



El futuro
es de todos

Gobierno
de Colombia

VALORACIÓN DE NUEVOS CLONES DE *Hevea brasiliensis* CON PROYECCIÓN PARA LA AMAZONIA COLOMBIANA: FASES DE PRE Y POST-SANGRÍA TEMPRANA EN EL CAQUETÁ



Instituto
amazónico de
investigaciones científicas
SINCHI

109 110 112 115 119 122



**VALORACIÓN DE NUEVOS CLONES
DE *Hevea brasiliensis* CON PROYECCIÓN
PARA LA AMAZONIA COLOMBIANA:
FASES DE PRE Y POST-SANGRÍA TEMPRANA
EN EL CAQUETÁ**

**VALORACIÓN DE NUEVOS CLONES
DE *Hevea brasiliensis* CON PROYECCIÓN
PARA LA AMAZONIA COLOMBIANA:
FASES DE PRE Y POST-SANGRÍA TEMPRANA
EN EL CAQUETÁ**

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

MARÍA SOLEDAD HERNÁNDEZ
Coordinadora Programa Sostenibilidad e Intervención

CARLOS HERNANDO RODRÍGUEZ LEÓN
Coordinador Sede Florencia



FABIO BURITICA BERMEO
Rector

JUAN CARLOS SUÁREZ SALAZAR
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

ANTONIO VALENCIA VILLEGAS
Presidente

HEBERTH GÓNGORA OCAMPO
Vicepresidente

ELCY QUINTERO BARRERA
Secretaria

DUBERNEY CASANOVA POLOCHE
CARLOS MARTÍNEZ CHAVARRO
Miembros principales

**VALORACIÓN DE NUEVOS CLONES
DE *Hevea brasiliensis* CON PROYECCIÓN
PARA LA AMAZONIA COLOMBIANA:
FASES DE PRE Y POST-SANGRÍA TEMPRANA
EN EL CAQUETÁ**

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
Cindy Lorena Calderón-Calderón
Diego Clavijo Arias
Lised Guaca Cruz
Mauren Daniela Celis Hernández
Jhon Eduar Noriega
Rigoberto Torres Barrero
Paola Claros Loaiza
Gustavo Adolfo Pimentel Parra
Karla Valentina Arboleda Gasca
Camilo Hernando Suárez Pacheco
Deicy Lorena Losada Coronado
Ana Yiceth Guillen Motta
Ana Lucía Noguera Bolaños
Girley Collazos Alvarez
Gladys Inés Cardona Vanegas
Juan Diego Hoyos Duarte
Gina Patricia Velasco Anacona
Eidy Martínez-Viuche
Luis Carlos Loaiza Molina
Lyda Constanza Galindo Rodríguez
Yeny Rocio Virgüez Díaz
Norma Bonilla Ríos
Juan Carlos Suárez Salazar
Ismael Dussán Huaca
Heberth Góngora Ocampo
Diego Ferney Caicedo Rodríguez
Bernardo Betancurt Parra
Maolenmarx Tatiana Garzón

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

Valoración de nuevos clones de *Hevea brasiliensis* con proyección para la Amazonia colombiana: fases de pre y post-sangría temprana en el Caquetá. Armando Sterling Cuellar, Carlos Hernando Rodríguez León (Eds.). Bogotá, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, 2020

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

ISBN: 978-958-5427-25-9

© Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Primera edición: octubre de 2020

Revisión técnica: Juan Fernán Sierra Hayer, Ph.D
Cristian David Plaza Pérez, PhD

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

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

Diseño, 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

El Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, entidad vinculada al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en el marco de sus acciones institucionales tiene entre sus procesos misionales, desarrollar alternativas productivas que permitan la reconversión de las prácticas de intervención inadecuadas en la Amazonia colombiana, mediante la caracterización de los sistemas productivos, sus dinámicas y la valoración de alternativas innovadoras que se ajusten a los requerimientos tanto de los sistemas como de los pobladores, en el marco de los nuevos retos tecnológicos.

Entre estas alternativas se destaca el caucho (*Hevea brasiliensis*) como una especie estratégica en sistemas agroforestales biodiversos, que ha hecho parte de la historia, la cultura y el desarrollo socio-ambiental de los pobladores amazónicos. En Colombia, el departamento del Caquetá ha sido el pionero desde la década del 60 en los programas de fomento de esta especie, y a través de la institucionalidad nacional y la cooperación internacional, el caucho en estos sistemas biodiversos ha sido impulsado como una alternativa agroambiental rentable para las más de 1200 familias colonas que dependen de este sector en el departamento. El caucho se ha incluido de manera estratégica en programas y proyectos enfocados en la sustitución de cultivos de uso ilícito, la conservación de la biodiversidad, el secuestro de carbono, el mejoramiento de la conectividad entre ecosistemas estratégicos, la lucha contra la deforestación, la recuperación de los suelos, la reconversión de áreas degradadas y la consolidación de la paz.

Caquetá en los últimos 30 años ha sido también el pionero en los principales temas de investigación en caucho en el país, y los trabajos de investigación liderados por el Instituto SINCHI han sido referente en la agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de caucho natural y su industria en Colombia. Entre 1997 y 2005 el Instituto SINCHI desarrolló en alianza con la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá -Asoheca- proyectos enfocados en la sustitución de cultivos ilícitos con la cooperación de USAID y bajo el programa Plante. En 2007 se creó en el Caquetá la cadena productiva del caucho natural, y a partir de la baja productividad y rentabilidad de las plantaciones comerciales debido al impacto del hongo *Microcyclus ulei*, se generó la demanda del sector hacia la obtención de nuevos materiales genéticos de caucho adaptados a las condiciones locales.

En 2008, el Instituto SINCHI como respuesta a esta demanda estableció el componente de investigación de la cadena y se elaboró un plan de investigación a largo plazo con la meta de identificar nuevos materiales promisorios de caucho (introducidos y regionales) y desarrollar sistemas de siembra agroforestales biodiversos para evitar siembras en monocultivo. En este sentido, entre los años 2008 y 2012 el Instituto SINCHI en alianza con Asoheca y Uniamazonia y con recursos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias), iniciaron las primeras investigaciones orientadas al mejoramiento de la base ge-

nética, el diseño de sistemas agroforestales biodiversos y la valoración de la capacidad de estos sistemas para suministrar bienes y servicios ecosistémicos que contribuyan con el fortalecimiento de la competitividad y la diversificación hacia la sostenibilidad socio-ambiental.

En 2013 se avanzó con la segunda fase de la investigación de los nuevos clones de caucho con un enfoque agroambiental con el fin de analizar las etapas iniciales de producción y la capacidad de proveer servicios ecosistémicos a través 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 y la supervisión de la Confederación Cauchera Colombiana.

Los resultados se han presentado en 2017 en el libro: “Bases técnicas para la selección, propagación y establecimiento de materiales regionales élite de caucho en Caquetá”, en el que se describieron los criterios de selección de nuevos genotipos caquetenses de caucho. En 2018 en el libro: “Estrategias de manejo para las principales enfermedades y plagas del cultivo del caucho con énfasis en la Amazonia colombiana” se evaluó la tolerancia de los nuevos clones a los principales problemas fitosanitarios. En 2019 en el libro: “Valoración y análisis de la biodiversidad y servicios ecosistémicos asociados a campos clonales de caucho en Caquetá, Amazonia colombiana” se valoró la capacidad de los nuevos materiales para promover la conservación de la biodiversidad (aves, insectos y micorrizas), la recuperación de suelos degradados y el secuestro de carbono como una alternativa para mitigar los efectos del cambio climático. En 2020 en el libro: “Valoración inicial del potencial productivo de *Hevea brasiliensis* en la Amazonia colombiana mediante la evaluación de nuevos clones promisorios para la región” se analizaron los primeros indicadores de producción temprana de los nuevos clones.

Finalmente, en 2020 presentamos a la comunidad nacional e internacional el libro final de este proyecto titulado: “Valoración de nuevos clones de *Hevea brasiliensis* con proyección para la Amazonia colombiana: fases de pre y post-sangría temprana en Caquetá”. Esta publicación compila los resultados finales de esta segunda fase de investigación y en esta entrega ofrecemos al lector los resultados de la selección preliminar de los nuevos clones en las fases de pre y post-sangría temprana. Es importante resaltar que estos resultados representan la selección preliminar de los nuevos clones en las fases tempranas de producción, por lo que es necesario culminar estas evaluaciones con el fin de liberar estos materiales con la fase final de la investigación, antes de recomendar su uso a través de los modelos agroforestales biodiversos que han sido diseñados y validados por el Instituto SINCHI en la región para su fomento e implementación a pequeña escala en el departamento del Caquetá.

El Instituto SINCHI expresa sus sinceros y profundos agradecimientos al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y su Órgano Colegiado de Administración y Decisión (OCAD), al Fondo de Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación - FCTel del Sistema General de Regalías - SGR, al Departamento Nacional de Planeación DNP, a la Gobernación del Caquetá en cabeza de los

señores gobernadores: Víctor Isidro Ramírez Loaiza, Álvaro Pacheco Álvarez y Arnulfo Gasca Trujillo, a las Secretarías de Agricultura Departamental representadas por los secretarios: Alina Vanesa Aguilar, Torres, Bellanire Soler Herrera, Lorena Plazas Rodríguez y Jhon Fredy Criollo Arciniegas, a la Confederación Cauchera Colombiana, a la Universidad de la Amazonía, a todos los caucheros representados por la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá con 18 comités municipales y a todas las personas que hicieron posible el desarrollo de esta investigación.

Luz Marina Mantilla Cárdenas
Directora General

GOBERNACIÓN DEL CAQUETÁ - SECRETARÍA AMBIENTAL Y DE AGRICULTURA

La Gobernación del Caquetá, a través de la Secretaría Ambiental y de Agricultura Departamental, tiene como misión dirigir, formular y adoptar, políticas, planes, proyectos y programas del sector agropecuario y ambiental para el cumplimiento del Plan de Desarrollo de la Entidad. En este sentido, bajo el Programa de Gobierno 2020-2023: “Pacto Social por el Desarrollo del Caquetá - Caquetá somos todos” en cabeza del señor Gobernador el doctor Arnulfo Gasca Trujillo, la Secretaría Ambiental y de Agricultura ha definido entre sus funciones, fomentar nuevas alternativas productivas, sostenibles y rentables que busquen mejorar el nivel de vida de los pequeños productores del Caquetá.

Entre estas alternativas, el cultivo del caucho (*Hevea brasiliensis*) ha sido reconocido en la región e impulsado por la Gobernación del Caquetá en alianza con la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá como una alternativa productiva rentable, ambientalmente amigable y socialmente deseable que ha hecho parte de la historia, la cultura y el desarrollo del Departamento, lo que ha hecho que el Caquetá sea reconocido hoy como un pionero no sólo en el fomento del cultivo del caucho sino también en los principales temas investigación e innovación en el país.

La Gobernación del Caquetá consciente de la importancia de este sector para el Departamento y comprometido en atender y brindar solución a las necesidades de las más de 1200 familias caucheras que dependen de este cultivo en el Departamento, en el año 2003 suscribió con el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI el convenio de cooperación interinstitucional No. 59/2003 mediante el cual se aunaron esfuerzos técnicos, administrativos, humanos y financieros para ejecutar el proyecto: “Ampliación de la base genética de caucho natural, Caquetá, Amazonia”, co-ejecutado con la Universidad de la Amazonía y Asoheca, y financiado con recursos del Fondo de Ciencia y Tecnología del Sistema General de Regalías – Zona Centro Sur Amazonía.

Esta investigación liderada por el Instituto SINCHI y compilada en la publicación: “Valoración de nuevos clones de *Hevea brasiliensis* con proyección para la Amazonia colombiana: fases de pre y post-sangría temprana en Caquetá”, entrega a los caucheros del Caquetá la selección preliminar de nuevos clones de caucho valorados por su alto potencial de producción, resistencia a los principales problemas fitosanitarios y su importancia agro-ambiental en las fases tempranas de producción. Este estudio representa en la actualidad la principal apuesta investigativa del Departamento, por lo que nuestro compromiso con los caucheros del Caquetá será realizar todos los esfuerzos necesarios para contribuir en una segunda fase con la culminación de esta

investigación, la liberación y la adopción de estos nuevos materiales que esperamos contribuirán con el incremento de la productividad y el fortalecimiento de la competitividad del sector cauchero del Caquetá en los próximos 50 o 60 años.

Atentamente,

JHON FREDY CRIOLLO ARCINIEGAS

Secretario Ambiental y de Agricultura Departamental
Gobernación del Caquetá – “Caquetá Somos Todos”



El caucho natural es un hidrocarburo con enorme valor comercial, extraído del látex de cerca de 2.500 especies de plantas, entre las cuales la especie *Hevea brasiliensis* (Willd. Ex Adr. de Juss.) Muell.-Arg, nativa de la región amazónica, es la principal fuente mundial para la industria llantera, médica y deportiva, entre otras (Venkatachalam *et al.*, 2013).

Colombia cuenta con más de 60.000 ha de caucho sembradas y 18.432 ha en producción distribuidas en 17 departamentos, según el censo cauchero de 2015 (CCC, 2016). Los principales departamentos productores fueron Meta (2.537 t en 19.033 ha de área total sembrada), Santander (7.605 t en 8.827 ha) y Vichada (8.486 ha) que concentran el 68% del área sembrada; mientras el departamento del Caquetá ocupa el cuarto lugar en áreas sembradas (4.534 ha) y el primer lugar en áreas en etapa de producción (183 t en 1.174 ha) (Ramírez *et al.* 2018; Agronet, 2019).

En el país, los cultivos de caucho se han establecido principalmente con clones de origen americano y asiático, y en regiones como el Caquetá el fomento y desarrollo del cultivo de caucho se ha limitado históricamente al uso de tres clones (IAN 873, IAN 710 y FX 3864) (Castellanos *et al.*, 2009).

Esta reducida base genética, los limitantes fitosanitarios y las prácticas culturales inadecuadas 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 el departamento del Caquetá con información preliminar sobre identificación de nuevos materiales promisorios a través de la evaluación preliminar de genotipos caquetenses selecciones ECC 1 y ECC 2 y de clones promisorios introducidos a la región (Sterling y Rodríguez, 2012, 2017, 2018, 2020), como una de las principales estrategias 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 presenta la selección preliminar de nuevos clones de caucho (*H. brasiliensis*) introducidos de origen americano evaluados en tres campos clonales a gran escala, de genotipos caquetenses selección ECC 1 evaluados en dos campos clonales a gran escala y de genotipos caquetenses selección ECC 2 evaluados en un campo clonal a pequeña escala, los cuales son material genético promisorio para el departamento del Caquetá, 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, asociados al comportamiento productivo

de los nuevos clones de caucho que se vienen investigando en la región, y 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.

El libro se dividió en tres partes y trece capítulos que presentan la identificación preliminar de nuevos clones de caucho (*H. brasiliensis*) basada en caracteres de crecimiento, nutrición, fisiología, fitopatología, producción inicial y variabilidad genética.

La primera parte corresponde a la identificación preliminar de los mejores clones introducidos de caucho (*H. brasiliensis*) en el departamento del Caquetá (colombia) y comprende cuatro capítulos:

El capítulo 1 presenta los resultados de la evaluación del crecimiento, comportamiento nutricional y respuesta fisiológica de nueve clones introducidos promisorios y el clon IAN 873 (testigo) en tres campos clonales a gran escala en las fases de crecimiento y de sangría temprana en el departamento del Caquetá. El capítulo 2 expone los resultados de la evaluación fitosanitaria a nivel foliar y del panel de sangría temprana, así como la fenología foliar de nueve clones promisorios de caucho (*Hevea brasiliensis*) comparados con el clon IAN 873 (testigo) en tres campos clonales a gran escala en el departamento del Caquetá.

En el capítulo 3 se muestran los resultados de la evaluación del rendimiento temprano y los rasgos relacionados con el látex de nueve clones promisorios introducidos y el clon IAN 873 (testigo) en tres campos clonales a gran escala durante la fase de sangría temprana (primer año de producción) en el departamento del Caquetá. En el capítulo 4 se discuten los resultados de la evaluación de la resistencia al hongo *P. ulei* de nueve clones promisorios de caucho (*H. brasiliensis*) comparados con el clon IAN 873 (testigo) en condiciones de inoculación controlada.

La segunda parte corresponde a la identificación preliminar de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) en el departamento del Caquetá y comprende cuatro capítulos:

En el capítulo 5 se presentan los resultados de la evaluación del crecimiento, comportamiento nutricional y respuesta fisiológica de nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en la fase de crecimiento en dos campos clonales a gran escala en el departamento del Caquetá. El capítulo 6 expone los resultados de la evaluación fitosanitaria de las principales enfermedades y plagas foliares, así como las principales enfermedades del panel de sangría precoz de nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) y del clon IAN 873 (testigo) en la fase de crecimiento en dos campos clonales a gran escala en el departamento del Caquetá.

En el capítulo 7 se presentan los resultados de la evaluación del rendimiento precoz y los rasgos relacionados con el látex de nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en la fase de crecimiento en dos campos clonales a gran escala en el departamento del Caquetá. El capítulo 8 discute los resultados de evaluación de la resistencia al hongo *P. ulei* de nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H.*

brasiliensis), comparados con el clon IAN 873 (testigo) en condiciones de inoculación controlada en el Caquetá.

La tercera parte corresponde a la identificación preliminar de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) en el departamento del Caquetá y comprende cinco capítulos:

En el capítulo 9 se discuten los resultados de la evaluación del crecimiento y comportamiento nutricional de 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) y del clon IAN 873 (testigo) durante la fase de inmadurez en un campo clonal a pequeña escala en el municipio de El Paujil, Caquetá (Colombia). El capítulo 10 comprende los resultados de la evaluación fitosanitaria a nivel foliar y en panel de microsangría en 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*Hevea brasiliensis*) comparados con el clon IAN 873 (testigo) durante los primeros tres años de la fase de crecimiento en un campo clonal a pequeña escala establecido en el municipio de El Paujil, Caquetá (Colombia).

El capítulo 11 expone los resultados de la evaluación del rendimiento en microsangría y rasgos relacionados con el látex de 78 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en la fase de crecimiento en un campo clonal a pequeña escala en el departamento del Caquetá.

El capítulo 12 presenta los resultados de evaluación de la resistencia al hongo *P. ulei* de 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*), comparados con el clon IAN 873 (testigo) en condiciones de inoculación controlada en el departamento del Caquetá. En el capítulo 13 se discuten los resultados inherentes a la caracterización de la variabilidad genética mediante el uso de 18 descriptores morfológicos vegetativos y 10 primers microsatélite SSR en 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) y en cultivares de referencia tradicionales en 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 permanente 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.

En la Gobernación del Caquetá, a todo el personal directivo, técnico y administrativo, especialmente al doctor Arnulfo Gasca Trujillo, gobernador del Caquetá, al doctor Jhon Fredy Criollo Arciniegas y a Fabio Jaramillo, 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), y en especial a su director, el doctor Fernando García, a la doctora Narda Sabogal Barbosa y a la ingeniera Gicela Saldaña, por su apreciable colaboración y desarrollo a 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 Buritica Bermeo, rector de la Universidad de la Amazonía; al doctor Juan Carlos Suárez Salazar, 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 técnicos y técnicos 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, Iván García Pachón, 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 y al Departamento Nacional de Planeación (DNP).

PARTE I. Clones introducidos de caucho (*Hevea brasiliensis*) en el departamento del Caquetá25

Capítulo 1. Evaluación de los rasgos de crecimiento, nutricionales y fisiológicos de clones introducidos de caucho (*Hevea brasiliensis*) en campos clonales a gran escala en el Caquetá27

1.1. INTRODUCCIÓN	28
1.2. METODOLOGÍA	30
1.2.1. Área de estudio	30
1.2.2. Material vegetal	31
1.2.3. Diseño experimental	32
1.2.4. Manejo agronómico de los experimentos	32
1.2.5. Medición de datos de crecimiento, nutrición y fisiología	31
1.2.6. Análisis de la información	36
1.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
1.3.1. Crecimiento (vigor)	37
1.3.2. Contenido nutricional edáfico y foliar	39
1.3.3. Desempeño fisiológico	42
1.3.4. Identificación de los mejores clones promisorios	48
1.4. CONSIDERACIONES FINALES	50
1.5. Referencias bibliográficas	51

Capítulo 2. Evaluación fitosanitaria foliar y del panel de sangría temprana, y ciclo fenológico de clones introducidos de caucho (*Hevea brasiliensis*) en campos clonales a gran escala en el Caquetá55

2.1. INTRODUCCIÓN	56
2.2. METODOLOGÍA	57
2.2.1. Área de estudio	57
2.2.2. Material vegetal.....	57
2.2.3. Diseño experimental	57
2.2.4. Evaluaciones fitosanitarias y fenológicas	57
2.2.5. Evaluación de la fenología foliar	59
2.2.6. Análisis de la información	59
2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
2.3.1. Influencia de los factores principales sobre las enfermedades y plagas	60
2.3.2. Influencia de la interacción localidad x clon sobre los problemas fitosanitarios más relevantes	67
2.3.3. Análisis multivariado de los principales problemas fitosanitario	73

2.3.4. Caracterización del ciclo fenológico	75
2.3.5. Identificación de los mejores clones promisorios	77
2.4. CONSIDERACIONES FINALES	79
2.5. BIBLIOGRAFÍA	80

Capítulo 3. Evaluación del rendimiento temprano y rasgos relacionados de clones introducidos de caucho (*Hevea brasiliensis*) en campos clonales a gran escala en Caquetá85

3.1. INTRODUCCIÓN	86
3.2. METODOLOGÍA	86
3.2.1. Área de estudio	86
3.2.2. Material vegetal	87
3.2.3. Diseño experimental	87
3.2.4. Montaje, equipamiento y las labores de sangría	87
3.2.5. Evaluación de los parámetros de producción temprana	88
3.2.6. Análisis de la información	89
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	90
3.3.1. Influencia de los factores principales sobre la producción temprana y rasgos relacionados	90
3.3.2. Influencia de la interacción localidad x clon sobre la producción temprana y rasgos relacionados	94
3.3.3. Análisis multivariado del vigor post-sangría y los parámetros de producción temprana y rasgos relacionados	97
3.3.4. Proyección del rendimiento e ingresos económicos potenciales	100
3.3.5. Identificación de los mejores clones promisorios	101
3.4. CONSIDERACIONES FINALES	103
3.5. BIBLIOGRAFÍA	104

Capítulo 4. Evaluación de la resistencia al hongo *Pseudocercospora ulei* de clones introducidos de caucho (*Hevea brasiliensis*) en condiciones de inoculación controlada en Caquetá107

4.1. INTRODUCCIÓN	108
4.2. METODOLOGÍA	108
4.2.1. Condiciones experimentales	108
4.2.2. Fuente de inóculo	109
4.2.3. Material vegetal	109
4.2.4. Inoculaciones controladas y diseño experimental	109
4.2.5. Seguimiento del periodo de post-inoculación	110
4.2.6. Evaluación de los componentes de resistencia a <i>P. ulei</i>	110
4.2.7. Análisis de la información	111
4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	111
4.3.1. Influencia de los factores principales sobre la resistencia a <i>P. ulei</i>	111

4.3.2. Influencia de la interacción clon x aislamiento sobre la resistencia a <i>P. ulei</i>	113
4.3.3. Análisis multivariado de los componentes de resistencia a <i>P. ulei</i>	116
4.3.4. Identificación de los mejores clones promisorios	119
4.4. CONSIDERACIONES FINALES	119
4.5. BIBLIOGRAFÍA	120
PARTE I . CONSIDERACIONES FINALES	123
PARTE II. GENOTIPOS CAQUETENSES SELECCIÓN ECC 1 DE CAUCHO (<i>Hevea brasiliensis</i>) EN CAQUETÁ (COLOMBIA)	125
Capítulo 5. Evaluación de los rasgos de crecimiento, nutricionales y fisiológicos de genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>) en campos clonales a gran escala en Caquetá	127
5.1. INTRODUCCIÓN	128
5.2.1. Área de estudio	129
5.2.2. Material vegetal	129
5.2.3. Diseño experimental	130
5.2.4. Manejo técnico de los experimentos	131
5.2.5. Evaluación del crecimiento	131
5.2.6. Evaluación del contenido nutricional edáfico y foliar	131
5.2.7. Evaluación de los parámetros fisiológicos	133
5.2.8. Análisis de la información	134
5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	134
5.3.1. Crecimiento (vigor)	134
5.3.2. Contenido químico nutricional	136
5.3.3. Desempeño fisiológico	141
5.3.4. Identificación de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 1	145
5.4. CONSIDERACIONES FINALES	148
5.5. BIBLIOGRAFÍA	148
Capítulo 6. Evaluación fitosanitaria foliar y en panel de sangría precoz de genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>) en campo clonales a gran escala en Caquetá	153
6.1. INTRODUCCIÓN	154
6.2. METODOLOGÍA	155
6.2.1. Área de estudio	155
6.2.2. Material vegetal	155
6.2.3. Diseño experimental	155
6.2.4. Evaluación de los principales parámetros fitosanitarios	155
6.2.5. Análisis de la información	156
6.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	157

6.3.1. Severidad de las principales enfermedades foliares	157
6.3.2. Resistencia al mal suramericano de las hojas	160
6.3.3. Incidencia de las principales enfermedades del panel de sangría precoz	162
6.3.4. Incidencia de las principales plagas foliares	164
6.3.5. Análisis multivariado de los principales problemas fitosanitarios	165
6.3.6. Identificación de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 1	167
6.4. CONSIDERACIONES FINALES	169
6.5. BIBLIOGRAFÍA	169

Capítulo 7. Evaluación del rendimiento precoz y rasgos relacionados de genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*Hevea brasiliensis*) en campos clonales a gran escala en Caquetá173

7.1. INTRODUCCIÓN	174
7.2. METODOLOGÍA	175
7.2.1. Área de estudio	175
7.2.2. Material vegetal	175
7.2.3. Diseño experimental	175
7.2.4. Preparación y desarrollo de las actividades de sangría precoz	175
7.2.5. Evaluación de los parámetros asociados a la producción precoz	177
7.2.6. Análisis de la información	178
7.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	179
7.3.1. Influencia de los factores principales sobre los parámetros asociados a la producción precoz	179
7.3.2. Efecto de la interacción localidad x genotipo sobre los parámetros asociados a la producción precoz	180
7.3.3. Análisis de componentes principales (ACP) de los parámetros asociados a la producción precoz	183
7.3.4. Proyección del rendimiento e ingresos económicos potenciales	184
7.3.5. Identificación de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 1	185
7.4. CONSIDERACIONES FINALES	186
7.5. BIBLIOGRAFÍA	186

Capítulo 8. Evaluación del rendimiento precoz y rasgos relacionados de genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*Hevea brasiliensis*) en campos clonales a gran escala en Caquetá189

8.1. INTRODUCCIÓN	190
8.2. METODOLOGÍA	191
8.2.1. Condiciones experimentales	191
8.2.2. Fuente de inóculo	191
8.2.3. Material vegetal	192
8.2.4. Inoculaciones controladas y diseño experimental	192
8.2.5. Seguimiento del periodo de post-inoculación	192

8.2.6. Evaluación de los componentes de resistencia a <i>P. ulei</i>	192
8.2.7. Análisis de la información	193
8.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	193
8.3.1. Influencia de los factores principales sobre la resistencia a <i>P. ulei</i>	193
8.3.2. Influencia de la interacción clon x aislamiento sobre la resistencia a <i>P. ulei</i>	195
8.3.3. Análisis multivariado de los componentes de resistencia a <i>P. ulei</i>	199
8.3.4. Identificación de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 1	200
8.4. CONSIDERACIONES FINALES	200
8.5. BIBLIOGRAFÍA	200
PARTE II. CONSIDERACIONES FINALES	203
PARTE III. GENOTIPOS CAQUETENSES SELECCIÓN ECC 2 DE CAUCHO (<i>Hevea brasiliensis</i>) EN CAQUETÁ (COLOMBIA)	205
Capítulo 9. Evaluación del crecimiento y nutrición de genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>) en campo clonal a pequeña escala en Caquetá	207
9.1. INTRODUCCIÓN	208
9.2. METODOLOGÍA	209
9.2.1. Área de estudio	209
9.2.2. Material vegetal	210
9.2.3. Diseño experimental	215
9.2.4. Evaluación del vigor	215
9.2.5. Evaluación del contenido nutricional edáfico	215
9.2.6. Evaluación del contenido nutricional foliar	216
9.2.7. Análisis de la información	216
9.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	217
9.3.1. Vigor anual	217
9.3.2. Contenido nutricional edáfico de un campo clonal	
a pequeña escala CCPE de caucho natural	220
9.3.3. Variación interanual en el contenido nutricional foliar	224
9.3.4. Identificación de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 2	232
9.4. CONSIDERACIONES FINALES	236
9.5. BIBLIOGRAFÍA	236
Capítulo 10. Evaluación fitosanitaria foliar y en panel de microsangría de genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>) en campo clonal a pequeña escala en Caquetá	241
10.1. INTRODUCCIÓN	242
10.2. METODOLOGÍA	243
10.2.1. Área de estudio	243

10.2.2. Material vegetal	243
10.2.3. Diseño experimental	243
10.2.4. Evaluación de los principales parámetros fitosanitarios	243
10.2.5. Análisis de la información	245
10.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	245
10.3.1. Análisis de los parámetros foliares y del panel de microsangría	245
10.3.2. Análisis de los parámetros foliares por grupos de genotipos	250
10.3.3. Análisis de los parámetros del panel de microsangría por grupos de genotipos	254
10.3.4. Identificación de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 2	256
10.4. CONSIDERACIONES FINALES	260
10.5. BIBLIOGRAFÍA	260

Capítulo 11. Evaluación del rendimiento en microsangría y rasgos relacionados de genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*Hevea brasiliensis*) en campo clonal a pequeña escala en Caquetá263

11.1. INTRODUCCIÓN	264
11.2. METODOLOGÍA	265
11.2.1. Área de estudio	265
11.2.2. Material vegetal	265
11.2.3. Diseño experimental	265
11.2.4. Preparación y desarrollo de las actividades de microsangría	265
11.2.5. Evaluación de los parámetros asociados a la producción en microsangría	267
11.2.6. Análisis de la información	269
11.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	270
11.3.1. Parámetros asociados a la producción en microsangría	270
11.3.2. Proyección del rendimiento e ingresos económicos potenciales	276
11.3.3. Identificación de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 2	277
11.4. CONSIDERACIONES FINALES	279
11.5. BIBLIOGRAFÍA	280

Capítulo 12. Evaluación de la resistencia al hongo *Pseudocercospora ulei* de genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*Hevea brasiliensis*) en condiciones de inoculación controlada en Caquetá283

12.1. INTRODUCCIÓN	284
12.2. METODOLOGÍA	284
12.2.1. Condiciones experimentales	284
12.2.2. Fuente de inóculo	285
12.2.3. Material vegetal	286
12.2.4. Inoculaciones controladas y diseño experimental	287
12.2.5. Seguimiento del periodo de post-inoculación	287
12.2.6. Evaluación de los componentes de resistencia a <i>P. ulei</i>	287
12.2.7. Análisis de la información	288

12.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	288
12.3.1. Análisis de la resistencia a <i>P. ulei</i> por genotipos	288
12.3.2. Análisis de la resistencia a <i>P. ulei</i> por grupos de genotipos	292
12.3.3. Análisis de los componentes de resistencia por grupos de genotipos	293
12.3.4. Identificación de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 2	297
12.4. CONSIDERACIONES FINALES	300
12.5. BIBLIOGRAFÍA	300

Capítulo 13. Variabilidad genética de genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*Hevea brasiliensis*) mediante el uso de descriptores morfológicos y marcadores moleculares microsatélites (SSRs), en Caquetá303

13.1. INTRODUCCIÓN	303
13.2. METODOLOGÍA	305
13.2.1. Caracterización morfológica	305
13.2.2. Caracterización molecular	307
13.2.3. Análisis estadístico	309
13.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	309
13.3.1. Caracterización morfológica	309
13.3.2. Caracterización molecular	312
13.4. CONSIDERACIONES FINALES	316
13.5. BIBLIOGRAFÍA	316

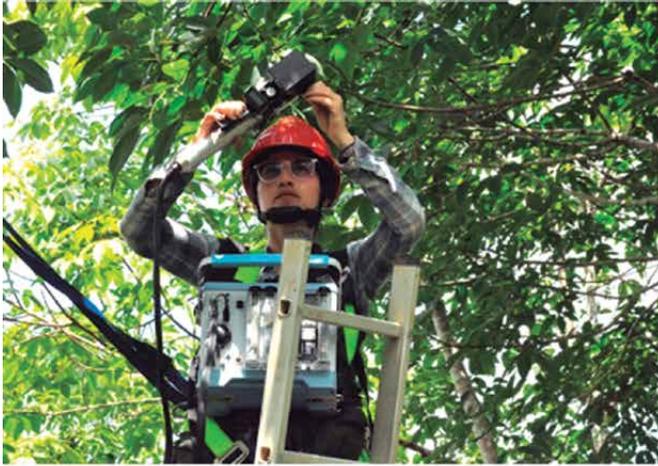
PARTE III. CONSIDERACIONES FINALES319

CONCLUSIONES FINALES Y RECOMENDACIONES322

PARTE I

Clones introducidos de caucho
(*Hevea brasiliensis*) en el
departamento del Caquetá

Evaluación de los rasgos de crecimiento, nutricionales y fisiológicos de clones introducidos de caucho (*Hevea brasiliensis*) en campos clonales a gran escala en el Caquetá



Armando Sterling-Cuéllar^{1*}, Natalia Rodríguez-Castillo², Edwin Andrés Clavijo-Arias², Ana Yiceth Guillen-Motta², Tatiana Karolina Andrade-Ramírez², Armando Gamboa-Tabares², Paola Claros-Loaiza² y Diego Ferney Caicedo-Rodríguez¹.

¹ Investigador del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, sede Florencia.

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

² Co-investigador del proyecto. Convenio 59-2013, Gobernación del Caquetá – Instituto SINCHI.

1.1. Introducción

En condiciones de campo las plantas están expuestas a variaciones en la intensidad y calidad de luz, temperatura, precipitación, humedad relativa, concentración de dióxido de carbono (CO_2), condiciones nutricionales, condiciones del suelo y otras variables que cambian entre épocas y durante el día (Sterling y Rodríguez, 2020). Estas variaciones en las condiciones ambientales en las que especies como el caucho [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex. A.Juss.) Müll.Arg.] de la familia Euphorbiaceae crece y se desarrolla, se evidencian en los procesos fisiológicos, bioquímicos y moleculares que afectan la respuesta fisiológica y la interacción de otros factores abióticos y bióticos (figura 1.1). Factores como el balance de carbono (producción de asimilados, almacenamiento y asignación), la energía lumínica (radiación solar) y la disponibilidad de agua y nutrientes afectan la respuesta ambiental de la planta (Lambers, Stuart y Pons, 2008).

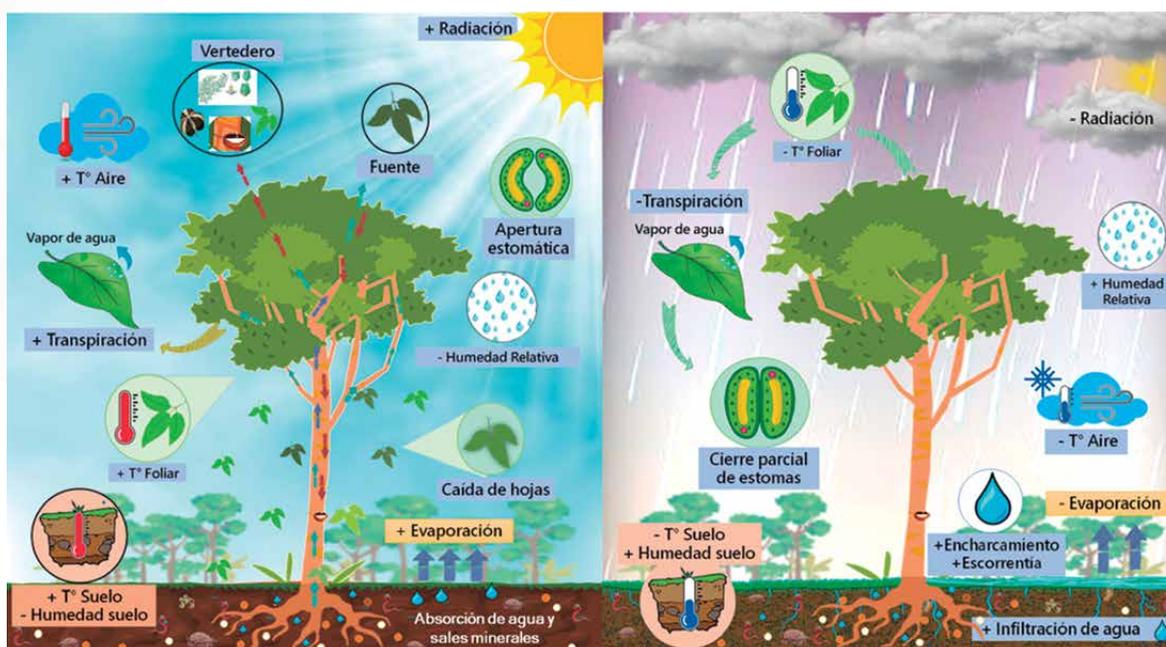


Figura 1.1. Respuesta ambiental del árbol de caucho (*H. brasiliensis*) en las épocas seca (izquierdo) y lluviosa (derecha). Las flechas azules indican el flujo de agua desde las raíces hacia la atmósfera y las flechas rojas el flujo de la savia elaborada cargada con asimilados (carbohidratos) hacia los órganos en crecimiento y formación (vertederos).

Fuente: Modificado de Sterling y Rodríguez (2020).

En la fase de crecimiento, el árbol de caucho necesita realizar la asimilación de carbono para la producción de carbohidratos, recurso que es fundamental en las primeras etapas de desarrollo para su acumulación en el tronco, que se expresa en un aumento de la circunferencia y su asignación

a otros tejidos, que a su vez son movilizados para mantener el crecimiento, la reproducción y otras funciones (Chantuma *et al.*, 2009). Dichas variaciones fisiológicas se vuelven fundamentales en diferentes escalas de tiempo y, por lo tanto, requieren distintos períodos de monitoreo para establecer los efectos de manera confiable (Hawkins, Xue, Bown y Clinton, 2010).

Los nutrientes con frecuencia limitan el crecimiento del árbol en ambientes naturales. La naturaleza edafológica de la región Amazónica es uno de las principales limitantes para la producción agrícola, debido a la reducida capa orgánica presente en el horizonte A, alta concentración de arcillas, elevada acidez, baja capacidad de intercambio catiónico y alta proporción de aluminio (Martínez, 1998). La información sobre el estado nutricional de las plantaciones de *H. brasiliensis* es escaso. A partir de los análisis de hojas y suelos se podrían interpretar y recomendar criterios de fertilización sobre la base de las condiciones edafológicas y microclimáticas del ambiente donde se desarrollan los cultivos (Chacón-Pardo, Camacho-Tamayo y Arguello, 2013).

El aumento de la materia seca en las hojas de los árboles de caucho está directamente relacionado con el equilibrio entre la asimilación de CO₂ de la fotosíntesis y su liberación por respiración. Durante la fase juvenil, el equilibrio de CO₂ en el árbol de caucho se ve especialmente afectado por una respiración significativamente más alta. Las tasas de respiración más altas que ocurren en la fase juvenil parecen indicar una mayor actividad metabólica de crecimiento, durante la cual se requiere la energía liberada para sintetizar compuestos estructurales y clorofila. Para alcanzar la fotosíntesis neta, las hojas jóvenes necesitan aumentar la concentración de CO₂ (Miguel, De Oliveira, Cairo y De Oliveira, 2007).

En Colombia, en las últimas tres décadas, el cultivo del caucho ha representado una opción económica muy importante en el departamento del Caquetá. Sin embargo, la reducida base genética, la baja productividad, la alta susceptibilidad a factores fitosanitarios y la escasa implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA) han limitado el fomento masivo del caucho en la región (Ramírez *et al.*, 2018; Sterling, Rodríguez y Melgarejo, 2015). El mejoramiento ha sido una de las estrategias más prometedoras para incrementar la productividad del cultivo. Sin embargo, el caucho, al ser una especie perenne, requiere de más de seis años de crecimiento antes de que el látex pueda ser cosechado (período improductivo) y hasta de otros cinco o seis años para evaluar su potencial productivo en la fase productiva, un proceso que puede tardar más de veinte años hasta obtener materiales genéticos con características deseables (Priyadarshan, 2017).

En Caquetá, se han realizado diversos estudios que buscan ampliar la base genética en la región mediante la evaluación a pequeña y gran escala de nuevos materiales genéticos tanto introducidos como regionales (Sterling y Rodríguez, 2011, 2012, 2017). Asimismo, se han analizado durante la fase de crecimiento distintos atributos dasométricos y nutricionales (Sterling y Rodríguez, 2012) y fisiológicos (Sterling *et al.*, 2015, 2019; Sterling y Rodríguez, 2019, 2020) para la selección preliminar de materiales genéticos sobresalientes. No obstante, es fundamental analizar la estabilidad temporal de estos atributos y su comportamiento durante la etapa productiva del cultivo

con el fin de generar criterios de selección más precisos antes de generar una recomendación final al nivel del productor.

En el presente capítulo, se presentan los resultados de la evaluación del crecimiento, comportamiento nutricional y respuesta fisiológica de nueve clones introducidos promisorios y el clon IAN 873 (testigo) en tres campos clonales a gran escala en las fases de crecimiento y de sangría temprana en el departamento del Caquetá (Colombia).

1.2. Metodología

1.2.1. Área de estudio

Este estudio fue realizado en el departamento del Caquetá (Colombia), ubicado en la región nororiental de la Amazonia y al sur de Colombia. Limita al norte con los departamentos de Meta y Guaviare, al oriente con los departamentos de Vaupés y Amazonas, al occidente con el Cauca y Huila, y al sur la margen izquierda del río Caquetá lo separa de Putumayo y parte del Amazonas (Ramírez *et al.*, 2018).

El régimen de precipitación en la región permite identificar dos periodos ecológicos de lluvias, un periodo más seco o “época seca”, correspondiente a meses en los cuales la precipitación mensual es inferior al promedio, y un periodo más húmedo o “época lluviosa”, en el que el volumen de lluvia es mayor que el promedio mensual (Corpoamazonia, 2013), y entre cada uno de estos periodos se presentan transiciones. Esta periodicidad es importante en la respuesta fisiológica y agronómica de los árboles de caucho natural.

Los ensayos de campo se establecieron en 2009 en tres municipios del departamento: Florencia (vereda Balcanes, con coordenadas 01°37'03" N y 75°37'03" W), Belén de los Andaquíes (vereda Agua Dulce, con coordenadas 1°25'28" N y 75°52'11" W) y San Vicente del Caguán (vereda Buenos Aires, con coordenadas 02°02'41" N y 74°55'12" W) (figura 1.2).

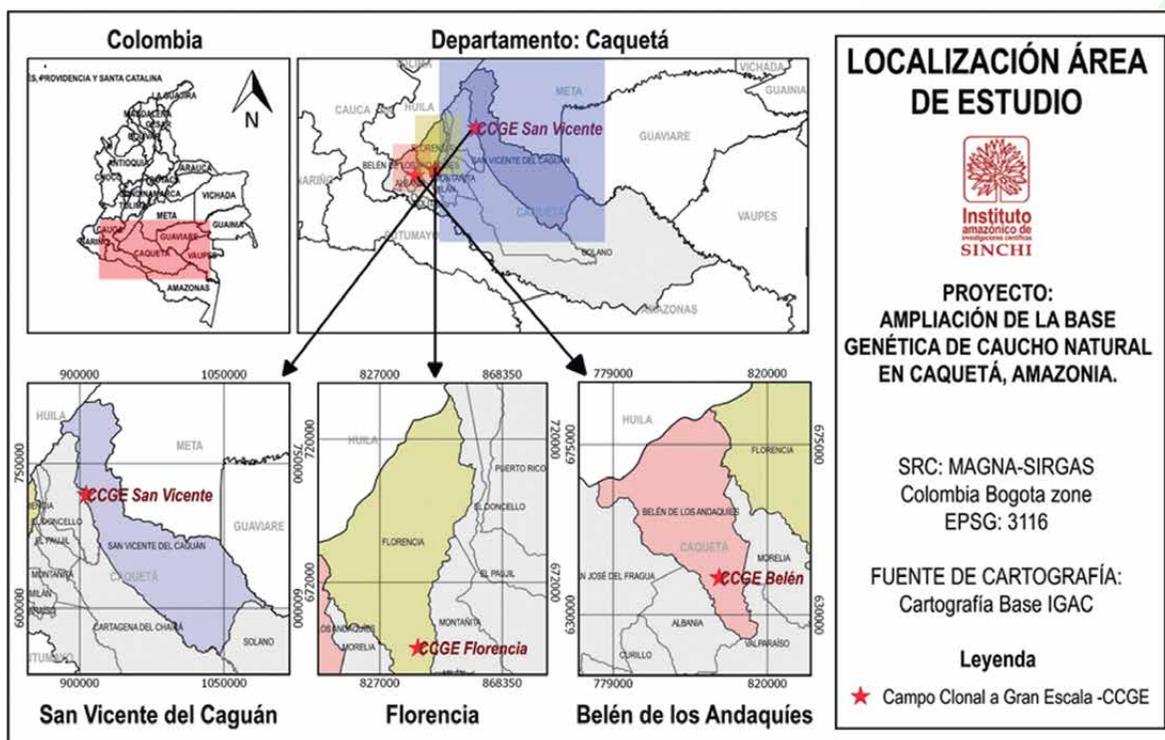


Figura 1.2. Localización del área de estudio (tres campos clonales a gran escala - CCGEs) en el departamento del Caquetá (Colombia).

Fuente: Sterling y Rodríguez (2020).

1.2.2. Material vegetal

Se emplearon nueve clones introducidos (tabla 1.1) con características agronómicas deseables (Cardoso *et al.*, 2014; Garcia, Mattos, Gonçalves y Le Guen, 2004; Le Guen, Garcia, Mattos y Clément-Demange, 2002; Rivano, Martinez, Cevallos y Cilas, 2010; Sterling y Rodríguez, 2020). El clon IAN 873 se empleó como testigo debido a su amplio fomento comercial en la región.

Tabla 1.1. Material genético de caucho (*H. brasiliensis*) evaluado en tres campos clonales a gran escala en Caquetá (Colombia)

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

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.

Fuente: Sterling y Rodríguez (2020).

1.2.3. Diseño experimental

En cada localidad se consideró un campo clonal a gran escala (CCGE) establecido entre julio y agosto de 2009, siguiendo un diseño de bloques completos al azar. Cada CCGE de 5,04 hectáreas (ha) fue dividido en cuatro bloques cada una de 1,26 ha (figura 1.3). En cada bloque se establecieron los diez clones (tratamientos) y por cada tratamiento se emplearon sesenta plantas sembradas en surcos sencillos con una distancia de siembra de 7,0 m x 3,0 m (Sterling y Rodríguez, 2012). El experimento estuvo rodeado por una hilera de abarco colombiana (*Cariniana pyriformis* Miers) como barrera rompe vientos (Sterling *et al.*, 2019).

1.2.4. Manejo agronómico de los experimentos

En cada CCGE se realizó un 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 control de acidez del suelo con cal dolomita (1,5 t.ha⁻¹) (Sterling *et al.*, 2019).

1.2.5. Medición de datos de crecimiento, nutrición y fisiología

En cada localidad, la evaluación del crecimiento y el comportamiento nutricional de los diez clones de caucho se realizó sobre el 100% de los individuos a los 7, 8, 9 y 10 años después de la siembra (ADS). Las evaluaciones fisiológicas se compararon en dos fases: a) sobre cuatro árboles de cada clon en fase de crecimiento o pre-sangría (años 7, 8 y 9 después de la siembra), y b) sobre cuatro árboles en fase de sangría temprana (árboles con un CT \geq 45 cm a 1,2 m del suelo en el año 10 después de la siembra, utilizando un sistema de sangría 1/2S↓ d/4 6d/7 10 m/12 Etrhel 2,5% 1 (2) Ba 4/Y) (ver más detalles en el capítulo 3). En las evaluaciones fisiológicas, además se consideró la variabilidad del régimen de precipitaciones de la zona de estudio (épocas seca y lluviosa y transición hacia la época seca).

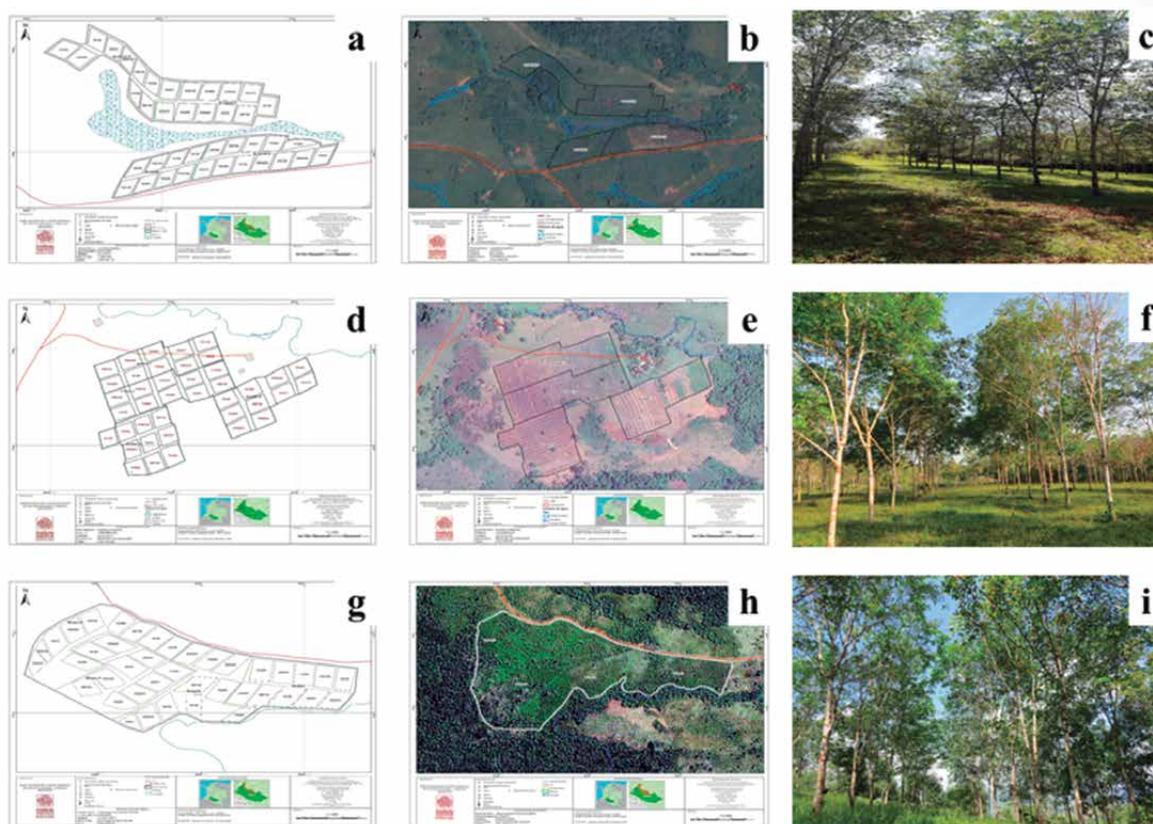


Figura 1.3. Campos Clonales a Gran Escala (CCGEs) con diseño de bloques completos al azar en tres municipios del Caquetá. **a.b.c.** Plano, imagen satelital y fotografía del CCGE en el municipio de Florencia. **d.e.f.** Plano, imagen satelital y fotografía del CCGE en el municipio de Belén de los Andaquíes. **g.h.i.** Plano, imagen satelital y fotografía del CCGE en el municipio de San Vicente del Caguán.

