0286-7>
- Silpi, U., Lacoïnte, A., Kasemsap, P., Thanisawanyangkura, S., Chantuma, P., Gohet, E., Musigamart, N., Clément, A., Améglio, T., Thaler, P., 2007. Carbohydrate reserves as a competing sink: Evidence from tapping rubber trees. *Tree Physiol.* 27, 881–889. <https://doi.org/10.1093/treephys/27.6.881>
- Silpi, U., Thaler, P., Kasemsap, P., Lacoïnte, A., Chantuma, A., Adam, B., Gohet, E., Améglio, T., 2006. Effect of tapping activity on the dynamics of radial growth of *Hevea brasiliensis* trees. *Tree Physiol.* 26, 1579–1587.

- Silva, J.Q., Scaloppi Júnior, E.J., Moreno, R.M.B., de Souza, G.B., Gonçalves, P. de S., Filho, J.A.S., 2012. Producción y propiedades químicas del caucho en clones de *Hevea* según los estados fenológicos. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 47, 1066–1076. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000800006>
- Sterling, A., Hernando, C., León, R., Cuéllar, 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, Primera ed. ed. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas- SINCHI.
- Sterling, A., Rodríguez, C.H., 2019. Valoración y análisis de la biodiversidad y servicios ecosistémicos asociados a campos clonales de caucho en Caquetá, Amazonia colombiana. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A., 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.
- Wu, C., Lan, L., Li, Y., Nie, Z., Zeng, R., 2018. The relationship between latex metabolism gene expression with rubber yield and related traits in *Hevea brasiliensis*. *BMC Genomics* 1–18. <https://doi.org/10.1186/s12864-018-5242-4>



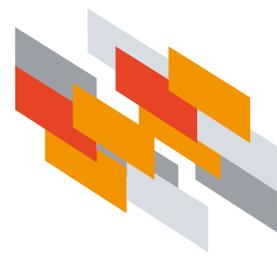
CAPÍTULO 4

Enfermedades del panel de sangría en diferentes clones de caucho (*Hevea brasiliensis*) en campos clonales a pequeña y gran escala en el departamento del Caquetá



Armando Sterling Cuéllar^{1*}, Jesica Andrea Fonseca-Restrepo², Lyda Constanza Galindo-Rodríguez^{2,3}, Juan Diego Hoyos-Duarte², Luis Carlos Loaiza-Molina², Yeny Rocio Virgues-Diaz², Gina Quiroga-Chitiva², Norma Bonilla-Rios³

- 1 Investigador Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Sede Florencia
 - 2 Co-investigador del proyecto – Convenio 59-2013 – Gobernación del Caquetá – Instituto Sinchi
 - 3 Docente Investigadora Programa de Biología- Facultad de Ciencias Básicas–Universidad de la Amazonia
- * Autor para correspondencia: asterling@sinchi.org.co



INTRODUCCIÓN

El cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) es susceptible a diferentes enfermedades de origen fúngico (Gasparotto et al., 2012; Jaimes y Rojas, 2011; Sterling y Rodríguez, 2018), manifestándose en distintas escalas de desarrollo (Rangel et al., 2014) y afectando cada uno de los órganos de la planta como raíz, tallo y hojas. Independientemente de la parte afectada, las enfermedades originadas por hongos, causan pérdidas considerables en la producción (Gasparotto et al., 2012; Jaimes y Rojas, 2011).

En el tronco, el panel de sangría también puede presentar ataques por hongos, lo que ocasiona daños que inciden directamente sobre la extracción del látex (Gijón et al., 2017). Durante este proceso, se abre una herida en el tronco, lo que favorece la colonización por hongos fitopatógenos que afectan los vasos laticíferos, disminuyendo la capacidad de cicatrización y la normal recuperación de la corteza (ASOHECA, 1998). En este sentido, para mantener la productividad del cultivo es indispensable implementar estrategias que ayuden a mantener el tronco y especialmente el panel libre de enfermedades (Gasparotto et al., 1997).

Como principales enfermedades del panel de sangría se reportan: mal del machete o moho ceniciento del panel (*Ceratocystis fimbriata*), raya negra o chancro estriado (*Phytophthora* spp.), fusariosis del árbol de caucho (*Fusarium* spp.), mal rosado o rubeola (*Erytricum salmnicolor*) y antracnosis del panel de sangría (*Colletotrichum* spp.) (Alarcón et al., 2012; Gasparotto et al., 2016, 2012).

En estudios anteriores, el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas–SINCHI ha realizado investigaciones sobre diferentes problemas fitosanitarios presentes en materiales genéticos de *H. brasiliensis* (genotipos élite de origen franco y clones introducidos) durante la fase de crecimiento del cultivo, determinando que las enfermedades que afectan el cultivo del caucho se presentan principalmente en las hojas y en el panel de sangría (Sterling y Rodríguez, 2011, 2018, 2012).

Recientemente se viene realizando en estos materiales genéticos la evaluación preliminar de las principales enfermedades asociadas al panel en las fases de sangría temprana en clones dispuestos presentes en campos clonales a gran escala (CCGE) y en genotipos caquetenses en fase de micro-sangría en campo clonal a pequeña escala (CCPE) con el fin de identificar determinar la susceptibilidad de estos materiales a los principales agentes causales de enfermedades en panel de sangría.

En el presente capítulo, se presentan los resultados de la evaluación inicial de las principales enfermedades asociadas al panel de sangría en nueve clones de caucho introducidos y 99 genotipos caquetenses frente al clon testigo IAN 873 en tres campos clonales a gran escala y un campo clonal a pequeña escala, respectivamente, en el departamento del Caquetá (Colombia).

PRINCIPALES ENFERMEDADES ASOCIADAS AL PANEL DE SANGRÍA

■ Moho ceniciento (*Ceratocystis fimbriata* Ellis & Halsted)

Ceratocystis fimbriata es un hongo con gran distribución a nivel mundial que causa marchitamiento y chancros en muchas especies leñosas (Johnson et al., 2005). En el cultivo de caucho, *C. fimbriata* es el agente etiológico del moho ceniciento o mal del machete, que se desarrolla mediante la colonización de los tejidos conductores de agua y nutrientes de plantas adultas en la región del panel (Gonçalves et al., 2013) (Figura 4.1).



Figura 4.1. Moho ceniciento causado por *Ceratocystis fimbriata*, con presencia de micelio blanco.

Fuente: Gasparotto et al. (2012)

El inicio de la enfermedad se observa con la aparición de puntos marrón claro acuosos, colonizados por micelio blanco en los bordes del panel de sangría, después de tres a cuatro días las puntuaciones recubiertas con micelio blanco se tornan de color gris, las áreas lesionadas se conectan aumentando el tamaño sobre el tejido de la corteza afectada (Gasparotto et al., 2016)(Figura 4.1).

▀ Raya negra o chancro estriado (*Phytophthora* spp.)

El Chancro estriado producido por *Phytophthora* spp, es considerado como uno de los principales problemas fitosanitarios que afecta el desarrollo y producción del cultivo de caucho (Luadir Gasparotto et al., 2012a; Marques et al., 2016; Oliveira, 2014). Dentro de las especies relacionadas con la enfermedad se encuentran *Phytophthora capsici*, *P. palmivora* y *P. citrophthora* (Cerqueira et al., 2011; Ekchaweng et al., 2017).

En condiciones favorables la enfermedad se genera en los surcos del sangrado y en grietas de la corteza, manifestándose lesiones necróticas y áreas de coloración marrón claro, seguido del descenso de la corteza regeneradora, a medida que avanza la enfermedad se forman estrías longitudinales oscuras, estrechas y paralelas a los tejidos lesionados, algunas de estas lesiones se visualizan después de raspar los tejidos superficiales con la ayuda de una herramienta de corte (Gasparotto et al., 2016; Gijón et al., 2017) (Figura 4.2).

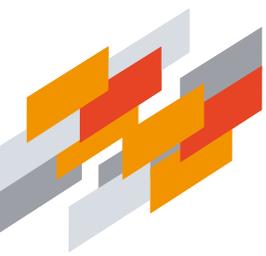


Figura 4.2. Raya negra o chancro estriado en panel de sangría, causado por *Phytophthora* spp.

Fuente: Gasparotto et al. (2012)

▀ Fusariosis del árbol de caucho (*Fusarium* spp.)