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

• Evaluación del crecimiento

El crecimiento se evaluó según el vigor expresado como la circunferencia del tronco (CT) (cm) a una altura de 1,2 m del suelo medido una vez al año durante todo el ciclo de evaluaciones (figura 1.4).

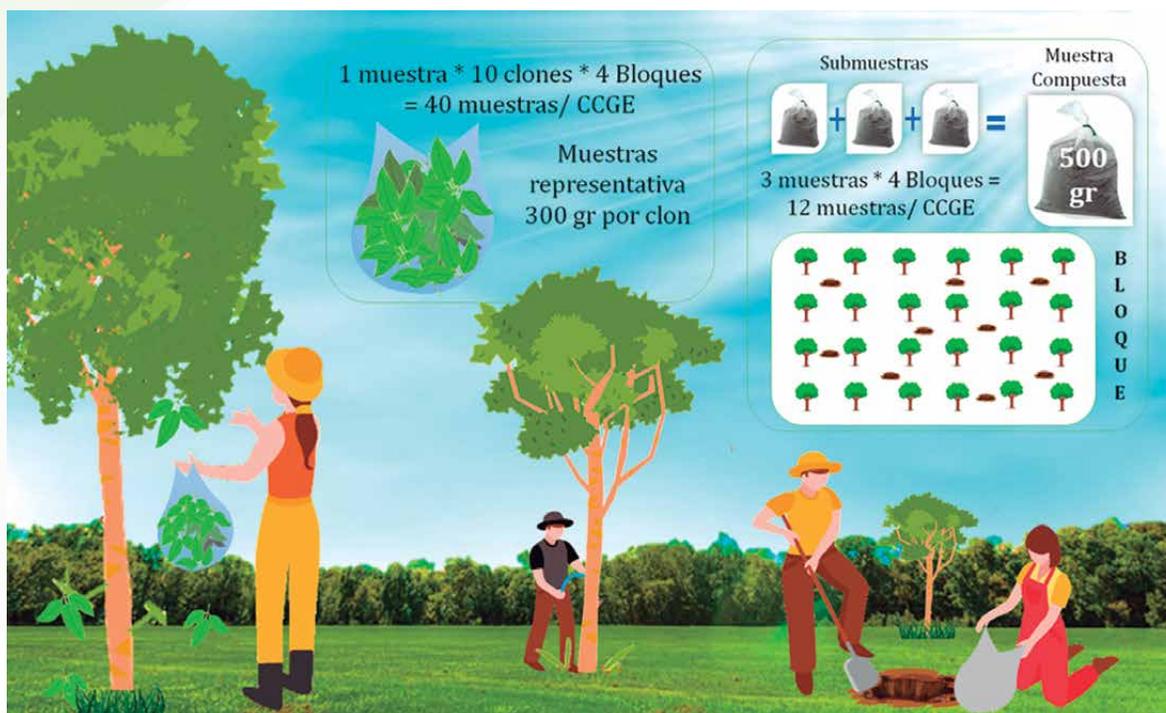


Figura 1.4. Medición de la circunferencia a la altura del pecho (CAP) para el monitoreo del crecimiento de los clones de caucho y toma de muestras para la determinación en laboratorio del contenido nutricional edáfico y foliar en los diferentes CCGE.

Fuente: Elaboración propia.

• Evaluación del comportamiento nutricional edáfico y foliar

Para la evaluación del contenido nutricional edafológico se realizaron 12 muestras compuestas en cada CCGE (tres muestras compuestas por bloque) para un total de 36 muestras en las tres localidades. Cada una de las muestras se obtuvo de la extracción de tres submuestras tomadas de forma aleatoria, a una profundidad de 30 cm, obteniendo así 500 g de muestras compuestas que fueron enviadas a AGRILAB Laboratorios para el análisis de factores físico-químicos como pH, conductividad eléctrica (C.E) (dS/m), saturación de humedad (S.M) (%), capacidad de intercambio catiónico efectiva (C.I.C.E) (meq/100g), carbono orgánico (C.O) (%), materia orgánica

(M.O) (%), nitrógeno total (N) (%), textura (limo, arena y arcilla) (%), densidad aparente (D.A) (g/cm³), potasio intercambiable (K.I) (mg/kg), calcio intercambiable (Ca.I) (mg/kg), magnesio intercambiable (Mg.I) (mg/kg), sodio intercambiable (Na.I) (mg/kg), acidez intercambiable (Ac.I) (mg/kg), hierro (Fe) (mg/kg), manganeso (Mn) (mg/kg), cobre (Cu) (mg/kg), zinc (Zn) (mg/kg), boro (B) (mg/kg), fósforo (P) (mg/kg), azufre (S) (mg/kg), saturación de potasio (Sat.K) (%), saturación de calcio (Sat.Ca) (%), saturación de magnesio (Sat.Mg) (%), saturación de sodio (Sat.Na) (%), saturación de aluminio (Sat.Al) (%), relación calcio/magnesio (Ca/Mg), relación calcio/potasio (Ca/K), relación magnesio/potasio (Mg/K) y relación calcio + magnesio/potasio (Ca+Mg/K). En cada CCGE el nivel de cada elemento o compuesto se calificó cualitativamente, así: deficiente (D), bajo (B), óptimo (O), alto (A) o exceso (E) (figura 1.4).

En relación con el contenido nutricional foliar, en cada localidad se recolectaron 40 muestras foliares (una muestra por clon en cada bloque), para un total de 120 muestras foliares. Cada muestra de 300 g estaba constituida por foliolos en los estadios C y D fotosintéticamente activos y libres de síntomas de enfermedades o daños por plagas. Estas muestras se empacaron en bolsas de papel y luego en bolsas herméticas con gel de sílice, rotuladas y refrigeradas en nevera de poliestireno expandido (icopor) para envío a AGRILAB Laboratorios para el análisis de factores químicos como contenido de humedad (%), nitrógeno total (N) (%), fósforo (P) (%), potasio (K) (%), calcio (Ca) (%), magnesio (Mg) (%), azufre (S) (%), hierro (Fe) (mg/kg), manganeso (Mn) (mg/kg), cobre (Cu) (mg/kg), zinc (Zn) (mg/kg), boro (B) (mg/kg), sodio (Na) (mg/kg), saturación de potasio (Sat.K) (%), saturación de calcio (Sat.Ca) (%), saturación de magnesio (Sat.Mg) (%), relación calcio/magnesio (Ca/Mg), relación calcio/potasio (Ca/K), relación magnesio/potasio (Mg/K), relación calcio + magnesio/potasio (Ca+Mg/K), relación nitrógeno/azufre (N/S), relación nitrógeno/fósforo (N/P), relación calcio/boro (Ca/B) y relación hierro/manganeso (Fe/Mn).

• Evaluación de la respuesta fisiológica

Se midieron y seleccionaron para el presente estudio las principales variables relacionadas con el intercambio gaseoso (tasa de fotosíntesis neta, A ; uso eficiente del agua extrínseco, WUE_e), la fluorescencia de la clorofila a (eficiencia fotoquímica máxima potencial del fotosistema II, F_v/F_m ; eficiencia de operación del fotosistema II, Φ_{PSII}) y el estado hídrico (potencial hídrico foliar, Ψ_{foliar}) (figura 1.5). Las variables A , WUE_e , Φ_{PSII} y Ψ_{foliar} se midieron entre las 9:00 h y 15:00 h (promedios más altos) y a las 3:00 h para F_v/F_m . Se seleccionaron dos hojas totalmente expandidas y con buen estado nutricional y fitosanitario del tercio medio del dosel por árbol en estadio foliar D1, que registraron un contenido relativo de clorofila (CCI) entre 18 a 38 unidades en el foliolo central de cada hoja.

Las variables estudiadas se registraron y analizaron, teniendo en cuenta el régimen de precipitaciones de la zona de estudio: época seca (diciembre-febrero), época lluviosa (marzo-junio) y época de transición (julio-noviembre) para la fase de crecimiento, y en las condiciones de mayor déficit hídrico (época seca) para la fase de sangría temprana.



Figura 1.5. Equipos empleados para las evaluaciones fisiológicas. **1.** Medidor de clorofila para selección de hojas. **2.** Sistema fotosintético portátil CIRAS-3 para estimar las variables de intercambio gaseoso y fluorescencia de la clorofila a. **3.** Cámara de Schollander para estimación del potencial hídrico foliar.

Fuente: Elaboración propia.

1.2.6. Análisis de la información

Las variables de crecimiento y fisiológicas se analizaron mediante un ANOVA con el fin de determinar la variación entre años o épocas, localidades, clones y sus interacciones. Una prueba LSD de Fisher al 5% de significancia permitió contrastar la diferencia entre los valores promedios de estas variables. La técnica de análisis de componentes principales se empleó con el fin de ordenar los clones o localidades de acuerdo con su comportamiento nutricional foliar o edáfico.

En cada localidad, las medias de las variables priorizadas por clon fueron normalizadas en el intervalo [0,1 - 1], utilizando la fórmula empleada por Velasquez, Lavelle y Andrade (2007):

$$Y = 0,1 + (x-b)/(a-b)*0,9$$

Ecuación (1.1)

Donde:

x = variable a transformar

a = valor máximo de la variable

b = valor mínimo de la variable

En el caso del $\Psi_{foliar'}$ dada su naturaleza negativa y por tanto su relación inversa con las otras variables, se calculó primero su valor absoluto y después se usó la siguiente ecuación:

$$Y = 1,1 - (0,1 + (x-b)/(a-b)*0,9)$$

Ecuación 1.2

Luego se calculó la media ponderada de todas las variables transformadas, usando la siguiente ponderación: CT (70%), N (2%), K (2%), Ca (0,5%), P (2%), Mg (0,5%), S (0,5%), Mn (0,5%), Fe (0,5%), B (0,5%), Zn (0,5%), Cu (0,5%), A (6%), WUEe (5%), Φ_{PSII} (3%), Fv/Fm (3%) y Ψ_{foliar} (3%). Esta media fue ordenada de mayor a menor con el fin de obtener por cada localidad el escalafón de los mejores clones por su desempeño en vigor, fisiológico y nutricional. Las pruebas estadísticas se realizaron con el programa InfoStat versión 2018 (Di Rienzo et al., 2018).

1.3. Resultados y discusión

1.3.1. Crecimiento (vigor)

La circunferencia del tronco (CT) a los 7, 8, 9 y 10 años después de la siembra (ADS) permitió identificar el potencial agronómico durante las fases de pre-sangría (años 7 a 9) y sangría temprana (año 10) (figura 1.6). En todos los casos se identificaron diferencias estadísticas en la interacción de mayor orden (Clon x Localidad x Año) ($P < 0,05$).

En el año 7 después de la siembra, la circunferencia del tronco (CT) osciló entre 25,9 en el clon FDR 4575 y 41,0 cm en los clones GU 198, FDR 5788 y FX 4098 (figura 1.6), siendo similar a lo reportado por Gonçalves et al. (2001) en otros clones de la serie IAC (CT entre 31,50 y 38,95 cm) y RRIM 600 (33,34 cm) para el año 6 después de la siembra.

Los árboles crecidos en San Vicente del Caguán y Belén de los Andaquíes registraron los CT promedio más altos desde el 7 ADS (35 cm), en comparación con los árboles en Florencia con CT de 32 cm; este mismo comportamiento se evidenció para el año 9 después de siembra con un promedio para las dos primeras localidades de 41-42 cm y en Florencia con 40 cm. El valor promedio para el año 10 de siembra fue similar en las tres localidades y aumentó significativamente ($P < 0,05$) alcanzando valores entre 46 a 47 cm (figura 1.6). Este aumento de CT coincide con lo reportado por Rivano et al. (2010) en ensayos a gran escala en la zona tropical costera de la provincia de Esmeraldas (Ecuador) para los clones IRCA 18 e IRCA 19 con medias de 43,5 cm y 40,4 cm para el año séptimo, y 46,3 cm y 43,6 cm para el octavo año, respectivamente.

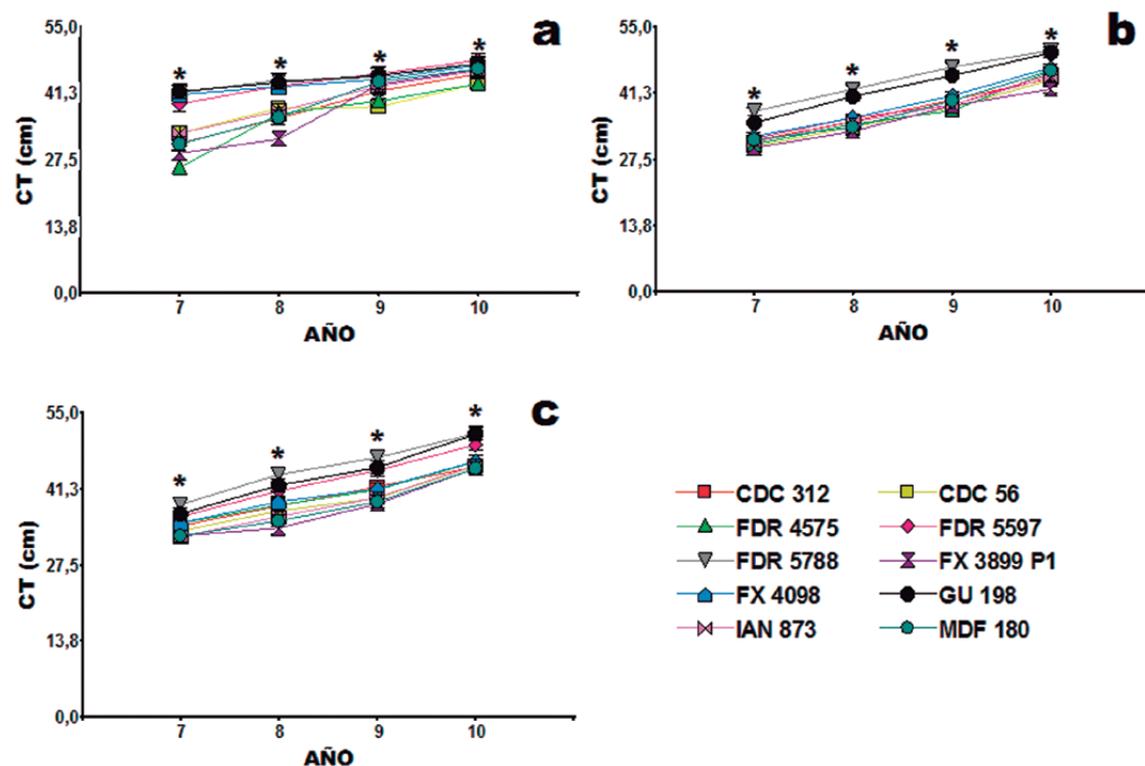


Figura 1.6. Medias de la circunferencia del tronco (cm) (vigor) de diez clones de caucho (*H. brasiliensis*) en tres campos clonales a gran escala (CCGE) establecidos en Belén de los Andaquíes (a), Florencia (b) y San Vicente del Caguán (c), en Caquetá (Colombia), a los 7, 8, 9 y 10 años después de la siembra. Los valores representan la media y las barras el error estándar. Los asteriscos (*) indican diferencias significativas entre genotipos en cada año (Prueba LSD; $P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

Los clones GU 198 y FDR 5788 presentaron un mayor vigor en las tres localidades y en el tiempo (figura 1.6). En el año décimo, los clones FDR 5788, GU 198 y FDR 5597 reportaron un vigor significativamente mayor ($P < 0,05$), entre 47 y 49 cm; en San Vicente del Caguán el mayor vigor se registró en los clones FDR 5788 (51,2 cm), GU 198 (51,1 cm) y FDR 5597 (49,2 cm); en Belén el mayor vigor lo registró FDR 5597 (48 cm), mientras en Florencia fueron los clones GU 198 (49,5 cm) y FDR 5788 (50 cm) (figura 1.6). Estos resultados coinciden con lo reporta-

do por De Souza *et al.* (2000) y Gonçalves *et al.* (1993) para los clones de la serie IAC (CT < 51 cm), AVROS 1328 (50,04 cm) y RRIM 600 (50,17 cm) establecidos en la región de Vale de Ribeira, São Paulo y Fazenda Água Milagrosa en Brasil (Gonçalves *et al.*, 2001). El testigo IAN 873 es superado por al menos el 60 % de los clones en evaluación. El valor promedio del clon IAN 873 para las tres localidades osciló entre 44,65 cm y 45,93 cm.

En general, los clones crecidos en San Vicente del Caguán y Belén de los Andaquíes presentan mejor vigor con respecto a los clones crecidos en Florencia. Los clones FDR 5788 y GU 198 presentan un mejor crecimiento del CT a través del tiempo en San Vicente del Caguán y Florencia, mientras el clon FDR 5597 lo registra en San Vicente del Caguán y Belén de los Andaquíes.

1.3.2. Contenido nutricional edáfico y foliar

En la figura 1.7, San Vicente del Caguán presentó mayor saturación de K (20,57%), D.A (1,46 g/cc), Mg intercambiable (29,82), contenido de arena (54,45%) y relación Mg/K (5,43). En Belén de los Andaquíes registró mayor contenido de N (0,11%), S (7,63 mg/kg), Mn (8,82 mg/kg), Zn (0,96 mg/kg), limo (24,34%), arcillas (32,91%), C.O (1,10%), M.O (1,90%), S.M (28,58%), C.E (0,10 dS/m), saturación de Na (7,97%), Mg (4,97%), Ca (32,45%), relación Ca/K (13,51), Ca+Mg/K (17,08) y sodio intercambiable (26,66). En Florencia, se registró mayor potasio intercambiable (50,64) y contenido de Cu (1,13 mg/kg).

Peña-Venegas y Cardona (2010) indican que los suelos de la Amazonia colombiana se caracterizan por su alta acidez (pH 3.5 - 5.5) con altas concentraciones de aluminio, estos reportes coinciden con el valor medio de pH registrado en las localidades de Belén de los Andaquíes (4,69) y Florencia (4,68), en el departamento del Caquetá, difiriendo con los resultados reportados en el CCGE de San Vicente del Caguán (6,23).

La CICE para las localidades de Florencia, Belén de los Andaquíes y San Vicente del Caguán correspondió a valores medios de 8,07 meq/100g, 5,70 meq/100g y 6,23 meq/100g, respectivamente; estos resultados se encuentran debajo de lo óptimo para el cultivo de caucho (15 meq/100g) (Ugwa, Orimoloye y Esekhadé, 2005). La baja disponibilidad de P y alta concentración de Fe se atribuye al valor del pH fuertemente ácido, ya que un valor de pH <5 permite el rompimiento de la estructura de los minerales arcillosos y en consecuencia liberar aluminio (Al^{3+}) y hierro (Fe^{3+}) formando fosfatos insolubles de hierro y aluminio no asimilables por las plantas (Jaramillo, 2002). De esta manera, se indica la importancia de los nutrientes en el establecimiento de plantaciones de caucho donde el suelo es un reservorio de nutrientes para las plantas (Awe, Thogong y Adegboye, 2007).

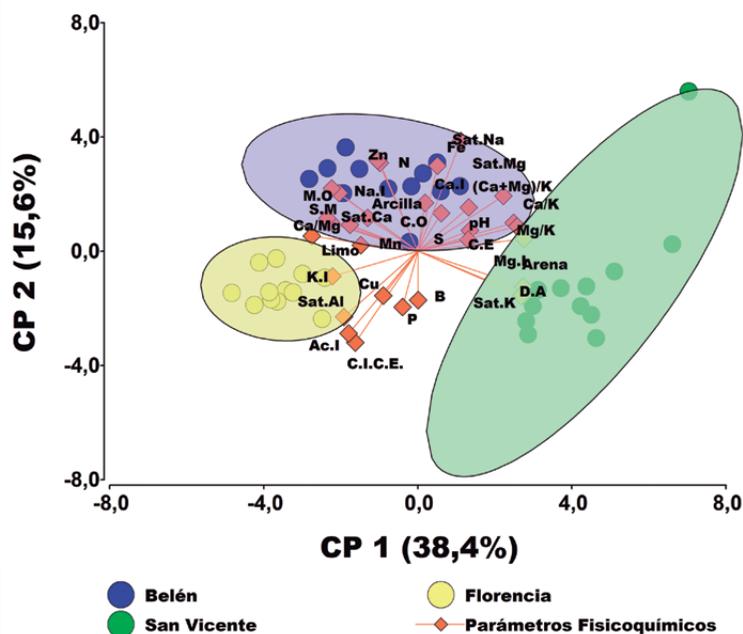


Figura 1.7. Análisis de componentes principales (gráfico biplot) para 32 parámetros físico-químicos edáficos (promedio de cuatro años de evaluación) cuantificados en tres campos clonales a gran escala de caucho (*H. brasiliensis*) presentes en tres localidades de Caquetá, Colombia. Clave: pH, C.E: conductividad eléctrica, S.M: saturación de humedad; C.I.C.E: capacidad de intercambio catiónico efectiva; C.O: carbono orgánico; M.O: materia orgánica; N: nitrógeno total; limo; arena; arcilla; D.A: densidad aparente; K.I: potasio intercambiable; Ca.I: calcio intercambiable; Mg.I: magnesio intercambiable, Na.I: sodio intercambiable; Ac.I: acidez intercambiable; Fe: hierro; Mn: manganeso; Cu: cobre; Zn: zinc; B: boro; P: fósforo; S: azufre; Sat.K: saturación de potasio; Sat. Ca: saturación de calcio; Sat.Mg: saturación de magnesio; Sat.Na: saturación de sodio; Sat.Al: saturación de aluminio; Ca/Mg: relación calcio/magnesio; Ca/K: relación calcio/potasio, Mg/K: relación magnesio/potasio; Ca+Mg/K: relación calcio + magnesio/potasio.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 1.8 se presenta el análisis de componentes principales (ACP) realizado a partir de la matriz de correlación de las variables de estado nutricional foliar [elementos mayores (N, K, P, Ca, Mg, S), elementos menores (Cl, Mn, Cu, B, Zn, Fe, Na)], el porcentaje de saturación en Ca, K y Mg, y la relación entre Ca/Mg, Ca/K, Mg/K, Ca+Mg/K, N/S, N/P, Ca/B y Fe/Mn en diez clones de caucho.

Según la figura 1.8a, en Belén de los Andaquíes, el clon FDR 5788 presentó una mayor saturación de Ca (49,19%), relación Ca/Mg (2,16), Ca/K (2,05) y Ca+Mg/K (3,0). El clon IAN 873 tuvo mayor contenido de Ca (0,83%), K (0,83%), Mn (352,03 mg/kg), Zn (29,55 mg/kg), y relación Ca/B (546,94) y N/P (16,55).

En Florencia, el clon IAN 873 registró el mayor contenido de P (0,42%), Ca (0,80%), S (0,25%), Cu (9,94 mg/kg), Zn (38,88 mg/kg), Mn (722 mg/kg), saturación de Ca (48,63%), relación Ca/Mg (2,06), Ca/B (370,05), Ca/K (2,03) y Ca+Mg/K (3,01). El clon FDR 5597 presentó mayor K (0,90%) y Na (98,22 mg/kg), así como el clon GU 198 registró un mayor asocio a la saturación de Mg (28,87%), relación N/P (15,84) y N/S (14,63) (figura 1.8b).

En San Vicente del Caguán (figura 1.8c), el clon FDR 4575 presentó mayor contenido de Fe (86,05 mg/kg), Mn (502,25 mg/kg), saturación de Ca (47,11%), relación Ca/Mg (1,75), N/P (15,25), Ca/K (2,68), Mg/K (1,43) y Ca+Mg/K (4,10). El clon GU 198 mostró los mayores contenidos de B (28,54 mg/kg) y Na (125,86 mg/kg). El clon FDR 5597 tuvo mayor relación Ca/B (377,19).

Una equilibrada disponibilidad a través del suministro de nutrientes es esencial para el crecimiento (Carvajal *et al.*, 2012) y expresión de su máximo potencial genético (Backes, Villas, Grava, Forlan y Marques, 2018). Los nutrientes de mayor requerimiento en las plantas de *Hevea* reportados por Shorrocks (1965) son nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. El clon MDF 180 presentó mayores contenidos de N (2,62% - 2,88%), P (0,49% - 0,42%), K (1,07% - 0,81%) y Mg (0,33% - 0,29%) para Belén de los Andaquíes y Florencia. En San Vicente del Caguán el clon IAN 873 indicó los mayores niveles para N (2,75%), P (0,48%), K (1,01%), Mg (0,34%) y S (0,24).

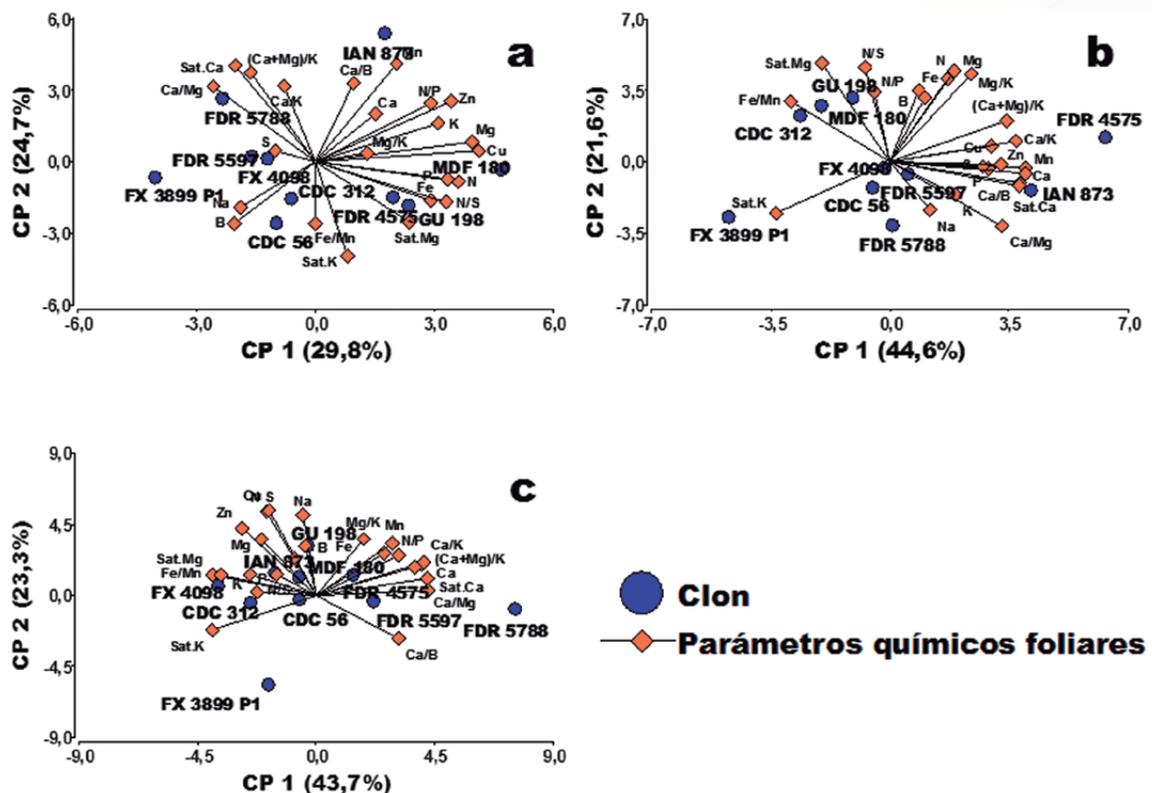


Figura 1.8. Análisis de componentes principales (gráfico biplot) para 23 parámetros químicos foliares (promedio de cuatro años de evaluación) cuantificados en diez clones de caucho (*H.*

brasiliensis) en tres campos clonales a gran escala en Caquetá, Colombia. Belén de los Andaquíes (a), Florencia (b) y San Vicente del Caguán (c). Clave: N: Nitrógeno; P: Fósforo; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio; S: Azufre; Cl: Cloro; Fe: Hierro; Mn: Manganeso; Cu: Cobre; Zn: Zinc; B: Boro; Na: Sodio, Sat.K: Saturación de potasio; Sat.Ca: Saturación de calcio; Sat.Mg: Saturación de Magnesio, Ca/Mg: Relación calcio y magnesio; Ca/K: Relación calcio y potasio, Ca+Mg/K relación calcio + magnesio/potasio, N/S: relación nitrógeno y azufre, N/P relación nitrógeno fósforo, Ca/B relación calcio y boro y Fe/Mn relación hierro manganeso.

Fuente: Elaboración propia.

1.3.3. Desempeño fisiológico

Las variables fisiológicas registraron los valores medios más altos en los periodos más secos (transición y seca) en la fase pre-sangría. La tasa de asimilación de CO_2 (A) ($9,2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y el potencial hídrico foliar (Ψ_{foliar}) ($-0,16$ a $-0,18$ MPa) fueron mayores en comparación al periodo lluvioso (A de $6,7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y Ψ_{foliar} de $-0,20$ MPa). El uso eficiente del agua extrínseco (WUE_e) fue significativamente mayor ($P < 0,05$) en el periodo seco con un valor promedio de $2,80 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$, mientras en el periodo lluvioso fue de $2,0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$. Se ha reportado que la radiación solar es el factor climático más limitante para las plantas en la Amazonia (Renninger y Phillips, 2010; Zhang, Meng y Cao, 2009), ya que es la fuente principal de energía que regula la fotosíntesis en *Hevea* para su crecimiento y desarrollo (Raj, Das, Pothan y Dey, 2005). Por el contrario, en el periodo más húmedo la radiación solar disminuye y hay mayor nubosidad, limitando la productividad por la disminución del intercambio constante de gases desde la hojas hacia el ambiente, por lo que se puede ver reducida la asimilación de CO_2 (Nataraja y Jacob, 1999). Sterling *et al.* (2019) encontraron este mismo comportamiento en los diez clones etapa sin sangría en San Vicente del Caguán y Florencia en el periodo seco (figura 1.9). En cuanto a los valores altos de WUE_e registrados en los periodos más secos, podría ser una estrategia de un uso más eficiente en la producción de biomasa por menor unidad de agua de los árboles de caucho. Esta estrategia podría darle la capacidad a los clones de tolerar el estrés en un escenario de baja disponibilidad de agua, con un bajo efecto sobre la asimilación de CO_2 y otros procesos fisiológicos, como se ha reportado en clones de caucho bajo condiciones de estrés hídrico (Chen, Zhang, Li y Cao, 2010), más si se tiene en cuenta que el agua es un recurso importante en la fase de producción de látex (Ahmad, Idris y Sulong, 2009; Kunjet *et al.*, 2013).

Los clones crecidos en San Vicente del Caguán en la fase pre-sangría tuvieron mayores medias de A y WUE_e , y menores promedios de Φ_{PSII} , F_v/F_m y Ψ_{foliar} en relación a Belén de los Andaquíes y Florencia (figura 1.9). En San Vicente del Caguán se registró una disminución de Φ_{PSII} (figuras 1.9c, 1.9h), una reducción de la capacidad fotosintética relacionada con el transporte de electrones. Las condiciones climáticas de esta región del departamento registraron mayor radiación solar (PAR), temperatura del aire (T_a) y déficit de presión de vapor (DPV) y una disminución de la humedad relativa en el aire (HR), un clima menos húmedo en comparación con Florencia y Belén de los Andaquíes (Sterling *et al.*, 2015). Esta reducción de Φ_{PSII} se ha reportado en clones de *Hevea* bajo estrés hídrico (Chen *et al.*, 2010; Sumesh *et al.*, 2011). En la fase de sangría temprana los patrones de respuesta fisiológica parecen cambiar, siendo Belén de los Andaquíes la

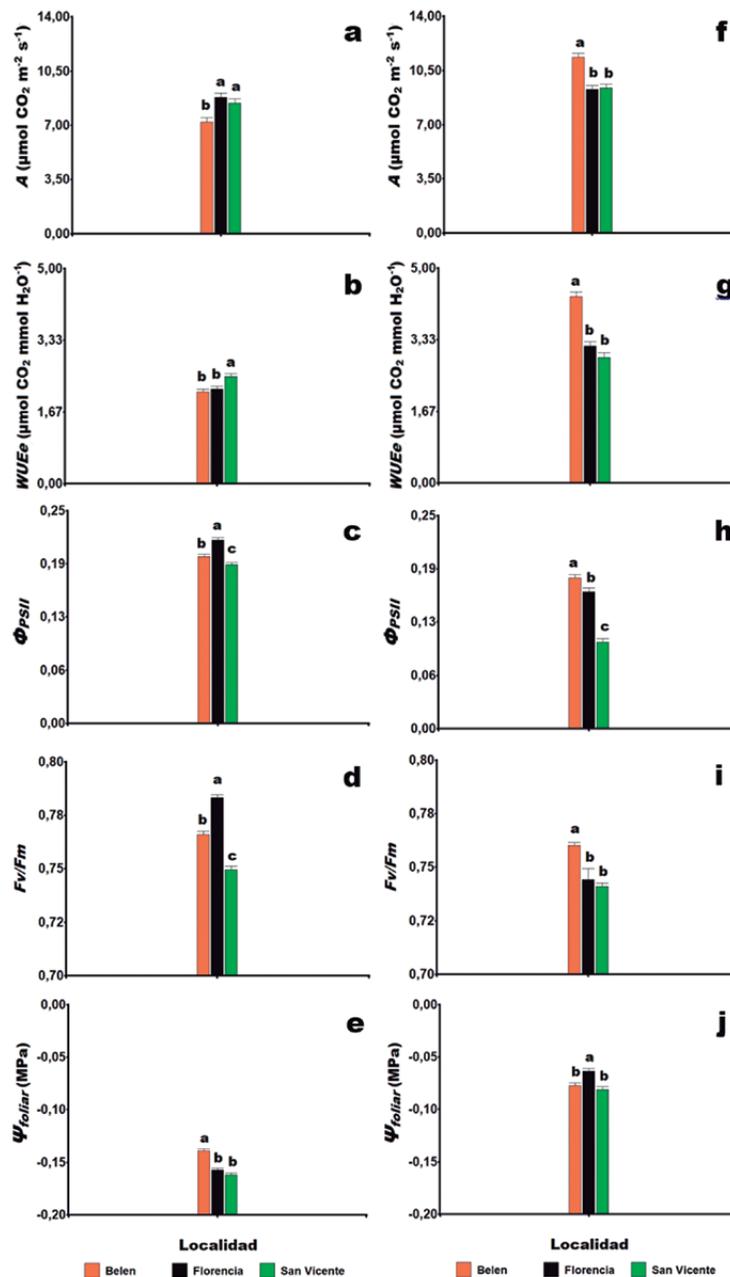


Figura 1.9. Medias de las variables fisiológicas estimadas para tres campos clonales a gran escala de caucho (*H. brasiliensis*) en tres localidades de Caquetá, Colombia. Fases de pre-sangría (a-e) y sangría temprana (f-j). Tasa fotosintética (A) (a,b), uso eficiente del agua extrínseco (WUEe) (c,d), eficiencia de operación del fotosistema II (Φ_{PSII}) (e,f), eficiencia fotoquímica máxima potencial del fotosistema II (Fv/Fm) (g,h) y el potencial hídrico foliar (Ψ_{foliar}) (i,j). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

localidad que presentó mejores condiciones para el crecimiento de los clones, registrando medias mayores de A , WUE_e , Φ_{psII} y Fv/Fm , en contraste con las otras dos localidades; sin embargo, el Ψ_{foliar} fue mayor en los clones crecidos en Florencia (figura 1.9).

En la fase pre-sangría el promedio de WUE_e fue más alto en San Vicente del Caguán pero en la fase de sangría temprana fue mayor en Belén de los Andaquíes (figura 1.9), localidad que presentó promedios altos en variables como A y Φ_{psII} , y un alto potencial productivo de contenido de contenido de sólidos totales (TSC) y contenido de caucho seco (DRC) (Sterling y Rodríguez, 2020).

En general, los clones GU 198, CDC 312 y MDF 180 presentaron valores medios altos para A , WUE_e , Φ_{psII} y Fv/Fm (figura 1.10) en la fase de sangría temprana. Como ya se mencionó, la remoción del látex a través del rayado aumenta la demanda por asimilados para la producción de látex, y esto estimula la producción de asimilados a través la fotosíntesis (Chantuma *et al.*, 2009; Gunasekara, De Costa y Nugawela, 2007; Silpi *et al.*, 2006, 2007), mayor concentración y actividad de enzimas fotosintéticas, fotosistemas y compuestos de la cadena de transporte de electrones (Gunasekara, De Costa y Nugawela, 2007). Este aumento en la demanda del vertedero se ha registrado en otros cultivos como cítricos (Ribeiro *et al.*, 2017) y *Ficus* spp. (Vemmos *et al.*, 2013).

El potencial hídrico foliar (Ψ_{foliar}), que es uno de los muchos indicadores del estado hídrico de las plantas, registró su valor más alto para los clones IAN 873 y FX 4098 de -0,16 MPa en la fase de pre-sangría, mientras el clon GU 198 registró el valor más bajo con -0,20 MPa (figura 1.10). En la fase de sangría temprana, la media más alta del Ψ_{foliar} fue registrada por los clones IAN 873, MDF 180 y FDR 5597 con 0,09 MPa; por su parte, el clon FDR 5788 registró el valor más bajo con -0,12 MPa (figura 1.10).

Estos resultados no evidencian un déficit hídrico o estrés por sequía en los árboles, si se compara con lo reportado por Isarangkool Na Ayutthaya *et al.* (2011) para el clon RRIM 61, en el que el rango del Ψ_{foliar} fue de -0,32 y -0,44 MPa en el período de buena irrigación con agua, en comparación al período de mayor sequía con valores de Ψ_{foliar} hasta de -0,83 MPa. Carr (2014) reportó que valores cercanos a -1,3 a -2,4 MPa de Ψ_{foliar} en *H. brasiliensis* se han registrado en la época seca en el clon RR1105 en cultivos en India, como resultado en la reducción de la conductancia estomática, confirmando la tolerancia relativa a sequía por este clon. Esto podría sugerir que en los clones crecidos en los tres CCGE la disponibilidad de agua no sería un factor limitante para el crecimiento.

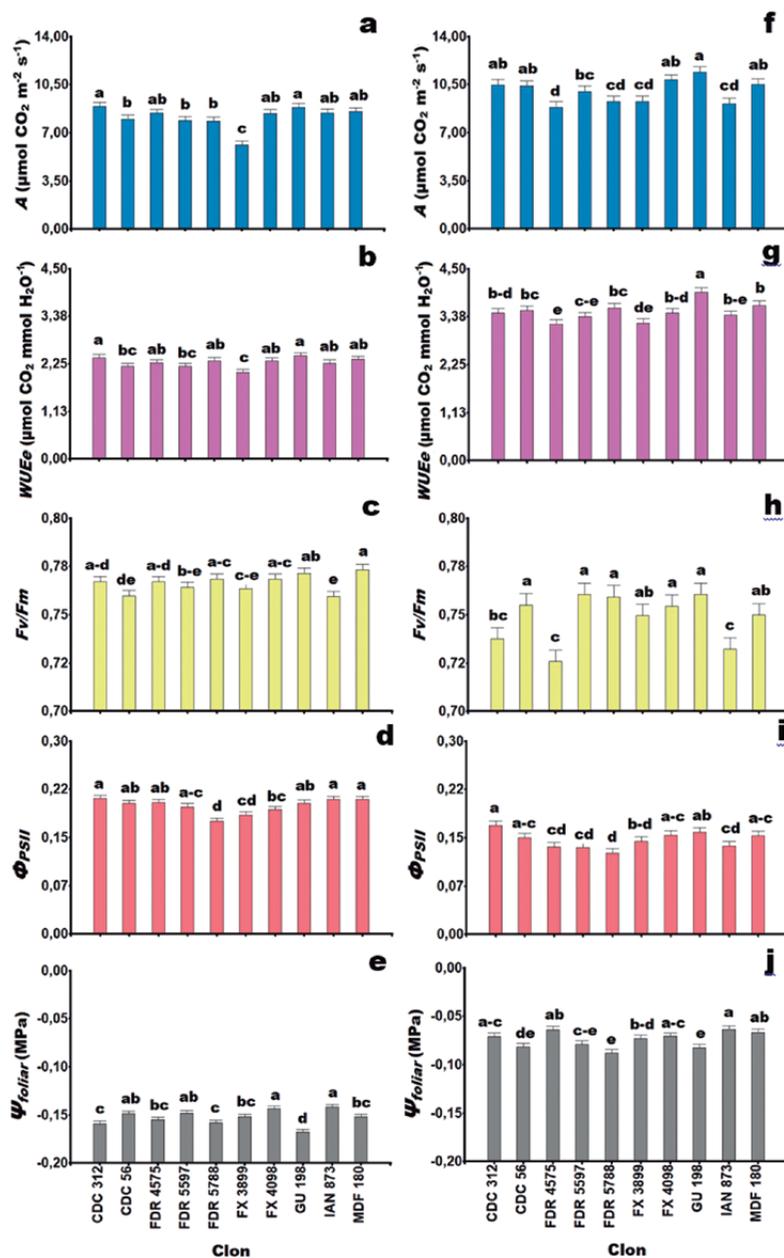


Figura 1.10. Medias de las variables fisiológicas estimadas para diez clones de caucho (*H. brasiliensis*) en las fases pre-sangría (a-e) y sangría temprana (f-j) en Caquetá, Colombia. Tasa fotosintética (A) (a,b), uso eficiente del agua extrínseco (WUEe) (c,d), eficiencia de operación del fotosistema II (Φ_{PSII}) (e,f), eficiencia fotoquímica máxima potencial del fotosistema II (Fv/Fm) (g,h) y el potencial hídrico foliar (Ψ_{foliar}) (i,j). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

Los valores entre 0,73 a 0,79 de F_v/F_m también podrían indicar un buen rendimiento fotosintético en el uso de la luz para los clones crecidos en los tres CCGEs en las diferentes épocas y en la fase de sangría temprana. El F_v/F_m refleja la capacidad que pueden tener los centros de reacción de los fotosistemas del aparato fotosintético para usar la energía luminosa absorbida que pueda ser utilizada en el proceso de fotosíntesis (Brestic y Zivcak, 2013), y de la ocurrencia de procesos de fotoinhibición fotoquímica o de otro tipo de daño en los complejos del PSII (Brestic y Zivcak, 2013; Lambers, Stuart Chapin y Pons, 2008). Se ha reportado que valores cercanos a 0,83 indican que el aparato fotosintético de la planta está en buen estado, pero valores por debajo de 0,70 indican algún tipo de alteración en el sistema (Baker, 2008; Brestic y Zivcak, 2013; Cavender y Bazzaz, 2004).

En la figura 1.11 se aprecia la influencia de la interacción “localidad x clon” sobre las variables fisiológicas estudiadas. En este sentido, hubo un efecto significativo en las variables A , WUE_e , F_v/F_m y Ψ_{foliar} en la fase pre-sangría. Sin embargo, en la fase de sangría temprana, se observaron diferencias significativas en todas las variables estudiadas.

Algunos autores mencionan que para los programas de mejoramiento donde se examina la interacción de muchos rasgos o variables, usar solo un criterio de selección (directo o indirecto) no es tan preciso para determinar el rendimiento de los clones, y la comparación de algunas de estas variables puede ayudar a revelar atributos fisiológicos, moleculares y/o anatómicos estables de los clones, y así identificar clones con mayor rendimiento en los primeros estados de desarrollo (Ahmad, Idris y Sulong, 2009; Hawkins *et al.*, 2010), ya que rara vez estos rasgos en etapas tempranas de desarrollo tienen una fuerte influencia en la producción final (Jansson, Jonsson y Eriksson, 2005). Sterling y Rodríguez (2020) señalan que el GU 198 presenta un alto potencial productivo de caucho superior al IAN 873, clon que registra altos valores promedio para las variables fisiológicas evaluadas. El clon GU 198 registró altos valores de WUE_e y A en ambos periodos de crecimiento.

Sterling y Rodríguez (2020) reportaron que durante la fase de sangría temprana también se evidencia un alto CAP , por lo que este clon podría tener una mejor eficiencia en la fijación de CO_2 sin pérdida de crecimiento, que le permita una producción de biomasa.

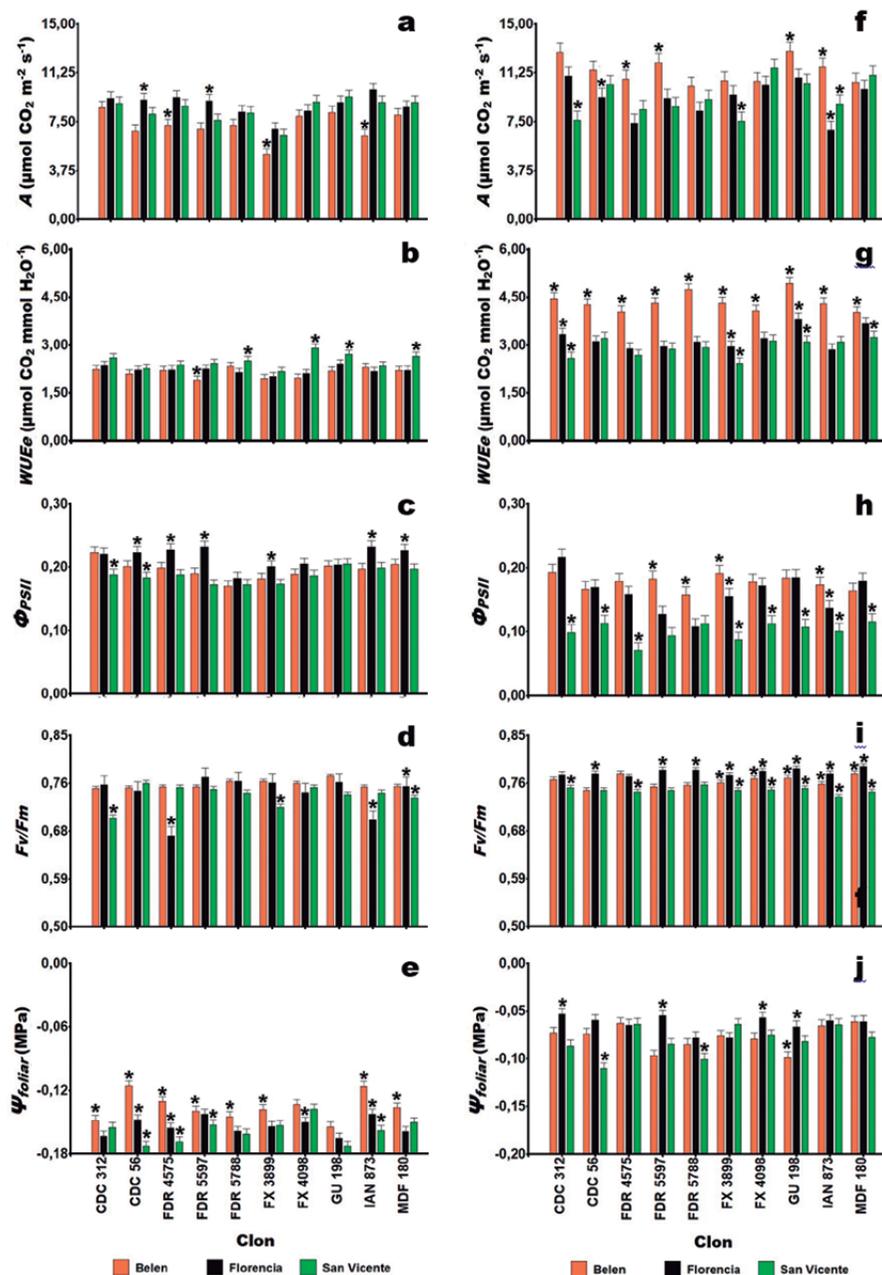


Figura 1.11. Medias de las variables fisiológicas de diez clones de caucho (*H. brasiliensis*) durante las fases de pre-sangría (a-e) y sangría temprana (f-j) en tres campos clonales a gran escala (CCGE) establecidos en tres localidades de Caquetá, Colombia. Clave: Tasa fotosintética (A) (a,b), uso eficiente del agua extrínseco (WUEe) (c,d), eficiencia de operación del fotosistema II (Φ_{PSII}) (e,f), eficiencia fotoquímica máxima potencial del fotosistema II (Fv/Fm) (g,h) y el potencial hídrico foliar (Ψ_{foliar}) (i,j). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

Nataraja y Jacob (1999) reportaron que clones RRII 203 y RRIC 100 tuvieron mayor biomasa con relativa alta A , con un mejor WUE_e por unidad de tasa de transpiración (E), por lo que podría ser un clon con alto potencial para selección en mejoramiento por su alta biomasa y WUE_e . Por el contrario, clones como FX 3899 y FDR 4575 que registraron un alto potencial productivo registran un menor desempeño fisiológico, que podrán presentar atributos que generan 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 (Sterling y Rodríguez, 2020). Sin embargo, los clones GU 198, CDC 312 y FX 4098 presentaron rasgos fisiológicos sobresalientes superiores al clon IAN 873 (testigo), lo que probablemente podría incidir en un mejor .

1.3.4. Identificación de los mejores clones promisorios

En la tabla 1.2 se presentan los mejores clones promisorios de caucho por su vigor, comportamiento nutricional y desempeño fisiológico deseables en tres campos clonales a gran escala, a partir de la calificación ponderada de las principales variables priorizadas por su importancia agronómica para el cultivo del caucho.

1.4. Consideraciones finales

Los clones crecidos en San Vicente del Caguán y Belén de los Andaquíes presentan mejor vigor con respecto a los clones crecidos en Florencia. Los clones FDR 5788 y GU 198 presentan un mejor crecimiento del CT a través del tiempo en San Vicente del Caguán y Florencia, mientras el clon FDR 5597 lo registra en San Vicente del Caguán y Belén de los Andaquíes.

En Belén de los Andaquíes, Florencia y San Vicente del Caguán se evidenció una alta acidez y saturación de aluminio, los nutrientes N, P, K, S, B, Cu y Zn son bajos, a excepción del contenido de hierro, que se encuentra en un nivel excesivo en el suelo. El clon MDF 180 presentó mayores contenidos de N, P, K y Mg para Belén de los Andaquíes y Florencia. En San Vicente del Caguán el clon IAN 873 indicó los mayores niveles de N, P, K, Mg y S.

Los resultados evidencian que el proceso de sangría parece estimular la producción de fotoasimilados y esto se vería reflejado en las altas A registradas en los clones evaluados en los tres CCGE, siendo los clones crecidos en Belén de los Andaquíes los que presentaron un mejor desempeño fisiológico. Los clones GU 198, CDC 312 y FX 4098 presentaron índices fisiológicos sobresalientes superiores al clon IAN 873 (testigo).

Este estudio permite concluir a partir de la matriz de identificación (tabla 1.2) que los clones promisorios más sobresalientes, comparados con el clon IAN 873 (testigo) de acuerdo a su vigor y desempeño nutricional y fisiológico para cada localidad, fueron: en Belén de los Andaquíes los clones FDR 5597, GU 198, FDR 5788, FX 4098 y MDF 180; en Florencia los clones GU 198, FDR 5788, FX 4098, MDF 180, FDR 5597 y FDR 4575; y en San Vicente del Caguán los clones GU 198, FDR 5788, FDR 5597, FX 4098, FDR 4575 y MDF 180.

1.5. Referencias bibliográficas

- Ahmad, B., Idris, H. y Sulong, S. H. (2009). Early Selection of Promising High Yielding *Hevea* Progenies based on Selected Physiological and. *J. Rubber Res.*, (12), 140-150.
- Awe, O., Thogong, T. y Adegboye, N. S. (2007). A survey of soil fertility management technologies used by small holders in Jos Plateau. En Olufaji, Reviving A. ed., *Reviving Agriculture for Sustainable Natural Growth and Stable Democracy. Proceedings of the 41st Annual Conference of Agricultural Society of Nigeria (ASN) Held at IAR, Samaru, ABU Zaria, Nigeria 22nd - 26th.*
- Baker, N. R. (2008). Chlorophyll Fluorescence: A Probe of Photosynthesis In Vivo. *Plant Biol.*, (59), 89-113. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759>
- Brestic, M. y Zivcak, M. (2013). PSII Fluorescence Techniques for Measurement of Drought and High Temperature Stress Signal in Crop Plants: Protocols and Applications. En G. R. Rout y A. B. Das (Eds.), *Molecular Stress Physiology of Plants*, pp. 1-440. Springer Berlin Heidelberg, India. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-81-322-0807-5>
- Cardoso, S. E. A., Freitas, T. A., Silva, D. da C., Gouvêa, L. R. L., Gonçalves, P. de S., Mattos, C. R. R. y 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2013.12.033>
- Carr, M. K. V. (2014). The water relations of rubber (*Hevea brasiliensis*): A review. *Exp. Agric.*, (48), 176-193. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0014479711000901>
- Cavender, J. y Bazzaz, F. (2004). From Leaves to Ecosystems: Using Chapter 29: Chlorophyll Fluorescence to Assess Photosynthesis and Plant Function in Ecological Studies. En *Advances in Photosynthesis and Respiration*, p. 820. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9>
- Chacón-Pardo, E., Camacho-Tamayo, J. H. y Arguello, O. (2013). Establishment of DRIS norms for the nutritional diagnosis of rubber (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.) clone RRIM 600 on the Eastern Plains of Colombia. Establecimiento de la norma de DRIS para el diagnóstico nutricional del caucho. *Agron. Colomb.*, (31), 215-222.
- Chantuma, P., Lacoite, A., Kasemsap, P., Thanisawanyangkura, S., Gohet, E., Clment, A., Guillot, A., Amglio, T. y 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. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq043>
- Chen, J. W., Zhang, Q., Li, X. S. y Cao, K. F. (2010). Gas exchange and hydraulics in seedlings of *Hevea brasiliensis* during water stress and recovery. *Tree Physiol.*, (30), 876-885. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq043>
- Corpoamazonia. (2013). Clima del Caquetá - Región sur. [WWW Document]. URL http://www.corpoamazonia.gov.co/region/Jur_Clima.htm.
- De Souza, P., Saes, L., Furtado, E., Sambugaro, R. y Sakai, M. (2000). Clones promissores de seringueira para a região do Vale do Ribeira, São Paulo. *Pesq. agropec. bras.*, (35), 2343-2353.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarine, M. G., Gonzales, L., Tablada, M. y Robledo, C. W. (2018). InfoStat versión 2018.
- Garcia, D., Mattos, C. R. R., Gonçalves, P. de S. y 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. D. S., Cardoso, M., Mente, E. M., Mello, A., Cecchetti, M. y Ortolani, A. (1993). Desempenho preliminar de clones de seringueira na região de São José do rio Preto, planalto do estado de São Paulo. *Bragantia, Campinas*, (2), 119-130.
- Gonçalves, P. D. S., Bortoletto, N., Furtado, E. L., Sambugaro, R. y Bataglia, O. C. (2001). Desempenho de clones de seringueira da série IAC 300 selecionados para a região noroeste do Estado de São Paulo. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, (36), 589-599.
- Gunasekara, H. K. L. K., De Costa, W. A. J. M. y 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. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0014479706004583>
- Hawkins, B. J., Xue, J., Bown, H. E. y Clinton, P. W. (2010). Relating nutritional and physiological characteristics to growth of *Pinus radiata* clones planted on a range of sites in New Zealand. *Tree Physiol.*, (30), 1174-1191. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq069>
- Isarangkool Na Ayutthaya, S., Do, F. C., Pannangpetch, K., Junjittakarn, J., Maeght, J. L., Rocheteau, A. y Cochard, H. (2011). Water loss regulation in mature *Hevea brasiliensis*: Effects of intermittent drought in the rainy season and hydraulic regulation. *Tree Physiol.*, (31), 751-762. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq058>

- Jansson, G., Jonsson, A. y Eriksson, G. (2005). Use of trait combinations for evaluating juvenile-mature relationships in *Picea abies* (L.). *Tree Genet. Genomes*, (1), 21-30. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11295-005-0003-3>
- Kunjet, S., Thaler, P., Gay, F., Chuntuma, P., Sangkhasila, K. y 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.
- Lambers, H., Stuart Chapin III, F. y Pons, T. L. (2008). *Plant Physiological Ecology* [2.ª ed.]. Springer-Verlag, Nueva York: Springer. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Le Guen, V., Garcia, D., Mattos, C. R. R. y 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.
- Martínez, L. J. (1998). Suelos de la amazonia. [Serie Escuela y Amazonia, Vol. 1, 2.ª ed]. Bogotá: Ministerio de Educación Nacional.
- Miguel, A. A., De Oliveira, L. E. M., Cairo, P. A. R. y De Oliveira, D. M. (2007). Photosynthetic behaviour during the leaf ontogeny of rubber tree clones [*Hevea brasiliensis* (Wild. ex. ADR de Juss.) Muell. Arg.]. *Ciênc. agrotec.*, (31), 91-97. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000100014>
- Nataraja, K. N. y Jacob, J. (1999). Clonal differences in photosynthesis in *Hevea brasiliensis* Mull. Arg. *Photosynthetica*. 36, 89-98. <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/A:1007070820925>
- Peña-Venegas, C. y Cardona, G. (2010). *Dinámica de los suelos amazónicos: Procesos de degradación y alternativas para su recuperación*. Leticia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Priyadarshan, P. M. (2017). *Biology of Hevea Rubber*. Springer International Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-54506-6>
- Raj, S., Das, G., Pothen, J. y Dey, S. K. (2005). Relationship between latex yield of *Hevea brasiliensis* and antecedent environmental parameters. *Int. J. Biometeorol.*, (49), 189-196. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-004-0222-6>
- Ramírez, U., Charry, A., Jäger, M., Huertado, J., Sterling, A., Romero, M., Sierra, L. y Quintero, M. (2018). Estrategia sectorial de la cadena de caucho en Caquetá, con enfoque agroambiental y cero deforestación. [No. 451]. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Renninger, H. J. y Phillips, N. (2010). Wet vs. Dry-Season Transpiration in an Amazonian Rain Forest Palm *Iriartea deltoidea*. *Biotropica*, (42), 470-478. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00612.x>
- Ribeiro, R. V., Machado, E. C., Magalhães Filho, J. R., Lobo, A. K. M., Martins, M. O., Silveira, J. A. G., Yin, X. y Struik, P. C. (2017). Increased sink strength offsets the inhibitory effect of sucrose on sugarcane photosynthesis. *J. Plant Physiol.*, (208), 61-69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.11.005>
- Rivano, F., Martínez, M., Cevallos, V. y 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. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9563-7>
- Silpi, U., Lacoite, A., Kasemsap, P., Thanysawanyangkura, S., Chantuma, P., Gohet, E., Musigamart, N., Clément, A., Améglio, T. y Thaler, P. (2007). Carbohydrate reserves as a competing sink: Evidence from tapping rubber trees. *Tree Physiol.*, (27), 881-889. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/27.6.881>
- Silpi, U., Thaler, P., Kasemsap, P., Lacoite, A., Chantuma, A., Adam, B., Gohet, E. y Améglio, T. (2006). Effect of tapping activity on the dynamics of radial growth of *Hevea brasiliensis* trees. *Tree Physiol.*, (26), 1579-1587.
- Sterling, A., Fonseca, J., Velasco, G., Zapata, J., Rodríguez, D. y Caicedo, D. F. (2018). El mejoramiento genético como estrategia de control de enfermedades y plagas en el cultivo del caucho (*Hevea*

- brasiliensis*). En A. Sterling y C. H. Rodríguez (Eds.), Estrategias de manejo para las principales enfermedades y plagas del cultivo del caucho con énfasis en la Amazonia colombiana, pp. 99-124. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A., Martínez-Viuche, E. J., Pimentel-Parra, G. A., Suárez-Córdoba, Y. D., Fonseca-Restrepo, J. A. y 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111811>
- Sterling, A., Rodríguez, C. H. y Melgarejo, L. M. (2015). Evaluación inicial del asocio caucho – copoazú en el Caquetá: una alternativa de enriquecimiento agroforestal con potencial para la Amazonia colombiana. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A. y Rodríguez, C. (2011). *Nuevos clones de caucho natural para la amazonia colombiana: énfasis en la resistencia al Mal Suramericano de las Hojas (Mycrocyclus ulei)*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A. y 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*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A. y Rodríguez, C. H. (2017). *Bases técnicas para la selección, propagación y establecimiento de materiales regionales élite de caucho en Caquetá*. Florencia, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A. y Rodríguez, C. H. (2019). Valoración y análisis de la biodiversidad y servicios ecosistémicos asociados a campos clonales de caucho en Caquetá, Amazonia colombiana. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A. y Rodríguez, C. H. (2020). *Valoración inicial del potencial productivo de Hevea brasiliensis en la Amazonia colombiana mediante la evaluación de nuevos clones promisorios para la región*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sumesh, K. V., Satheesh, P. R., Annamalainathan, K., Krishnakumar, R., Thomas, M. y Jacob, J. (2011). Physiological evaluation of a few modern *Hevea* clones for intrinsic drought tolerance. *Spec. issue Clim. Chang.*, (24), 61-67.
- Ugwa, I., Orimoloye, J. y Esekade, T. (2005). Ugwa. *Niger Agric.*, (36), 169-176.
- Velasquez, E., Lavelle, P. y Andrade, M. (2007). GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biol. Biochem.*, (39), 3066-3080. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.06.013>
- Vemmos, S. N., Petri, E., Stournaras, V., Zhang, X. H., Lang, D. Y., Zhang, E. H., Bai, C. C., Wang, H. Z., Zhou, R. y Quebedeaux, B. (2013). Diurnal changes in photosynthesis and antioxidants of *Angelica sinensis* as influenced by cropping systems. *Photosynthetica*, (51), 252-258. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11099-013-0013-6>
- Zhang, J. L., Meng, L. Z. y Cao, K. F. (2009). Sustained diurnal photosynthetic depression in uppermost-canopy leaves of four dipterocarp species in the rainy and dry seasons: Does photorespiration play a role in photoprotection? *Tree Physiol.*, (29), 217-228. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpn018>

Evaluación fitosanitaria foliar y del panel de sangría temprana, y ciclo fenológico de clones introducidos de caucho (*Hevea brasiliensis*) en campos clonales a gran escala en el Caquetá



Armando Sterling Cuellar^{1*}, Eidy Janeth Martínez-Viuche², Armando Gamboa-Tabares², Juan Diego Hoyos-Duarte²

¹ Investigador del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Sede Florencia.

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

² Co-investigador del proyecto Convenio 59-2013, Gobernación del Caquetá – Instituto SINCHI.

2.1. Introducción

Hevea brasiliensis (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg. es el principal productor de caucho natural en el mundo (Thambugala y Deshappriya, 2009), pero la producción de látex es afectada por diferentes plagas y enfermedades que causan daños severos que alteran el rendimiento y la vida de la planta (Ranganath *et al.*, 2004). Las pérdidas de la producción estimadas por los daños de insectos y ácaros en *H. brasiliensis* son del 30% (Bento, 1999) y por enfermedades del 15% (ANDEF, 1987).

Las enfermedades foliares se presentan en diferentes etapas de desarrollo de las plantas de caucho en vivero, inmaduras y maduras (Manju *et al.*, 2015). La enfermedad más severa y de mayor importancia en Latinoamérica es el mal suramericano de las hojas, SALB por sus siglas en inglés (South American Leaf Bligh), causado por el hongo ascomicete *Pseudocercospora ulei* P. Henn (Hora Júnior *et al.*, 2014). Este patógeno produce lesiones en hojas jóvenes que conllevan a procesos severos de defoliación que debilitan la fisiología de los árboles y pueden eventualmente causar su muerte (Golbon, Cotter, Mahbod y Sauerborn, 2019).

Otras patologías foliares de importancia económica para el cultivo del caucho son las antracnosis *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) y *Colletotrichum acutatum* Simmonds, la costra negra *Phyllachora huberi* Henn, la mancha aerolada *Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk (Gasparotto, Dos Santos, Rezende y Alves, 1997; Jayasinghe, 1999; Gonçalves, Pinho, Fonseca y Albano, 2013) y la mancha de perdigón *Drechslera heveae* (Petch) M.B. Ellis (Jaimes y Rojas, 2011; Jayasinghe, 1999; Ogbebor, 2010). En relación con las enfermedades del panel de sangría, las más frecuentes son la antracnosis de panel de sangría *Colletotrichum* spp. (Silveira, Furtado y Lopes, 1992), la raya negra *Phytophthora* spp. (Satchuthananthavale, 1971) y el moho ceniciento *Ceratocystis fimbriata* Ellis & Halst. (Pereira y Santos, 1986; Sterling *et al.*, 2020).

Las plagas más importantes en las plantaciones de caucho son el chinche de encaje *Leptopharsa heveae* Drake & Poor, las hormigas cortadoras *Atta* spp. (Gonçalves, 2019), el gusano cachón *Erinnyis ello* (L.), el gusano peludo *Premolis semirufa* Walker (Sterling *et al.*, 2011; Sterling, Virgüez, Rivera y Loaiza, 2018) y la mosca blanca *Aleurodicus* spp. (Gonçalves *et al.*, 2013). Los ácaros son otra plaga de mucha importancia económica para el cultivo del caucho, entre los cuales se destacan el microácaro de la hoja *Calacarus heveae* Feres, el ácaro plano rojo *Tenuipalpus heveae* Baker (Hernandes y Feres, 2006) y las arañas rojas *Allonychus* spp. (Feres, Rossa-Feres, Daud y Santos, 2002).

Por otro lado, diversos estudios han mostrado que en el ciclo natural de defoliación-refoliación anual del árbol del caucho, las hojas más jóvenes llegan a ser más receptivas al ataque de plagas y enfermedades, lo que implica un aumento en la incidencia de los problemas fitosanitarios y, por tanto, la afectación del rendimiento productivo (Fang *et al.*, 2016; Guyot, Cilas y Sache, 2008; Sterling *et al.*, 2019). En este sentido, es importante identificar estos patrones fenológicos foliares con el fin de entender mejor la interacción de estos patrones con los principales agentes fitosanitarios del cultivo.

De acuerdo con lo anterior, en el presente capítulo se presentan los resultados de la evaluación fitosanitaria a nivel foliar y del panel de sangría temprana, así como la fenología foliar de nueve

clones promisorios de caucho (*Hevea brasiliensis*) comparados con el clon IAN 873 (testigo) en tres campos clonales a gran escala en el departamento del Caquetá (Colombia).

2.2. Metodología

2.2.1. Área de estudio

El estudio se realizó en tres campos clonales a gran escala (CCGE) localizados en los municipios de Florencia, Belén de los Andaquíes y San Vicente del Caguán en el departamento del Caquetá (Colombia) (figura 1.2).

2.2.2. Material vegetal

Se estudiaron nueve clones promisorios: CDC 56, CDC 312, GU 198, FX 4098, FX 3899, P1 MDF 180, FDR 4575, FDR 5597, FDR 5788 y el clon IAN 873 (testigo) (tabla 1.1; capítulo 1).

2.2.3. Diseño experimental

Cada CCGE correspondió a un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones, 10 tratamientos (clones) y 60 árboles (unidad experimental) por tratamiento (figura 1.3).

2.2.4. Evaluaciones fitosanitarias y fenológicas

Las evaluaciones fitosanitarias foliares y fenológicas se realizaron mensualmente en los años 8, 9, 10 y 11 posteriores a la siembra (fases pre y post-sangría), con excepción de la evaluación de ácaros y enfermedades del panel de sangría temprana que se realizaron en los años 10 y 11 (fase post-sangría). En el análisis de las evaluaciones fitosanitarias se tuvo en cuenta la variación en el régimen de lluvias del Caquetá: épocas seca y lluviosa y transición hacia la época seca).

• Severidad de las enfermedades foliares

Se seleccionaron treinta árboles de cada clon en cada bloque (parcela elemental) y en cada uno de ellos se evaluó la hoja más afectada de la copa para determinar la severidad (S) de: antracnosis (SA) (*C. gloesporioides*), costra negra (SCN) (*P. huberi*), mancha aerolada (SMA) (*T. cucumeris*) y mancha de perdigón (SMP) (*D. heveae*).

Las variables SA y SMA se evaluaron con la escala modificada de Pizzeta, Porcena, Silva y Furtado (2008), que va de 0 a 6, donde: 0 = ataque nulo; 1 = área foliar afectada hasta un 3,125%; 2 = área foliar afectada entre el 3,126% y 6,25%; 3 = área foliar afectada entre el 6,26% y 12,5%; 4 = área foliar afectada entre el 12,6% y 25%; 5 = área foliar afectada entre el 26% y 50%; 6 = área foliar afectada mayor al 50%.

Las variables SMP y SCN se registraron mediante la escala adaptada de Ogbebor (2010), que va de 0 a 5, donde: 0 = ataque nulo (ausencia de manchas); 1 = muy leve (hasta 5 manchas por

foliolo); 2 = leve (6 a 10 manchas por foliolo); 3 = moderado (> 10 manchas por foliolo y 26 al 50% de hojas infectadas); 4= severo (lesiones grandes y 51 al 75% de hojas infectadas); 5 = muy severo (lesiones grandes y > 75% de hojas infectadas).

• Componentes de resistencia al mal suramericano de las hojas (MSH)

Se seleccionaron treinta árboles por parcela elemental y en cada uno de ellos se evaluó la hoja más afectada por MSH (*P. ulei*), para determinar:

La severidad del mal suramericano de las hojas en hojas jóvenes (foliolos B y C) (SMSHJ) y en hojas maduras (foliolos D) (SMSHM) se evaluó con la escala de Chee y Holliday (1986) adaptada por Rivano, Martínez, Cevallos y Cilas (2010), basada en el porcentaje de área foliar con síntomas o signos del patógeno, con nota de 0 a 4, así: 0 = < 0% (ataque nulo o resistencia); 1 = 1 al 5% (ataque leve); 2 = 6 al 15% (ataque moderado); 3 = 16 al 30% (ataque severo) y 4 = > 30% (ataque muy severo).

El tipo de reacción (TR) basado en la intensidad de esporulación asexual (conidial) sobre foliolos jóvenes (foliolos B o C) se realizó con la escala de Junqueira et al. (1986), adaptada por Mattos, García, Pinard y Le Guen (2003), con notas que van de 1 a 6, donde: 1 = lesiones necróticas sin esporas; 2 = lesiones no necróticas sin esporas; 3 = esporulación muy débil sobre la cara inferior de la lesión; 4 = esporulación fuerte, cubriendo parcialmente la cara inferior de la lesión; 5 = esporulación fuerte, cubriendo toda la cara inferior de la lesión; y 6 = esporulación muy fuerte, cubriendo toda la cara inferior de la lesión y fuerte en la cara superior.

La densidad estromática (DE) basada en la intensidad de la esporulación sexual (ascospórica) sobre foliolos con madurez fisiológica (foliolos D) se realizó con la escala de 0 a 4 propuesta por Rivano et al. (2010) y adaptada pictóricamente para mayor comprensión, donde: 0 = ausencia de estromas; 1 = menos de 5 lesiones con estromas por foliolo; 2 = entre 5 y 10 lesiones con estroma por foliolo; 3 = entre 11 y 30 lesiones con estromas por foliolo; y 4 = más de 30 lesiones con estromas por foliolo.

• Incidencia de las principales enfermedades del panel de sangría temprana

Para el caso de las enfermedades del panel de sangría, se calculó por parcela elemental la incidencia (I) de: antracnosis de panel (IAP) (*Colletotrichum* spp.), raya negra (IRN) (*Phytophthora* spp.) y moho ceniciento (IMC) (*C. fimbriata*) en todos los árboles en fase de sangría temprana (CAP \geq 45 cm a 1,2 m del suelo). Para ello se realizó con la ayuda de una lupa de bolsillo de 60x una exploración visual para identificar síntomas y/o signos de estas patologías en el área abierta del panel.

El cálculo de la incidencia (%) se realizó con la siguiente fórmula:

$$I (\%) = (N_{i_j} / N_{t_j}) \times 100$$

Ecuación (2.1)

En donde: N_j corresponde al número de individuos del clon j con presencia del agente fitosanitario y N_t representa el número total de individuos evaluados pertenecientes al clon j .

• Incidencia de las principales plagas insectiles

Se seleccionaron treinta árboles por parcela elemental y se calculó con la ecuación 2.1 la incidencia (I) de: chinche de encaje (ICE) (*L. heveae*), gusano cachón (GC) (*E. ello*), gusano peludo (IGP) (*P. semirufa*), hormiga arriera (IHA) (*Atta* spp.) y mosca blanca (IMB) (*Aleurodicus* spp.).

• Abundancia de los principales ácaros plaga

Se seleccionaron siete árboles por parcela elemental y en cada uno de ellos se registró la abundancia (A) de: arañas rojas (AAR) (*Allonychus* cf. *reisi*), ácaro rojo plano (AARP) (*T. heveae* Baker) y microácaro de la hoja (AMH) (*Calacarus* cf. *heveae*), adaptando la metodología propuesta por Juárez, Moraes y Bonato (2007). En cada árbol se recolectaron tres hojas, luego estas se empaquetaron en bolsas de papel debidamente rotuladas y se transportaron en un termo isotérmico con gel refrigerante a las instalaciones del Laboratorio de Entomología de la Universidad de la Amazonía (LEUA), en donde se realizó con la ayuda de un microscopio estereoscópico el conteo del total de individuos adultos presentes en las dos caras de cada foliolo, en nueve foliolos colectados de cada árbol muestreado.

2.2.5. Evaluación de la fenología foliar

El ciclo fenológico se registró visualmente en los mismos árboles donde se evaluó el mal suramericano de las hojas. Para ello se empleó la escala diagramática propuesta por Mattos, García y Le Guen (2005), que comprende cinco fases: defoliamiento (de) considerado a partir del momento en que el 10% de la copa del árbol presenta hojas senescentes en caída; defoliamiento y refoliamiento (d); defoliamiento completo (D); refoliamiento (re); y refoliamiento completo (R). La descripción del ciclo fenológico de cada clon en cada localidad se realizó a partir de la etapa de senescencia (de) y hasta la refoliación completa (R) con hojas maduras en los árboles.

2.2.6. Análisis de la información

Las variables fitosanitarias se analizaron mediante un ANOVA, con el fin de determinar la variación entre épocas, 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. Un análisis de componentes principales por cada localidad permitió ordenar los clones de acuerdo a su tolerancia a los diferentes problemas fitosanitarios.

En cada localidad, las medias de todas las variables estimadas por clon fueron normalizadas en el intervalo [0,1 - 1], mediante la fórmula de Velásquez, Lavelle y Andrade (2007):

$$Y = 1,1 - (0,1 + (x-b)/(a-b)*0,9)$$

Ecuación (2.2)

Donde:

x = variable a transformar

a = valor máximo de la variable

b = valor mínimo de la variable

Luego se calculó la media ponderada de todas las variables transformadas, usando la siguiente ponderación: SA (10%), SCN (10%), SMA (2,5%), SMP (2,5%), SSMHJ (12,5%), SSMHM (12,5%), TR (12,5%), DE (12,5%), IAP (1,25%), IMC (1,25%), IRN (2,5%), ICE (7,5%), IGC (1,25%), IGP (1,25%), IHA (1,25%), IMB (1,25%), AMH (2,5%), AARP (2,5%) y AAR (2,5%). Esta media fue ordenada de mayor a menor con el fin de obtener por cada localidad el escalafón de los mejores clones por su tolerancia a los principales problemas fitosanitarios. Las pruebas estadísticas se realizaron con el programa InfoStat versión 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).

2.3. Resultados y discusión

2.3.1. Influencia de los factores principales sobre las enfermedades y plagas

Según la tabla 2.1, hubo un efecto significativo de los tres factores estudiados (época, localidad y clon) en las severidades de las enfermedades foliares ($P < 0,05$), excepto para el factor localidad en mancha aerolada.

En el caso del mal suramericano de las hojas (MSH), el clon influyó en los cuatro componentes de resistencia, la época en las variables SSMHM y DE, y no hubo efecto de la localidad en ninguna de las variables (tabla 2.1). En cuanto a las enfermedades del panel de sangría temprana, la época y el clon tuvieron un efecto significativo sobre la incidencia de éstas ($P < 0,05$), con excepción de IAP e IMC (tabla 2.1).

En relación con las plagas, los tres factores influyeron en ICE e IMB ($P < 0,05$), pero no en IGC (tabla 2.1). La época y el clon tuvieron efecto sobre IGP e IHA. Se encontraron también diferencias significativas en la incidencia de las tres especies de ácaros estudiados.

• Severidad de las principales enfermedades foliares

Se observaron síntomas y signos característicos de las cinco enfermedades foliares estudiadas (figuras 2.1 y 2.2). En relación con las enfermedades distintas al mal suramericano de las hojas, estas mostraron menor severidad en época seca y mayor en época lluviosa, especialmente SCN (2,29) y SMP (1,35). Las variables SA y SMA fueron mayores en transición con notas medias de 2,23 y 0,13, respectivamente (tabla 2.1). San Vicente del Caguán mostró bajas notas medias de SA (1,63) y SCN (1,73); caso contrario ocurrió en Florencia para SA y SMP con notas medias de 2,04 y 1,44, respectivamente. La SCN fue la más alta (2,03) en Belén de los Andaquíes.

La SA osciló entre 1,67 y 2,03 para FDR 5788 y CDC 56, respectivamente (tabla 2.1). La SCN varió entre 1,69 para CDC 312 y 2,33 para FX 3899 P1, siendo esta la enfermedad más severa, mientras que MA fue la menos severa con medias de SMA iguales a 0,05 para IAN 873 y 0,14 para MDF 180. La media de SMP osciló entre 1,19 para FDR 5788 y 1,47 para IAN 873 (tabla 2.1).

Tabla 2.1. Medias de la severidad de enfermedades foliares, componentes de resistencia al mal suramericano de las hojas, incidencia de enfermedades del panel y plagas foliares y abundancia de ácaros en caucho (*Hevea brasiliensis*) por época, localidad y clon

Factor	Nivel	SA	SCN	SMA	SMP	SMSHJ	SMSHM	TR	DE	IAP	IMC	IRN
Época	Transición	2,23 ± 0,03a	1,83 ± 0,02b	0,13 ± 0,01a	1,27 ± 0,02b	0,04 ± 0,008a	0,28 ± 0,003ab	0,07 ± 0,008a	0,37 ± 0,003b	10,87 ± 0,99a	3,31 ± 0,37a	37,50 ± 3,09c
	Seca	1,52 ± 0,03c	1,49 ± 0,02c	0,04 ± 0,01c	1,21 ± 0,02c	0,02 ± 0,005a	0,21 ± 0,004a	0,05 ± 0,003a	0,43 ± 0,006a	7,50 ± 0,99b	0,03 ± 0,37b	44,34 ± 3,09b
	Lluvia	1,80 ± 0,03b	2,29 ± 0,02a	0,07 ± 0,01b	1,35 ± 0,02a	0,27 ± 0,01a	0,37 ± 0,004b	0,03 ± 0,01a	0,37 ± 0,005b	0,00 ± 0,99c	0,00 ± 0,37b	63,61 ± 3,09a
Localidad	San Vicente del Caguán	1,63 ± 0,05b	1,73 ± 0,03c	0,09 ± 0,01a	1,21 ± 0,02b	0,02 ± 0,005a	0,27 ± 0,008a	0,04 ± 0,004a	0,37 ± 0,011a	4,93 ± 1,01b	1,74 ± 0,37a	48,32 ± 4,74b
	Belén de los Andaquíes	1,89 ± 0,05a	2,03 ± 0,03a	0,09 ± 0,01a	1,19 ± 0,02b	0,02 ± 3,43a	0,25 ± 0,04a	0,04 ± 0,004a	0,34 ± 0,005a	8,18 ± 1,01a	0,99 ± 0,37a	34,82 ± 4,74b
	Florencia	2,04 ± 0,05a	1,86 ± 0,03b	0,06 ± 0,01a	1,44 ± 0,02a	0,04 ± 0,002a	0,35 ± 0,04a	0,07 ± 0,003a	0,47 ± 0,004a	5,26 ± 1,01ab	0,61 ± 0,37a	62,31 ± 4,74a
Clon	FDR 4575	1,82 ± 0,05c-e	1,81 ± 0,04c	0,13 ± 0,02ab	1,24 ± 0,034de	0,002 ± 0,00d	0,001 ± 0,02e	0,005 ± 0,00d	0,001 ± 0,02e	2,43 ± 1,85d-f	5,28 ± 0,67a	36,90 ± 4,99e
	FX 3899 P1	1,73 ± 0,05ef	2,33 ± 0,04a	0,10 ± 0,01a-c	1,33 ± 0,03b	0,01 ± 0,01d	0,10 ± 0,02d	0,02 ± 0,02d	0,11 ± 0,03d	0,00 ± 1,85f	1,85 ± 0,67b	55,09 ± 4,99ab
	FDR 5597	1,85 ± 0,05cd	1,99 ± 0,04b	0,08 ± 0,01b-d	1,26 ± 0,03b-e	0,001 ± 0,00d	0,02 ± 0,02e	0,005 ± 0,00d	0,02 ± 0,02e	6,90 ± 1,85a-d	1,39 ± 0,67b	49,59 ± 4,99a-d
	MDF 180	1,77 ± 0,05de	1,76 ± 0,04cd	0,14 ± 0,02a	1,21 ± 0,034de	0,001 ± 0,00d	0,00 ± 0,02e	0,003 ± 0,00d	0,00 ± 0,02e	10,49 ± 1,85ab	1,09 ± 0,67b	38,45 ± 4,99de
	CDC 56	2,03 ± 0,05a	1,83 ± 0,04c	0,07 ± 0,01cd	1,32 ± 0,03bc	0,09 ± 0,01b	1,08 ± 0,18a	0,17 ± 0,12b	1,49 ± 0,22a	9,19 ± 1,85a-c	0,40 ± 0,67b	54,35 ± 4,99a-c
	FX 4098	1,87 ± 0,05cd	1,73 ± 0,04cd	0,08 ± 0,02b-d	1,27 ± 0,03b-d	0,001 ± 0,00d	0,001 ± 0,02e	0,004 ± 0,00d	0,001 ± 0,02e	5,77 ± 1,85b-e	0,37 ± 0,67b	48,87 ± 4,99b-e
	CDC 312	1,85 ± 0,05cd	1,69 ± 0,04d	0,05 ± 0,01d	1,25 ± 0,03c-e	0,001 ± 0,00d	0,02 ± 0,02e	0,00 ± 0,00d	0,002 ± 0,02e	1,47 ± 1,85ef	0,35 ± 0,67b	42,21 ± 4,99c-e
	FDR 5788	1,67 ± 0,05f	1,81 ± 0,04cd	0,06 ± 0,01d	1,19 ± 0,03e	0,03 ± 0,00c	0,26 ± 0,03b	0,07 ± 0,002c	0,31 ± 0,03b	11,62 ± 1,85a	0,33 ± 0,67b	58,74 ± 4,99ab
	GU 198	1,91 ± 0,05bc	1,96 ± 0,04b	0,07 ± 0,02cd	1,26 ± 0,03b-e	0,01 ± 0,00d	0,15 ± 0,02c	0,02 ± 0,00d	0,19 ± 0,03c	4,07 ± 1,85c-f	0,09 ± 0,67b	61,34 ± 4,99a
	IAN 873	2,01 ± 0,05ab	1,82 ± 0,04c	0,05 ± 0,01d	1,47 ± 0,03a	0,13 ± 0,01a	1,29 ± 0,27a	0,20 ± 1,94a	1,79 ± 0,36a	9,28 ± 1,85ab	0,00 ± 0,67b	39,31 ± 4,99de

Factor	Nivel	ICE	IGC	IGP	IHA	IMB	AAR	AARP	AMH
Época	Transición	12,34 ± 0,62c	0,28 ± 0,10a	5,40 ± 0,30a	0,53 ± 0,19a	3,69 ± 0,19a	64,56 ± 1,96a	72,07 ± 1,66b	77,75 ± 1,82a
	Seca	15,51 ± 0,62b	0,14 ± 0,10a	3,25 ± 0,30c	0,15 ± 0,19b	2,09 ± 0,22b	59,62 ± 1,96a	64,71 ± 1,66c	49,87 ± 1,82b
	Lluvia	21,21 ± 0,62a	0,15 ± 0,10a	4,12 ± 0,30b	0,32 ± 0,19ab	2,90 ± 0,35a	32,65 ± 1,96b	88,69 ± 1,66a	51,93 ± 1,82b
Localidad	San Vicente del Caguán	10,11 ± 0,76c	0,18 ± 1,17a	4,63 ± 0,38a	0,03 ± 0,29a	1,82 ± 0,39b	57,20 ± 1,96a	78,09 ± 1,76a	77,79 ± 1,95a
	Belén de los Andaquíes	15,94 ± 0,76b	0,22 ± 1,17a	3,95 ± 0,38a	0,90 ± 0,29a	2,98 ± 0,39ab	55,50 ± 1,96a	78,15 ± 1,76a	55,52 ± 1,95b
	Florencia	23,00 ± 0,76a	0,17 ± 1,17a	4,19 ± 0,38a	0,07 ± 0,29a	3,88 ± 0,39a	44,13 ± 1,96b	69,22 ± 1,76b	46,25 ± 1,95c
Clon	FDR 4575	18,20 ± 1,23b	0,10 ± 0,01a	4,41 ± 0,72b-d	0,49 ± 0,34ab	4,23 ± 0,62ab	48,54 ± 3,58c	71,55 ± 3,17bc	47,01 ± 3,35d
	FX 3899 P1	36,66 ± 1,23a	0,23 ± 0,01a	4,04 ± 0,61b-d	0,36 ± 0,34b	0,90 ± 0,62d	71,18 ± 3,58a	88,20 ± 3,17a	66,76 ± 3,35b
	FDR 5597	12,98 ± 1,23c-e	0,11 ± 0,01a	3,81 ± 0,35cd	0,27 ± 0,34b	5,28 ± 0,62a	56,79 ± 3,58bc	77,38 ± 3,17b	47,39 ± 3,35d
	MDF 180	11,60 ± 1,23e	0,27 ± 0,01a	3,42 ± 0,53cd	0,58 ± 0,34ab	2,38 ± 0,62cd	37,42 ± 3,58d	74,19 ± 3,17bc	66,28 ± 3,35b
	CDC 56	14,22 ± 1,23c-e	0,15 ± 0,01a	3,63 ± 0,34cd	0,08 ± 0,34b	2,45 ± 0,62cd	51,96 ± 3,58c	73,68 ± 3,17bc	60,72 ± 3,35bc
	FX 4098	15,24 ± 1,23b-d	0,26 ± 0,01a	4,46 ± 0,43bc	1,22 ± 0,34a	2,01 ± 0,62cd	48,88 ± 3,58c	71,31 ± 3,17bc	56,92 ± 3,35c
	CDC 312	12,02 ± 1,23de	0,34 ± 0,01a	3,42 ± 0,38d	0,06 ± 0,34b	1,69 ± 0,62d	49,49 ± 3,58c	66,29 ± 3,17c	52,93 ± 3,35cd
	FDR 5788	16,34 ± 1,23bc	0,03 ± 0,01a	6,32 ± 0,52a	0,07 ± 0,34b	1,68 ± 0,62d	63,69 ± 3,58ab	75,66 ± 3,17b	62,26 ± 3,35bc
	GU 198	14,64 ± 1,23c-e	0,23 ± 0,01a	5,52 ± 0,59ab	0,08 ± 0,34b	4,85 ± 0,62ab	46,92 ± 3,58cd	73,28 ± 3,17bc	76,62 ± 3,35a
	IAN 873	11,62 ± 1,23e	0,16 ± 0,01a	3,56 ± 0,33cd	0,14 ± 0,34b	3,46 ± 0,62bc	47,89 ± 3,58c	80,01 ± 3,17ab	61,61 ± 3,35bc

^a Error estándar.

^b Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba LSD de Fisher, $P > 0,05$).

Severidad (S) de: antracnosis (SA), costra negra (SCN), mancha aerolada (SMA), mancha de perdigón (SMP). Componentes de resistencia del MSH: severidad del MSH en hojas jóvenes (SMSHJ) y en hojas maduras (SMSHM), tipo de reacción (TR), densidad estromática (DE), incidencia % (I) de: antracnosis de panel (IAP), raya negra (IRN), moho ceniciento (IMC), chinchito de encaje (ICE), gusano peludo (IGP), hormiga arriera (IHA), mosca blanca (IMB). Abundancia (A) de: arañas rojas (AAR), ácaro rojo plano (AARP) y microácaro de la hoja (AMH).

Como se muestra anteriormente, la costra negra fue la enfermedad más severa, resultados que coinciden con los registrados por Sterling y Rodríguez (2012) en los mismos campos clonales, aunque difieren al indicar que la mancha de perdigón fue la menos severa. En este caso, esa condición fue registrada en mancha aerolada, además, los mismos autores encontraron en San Vicente del Caguán las notas más bajas para SA y SCN coincidiendo con esta investigación, posiblemente por el régimen pluviométrico bajo de la zona respecto a las demás localidades.

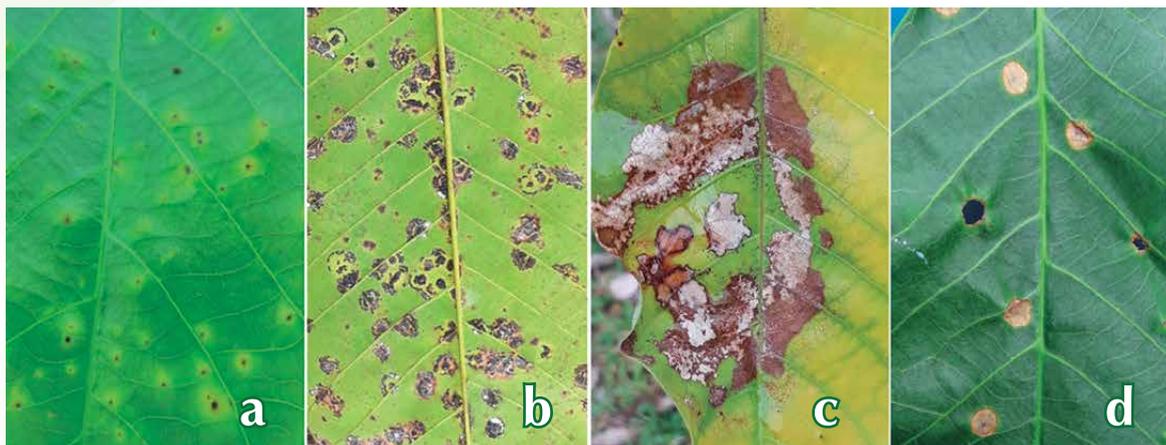


Figura 2.1 Enfermedades foliares registradas en 10 clones de *H. brasiliensis* en CCGE. **a.** Antracnosis (*C. gloeosporioides*) en FX 3899, **b.** Costra negra (*P. huberi*) en FDR 5788, **c.** Mancha aerolada (*T. cucumeris*) en MDF 180, **d.** Mancha de perdigón (*D. heveae*) en FX 3899.

Fuente: Elaboración propia.

• Resistencia al mal suramericano de las hojas

Se observaron bajos niveles de ataque (SMSHJ) y esporulación (TR) en hojas jóvenes entre épocas y localidades (tabla 2.1). Los clones FDR 5597, FX 4098, MDF 180 y CDC 312 presentaron notas medias de severidades y TR muy bajas ($< 0,005$). Los clones con mayores notas medias fueron CDC 56 (SMSHJ = 0,09 y TR = 0,17) e IAN 873 (SMSHJ = 0,13 y TR = 0,20) (tabla 2.1 y figura 2.2). Esto coincide con lo reportado por Sterling *et al.* (2019), quienes reportaron notas más altas en los mismos, especialmente en la zona sur del departamento del Caquetá.

En las hojas maduras, las medias de SMSHM variaron entre 0,27 para época lluviosa y 0,31 para seca, similar a lo observado para DE, que en época seca también alcanzó la nota media más alta (0,43) (tabla 2.1). El clon MDF 180 no presentó esporulación sexual en hojas maduras (DE = 0). Los clones CDC 56 (SMSHM = 1,08 y DE = 1,49) e IAN 873 (SMSHM = 1,29 y DE = 1,79) también presentaron la mayor afectación en hojas maduras (figura 2.2).

De los clones anteriores, ocho fueron evaluados por Rivano *et al.* (2010) en Ecuador, encontrando que FX 4098 es uno de los más susceptibles por presentar notas altas para DE y que CDC 56,

FDR 5597, CDC 312 y FDR 4575 son clones que no desarrollaron estromas, lo cual difiere con lo registrado en el presente estudio, pero se encontraron similitudes en el comportamiento de MDF 180, un clon que no presentó estromas.

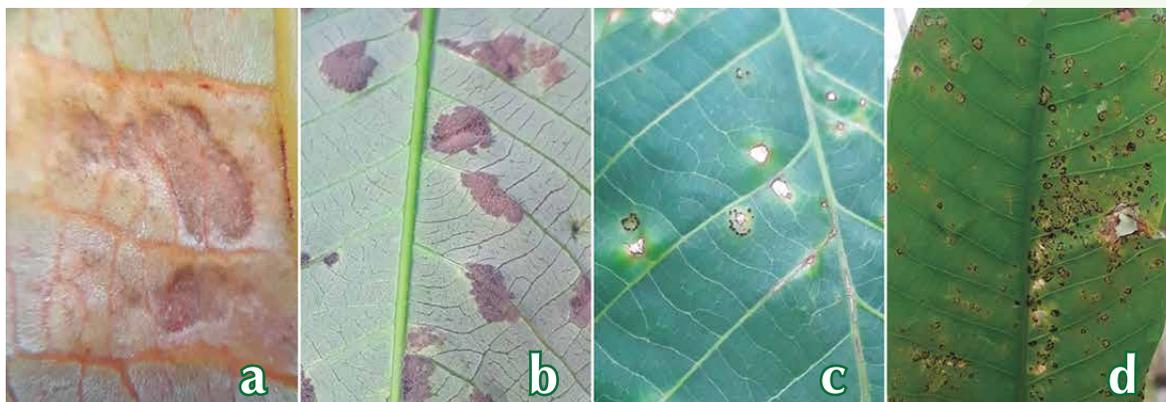


Figura 2.2 Componentes de resistencia al mal suramericano de las hojas (*P. ulei*) registrados en diez clones de *H. brasiliensis* en CCGE. **a.** Lesiones conidiales leves en FDR 4575, **b.** Lesiones conidiales severas en IAN 873, **c.** Lesiones estromáticas leves en GU 198, **d.** Lesiones estromáticas severas en IAN 873 x.

Fuente: Elaboración propia.

• Incidencia de las principales enfermedades del panel de sangría

Síntomas característicos de las tres enfermedades del panel de sangría fueron observados en campo (figura 2.3). La antracnosis de panel de sangría solo se registró en las épocas seca y de transición, con una media de IAP de 7,50 y 10,87%, respectivamente. Entre localidades, IAP osciló entre 4,93% en San Vicente del Caguán y 8,18% en Belén de los Andaquíes. El clon FX 3899 P1 no reportó la enfermedad mientras que los clones MDF 180 y FDR 5788 presentaron la mayor incidencia, con 10,49% y 11,62%, respectivamente (tabla 2.1).

El moho ceniciento, al igual que la antracnosis del panel, también se registró únicamente en las épocas seca y de transición, pero con valores mucho más bajos (0,03% y 3,31%, respectivamente). En Florencia hubo la menor media de IMC (0,61%) y en San Vicente del Caguán la mayor (1,74%). No se reportó la enfermedad en el clon IAN 873 y en otros clones como GU 198 y FDR 4575 los niveles de incidencia fueron bajos (0,09% y 5,28%, respectivamente).

La ausencia de moho ceniciento en época lluviosa puede estar asociada a la baja frecuencia de rayado durante este período. Según Tapiero *et al.* (2018), el hongo *C. fimbriata* solo afecta la corteza recién rayada, debido a que queda expuesta a la colonización por el patógeno. El rayado se restringe en época de lluvia para evitar la pérdida de la producción a causa del agua que baja por el tallo hasta diluir el látex en la taza recolectora, de esta manera, no se pueden

obtener las muestras que se requieren para evaluar las diferentes variables relacionadas con la producción de estos clones.

La raya negra fue la enfermedad más frecuente en todas las evaluaciones. Las mayores medias de IRN se estimaron para las épocas de transición (37,50%) y lluviosa (63,61%). En Belén de los Andaquíes hubo una incidencia baja (34,82%) y en Florencia medias de IRN mucho mayores (62,31%). Los clones FDR 4575, IAN 873 y MDF 180 presentaron una IRN < 40%, mientras que los clones CDC 56, FX 3899 P1, FDR 5788 y GU 198, los más afectados, presentaron medias mayores al 50%.



Figura 2.3 Enfermedades de panel de sangría registradas en diez clones de *H. brasiliensis* en CCGE. **a.** Antracnosis de panel (*Colletotrichum* spp.) en FDR 5788, **b.** Moho ceniciento *C. fimbriata* en FDR 4575, **c.** Raya negra *Phytophthora* spp. en GU 198.

Fuente: Elaboración propia.

• Incidencia de los principales insectos plaga

Los insectos chinche de encaje, gusano peludo y mosca blanca fueron los más frecuentes en los tres CCGE (figuras 2.4 y 2.5). La mayor ICE se presentó en la época lluviosa (21,21%) y en las localidades de San Vicente del Caguán (10,11%) y Florencia (23,00%). Los clones MDF 180 e IAN 873 presentaron bajas medias de ICE (< 12,00%), en contraste con los clones FDR 5788, FDR 4575 y FX 3899 P1 (ICE > 16,00%) (tabla 2.1).

En Sao Paulo, Brasil, la mayor densidad poblacional de ninfas y adultos de chinche de encaje se reportó en los meses de marzo-junio y noviembre (Cividanes, Fonseca y Dos Santos, 2004), coincidiendo con los meses considerados en esta investigación como época lluviosa y seca, respectivamente, en las cuales se registró la mayor incidencia del CE y los árboles se encontraban refoliados. Los mismos autores expresan que de julio a agosto el número de individuos es menor, meses que se consideran de la época de transición, tiempo en el cual los árboles inician el proceso de senescencia, lo que conlleva a menor disponibilidad de alimento.

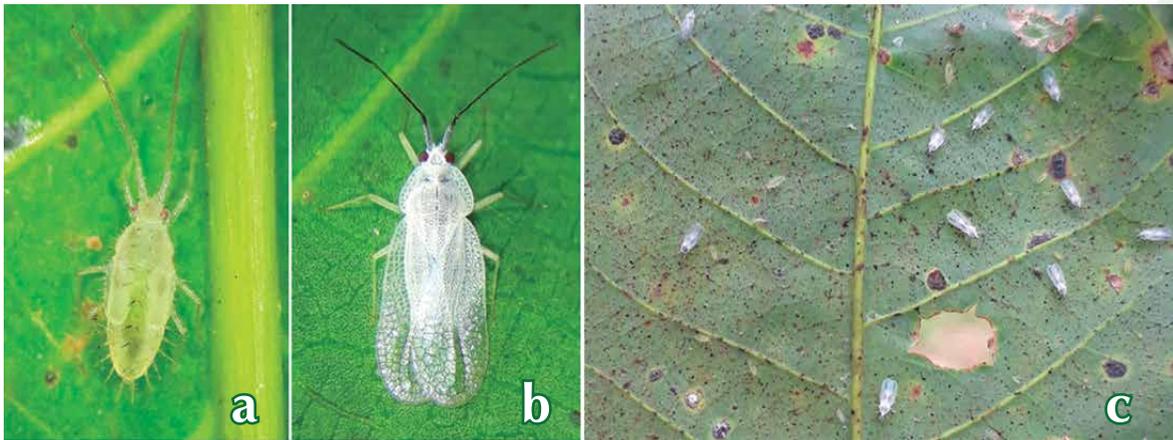


Figura 2.4 Chinche de encaje (*L. heveae*) registrado en diez clones de *H. brasiliensis* en CCGE. **a.** Ninfa, **b.** Adulto, **c.** Sección de lámina foliar de FDR 5788 con infestación muy alta de ninfas y adultos.

Fuente: Elaboración propia.

El gusano cachón fue la plaga con menor incidencia en todas las evaluaciones, con medias máximas inferiores al 1% (tabla 2.1). Estos valores indican que este insecto no representa una amenaza aparente para los diez clones introducidos en CCGE, sin embargo, Gonçalves *et al.* (2013) afirman que *E. ello* es una de las principales plagas de *H. brasiliensis* por su gran capacidad de consumo de hojas tiernas.