Fusariosis es una de las enfermedades con mayor interés en los hevecultores, debido a la afectación que se genera en el panel de sangría interfiriendo directamente en la producción de látex, producto de la aparición de *Fusarium* spp. (Gonçalves et al., 2013; Pizetta, 2018). En la Amazonía se ha reportado las especies *Fusarium oxysporum*, *F. incarnatum*, *F. verticiloides*, *F. moniliforme* y *F. decemcellulare* como agentes generadoras de la enfermedad (Benedicte, 2012; Pizetta et al., 2017).



Los síntomas de Fusariosis varían entre especies. Sin embargo, la aparición de rajaduras o grietas verticales en la corteza seguido de necrosis es característica de la enfermedad (Pizetta, 2018). Las grietas se ubican por debajo del tablero de rayado, causando el secado alrededor de la lesión, con el tiempo, esta lesión aumenta de tamaño y la corteza se desprende, imposibilitando el rayado (Benedicte, 2012; Gijón et al., 2017) (Figura 4.3).

■ Mal rosado o rubeola (*Erytricum salmnicolor* (Berk. Et Br.) Burds)

La rubeola es causada por *Erytricum salmnicolor* (sinónimos: *Phanerochaete salmonicolor*, *Corticium salmonicolor* y *Pellicularia salmonicolor*, que, además del árbol de caucho, afecta decenas de especies de plantas cultivadas (Rodríguez, 1983). Esta enfermedad afecta principalmente árboles de caucho con tres u ocho años de edad, atacando ramas, tronco principal y bifurcaciones de las ramas (Wastie, 1975).



Figura 4.3. Fusariosis del árbol de caucho generado por *Fusarium* spp.

Fuente: Benedicte (2012)

Los primeros síntomas de ataque son exudaciones de látex en las axilas de las ramas o en los puntos de inserción de estas con el tronco. Luego, sobre las ramas afectadas se observan abanicos de micelio resupinado y blanquecino del hongo que las cubren parcial o totalmente. En un estado posterior, en numerosos puntos del área cubiertos por micelio, surgen masas de estructuras del hongo de color rosado claro y de reducido diámetro (estadio de pústulas) (Luadir Gasparotto et al., 2012b). El área afectada es recubierta por un denso micelio de color rosa o salmón (estadio teleomorfo o de *Erythricium*) (Figura 4.4).





Figura 4.4. Porción de rama de caucho recubierto por estructuras de *Erytricum salmnicolor*, agente etiológico de rubeola.

Fuente: Gasparotto et al. (2012)

Antracnosis del panel de sangría (*Colletotrichum* spp.)

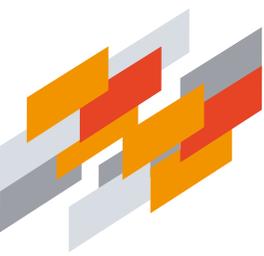
El género *Colletotrichum* comprende una amplia gama de patógenos en plantas de gran importancia a nivel mundial (Liu et al., 2016; Than et al., 2008). En el cultivo de caucho (*H. brasiliensis*), la antracnosis es una enfermedad destructiva causada por un complejo de especies de *Colletotrichum* spp. que causa grandes pérdidas en la producción de látex (Carneiro et al., 2017; Gonçalves et al., 2002).

La antracnosis en panel de sangría presenta síntomas como lesiones secas, con forma elíptica, localizadas por encima del corte de sangrado, también se puede observar tejidos encharcados y de coloración oscura en la región del cambium, acompañados de estrías longitudinales en la corteza del panel (Gasparotto et al., 2016). Los signos de *Colletotrichum* spp. se logran evidenciar en la esporulación que se genera en el exudado de látex adherido a la canaleta de sangría (Luadir Gasparotto et al., 2012b) (Figura 4.5).



Figura 4.5. Panel de sangría afectado por *Colletotrichum* spp. agente etiológico de la antracnosis.

Fuente: Gasparotto et al. (2012)



Área de estudio

El estudio se realizó en tres experimentos denominados Campos Clonales a Gran Escala (CCGE) presentes en los municipios de Florencia, Belén de los Andaquíes y San Vicente del Caguán (ver Figura 1.1; Capítulo 1), y en un experimento denominado Campo Clonal a Pequeña Escala (CCPE) localizado en el municipio de El Paujil (ver Figura 2.1; Capítulo 2), en el departamento del Caquetá (Colombia).

Material vegetal y diseño experimental

Se estudiaron nueve clones de caucho promisorios de origen americano (CDC 312, FDR 5597, GU 198, FDR 4575, FDR 5788, CDC 56, FX 4098, FX 3899 PI y MDF 180) en fase de sangría temprana (ver Tabla 1.1; Capítulo 1) y 78 genotipos caquetenses de caucho de la serie ECC-200 (Élite Caquetá Colombia) en fase de microsangría (ver Tabla 2.1; Capítulo 2), en ambos casos, comparados con el clon testigo IAN 873.

Cada uno de los CCGE correspondió a un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, 10 tratamientos (clones) por bloque y 60 árboles (unidad experimental) por tratamiento (ver Figuras 1.2, 1.3 y 1.4; Capítulo 1). El CCPE correspondió a un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, 100 tratamientos (genotipos) por bloque y 12 árboles (unidad experimental) por tratamiento (ver Figura 2.1; Capítulo 2).

Manejo técnico fitosanitario

Se empleó un manejo fitosanitario preventivo en los paneles de sangría utilizando el fungicida Ridomil Gold® (25 g. l⁻¹ de agua). Se empleó también en los paneles de sangría óxido de hierro como una barrera protectora para evitar la germinación y penetración de las estructuras infecciosas de los hongos. La aplicación de los productos se efectuó de forma manual empleando una brocha para lograr mayor humectación. Las aplicaciones se realizaron una vez cada cuatro sangrías, y en período lluvioso se realizaron cada dos sangrías.

Evaluación de las principales enfermedades asociadas al tronco

La incidencia de las enfermedades del panel de sangría se estimó con la siguiente ecuación:

$$I (\%) = (N_i / N_t) \times 100$$

Donde, N_i corresponde al número de individuos del genotipo con síntomas de la enfermedad y N_t representa el número total de individuos evaluados pertenecientes al genotipo.

En los CCGEs se seleccionaron 10 árboles en fase de sangría temprana de cada uno de los 9 clones y el testigo IAN 873 y en el CCPE se eligieron cuatro árboles en fase de microsangría de cada uno de los 78 genotipos seleccionados y el testigo IAN 873.

▀ Caracterización morfológica de hongos patógenos presentes en el panel de sangría

Con el fin de confirmar la información reportada durante las evaluaciones de campo, en el Laboratorio de Fitopatología del Instituto SINCHI localizado en Florencia, Caquetá, se realizó la caracterización macro y micro-morfológica de hongos patógenos asociados a lesiones presentes en el panel de sangría.

Se recolectaron en campo fragmentos de la corteza del panel de sangría con diversas lesiones probablemente asociadas a hongos patógenos, se rotularon, se empacaron en bolsas de papel Kraft y en bolsas plásticas transparentes de cierre hermético y se transportaron en neveras de icopor hasta el laboratorio. Las muestras se desinfectaron con solución de etanol al 96% durante 1 minuto, hipoclorito de sodio al 1% por 2 minutos y lavado con agua destilada estéril (Gonçalves *et al.*, 2013). El manejo microbiológico de las muestras consistió en identificar bajo el estereoscopio lesiones libres de agentes contaminantes con el fin para transferir las esporas de los hongos patógenos con asa microbiológica esterilizada desde el fragmento de la corteza hasta cajas de Petri con medio de cultivo PDA (Papa Dextrosa Agar) (39 g l⁻¹) (Figura 4.6).



Figura 4.6. Caracterización morfológica de aislamientos en el laboratorio de Fitopatología Instituto SINCHI. **A.** Descripción macroscópica de cultivos. **B.** Descripción e identificación microscópica de los aislamientos.

Fuente: elaboración propia

Luego, las muestras se incubaron en cámara de crecimiento a 24° C, humedad relativa del 87% y fotoperiodo 12 h luz/ 12 h oscuridad por 15 días. Con la ayuda de un estereoscopio se describieron las características macro-morfológicas de cada cultivo (Figura 4.6A), con el microscopio óptico se describieron las características microscópicas y con la ayuda de claves taxonómicas se realizó la identificación de los hongos patógenos presentes en los aislamientos realizados (Figura 4.6B).