La incidencia de gusano peludo (IGP) osciló entre un 3,25% para época seca y un 5,40% para transición. San Vicente del Caguán expresó la máxima incidencia (4,63%) pero no fue significativamente diferente de Florencia y Belén de los Andaquíes (tabla 2.1). Los clones CDC 312, MDF 180 e IAN 873 evidenciaron la menor incidencia (< 3,60%), y los clones FX 4098, GU 198 y FDR 5788 las mayores medias de IGP con 4,46%, 5,52% y 6,32%, respectivamente. Este insecto es una plaga de baja incidencia, tal como lo afirman García *et al.* (2013), por lo que no se considera en realidad como amenaza para el caucho, sin embargo, se debe tener en cuenta que estas larvas pueden afectar a los recolectores de látex, debido a que las cerdas del insecto poseen componentes tóxicos que al tener contacto sobre la piel pueden causar calor intenso, dolor, edema y picazón, pero un contacto frecuente con estas larvas traerá complicaciones mayores como alteración ósea, degeneración del cartílago articular e inmovilización de las articulaciones afectadas (Villas-Boas *et al.*, 2012).

La hormiga arriera en general registró baja incidencia (< 1%) entre épocas y localidades (tabla 2.1). Los clones CDC 312, FDR 5788, CDC 56 y GU 198 presentaron una media de IHA < 0,10%, y los clones FDR 4575, MDF 180 y FX 4098 una IHA > 0,40%.

La incidencia de mosca blanca (IMB) fue menor en época seca con un 2,09% y mayor en transición con un 3,69%. En San Vicente del Caguán se registró una incidencia mínima (1,82%) y la máxima en Florencia (3,88%). En los clones FX 3899 P1, FDR 5788 y CDC 312 la IMB fue menor al 2,00%, mientras que en FDR 4575, GU 198 y FDR 5597 la IMB fue mayor al 4,00%.

Las medias de incidencia encontradas en HA son muy similares a las reportadas por Sterling y Rodríguez (2012) para los mismos clones, sin embargo, se observaron diferencias al comparar la IMB, en dicho estudio las medias fueron bajas oscilando entre 0,00 y 0,02%.

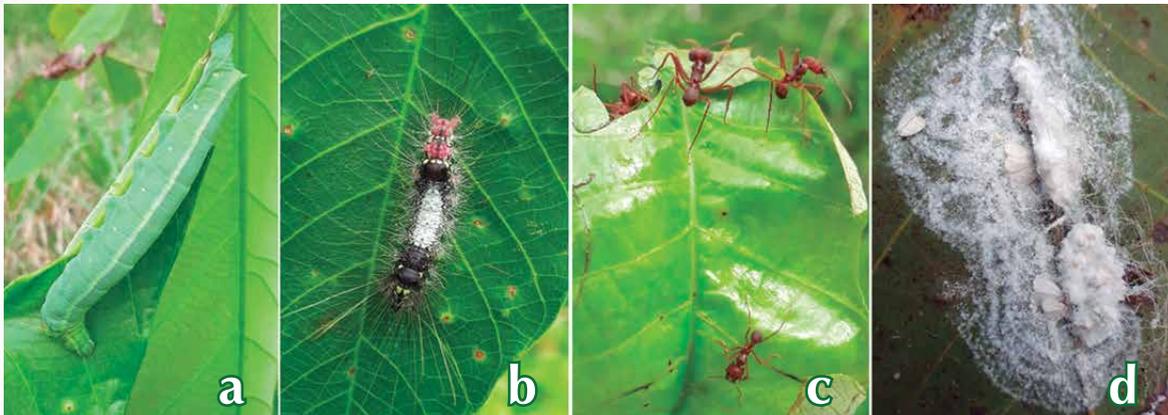


Figura 2.5 Insectos plaga registrados en diez clones de *H. brasiliensis* en CCGE. **a.** Gusano cachón (*E. ello*) en FX 3899, **b.** Gusano peludo (*P. semirufa*) en GU 198, **c.** Hormiga arriera (*Atta* spp.) en FX 4098, **d.** Mosca blanca (*Aleurodicus* spp.) en FDR 5597.

Fuente: Elaboración propia.

• Abundancia de los principales ácaros plaga

Los ácaros fueron el grupo de plagas más registradas en todas las evaluaciones (figura 2.6). Según la tabla 2.1, la media de la abundancia de arañas rojas (AAR) fluctuó entre 32,65 para época lluviosa y 64,56 individuos por árbol para transición. Florencia mostró el menor número de individuos (44,13) y San Vicente el mayor (57,20). Los clones MDF 180 y GU 198 fueron los menos infestados, con 37,42 y 46,92 individuos por árbol, es decir, cerca de 4,15 y 5,21 ácaros por foliolo, respectivamente. En contraste, los clones CDC 56, FDR 5597, FDR 5788 y FX 3899 P1 fueron los más afectados, con abundancias mayores a 50 individuos por árbol.

La abundancia del ácaro rojo plano (AARP) osciló entre 64,71 para la época seca y 88,68 individuos por árbol para la lluviosa (tabla 2.1). Belén de los Andaquíes fue la localidad con mayor abundancia, con 78,15 individuos por árbol (8,68 ácaros por foliolo). Los clones menos infestados fueron FX 4098 y FDR 4575 con AARP < 72,00 individuos por árbol, y los más infestados FDR 5597, IAN 873 y FX 3899 P1 con AARP > 77,00 individuos por árbol.

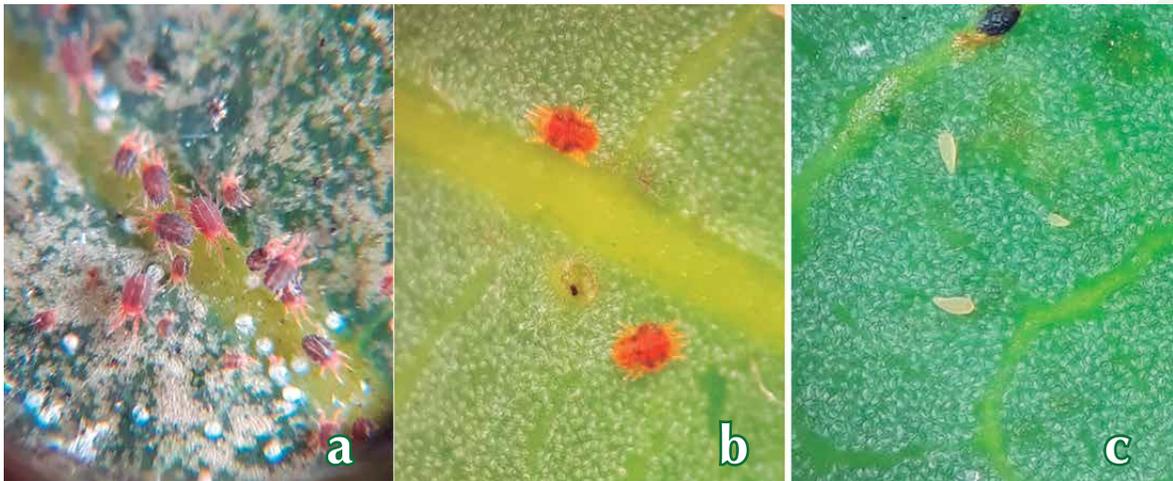


Figura 2.6 Ácaros plaga evaluados en diez clones de *H. brasiliensis* en CCGE. **a.** Arañas rojas (*Allonychnus cf. reisi*) en FDR 5788, **b.** Ácaro rojo plano (*T. heveae*) en FDR 5597, **c.** Microácaro de la hoja *Calacarus cf. heveae* en MDF 180.

Fuente: Elaboración propia.

El microácaro de la hoja presentó abundancia de 77,75 individuos por árbol en la época de transición y en San Vicente del Caguán (77,79 individuos por árbol). Los clones FDR 4575, FDR 5597 y CDC 312 fueron los menos afectados ($AMH < 53,00$), y los más afectados MDF 180, FX 3899 P1 y GU 198 ($AMH > 66,00$).

El microácaro de la hoja y el ácaro rojo plano son considerados en Brasil las principales especies de ácaros plaga, además de las más abundantes en las plantaciones de caucho (Castro, Nuvoloni y Feres, 2018; Damasco y Feres, 2007). Como se puede observar en la tabla 1, la densidad poblacional del microácaro de la hoja es baja (8,51 ácaros por foliolo) valor medio por debajo de lo reportado por Bellini, Moraes y Feres (2005), quienes encontraron 230 ácaros por foliolo es decir casi 4 ácaros/cm² en Sao Paulo, Brasil. Por su parte, el ARP mostró mayor número de individuos que el MH (9,8 ácaros por foliolo), difiriendo de lo registrado por Castro, Nuvoloni, Mattos y Feres (2013), investigadores que observaron mayor abundancia de ARP en árboles de caucho (24,6 ácaros/cm²) en Bahía, Brasil.

2.3.2. Influencia de la interacción localidad x clon sobre los problemas fitosanitarios más relevantes

La costra negra, la raya negra, el chinche de encaje y el mal suramericano de las hojas fueron los problemas fitosanitarios más relevantes en las distintas evaluaciones en campo (tabla 2.1). En este sentido, la costra negra mostró las notas de severidad más bajas en San Vicente del Caguán con notas medias entre 1,50 y 2,19, donde los clones FDR 4575, CDC 312 y FX 4098 fueron los menos afectados ($SCN < 1,57$), en contraste con lo registrado en los clones FDR 5597, GU

198 y FX 3899 P1 (SCN > 1,80) (figura 2.7). En Belén de los Andaquíes los menos afectados fueron MDF 180, CDC 312 y FX 4098 (SCN < 1,9), y los clones GU 198, FX 3899 P1 y FDR 5597 fueron los más afectados (SCN > 2,06). En Florencia la mayor afectación se observó en los clones CDC 312, FX 4098 y FDR 5788 (SCN < 1,75), contrario a lo reportado para GU 198, FDR 4575 y FX 3899 P1 (SCN > 1,92).

Según Gonçalves *et al.* (2013) y Gonçalves (2019), la costra negra es una enfermedad muy frecuente en las hojas de *H. brasiliensis*, y un ataque severo de CN puede generar defoliación de los árboles en algunos clones.

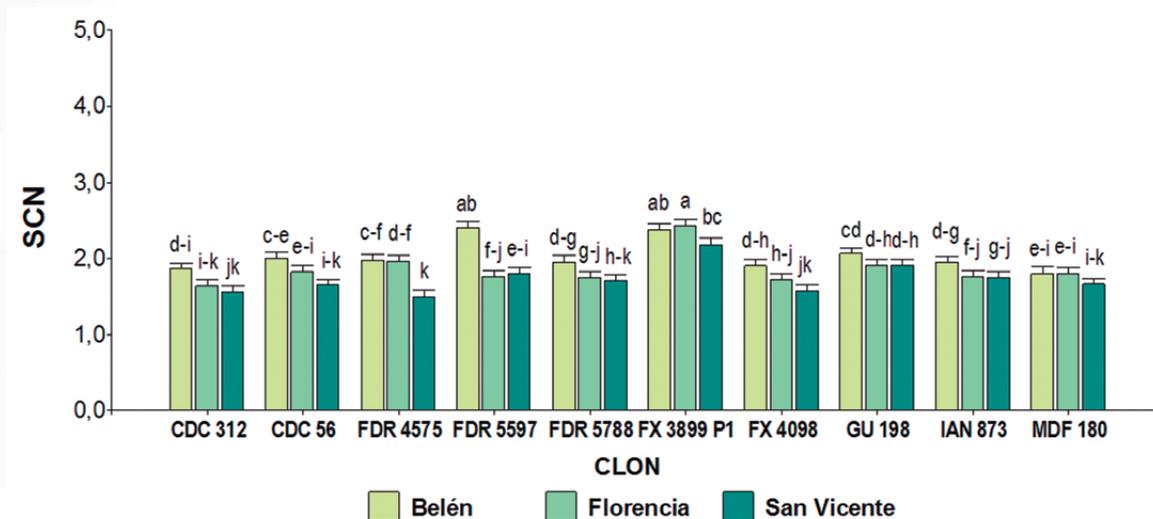


Figura 2.7 Media de la severidad de costra negra (*P. huberi*) (SCN) en diez clones de *H. brasiliensis* en tres campos clonales a gran escala presentes en tres localidades del Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba LSD de Fisher, $P > 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

La raya negra mostró la incidencia más baja en Belén de los Andaquíes, con medias entre 16,67 y 49,37%, donde los clones CDC 312, MDF 180 y FDR 5597 fueron los menos afectados (IRN < 26,94%) y el caso contrario se evidenció en FX 4098, FDR 5788 y GU 198 (IRN > 43,57%). En San Vicente del Caguán los clones MDF 180, IAN 873 y FDR 4575 fueron los menos afectados (IRN < 42,64%), en contraste con FDR 5788, GU 198 y CDC 56 (IRN > 54,23%). En Florencia, los clones menos afectados fueron FDR 4575, IAN 873 y FX 4098 (IRN < 52,74%), mientras FDR 5597, FDR 5788 y GU 198 mostraron la mayor incidencia (IRN > 73,33%).

La alta incidencia de este patógeno específicamente en Florencia y San Vicente del Caguán, puede estar relacionada con las prácticas de rayado. Durante las evaluaciones realizadas se

encontró que en estos dos CCGE, principalmente en Florencia, los cortes eran muy profundos, lo que permitía evidenciar heridas en el área de rayado, condición que favorece la inoculación de hongos. Caso contrario se observó en Belén de los Andaquíes, donde se practicó un rayado adecuado, pues rara vez se encontraron heridas en la corteza y esto se vio reflejado en la baja incidencia de la enfermedad. Lo anterior se puede corroborar con lo expuesto por Compagnon (1998), quien recomienda que para evitar el ataque de patógenos se debe tener en cuenta la calidad del rayado, que consiste en abrir la corteza a una profundidad adecuada sin causar heridas.

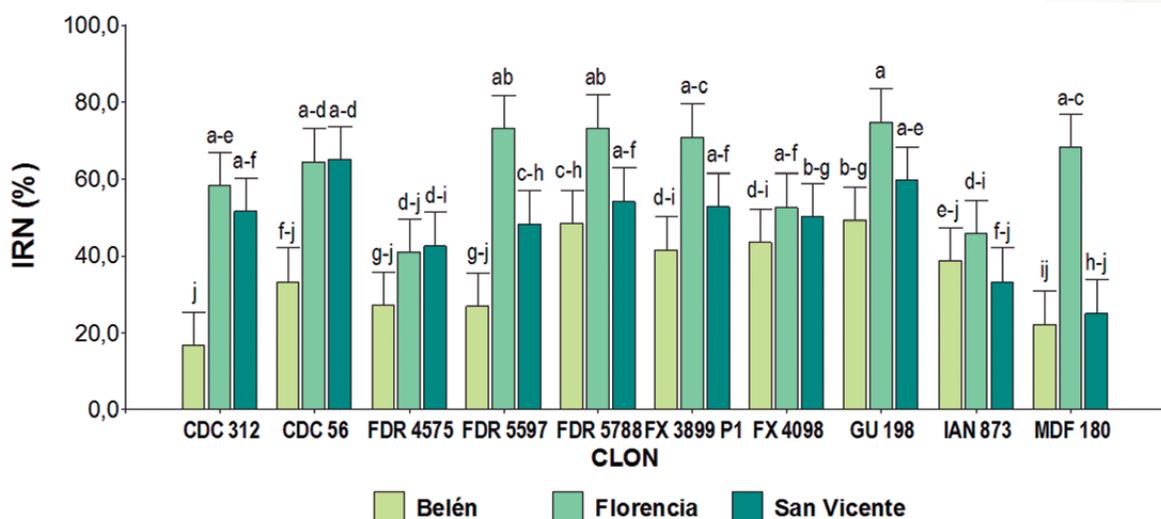


Figura 2.8 Media de la incidencia de raya negra (*Phytophthora* spp.) IRN (%) en tres campos clonales a gran escala presentes en tres localidades del Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba LSD de Fisher, $P > 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

El chinche de encaje registró menor incidencia en San Vicente del Caguán, oscilando entre el 5,31% y el 24,30%, los clones menos infestados fueron FDR 5597, CDC 56 e IAN 873 (ICE < 6,85%), contrastando con los clones FDR 4575, GU 198 y FX 3899 P1 (ICE > 10,95%) (figura 2.9). En Belén de los Andaquíes la ICE osciló entre el 9,43% y el 37,33%, donde los clones IAN 873, MDF 180 y CDC 312 mostraron la menor incidencia (ICE < 11,92%), difiriendo con FDR 5788, FDR 4575 y FX 3899 P1 (ICE > 15,79%). En Florencia la incidencia varió entre el 16,27% y el 48,33%, clones como CDC 312, MDF 180 y GU 198 mostraron baja incidencia (ICE < 16,83%), lo contrario se encontró en FDR 5788, FDR 4575 y FX 3899 P1 (ICE > 22,83%); de este modo se puede asegurar que estos tres clones son los más infestados por CE en las tres localidades. Según indican Santos, Costa, Silva y Freitas (2012), la incidencia de CE está determinada por el clon y la época, además, las altas densidades poblacionales causan pérdida de área fotosintética y debilitamiento de los árboles, limitando la producción de látex.

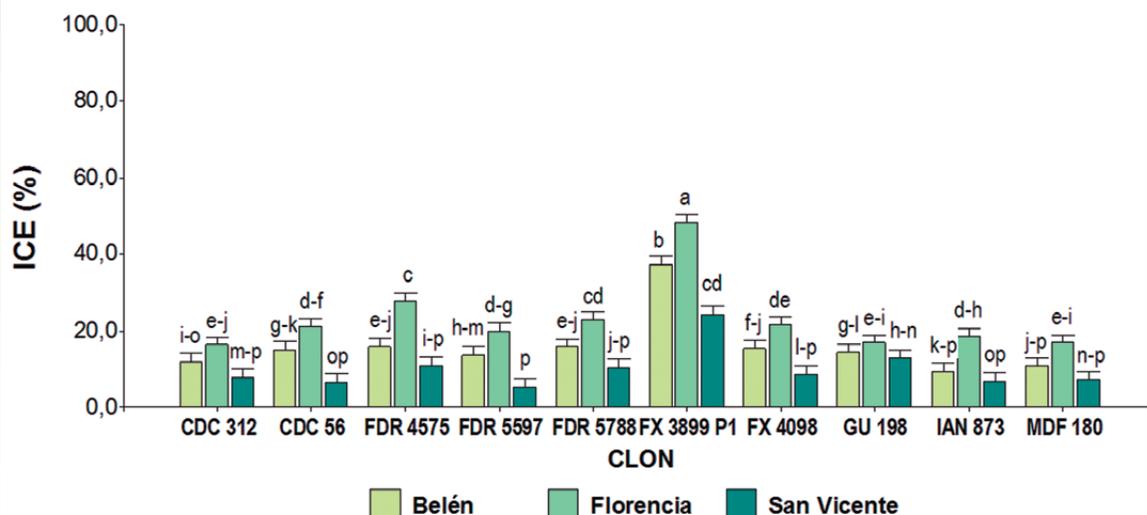


Figura 2.9 Media de la incidencia chinche de encaje (*L. heveae*) ICE (%) en tres campos clonales a gran escala presentes en tres localidades de Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba LSD de Fisher, $P > 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

La SMSHJ y la TR no se registraron en Belén de los Andaquíes en los clones FDR 5597 y CDC 312, mientras GU 198, FX 4098, MDF 180 y FDR 4575 mostraron notas medias muy bajas (SMSHJ < 0,005 y TR < 0,01), y los más afectados fueron FDR 5788, FX 3899 P1, CDC 56 e IAN 873 (SMSHJ < 0,12 y TR < 0,17). En Florencia, FX 3899 P1, FDR 5597, FX 4098, MDF 180 y FDR 4575 no reportaron la enfermedad, caso contrario se observó en CDC 312, con notas medias muy bajas (SMSHJ = 0,003 y TR < 0,004), y clones como GU 198, FDR 5788, IAN 873 y CDC 56 obtuvieron notas más altas (SMSHJ < 0,15 y TR < 0,20). En San Vicente del Caguán, el MDF 180, FX 3899 P1, FX 4098, CDC 312 y FDR 4575 no se enfermaron, por su parte, GU 198, FDR 5597, FDR 5788, CDC 56 e IAN 873 obtuvieron medias de SMSHJ < 0,11 y TR < 0,18.

Los resultados para el mal suramericano en hojas jóvenes fue muy bajo al contrastarlo con estudios como los de Sterling y Rodríguez (2012) y Sterling et al. (2014), quienes encontraron notas máximas para TR = 3,78 y 1,07, respectivamente, pero coinciden al mostrar al clon IAN 873 como uno de los más susceptibles.

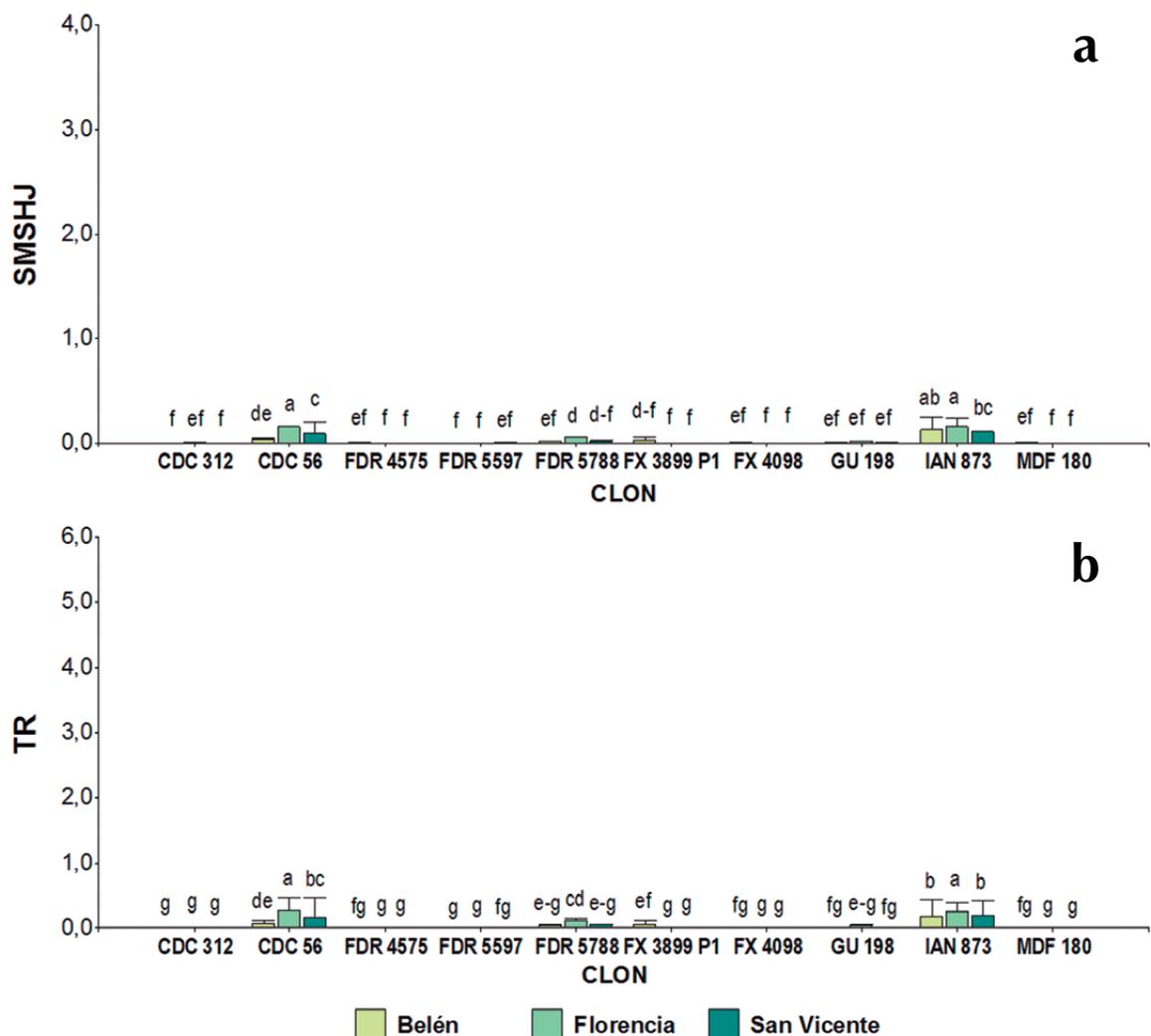


Figura 2.10 Componentes de resistencia del mal suramericano de las hojas (MSH) en hojas jóvenes en tres campos clonales a gran escala presentes en tres localidades del Caquetá (Colombia). **a.** Media de la severidad del MSH en hojas jóvenes (SSMHJ), **b.** Media del tipo de reacción (TR). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba LSD de Fisher, $P > 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

La SMSHM y la DE en Belén de los Andaquíes no fueron observadas en los clones CDC 312 y MDF 180, mientras FX 4098, FDR 4575 y FDR 5597 mostraron notas medias entre 0,002 y 0,007 en las dos variables, y GU 198, FDR 5788, FX 3899 P1, CDC 56 e IAN 873 presentaron notas mayores (SMSHM < 1,30 y DE < 1,74). En Florencia, FX 4098, MDF 180 y FDR 4575 no reportaron la enfermedad, caso contrario se observó en CDC 312, FDR 5597 y FX 3899, con notas muy bajas (< 0,03) para las dos variables, y los más afectados fueron GU 198, FDR 5788, IAN 873 y CDC 56 (SMSHM < 1,47 y DE < 1,97). En San Vicente del Caguán los clones CDC 312, FDR 4575, FX 4098 y MDF 180 no se enfermaron, los demás tratamientos mostraron SMSHM entre 0,01 y 1,23, la DE varió entre 0,01 y 1,73, siendo CDC 56 e IAN 873 los más afectados. Sterling y Rodríguez (2012) encontraron que el clon MDF 180 no reportó estromas en ninguna localidad (DE = 0), acertando con lo registrado en esta investigación. Las notas medias para DE son bajas al compararse con las observadas por Sterling y Rodríguez (2012) y Sterling et al. (2014), quienes reportaron notas máximas para DE = 2,97 y 3,23, respectivamente.

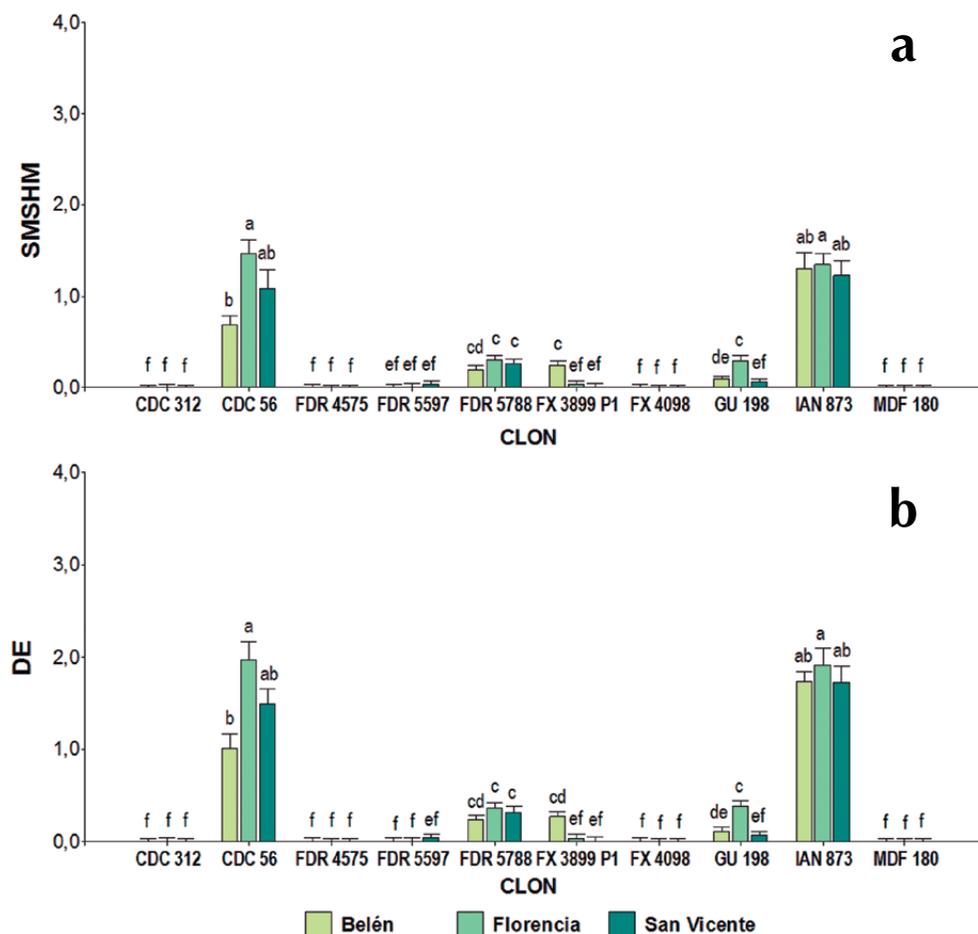


Figura 2.11 Componentes de resistencia del mal suramericano de las hojas (MSH) en hojas maduras en tres campos clonales a gran escala presentes en tres localidades de Caquetá (Co-

lombia). **a.** Media de la severidad del MSH en hojas maduras (SMSHM), **b.** Media de la densidad estromática (DE). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba LSD de Fisher, $P > 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

2.3.3. Análisis multivariado de los principales problemas fitosanitarios

El análisis de componentes principales (ACP) realizado en Belén de los Andaquíes capturó el 54,9% de la variabilidad total con los dos primeros componentes principales (Figura 2.12a). En relación a los componentes del MSH, los clones IAN 873 y CDC 56 fueron los más afectados, además de antracnosis foliar y de panel, mancha de perdigón, y microácaro de la hoja. Clones como FX 3899 P1 y FDR 5788 resultaron más afectados por costra negra, raya negra, chinche de encaje, gusano peludo, arañas rojas y ácaro rojo plano. Por su parte, FX 4098 y GU 198 fueron afectados por hormiga arriera y gusano peludo, mientras MDF 180, FDR 4575, CDC 312 y FDR 5597 fueron afectados por mancha aerolada, moho ceniciento y mosca blanca.

El ACP realizado en Florencia capturó el 59,2% de la variabilidad total con los dos primeros componentes principales (Figura 2.12b). Clones como IAN 873 y CDC 56 resultaron muy afectados por el mal suramericano de las hojas, además por mancha de perdigón, antracnosis de panel y foliar, FDR 5788 y GU 198 mostraron relación con raya negra y gusano peludo, FDR 5597 fue afectado por mosca blanca y hormiga arriera, mientras MDF 180 y FX 3899 P1 fueron los clones con mayor número de problemas fitosanitarios, incluyendo costra negra, mancha aerolada, moho ceniciento, chinche de encaje y las tres especies de ácaros; caso contrario ocurrió en CDC 312, resultando afectado solo por hormiga arriera.

San Vicente del Caguán capturó el 47,9% de la variabilidad total con los dos primeros componentes principales (Figura 2.12c). A nivel foliar los clones IAN 873 y CDC 56 fueron los más afectados por el mal suramericano de las hojas, antracnosis, mancha de perdigón, hormiga arriera y arañas rojas. Clones como GU 198 y MDF 180 resultaron afectados por mancha aerolada, antracnosis de panel y mosca blanca, FX 3899 P1 fue afectado mayormente por costra negra, chinche de encaje, ácaro rojo plano y microácaro de la hoja. Gusano peludo y gusano cachón fueron más frecuentes en los clones restantes. En relación con las enfermedades del panel de sangría, la raya negra afectó principalmente a FDR 5788 y el moho ceniciento a FDR 4575 y FDR 5597.

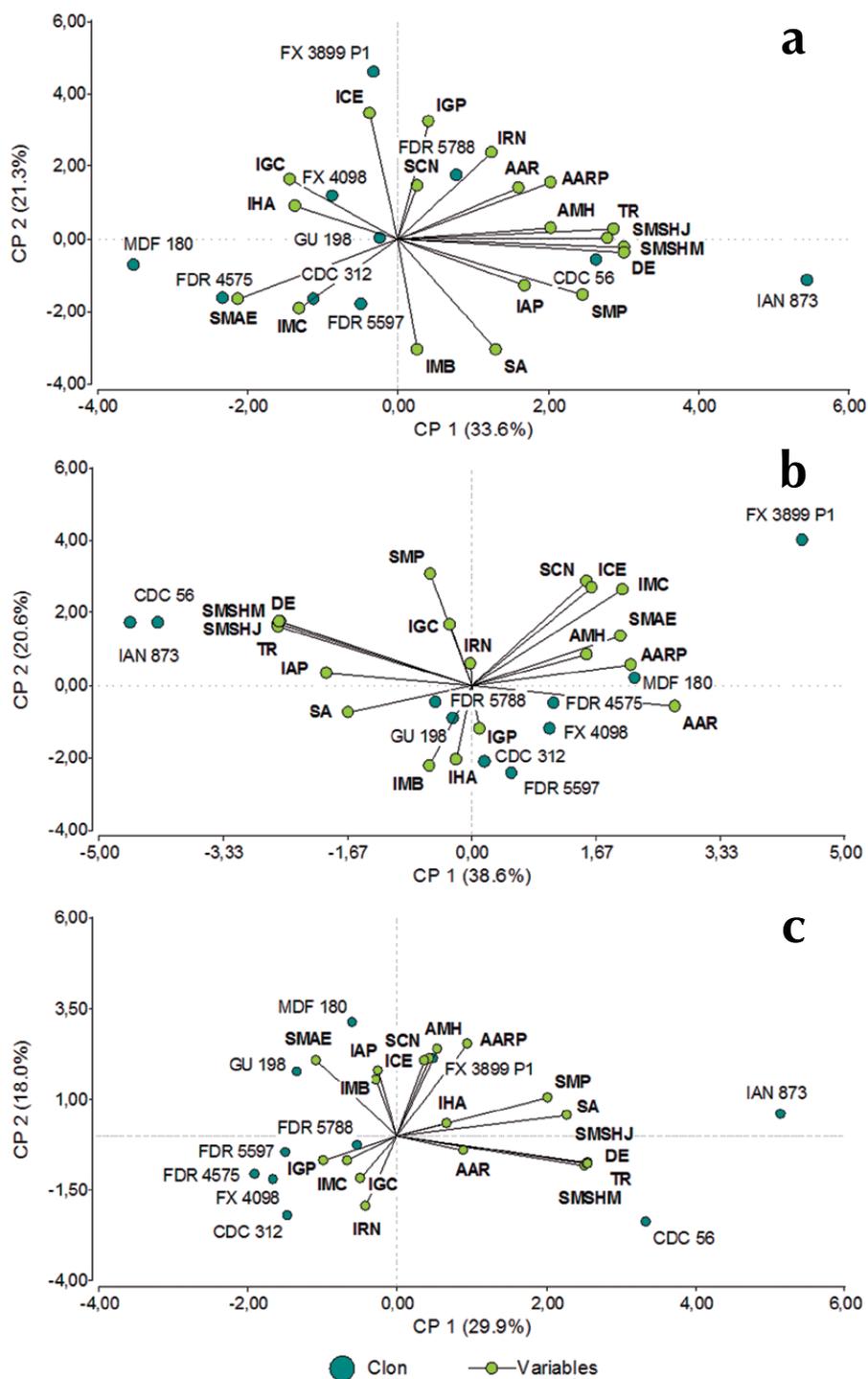


Figura 2.12 Análisis de componentes principales (gráfico biplot) de cuatro variables de severidad de enfermedades foliares, cuatro de componentes de resistencia del mal suramericano de las hojas

(MSH), tres de incidencia de enfermedades del panel de sangría, cinco de incidencia de insectos plagas foliares y tres de abundancia de ácaros plagas en diez clones de caucho (*H. brasiliensis*) evaluados en tres campos clonales a gran escala presentes en tres localidades del Caquetá (Colombia). Clave: Severidad (S) de: antracnosis (SA), costra negra (SCN), mancha aerolada (SMA), mancha de perdigón (SMP), componentes de resistencia del MSH: severidad del MSH en hojas jóvenes (SMHJ) y en hojas maduras (SMHM), tipo de reacción (TR), densidad estromática (DE), Incidencia % (I) de: antracnosis de panel (IAP), raya negra (IRN), moho ceniciento (IMC), chinche de encaje (ICE), gusano cachón (IGC), gusano peludo (IGP), hormiga arriera (IHA), mosca blanca (IMB), Abundancia (A) de: arañas rojas (AAR), ácaro rojo plano (AARP) y microácaro de la hoja (AMH). **a.** Belén de los Andaquíes. **b.** Florencia. **c.** San Vicente del Caguán.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.4. Caracterización del ciclo fenológico

En el presente estudio fue posible describir visualmente el ciclo fenológico de los diez clones de caucho en cada una de las tres localidades (figura 2.13), evidenciándose algunas variaciones relacionadas principalmente con las condiciones climáticas de cada zona y en algunos casos afectada por una mayor prevalencia de agentes fitosanitarios en las zonas de mayor presión como Florencia y Belén de los Andaquíes, sin embargo, el clon FX 3899 mostró un ciclo fenológico homogéneo al compararse con los demás clones en los tres CCGE.

Las siguientes fenofases foliares fueron observadas: senescencia foliar (figura 2.13a), seguido de la caída de las hojas que se tornan de color naranja a marrón hasta que el árbol pierde la totalidad del follaje, fase conocida como defoliación (figura 2.13b); luego aparecen nuevos brotes, lo que incluye la formación de nuevas hojas hasta la etapa inmadura (estado C) (figura 2.13c); el ciclo culmina cuando las hojas alcanzan la madurez fisiológica (estado D), esta última fase se denomina refoliamiento completo (figura 2.13d).



Figura 2.13. Ciclo fenológico de *H. brasiliensis*. **a.** Senescencia foliar, **b.** Defoliación, **c.** Refoliación (Foliolos C), **d.** Refoliamiento completo (Foliolos D).

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la tabla 2.2, en Belén de los Andaquíes todos los clones inician su ciclo fenológico en el mes de julio, el 70% lo finaliza en octubre y el 30% restante en noviembre. En promedio, el ciclo dura 132 días, y el 90% de los clones posee una densidad foliar al final de la refoliación completa mayor al clon IAN 873 (63,85%). Los clones que evidencian mejor densidad foliar son FX 3899 P1 y FDR 5788, los cuales evidenciaron ser menos afectados por SMSHM Y DE.

En Florencia, el 80% de los clones inicia su ciclo en el mes de julio y el 20% en el mes de agosto; el 60% lo finaliza en octubre, el 30% en noviembre y el 10% restante en diciembre. En promedio, para la localidad de Florencia el ciclo fenológico dura 128,9 días, y en el 80 % de los clones la densidad foliar al final de la refoliación completa es >91,71%. Los clones FX 4098 y FX 3899 P1 evidenciaron mejor densidad foliar y fueron los menos afectados por la SMSHJ y TR (tabla 2.2). Estos resultados difirieron de los reportados por Guyot, Cilas y Sache (2008), donde el factor fenológico no se relacionó con la resistencia a *P. ulei*, ya que la fenología foliar depende principalmente del clon y las condiciones climáticas (Guyot, Cilas y Sache, 2008).

Según la tabla 2.2, en San Vicente del Caguán el 50% de los clones inicia el ciclo fenológico en julio y el 50% restante en agosto; el 30% lo finaliza en noviembre, el 20% en octubre y el 50% restante en el mes de diciembre. En promedio, el ciclo fenológico dura 147 días, siendo el más extenso entre las localidades evaluadas. La densidad foliar al final de la refoliación completa es mayor en el 90% de los clones, en contraste con el clon IAN 873 (68,52%). Los clones que evidencian mejor densidad foliar son CDC 312, MDF 180, FX 4098, FDR 5788 y FX 3899 P1, los cuales obtuvieron las menores notas medias de severidad en enfermedades foliares.

Tabla 2.2. Duración del ciclo fenológico y densidad foliar de diez clones de caucho (*H. brasiliensis*) evaluados en tres campos clonales a gran escala en tres localidades del departamento del Caquetá (Colombia).

Clon	Belén			Florencia			San vicente		
	Tiempo (Inicio-Fin)	Total (días)	Densidad Foliar (%)	Tiempo (Inicio-Fin)	Total (días)	Densidad Foliar (%)	Tiempo (Inicio-Fin)	Total (días)	Densidad Foliar (%)
CDC 312	Jul-Nov.	153	91,49	Agt-Nov.	122	92,22	Agt-Dic.	153	100
MDF 180	Jul-Oct.	123	93,57	Jul-Oct.	123	94,52	Agt-Dic.	153	100
FDR 4575	Jul-Oct.	123	93,46	Jul-Oct.	123	93,26	Agt-Dic.	153	98,20
FX 4098	Jul-Oct.	123	94,51	Jul-Nov.	153	95,18	Jul-Nov.	153	100
FDR 5788	Jul-Oct.	123	94,51	Jul-Oct.	123	94,01	Agt-Dic.	153	100
FDR 5597	Jul-Oct.	123	94,08	Jul-Oct.	123	95,09	Jul-Oct.	123	99,38
IAN 873	Jul-Nov.	153	63,85	Jul-Oct.	123	55,99	Jul-Nov.	153	68,52
GU 198	Jul-Nov.	153	90,83	Agt-Dic.	153	91,72	Jul-Nov.	153	98,77
CDC 56	Jul-Oct.	123	64,75	Jul-Oct.	123	69,73	Agt-Dic.	153	77,06
FX 3899 P1	Jul-Oct.	123	95,48	Jul-Nov.	123	95,23	Jul-Oct.	123	100

En general, el ciclo fenológico y la densidad foliar se asoció con una menor presión de MSH, principalmente en clones con mejores niveles de resistencia: FX 3899 P1, FDR 5788 y FX 4098, los cuales presentaron un dosel con menor reducción de follaje. Sin embargo, otros factores como enfermedades y plagas pueden alterar estos patrones y alterar la densidad foliar de los árboles (Gasparotto *et al.*, 2012; Sterling y Rodríguez, 2018).

El clon FX 3899 P1 susceptible, un híbrido interespecífico de *H. benthamiana* x *H. brasiliensis*, presentó un mayor porcentaje de retención foliar y menor severidad de síntomas producidos por *P. ulei*. Este fenómeno probablemente estuvo asociado con la duración y la parcialidad del ciclo fenológico de cada clon (Guyot *et al.*, 2008; Zhai *et al.*, 2019). Según Guyot *et al.* (2010), cuando la defoliación ocurre parcialmente, las hojas maduras son una fuerte fuente de inoculación disponible para infectar las hojas jóvenes que se generan durante la fase de refoliación, aumentando así la probabilidad de autoinfección y aloinfección, especialmente al final del período del ciclo fenológico y en los clones que son más susceptibles a MSH.

2.3.5. Identificación de los mejores clones promisorios

En la tabla 2.3 se presentan los mejores clones promisorios de caucho por su comportamiento fitosanitario deseable, a partir de la calificación ponderada de las principales plagas y enfermedades foliares y de panel de sangría, registradas en tres campos clonales a gran escala.

Tabla 2.3. Matriz de identificación de los mejores clones promisorios de caucho comparados con el clon IAN 873 (testigo), basada en las variables de severidad de enfermedades foliares, resistencia a *P. ulei*, incidencia de enfermedades del panel (fase de sangría temprana), incidencia de insectos plagas foliares y abundancia de ácaros plagas foliares en tres campos clones a gran escala en el departamento del Caquetá (Colombia).

Localidad	Clon	SA ^a	IP ^a	SON	N _{son}	SMA	N _{sma}	SMP	N _{smp}	SMISHU	N _{smishu}	SMSHM	N _{smsmh}	TR	N _{tr}	DE	N _{de}	IAP	N _{iap}	IMC	N _{imc}	IRN	N _{irn}	ICD	N _{icd}	IGC	N _{igc}	NIEC	IP	N _{ip}	IHA	N _{iha}	IMB	N _{imb}	AMH	N _{amh}	AARP	N _{aarp}	AAR	N _{aar}	Calificación ^c	Escala ^b	
Betén	MDF-180	1.70	0.69	1.81	1.00	0.16	0.20	1.03	1.00	0.00	0.98	0.00	1.00	0.01	0.95	0.00	1.00	0.03	0.81	0.01	0.75	0.26	0.77	10.78	0.96	0.57	1.01	3.29	0.75	1.68	0.59	2.67	0.64	39.01	0.91	55.79	1.00	25.12	1.00	0.90	1		
	CDC-312	1.98	0.26	1.86	0.92	0.08	0.79	1.27	0.48	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.04	0.75	0.00	0.65	0.04	1.10	0.27	0.74	15.99	0.79	0.08	0.87	3.78	0.59	1.48	0.64	5.07	0.27	33.06	1.00	79.33	0.41	44.90	0.67	0.78	2
	FDR-4575	1.94	0.33	1.98	0.74	0.18	0.10	1.08	0.89	0.01	0.96	0.00	1.00	0.00	1.00	0.02	0.92	0.00	1.00	0.06	0.60	0.04	1.10	0.27	0.74	15.99	0.79	0.08	0.87	3.78	0.59	1.48	0.64	5.07	0.27	33.06	1.00	79.33	0.41	44.90	0.67	0.78	3
	GU-198	1.96	0.28	2.06	0.61	0.07	0.87	1.22	0.59	0.00	0.98	0.09	0.94	0.01	0.97	0.11	0.94	0.04	0.78	0.00	0.95	0.53	1.10	0.27	0.75	13.62	0.86	0.11	0.82	2.85	0.89	0.36	0.92	6.13	0.10	47.82	0.77	84.13	0.29	76.83	0.14	0.72	4
	FX-4088	1.99	0.24	1.91	0.85	0.07	0.81	1.26	0.51	0.00	0.98	0.00	1.00	0.01	0.94	0.00	1.00	0.08	0.58	0.00	1.00	0.48	0.24	15.43	0.81	0.56	0.12	4.75	0.28	3.67	0.10	1.75	0.79	54.86	0.66	83.93	0.29	46.63	0.64	0.77	5		
	FDR-5788	1.73	0.64	1.96	0.77	0.05	1.00	1.13	0.79	0.02	0.87	0.20	0.86	0.04	0.79	0.24	0.88	0.16	1.00	0.00	0.93	0.51	0.17	15.79	0.79	0.05	0.92	5.34	0.10	0.15	0.97	0.86	0.93	43.73	0.83	83.57	0.30	79.13	0.10	0.76	6		
	FDR-5597	1.96	0.28	2.40	0.10	0.10	0.66	1.21	0.61	0.00	1.00	0.01	1.00	0.00	1.00	0.01	1.00	0.16	1.11	0.04	1.00	0.42	0.27	0.75	13.62	0.86	0.11	0.82	2.85	0.89	0.36	0.92	6.13	0.10	47.82	0.77	84.13	0.29	76.83	0.14	0.72	7	
	FX-3899P1	1.51	1.00	2.38	0.13	0.07	0.83	1.06	0.95	0.03	0.77	0.24	0.83	0.06	0.71	0.27	0.86	0.00	1.00	0.00	1.00	0.42	0.39	37.34	0.10	0.43	0.32	5.26	0.12	1.02	0.76	0.42	1.00	60.71	0.57	91.67	0.10	89.53	0.26	0.65	8		
	CDC-56	2.00	0.23	2.00	0.70	0.08	0.76	1.23	0.58	0.03	0.76	0.68	0.53	0.08	0.60	1.02	0.47	0.14	0.22	0.00	1.00	0.35	0.56	14.89	0.92	0.20	0.68	2.88	0.87	0.11	0.98	3.25	0.55	91.17	0.10	86.90	0.22	75.87	0.15	0.56	9		
	IAN-873	2.08	0.10	1.95	0.78	0.06	0.92	1.45	1.10	0.13	0.10	0.30	0.10	0.10	0.18	0.10	0.17	0.10	0.12	0.34	0.00	1.00	0.42	0.38	9.43	1.00	0.05	0.93	4.15	0.47	0.34	0.93	4.16	0.41	63.49	0.53	91.27	0.11	53.77	0.52	0.30	10	
Florencia	CDC-312	2.04	0.47	1.64	1.00	0.04	0.81	1.39	0.80	0.00	0.99	0.01	1.00	0.00	0.99	0.01	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.67	0.83	16.27	1.00	0.00	1.00	3.20	0.96	0.14	0.61	2.41	0.79	20.79	1.00	60.62	0.79	49.16	0.40	0.90	1		
	FX-4088	2.03	0.50	1.72	0.91	0.04	0.84	1.38	0.82	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.06	0.58	0.01	0.87	0.66	0.95	21.65	0.85	0.12	0.75	5.17	0.53	0.00	1.00	3.80	0.62	51.83	0.50	77.38	0.29	53.13	0.31	0.85	2		
	MDF-180	1.96	0.67	1.80	0.82	0.12	0.10	1.39	0.78	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.04	0.76	0.02	0.57	0.93	0.28	16.77	0.99	0.25	0.47	3.41	0.92	0.07	0.82	2.49	0.77	67.96	0.24	76.49	0.31	52.38	0.33	0.83	3		
	FDR-4575	2.07	0.39	1.96	0.63	0.12	0.16	1.41	0.73	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.01	0.93	0.00	1.00	0.64	1.00	27.65	0.68	0.18	0.63	3.96	0.79	0.00	1.00	5.93	0.30	39.13	0.70	66.47	0.61	40.79	0.58	0.81	4		
	FDR-5597	2.11	0.29	1.77	0.86	0.05	0.74	1.42	0.69	0.00	1.00	0.01	0.99	0.00	1.00	0.01	1.00	0.04	0.76	0.00	1.00	1.00	0.10	19.99	0.90	0.00	1.00	3.55	0.89	0.32	0.10	7.36	0.10	29.07	0.87	76.57	0.25	51.49	0.35	0.80	5		
	FDR-5788	1.82	1.00	1.75	0.88	0.05	0.76	1.32	1.00	0.05	0.70	0.31	0.81	0.12	0.58	0.37	0.83	0.13	0.10	0.01	0.89	0.94	0.25	22.83	0.92	0.06	0.88	7.12	0.10	0.00	1.00	2.39	0.79	56.05	0.43	62.10	0.74	39.39	0.62	0.76	6		
	GU-198	2.17	0.15	1.92	0.68	0.04	0.80	1.39	0.80	0.02	0.90	0.30	0.82	0.05	0.83	0.38	0.83	0.06	0.62	0.00	1.00	0.89	0.37	16.83	0.98	0.43	0.10	5.85	0.38	0.11	0.71	6.66	0.20	76.69	0.10	65.48	0.64	46.13	0.47	0.70	7		
	FX-3899P1	1.89	0.82	2.43	0.10	0.12	0.17	1.59	0.17	0.00	1.00	0.04	0.98	0.00	1.00	0.04	0.98	0.00	1.00	0.04	1.00	0.04	1.00	0.87	0.41	46.33	0.10	0.21	0.57	3.27	0.95	0.00	1.00	0.87	1.00	64.09	0.30	83.65	0.10	62.50	0.10	0.68	8
	IAN-873	2.11	0.29	1.77	0.86	0.02	1.00	1.61	0.10	0.15	0.11	1.35	0.18	0.25	0.12	1.91	0.13	0.08	0.48	0.00	1.00	0.78	0.65	16.60	0.93	0.20	0.58	3.03	1.00	0.00	1.00	4.28	0.53	23.02	0.96	53.51	1.00	24.11	0.96	0.43	9		
	CDC-56	2.19	0.10	1.83	0.79	0.05	0.72	1.48	0.52	0.16	0.10	1.47	0.10	0.26	0.10	1.97	0.10	0.13	0.15	0.00	1.00	0.90	0.36	21.11	0.96	0.25	0.48	3.39	0.92	0.12	0.67	2.82	0.73	33.85	0.79	67.90	0.57	22.18	1.00	0.35	10		
San Vicente	CDC-312	1.53	0.84	1.56	0.93	0.05	1.00	1.10	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.99	0.01	0.92	0.67	0.25	7.86	0.88	0.89	0.10	4.57	0.67	0.00	1.00	1.03	0.91	74.60	0.82	77.18	0.48	62.30	0.47	0.90	1		
	FDR-4575	1.45	1.00	1.50	1.00	0.11	0.43	1.22	0.58	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.12	1.00	0.12	0.10	0.50	0.52	10.95	0.73	0.05	0.95	5.48	0.41	0.00	1.00	1.71	0.73	68.85	0.74	68.85	0.66	59.92	0.52	0.89	2
	FX-4088	1.59	0.72	1.57	0.91	0.14	0.10	1.17	0.75	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.03	0.89	0.01	0.96	0.65	0.28	8.64	0.94	0.10	0.90	3.46	1.00	0.00	1.00	1.00	0.68	1.00	64.09	0.85	52.62	1.00	46.87	0.77	0.89	3	
	FDR-5597	1.48	0.94	1.80	0.61	0.12	0.32	1.14	0.87	0.00	0.97	0.04	0.97	0.01	0.93	0.04	0.98	0.02	0.92	0.00	1.00	0.65	0.28	5.31	1.00	0.23	0.76	5.04	0.53	0.13	0.10	2.34	0.56	65.48	0.82	69.44	0.64	42.06	0.86	0.85	4		
	MDF-180	1.66	0.58	1.67	0.79	0.14	0.10	1.20	0.66	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.25	0.10	0.00	0.20	7.24	0.91	0.00	1.00	3.56	0.97	0.00	1.00	1.98	0.65	91.86	0.24	90.28	0.20	34.76	1.00	0.84	5		
	FDR-5788	1.44	1.00	1.71	0.72	0.09	0.55	1.13	0.91	0.02	0.82	0.26	0.81	0.05	0.74	0.32	0.84	0.06	0.80	0.00	0.99	0.67	0.25	10.41	0.76	0.00	1.00	6.52	0.10	0.05	0.64	1.78	0.71	87.00	0.35	81.30	0.39	72.57	0.27	0.75	6		
	GU-198	1.61	0.68	1.91	0.47	0.13	0.16	1.16	0.78	0.00	0.98	0.06	0.96	0.01	0.96	0.07	0.96	0.03	0.90	0.00	1.00	0.77	0.10	12.83	0.84	0.27	0.73	6.03	0.25	0.00	1.00	4.06	0.10	95.04	0.17	90.48	0.20	48.41	0.74	0.75	7		
	FX-3899P1	1.78	0.33	2.19	0.10	0.11	0.41	1.35	1.11	0.00	1.00	0.01	0.99	0.00	1.00	0.01	0.99	0.00	1.00	0.03	0.78	0.53	0.48	24.31	1.00																		

2.4. Consideraciones finales

En época seca se registraron las notas más bajas para la gran mayoría de variables evaluadas, como la incidencia para los insectos plagas y enfermedades de panel (antracnosis de panel y moho ceniciento), la abundancia de ácaros (ácaro rojo plano y microácaro de la hoja) y la severidad de las enfermedades foliares, excepto mal suramericano de las hojas, que mostró notas mínimas en época lluviosa.

Entre localidades, San Vicente del Caguán reportó los valores más bajos de incidencia para chinche de encaje, mosca blanca y antracnosis de panel, así como la severidad para antracnosis, costra negra y mal suramericano de las hojas. En Florencia, fueron bajos los resultados para mancha aerolada, moho ceniciento y ácaros plaga, pero altos para mal suramericano de las hojas.

Dos clones mostraron la mayor cantidad de variables con las notas más bajas; en este sentido, MDF 180 tuvo medias bajas para mancha de perdigón, raya negra, chinche de encaje y ácaro rojo, mientras CDC 312 reportó valores mínimos para costra negra, mancha aerolada, antracnosis de panel, gusano peludo, hormiga arriera y ácaro rojo plano, también se destacan dos clones por no registrar dos enfermedades de panel, IAN 873 y FX 3899 P1, con ausencia de moho ceniciento y antracnosis de panel, respectivamente.

El clon MDF 180 no desarrolló lesiones estromáticas, sin embargo, otros clones como FX 4098, CDC 312 y FDR 4575 desarrollaron estromas muy leves ($DE \leq 0,002$), del mismo modo, existe un grupo intermedio con notas muy bajas ($DE \leq 0,31$), incluyendo los clones FDR 5597, FX 3899, GU 198 y FDR 5788, por lo cual se pueden considerar clones con resistencia parcial al MSH.

La evaluación del ciclo fenológico determinó que los clones FX 3899 P1, MDF 180 y FDR 5788 evidenciaron un ciclo más corto y una mayor tolerancia a problemas fitosanitarios a nivel foliar que el clon IAN 873 (testigo).

Este estudio permite concluir a partir de la matriz de identificación (tabla 2.3) que los clones promisorios más sobresalientes en su orden y comparados con el clon IAN 873 (testigo) de acuerdo a su comportamiento fitosanitario en cada localidad, fueron: a) en Belén de los Andaquíes, los clones MDF 180, CDC 312, FDR 4575, GU 198, FX 4098, FDR 5788, FDR 5597, FX 3899 P1 y CDC 56; b) en Florencia, los clones CDC 312, FX 4098, MDF 180, FDR 4575, FDR 5597, FDR 5788, GU 198 y FX 3899 P; c) en San Vicente del Caguán, los clones CDC 312, FDR 4575, FX 4098, FDR 5597, MDF 180, FDR 5788, GU 198, FX 3899 P1 y CDC 56.

2.5. Referencias bibliográficas

- ANDEF . (1987). *Defensa vegetal*. Sao Paulo: A. nacional de defesa vegetal.
- Bellini, M. R., Moraes, G. J. y Feres, R. J. F. (2005). Ácaros (Acari) de Dois Sistemas de Cultivo da Seringueira no Noroeste do Estado de São Paulo. *Neotrop. Entomol.*, (34), 475-484.
- Bento, J. M. S. (1999). Perdas por insetos na agricultura. *Ação Ambient.*, (4), 19-21.
- Castro, E. B., Nuvoloni, F. M. y Feres, R. J. (2018). Population dynamics of the main phytophagous and predatory mites associated with rubber tree plantations in the State of Bahia, Brazil. *Syst. Appl. Acarol.*, (23), 1578-1591. DOI: <https://doi.org/10.11158/saa.23.8.8>
- Castro, E. B., Nuvoloni, F. M., Mattos, C. R. R. y Feres, R. J. F. (2013). Population fluctuation and damage caused by phytophagous mites on three rubber tree clones. *Neotrop. Entomol.*, (42), 95-101. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13744-012-0088-y>
- Chee, K. y Holliday, P. (1986). South American leaf blight of Hevea rubber. *Malaysian Rubber Res. Dev. Board Monogr.*
- Cividanes, F. J., Fonseca, F. D. S. y Dos Santos, T. M. (2004). Distribuição de *Leptopharsa heveae* em seringueira no Estado de São Paulo. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, (39), 1053-1056. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2004001000015>
- Compagnon, P. (1998). *El caucho natural, biología, cultivo, producción*. México, D. F.: Consejo Mexicano del Hule - CIRAD.
- Damasco, D. R. y Feres, F. R. J. (2007). Dinâmica populacional de ácaros fitófagos (Acari, Eriophyidae, Tenuipalpidae) em seis clones de seringueira no sul do Estado de Mato Grosso. *Rev. Bras. Entomol.*, (51), 377-381. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0085-56262007000300016>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarine, M. G., Gonzales, L., Tablada, M. y Robledo, C.W. (2018). InfoStat versión 2018. [Internet]. Córdoba, Ar.: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina; 2018. Available: <http://www.infostat.com.ar>
- Fang, Y., Mei, H., Zhou, B., Xiao, X., Yang, M., Huang, Y., Long, X., Hu, S. y Tang, C. (2016). De novo transcriptome analysis reveals distinct defense mechanisms by young and mature leaves of *Hevea brasiliensis* (Para Rubber Tree). *Sci. Rep.*, (6), 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep33151>
- Feres, F. R. J., Rossa-Feres, D. D. C., Daud, R. D. y Santos, R. S. (2002). Diversidade de ácaros (Acari, Arachnida) em seringueiras (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg., Euphorbiaceae) na região noroeste do Estado de Sao Paulo, Brasil. *Rev. Bras. Zool.*, (19), 137-144.
- García, R. I. A., Peraza, A. A. R., Pinzón, G. Y. A., Santacruz, S. O. E., Martínez, A. G., Tapiero, A., León, G., Arguello, O., Gutiérrez, A., García, R. F. y Castilla, C. C. E. (2013). Modelo productivo para el cultivo del árbol de caucho natural en la Orinoquía. Zonas de escape y no escape al mal suramericano de las hojas del caucho. *Cenicaucho-Corpoica*.
- Gasparotto, L., Ferreira, F. A., Dos Santos, A. F., Rezende, P. J. y Furtado, E. L. (2012). Doenças das folhas [Capítulo 3]. En L. Gasparotto y R. J. C. Pereira (Eds.), *Doenças da seringueira no Brasil*, pp. 39-176. Brasília: Embrapa Amazônia Occidental.
- Gasparotto, L., Dos Santos, A. F., Rezende, P. J. C. y Alves, F. F. (1997). *Doenças da seringueira no Brasil*. Brasília: Embrapa.
- Golbon, R., Cotter, M., Mahbod, M. y Sauerborn, J. (2019). Global assessment of climate-driven susceptibility to South American leaf blight of rubber using emerging hot spot analysis and gridded historical daily data. *Forests*, (10), 1-11. DOI: <https://doi.org/10.3390/f10030203>

- Gonçalves, R. C., Pinho, C., Fonseca, A. A. y Albano, M. M. (2013). Manual de heveicultura para a região sudeste do Estado do Acre. [1ª edición]. Rio Branco: Embrapa Acre.
- Gonçalves, R. C. (2019). Guia para o cultivo da seringueira no Acre. Rio Branco: Embrapa Acre.
- Guyot, J., Cilas, C. y Sache, I. (2008). Influence of host resistance and phenology on South American leaf blight of the rubber tree with special consideration of temporal dynamics. *Eur. J. Plant Pathol.*, (120), 111-124. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-007-9197-6>
- Guyot, J., Condina, V., Doaré, F., Cilas, C. y Sache, I. (2010). Segmentation applied to weather-disease relationships in South American leaf blight of the rubber tree. *Eur. J. Plant Pathol.*, (126), 349–362. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9540-1>
- Hernandes, A. F. y Feres, F. R. J. (2006). Review about mites (Acari) of rubber trees (*Hevea* spp., Euphorbiaceae) in Brazil. *Biota Neotrop.*, (6), 1-24. DOI: <https://doi.org/10.1067/mgn.2000.105796>
- Hora Júnior, B.T. da, De Macedo, D. M., Barreto, R. W., Evans, H. C., Mattos, C. R. R., Maffia, L. A. y Mizubuti, E. S. G. (2014). Erasing the past: A new identity for the damoclean pathogen causing South American leaf blight of rubber. *PLoS One* 9. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104750>
- Jaimes, S.Y.Y. y Rojas, M. 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), 65-76. DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num1_art:216
- Jayasinghe, C. K. (1999). Pests and diseases of *Hevea* rubber and their geographical distribution. *Bull. Rubber Res. Inst. Sri Lanka*, (40), 1-8.
- Juarez, F. N., Moraes, G. J. y Bonato, O. (2007). Distribuição espacial e plano de amostragem de *Calacarus heveae* (Acari) em seringueira. *Iheringia, Sér. Zool.*, (97), 447-451.
- Junqueira, N. T., Chaves, G., Zambolim, L., Gasparotto, L. y Alfenas, A. (1986). Variabilidade fisiológica de *Microcyclus ulei*. *Fitopatol. Bras.*, 11, 823-833.
- Manju, M. J., Benagi, V. I., Shankarappa, T. H., Vinod, K. K. y Kuruvilla Jacob, C. (2015). Major Diseases of *Hevea brasiliensis* in Rubber Growing Regions of South India. *Environ. Ecol.*, (33), 1299-1302.
- Mattos, C. R., Garcia, D., Le Guen, V. (2005). Seleção de clones de seringueira com alta produção e resistentes ao mal-das-folhas.
- Mattos, C. R., Garcia, D., Pinar, F. y Le Guen, V. (2003). Variabilidade de isolados de *Microcyclus ulei* no Sudeste da Bahia. *Fitopatol. Bras.*, 28, 502-507. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-41582003000500006>
- Ogbebor, O. N. (2010). The status of three common leaf disease of Para rubber in Nigeria. *J. Anim. Plant Sci.*, 6, 567-570.
- Pereira, J. C. R. y Santos, A. F. (1986). Avaliação de fungicidas e técnicas de aplicação no controle de *Ceratocystis fimbriata*, em seringueira. *Fitopatol. Bras.*, 11, 811-816.
- Pizzeta, M., Porcena, A. S., Silva, L. L. y Furtado, E. L. (2008). Elaboração de escala diagramática de antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Sacc.) para avaliação de clones de seringueira (*Hevea brasiliensis* (Wild ex. A.Juss.) Müll.Arg.). En Congreso Nacional de Iniciação Científica, Botucatu.
- Ranganath, B. K., Pradeep, N., Manjula, V. B., Gowda, B., Rajanna, M. D., Shettigar, D. y Rao, P. P. N. (2004). Detection of diseased rubber plantations using satellite remote sensing. *J. Indian Soc. Remote Sens.*, 32, 49-58. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03030847>
- Rivano, F., Martínez, M., Cevallos, V. y 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. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9563-7>

- Santos, R. S., Costa, V. A., Silva, J. M. y Freitas, S. (2012). Population dynamics of *Leptopharsa heveae* (Hemiptera: Tingidae) and *erythmelus tingitiphagus* (Hymenoptera: Mymaridae) in rubber tree plants. *Rev. Colomb. Entomol.*, 38, 314-319.
- Satchuthananthavale, V. (1971). Black stripe or bark rot of. Q. Jl. Rubb. Res. *Inst. Ceylon*, 48, 125-135.
- Silveira, A. P., Furtado, E. L. y Lopes, M. E. B. M. (1992). Antracnose. Nova doença do painel. *Summa Phytopathologica*.
- Sterling, A. y 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. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Sterling, A. y Rodríguez, C. H. (2018). *Estrategias de manejo para las principales enfermedades y plagas del cultivo del caucho con énfasis en la Amazonia colombiana*. Florencia, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A., Fonseca-Restrepo, J. A., Galindo-Rodríguez, L. C., Hoyos-Duarte, J. D., Loaiza-Molina, L. C., Virgues-Díaz, Y. R., Quiroga-Chitiva, G. y Bonilla-Rios, N. (2020). 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. En A. Sterling Cuéllar y C. H. Rodríguez (Eds.), *Valoración inicial del potencial productivo de Hevea brasiliensis en la Amazonia colombiana mediante la evaluación de nuevos clones promisorios para la región*, pp. 81-105. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A., Martínez-Viuche, E. J., Pimentel-Parra, G. A., Suárez-Córdoba, Y. D., Fonseca-Restrepo, J. A. y Virgues-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. Crop. Prod.*, 141, 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111811>
- Sterling, A., Rodríguez, C. H., Betancurt, B., Dussan, I., Bonilla, N. C., Mazorra, A., Ossa, E., Gamboa, A., Caicedo, D. F. y Llanos, H. (2011). Bases técnicas para la identificación y selección de árboles elite-francos de caucho natural en el Departamento del Caquetá. En A. Sterling Cuéllar y C. H. Rodríguez (Eds.), *Nuevos clones de caucho natural para la Amazonia colombiana: énfasis en la resistencia al mal suramericano de las hojas (Microcyclus ulei)*, pp. 25-40. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A., Salas, Y. M., Virgüez, Y. R., Vargas, M. A. y Obando, J. K. (2014). Evaluación fitosanitaria con énfasis en la reacción a *Microcyclus ulei* de tres clones de caucho (*Hevea brasiliensis*) en sistema agroforestal con copoazú (*Theobroma grandiflorum*) y plátano hartón (*Musa AAB*). En A. Sterling Cuéllar y C. H. Rodríguez (Eds.), *Agroforestería en el Caquetá: Clones Promisorios de Caucho en Asocio con Copoazú y Plátano Hartón con Potencial para la Amazonia Colombiana*, pp. 107-191. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A., Virgüez, Y. R., Rivera, L. D. y Loaiza, M. L. C. (2018). Principales plagas en el cultivo del caucho natural (*Hevea brasiliensis*). En A. Sterling Cuéllar y C. H. Rodríguez (Eds.), *Estrategias de manejo para las principales enfermedades y plagas del cultivo del caucho con énfasis en la amazonia colombiana*, pp. 37-60. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Tapiero, A. L., Martínez, A., León, G. A., Argüello, O., Gutiérrez, A. J., Castilla, C. E., Rojas, J., Jaimes, Y., García, F., García, I. A., Santacruz, O., Peraza, A. R. y Pinzón, Y. A. (2018). Modelo productivo para el cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*) (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg. en Colombia, con énfasis en la Orinoquia y el Magdalena Medio. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia).

- Thambugala, T. A. D. P. y Deshappriya, N. (2009). The role of *Colletotrichum* species on the *Colletotrichum* leaf disease of *Hevea brasiliensis* - A preliminary study. *J. Natl. Sci. Found. Sri Lanka*, 37, 135-138. DOI: <https://doi.org/10.4038/jnsfsr.v37i2.1070>
- Velásquez, E., Lavelle, P. y Andrade, M. (2007). GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biol. Biochem.*, 39, 3066-3080. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.06.013>
- Villas-Boas, I. M., Gonçalves-de-Andrade, R. M., Pidde-Queiroz, G., Assaf, S. L. M. R., Portaro, F. C. V., Sant'Anna, O. A., Van den Berg, C. W. y Tambourgi, D. V. (2012). Premolis semirufa (Walker, 1856) envenomation, disease affecting rubber tappers of the Amazon: Searching for Caterpillar-Bristles toxic components. *PLoS Negl. Trop. Dis.*, 6. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0001531>
- Zhai, D. L., Yu, H., Chen, S. C., Ranjitkar, S. y Xu, J. (2019). Responses of rubber leaf phenology to climatic variations in Southwest China. *Int. J. Biometeorol.*, 63, 607-616. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1448-4>

Evaluación del rendimiento temprano y rasgos relacionados de clones introducidos de caucho (*Hevea brasiliensis*) en campos clonales a gran escala en el Caquetá



Armando Sterling Cuellar^{1,*}, Yerson Dubán Suárez-Córdoba², Ariel Antonio Agudelo-Sánchez², Cindy Lorena Calderón-Calderón², Diego Clavijo-Arias², Carlos Hernando Rodríguez-León¹, Ismael Dussán-Huaca², Bernardo Betancurt Parra¹

¹ Investigador del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Sede Florencia.

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

² Co-investigador del proyecto Convenio 59-2013, Gobernación del Caquetá – Instituto SINCHI.

3.1. Introducción

El árbol de caucho [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg] es una especie sudamericana nativa de la cuenca del río Amazonas (Compagnon, 1998), a partir de la cual se obtiene el caucho natural, que es la principal fuente de materia prima para la fabricación de miles de productos, especialmente neumáticos y dispositivos médicos (Rojas *et al.*, 2017; Santana, De Soares y Schröder, 2018) . A nivel mundial, Asia-Pacífico produce el 91,2%, EMEA (Europa, Medio Oriente y África) produce el 6,8% y América produce el 2,0% (International Rubber Study Group, 2019) . En Colombia se reportó un área establecida de 60 000 ha de caucho, distribuidas principalmente en los departamentos del Meta, Santander, Antioquia, Vichada y Caquetá (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018) , de las cuales el Caquetá representa 4534,9 ha (Ramírez *et al.*, 2018).

El látex del árbol de caucho contiene más del 30% de cis-1, 4-poliisopropeno, un polímero natural conocido comúnmente como caucho natural (Meenakumari *et al.*, 2018). La producción de caucho depende del flujo y la regeneración del material celular entre dos sangrías (Silva *et al.*, 2012). Entre los parámetros para optimizar la producción en plantaciones de caucho está el diagnóstico de látex (sacarosa, fosforo inorgánico y tioles) y los contenido de sólidos totales y de caucho seco (Gohet *et al.*, 2019).

En Colombia, principalmente en la zona sur del país como el departamento del Caquetá, los clones tradicionales (IAN 873, FX 3864 e IAN 710) han disminuido su rendimiento de caucho seco en los últimos 10 años a menos de 1 t.año⁻¹.ha⁻¹ (Sterling *et al.*, 2019) , por lo que resulta fundamental seleccionar y fomentar la siembra de nuevos materiales genéticos en la región con el fin de incrementar la productividad y la competitividad del sector cauchero en el Caquetá. En este sentido, se han realizado distintos estudios que buscan ampliar la base genética de caucho mediante la evaluación de nuevos clones en campos clonales a pequeña y gran escala en la región (Sterling y Rodríguez, 2011, 2012, 2020).

En el presente capítulo, se presentan los resultados de la evaluación del rendimiento temprano y rasgos relacionados con el látex de nueve clones promisorios introducidos y el clon IAN 873 (testigo) en tres campos clonales a gran escala durante la fase de sangría temprana (primer año de producción) en el departamento del Caquetá (Colombia).

3.2. Metodología

3.2.1. Área de estudio

El estudio se realizó en tres Campos Clonales a Gran Escala (CCGE) localizados en los municipios de Florencia, Belén de los Andaquíes y San Vicente del Caguán en el departamento del Caquetá (Colombia) (figura 1.2).

3.2.2. Material vegetal

Se estudiaron nueve clones promisorios CDC 56, CDC 312, GU 198, FX 4098, FX 3899, P1 MDF 180, FDR 4575, FDR 5597, FDR 5788 y el clon IAN 873 (testigo) (tabla 1.1).

3.2.3. Diseño experimental

Cada CCGE correspondió a un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, 10 tratamientos (clones) y 60 árboles (unidad experimental) por tratamiento (figura 1.3).

3.2.4. Montaje, equipamiento y las labores de sangría

Inicialmente se realizó un inventario donde se midió circunferencia del tronco (CT) (cm) a 1,2 m desde el suelo (Silva-Peres *et al.*, 2014) con el fin de identificar y marcar los árboles aptos para la sangría ($CT \geq 45$ cm). Esta medida se denominó circunferencia del tronco en la apertura (CTa) (cm). Luego se realizó el alistamiento y el equipamiento de los árboles seleccionados con el fin de empezar la labores de sangría temprana (figuras 3.1A y 3.1B) (García *et al.*, 2013).

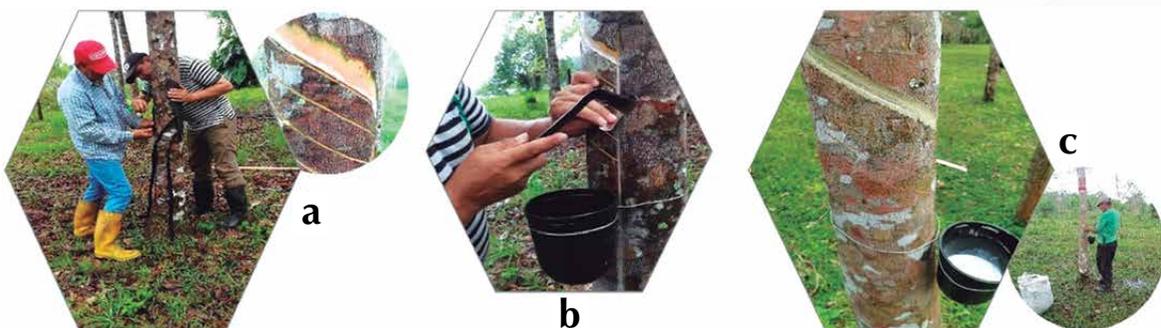


Figura 3.1. Selección y preparación de los árboles aptos para la sangría. **a.** Trazado del panel, **b.** Equipamiento y apertura del panel, **c.** Extracción del látex.

Fuente: Elaboración propia.

Para las labores de sangría (figura 3.1C) se empleó un sistema de explotación con bajo consumo de corteza empleado en los estudios de Cardoso *et al.* (2014), Rojas *et al.* (2017) y Silva-Peres *et al.* (2014), así: 1/2S↓ d/4 6d/7 10 m/12 Etrhel 2,5% 1 (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).

3.2.5. Evaluación de los parámetros de producción temprana

• Vigor post-sangría y rendimiento de caucho seco

El vigor de los árboles se midió en función de la circunferencia del tronco (CT) a 1,2 m del suelo en la fase de apertura del panel (CTa) (figura 3.1A) y en el primer año de sangría, la cual se denominó CTst (figura 3.2A). A partir de esta medida, se estimó la tasa de crecimiento (TC) ($\text{cm}\cdot\text{año}^{-1}$) (Silva-Peres *et al.*, 2014) de todos los árboles en sangría temprana.

La producción temprana de los diez clones se estimó a partir del rendimiento de caucho seco RCS ($\text{g}\cdot\text{árbol}^{-1}\cdot\text{sangría}^{-1}$) (Meenakumari *et al.*, 2018) en el primer año de sangría. El látex de caucho coagulado fue acumulado, recolectado y pesado con una frecuencia mensual (figura 3.2B). Luego, se extrajo una muestra representativa de 30 g de coágulo de cada parcela elemental y se cuantificó el peso seco en laboratorio con el fin de estimar el RCS (figura 3.2C).



Figura 3.2. Evaluación del vigor y producción temprana. **a.** Medición de la circunferencia del tronco, **b.** Extracción del látex de caucho y recolección de coágulo de campo, **c.** Recolecta de muestras de coágulo y análisis del peso seco de caucho en laboratorio.

Fuente: Elaboración propia

• Parámetros relacionados con el látex

El contenido de sacarosa (S) (mM) se evaluó mediante el método adaptado de Purwaningrum, Asbur y Junaidi (2019), así: se preparó y agitó en vortex una mezcla de 0,05 mL del suero del látex, 0,25 mL de ácido tricloroacético (TCA) al 2,5%, y 3,0 mL del reactivo de Antrona. Luego, esta mezcla se llevó a baño maría a 70 °C y se realizaron tres lecturas en el espectrofotómetro a 627 nm, utilizando celda de vidrio (figura 3.3). Para el contenido de fósforo inorgánico (FI) (mM) se adaptó la metodología de She *et al.* (2013), así: se emplearon 0,5 mL del suero de látex y luego se le agregaron 1,0 mL de agua destilada y 3,0 mL del reactivo de vanado molíbdico. Una vez preparada la mezcla, esta se agitó en vortex y se dejó reposar por 10 minutos. A continuación, se hicieron tres lecturas en el espectrofotómetro a 410 nm, usando celda de vidrio (figura 3.3).

En la determinación del contenido de tioles (T) (mM) se adaptó la metodología de Purwaningrum, Asbur y Junaidi (2019), así: se usaron 1,0 mL del suero de látex, 1,0 mL de la solución Trisamino-metano y 0,05 mL de la solución de reactivo de Ellman. Posterior a la adición de las soluciones, se

agitó la mezcla en vortex y se dejó en reposo por 15 minutos. Luego, se registraron tres lecturas en el espectrofotómetro a 412 nm, usando celda de vidrio (figura 3.3). El contenido de caucho seco DRC (%) y el contenido de sólidos totales TSC (%) se evaluaron siguiendo la metodología propuesta por Mendoza y Jimenez (2018).

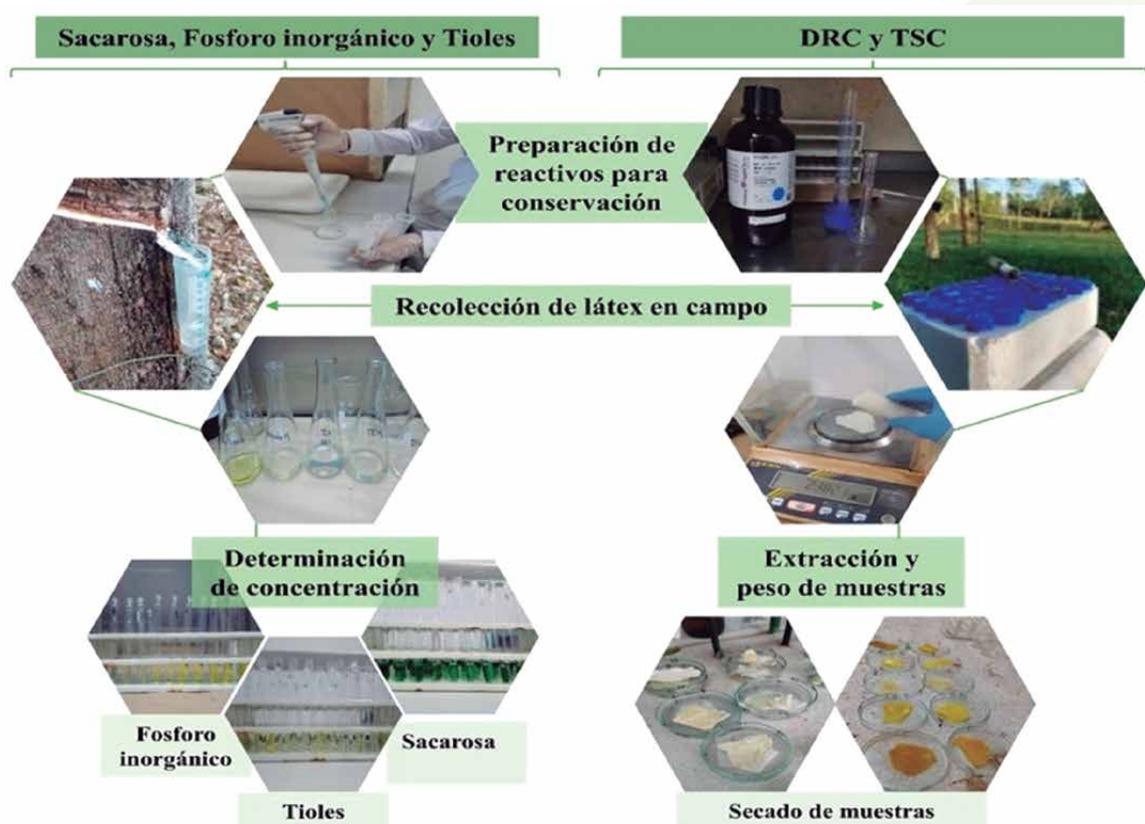


Figura 3.3. Diagrama de flujo de las pruebas de diagnóstico de látex y los parámetros de TSC y DRC.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.6. Análisis de la información

Las variables asociadas a la producción temprana se analizaron mediante un ANOVA con el fin de determinar la variación entre localidades y clones y su interacción. Una prueba LSD de Fisher al 5% de significancia permitió contrastar la diferencia entre las medias de estas variables. La técnica de análisis de componentes principales se empleó con el fin de ordenar los clones de acuerdo con su comportamiento productivo temprano.

En cada localidad, las medias de las variables priorizadas por clon fueron normalizadas en el intervalo $[0,1 - 1]$ al igual que Velásquez, Lavelle y Andrade (2007), utilizando la fórmula:

$$Y = 0,1 + (x-b)/(a-b)*0,9$$

Ecuación (3.1)

Donde:

- x = variable a transformar
- a = valor máximo de la variable
- b = valor mínimo de la variable

Luego se calculó la media ponderada de todas las variables transformadas, usando la siguiente ponderación: RCS (90%), TC (5%), DRC (2%), TSC (2%), S (0,4%), FI (0,4%) y T (0,2%). Esta media fue ordenada de mayor a menor con el fin de obtener por cada localidad el escalafón de los mejores clones por su vigor post-sangría y desempeño productivo temprano. Las pruebas estadísticas se realizaron con el programa InfoStat versión 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).

3.3. Resultados y discusión

3.3.1. Influencia de los factores principales sobre la producción temprana y rasgos relacionados

• Vigor post-sangría y rendimiento de caucho seco

La circunferencia del tronco en las fases de apertura (CTa) y de sangría (CTst) presentaron diferencias estadísticas significativas entre clones ($P < 0,05$) (tabla 3.1). Los clones GU 198, FDR 5597 y FDR 5788 tuvieron las mayores medias (CTa $> 50,0$ cm y CTst $> 53,0$ cm); por el contrario, los clones CDC 56, MDF 180, FDR 4575 e IAN 873 fueron los menos vigorosos (CTa $< 47,0$ cm y CTst $< 50,0$ cm). Entre localidades no se evidenciaron diferencias significativas en CTa, pero sí en CTst ($P < 0,05$) (tabla 3.1). En San Vicente del Caguán se registraron las mayores medias de estas variables (CTa = 49,08 cm y CTst = 53,75), a diferencia de Florencia, que tuvo los menores promedios (CTa = 47,61 cm y CTst = 49,71 cm).

En relación con la tasa de crecimiento (TC), los clones FX 4098, FDR 5597 y GU 198 presentaron las mayores medias con valores de 4,00, 3,44 y 3,16 cm, respectivamente. En contraste, los clones CDC 312 e IAN 873 presentaron los valores más bajos (2,42 y 2,16 cm, respectivamente). En San Vicente del Caguán se registró la mayor TC (4,55 cm), seguido por Belén de los Andaquíes y Florencia (2,03 y 2,06 cm, respectivamente). El rendimiento de caucho seco (RCS) fue superior en los clones FDR 4575, FX 3899 P1 y GU 198 (29,03, 27,70 y 18,63 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹, respectivamente), mientras que los clones CDC 312 y MDF 180 presentaron los menores promedios (10,52 y 6,92 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹, respectivamente). El RCS no presentó diferencias significativas entre localidades, sin embargo, hubo una tendencia en San Vicente del Caguán a alcanzar promedios más altos (17,15 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹), seguidos por Belén y Florencia (tabla 3.1).

Los resultados de este estudio para el vigor post-sangría son similares a los de Cardoso *et al.* (2014) y Rivano *et al.* (2013), quienes destacaron el crecimiento del clon FDR 5788 en Bahía (Brasil). En el mismo sentido, las tasas de crecimiento reportadas aquí son similares a lo reportado

por Gonçalves *et al.* (2000) , quienes evidenciaron una tasa promedio de 2,5 cm. año⁻¹ en los dos primeros años de explotación.

En esta investigación el clon testigo IAN 873 presentó un vigor bajo (CTa= 47,28 cm) y una reducida tasa de crecimiento (TC= 2,16 cm), lo que difiere con lo reportado en países donde este clon ha alcanzado medias de circunferencia de 53,61 cm en el año 9 de establecimiento y una tasa media de crecimiento de 2,81 cm.año⁻¹ (Gonçalves *et al.*, 2000b). Esta pérdida de vigor en el clon IAN 873 en el Caquetá ha sido sustentada principalmente por la alta susceptibilidad de este clon a diversos problemas fitosanitarios (Sterling y Rodríguez, 2018).

El rendimiento temprano ha sido demostrado como una ventaja para reducir el tiempo de evaluación de clones en programas de mejoramiento de árboles de caucho (Silva-Peres *et al.*, 2013). Silva-Peres *et al.* (2014) encontraron una alta correlación entre el rendimiento del primer año con los años siguientes, por lo que este rendimiento temprano es un indicador muy importante para la identificación de materiales con un alto potencial productivo en los años siguientes. En este estudio, los clones GU 198, FDR 4575 y FX 3899 P1 se destacaron como los más productores, con resultados similares para el clon GU 198 a los reportados (79,94 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹) en Brasil por Silva-Peres *et al.* (2014).

Tabla 3.1. Medias de las variables del vigor post-sangría y del rendimiento temprano para diez clones de caucho (*H. brasiliensis*) y tres localidades del Caquetá (Colombia)

Factor	Nivel	CTa	CTst	TC	RCS
Clon	CDC 312	47,84 ± 0,90abb	50,32 ± 0,98cd	2,42 ± 0,33cd	10,52 ± 1,08d
	CDC 56	46,79 ± 0,79b	49,76 ± 0,87d	2,89 ± 0,36b-d	11,38 ± 1,10d
	FDR 4575	46,91 ± 0,95b	49,44 ± 1,14d	2,50 ± 0,33cd	29,03 ± 2,86a
	FDR 5597	50,54 ± 0,92a	54,13 ± 1,06ab	3,44 ± 0,32ab	13,28 ± 1,23cd
	FDR 5788	50,40 ± 0,50a	53,52 ± 0,57ab	3,02 ± 0,13bc	15,00 ± 0,64c
	FX 3899 P1	47,49 ± 1,17b	50,20 ± 1,31cd	2,61 ± 0,38b-d	27,70 ± 1,84a
	FX 4098	48,13 ± 0,52b	52,20 ± 0,62bc	4,00 ± 0,17a	12,80 ± 0,71d
	GU 198	51,23 ± 0,60a	54,63 ± 0,68a	3,16 ± 0,15bc	18,63 ± 0,76b
	IAN 873	47,28 ± 0,78b	49,39 ± 0,90d	2,16 ± 0,41d	14,00 ± 1,39cd
	MDF 180	46,68 ± 0,71b	49,39 ± 0,93d	2,60 ± 0,27cd	6,92 ± 0,94e
Localidad	Belén	48,29 ± 0,50a	50,43 ± 0,56b	2,03 ± 0,18b	15,20 ± 0,80a
	Florencia	47,61 ± 0,41a	49,71 ± 0,47b	2,06 ± 0,15b	15,80 ± 0,95a
	San Vicente	49,08 ± 0,42a	53,75 ± 0,50a	4,55 ± 0,17a	17,15 ± 0,78a

^a Error estandar

^b Valores en cada columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD Fisher (P <0,05).
Abreviaturas: CTa: Circunferencia del tronco en la apertura (cm), CTst: Circunferencia del tronco en la sangría temprana (cm), TC: Tasa de crecimiento (cm), RCS: Rendimiento de caucho seco (g.árbol⁻¹.sangría⁻¹).

El clon FX 3899 P1 tuvo una producción media de 27,70 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹, que difiere de Gonçalves et al. (2001), quienes mostraron una producción de 18,63 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹ en el primer año de sangría bajo un sistema ½S d/2 5d/7.11m/y. Gonçalves et al. (2000b) evidenciaron una producción de 39,60 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹ del clon FX 3899 P1 para el segundo año de producción con un sistema de explotación ½S d/3 5d/7: ET 2,5% Pa.10/y, resultados que indican un alto potencial en el rendimiento productivo de este clon.

• Parámetros relacionados con el látex de caucho

El contenido de caucho seco (DRC) y el contenido de sólidos totales (TSC) presentaron diferencias estadísticas significativas entre clones ($P < 0,05$) (tabla 3.2). Los clones FDR 5788, CDC 56 y MDF 180 obtuvieron los valores más altos (DRC > 33,5 % y TSC > 37,0 %), a diferencia de GU 198, IAN 873 y FX 3899 P1 que evidenciaron los valores más bajos (DRC > 30,5 y TSC < 33,5). A nivel de localidad no se presentaron diferencias significativas ($P > 0,05$), sin embargo, los valores más altos se evidenciaron en San Vicente del Caguán y Florencia (DRC > 32,0 % y TSC > 35,5 %), a diferencia de Belén de los Andaquíes, donde los valores fueron más bajos (DRC < 32,0 % y TSC < 34,5 %).

Los clones FDR 4575, FX 3899 P1, FX 4098 e IAN 873 presentaron los valores más altos de fósforo inorgánico (FI) (4,58, 3,66, 3,26 y 3,23 mM, respectivamente), tioles (T) (0,34, 0,28, 0,26 y 0,28 mM, respectivamente) y sacarosa (S) (0,73, 0,85, 0,89 y 1,02 mM, respectivamente) (tabla 3.2). En contraste, el clon CDC 56 presentó los menores valores para los tres parámetros. Las mayores medias del contenido de S (0,86 mM), FI (3,91 mM) y T (0,35 mM) se presentaron en San Vicente del Caguán, mientras que en Belén de los Andaquíes se registraron las menores medias de S (0,86 mM), FI (3,91 mM) y T (0,35 mM).

Los clones con mayor rendimiento presentaron valores bajos de TSC, indicando una correlación negativa entre estos parámetros, como se puede observar en los clones FX 3899 P1 y GU 198. Según Quesada, Aristizábal y Montoya (2012) dicha correlación se debe a la presencia de fracciones sedimentales en el látex, que incrementa la viscosidad del látex, limita el flujo y disminuye el volumen de producción de este.

El DRC se relaciona con el potencial productivo, entendiendo que un valor alto indica un mayor potencial (Quesada, Aristizábal y Montoya, 2012). En el presente estudio se destacaron los clones CDC 56 y FDR 5788 con valores superiores al 34%. A nivel de localidad, el DRC obtenido osciló entre 31,92 y 32,60%, similar a los reportes realizados en Brasil por Ferreira, Moreno, Gonçalves y Mattoso (2002) (32 a 36%) y Moreno, Ferreira, Gonçalves y Mattoso (2003) (29 a 34%), pero más bajos que los reportados en países como Malasia (34 y 38%) (Yip, 1990). Un estudio realizado por Mendoza y Jimenez (2018) en Cundinamarca (Colombia) con el clon FX 3864, presentó hallazgos similares a los obtenidos en este estudio con un DRC promedio de 34,3%.

Tabla 3.2. Medias de los parámetros relacionados con el látex para diez clones de caucho (*H. brasiliensis*) y tres localidades del Caquetá (Colombia).

Factor	Nivel	DRC	TSC	S	FI	T
Clon	CDC 312	33,00 ± 1,10b	37,14 ± 0,61ab	0,52 ± 0,11de	2,28 ± 0,13d	0,20 ± 0,01d
	CDC 56	34,23 ± 1,06ab	36,97 ± 1,06a-c	0,60 ± 0,09c-e	2,81 ± 0,70b-d	0,24 ± 0,04b-d
	FDR 4575	31,55 ± 1,43bc	35,28 ± 1,30b-d	0,73 ± 0,09b-d	4,58 ± 0,47a	0,34 ± 0,03a
	FDR 5597	33,63 ± 0,98b	37,52 ± 0,50ab	0,61 ± 0,09c-e	2,71 ± 0,28b-d	0,20 ± 0,01cd
	FDR 5788	35,86 ± 0,68a	38,44 ± 0,55a	0,56 ± 0,07de	2,25 ± 0,15d	0,18 ± 0,01d
	FX 3899 P1	27,40 ± 1,14d	29,27 ± 1,03e	0,85 ± 0,10a-c	3,66 ± 0,46ab	0,28 ± 0,02ab
	FX 4098	32,62 ± 1,20b	35,04 ± 0,84cd	0,89 ± 0,08ab	3,26 ± 0,36bc	0,26 ± 0,03a-c
	GU 198	29,92 ± 0,88c	33,46 ± 0,74d	0,49 ± 0,07e	2,50 ± 0,32cd	0,22 ± 0,02cd
	IAN 873	30,05 ± 0,93c	33,29 ± 0,57d	1,02 ± 0,11a	3,23 ± 0,24bc	0,28 ± 0,01ab
	MDF 180	33,66 ± 1,76ab	36,44 ± 1,00a-c	0,65 ± 0,09c-e	2,43 ± 0,13d	0,25 ± 0,02bc
Localidad	Belén de los Andaquíes	31,92 ± 1,27a	34,49 ± 0,76a	0,46 ± 0,06b	2,06 ± 0,20c	0,19 ± 0,01b
	Florencia	32,60 ± 1,25a	35,52 ± 0,73a	0,76 ± 0,05a	2,94 ± 0,22b	0,20 ± 0,01b
	San Vicente del Caguán	32,05 ± 1,29a	35,85 ± 0,78a	0,86 ± 0,06a	3,91 ± 0,27a	0,35 ± 0,02a

^a Error estandar
^b Valores en cada columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD Fisher (P <0,05).
Abreviaturas: DRC: Contenido de caucho seco (%), TSC: Contenido de sólidos totales (%), S: Sacarosa (mM), FI: Fósforo inorgánico (mM), T: Tioles (mM).

Los valores del contenido de sacarosa, fósforo inorgánico y tioles revelaron que los clones FX 3899 P1, FX 4098, FDR 4575 e IAN 873 se destacaron por encima de los demás, reflejando su capacidad de intensificación de la explotación (contenido de sacarosa), el nivel energético del metabolismo de las células de látex (contenido de fósforo inorgánico) y la protección de las membranas celulares y lutoídicas contra las especies reactivas de oxígeno liberadas durante la activación metabólica del látex (contenido de tioles) (Gohet *et al.*, 2019).

El uso principal de estos parámetros fisiológicos asociados al látex (S, FI, T) está relacionado con la elaboración de tipologías (muy bajo, bajo, normal, alto y muy alto) de explotación a través de la intensidad de estimulación (Gohet *et al.*, 2011, 2015, 2019). Los resultados obtenidos en el presente estudio destacan a los clones FDR 4575, FX 3899 P1, FX 4098 e IAN 873, que presentaron altos valores en estos parámetros. No obstante, es necesario fortalecer la base de datos de dichos parámetros para poder caracterizar los niveles de explotación de cada clon en la región (Gohet *et al.*, 2019).

3.3.2. Influencia de la interacción localidad x clon sobre la producción temprana y rasgos relacionados

La interacción localidad x clon resultó significativa para las variables tasa de crecimiento (TC), rendimiento de caucho seco (RCS), contenido de sólidos totales (TSC), contenido de caucho seco (DRC), fósforo inorgánico (FI) y toiles (T) (todas, $P < 0,05$).

De acuerdo con la figura 3.4, en San Vicente del Caguán se presentaron las mayores medias de TC en la mayoría de los clones. En ese sentido, los clones FX 4098, GU 198, CDC 56 y FX 3899 P1 fueron los más vigorosos con medias de 7,20, 5,52, 5,14 y 4,86 cm. año⁻¹, respectivamente. En Belén de los Andaquíes los clones con la mayor TC fueron FDR 5597, FX 4098 y FDR 5788 (3,02, 2,43 y 2,15 cm.año⁻¹, respectivamente). En Florencia, el clon FDR 5597 presentó la mayor tasa (2,98 cm.año⁻¹). El clon FX 3899 P1 presentó la menor tasa de crecimiento en Belén de los Andaquíes y Florencia (1,70 y 1,26 cm. año⁻¹, respectivamente).

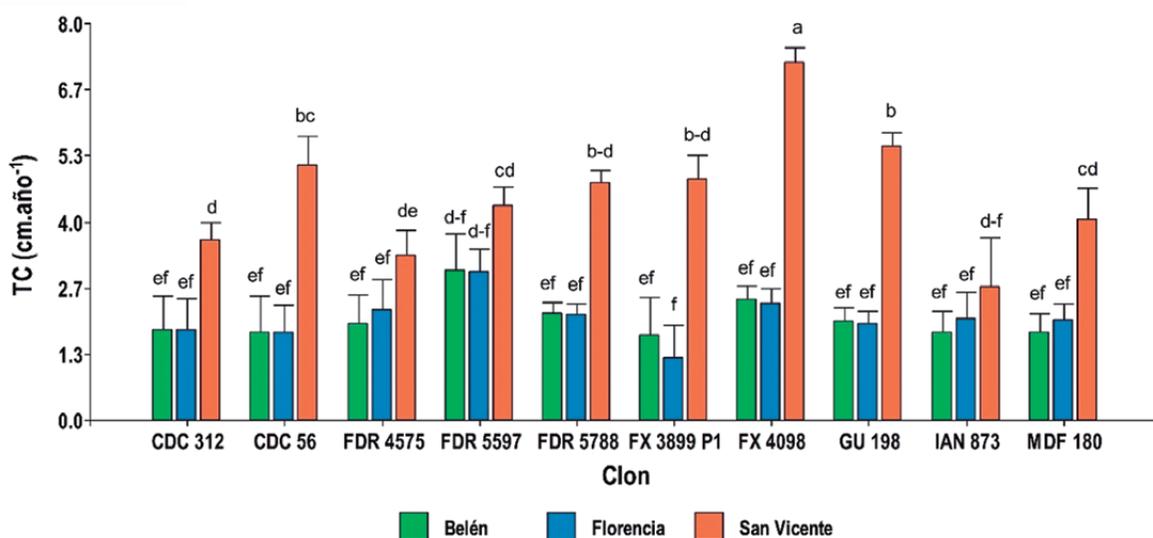


Figura 3.4. Medias de la tasa de crecimiento (TC) (cm.año⁻¹) de diez clones de caucho (*H. brasiliensis*) en el primer año de sangría (sangría temprana) en tres localidades del Caquetá, Colombia. Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la figura 3.5, en San Vicente del Caguán los clones FX 3899 P1, FDR 4575 y GU 198 presentaron el mayor RCS, con medias de 40,64, 28,38 y 18,25 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹, respectivamente. En Belén de los Andaquíes los clones con el mayor RCS fueron FX 3899 P1, FDR 4575 y GU 198 (26,68, 23,28 y 18,89 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹, respectivamente). En Florencia, los clones FDR 4575 y GU 198 presentaron el mayor RCS (35,42 y 18,74 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹, respectivamente). El clon MDF 180 presentó el menor rendimiento en las tres localidades (8,07, 7,55 y 5,14 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹ para Belén de los Andaquíes, Florencia y San Vicente del Caguán, respectivamente).