▀ Análisis de la información

La incidencia de las enfermedades registradas en campo y confirmadas en laboratorio se analizaron mediante una ANOVA con el fin de determinar la variación entre localidades, entre clones y sus interacciones. Una prueba LSD de Fisher al 5% de significancia permitió contrastar la diferencia entre los valores promedios de estas variables. En el caso de los genotipos caquetenses fue necesario un análisis de conglomerados con el fin de obtener grupos de genotipos similares de acuerdo con el análisis conjunto de estas variables. Todas las pruebas estadísticas se realizaron en el programa InfoStat versión 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Reconocimiento en campo de las principales enfermedades asociadas a los paneles de sangría

En el presente estudio se reconocieron en campo tres enfermedades asociadas a los paneles de sangría: raya negra (RN) (*Phytophthora* spp.), moho ceniciento (MC) (*Ceratocystis fimbriata*) y antracnosis del panel (AP) (*Colletotrichum* spp.).

La enfermedad raya negra se caracterizó por presentar áreas irregulares surcadas con lesiones necróticas sobre el surco del sangrado, estrías longitudinales oscuras paralelas a los tejidos lesionados y pequeñas exudaciones de látex de coloración clara y ennegrecida (Figura 4.7). Las características reportadas coinciden con Santos y Pereira (1989) y Gasparotto et al. (2016), quienes describen que en el progreso de la enfermedad se forman estrías longitudinales, estrechas, oscuras y paralelas a los tejidos lesionados, lesiones que se extienden de la superficie externa de la corteza en regeneración hasta las células del cambium. En relación con el moho ceniciento, se observaron puntuaciones recubiertas con micelio blanco que se tornaron de color gris sobre el panel de sangría (Figura 4.8), características que coinciden con Gasparotto et al. (2012).



Figura 4.7. Lesiones necróticas negras sobre el surco del sangrado producido por *Phytophthora* spp. agente etiológico de la raya negra en panel de sangría.

Fuente: elaboración propia

Para la antracnosis en el panel de sangría, se observaron lesiones con estrías longitudinales en la corteza del panel, lesiones secas ubicadas por encima del corte del sangrado y esporulación característica de los signos generados por *Colletotrichum* spp. (Figura 4.9). Lo anterior coincide con lo reportado por Gasparotto et al. (2012), quienes reportan síntomas característicos de la antracnosis en el panel de sangría.



Figura 4.8. Lesiones recubiertas con micelio blanco que se tornaron de color gris sobre el panel de sangría producidas por *Ceratocystis fimbriata* agente etiológico del moho ceniciento.

Fuente: elaboración propia



Figura 4.9. Panel de sangría con lesiones elíptico verticales producidas por *Colletotrichum* spp. agente etiológico de la antracnosis.

Fuente: elaboración propia



▀ Caracterización en laboratorio de los agentes causales de las enfermedades identificadas en campo

En el laboratorio de Fitopatología del Instituto SINCHI en Florencia, se identificaron estructuras macroscópicas y microscópicas características de los hongos *Colletotrichum* spp. (antracnosis del panel), *Phytophthora* spp. (raya negra) y *C. fimbriata* (moho ceniciento).

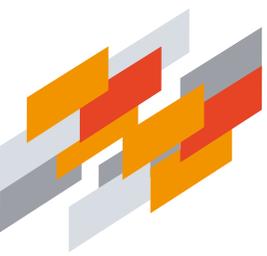
Los aislamientos de *Colletotrichum* spp. presentaron un micelio aéreo abundante, con borde uniforme, textura algodonosa, color blanco y gris oscuro (Figura 4.10A). En el interior de la colonia se encontraron masas circulares brillantes de color naranja (Figura 4.10B). A nivel microscópico se logró identificar conidios cilíndricos redondeados, apresorios, hifas y masa conidial que se desarrollaron a partir de un conidioma (Figuras 4.10C y D).



Figura 4.10. Morfología de los aislamientos de *Colletotrichum* spp. **A.** Crecimiento de la colonia en medio PDA. **B.** Masa conidial de color naranja. **C.** Conidios cilíndricos. **D.** Apresorio.

Fuente: Elaboración propia

Las características morfológicas registradas en los aislamientos de *Colletotrichum* spp. coinciden con lo reportado por Sierra (2010), quien caracterizó aislamientos de *Colletotrichum* spp. tomados de hojas, peciolo y panel de sangría del árbol de caucho en Sao Paulo-Brasil, encontrando colonias con coloración gris anaranjado, acompañados por una masa de esporas color naranja, características de *Colletotrichum gloeosporioides*.



Sutton (1992) describió *Colletotrichum gloeosporioides* y *Colletotrichum acutatum* como colonias morfológicamente variables, con coloración blanca que se vuelven gris oscuro y masas de color rosa a naranja donde se forman los conidios. Para *C. acutatum* encontró conidios fusiformes con ápice cónico y en el caso de *C. gloeosporioides* conidios en forma cilíndrica con ápice redondeado. Esta descripción es similar a la coloración de la colonia y la forma de los conidios obtenidos en el presente estudio lo que indicaría la presencia de *C. gloeosporioides*.

Los aislamientos de *Phytophthora* spp., desarrollaron colonias con un crecimiento estrellado de coloración oscura, seguido por un crecimiento algodonoso de color blanco (Figura 4.11A). El micelio fue cenocítico, ramificado, con presencia de esporangios ovoides, elipsoidales y distorcidos (Figuras 4.11B-E).

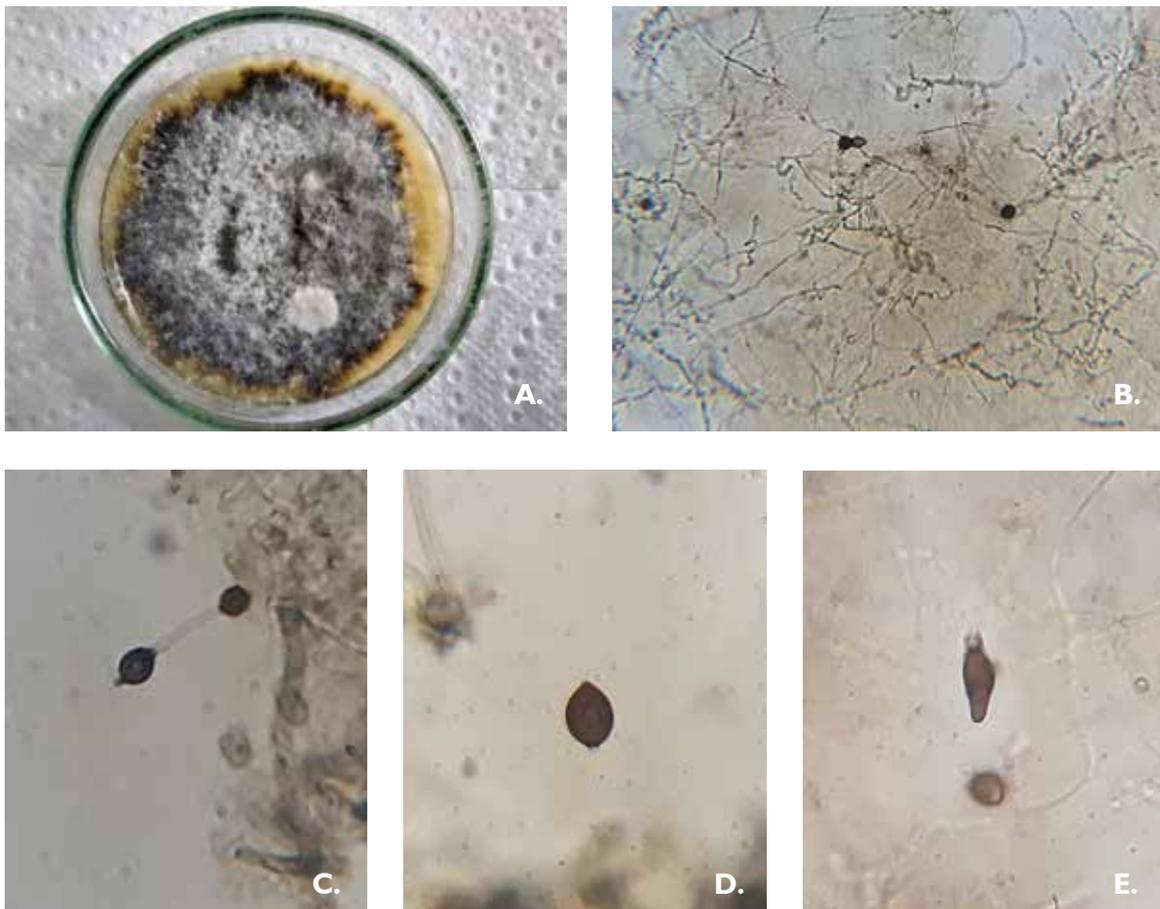


Figura 4.11. Morfología de los aislamientos de *Phytophthora* spp. **A.** crecimiento de la colonia en medio PDA. **B.** Micelio ramificado. **C.** Esporangio elipsoidal. **D.** Esporangio ovoide. **E.** Esporangio Distorcido.