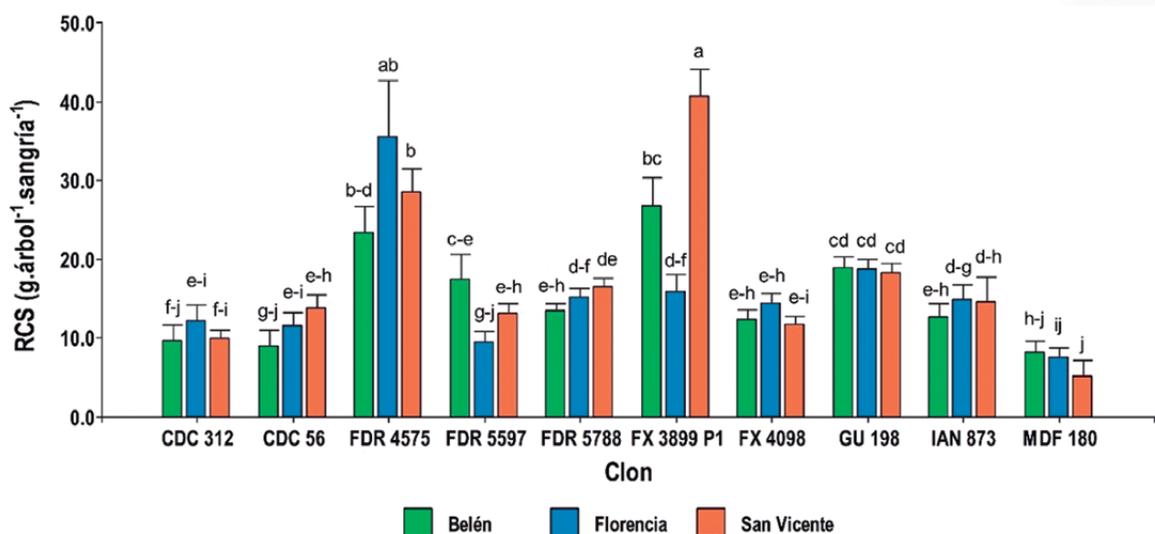


Figura 3.5. Medias del rendimiento de caucho seco (RCS) (g.árbol⁻¹.sangría⁻¹) de diez clones de caucho (*H. brasiliensis*) en el primer año de sangría (sangría temprana) en tres localidades del Caquetá, Colombia. Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

Según la figura 3.6, el DRC osciló entre 25,97 para el clon FX 3899 P1 en San Vicente del Caguán y 36,98 % para FDR 5788. En San Vicente del Caguán los valores promedio más altos se presentaron en los clones FDR 5788 y FDR 5597 (36,98 y 35,61 %, respectivamente). En Belén de los Andaquíes se destacaron los clones MDF 180 (35,42%) y FDR 5788 (33,91%) y en Florencia los clones FDR 5788 (36,81%) y CDC 56 (36,70%). El menor DRC se estimó en el clon FX 3899 P1 en Florencia y San Vicente del Caguán (26,85 y 25,97 %, respectivamente).

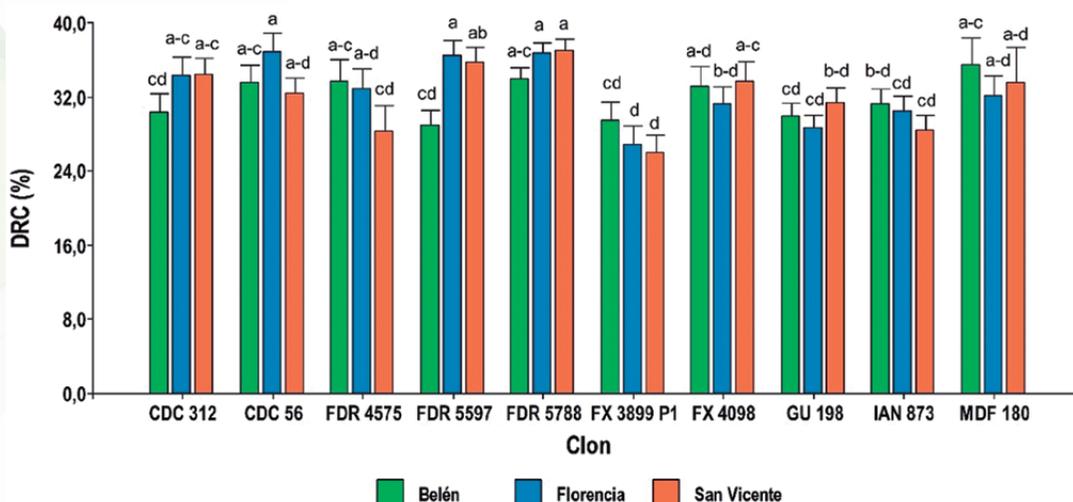


Figura 3.6. Medias del contenido de caucho seco (DRC) (%) de diez clones de caucho (*H. brasiliensis*) en el primer año de sangría (sangría temprana) en tres localidades del Caquetá, Colombia. Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la figura 3.7, en San Vicente del Caguán se presentó el mayor contenido de T en la mayoría de los clones. En este sentido, se destacaron los clones FDR 4575, FX 4098 e IAN 873 con medias de 0,60, 0,41 y 0,38 mM, respectivamente. En Belén de los Andaquíes, los clones con el mayor contenido de T fueron FX 3899 P1, FDR 4575 y CDC 56 (0,24 mM, 0,23 mM y 0,21 mM, respectivamente). En Florencia, el clon IAN 873 presentó el mayor contenido de T (0,26 mM) seguido por el FX 3899 P1 (0,25 mM). Los clones GU 198 y FDR 5788 tuvieron el menor contenido de T en Belén (0,15 mM) y Florencia (0,11 mM).

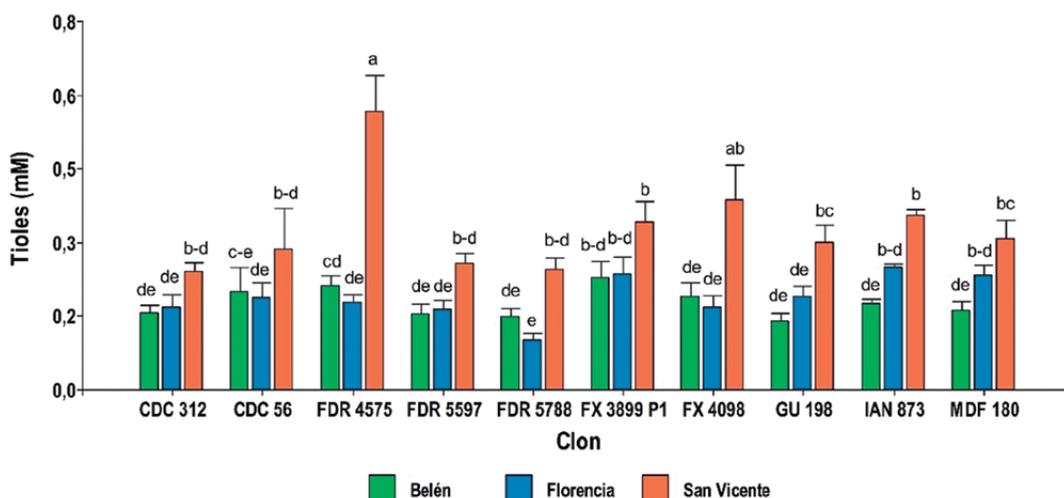


Figura 3.7. Media del contenido tioles (mM) de diez clones caucho (*H. brasiliensis*) en el primer año de sangría (sangría temprana) en tres localidades del Caquetá, Colombia. Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

Según la figura 3.8, el clon con mayor contenido de FI fue el FDR 4575 en San Vicente del Caguán (5,92 mM) y Florencia (5,68 mM), mientras que en Belén de los Andaquíes se destacó el clon FX 3899 P1 (2,80 mM). Por el contrario, los clones MDF 180 y FDR 5788 presentaron los menores valores de FI en Belén (1,53 y 1,52 mM, respectivamente).

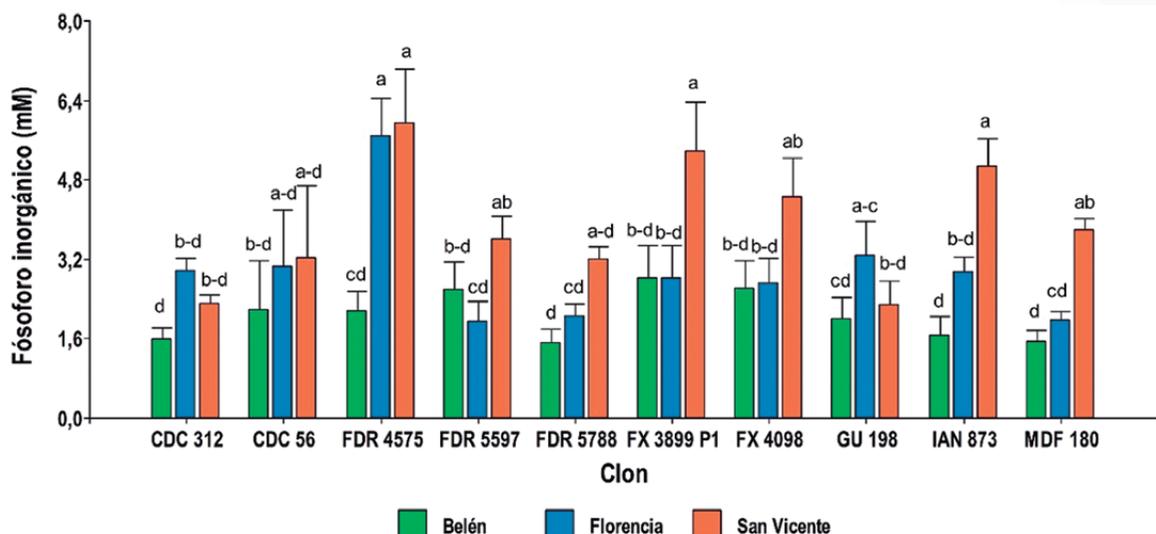


Figura 3.8. Media del contenido de fósforo inorgánico (mM) de diez clones de caucho (*H. brasiliensis*) en el primer año de sangría (sangría temprana) en tres localidades del Caquetá, Colombia. Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Análisis multivariado del vigor post-sangría y los parámetros de producción temprana y rasgos relacionados

En Belén de los Andaquíes se evidenció que los clones FX 3899 P1, FDR 4575 e IAN 873 presentaron valores altos asociados con las variables RCS, S, T y FI, mientras que los clones FX 4098, GU 198 y FDR 5597 se asociaron con las variables CTa, CTst y TC. Los clones CDC 312, FDR 5788 y MDF 180 se asociaron con el DRC y TSC (figura 3.9A).

En Florencia los clones FDR 4575 y GU 198 tuvieron los valores más altos de RCS y FI. Asimismo, los clones FX 3899 P1 e IAN 873 se asociaron con mayores contenidos de S y T, mientras

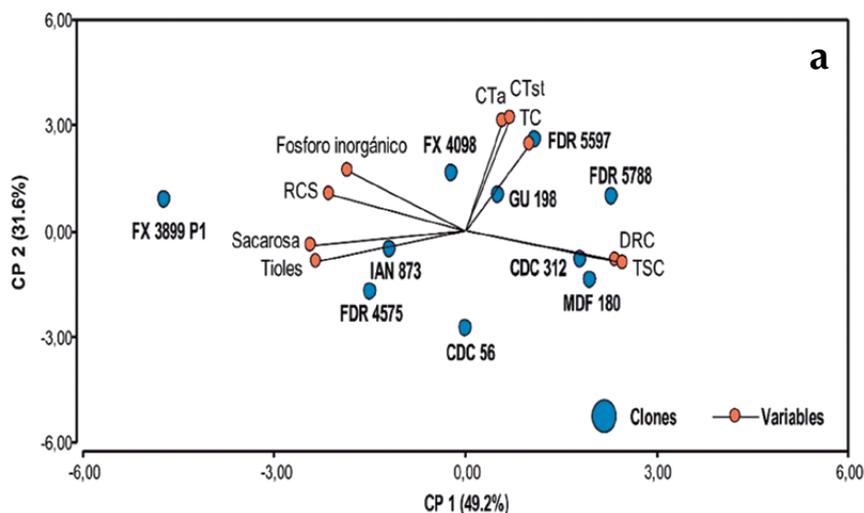
que los clones FDR 5788 y FDR 5597 se asociaron con las variables CTa, CTst, TC, TSC y DRC (figura 3.9B).

En San Vicente del Caguán los clones FX 3899 P1 y FDR 4575 registraron altos valores de RCS, FI y T, y los clones IAN 873 y MDF 180 se asociaron con mayor contenido de S. Los clones FDR 5597 y FDR 5788 se asociaron a mayores medias de DRC y TSC, mientras que el GU 198 tuvo mayor vigor (TC, CTa y CTst) (figura 3.9C).

En general, los clones FX 3899 P1, FDR 4575 y GU 198 fueron los más destacados en cuanto a las variables de producción temprana y rasgos relacionados con el látex (rendimiento de caucho seco, fósforo inorgánico, sacarosa y tioles), mientras que los clones GU 198, FDR 5597 y FDR 5788 se destacaron por su mayor vigor crecimiento circunferencial.

El rendimiento de caucho seco, la sacarosa, los tioles y el fósforo inorgánico se asociaron fuertemente a los clones FX 3899 P1 y FDR 4575. Según Gohet *et al.* (2019), estos parámetros además de indicar un rendimiento potencial, evidencian una alta capacidad en los clones para adaptarse a la intensificación del sistema de explotación.

En este estudio, el clon FX 3899 P1 presentó valores altos de RCS en las tres localidades, sin embargo, en los parámetros de crecimiento (CTa, CTst y TC) presentó medias inferiores a los otros clones. Esto es similar a lo reportado por Gonçalves *et al.* (2000b, 2001), quienes resaltan la buena producción de este clon a pesar de su bajo crecimiento (Gonçalves *et al.*, 2000b).



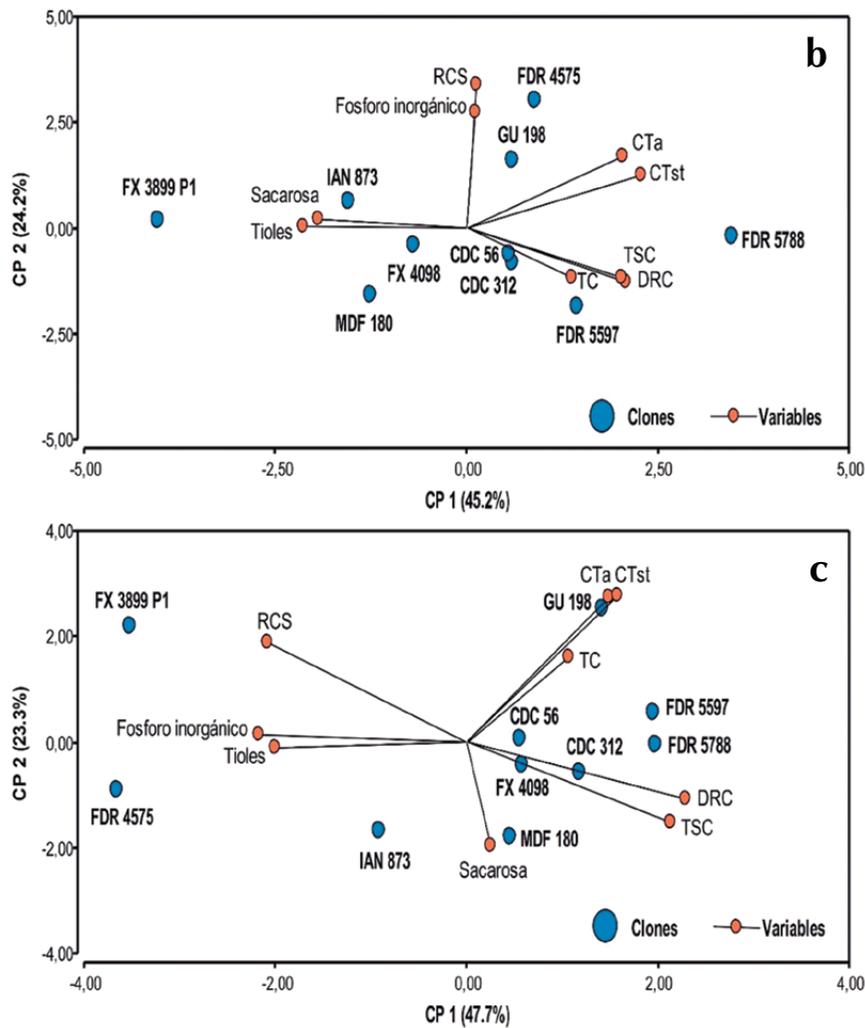


Figura 3.9. Análisis de componentes principales (gráfico biplot) para las variables de vigor post-sangría, rendimiento temprano y rasgos del látex en diez clones de caucho (*H. brasiliensis*) evaluados en tres campos clonales a gran escala presentes en tres localidades del Caquetá (Colombia). **a.** Belén, **b.** Florencia, y **c.** San Vicente. Claves: CTa: Circunferencia del tronco en la apertura (cm), CTst: Circunferencia del tronco en la sangría temprana (cm), TC: Tasa de crecimiento (cm), RCS: Rendimiento de caucho seco (g.árbol⁻¹.sangría⁻¹), DRC: Contenido de caucho seco (%), TSC: Contenido de sólidos totales (%), S: Sacarosa (mM), FI: Fosforo inorgánico (mM), T: Tioles (mM).

Fuente: Elaboración propia.

3.3.4. Proyección del rendimiento e ingresos económicos potenciales

En Belén de los Andaquíes, los clones FDR 4575, FX 3899 P1 y GU 198 tuvieron un rendimiento 49% superior al IAN 873 en el primer año de sangría, lo que implicaría con este rendimiento temprano un ingreso económico potencial bruto mayor a 3 700 000 COP ha.año⁻¹. En Florencia los clones GU 198 y FDR 4575 fueron superiores al IAN 873 (26,54 y 139,16% superiores, respectivamente) con ingresos potenciales mayores a 3 100 000 COP ha.año⁻¹. En San Vicente del Caguán los clones GU 198, FDR 4575 y FX 3899 P1 fueron un 25% mayores al IAN 873, con unos ingresos potenciales superiores a 3 100 000 COP ha.año⁻¹.

Tabla 3.3. Proyección del rendimiento e ingresos económicos potenciales a escala comercial de los diez clones de caucho (*H. brasiliensis*) para las tres localidades del Caquetá (Colombia).

Localidad	Clon	RCS (g.árbol-1. sangría-1)	RCSA (g.árbol-1. año-1)	Proporción de RCS (%) ^a	RCSEC (Ton. ha-1.año-1) ^b	Ingresos estima- dos (COP.ha-1. año-1) ^c
Belén de los Andaquíes	FX 3899 P1	26,68	1600,8	111,41	1,9	\$ 5.327.543,00
	FDR 4575	23,28	1396,8	84,47	1,66	\$ 4.648.621,00
	GU 198	18,89	1133,4	49,68	1,35	\$ 3.772.012,00
	FDR 5597	17,4	1044,00	37,88	1,24	\$ 3.474.484,00
	FDR 5788	13,36	801,6	5,86	0,95	\$ 2.667.765,00
	IAN 873	12,62	757,2	-	0,9	\$ 2.520.000,00
	FX 4098	12,31	738,6	-2,46	0,88	\$ 2.458.098,00
	CDC 312	9,6	576,00	-23,93	0,68	\$ 1.916.957,00
	CDC 56	8,91	534,6	-29,40	0,64	\$ 1.779.175,00
	MDF 180	8,07	484,2	-36,05	0,58	\$ 1.611.442,00
Florencia	FDR 4575	35,42	2125,2	139,16	2,15	\$ 6.026.900,00
	GU 198	18,74	1124,4	26,54	1,14	\$ 3.188.710,00
	FX 3899 P1	15,77	946,2	6,48	0,96	\$ 2.683.349,00
	FDR 5788	15,22	913,2	2,77	0,92	\$ 2.589.763,00
	IAN 873	14,81	888,6	-	0,9	\$ 2.520.000,00
	FX 4098	14,41	864,6	-2,70	0,88	\$ 2.451.937,00
	CDC 312	12,1	726,00	-18,30	0,74	\$ 2.058.879,00
	CDC 56	11,48	688,8	-22,48	0,7	\$ 1.953.382,00
	FDR 5597	9,42	565,2	-36,39	0,57	\$ 1.602.862,00
	MDF 180	7,55	453,00	-49,02	0,46	\$ 1.284.672,00

San Vicente del Caguán	FX 3899 P1	40,64	2438,4	178,74	2,51	\$ 7.024.197,00
	FDR 4575	28,38	1702,8	94,65	1,75	\$ 4.905.185,00
	GU 198	18,25	1095,00	25,17	1,13	\$ 3.154.320,00
	FDR 5788	16,41	984,6	12,55	1,01	\$ 2.836.296,00
	IAN 873	14,58	874,8	-	0,9	\$ 2.520.000,00
	CDC 56	13,75	825,00	-5,69	0,85	\$ 2.376.543,00
	FDR 5597	13,02	781,2	-10,70	0,8	\$ 2.250.370,00
	FX 4098	11,67	700,2	-19,96	0,72	\$ 2.017.037,00
	CDC 312	9,87	592,2	-32,30	0,61	\$ 1.705.925,00
	MDF 180	5,14	308,4	-64,75	0,32	\$ 888.395,00

^a Cálculo realizado con respecto al clon IAN 873 (datos del presente estudio).

^b Proyección realizada sobre 400 árboles explotados por 10 meses al año con un total de 60 sangrías, comparado con el rendimiento comercial promedio del clon IAN 873 (0,9 ton.ha-1.año-1).

^c Valor del 1 kg de caucho seco: 2.800 COP (ASOHECA, 2020).

Claves: RCS, rendimiento de caucho seco (promedio en el primer año de sangría); RCSA, rendimiento de caucho seco acumulado (sumatoria del primer año de sangría); RCSEC, rendimiento de caucho seco a escala comercial (proyección estimada).

3.3.5. Selección de los mejores clones promisorios

En la tabla 3.4 se presentan los mejores clones promisorios de caucho por su vigor y desempeño productivo temprano en tres campos clonales a gran escala, a partir de la calificación ponderada de las principales variables priorizadas por su importancia agronómica para el cultivo del caucho.

Tabla 3.4. Matriz de identificación de los mejores clones promisorios de caucho comparados con el clon IAN 873 (testigo), basada en rasgos de vigor post-sangría y desempeño productivo temprano en tres campos clonales a gran escala en el Caquetá, Colombia.

Localidad	Genotipo	RCS ^a	N ^b _{RCS}	TC	N _{TC}	DRC	N _{DRC}	TSC	N _{TSC}	S	N _S	FI	N _{FI}	T	N _T	Calificación ^c	Escalafón
Belén	FX 3899P1	26,68	1,00	1,70	0,10	29,38	0,17	30,40	0,10	0,80	1,00	2,80	1,00	0,24	1,00	0,92	1
	FDR 4575	23,28	0,84	1,94	0,26	33,55	0,74	34,15	0,55	0,53	0,52	2,15	0,54	0,23	0,83	0,80	2
	GU 198	18,89	0,62	2,00	0,31	29,86	0,23	34,24	0,56	0,32	0,13	1,98	0,43	0,15	0,10	0,59	3
	FDR 5597	17,40	0,55	3,02	1,00	28,89	0,10	33,99	0,53	0,30	0,10	2,59	0,85	0,16	0,24	0,56	4
	FDR 5788	13,36	0,36	2,15	0,41	33,91	0,79	36,75	0,87	0,30	0,10	1,52	0,10	0,16	0,20	0,38	5
	FX 4098	12,31	0,30	2,43	0,60	33,05	0,67	34,27	0,57	0,56	0,55	2,61	0,86	0,20	0,60	0,34	6
	IAN 873	12,62	0,32	1,76	0,14	31,24	0,42	32,66	0,37	0,56	0,55	1,67	0,21	0,19	0,46	0,32	7
	CDC 312	9,60	0,17	1,81	0,17	30,34	0,30	36,16	0,80	0,31	0,11	1,58	0,14	0,17	0,26	0,19	8
	CDC 56	8,91	0,14	1,76	0,14	33,54	0,74	34,38	0,58	0,47	0,40	2,18	0,56	0,21	0,70	0,17	9
	MDF 180	8,07	0,10	1,75	0,13	35,42	1,00	37,83	1,00	0,47	0,39	1,53	0,10	0,17	0,32	0,14	10
Florencia	FDR 4575	35,42	1,00	2,23	0,61	32,83	0,64	36,75	0,73	0,84	0,66	5,68	1,00	0,19	0,56	0,97	1
	GU 198	18,74	0,46	1,95	0,46	28,56	0,25	31,63	0,25	0,54	0,16	3,26	0,42	0,20	0,64	0,45	2
	FDR 5788	15,22	0,35	2,12	0,55	36,70	0,99	38,67	0,91	0,51	0,10	2,04	0,13	0,11	0,10	0,38	3
	IAN 873	14,81	0,33	2,04	0,50	30,47	0,43	33,20	0,40	0,99	0,93	2,94	0,34	0,26	1,00	0,35	4
	FX 4098	14,41	0,32	2,36	0,68	31,16	0,49	34,21	0,49	0,93	0,82	2,72	0,29	0,18	0,51	0,35	5
	FX 3899P1	15,77	0,37	1,26	0,10	26,85	0,10	30,03	0,10	1,03	1,00	2,80	0,31	0,25	0,91	0,34	6
	CDC 312	12,10	0,25	1,82	0,39	34,24	0,77	37,68	0,82	0,62	0,29	2,97	0,35	0,18	0,51	0,28	7
	CDC 56	11,48	0,23	1,78	0,37	36,81	1,00	39,65	1,00	0,72	0,47	3,04	0,37	0,20	0,62	0,27	8
	FDR 5597	9,42	0,16	2,98	1,00	36,38	0,96	39,14	0,95	0,74	0,49	1,94	0,10	0,17	0,48	0,24	9
	MDF 180	7,55	0,10	2,02	0,50	32,05	0,57	34,28	0,50	0,64	0,33	1,96	0,10	0,25	0,91	0,14	10
San Vicente	FX 3899P1	40,64	1,00	4,86	0,54	25,97	0,10	27,37	0,10	0,73	0,22	5,37	0,86	0,36	0,37	0,94	1
	FDR 4575	28,38	0,69	3,32	0,23	28,26	0,29	34,95	0,65	0,81	0,30	5,92	1,00	0,60	1,00	0,66	2
	GU 198	18,25	0,43	5,52	0,67	31,33	0,54	34,49	0,61	0,61	0,10	2,27	0,10	0,32	0,26	0,45	3
	FDR 5788	16,41	0,39	4,79	0,52	36,98	1,00	39,89	1,00	0,85	0,35	3,18	0,33	0,26	0,11	0,42	4
	CDC 56	13,75	0,32	5,14	0,59	32,36	0,62	36,88	0,78	0,61	0,10	3,21	0,33	0,30	0,23	0,35	5
	IAN 873	14,58	0,34	2,67	0,10	28,43	0,30	34,00	0,58	1,52	1,00	5,06	0,79	0,38	0,41	0,34	6
	FDR 5597	13,02	0,30	4,32	0,43	35,61	0,89	39,43	0,97	0,78	0,28	3,60	0,43	0,27	0,14	0,33	7
	FX 4098	11,67	0,27	7,20	1,00	33,64	0,73	36,65	0,77	1,20	0,69	4,45	0,64	0,41	0,50	0,33	8
	CDC 312	9,87	0,22	3,64	0,29	34,43	0,79	37,58	0,83	0,63	0,12	2,30	0,11	0,26	0,10	0,25	9
	MDF 180	5,14	0,10	4,04	0,37	33,52	0,72	37,22	0,81	0,83	0,32	3,79	0,48	0,33	0,28	0,14	10

^a Nota media

^b Nota media normalizada (N) [0,1 - 1]. 0: clon menos deseable. 1: clon más deseable

^c Nota media ponderada

Claves: RCS: Rendimiento de caucho seco (g.árbol-1.sangría-1), TC: Tasa de crecimiento (cm), DRC: Contenido de caucho seco (%), TSC: Contenido de sólidos totales (%), S: Sacarosa (mM), FI: Fosforo inorgánico (mM), T: Tioles (mM).

3.4. Consideraciones finales

Se identificaron los clones FX 4098, FDR 5597, GU 198 y FDR 5788 con un vigor post-sangría y tasa de crecimiento superiores al clon IAN 873 (CTa > 48 cm y TC > 3,0 cm). Los clones FDR 4575, FX 3899 P1 y GU 198 con un rendimiento temprano superior al IAN 873 (RCS > 18 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹).

Los clones FDR 5788, CDC 56 y FDR 5597 presentaron mejores parámetros relacionados con el látex de caucho (DRC > 33% y TSC > 36%) comparados con el IAN 873, mientras que el contenido de sacarosa, fósforo inorgánico y tioles fue similar para los clones FDR 4575, FX 3899 P1, FX 4098 y el testigo IAN 873, que fueron superiores a los demás (> 0,7 mM, > 3,0 mM y > 26,0 mM, respectivamente).

En San Vicente del Caguán se presentó el mayor vigor post-sangría (4,55 cm.año⁻¹) y alto rendimiento de caucho seco (17,15 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹), comparado con Belén de los Andaquíes y Florencia, que presentaron valores bajos de vigor (<2,5 cm.año⁻¹) y rendimiento (<16,0 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹).

Este estudio permite concluir a partir de la matriz de identificación (tabla 3.4) que los clones promisorios más sobresalientes comparados con el clon IAN 873 (testigo), de acuerdo a su vigor post-sangría y desempeño productivo temprano en cada localidad, fueron: a) en Belén de los Andaquíes, los clones FX 3899 P1, FDR 4575, GU 198 y FDR 5597; b) en Florencia, los clones FDR 4575, GU 198 y FDR 5788; y c) en San Vicente del Caguán, los clones FX 3899 P1, FDR 4575, GU 198 y FDR 5788.

3.5. Referencias bibliográficas

- Cardoso, S. E. A., Freitas, T. A., Silva, D. da S., Gouvêa, L. R. L., Gonçalves, P. D. S., Mattos, C. R. R. y García, 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.12.033>
- Compagnon, P. (1998). *El caucho natural, biología, cultivo, producción*. México, D. F.: Consejo Mexicano del Hule – CIRAD.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarine, M. G., Gonzales, L., Tablada, M. y Robledo, C. W. (2018). InfoStat versión 2018. Centro de transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Ferreira, M., Moreno, R. M. B., Gonçalves, P. S. y Mattoso, L. H. C. (2002). Evaluation of Natural Rubber from Clones of *Hevea Brasiliensis*. *Rubber Chem. Technol.*, 75, 171-177. DOI: <https://doi.org/10.5254/1.3547668>
- García, R. I. A., Peraza, A. A. R., Pinzón, G. Y. A., Santacruz, S. O. E., Martínez, A. G., Tapiero, A., León, G., Arguello, O., Gutiérrez, A., García, R. F. y Castilla, C. C. E. (2013). Modelo productivo para el cultivo del árbol de caucho natural en la Orinoquía. Zonas de escape y no escape al mal suramericano de las hojas del caucho. Cenicaucho-Corpoica.
- Gohet, E., Cauchy, T., Soumahoro, M., Kotochi, C., Chegbene, P., Njoku, A. y Lesturgez, G. (2019). Meta-analysis of a large industrial latex diagnosis database provides insight on *Hevea brasiliensis* clonal adaptation and site-specific yield potential in Western Africa. 19 p. International Rubber Conference 2019, IRRDB, Nay Pyi Taw, Myanmar, 30 Septiembre 2019/1 Octubre 2019.
- Gohet, E., Cavaloc, E., Cardoso, S., Cairo, I., García, D., Rivano, F., Lacote, R. y Lesturgez, G. (2015). A first physiological assessment of latex clonal metabolic typology and rubber yield potential of “CMS” rubber tree clones. En Proceeding International Rubber Conference, Ho Chi Minh 2 - 3 November 2015, pp. 287-294. Agriculture Publishing House. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3007.4328>
- Gohet, E., Lacote, R., Rivano, F., Chapuset, T. y Leconte, A. (2011). Influence of Ethephon Stimulation on Latex Physiological Parameters and Consequences on Latex Diagnosis. *Conf. XI Jornadas Latinoam. del caucho Nat.* DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2886.6089>
- Gonçalves, P. D. S., Bortoletto, N., Sambugaro, R., Furtado, E. L., Bataglia, O. C., Ortolani, A. A. y 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. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2001001200004>
- Gonçalves, P. D. S., De Souza, S., Brioschi, A., Filho, A., May, A. y Alarcon, R. (2000a). Efeito da frequência de sangria e estimulação no desempenho produtivo e econômico de clones de seringueira. *Pesqui. Agropec. Bras.*, 35, 1081-1091.
- Gonçalves, P. D. S., Saes, L. A., Furtado, E. L., Sambugaro, R. y Sakai, M. (2000b). Clones promissores de seringueira para a região do vale do ribeira, São Paulo. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, 35, 2343-2353. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2000001200004>
- International Rubber Study Group (IRSG). (2019). *Rubber Statistical Bulletin*. Sri Lanka.
- Meenakumari, T., Meenattoor, J. R., Thirunavoukkarasu, M., Vinod, K. K., Krishan, B., Gireesh, T., Thomas, V., Mydin, K. K. y Jacob, J. (2018). Dynamics of long-term adaptive responses in growth and rubber yield among *Hevea brasiliensis* genotypes introduced to a dry sub-humid climate of Eastern India. *Ind. Crops Prod.*, 119, 294-303. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.066>

- Mendoza, L. P. y 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. DOI: <https://doi.org/10.14483/2256201X.11878>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). Cadena de caucho natural. Indicadores e Instrumentos. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Moreno, R., Ferreira, M., Gonçalves, P. de S. y Mattoso, L. H. C. (2003). Avaliação do látex e da borracha natural de clones de seringueira no Estado de São Paulo. *Pesqui. Agropec. Bras.*, 38, 583-590.
- Purwaningrum, Y., Asbur, Y. y Junaidi (2019). Latex quality and yield parameters of *Hevea Brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg. clone PB 260 for different tapping and stimulant application frequencies. *Chil. J. Agric. Res.*, 79, 347-355. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-58392019000300347>
- Quesada, I., Aristizábal, F. y Montoya, 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. DOI: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2012.1.a06>
- Ramírez, U., Charry, A., Jäger, M., Huertado, J. J., Sterling, A., Romero, M., Sierra, L. y Quintero, M. (2018). Estrategia sectorial de la cadena de caucho en Caquetá, con Enfoque Agroambiental y Cero Deforestación. No. 451. Centro Internacional de agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 82 p.
- Rivano, F., Mattos, C.R.R., Cardoso, S. E. A., Martínez, M., Cevallos, V., Le Guen, V. y García, D. (2013). Breeding *Hevea brasiliensis* for yield, growth and SALB resistance for high disease environments. *Ind. Crops Prod.*, 44, 659-670. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.09.005>
- Rojas, J., Rojas, M., Rueda, G. H., Suárez, Y. J. y 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. DOI: <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6160>
- Santana, A. S., De Soares, N. S. y 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. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-90882018000600006>
- She, F., Zhu, D., Kong, L., Wang, J., An, F. y Lin, W. (2013). Ultrasound-assisted tapping of latex from Para rubber tree *Hevea brasiliensis*. *Ind. Crops Prod.* 50, 803-808. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.08.065>
- Silva-Peres, G. A., Gouvêa, L. R. L., Verardi, C. K., De Resende, M. D. V., Scaloppi, E. J. y Gonçalves, P. de S. (2013). Genetic parameters and correlation in early measurement cycles in rubber trees. *Euphytica*, 189, 343-350. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-012-0751-8>
- Silva-Peres, G. A., Gouvêa, L. R. L., Verardi, C. K., Oliveira, A. L. B. y Gonçalves, P. S. (2014). Annual growth increment and stability of rubber yield in the tapping phase in rubber tree clones: Implications for early selection. *Ind. Crops Prod.*, 52, 801-808. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2013.12.010>
- Silva, J. Q., Scaloppi, E. J., Moreno, R. M. B., De Souza, G. B., Gonçalves, P. S. y Filho, J. A. S. (2012). Producción y propiedades químicas del caucho en clones de *Hevea* según los estados fenológicos. *Pesqui. Agropec. Bras.*, 47, 1066-1076.
- Sterling, A., Fonseca, J., Velasco, G., Zapata, J., Rodríguez, D. y Caicedo, D. F. (2018). El mejoramiento genético como estrategia de control de enfermedades y plagas en el cultivo del caucho (*Hevea brasiliensis*). En A. Sterling y C. H. Rodríguez (Eds.), *Estrategias de manejo para las principales enfermedades y plagas del cultivo del caucho con énfasis en la Amazonia colombiana*, pp. 99-124. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A., Martínez-Viuche, E. J., Pimentel-Parra, G. A., Suárez-Córdoba, Y. D., Fonseca-Restrepo, J. A. y 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. Crop. Prod.*, 141, 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111811>

Sterling, A. y Rodríguez, C. H. (2011). Nuevos clones de caucho natural para la Amazonia Colombiana: Énfasis en la resistencia al mal suramericano de las hojas (*Microcyclus ulei*). Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Colombia.

Sterling, A. y 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. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Sterling, A. y Rodríguez, C. H. (2018). *Estrategias de manejo para las principales enfermedades y plagas del cultivo del caucho con énfasis en la Amazonia colombiana*. Florencia, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.

Sterling, A. y Rodríguez, C. H. (2020). *Valoración inicial del potencial productivo de Hevea brasiliensis en la Amazonia colombiana mediante la evaluación de nuevos clones promisorios para la región*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.

Velásquez, E., Lavelle, P. y Andrade, M. (2007). GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biol. Biochem.*, 39, 3066-3080. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.06.013>

Yip, E. (1990). Clonal characterization of latex and rubber properties. *J. Nat. Rubber Res.*, 5, 52-80.

Evaluación de la resistencia al hongo *Pseudocercospora ulei* de clones introducidos de caucho (*Hevea brasiliensis*) en condiciones de inoculación controlada en el Caquetá



Armando Sterling Cuéllar^{1*}, Jesica Andrea Fonseca-Restrepo², Gustavo Adolfo Pimentel-Parra² y Yeny Rocío Virguez-Díaz²

¹ Investigador del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, sede Florencia.

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

² Co-investigador del proyecto. Convenio 59-2013, Gobernación del Caquetá – Instituto SINCHI.

4.1. Introducción

El mal suramericano de las hojas (MSH) del caucho, ocasionado por el hongo ascomiceto *Pseudocercospora ulei*, constituye la principal patología responsable de grandes pérdidas en los cultivos de caucho (*Hevea brasiliensis*) (García-Romero, Aristizábal y Montoya, 2006; Mizubuti y Hora-Júnior, 2015). En zonas donde es imposible erradicar la presencia del hongo (zonas de no escape), se vuelve fundamental realizar estudios constantes que ayuden al manejo de esta enfermedad para evitar pérdidas económicas en la producción del cultivo y definir métodos de control o de menor incidencia (FAO, 2011; Jaimes, Rojas, Cilas y Furtado, 2016).

Los niveles de incidencia y severidad del hongo en las hojas de caucho dependen del tipo de material vegetal, de las condiciones ambientales, climáticas y de manejo del cultivo (Rivano *et al.*, 2016), por lo que conocer qué clones presentan una mayor resistencia al MSH es de gran importancia para el fomento favorable de las plantaciones de caucho en la región (García, Aristizábal y Montoya, 2006; Mizubuti y Hora-Júnior, 2014).

Existen varios estudios sobre la resistencia de *H. brasiliensis* al MSH en América, en donde existen condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad (Lieberei, 2007). Estas investigaciones, en general, han demostrado una pérdida gradual de los niveles de resistencia de los diferentes genotipos y un aumento en la variabilidad fisiológica y patogénica del hongo (García *et al.*, 1999; Sterling, Rodríguez, Quintero y Correa, 2009; Sterling, 2010).

Esto evidencia la necesidad de ampliar los estudios en diversos genotipos, con el fin de determinar la susceptibilidad de estos materiales a nuevas cepas de *P. ulei*, entender mejor los mecanismos de patogenicidad del hongo y caracterizar su virulencia en condiciones controladas de inoculación. De acuerdo con lo anterior, en el presente capítulo se presentan los resultados de la evaluación de la resistencia al hongo *P. ulei* de nueve clones promisorios de caucho (*H. brasiliensis*), comparados con el clon IAN 873 (testigo) en condiciones de inoculación controlada en el Caquetá, Colombia.

4.2. Metodología

4.2.1. Condiciones experimentales

El estudio se realizó en el cuarto climatizado del Laboratorio de Fitopatología del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, en Florencia, Caquetá (Colombia). El cuarto climatizado cuenta con diez cubículos (cabinas para inoculación). Cada cubículo, con dimensiones de 1.3 m x 1.2 m x 2.5 m, está construido en plástico negro con armazón en madera y con dos aperturas (un tragaluz y una puerta) para el control de entrada del aire climatizado. La temperatura del aire se controló a 23 °C mediante el uso de dos aires acondicionados de 12000 Btu cada uno tipo mini-split con filtro deshumificador. El control de la humedad relativa (> 90%) se manejó mediante un sistema de riego independiente por goteo. Finalmente, dentro de cada

cupículo se manejó un fotoperíodo de 12/12 h mediante la adecuación de un temporizador y lámparas fluorescentes de 40 W (Mattos, García, Pinard y Le Guen, 2003; Sterling *et al.*, 2010).

4.2.2. Fuente de inóculo

Se emplearon cuatro aislamientos virulentos de *P. ulei*: 1BI, 2FI, 3SI y 4PI pertenecientes al banco de aislamientos del Laboratorio de Fitopatología del Instituto SINCHI. Los aislamientos se obtuvieron *in vitro* a partir de lesiones conidiales presentes en folíolos de clones de caucho establecidos en tres campos clonales a gran escala en los municipios de Belén de los Andaquíes (1BI), Florencia (2FI) y San Vicente del Caguán (3SI) (figura 1.1), y un campo clonal a pequeña escala en el municipio de El Paujil (4PI) (figura 9.1).

Los aislamientos fueron conservados en medio de crecimiento (MC) (Junqueira *et al.*, 1986) en oscuridad a 24 °C y esporulado en medio M4 (papa dextrosa agar – PDA) (Mattos, 1999), con un fotoperíodo de 12/12 h. La solución inóculo se preparó en agua destilada estéril con Tween 80 al 0,05% a una concentración de 2×10^5 conidios/ml (Mattos *et al.*, 2003; Sterling, 2010).

4.2.3. Material vegetal

Se estudiaron nueve clones promisorios de caucho (*H. brasiliensis*): FDR 5788, CDC 56, FX 3899 P1, GU 198, CDC 312, FDR 4575, FDR 5597, MDF 180 y FX 4098, y se compararon con el clon testigo IAN 873 (tabla 1.1).

4.2.4. Inoculaciones controladas y diseño experimental

Las inoculaciones se realizaron en el cuarto climatizado a 23 °C y una humedad relativa superior al 90%. Se utilizó una concentración de inóculo de 2×10^5 conidios/ml, la cual se asperjó en el envés de 12 folíolos jóvenes (4 hojas trifoliadas) (12 días de edad) en estadio B₂ (Hallé, Oldeman y Tomlinson, 1978), pertenecientes al segundo piso foliar de cada planta, con la ayuda de un aerógrafo acondicionado con un compresor eléctrico calibrado a 4.5 Pa de presión (Sterling,) (figura 4.1).

El diseño experimental del conjunto de inoculaciones se realizó utilizando la metodología seguida por Mattos *et al.* (2003) y adaptada por Sterling (2008). De esta manera, se seleccionaron 5 plántulas por cada clon y a cada plántula se le inocularon los 4 aislamientos. Cada aislamiento fue aplicado en una hoja trifoliada diferente, y de esta manera se infectaron tres folíolos en estadio B₂ con el mismo aislamiento por cada planta para cada clon evaluado. Cada planta inoculada se consideró como la unidad experimental. El diseño fue completamente aleatorizado, con un arreglo factorial 10 x 4 (10 clones y 4 aislamientos) con 5 repeticiones (5 plantas/clon). Los tratamientos fueron constituidos por la combinación de los factores (factor A: clones; factor B: aislamiento), totalizando 40 tratamientos.



Figura 4.1. Suspensión de inóculo de *P. ulei* y pruebas de inoculación controlada en el cuarto climatizado del Laboratorio de Fitopatología del Instituto SINCHI.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.5. Seguimiento del periodo de post-inoculación

Las hojas infectadas por el patógeno fueron observadas en el laboratorio a partir de las 24 horas post-inoculación y en adelante diariamente hasta el día 12, tiempo en el cual se realizaron las lecturas de la fase asexual conidial de *P. ulei* en folíolos jóvenes en estadio C. Las lecturas correspondientes a la fase sexual ascospórica (ascostroma) de *P. ulei* en folíolos maduros en estadio D se realizaron en un vivero con polisombra al 50% entre los 45 y 60 días posteriores a la inoculación (Sambugaro y Furtado, 2007).

4.2.6. Evaluación de los componentes de resistencia a *P. ulei*

La severidad del mal suramericano de las hojas (*P. ulei*) en hojas jóvenes (folíolos C) (SMSHJ) y en hojas maduras (folíolos D) (SMSHM) se evaluó con la escala de Chee y Holliday (1986) adaptada por Rivano *et al.* (2010) basada en el porcentaje de área foliar con síntomas o signos del patógeno, con nota de 0 a 4, así: 0 = < 0% (ataque nulo o resistencia); 1 = 1 - 5% (ataque leve); 2 = 6 - 15% (ataque moderado); 3 = 16 - 30% (ataque severo) y 4 = > 30% (ataque muy severo).

El tipo de reacción (TR) basado en la intensidad de esporulación asexual (conidial) sobre folíolos jóvenes (folíolos C) se realizó con la escala de Junqueira *et al.* (1986), adaptada por Mattos *et al.* (2003), con notas que van de 1 a 6, donde: 1 = lesiones necróticas sin esporas; 2 = lesiones no necróticas sin esporas; 3 = esporulación muy débil sobre la cara inferior de la lesión; 4 =

esporulación fuerte cubriendo parcialmente la cara inferior de la lesión; 5 = esporulación fuerte cubriendo toda la cara inferior de la lesión; y 6 = esporulación muy fuerte cubriendo toda la cara inferior de la lesión y fuerte en la cara superior.

La densidad estromática (DE) basada en la intensidad de la esporulación sexual (ascospórica) sobre folíolos con madurez fisiológica (folíolos D) se realizó con la escala de 0 a 4 propuesta por Rivano *et al.* (2010) y adaptada pictóricamente para mayor comprensión, donde: 0 = ausencia de estromas; 1 = menos de 5 lesiones con estromas por folíolo; 2 = entre 5 y 10 lesiones con estroma por folíolo; 3 = entre 11 y 30 lesiones con estromas por folíolo; y 4 = más de 30 lesiones con estromas por folíolo.

4.2.7. Análisis de la información

Las variables de resistencia a *P. ulei* se analizaron mediante un ANOVA bifactorial con el fin de determinar el efecto de los factores clon y aislamiento, y la interacción clon x aislamiento. Una prueba LSD de Fisher al 5% de significancia permitió contrastar la diferencia entre las medias de estas variables. Un análisis de componentes principales permitió ordenar los clones de acuerdo a su reacción frente a los distintos aislamientos de *P. ulei*.

Las medias de todas las variables estimadas por clon fueron normalizadas en el intervalo [0,1 - 1] al igual que Velásquez, Lavelle y Andrade (2007), utilizando la fórmula:

$$Y = 1,1 - (0,1 + (x-b)/(a-b)*0,9)$$

Ecuación (3.1)

Donde:

- x = variable a transformar
- a = valor máximo de la variable
- b = valor mínimo de la variable

Luego se calculó la media ponderada de todas las variables transformadas, usando la siguiente ponderación: DE (35%), TR (30%), SMSHM (25%) y SMSHJ (10%). Esta media fue ordenada de mayor a menor con el fin de obtener el escalafón de los mejores clones por resistencia a *P. ulei*. Las pruebas estadísticas se realizaron con el programa InfoStat versión 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).

4.3. Resultados y discusión

4.3.1. Influencia de los factores principales sobre la resistencia a *P. ulei*

Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre clones y entre aislamientos para las cuatro variables estudiadas ($P < 0,05$). Se observó que los clones IAN 873 (testigo), CDC 56 y FDR 5788 presentaron menores niveles de resistencia a *P. ulei*. Los clones CDC 312, MDF 180, GU 198, FX 4098 y FDR 4575 presentaron una mayor resistencia a *P. ulei* (tabla 4.1).

Los clones IAN 873, FDR 5788 y CDC 56 presentaron la mayor severidad de *P. ulei* en hojas jóvenes (SMSHJ) con notas medias de 2,70, 2,40 y 2,25 respectivamente (tabla 4.1). Estos resultados coinciden con los datos obtenidos por Sterling y Dussán (2012), Sterling *et al.* (2012) y Pimentel-Parra (2020), quienes reportan las notas más altas de intensidad de ataque en los clones IAN 873, FDR 5788 y CDC 56. Los clones restantes presentaron notas más bajas (1,05 a 1,70), similar a lo reportado por Mattos *et al.* (2003), Sterling, Rodríguez, Quintero y Correa (2009), Sterling *et al.* (2012), Sterling y Dussán (2012) y Sterling y Melgarejo (2014).

El aislamiento 4PI presentó la menor SMSHJ, lo que indica que es el aislamiento menos virulento comparado con los aislamientos 1BI, 2FI y 3SI, que no fueron estadísticamente diferentes entre sí (tabla 4.1).

Para la variable tipo de reacción (TR), se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la intensidad de esporulación conidial entre los 10 clones, en donde el clon IAN 873 presentó las mayores notas de TR (3,10), seguido por los CDC 56 y FDR 5788, que presentaron notas de 2,80 y 2,60, respectivamente (tabla 4.1). Los clones restantes presentaron notas medias que oscilaron entre 1,30 y 1,95 (tabla 4.1), las cuales indicaron lesiones necróticas y/o cloróticas sin esporulación (clones completamente resistentes).

Estos datos coinciden con lo reportado por Sterling (2008), Sterling *et al.* (2012) y Pimentel-Parra (2020), quienes señalan que los clones CDC 312, GU 198, FX 4098, FDR 4575 y FDR 5597 presentan una mayor resistencia al *P. ulei*, inhibiendo la formación de conidios. Sin embargo, Mattos *et al.* (2003), en condiciones de infección controlada con 50 aislamientos de *P. ulei*, reportan esporulación nula (TR=1 o 2) para el clon CDC 56, lo que indica en el presente estudio una pérdida de resistencia de este clon al inóculo de *P. ulei* presente en el Caquetá.