Fuente: Elaboración propia



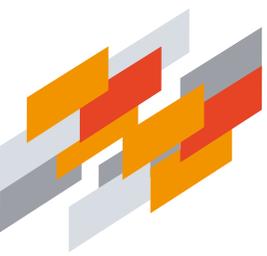
De acuerdo con Aristizábal y Torres (2015), *Phytophthora* spp. presenta crecimiento algodonoso no muy elevado, con circunferencias concéntricas que a medida que madura son menos visibles hasta que la colonia queda algodonosa sin evidencia de circunferencia. Krishnan *et al.* (2018), describieron las especies de *Phytophthora* spp. con hifas cenocíticas aseptadas, esporangióforo ramificado de forma simpodial y esporangios con amplia variedad de formas. Estas características macro y micro-morfológicas son similares a las reportadas en la presente investigación.

Los aislamientos de *C. fimbriata* presentaron colonias con un micelio aéreo y algodonoso, con coloración blanca y rosado claro en el anverso (Figura 4.12A), en el reverso coloración rosa intenso (Figura 4.12B). En las preparaciones microscópicas provenientes de esas colonias se apreció abundante micelio oliváceo, gran número de conidióforos con abundantes cadenas de endoconidias (Figura 4.12C) y algunas clamidosporas de paredes gruesas y de color más oscuro a las endoconidias. (Figura 4.12D. Estas características fueron similares a las reportadas para *C. fimbriata* por Herrera *et al.* (2015) en medios de cultivo PDA.



Figura 4.12. Morfología de los aislamientos de *Ceratocystis fimbriata*. **A.** Crecimiento de la colonia cara anversa en medio PDA. **B.** Crecimiento de la colonia cara reversa en medio PDA. **C.** Endoconidias. **D.** Clamidosporas.

Fuente: Elaboración propia



Principales enfermedades asociadas al panel de sangría en campos clonales a gran escala

En los CCGEs se reportó la presencia de las tres enfermedades antes descritas: raya negra (*Phytophthora* spp.), antracnosis del panel (*Colletotrichum* spp.) y moho ceniciento (*C. fimbriata*). La máxima incidencia de raya negra se presentó en el municipio de Florencia (67,8%), mientras que en San Vicente del Caguán se presentó la menor incidencia (18,69%) (Figura 4.13A). Los clones con mayor incidencia de raya negra (> 39%) fueron CDC 56, CDC 312, GU 198 y FX 4098 a diferencia del clon MDF 180 que fue el menos afectado por la enfermedad (16,84%) (Figura 4.13B). En Florencia los clones más afectados (> 92%) fueron CD 56, CD 312 y FX 3899 PI; en Belén los clones GU 198 y FDR 4575 (> 34%); y en San Vicente del Caguán el clon CDC 56 (40,74%) (Figura 4.13C).

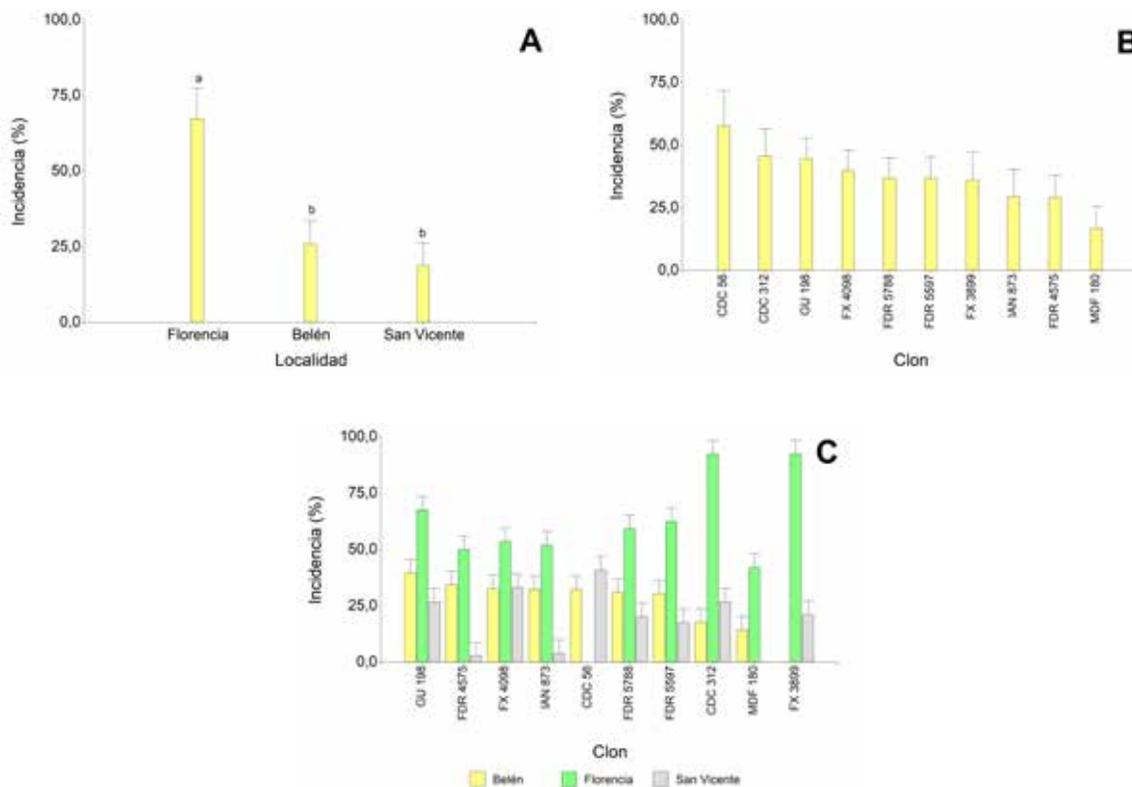


Figura 4.13. Medias de la incidencia (%) de raya negra (*Phytophthora* spp.). **A.** Incidencia por localidad. **B.** Incidencia por clon. **C.** Incidencia de cada clon en cada una de las tres localidades. Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

En relación con la antracnosis del panel, la incidencia de la enfermedad muy baja en las tres localidades (< 8%) siendo muy inferior en Belén de los Andaquíes y San Vicente del Caguán (Figura 4.14A). Entre clones los valores medios de incidencia fueron inferiores al 18%, alcanzando los valores más altos en los clones CDC 312 (17,36%) y MDF 180 (11,11%). No hubo presencia de la enfermedad en los clones FX 3899 PI, FDR 4575, IAN 873 y FDR 5597 (Figura 4.14B). En Florencia, el clon CDC 312 presentó la mayor incidencia (50%), en Belén de los Andaquíes el CDC 56 (25%) y en San Vicente del Caguán el clon MDF 180 (25%) (Figura 4.14C).

En cuanto al moho ceniciento, en Belén de los Andaquíes se presentó la mayor incidencia (12,31%) en comparación con Florencia y San Vicente del Caguán (Figura 4.15A). El clon más afectado fue el CDC 56 (30,58%) y los clones con menor incidencia (< 1%) fueron GU 198 y MDF 180 (Figura 4.12B). No hubo presencia de la enfermedad en el clon FX 3899 PI. En Florencia, el clon CDC 56 fue el más afectado (50,07%) (Figura 4.15C). En Belén de los Andaquíes CDC 312, FDR 5788 y CDC 56 presentaron la mayor incidencia (>25%). En San Vicente del Caguán el CDC 56 presentó también la mayor incidencia de moho ceniciento (16,66%).

Martinez *et al.* (2010) afirman que la presencia de lluvias continuas con ausencia de un período seco prolongado, aumenta la humedad relativa y esto favorece la aparición y proliferación de las enfermedades ocasionadas por hongos. En este sentido, en los municipios con mayor humedad relativa (Florencia y Belén de los Andaquíes) se evidenciaron los mayores índices de las tres enfermedades registradas.

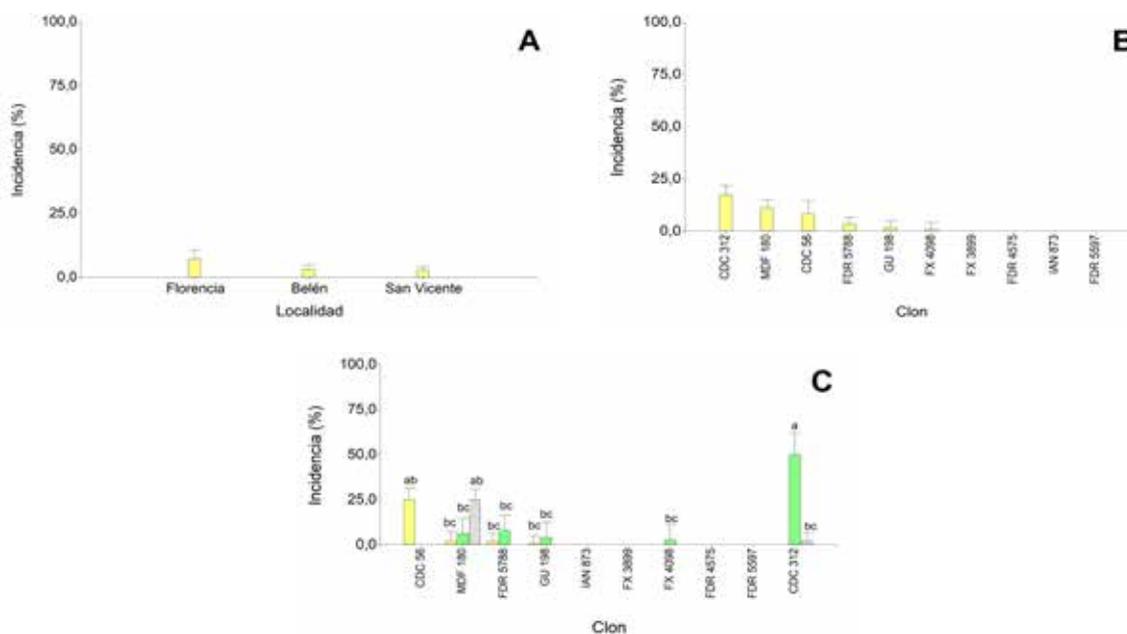
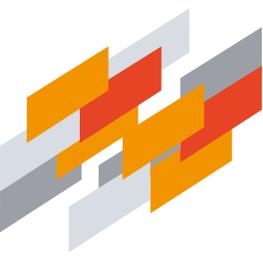


Figura 4.14. Medias de la incidencia (%) de la antracnosis del panel (*Colletotrichum* spp.). **A.** Incidencia por localidad. **B.** Incidencia por clon. **C.** Incidencia de cada clon en cada una de las tres localidades. Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia



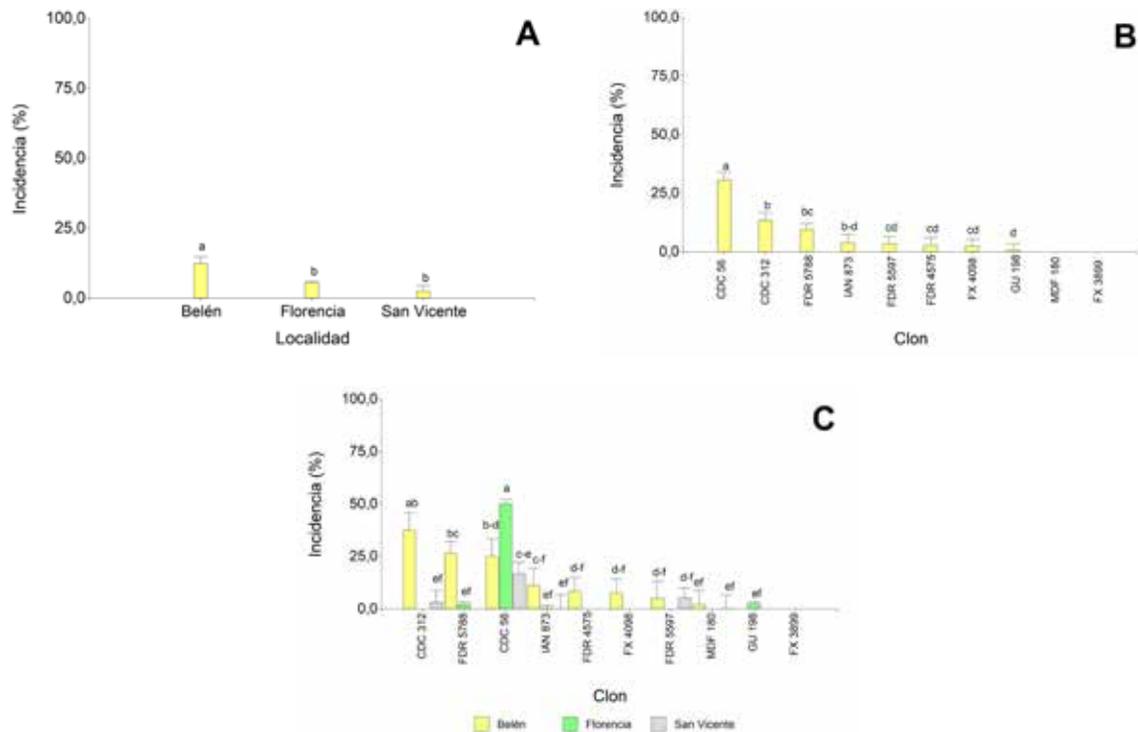


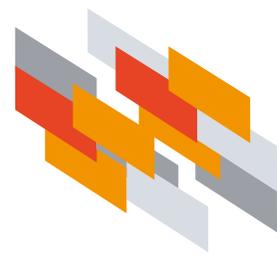
Figura 4.15. Medias de la incidencia (%) de moho ceniciento (*Ceratocystis fimbriata*). **A.** Incidencia por localidad. **B.** Incidencia por clon. **C.** Incidencia de cada clon en cada una de las tres localidades. Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

Según Alarcón *et al.* (2012) estas enfermedades del tronco no sólo afectan el desarrollo de las plantaciones sino que también disminuyen significativamente la producción del látex. Cerqueira *et al.* (2011) afirman, que, aunque no haya condiciones favorables de temperatura y humedad para que ocurran procesos infecciosos exitosos en las hojas de los árboles de caucho, la infección puede concentrarse otras zonas más sensibles de la planta como el panel de sangría o en las plántulas de vivero.

López (1998) reportó la raya negra (*Phytophthora palmivora*) como la enfermedad más predominante en los cultivos de caucho en el departamento del Quindío (Colombia). Del mismo modo, Garzón (2000) destacó la presencia de esta enfermedad en la Amazonia colombiana, y referenció un complejo de especies de *Phytophthora* asociadas a esta patología: *P. cactorum*, *P. palmivora* y *P. citrophthora*. En el presente estudio, raya negra también fue la enfermedad más relevante y su etiología fue descrita como *Phytophthora* spp. por el complejo de especies asociadas a la etiología de la enfermedad

Pereira y Santos (1986) afirman que, en los periodos lluviosos con el descenso de la temperatura, la raya negra puede ocurrir simultáneamente con el moho ceniciento. El moho ceniciento si no se controla apropiadamente progresa hasta causar la muerte del árbol. Las pulverizaciones



con metalaxil – mancozeb y/o cymoxamil – macozeb al 0,348% y 0,640% respectivamente, son métodos de control químico que resultan efectivos. En el presente estudio la incidencia de moho ceniciento fue baja, lo que indica presumiblemente una mayor tolerancia a esta enfermedad, sin embargo, su monitoreo debe ser constante y cuidadoso y debe evaluarse además de la incidencia la severidad de los síntomas producidos para determinar el impacto real de la enfermedad sobre los nuevos clones estudiados.