Tabla 4.1. Medias de los componentes de resistencia al mal suramericano de las hojas para los 10 clones de caucho (*H. brasiliensis*) y los cuatro aislamientos de *P. ulei* probados en condiciones de inoculación controlada

Factor		Variables			
		SMSHJ	SMSHM	TR	DE
Clon	IAN 873	2,70 ± 0,14a	3,10 ± 0,09a	3,10 ± 0,17a	3,10 ± 0,09a
	FDR 5788	2,40 ± 0,14a	0,80 ± 0,09c	2,60 ± 0,21a	0,80 ± 0,09c
	CDC 56	2,25 ± 0,14a	2,45 ± 0,09b	2,80 ± 0,05a	2,45 ± 0,09b
	FX 3899 P1	1,70 ± 0,14b	0,35 ± 0,09d	1,95 ± 0,16bc	0,35 ± 0,09d
	GU 198	1,50 ± 0,14bc	0,00 ± 0,00e	1,85 ± 0,10bc	0,00 ± 0,00e
	CDC 312	1,35 ± 0,14bcd	0,00 ± 0,00e	1,65 ± 0,17bcd	0,00 ± 0,00e
	FDR 4575	1,35 ± 0,14bcd	0,00 ± 0,00e	1,95 ± 0,05b	0,00 ± 0,00e
	FDR 5597	1,15 ± 0,14cd	0,00 ± 0,00e	1,50 ± 0,19cd	0,00 ± 0,00e
	MDF 180	1,10 ± 0,14d	0,00 ± 0,00e	1,30 ± 0,16d	0,00 ± 0,00e
	FX 4098	1,05 ± 0,14d	0,00 ± 0,00e	1,50 ± 0,20cd	0,00 ± 0,00e

Factor		Variables			
		SMSHJ	SMSHM	TR	DE
Aislamiento	1BI	1,84 ± 0,08a	0,70 ± 0,05a	2,26 ± 0,10a	0,70 ± 0,05a
	2FI	1,76 ± 0,08a	0,94 ± 0,08a	2,12 ± 0,10a	0,94 ± 0,08a
	3SI	1,70 ± 0,09a	0,94 ± 0,04a	2,00 ± 0,10ab	0,94 ± 0,04a
	4PI	1,32 ± 0,11b	0,10 ± 0,05b	1,70 ± 0,10b	0,10 ± 0,05b

^a Error estándar
^b Valores en cada columna con ausencia de letra o seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba LSD, P < 0,05)
Clave: SMSHJ: Severidad al mal suramericano de las hojas juvenes; SMSHM: Severidad al mal suramericano de las hojas maduras; TR: Tipo de reacción; DE: Densidad estromática.

La pérdida o ganancia de una mayor resistencia frente a *P. ulei* en los 10 clones de caucho podría estar relacionada con la selección agronómica que se ha dado en el tiempo (Gonçalves, 1986), o por el nivel de virulencia de los cuatro aislamientos estudiados (Junqueira *et al.*, 1986; Mattos *et al.*, 2003; Rodríguez-Triana, 2012). En este estudio se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre aislamientos para TR, y los aislamientos 1BI, 2FI y 3SI fueron más virulentos que 4PI (tabla 4.1).

Para las variables severidad de MSH (*P. ulei*) en hojas maduras (SMSHM) y densidad estromática (DE), las notas medias más altas se estimaron en los clones IAN 873 y CDC 56, con valores de 3,10 y 2,45, respectivamente (tabla 4.1), lo que confirmó la mayor susceptibilidad a *P. ulei* de estos materiales genéticos. Los clones FDR 5788 y FX 3899 P1 presentaron notas muy bajas para SMSHM y DE con valores de 0,80 y 0,35, respectivamente (tabla 4.1), lo que indica que son clones parcialmente resistentes, dado que no inhibieron la formación de estructuras ascostromáticas. Los clones CDC 312, GU 198, FX 4098, MDF 180, FDR 4575 y FDR 5597 no presentaron estromas (tabla 4.1), lo que indica una resistencia completa a los cuatro aislamientos de *P. ulei* probados en condiciones de inoculación controlada.

Las notas promedio de densidad estromática son similares a las obtenidas por Sterling *et al.* (2012) y Pimentel-Parra (2020), quienes reportan ausencia de estromas o bajas notas de densidad estromática e intensidad de ataque en hojas maduras para los clones CDC 312, MDF 180, GU 198, FX 4098, FDR 4575 y FDR 5597 en comparación con el clon testigo IAN 873 y el clon CDC 56.

Entre aislamientos, los que presentaron las mayores notas de SMSHM y DE fueron los aislamientos 2FI, 3SI y 1BI, no presentándose diferencias significativas entre sí, pero sí en relación con el aislamiento 4PI, lo cual indica un menor nivel de virulencia del aislamiento 4PI.

4.3.2. Influencia de la interacción clon x aislamiento sobre la resistencia a *P. ulei*

La interacción clon x aislamiento resultó significativa para las variables SMSHJ y TR. En este sentido, los clones IAN 873, FDR 5788 y CDC 56 evidenciaron las notas medias más altas para los aislamientos 1BI, 2FI y 3SI (figuras 4.2 y 4.3). Para SMSHJ, se evidenciaron diferencias signi-

ficativas entre los cuatro aislamientos en el clon IAN 873, donde el aislamiento 1BI generó la mayor intensidad de síntomas (4,00), seguido del aislamiento 2FI (3,00). Los aislamientos 3SI y 4PI fueron menos virulentos. En el clon CDC 56, se encontraron diferencias significativas entre los cuatro aislamientos, con medias máximas de 3 en el aislamiento 3SI (3,00) seguido de 2 FI (2,80). Para el clon FDR 5788, el aislamiento con la media máxima fue el 3SI (2,80), seguido del aislamiento 1BI (2,60). El aislamiento 4PI presentó las notas más bajas de severidad (0,40) en todos los clones evaluados principalmente en el clon MDF 180 (figura 4.2).

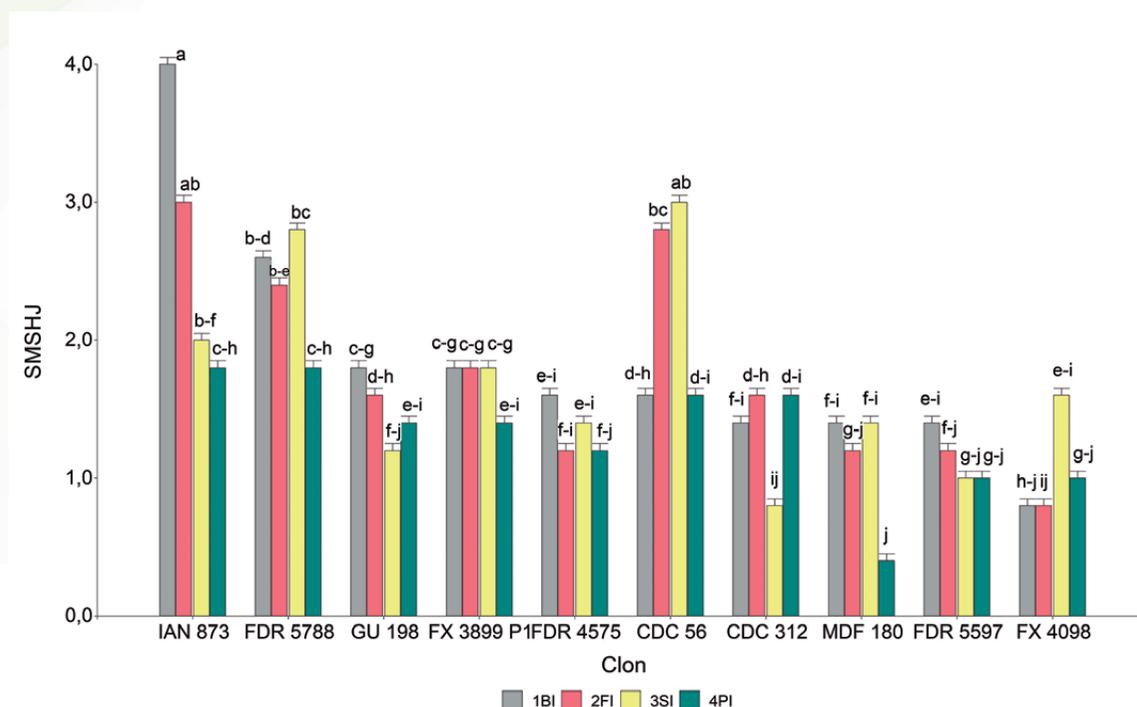


Figura 4.2. Medias de las notas de severidad del mal suramericano de las hojas en hojas jóvenes (SMSHJ) producida por cuatro aislamientos de *P. ulei* en nueve clones introducidos de caucho (*H. brasiliensis*) y el IAN 873 (testigo) en condiciones de inoculación controlada en el Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

Según la figura 4.3, en la variable TR, se evidenció que el clon IAN 873 presentó diferencias significativas entre los cuatro aislamientos, donde el 1BI mostró la nota media más alta en esporulación (4,00), seguido del aislamiento 2FI (3,20). El clon CDC 56 no reportó diferencias significativas entre los aislamientos 1BI, 2FI y 3SI con las notas medias más altas en esporulación (3,00). Para el clon FDR 5788 se encontraron diferencias significativas entre aislamientos, siendo el 3SI el más virulento (TR = 3,00). El aislamiento 4PI mostró las notas más bajas en esporula-

ción para todos los clones evaluados, principalmente en el clon MDF 180, coincidiendo con lo observado en la variable SMSHJ (figura 4.3).

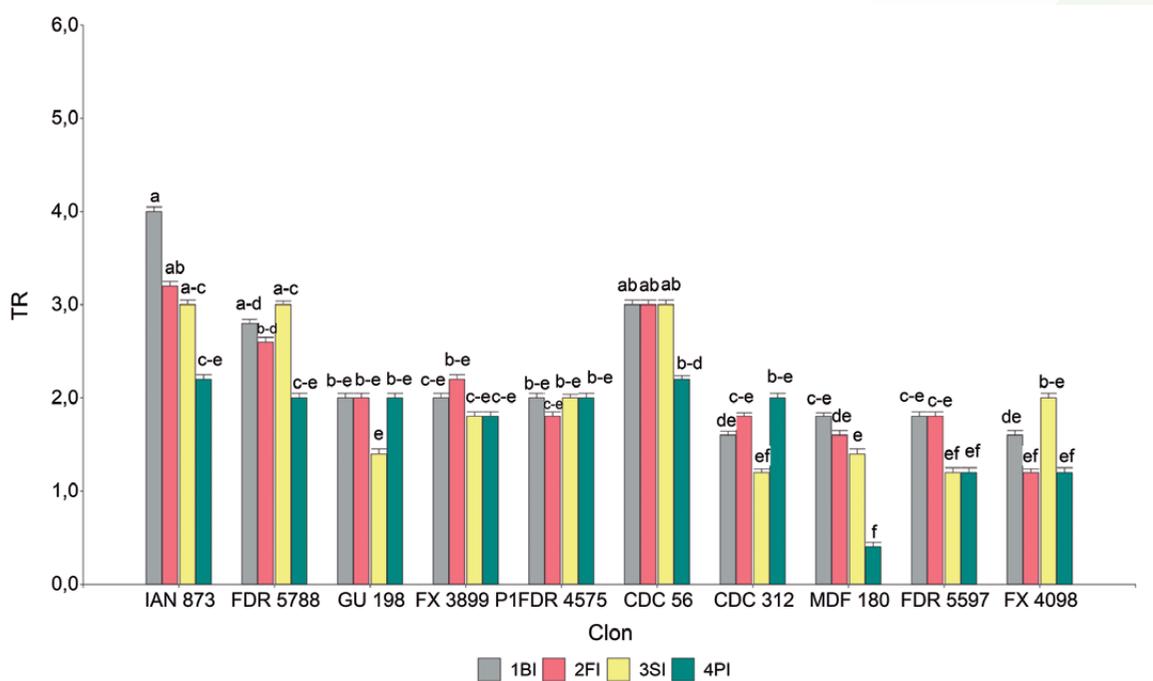


Figura 4.3. Medias de las notas del tipo de reacción (TR) (intensidad de esporulación conidial) producida por cuatro aislamientos de *P. ulei* en nueve clones introducidos de caucho (*H. brasiliensis*) y el IAN 873 (testigo) en condiciones de inoculación controlada en el Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

La interacción clon x aislamiento resultó significativa para las variables SMSHM y DE. De esta forma, los clones IAN 873 y CDC 56 evidenciaron las notas medias más altas en los aislamientos 1BI, 2FI y 3SI. En el clon IAN 873 con las notas medias más altas para ambas variables (4,00), no se evidenciaron diferencias significativas entre los aislamientos 1BI, 2FI y 3SI, a diferencia del aislamiento 4PI que fue el menos virulento en este clon (figuras 4.4 y 4.5).

Para el clon CDC 56, los aislamientos 2FI y 3SI no presentaron diferencias significativas entre sí, a diferencia de los aislamientos 1BI y 4PI, donde hubo notas relativamente bajas (figuras 4.4 y 4.5). Para el clon FDR 5788, se encontraron diferencias significativas entre aislamientos, con la nota más alta en el aislamiento 3SI (1,40); por el contrario, el clon FX 3899 P1 mostró en dos de los cuatro aislamientos diferencias significativas con la nota más alta para 2FI (0,80), seguido de 1BI (0,60). Los seis clones restantes no presentaron síntomas ni signos en hojas maduras con ningunos de los aislamientos probados (figuras 4.4 y 4.5).

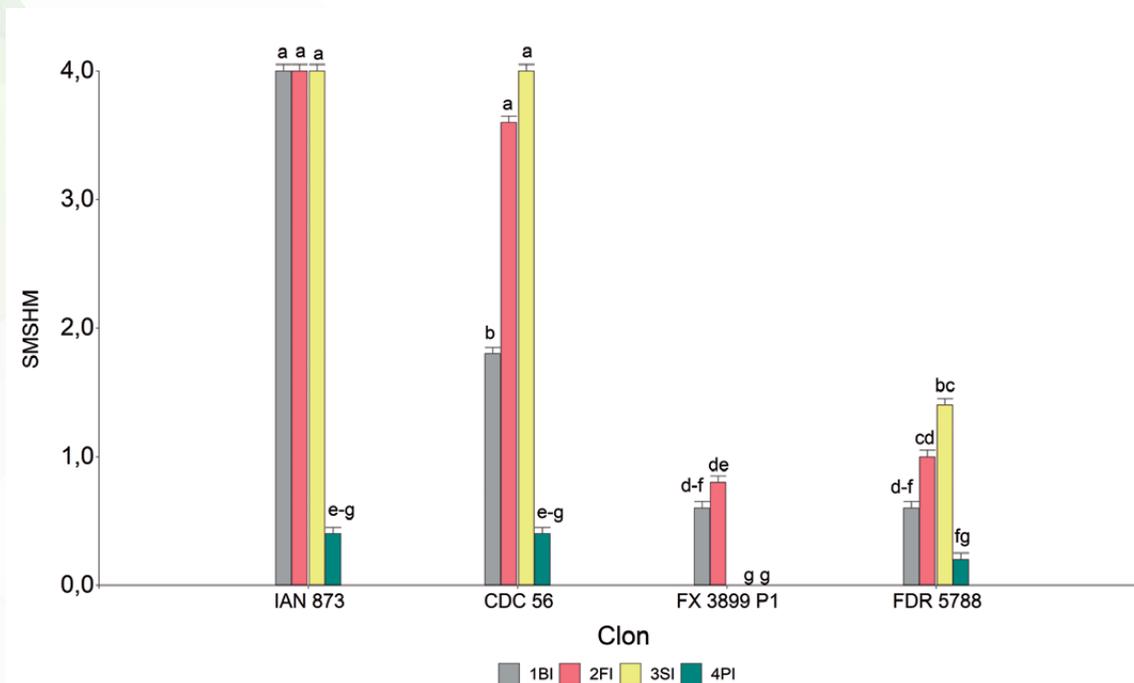


Figura 4.4. Medias de las notas de la severidad de mal suramericano de las hojas en hojas maduras (SMSHM) producida por cuatro aislamientos de *P. ulei* en nueve clones introducidos de caucho (*H. brasiliensis*) y el IAN 873 (testigo) en condiciones de inoculación controlada en el Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3. Análisis multivariado de los componentes de resistencia a *P. ulei*

El análisis de componentes principales (ACP) realizado a partir de los componentes de resistencia asociados a los cuatro aislamientos de *P. ulei* explicó con el CP1 el 81% de la variabilidad y separó en el extremo positivo a los clones IAN 873, CDC 56 y FDR 5788 los cuales presentaron niveles más bajos de resistencia principalmente en tres de los cuatro aislamientos (figura 4.6). Contrario a esto, en el extremo negativo del CP1 se agruparon los clones restantes (con excepción del clon MDF 180) que presentaron las menores notas de la enfermedad, y por tanto fueron los más resistentes. El CP2 explicó 8% de la variabilidad, y separó al clon MDF 180 por su menor susceptibilidad al aislamiento 4P1 en los folíolos jóvenes.

Estudios realizados por Bevenuto, De Souza y Furtado (2017), Chee, Kai-Ming y Darmono (1986), Junqueira *et al.*, (1986) y Mattos *et al.*(2003), han reportado la virulencia de aislamientos de *P. ulei* a través de la interacción planta-patógeno, demostrando la alta adaptabilidad y amplia diversidad del hongo, lo que dificulta la obtención de clones con resistencia duradera a la enfermedad. En el presente estudio se evidencia la amplia virulencia del aislamiento 1BI, principalmente en el clon IAN 873, y del aislamiento 3SI en los clones CDC 56 y FDR 5788. Mientras que el aislamiento 4PI mostró ser avirulento en la mayoría de clones evaluados.

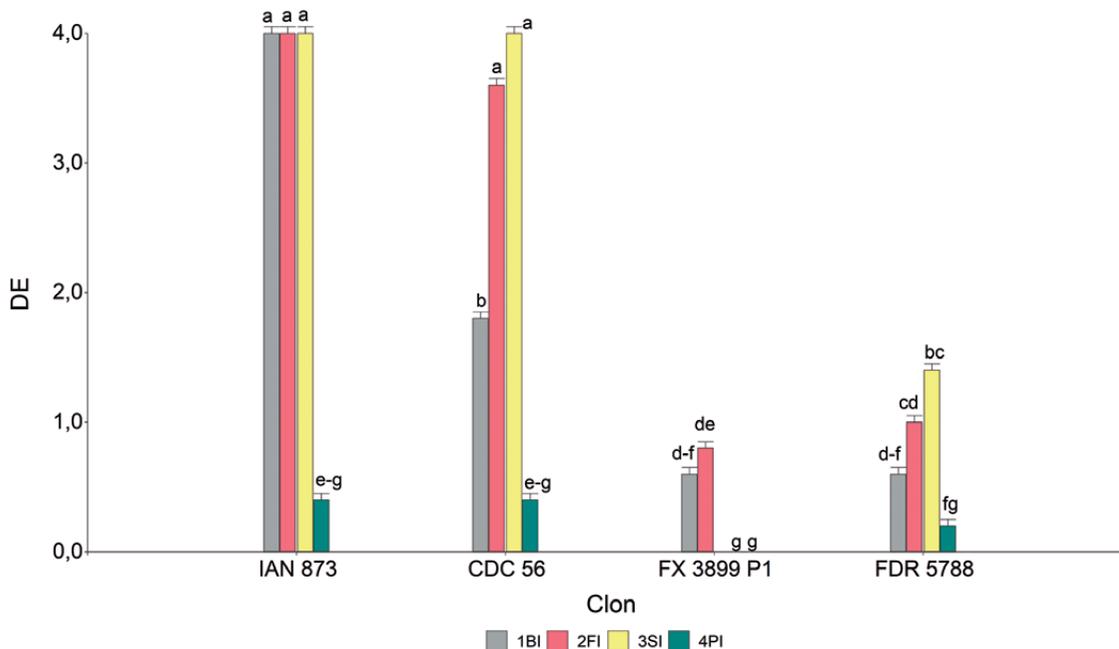


Figura 4.5. Medias de las notas de densidad estromática (DE) producida por cuatro aislamientos de *P. ulei* en nueve clones introducidos de caucho (*H. brasiliensis*) y el IAN 873 (testigo) en condiciones de inoculación controlada en el Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

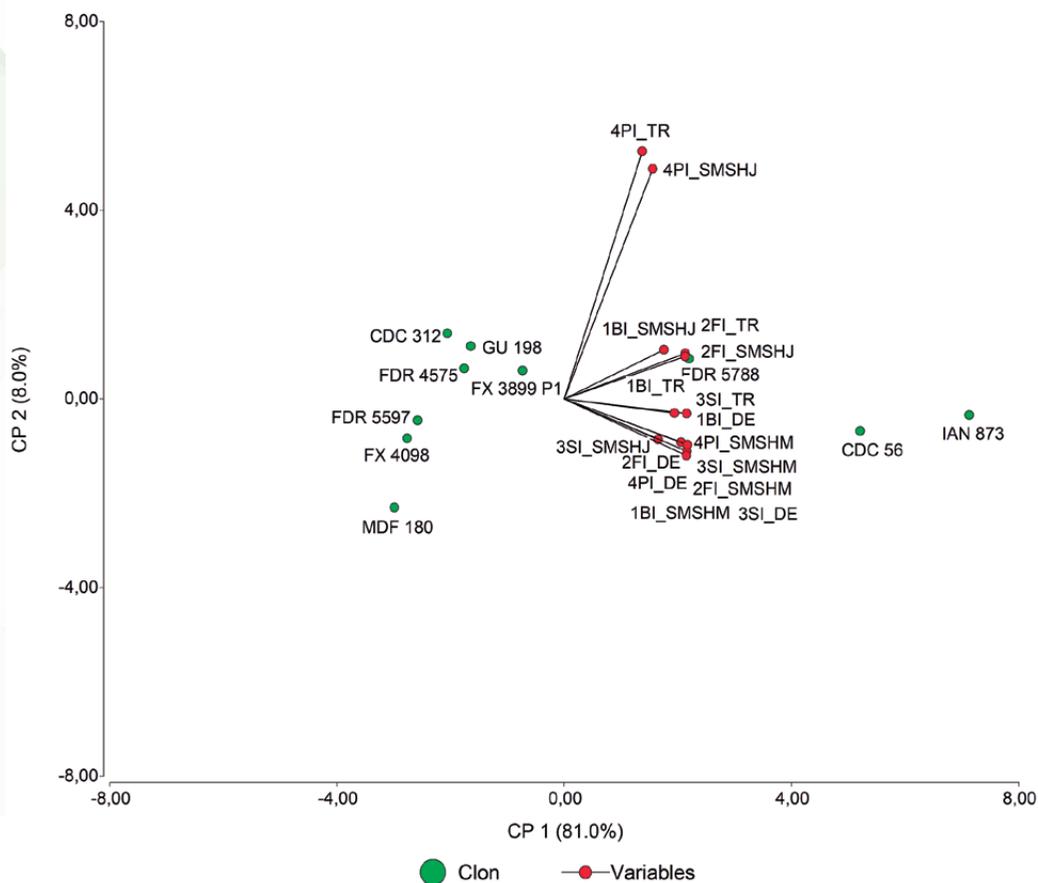


Figura 4.6. Análisis de componentes principales (gráfico biplot) de la representación de los componentes de resistencia asociados a los cuatro aislamientos de *P. ulei* (1B1, 2F1, 3S1 y 4P1) en los nueve clones introducidos de caucho (*H. brasiliensis*) y el IAN 873 (testigo) en el Caquetá (Colombia). Clave: Severidad del mal suramericano de las hojas, en hojas jóvenes (SMSHJ) y en hojas maduras (SMSHM); tipo de reacción (TR); densidad estromática (DE).

Fuente: Elaboración propia.

El aislamiento 1BI proviene del municipio de Belén de los Andaquíes, área caracterizada como zona de no escape al MSH, por sus condiciones climáticas (precipitación > 2500 mm año⁻¹, humedad relativa > 75%, temperatura 23 - 25 °C) (Sterling *et al.*, 2019), que favorecen el desarrollo epidemiológico de *P. ulei* (Gasparotto *et al.*, 2012; Guyot *et al.*, 2010), lo que influye directamente en la posibilidad de aumentar la infección en clones más susceptibles (Guyot, Cilas y Sache, 2008). En este sentido, el clon IAN 873 ha sido reportado como uno de los clones con mayor incidencia de *P. ulei* en esta zona (Sterling *et al.*, 2012, 2019; Sterling y Dussan, 2012; Sterling y Rodríguez, 2018), confirmando su alta susceptibilidad para zonas de no escape al MSH, donde los aislamientos de *P. ulei* son altamente virulentos (Velasco-Anaconda, 2020).

Aunque el clon CDC 56 han sido reportado como resistente a *P. ulei* bajo diferentes condiciones ambientales en América (Cardoso *et al.*, 2014; Mattos *et al.*, 2003; Rivano *et al.*, 2010, 2013), a través del tiempo se han observado altos niveles de susceptibilidad a *P. ulei* en condiciones de la Amazonia colombiana (Pimentel-Parra, 2020; Sterling *et al.*, 2009; Sterling, 2010; Sterling *et al.*, 2019; Sterling y Rodríguez, 2018) . En el municipio de San Vicente del Caguán, de donde proviene el aislamiento 3SI, se han reportado clones con una baja resistencia a *P. ulei*, lo que coincide con lo reportado en esta investigación.

4.3.4. Identificación de los mejores clones promisorios

En la tabla 4.2 se presentan los mejores clones introducidos de caucho por su resistencia al hongo *P. ulei* (SMSHJ, TR, SMSHM y DE) en condiciones de inoculación controlada.

Tabla 4.2. Matriz de identificación de los mejores clones introducidos de caucho (*H. brasiliensis*) comparados con el clon IAN 873 (testigo), basada en los componentes de resistencia a *P. ulei* en condiciones de inoculación controlada

CLON	SMSHJ ^a	N ^b _{SMSHJ}	SMSHM	N _{SMSHM}	TR	N _{TR}	DE	N _{DE}	Calificación ^c	Escalafón
MDF 180	1,10	0,97	-0,00	1,00	1,30	1,00	-0,00	1,00	0,997	1
FX 4098	1,05	1,00	0,00	1,00	1,50	0,90	0,00	1,00	0,970	2
FDR 5597	1,15	0,95	-0,00	1,00	1,50	0,90	-0,00	1,00	0,965	3
CDC 312	1,35	0,84	-0,00	1,00	1,65	0,83	-0,00	1,00	0,931	4
GU 198	1,50	0,75	-0,00	1,00	1,85	0,72	-0,00	1,00	0,893	5
FDR 4575	1,35	0,84	-0,00	1,00	1,95	0,68	-0,00	1,00	0,886	6
FX 3899 P1	1,70	0,65	0,35	0,90	1,95	0,68	0,35	0,90	0,806	7
FDR 5788	2,40	0,26	0,80	0,77	2,60	0,35	0,80	0,77	0,592	8
CDC 56	2,25	0,35	2,45	0,29	2,80	0,25	2,45	0,29	0,283	9
IAN 873	2,70	0,10	3,10	0,10	3,10	0,10	3,10	0,10	0,100	10

^a Nota media
^b Nota media normalizada [0,1 - 1]. 0,1: clon menos deseable. 1: clon más deseable
^c Nota media ponderada

4.4. Consideraciones finales

Los clones IAN 873 y CDC 56 presentaron el menor nivel de resistencia, exhibiendo las notas más altas para las variables SMSHJ, TR, SMSHM y DE. En contraste, los clones MDF 180, FX 4098, FDR 5597, CDC 312, GU 198 y FDR 4575 presentaron la mayor resistencia (ausencia de esporulación conidial y de estructuras estromáticas).

Los aislamientos 1BI, 2FI y 3SI de *P. ulei* fueron los más virulentos, generaron las notas más altas para las cuatro variables estudiadas, en comparación con el aislamiento 4PI.

Se concluye que los clones más resistentes al mal suramericano de las hojas, en su orden fueron: MDF 180, FX 4098, FDR 5597, CDC 312, GU 198, FDR 4575 y FX 3899 P1 (tabla 4.2), siendo considerados los más deseables para esta investigación, ya que obtuvieron una calificación superior al clon testigo IAN 873.

4.5. Referencias bibliográficas

- Bevenuto, J. A., De Souza, J. R. y Furtado, E. L. (2017). *Microcyclus ulei* races in Brazil. *Summa Phytopathol.*, 43, 326-336. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-5405/172339>
- Cardoso, S. E. A., Freitas, T. A., Da Silva, D., Gouvêa, L. R. L., Gonçalves, P.S., Mattos, C. R. R. y García, 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.12.033>
- Chee, K. H. y Holliday, P. (1986). South American leaf blight of *Hevea* rubber. *Malaysian Rubber Res. Dev. Board Monogr.*, 13, 50.
- Chee, K. H., Kai-Ming, Z. y Darmono, T. W. (1986). Occurrence of eight races of *Microcyclus ulei* on *Hevea* rubber in Bahia, Brazil. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 87, 15-21. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0007-1536\(86\)80002-x](https://doi.org/10.1016/s0007-1536(86)80002-x)
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarine, M., Gonzales, L., Tablada, M. y Robledo, C. InfoStat versión (2018) [Internet]. Córdoba, Ar.: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina; 2018. Available: <http://www.infostat.com.ar>.
- García, I. A., Aristizábal, F. A. y Montoya, D. (2006). Revisión sobre el hongo *Microcyclus ulei*, agente causal del mal suramericano de la hoja del caucho. *Rev. Colomb. Biotecnol.*, 8, 50-59.
- García, D., Troispoux, V., Grange, N., Rivano, F. y D'Auzac, J. (1999). Evaluation of the resistance of 36 *Hevea* clones to *Microcyclus ulei* and relation to their capacity to accumulate scopoletin and lignins. *For. Pathol.*, 29, 323-338. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1439-0329.1999.00161.x>
- Gasparotto, L., Ferreira, F. A., Santos, Á. F., Rezende-Pereira, J. C. y Furtado, E. L. (2012). Doenças das folhas. En L. Gasparotto y J. C. Rezende-Pereira (Eds.), *Doenças da seringueira no Brasil*, pp. 39-176. Brasília: Embrapa.
- Gonçalves, P. S. (1986). Novos clones de Seringueira Para o estado de São Paulo. En *Simpósio sobre a cultura da seringueira no Estado de São Paulo*, pp. 95-123. Brasil, Piracicaba: Fundação Cargilí. Recuperado de <https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/www/gdsv/conteudoPalestras/III-Encontro-2013/01-RecomendacaoNovosClonesSeringueiraEstSP-Paulo-de-Souza-Goncalves.pdf>
- Guyot, J., Cilas, C. y Sache, I. (2008). Influence of host resistance and phenology on South American leaf blight of the rubber tree with special consideration of temporal dynamics. *Eur. J. Plant Pathol.*, 120, 111-124. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-007-9197-6>
- Guyot, J., Condina, V., Doaré, F., Cilas, C. y Sache, I. (2010). Segmentation applied to weather-disease relationships in South American leaf blight of the rubber tree. *European Journal of Plant Pathology*, 126, 349-362. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9540-1>
- Hallé, F., Oldeman, R. y Tomlinson, P. B. (1978). *Tropical trees and forest*. Berlín: Springer.
- Jaimes, Y., Rojas, J., Cilas, C. y Furtado, E. L. (2016). Suitable climate for rubber trees affected by the South American Leaf Blight (SALB): Example for identification of escape zones in the Colombian middle Magdalena. *Crop Prot.*, 81, 99-114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.12.016>

- Junqueira, N. T., Chaves, G., Zambolim, L., Gasparotto, L. y Alfenas, A. (1986). Variabilidade fisiológica de *Microcyclus ulei*. *Fitopatol. Bras.*, 11, 823-833.
- Lieberei, R. (2007). South American leaf blight of the rubber tree (*Hevea* spp.): New steps in plant domestication using physiological features and molecular markers. *Ann. Bot.*, 100, 1125-1142. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcm133>
- Mattos, C. R. R. (1999). Meios de cultura com água de coco verde para esporulação de *Microcyclus ulei*. *Fitopatologia Brasileira*. 24, 470.
- Mattos, C. R. R., García, D., Pinard, F. y Le Guen, V. (2003). Variabilidade de isolados de *Microcyclus ulei* no Sudeste da Bahia. *Fitopatol. Bras.*, 28, 502-507. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-41582003000500006>
- Mizubuti, E. y Hora-Júnior, B. (2014). Memorias del VIII Congreso Latinoamericano de Micología (2). DOI: <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Mizubuti, E. y Hora-Júnior, B. (2015). Memorias del VIII Congreso Latinoamericano de Micología. *Actual. Biológicas*, 1, 102.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO. (2011). *Protection against South American leaf blight of rubber in Asia and the Pacific region*. Tailandia, Bangkok: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Pimentel-Parra, G. A. 2020. Resistencia a *Pseudocercospora ulei* de diez clones de caucho (*Hevea brasiliensis*) bajo condiciones controladas y naturales de infección en Caquetá, Colombia. Universidad de la Amazonía. 21, 1–9.
- Rivano, F., Martínez, M., Cevallos, V. y 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. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9563-7>
- Rivano, F., Mattos, C. R. R., Cardoso, S. E. A., Martínez, M., Cevallos, V., Le Guen, V. y García, D. (2013). Breeding *Hevea brasiliensis* for yield, growth and SALB resistance for high disease environments. *Ind. Crops Prod.*, 44, 659-670. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.09.005>
- Rivano, F., Vera, J., Cevallos, V., Almeida, D., Maldonado, L. y Flori, A. (2016). Performance of 10 *Hevea brasiliensis* clones in Ecuador, under South American Leaf Blight escape conditions. *Ind. Crops Prod.*, 94, 762-773. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.035>
- Rodríguez, T. S. M.,(2012). Análisis de la variabilidad genética de aislamientos de *Microcyclus ulei* provenientes de tres zonas caucheras de los llanos orientales, mediante la técnica AFLPs. p.142. [Tesis Maest.]. Universidad Nacional de Colombia.
- Sambugaro, R., (2007). Estágios foliares, fenologia da seringueira (*Hevea* spp.) e interação com *Microcyclus ulei* (mal das folhas). p.105. [Tesis Doc.]. Universidade Estadual Paulista Julio De Mesquita Filho. Faculdade De Ciencias Agronomicas Campus De Botucatu.
- Sterling, A. (2008). Evaluación de los niveles de patogenicidad de *Microcyclus ulei* en diez clones de caucho (*Hevea* spp.) bajo condiciones controladas en la amazonia colombiana. [Tesis Maest.]. p.118. Universidad Nacional De Colombia. Facultad De Ciencias Básicas.
- Sterling, A., Calderón, A., Rodríguez, O. L. y Quintero, L. (2010a). Caracterización morfológica y patogenicidad de *Microcyclus ulei* en la Amazonia colombiana. *Rev. Colomb. Amaz.*, 3, 99-116.
- Sterling, A., Galindo, L. C. y Correa, J. (2010b). Incidencia y severidad de *Microcyclus ulei* en una colección de caucho en la Amazonia colombiana. *Ing. Amaz.*, 3, 93-104.

- Sterling, A. y Dussan, I. (2012). Resistencia a *Microcyclus ulei* (P. Henn.) v. Arx y desempeño de clones promisorios de caucho [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.] en el suroccidente del departamento del Caquetá, Colombia. *Ing. Amaz.*, 5, 5-16.
- Sterling, A. y Hernandez, C. (2012). Ampliación de la base genética de caucho natural con proyección para la Amazonia colombiana: fase de evaluación en periodo improductivo a gran escala. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A., Martínez-Viuche, E. J., Pimentel-Parra, G. A., Suárez-Córdoba, Y. D., Fonseca-Restrepo, J. A. y 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111811>
- Sterling, A. y Melgarejo, L. M. (2014). Variación temporal a *Microcyclus ulei* en los clones de caucho FX 3864 y FX 4098 en condiciones controladas. *Rev. Colomb. Biotecnol.*, 16, 158-168. DOI: <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v16n2.47249>
- Sterling, A. y Rodríguez, C. (2018). Estrategias de manejo para las principales enfermedades y plagas del cultivo del caucho con énfasis en la Amazonia colombiana. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A., Rodríguez, C. H., Dussan, I., Correa, J., Vargas, M. A., Centeno, A., Sánchez, R., Rodríguez, A. F., Plaza, C. D., Castro, D., Salas, Y. M., Ossa, E. O., Ruiz, P. N. y Castillo, J. O. (2012). Evaluación fitosanitaria con énfasis en la resistencia a *Microcyclus ulei* de diez clones de caucho natural (*Hevea brasiliensis*) en Campo Clonal a Gran Escala CCGE. En *Ampliación de la base genética de caucho natural con proyección para la Amazonia colombiana: fase de evaluación en periodo improductivo a gran escala*, pp. 79-121. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A., Rodríguez, O., Quintero, L. y Correa, J. (2009). Evaluación fitosanitaria y resistencia en campo a *Microcyclus ulei* de *Hevea brasiliensis* en la Amazonia colombiana. *Rev. Colomb. Amaz.*, 2, 80-90.
- Sterling, A., Rodríguez, O. y Quintero, L. (2010). Variabilidad fisiológica de aislamientos de *Microcyclus ulei* de la Amazonia colombiana. *Momentos Cienc.*, 7, 30-35.
- Velasco, A. G. P. (2020). Caracterización de la variabilidad genética poblacional de *Pseudocercospora ulei* en el departamento del Caquetá, Amazonia colombiana. [Tesis Maest.] p.148. Universidad De La Amazonia. Facultad De Ciencias Básicas.
- Velásquez, E., Lavelle, P. y Andrade, M. (2007). GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biol. Biochem.*, 39, 3066-3080. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.06.013>

CONSIDERACIONES FINALES

Identificación preliminar de los mejores clones introducidos de caucho (*Hevea brasiliensis*) en el Caquetá (Colombia)

Con las conclusiones obtenidas a partir de las evaluaciones realizadas en tres campos clonales a gran escala acerca de los rasgos de crecimiento, nutricionales y fisiológicos (capítulo 1), fitosanitarias foliares y del panel de sangría temprana (capítulo 2), de rendimiento temprano (capítulo 3) y la resistencia al hongo *Pseudocercospora ulei* en laboratorio (capítulo 4), se presenta la matriz de identificación preliminar de los mejores clones promisorios de caucho (*H. brasiliensis*) comparados con el clon IAN 873 (testigo) con corte al primer año del ciclo productivo de los experimentos de campo en el Caquetá (Colombia) (tabla I).

Tabla I. Matriz de identificación preliminar de los mejores clones introducidos de caucho (*H. brasiliensis*) comparados con el clon IAN 873 (testigo), basada en los rasgos de crecimiento, nutricionales y fisiológicos, fitosanitarias foliares y del panel de sangría temprana y de rendimiento temprano evaluados en tres campos clonales a gran escala, y los componentes de resistencia al hongo *Pseudocercospora ulei* en condiciones controladas

Localidad	Clon	Calificación 1 ^a	Calificación 2 ^b	Calificación 3 ^c	Calificación 4 ^d	Calificación final ^e	Escalafón final
Belén de los Andaquíes	FX 3899 P1	0,541	0,646	0,920	0,806	0,789	1
	FDR 4575	0,282	0,785	0,797	0,886	0,751	2
	GU 198	0,818	0,777	0,594	0,893	0,702	3
	FDR 5597	0,831	0,720	0,563	0,965	0,677	4
	FX 4098	0,704	0,773	0,336	0,970	0,567	5
	FDR 5788	0,781	0,756	0,375	0,592	0,552	6
	MDF 180	0,686	0,900	0,139	0,997	0,508	7
	CDC 312	0,543	0,865	0,189	0,931	0,501	8
	IAN 873	0,611	0,328	0,315	0,100	0,327	9
	CDC 56	0,221	0,564	0,165	0,283	0,302	10
Florencia	FDR 4575	0,552	0,806	0,966	0,886	0,868	1
	GU 198	0,871	0,695	0,452	0,893	0,611	2
	FX 4098	0,606	0,851	0,348	0,970	0,587	3
	FDR 5788	0,833	0,757	0,379	0,592	0,559	4
	CDC 312	0,438	0,904	0,277	0,931	0,547	5
	FDR 5597	0,554	0,803	0,236	0,965	0,511	6
	MDF 180	0,585	0,827	0,140	0,997	0,476	7
	FX 3899 P1	0,141	0,684	0,345	0,806	0,472	8
	IAN 873	0,487	0,426	0,350	0,100	0,361	9
	CDC 56	0,405	0,352	0,267	0,283	0,308	10

Localidad	Clon	Calificación 1 ^a	Calificación 2 ^b	Calificación 3 ^c	Calificación 4 ^d	Calificación final ^e	Escalafón final
San Vicente del Caguán	FX 3899 P1	0,134	0,662	0,936	0,806	0,760	1
	FDR 4575	0,380	0,893	0,658	0,886	0,723	2
	GU 198	0,930	0,749	0,447	0,893	0,630	3
	FDR 5597	0,671	0,854	0,331	0,965	0,585	4
	FDR 5788	0,849	0,752	0,416	0,592	0,578	5
	FX 4098	0,481	0,892	0,325	0,970	0,575	6
	CDC 312	0,271	0,896	0,246	0,931	0,512	7
	MDF 180	0,345	0,843	0,143	0,997	0,459	8
	CDC 56	0,283	0,429	0,346	0,283	0,359	9
IAN 873	0,338	0,312	0,336	0,100	0,305	10	

^a calificación basada en parámetros de crecimiento, comportamiento nutricional y rasgos fisiológicos (ver capítulo 1)
^b calificación basada en parámetros fitosanitarios foliares y del panel de sangría temprana (ver capítulo 2)
^c calificación basada en parámetros de rendimiento temprano (ver capítulo 3)
^d calificación basada en la resistencia al hongo *Pseudocercospora ulei* en laboratorio (ver capítulo 4)
^e Nota media ponderada [calificación 1 (10%), calificación 2 (30%), calificación 3 (50%), calificación 4 (10%)]

Este estudio permite concluir que: a) en Belén de los Andaquíes, los clones (en su orden) FX 3899 P1, FDR 4575, GU 198, FDR 5597, FX 4098, FDR 5788, MDF 180 y CDC 312; b) en Florencia, los clones FDR 4575, GU 198, FX 4098, FDR 5788, CDC 312, FDR 5597, MDF 180 y FX 3899 P1; y c) en San Vicente del Caguán, los clones FX 3899 P1, FDR 4574, GU 198, FDR 5597, FDR 5788, FX 4098, CDC 312, MDF 180 y CDC 56; fueron los materiales genéticos más sobresalientes comparados con el clon IAN 873 (testigo), y por tanto son los más deseables con corte al primer año del ciclo productivo en el Caquetá (Colombia).

La siguiente fase implicará, en un periodo no inferior a tres o cuatro años, analizar la estabilización del rendimiento productivo con el fin de optimizar la selección final y el registro de los nuevos clones, antes de ofrecer una recomendación final al nivel de productor para su fomento comercial a pequeña escala en la región.

PARTE II

Genotipos caquetenses selección
ECC 1 de caucho (*Hevea brasiliensis*)
en el Caquetá (Colombia)

Evaluación de los rasgos de crecimiento, nutricionales y fisiológicos de genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*Hevea brasiliensis*) en campos clonales a gran escala en el Caquetá



Armando Sterling Cuéllar^{1*}, Tatiana Karolina Andrade-Ramírez², Edwin Andrés Clavijo-Arias², Lised Guaca-Cruz², Mauren Daniela Celis-Hernández², Jhon Edwar Noriega², Rigoberto Torres-Barrero² y Juan Carlos Suárez-Salazar³

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

¹ Investigador del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, sede Florencia.

² Co-investigador del proyecto. Convenio 59-2013, Gobernación del Caquetá – Instituto SINCHI.

³ Docente del Programa de Ingeniería Agroecológica, Facultad de Ingeniería – Universidad de la Amazonía.

5.1. Introducción

Los estudios sobre el desempeño y las respuestas ambientales del caucho [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg] han sido fundamentales en la identificación de genotipos con caracteres agronómicos deseables (Carr, 2012; Gonçalves, Ortolani y Cardoso, 1997; Rodrigo, 2007). Los principales estudios se han enfocado en analizar la influencia de factores ambientales como el agua (Annamalainathan *et al.*, 2010; Cavalcante y Conforto, 2006; Chen, Zhang, Li y Cao, 2010; Conforto, 2008; De Sena, Zaidan y Castro, 2007; Thomas *et al.*, 2015), la disponibilidad lumínica (Cavalcante y Conforto, 2002; Righi y Bernardes, 2008), la estacionalidad climática (Cairo, De Oliveira, Mesquita y Cunha, 2015; Conforto *et al.*, 2005; Do Nascimento *et al.*, 2006; Sterling *et al.*, 2019) y el genotipo (Cavalcante y Conforto, 2002; Sterling *et al.*, 2019; Thomas *et al.*, 2015) sobre el crecimiento de las plantas y el rendimiento de muchas de ellas a través de la fotosíntesis (Priyadarshan, 2017).

El estudio de estos rasgos fisiológicos en el caucho son muy importantes para seleccionar genotipos de alto rendimiento, alta capacidad de acumulación de biomasa y eficiencia en el uso del agua en diferentes condiciones agroclimáticas (Ahmad, Idris y Sulong, 2009; Falqueto *et al.*, 2017; Miguel, De Oliveira, Cairo y De Oliveira, 2007; Ping, 2012). En el mismo sentido, el estado nutricional está muy relacionado con el crecimiento y la fisiología del cultivo del caucho (Rodas *et al.*, 2012). La deficiencia de nutrientes esenciales (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre) pueden alterar las funciones fisiológicas y bioquímicas de la planta (Backes *et al.*, 2018).

En la Amazonia colombiana, y particularmente en el departamento del Caquetá, se han realizado diferentes estudios que buscan ampliar la base genética de *H. brasiliensis* en la región amazónica (Sterling *et al.*, 2012; 2019), analizando entre varios aspectos el efecto de las variaciones ambientales sobre las respuestas adaptativas de nuevos clones promisorios de caucho con potencial de uso en la región (Sterling *et al.*, 2019). Sin embargo, este conocimiento también debe ser enfocado en la identificación de genotipos regionales con el fin diversificar una base genética de caucho en la región (Sterling y Rodríguez, 2017).

En el presente capítulo, se presentan los resultados de la evaluación del crecimiento, comportamiento nutricional y respuesta fisiológica de nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en la fase de crecimiento en dos campos clonales a gran escala en el departamento del Caquetá (Colombia).

5.2. Metodología

5.2.1. Área de estudio

• Localización

Los ensayos de campo se establecieron en abril de 2017 en los municipios de El Paujil (vereda Moravia, con coordenadas 01°31'38.46" N y 75°17'32.59" W, altitud 470 m s.n.m.), y San Vicente del Caguán (vereda Buenos Aires, con coordenadas 02°01'42.62" N y 74°54'38.95" W, altitud 346 m s.n.m.) en el departamento del Caquetá, Colombia (figura 5.1).

• Clima

Las condiciones climáticas de la región corresponden a las de tropical húmedo, con una temperatura promedio de 25,8 °C, un promedio relativo de humedad del 80% y precipitación anual de 3120,8 mm año⁻¹. El Caquetá tiene un régimen climático monomodal (Ideam, 2015; Murad y Pearse, 2018) subdividido en una época seca que corresponde a los meses de noviembre a febrero, una época lluviosa que concierne a los meses de marzo a junio, y una época de transición que abarca los meses de julio a octubre (Corpoamazonia, 2013).

• Suelos

Los suelos del ensayo 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). En el CCGE de El Paujil, el valor de pH fue de 4,91 (extremadamente ácido), un contenido de materia orgánica del 2,23% y de carbono orgánico del 1,29%, con una textura arcillosa. En el CCGE de San Vicente del Caguán el valor de pH fue de 4,85, un contenido de materia orgánica del 1,69% y de carbono orgánico del 0,98%, con una textura arcillosa.

5.2.2. Material vegetal

Se evaluaron nueve genotipos caquetenses selección Élite Caquetá Colombia (ECC 25, ECC 29, ECC 35, ECC 60, ECC 64, ECC 66, ECC 73, ECC 83 y ECC 90) de caucho (Sterling y Rodríguez, 2011, 2017), y se compararon con el clon IAN 873 (testigo), el cual ha sido ampliamente sembrado en Colombia (CCC, 2015).

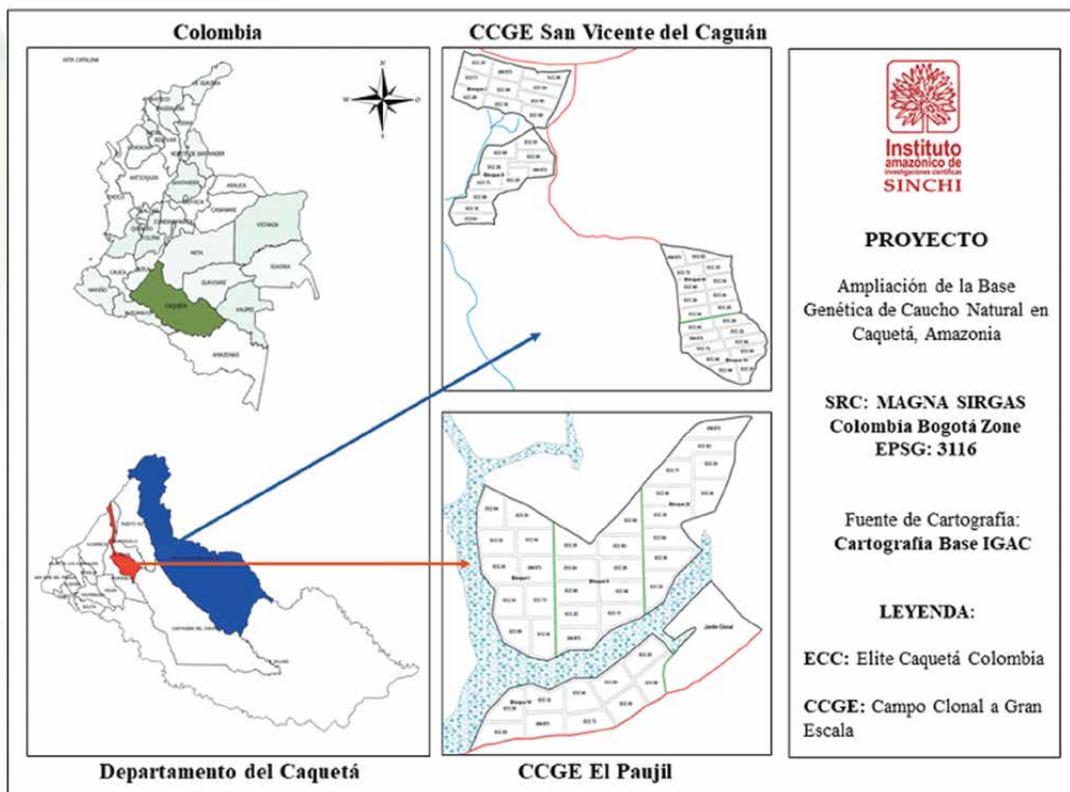


Figura 5.1. Localización del área de estudio (dos campos clonales a gran escala CCGEs) en el departamento del Caquetá (Colombia).