En relación con la antracnosis del panel, aunque en el presente estudio la incidencia de esta enfermedad fue baja, en países como Brasil esta patología en ausencia de medidas de control han adquirido proporciones epidémicas en muchas plantaciones de caucho en el estado de São Paulo especialmente en plantaciones del clon RRIM 600 (Trindade y Furtado, 1997). Lo que indica que esta enfermedad requiere un monitoreo constante y un manejo preventivo apropiado para evitar este tipo de epidemias.

Resulta relevante también mencionar que en San Vicente del Caguán se presentaron los niveles de incidencia más bajos para las tres enfermedades reportadas. Jaimes y Rojas (2011) mencionan que las precipitaciones abundantes favorecen el desarrollo e incidencia de las enfermedades cuando éstas se acompañan de periodos secos cortos. En contraste, en esta localidad se evidenció un periodo seco prolongado, lo que probablemente generó menos condiciones favorables para el desarrollo de los hongos patógenos y en consecuencia menores índices de incidencia de las tres enfermedades asociadas a los paneles de sangría en los tres CCGE de caucho.

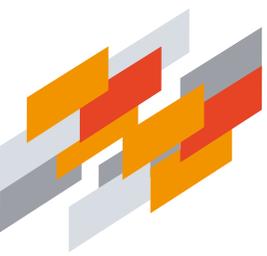
▀ Principales enfermedades asociadas al panel de microsangría en campo clonal a pequeña escala

▀ Análisis de la incidencia de las enfermedades por genotipos

En el CCPE se reportó la presencia de dos enfermedades: raya negra (*Phytophthora* spp.) y antracnosis del panel (*Colletotrichum* spp.) (Figuras 4.7 y 4.9).

Según la figura 4.16, la mayor incidencia de raya negra se presentó en los genotipos caquetenses ECC 140, ECC 150 y ECC 115, todos con 93,75%. Luego, la enfermedad osciló entre 6,25% en el ECC 122 y 87,50% en el ECC 111. Los genotipos ECC 135, ECC 134 y ECC 126 no presentaron incidencia de esta enfermedad.

En cuanto a la antracnosis del panel, la mayor incidencia se registró en los genotipos ECC 107 y ECC 102, ambos con 18,75%. Le siguieron en orden descendente el clon testigo IAN 873 y los genotipos ECC 112, ECC 109, ECC 121, ECC 111 y ECC 106, todos con una incidencia de 12,50%. No se evidenció esta enfermedad en los 60 genotipos restantes (Figura 4.17).



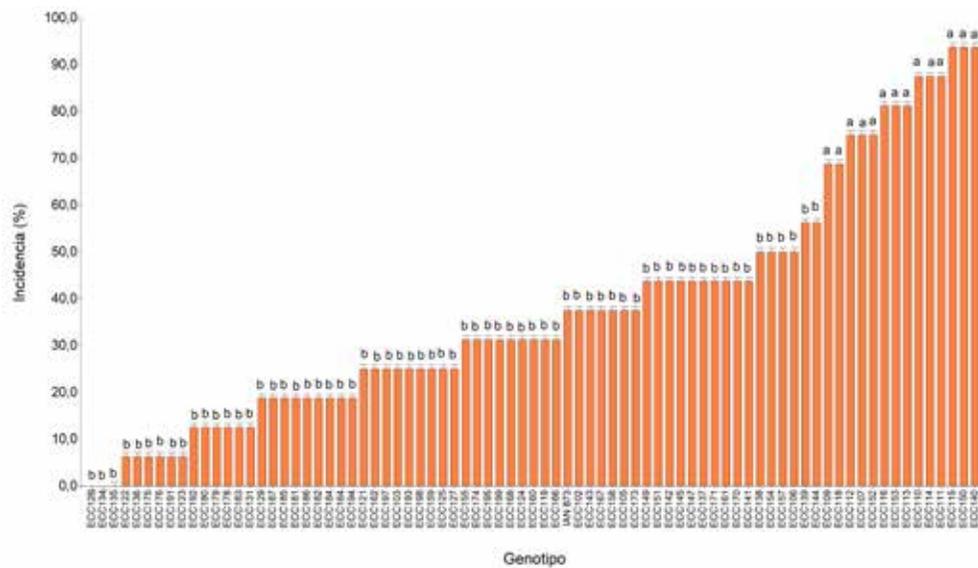
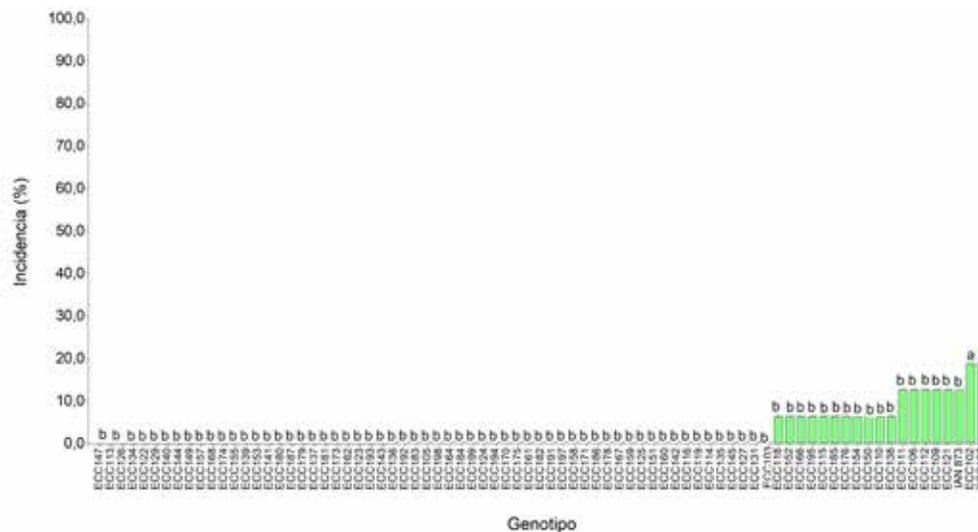


Figura 4.16. Media de la incidencia (%) de raya negra (*Phytophthora* spp.) en 78 genotipos caquetenses y en el clon testigo IAN 873 en un campo clonal a pequeña escala de caucho (*Hevea brasiliensis*) en Caquetá, Colombia. Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia



■ Análisis de la incidencia de las enfermedades por grupos de genotipos

Un análisis de conglomerados realizado a partir de la incidencia conjunta de raya negra (*Phytophthora* spp.) y antracnosis del panel (*Colletotrichum* spp.) sobre los 78 genotipos caquetenses y el clon testigo IAN 873 en fase de microsangría, permitió identificar cinco grupos de genotipos con diferentes niveles de incidencia (Figura 4.15). El grupo 1 conformado por el clon testigo IAN 873 y seis genotipos caquetenses; el grupo 2 con 22 genotipos; el grupo 3 incluyó 34 de genotipos; el grupo 4 con seis genotipos y por último, el grupo 5 con los 10 genotipos restantes, para un total de 79 genotipos (Figura 4.15).

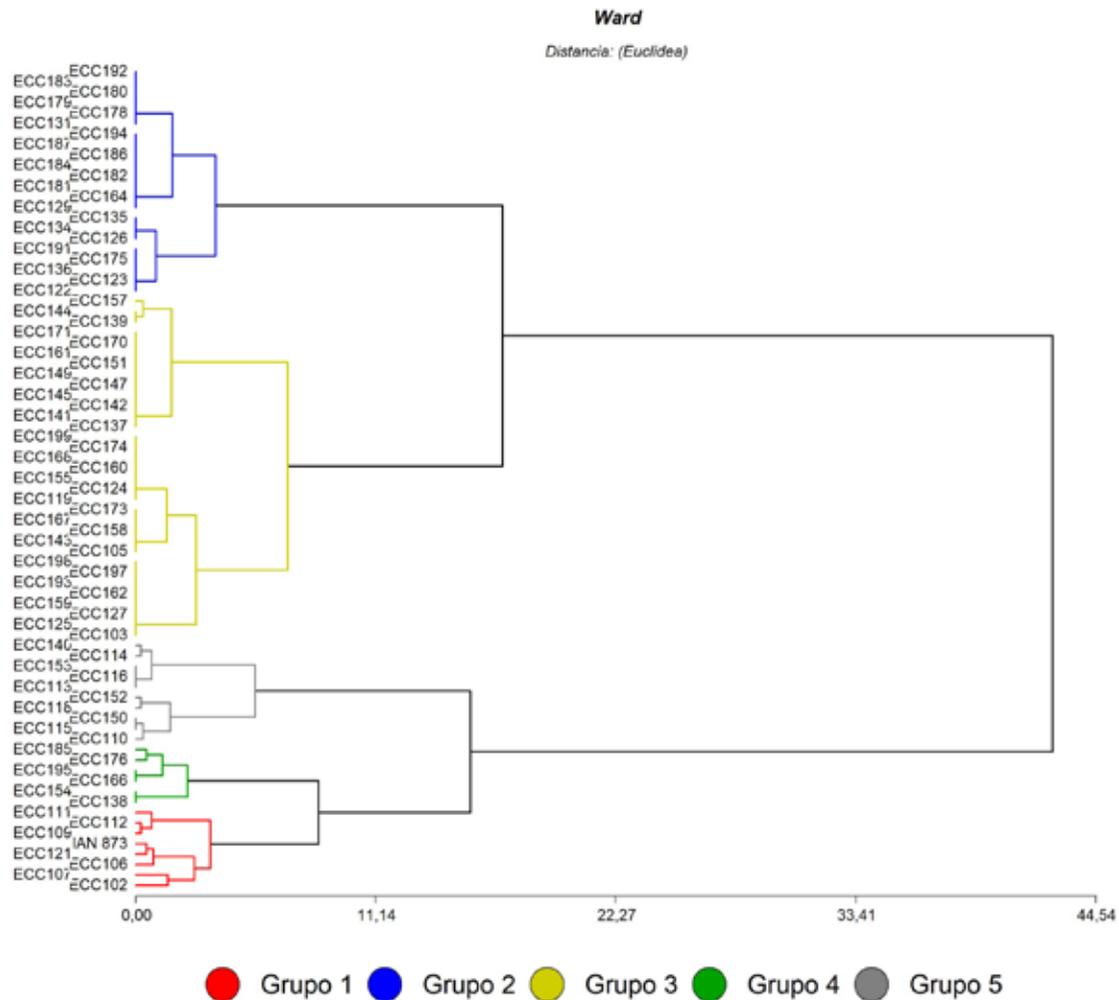


Figura 4.18. Árbol de agrupamiento de 78 genotipos caquetenses y el clon testigo IAN 873 obtenido a partir de la incidencia de las enfermedades raya negra (*Phytophthora* spp.) y antracnosis del panel de sangría (*Colletotrichum* spp.) en un campo clonal a pequeña escala de caucho (*Hevea brasiliensis*) en Caquetá, Colombia.

Fuente: Elaboración propia

Un análisis de varianza permitió detectar diferencias significativas entre los cinco grupos de genotipos para ambas enfermedades reportadas. (Figura 4.19A y B).

Para raya negra (Figura 4.16A), el grupo 5 fue el que presentó la mayor incidencia de la enfermedad (84,38%), seguido del grupo 1 (que incluye al clon testigo IAN 873) con 57,03%. En contraste, el grupo 2 fue el que presentó la menor incidencia de raya negra (11,65%) agrupando los genotipos con mayor tolerancia a la enfermedad.

En cuanto a la antracnosis del panel de sangría (Figura 4.16B), en el grupo 1 se encontraron los genotipos con mayor incidencia de la enfermedad (14,06%), seguido por los genotipos del grupo 4 con 6,25%. Los grupos 2 y 3 no presentaron incidencia de la enfermedad, que los destaca como los genotipos con mejor tolerancia a la enfermedad.

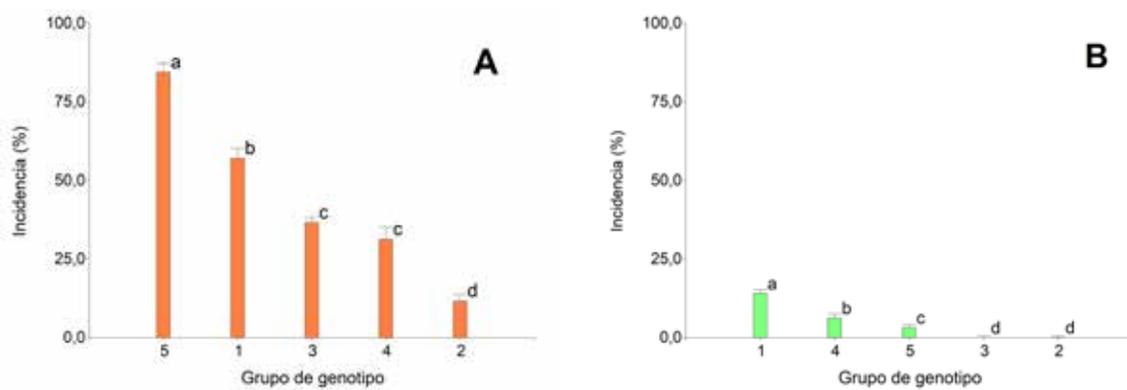
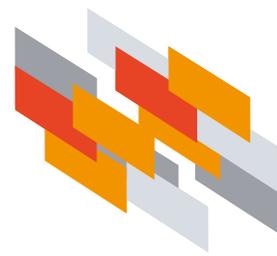


Figura 4.19. Media de la incidencia (%) de las enfermedades raya negra (*Phytophthora* spp.) (A) y antracnosis del panel de sangría (*Colletotrichum* spp.) (B) presentes en cinco grupos de genotipos en un campo clonal a pequeña escala de caucho (*Hevea brasiliensis*) en Caquetá, Colombia.

Fuente: Elaboración propia.

En general, se observaron bajos niveles de incidencia de ambas enfermedades y una variación notable en la reacción en campo de los diferentes genotipos, materiales con niveles de incidencia superiores al 80% y en otros casos, genotipos sin presencia de síntomas y signos de las enfermedades. Estos resultados diferenciales observados en el panel de microsangría de genotipos aún en fase de crecimiento, es un indicador interesante del potencial de resistencia o tolerancia a estas enfermedades que podrían expresar en la fase adulta (Junior *et al.*, 2007), y representa un criterio de selección temprana relevante para la selección de genotipos con caracteres fitosanitarios deseables para la siguiente fase de evaluación en campos clonales a gran escala (Goncalves *et al.*, 1997)



CONSIDERACIONES FINALES

En el presente estudio en los clones MDF 180, FX 3899 PI y FDR 4575 se reportó la menor incidencia de las principales enfermedades asociadas al panel de sangría en los campos clonales a gran escala CCGE, mientras que en los clones de la serie CDC hubo una mayor incidencia de estos problemas fitosanitarios. El clon MDF 180 presentó menor incidencia de raya negra (*Phytophthora* spp.), los clones FX 3899 PI, FDR 4575, IAN 873 y FDR 5597 a la antracnosis del panel (*Colletotrichum* spp.), y los clones MDF 180 y FX 3899 PI al moho ceniciento (*Ceratocystis fimbriata*). San Vicente del Caguán fue la localidad con menor incidencia de estas tres enfermedades.

En el campo clonal a pequeña escala CCPE, los genotipos ECC 135, ECC134 y ECC126 fueron los de menor incidencia de raya negra, y en el caso de la antracnosis del panel, hubo ausencia de la enfermedad en el 77% de los genotipos. No hubo presencia de moho ceniciento en ninguno de los genotipos evaluados.

No obstante, como se explicó en los capítulos anteriores, estos resultados son preliminares (seis meses), y aunque representa una aproximación inicial importante sobre el comportamiento fitosanitario de cada material genético, en el caso de los clones establecidos en CCGE, su seguimiento no debe ser inferior a un periodo de 4-5 años (sangría temprana) antes de ofrecer una recomendación final al nivel del productor y en el caso de los genotipos en CCPE el periodo de evaluación final no debe ser inferior a un año (microsangría) antes de continuar con las evaluaciones finales en campos clonales a gran escala.

- Alarcón, J. Jairo, Arevalo, E., Díaz, A.L., Alberto, A., Galindo, J.R., 2012. Manejo Integrado de plagas enfermedades en el cultivo del caucho. Inst. Colomb. Agropecu. PROCAUCHO. Bogotá. 75.
- Aristizábal, N., Torres, C., 2015. Morphological and Molecular Characterization of *Phytophthora* in Pepper (*Capsicum frutescens* var. Tabasco), Valle del Cauca. Rev. Ciencias 19, 71–89.
- Asoheca, 1998. Aprovechamiento del cultivo y beneficio del látex del caucho natural. J. Chem. Inf. Model. 53, 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Benedicte, V.S.D.K.M.A., 2012. Caracterização morfológica, cultural, molecular e enzimática de isolados de *Fusarium* spp., de seringueira. Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho.”
- Carneiro, M., Ito, M., Carneiro, E., Fonseca, H., 2017. Utilização de *Bacillus* no controle de *Colletotrichum* sp. em seringueira. J. Chem. Inf. Model. 53, 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Cerqueira, A., Newman, M., Santos, M., 2011. Distribuição de *Phytophthora capsici* em municípios que cultivam seringueiras no Sul da Bahia. Agrotropica 23, 65–70.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W., 2017. InfoStat versión (2017).
- Ekchaweng, K., Evangelisti, E., Schornack, S., Tian, M., Churngchow, N., 2017. The plant defense and pathogen counterdefense mediated by *Hevea brasiliensis* serine protease HbSPA and *Phytophthora palmivora* extracellular protease inhibitor PpEPI10. PLoS One 12, 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175795>
- Gasparotto, L., Dos Santos, A., Pereira, J., Ferreira, F., 1997. Doenças da seringueira no Brasil. Embrapa-CPPA 168.
- Gasparotto, L., Ferreira, F.A., Dos Santos, A.F., Rezende, P.J.C., Furtado, E.L., 2012. Doenças das folhas, in: Gasparotto, Luadir, Pereira, J.C. (Eds.), Doenças Da Seringueira No Brasil. EMBRAPA Amazônia Occidental, Brasília, DF, pp. 39–176.
- Gasparotto, L., Rezende, P.J.C., Moreira, A., Furtado, E.L., Figueredo, dos S.Á., 2016. Manual de identificação de doenças da cultura da seringueira, 1a ed. Brasília.
- Gijón, H.A.R., Pérez, G.I.M., Torres, H.B., Ortiz, C.E., Sánchez, G.P.E., Villagómez, R.X.R., Reséndiz, M.J.F., 2017. Enfermedades del Cultivo de Hule [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg.], Cenid-Comef, INIFAP. México.
- Goncalves, P. de S., Ortolani, A.A., Cardoso, M., 1997. Melhoramento genético da seringueira: uma revisão.
- Gonçalves, P., Martins, A., Furtado, E., Sambugaro, R., Ottati, E., Ortolani, A., Junior, G., 2002. Desempenho de clones de seringueira da série IAC 300 Material e Métodos. Pesqui. Agropecuária Bras. 37, 131–138.
- Gonçalves, R., Valim, J.H., Saldanha, D., 2013. Estudo de prevalência de fungos em painel de sangria de seringueira No Acre. III Congr. Bras. Heveicultura 1–5.
- Herrera, L., Grillo, H., Harrington, T., Díaz, A., Alvarez, R., 2015. *Ceratocystis fimbriata* Ellis & Halst. f. sp. *spathodense* (nueva especialización): agente causal de la marchitez en *Spathodea campanulata* Beauv. en Cuba. Rev. Protección Veg. 30, 40–45.
- Jaimés, Y., Rojas, J., 2011. Enfermedades foliares del caucho (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) establecido en un campo clonal ubicado en el Magdalena Medio Santandereano (Colombia). Corpoica Cienc. y Tecnol. Agropecu. 12, 65. https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num1_art:216

- 
- Johnson, J.A., Harrington, T.C., Engelbrecht, C.J.B., 2005. Phylogeny and taxonomy of the North American clade of the *Ceratocystis fimbriata* complex. *Mycologia* 97, 1067–1092. <https://doi.org/10.3852/mycologia.97.5.1067>
- Junior, E.J.S., Gonçalves, P. de S., Aguiar, A.T.E., Arantes, F.E., 2007. Seleção de progênies de seringueira a partir de caracteres de produção e vigor, in: Memórias I Congresso Brasileiro de Heveicultura. Borracha Natural. INCAPER, Brasil, Guarapari, p. 2.
- Krishnan, A., Joseph, L., Roy, C.B., 2018. An insight into Hevea-Phytophthora interaction: The story of Hevea defence and *Phytophthora* counter defence mediated through molecular signalling. *Curr. Plant Biol.* <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2018.11.009>
- Liu, F., Tang, G., Zheng, X., Li, Y., Sun, X., Qi, X., Zhou, Y., Xu, J., Chen, H., Chang, X., Zhang, S., Gong, G., 2016. Molecular and phenotypic characterization of *Colletotrichum* species associated with anthracnose disease in peppers from Sichuan Province, China. *Sci. Rep.* 6, 1–17. <https://doi.org/10.1038/srep32761>
- Lopez, J., 1998. Comportamiento de clones de caucho (*Hevea brasiliensis*) en la zona cafetera colombiana. *Av. Tec.* 247.
- Marques, J., Santos, Rogério, Santos, Ronaldo, 2016. Diversidade genética entre acessos clonais de seringueira (*Hevea* spp.) utilizando marcadores moleculares RAPD. *Agrotrópica (Itabuna)* 28, 5–12. <https://doi.org/10.21757/0103-3816.2016v28n1p5-12>
- Martinez, G., Sarria, G.A., Torres, G.A., Varón, F., 2010. Avances en la investigación de *Phytophthora palmivora*, el agente causal de la pudrición del cogollo de la palma de aceite en Colombia. *Palmas* 31, 334–344.
- Oliveira, A.C., 2014. Caracterização, distribuição e genética populacional de *Phytophthora capsici* em *Hevea brasiliensis* na Bahia, Brasil. Tese –.
- Pereira, J., Santos, A., 1986. Avaliação de fungicidas e técnicas de aplicação no controle de *Ceratocystis fimbriata*, em seringueira. *Fitopatol. Bras.* 11, 811–816.
- Pizetta, M., 2018. Caracterização de *Fusarium decemcellulare*, *F. oxysporum* e *F. incarnatum* em seringueira no estado de São Paulo, resistência clonal e sensibilidade a fungicidas. Tesis Dr. 33.
- Pizetta, M., Ayukawa, Y., Kashiwa, T., Pierozzi, C., Komatsu, K., Arie, T., Furtado, E., 2017. Novas espécies de *Fusarium* spp. ocorrendo em seringueira no estado de São Paulo. *XL Congr. Paul. Fitopatol.* 115, 396–397. <https://doi.org/10.3950/jibiinkoka.115.396>
- Rangel, R., Holmquist, O., Bracamonte, L., Pietrantonio, P., Cadenas, A., Diaz, J., 2014. Del Chancro Del Tronco En Plantaciones De Caucho En Amazonas ,. *La Rev. For. Venez.* 27–40.
- Rodríguez, R., 1983. Patogenicidad de *Corticium salmonicolor* en cítricos y en el cafeto. *Agronomía Costarricense*.
- Santos, A., Pereira, J., 1989. Principais doenças florestais no Brasil. *Patol. florestal. Vicoso_MG*.
- Sierra, J., 2010. Caracterização e controle de *colletotrichum* spp. em seringueira (*Hevea brasiliensis*). Tesis Maest.
- Sterling, A., Rodríguez, C., 2011. Nuevos clones de caucho natural para la amazonia colombiana: énfasis en la resistencia al Mal Suramericano de las Hojas (*Mycrocyclus ulei*), Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas–SINCHI, Bogotá, DC.



Sterling, A., Rodríguez, C.H., 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, Florencia, Colombia.

Sterling, A., 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.

Than, P.P., Jeewon, R., Hyde, K.D., Pongsupasamit, S., Mongkolporn, O., Taylor, P.W.J., 2008. Characterization and pathogenicity of *Colletotrichum* species associated with anthracnose on chilli (*Capsicum* spp.) in Thailand. *Plant Pathol.* 57, 562–572. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01782.x>

Trindade, D.R., Furtado, E.L., 1997. Doenças da seringueira [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex Adr. de Juss.) Müell. Arg.], in: Kimati, H., Amorin, L., Bergamin Filho, A., Camargo, L., Rezende, J. (Eds.), *Manual de Fitopatologia*. Agronômica Ceres Ltda, São Paulo, pp. 628–641.

Wastie, R.L., 1975. Diseases of rubber and their control. *PANS Pest Artic. News Summ.* 21, 268–288. <https://doi.org/10.1080/09670877509411408>