Fuente: Elaboración propia

5.2.3. Diseño experimental

En cada localidad se consideró un campo clonal a gran escala (CCGE), siguiendo un diseño de bloques completos al azar. Cada CCGE de 5,04 hectáreas (ha) fue dividido en cuatro bloques, cada uno de 1,26 ha (figura 5.1). En cada bloque se establecieron los 10 genotipos (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 (Sterling y Rodríguez, 2017). El experimento estuvo rodeado por una hilera de abarco colombiana (*Cariniana pyriformis* Miers) como barrera rompe vientos (Sterling *et al.*, 2019).

5.2.4. Manejo técnico de los experimentos

Cada campo clonal a gran escala siguió un manejo de fertilización con una frecuencia cada seis meses de un fertilizante compuesto [N (15%), P₂O₅ (15%), K₂O (15%), CaO (2,2%), SSO₄ (1,7%)] con una dosis de 150 g planta⁻¹, un fertilizante con elementos menores [N (8%), P₂O₅ (5%), CaO (18%), MgO (6%), S (1,6%), B (1%), Cu (0,14%), Mo (0,005%), Zn (2,5%)] (75 g planta⁻¹) y abono orgánico (1000 g planta⁻¹). Se realizaron cada tres meses controles de malezas. No fueron llevados a cabo controles fitosanitarios.

5.2.5. Evaluación del crecimiento

El crecimiento se evaluó como el vigor expresado como la circunferencia del tronco (CT) (cm) a una altura de 1,2 m del suelo medido anualmente, en los años 1, 2 y 3 después de la siembra.

5.2.6. Evaluación del contenido nutricional edáfico y foliar

Los parámetros nutricionales edáficos y foliares se cuantificaron anualmente en los años 1, 2 y 3 después de la siembra, con el fin de monitorear el comportamiento nutricional de los 10 genotipos de caucho en ambas localidades.

• Parámetros físico-químicos del suelo

Se colectó una muestra de suelo compuesta de cada parcela a partir de tres submuestras recolectadas al azar. En cada localidad se recolectaron 16 muestras de los 4 bloques (4 cuatro muestras por bloque) (figura 5.2) para ser enviadas al laboratorio AGRILAB para el análisis de factores físico-químicos como pH, conductividad eléctrica (C.E) (dS/m), saturación de humedad (S.M) (%), capacidad de intercambio catiónico efectiva (C.I.C.E) (meq/100g), carbono orgánico (C.O) (%), materia orgánica (M.O) (%), nitrógeno total (N) (%), textura (limo, arena y arcilla) (%), densidad aparente (D.A) (g/cm³), potasio intercambiable (K.I) (mg/Kg), calcio intercambiable (Ca.I) (mg/Kg), magnesio intercambiable (Mg.I) (mg/Kg), sodio intercambiable (Na.I) (mg/Kg), acidez intercambiable (Ac.I) (mg/Kg), hierro (Fe) (mg/Kg), manganeso (Mn) (mg/Kg), cobre (Cu) (mg/Kg), zinc (Zn) (mg/Kg), boro (B) (mg/Kg), fósforo (P) (mg/Kg), azufre (S) (mg/Kg), saturación de potasio (Sat.K) (%), saturación de calcio (Sat.Ca) (%), saturación de magnesio (Sat.Mg) (%), saturación de sodio (Sat.Na) (%), saturación de aluminio (Sat.Al) (%), relación calcio/magnesio (Ca/Mg), relación calcio/potasio (Ca/K), relación magnesio/potasio (Mg/K), relación calcio+magnesio/potasio (Ca+Mg/K). En cada CCGE el nivel de cada elemento o compuesto se calificó cualitativamente, así: deficiente (D), bajo (B), óptimo (O), alto (A) y exceso (E).

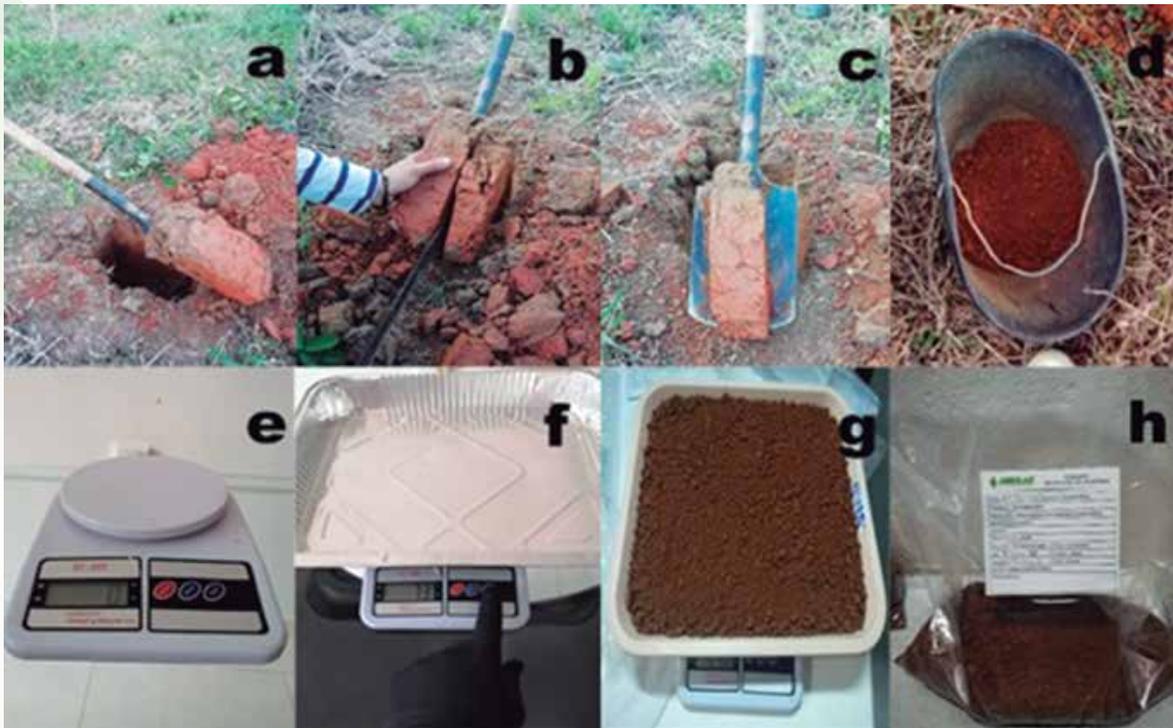


Figura 5.2. Proceso de recolección de muestras de suelo. a: hoyo de 30 cm de profundidad; b y c: extracción de una rebanada de 3 cm de espesor de suelo. Se tuvo en cuenta la cantidad obtenida en cada punto, buscando que todas las áreas muestreadas queden igualmente representadas; d: homogenización de muestra (500 g por parcela clonal), e y f: disposición de balanza digital; g: determinación de peso; h: rotulación y empacado para ser enviadas a laboratorio.

Fuente: Elaboración propia.

• **Parámetros químicos foliares**

En cada CCGE se recolectaron 40 muestras foliares correspondientes a los genotipos establecidos en la parcela monoclonal (una muestra por genotipo por bloque), para un total de 80 muestras recolectadas. Se colectó una muestra representativa de 300 g por genotipo, conformada por foliolos sanos de caucho en estadios C y D (figura 5.3) para ser enviadas a laboratorio para el análisis de factores químicos como contenido de humedad (%), nitrógeno total (N) (%), fósforo (P) (%), potasio (K) (%), calcio (Ca) (%), magnesio (Mg) (%), azufre (S) (%), hierro (Fe) (mg/Kg), manganeso (Mn) (mg/Kg), cobre (Cu) (mg/Kg), zinc (Zn) (mg/Kg), boro (B) (mg/Kg), sodio (Na) (mg/Kg), saturación de potasio (Sat.K) (%), saturación de calcio (Sat.Ca) (%), saturación de magnesio (Sat.Mg) (%), relación calcio/magnesio (Ca/Mg), relación calcio/potasio (Ca/K), relación magnesio/potasio (Mg/K), relación calcio+magnesio/potasio (Ca+Mg/K), relación nitrógeno/azufre (N/S), relación nitrógeno/fósforo (N/P), relación calcio/boro (Ca/B) y relación hierro/manganeso (Fe/Mn).

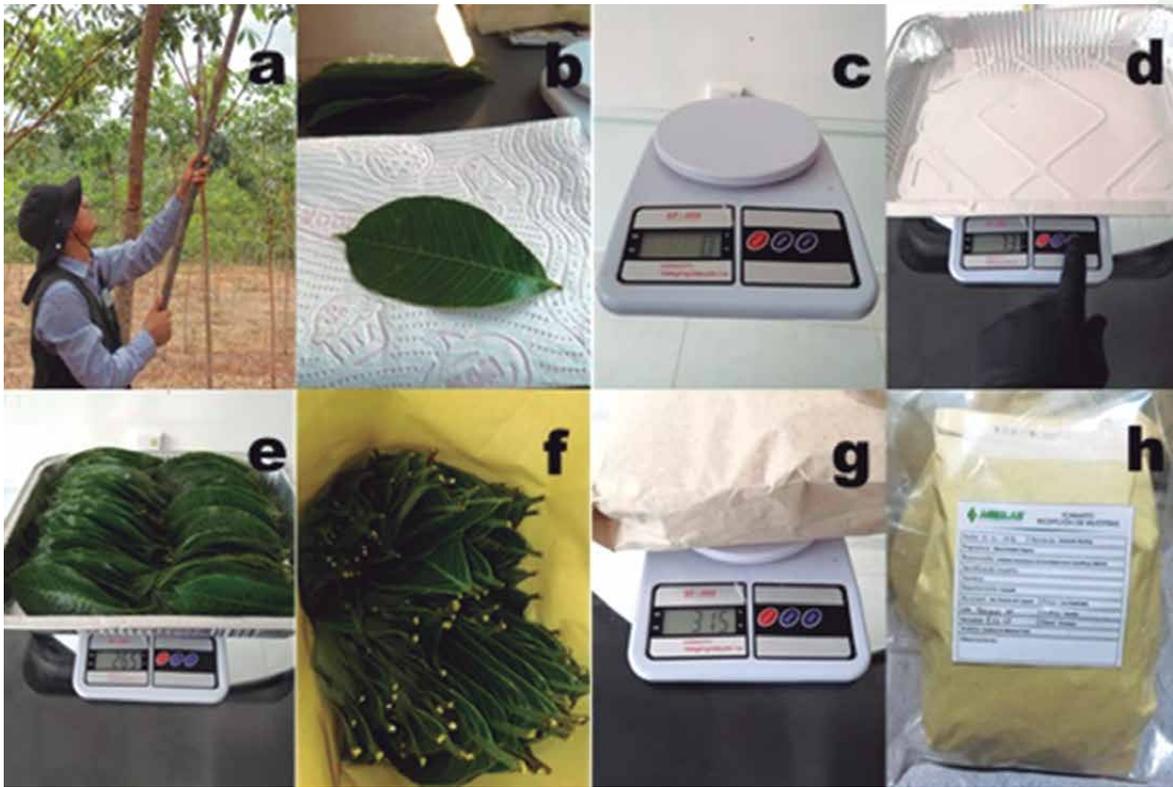


Figura 5.3. Proceso de recolección de muestras foliares. a: recolección de hojas con ayuda de un corta ramas; b: secado y limpieza; c y d: Disposición de balanza digital; e: determinación de peso; f y g: rotulación, empackado en bolsas de papel y comprobación de peso; h: Empackado en bolsas sello hermético para ser enviadas a laboratorio.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.7. Evaluación de los parámetros fisiológicos

Se midieron y seleccionaron para el presente estudio las principales variables relacionadas con el intercambio gaseoso (tasa de fotosíntesis neta, A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$); uso eficiente del agua extrínseco, WUE_e ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}$), la fluorescencia de la clorofila a (eficiencia fotoquímica máxima potencial del fotosistema II, F_v/F_m ; eficiencia de operación del fotosistema II, Φ_{PSII}) y el estado hídrico (potencial hídrico foliar Ψ_{foliar} - MPa) (figura 1.5). Las variables A , WUE_e y Φ_{PSII} se midieron entre las 9:00 h y las 12:00 h y a las 3:00 h para F_v/F_m y Ψ_{foliar} (MPa). Se seleccionaron dos hojas totalmente expandidas y con buen estado nutricional y fitosanitario del tercio medio del dosel por árbol en estadio foliar D1 que registraron un contenido relativo de clorofila (CCI), entre 18 a 38 unidades en el foliolo central de cada hoja.

Las variables estudiadas se registraron y analizaron como el promedio de los tres años de evaluación, teniendo en cuenta el régimen de precipitaciones de la zona de estudio: época seca (diciembre-febrero), época lluviosa (marzo-junio) y época de transición (julio-noviembre).

5.2.8. Análisis de la información

Las variables de crecimiento y fisiológicas se analizaron mediante un ANOVA con el fin de determinar la variación entre años o épocas, localidades, genotipos y sus interacciones. Una prueba LSD de Fisher al 5% de significancia permitió contrastar la diferencia entre los valores promedios de estas variables. La técnica de análisis de componentes principales se empleó con el fin de ordenar los genotipos o localidades de acuerdo con su comportamiento nutricional foliar o edáfico en cada año de evaluación.

En cada localidad, las medias de las variables priorizadas por genotipo fueron normalizadas en el intervalo $[0,1 - 1]$, utilizando la fórmula empleada por Velásquez *et al.* (2007):

$$Y = 0,1 + (x-b)/(a-b)*0,9$$

Ecuación (5.1)

Donde:

x = variable a transformar

a = valor máximo de la variable

b = valor mínimo de la variable

En el caso del Ψ_{foliar} , dada su naturaleza negativa y por tanto su relación inversa con las otras variables, se calculó primero su valor absoluto y después se usó la siguiente ecuación:

$$Y = 1,1 - (0,1 + (x-b)/(a-b)*0,9)$$

Ecuación (5.2)

Luego se calculó la media ponderada de todas las variables transformadas, usando la siguiente ponderación: CT (70%), N (2%), K (2%), P (2%), Ca (0,5%), Mg (0,5%), S (0,5%), Mn (0,5%), Fe (0,5%), B (0,5%), Zn (0,5%), Cu (0,5%), A (6%), WUE (5%), Φ_{PSII} (3%), Fv/Fm (3%) y Ψ_{foliar} (3%). Esta media fue ordenada de mayor a menor con el fin de obtener por cada localidad el escalafón de los mejores genotipos por su desempeño en vigor, fisiológico y nutricional. Las pruebas estadísticas se realizaron con el programa InfoStat versión 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).

5.3. Resultados y discusión

5.3.1. Crecimiento (vigor)

En el año 1 después de la siembra, la circunferencia del tronco (CT) no presentó diferencias significativas entre genotipos en El Paujil, y el vigor que osciló entre 7,0 y 7,94 cm. En San Vicente

del Caguán el genotipo ECC 64 presentó una CT estadísticamente superior (10,69 cm) al ECC 35, que tuvo la menor media (7,78 cm). Para el año 2, en San Vicente del Caguán se estimó una media general de 16,54 cm, en contraste con El Paujil, que tuvo un promedio de 12,02 cm.

En el tercer año, los genotipos ECC 64 (21,95 cm), ECC 66 (21,30 cm), ECC 29 (20,66 cm) en El Paujil y ECC 64 (27,48 cm), ECC 25 (25,75 cm), ECC 90 (23,63 cm) en San Vicente del Caguán, expresaron el mayor vigor, comparados con el IAN 873 (17,41 y 22,41 cm, respectivamente). El ECC 64 demostró un crecimiento óptimo a través de los tres años de seguimiento en ambas localidades (figura 5.4).

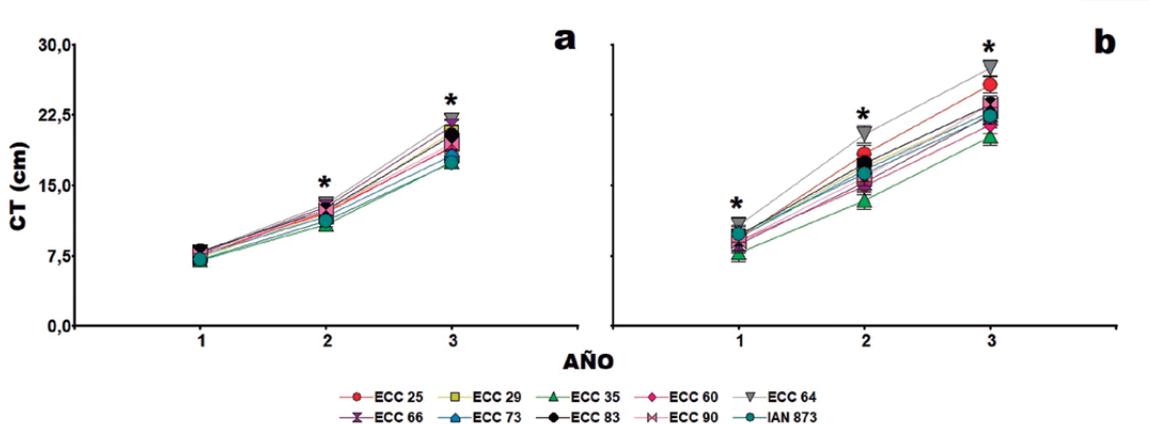


Figura 5.4. Medias de la circunferencia del tronco (cm) (vigor) de nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en dos campos clonales a gran escala (CCGE) establecidos en El Paujil (a) y San Vicente del Caguán (b) en el Caquetá, Colombia, durante los años 1, 2, 3 después de la siembra. Los valores representan la media y las barras el error estándar. Los asteriscos (*) indican diferencias significativas entre genotipos en cada año (Prueba LSD; $P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

El resultado reportado en este estudio para el genotipo ECC 64 (CT = 20,44 cm) en San Vicente del Caguán en el año 2 después de la siembra fue superior a lo reportado por Sterling *et al.* (2015) para el clon FX 4098 (13 cm), en sistema agroforestal en el Caquetá, y por Gonçalves *et al.* (1993) en el clon PB 235 (18,95 cm) en Brasil. Asimismo, este vigor fue similar a los reportes de Rivano *et al.* (2010) en los clones PB 314 (20,2 cm) y PB 312 (22 cm) establecidos en campos clonales a gran escala en Ecuador.

El genotipo ECC 64 para el año 3, expresó mayor vigor (CT = 27,48 cm) que los clones PB 235 (25,63 cm) (Gonçalves *et al.*, 1993), IAC 312 (22,80 cm) (Gonçalves, Bortoletto, y Furtado, 2001) y FX 4098 (17,26 cm) (Sterling *et al.*, 2019).

5.3.2. Contenido químico nutricional

• Edáfico

Según la figura 5.5a, en el primer año después de la siembra en San Vicente del Caguán se presentaron los mayores niveles de Zn (0,95 mg/kg), S (9,31 mg/kg), Mn (23,36 mg/kg), D.A (1,33 g/cm³), Sat.Na (1,53%), Sat.Ca (22,78%), Sat.Mg (6,34%), Ca/K (20,91), (Ca+Mg)/K (26,68), Mg.l (74,46 mg/kg), Na.l (34,21 mg/kg) y Ca.l (437 mg/kg). En El Paujil hubo un mayor contenido de B (0,11 mg/kg), N (0,11%), P (2,54 mg/kg), Sat.Al (83,71%), M.O (2,23%), C.O (1,29%) y limo (26,13%).

Para el año 2 (figura 5.5b), El Paujil presentó los mayores contenidos de Fe (299,63 mg/kg), P (0,99 mg/kg), Ac.l (1068,50 mg/kg), K.l (68,91 mg/kg), Sat.Al (81,58%) y C.I.C.E (13,72 meq/100g). En San Vicente del Caguán, los parámetros más altos fueron Mn (30,18 mg/Kg), Ca.l (407,44 mg/kg), Mg.l (75,31 mg/kg), Na.l (28,63 mg/kg), C.E (0,14 dS/m), Sat.Mg (9,95%), Sat,Ca (32,63%) y Ca/K (18,22).

De esta manera, para el año 3, El Paujil (figura 5.5c) reportó los mayores contenidos de arena (49,88%), Sat.Al (81,93%), Ac.l (735,94 mg/Kg), C.I.C.E (9,89 meq/100g) y relación Ca/Mg (3,20). Del mismo modo, en San Vicente del Caguán, se reportaron mayores valores de pH (4,69), arcilla (49,13%), S (8,82 mg/Kg), Zn (2,28 mg/Kg), N (0,15%), Mn (53,38 mg/Kg), M.O (3,12%), C.O (1,81%), Sat.K (2,98%), Sat.Mg (13,79%), Sat.Ca (33,68%), C.E (0,21 dS/m), Ca.l (526,38 mg/Kg), Mg.l (123,44 mg/Kg) y relación Mg/K (5,33) (figura 5.5c).

En ambas localidades, a través de los tres años de seguimiento, se evidenció una alta acidez y saturación de aluminio, probablemente como resultado de los ácidos orgánicos provenientes de la descomposición de la materia orgánica que desempeñan una función de regulación del pH en el suelo, fenómeno común (humificación y acidificación) en las plantaciones de caucho (Cheng *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2013). Peña y Cardona, (2010) indican que los suelos de la Amazonia colombiana se caracterizan por su alta acidez (pH 3.5-5.5) con altas concentraciones de aluminio en concentraciones tóxicas, siendo una condición natural.

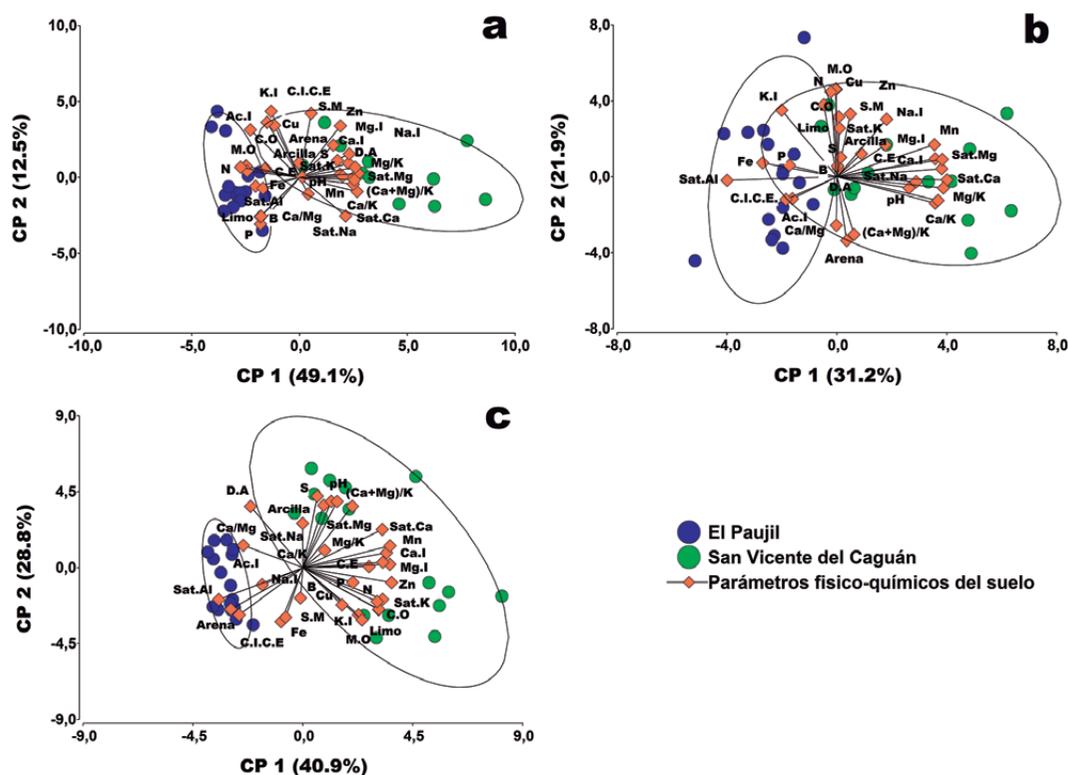


Figura 5.5. Análisis de componentes principales (gráfico biplot) para 32 parámetros físico-químicos edáficos cuantificados en dos localidades de Caquetá, Colombia, en los años 1, 2 y 3 después del establecimiento de dos campos clonales de caucho (*H. brasiliensis*). a. año 1; b. año 2; y c. año 3. Clave: pH, C.E: conductividad eléctrica, S.M: saturación de humedad; C.I.C.E: capacidad de intercambio catiónico efectiva; C.O: carbono orgánico; M.O: materia orgánica; N: nitrógeno total; limo; arena; arcilla; D.A: densidad aparente; K.I: potasio intercambiable; Ca.I: calcio intercambiable; Mg.I: magnesio intercambiable, Na.I: sodio intercambiable; Ac.I: acidez intercambiable; Fe: hierro; Mn: manganeso; Cu: cobre; Zn: zinc; B: boro; P: fósforo; S: azufre; Sat.K: saturación de potasio; Sat.Ca: saturación de calcio; Sat.Mg: saturación de magnesio; Sat.Na: saturación de sodio; Sat.Al: saturación de aluminio; Ca/Mg: relación calcio/magnesio; Ca/K: relación calcio/potasio, Mg/K: relación magnesio/potasio; Ca+Mg/K: relación calcio+magnesio/ potasio.

Fuente: Elaboración propia.

El carbono orgánico del suelo aumentó con la edad de la plantación del 1,14 % al 1,44 % ,probablemente por los residuos orgánicos provenientes de la hojarasca que se han acumulado en la superficie del suelo, sin embargo, el porcentaje de C en el suelo puede variar mucho en el

tiempo, ya sea aumentando o disminuyendo, dependiendo de los aportes de C a través de la descomposición de las hojas y ramas de la planta o las emisiones de CO₂ en la mineralización de la materia orgánica (Blagodatsky, Xu y Cadisch, 2016).

También se observaron aumentos de la materia orgánica (1,96 - 2,48%), densidad aparente (1,29 - 1,34 g/cm³) y un aumento indirecto de la cantidad de sales presentes en el suelo (CE) con valores de 0,06 - 0,13 - 0,15 dS/m para el año 1, 2 y 3, respectivamente, a pesar del aumento con el tiempo, se ubica en un rango deficiente, pero con mayor capacidad de transmitir corriente eléctrica en San Vicente del Caguán (0,14 dS/m) correspondiente a los contenidos más altos de magnesio, calcio y una relación de nutrientes aceptable (Mg/K).

Los macronutrientes primarios (nitrógeno, fósforo, potasio), el macronutriente secundario (azufre) y los micronutrientes (boro, cobre, zinc) son bajos en los dos campos clonales a excepción del contenido de hierro, que se encuentra en un nivel excesivo, el manganeso es alto y los contenidos de calcio y magnesio se ubican en un rango medio. La baja disponibilidad de P y alta concentración de Fe se atribuye al valor del pH fuertemente ácido, ya que un valor de pH < 5 permite el rompimiento de la estructura de los minerales arcillosos y en consecuencia libera aluminio (Al³⁺) y hierro (Fe³⁺), formando fosfatos insolubles de hierro y aluminio no asimilables por las plantas (Jaramillo, 2002).

El contenido de hierro también está asociado con la densidad aparente, como se evidenció en la localidad de San Vicente del Caguán para el año 1 (figura 5a). Sin embargo, correspondió al valor más bajo (1,29 g/cm³) en comparación al año 2 y 3 donde se observaron valores de 1,34 g/cm³ y 1,41 g/cm³, respectivamente. La CICE para los años 1, 2 y 3 correspondió a valores medios de 10,74 meq/100g, 10,50 meq/100g y 8,88 meq/100g por debajo de lo óptimo para el cultivo de caucho (15 meq/100g) (Ugwa, Orimoloye y Esekhide, 2005).

• Foliar

El análisis de componentes principales mostró en El Paujil en el año 1 después de la siembra que el genotipo ECC 64 tuvo los mayores contenidos de Cu (10,38 mg/kg), Ca (0,77%), Sat. Ca (50,03%), Ca/Mg (2,78) y Ca/K (1,66) (figura 5.6a). En el mismo sentido, en San Vicente del Caguán el ECC 35 tuvo los mayores contenidos de Ca (0,81%), Sat.Ca (50,30%), relación Ca/K (2,15), Mg/K (1,02) y Ca+Mg/K (3,17) (figura 5.6b).

Para el año 2, en El Paujil el genotipo ECC 60 presentó mayor contenido de Fe (115,55 mg/kg), Zn (27,35 mg/kg), N (315%), P (0,24%), K (0,89%), Na (50,75 mg/kg), S (0,18%), Mg (0,23%) y Sat.Mg (21,55%) (figura 5.6c). En San Vicente del Caguán, el ECC 35 tuvo mayores contenidos de Ca, Ca/K, Mg/K y Ca+Mg/K con medias de 1,03%, 2,55%, 1,31% y 3,86%, respectivamente (figura 5.6d).

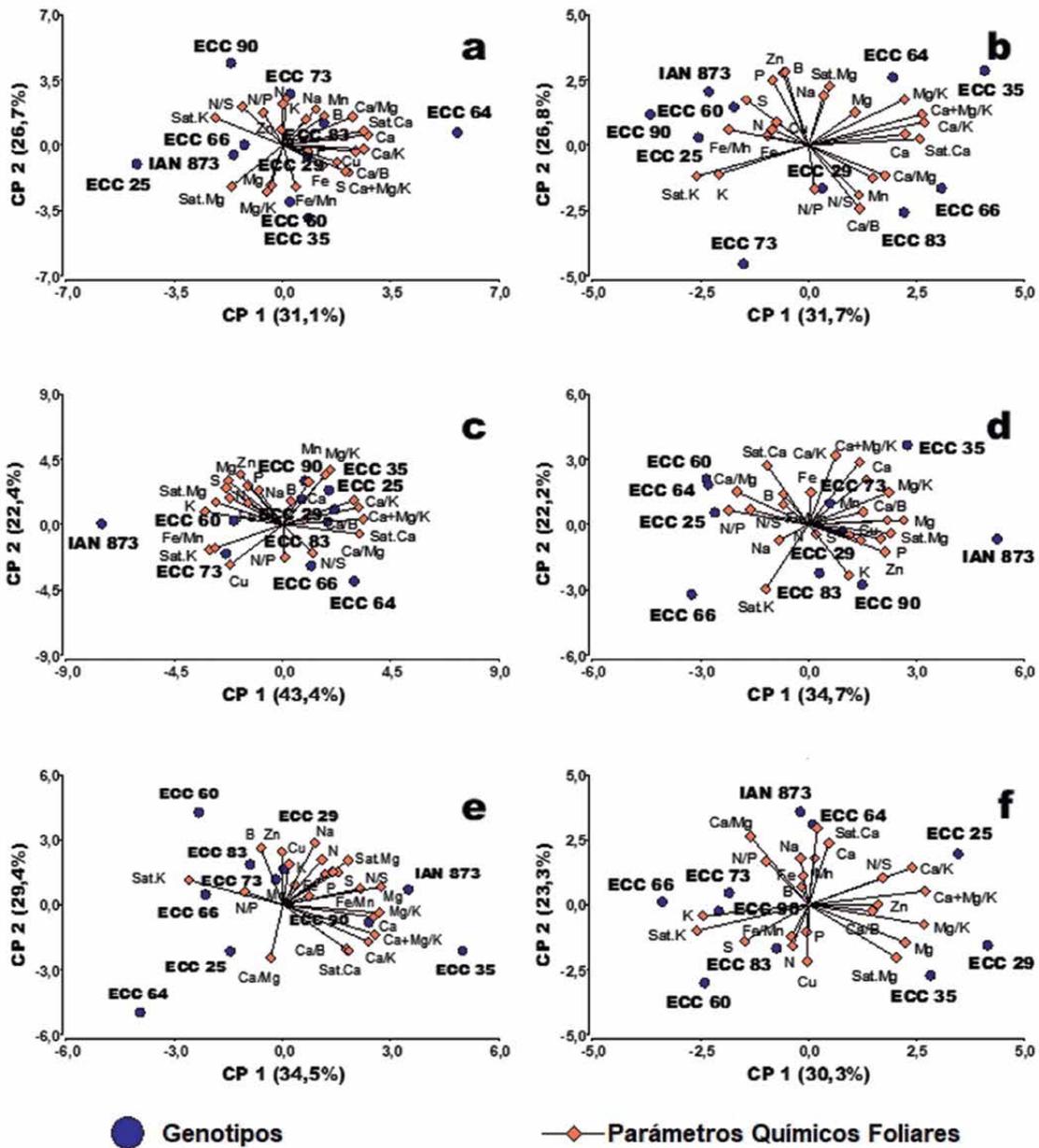


Figura 5.6. Análisis de componentes principales (gráfico biplot) para veintitrés parámetros químicos foliares cuantificados en nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) durante los años 1, 2 y 3 después del establecimiento de dos campos clonales a gran escala en dos localidades del Caquetá, Colombia. a y b, año 1; c y d, año 2; e y f, año 3; a, c y e, El Paujil; b, d y f, San Vicente del Caguán. Clave: N: Nitrógeno; P: Fósforo; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio; S: Azufre; Cl: Cloro; Fe: Hierro; Mn: Manganeso; Cu: Cobre; Zn: Zinc; B: Boro; Na: Sodio, Sat.K: Saturación de potasio; Sat.Ca: Saturación de

calcio; Sat.Mg: Saturación de Magnesio, Ca/Mg: Relación calcio y magnesio; Ca/K: Relación calcio y potasio, Ca+Mg/K: relación calcio+magnesio/potasio, N/S: relación nitrógeno y azufre, N/P relación nitrógeno fósforo, Ca/B relación calcio y boro y Fe/Mn relación hierro manganeso.

Fuente: Elaboración propia.

En el año 3, en El Paujil el genotipo ECC 90 tuvo mayores niveles de Ca (0,93%), Ca/B (240,50), Ca/K (2,44), Mg/K (1,07), Ca+Mg/K (3,51) y Sat.Ca (54,05) (figura 5.6e). En San Vicente del Caguán, el ECC 83 presentó niveles superiores de N (3,38%), P (0,21%), Cu (7,81 mg/kg) y Fe/Mg (0,10) (figura 5.6f).

Según Shorrocks (1965), en el tercer año del cultivo del caucho, los niveles de absorción de nutrientes en kg/ha/año corresponden a: 149,6 de N, 14,6 de P, 57,9 de K, 98,8 de Ca, 20,3 de Mg, 14,3 de S, 0,14 de B, 0,80 de Cu, 1,08 de Fe, 0,35 Mg y 0,2 de Zn. En este estudio en San Vicente se registraron contenidos bajos de N (3,59%), P (0,21%), K (0,83%), Mg (0,26%) y en El Paujil valores bajos de 3,39% de N, 0,21% de P, 0,84% de K, y 0,22% de Mg, lo que indica un bajo contenido de nutrientes esenciales en los genotipos élites.

Los resultados de este estudio son similares a los reportados por Sterling y Rodríguez (2012), para un campo clonal a gran escala de caucho de 3 años en Belén de los Andaquíes (Caquetá) (3,00% de N, 0,21% de P, 1,27% de K y 0,23% de Mg). Según Bataglia y Santos (1999), los nutrientes N, P y K en la planta de caucho presentan una total interdependencia por lo que sus relaciones tanto en el suelo como en el tejido son de vital importancia para el crecimiento, desarrollo y producción del árbol del caucho.

La relación de N/P (10,35) reportada por Escobar (2004) en plantaciones establecidas con los clones CNSAM 7905, FX 3999 PI, FX 3864 P2, IAN 6158 P4, en el Centro de Investigaciones de Macagual (Florencia, Caquetá) es inferior a los encontrado en este estudio (N/P=16,9). Asimismo, en el estudio de Escobar (2004) los valores más altos de las relaciones N/K P/S, N/S, Fe/B y los valores más bajos de relaciones N/Fe y K/P correspondieron a clones y lotes con mayor producción de látex.

Una equilibrada disponibilidad a través del suministro de nutrientes es esencial para el crecimiento (Carvajal et al., 2012), y expresión de su máximo potencial genético (Backes et al., 2018). Los nutrientes de mayor requerimiento en las plantas de *Hevea* reportados por Shorrocks (1965) son nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. El clon IAN 873 indicó mayor contenido de N (3,66%), P (0,23%), K (0,92), Ca (0,88%), Mg (0,28%) y S (0,26%). San Vicente del Caguán presentó el mayor contenido de N (3,59%) y El Paujil indicó mayor K (0,84%) y S (0,23%).

5.3.3. Desempeño fisiológico

Los estudios fisiológicos en campo (ecofisiología) permiten estudiar los procesos que controlan el crecimiento, la reproducción, la supervivencia, la abundancia y la distribución de las plantas en diferentes condiciones ambientales a partir del análisis de la interacción de los mecanismos fisiológicos dependientes del medio ambiente (Romero, Ayala y Ruiz, 2007). En el presente estudio la mayor tasa de asimilación de CO_2 ($A = 18,44 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) y la menor eficiencia fotoquímica máxima potencial del fotosistema II ($F_v/F_m = 0,75$) se presentaron en la época lluviosa.

La estación de transición solo expresó diferencias estadísticas en el Ψ_{foliar} con $-0,14 \text{ MPa}$ y obtuvo la mayor media en la eficiencia de operación del fotosistema II (Φ_{PSII}). En periodos secos las altas condiciones de luz pueden causar daño al aparato fotosintético (Ploschuk et al., 2014); en Brasil la tasa fotosintética disminuyó un 27% entre la estación lluviosa y seca en los clones FX 3864 y RRIM 600 establecidos a gran escala (Cavalcante y Conforto, 2006). En la presente investigación los genotipos élites presentaron las menores medias de A ($15,24 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) en el periodo seco, junto con un aumento en el uso eficiente del agua extrínseca (WUE_e) y disminución (más negativo) en potencial hídrico foliar con valores de $4,19 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}$ y $-0,18 \text{ MPa}$, respectivamente.

La fotosíntesis es influenciada directamente por la temperatura ambiente y proporciona los recursos para el crecimiento, desarrollo, supervivencia y reproducción de la planta, y el estado fotosintético proporciona información valiosa para evaluar el desempeño potencial en un nuevo entorno (Kositup, Kasemsap y Améglio, 2008; Li et al., 2015).

En este estudio, en San Vicente del Caguán se observaron las mayores medias de tasas fotosintéticas ($A = 16,54 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) (figura 5.7a), uso eficiente del agua ($WUE_e = 3,90 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}$) (figura 5.7b) y un potencial hídrico (más cercano a cero) ($\Psi_{\text{foliar}} = -0,15 \text{ MPa}$). Sin embargo, hubo menores medias de F_v/F_m ($0,76$) (figura 5.7d). En El Paujil se registró una mayor eficiencia del fotosistema II ($\Phi_{\text{PSII}} = 0,23$) (figura 5.7c), una mayor relación F_v/F_m ($0,78$) (figura 5.7d), sin evidenciar un daño fotoinhibidor en fotosistema II (Senevirathna, Stirling y Rodrigo, 2003). En esta localidad se evidenció además un Ψ_{foliar} ($-0,17 \text{ MPa}$) (figura 5.7e) y una menor A ($16,34 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) (figura 5.7a).

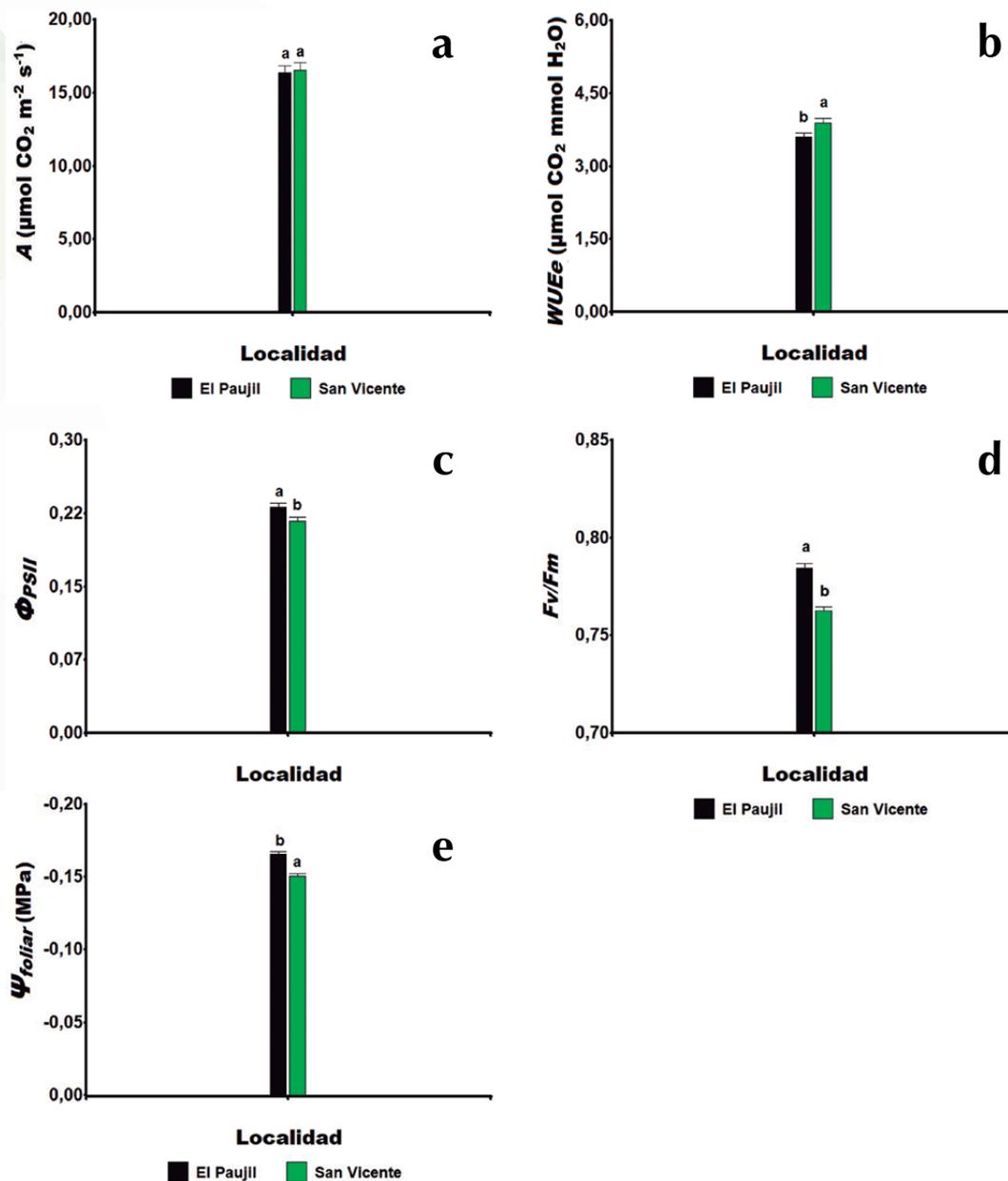


Figura 5.7. Medias de las variables fisiológicas estimadas para dos campos clonales a gran escala de caucho (*H. brasiliensis*) en dos localidades del Caquetá, Colombia. Tasa fotosintética (A) (a), uso eficiente del agua extrínseco (WUE_e) (b), eficiencia de operación del fotosistema II (Φ_{PSII}) (c), eficiencia fotoquímica máxima potencial del fotosistema II (F_v/F_m) (d) y el potencial hídrico foliar (Ψ_{foliar}) (e). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

Las variaciones observadas en A responden a la variabilidad genética intraespecífica de cada genotipo, indicando una mayor capacidad fotosintética con respecto a otros clones analizados en estudios similares (Córdoba *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2006; Sterling *et al.*, 2019), factor determinante temprano de los genotipos de alto rendimiento con mayor grado de adaptabilidad a la variante condición ambiental (Nugawela *et al.* 1995). En la figura 5.8a se muestra la media de la tasa de asimilación de CO_2 de los diferentes genotipos estudiados, el IAN 873 obtuvo el mejor desempeño fotosintético ($17,84 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), seguido de los genotipos ECC 90 y ECC 66, mientras que los genotipos ECC 64, ECC 25 y ECC 35 presentaron los valores medios más bajos ($15,30 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$; $15,37 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$; $15,67 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente).

El genotipo ECC 83 registró la mayor media ($4,20 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}$) para el uso eficiente extrínseco del agua (WUE_e) mientras que los genotipos ECC 66 y ECC 73 presentaron las medias más bajas ($3,48$ y $3,52 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}$, respectivamente) (figura 5.8b). El valor medio de Φ_{PSII} osciló entre $0,24$ para IAN 873 y el genotipo ECC 90, hasta $0,21$ en ECC 25, ECC 64 y ECC 73 con una media general de $0,22$ (figura 5.8c). Una disminución en la relación F_v/F_m y Φ_{PSII} a corto plazo podría atribuirse a una regulación negativa de la fotosíntesis causando una limitación en su capacidad máxima como característica prominente en las primeras etapas del establecimiento del campo cuando los árboles de caucho son de corta edad (Iqbal y Rodrigo 2006). La relación F_v/F_m presentó un valor medio general de $0,77$, donde el genotipo ECC 35 presentó la menor media con un valor de $0,76$ y los genotipos ECC 83, ECC 73, ECC 25 y ECC 60 registraron el valor más alto con $0,78$ cada uno (figura 5.8d).

El genotipo con el valor menos negativo de Ψ_{foliar} (MPa) fue ECC 60 con $-0,17$ MPa, seguido de ECC 64 con $-0,16$, los genotipos ECC 35, ECC 73 y ECC 66 presentaron la media menos negativa con $-0,15$ MPa cada uno, la media general fue de $-0,15$ MPa (figura 5.8e). El estrés hídrico aumenta en la medida en que es más negativo el potencial hídrico foliar y se presenta como estrategia de funcionamiento el aumento en el uso eficiente del agua a medida que la condición de estrés se agudiza (Chen *et al.*, 2010). En este estudio no se evidenciaron potenciales foliares que indiquen condiciones de estrés hídrico en los genotipos.

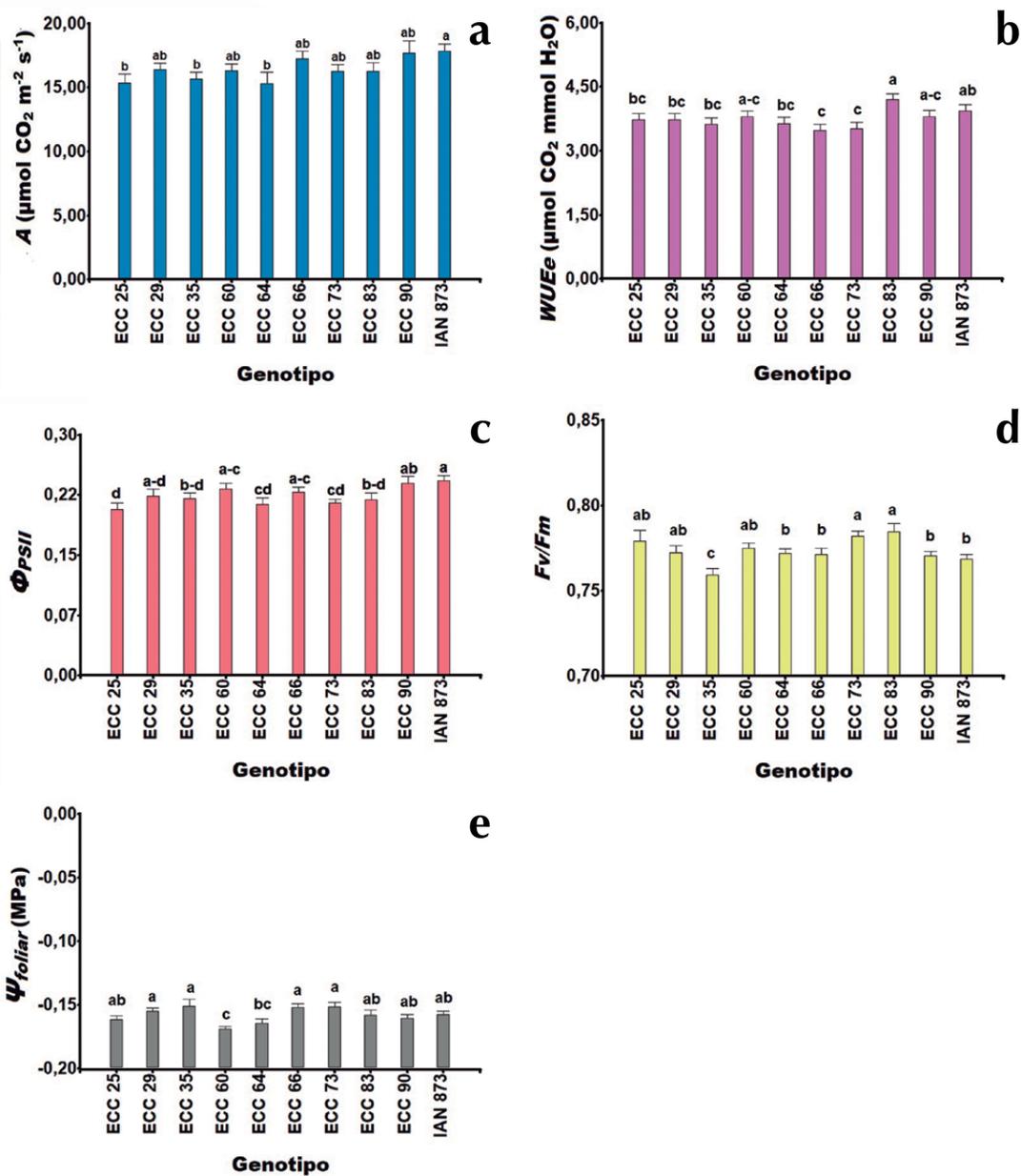


Figura 5.8. Medias de las variables fisiológicas estimadas para nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) y el IAN 873 (control) en el Caquetá, Colombia. Clave: Tasa fotosintética (A) (a), uso eficiente del agua extrínseco (WUE_e) (b), eficiencia de operación del fotosistema II (Φ_{PSII}) (c), eficiencia fotoquímica máxima potencial del fotosistema II (F_v/F_m) (d) y el potencial hídrico foliar (Ψ_{foliar}) (e). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

En general, en la figura 5.9a se muestran las medias de A para la interacción localidad por genotipo. En este sentido, el genotipo ECC 90 obtuvo mayor tasa de asimilación con $18,85 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en San Vicente del Caguán. En El Paujil sobresale IAN 873 ($18,63 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), mientras ECC 35 y ECC 73 presentan menor desempeño con $14,42 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y $15,25 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$. En San Vicente del Caguán los valores más bajos fueron representados por los genotipos ECC 25 y ECC 64 con $14,92$ y $15,17 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente.

Según la figura 5.9b, en San Vicente del Caguán se observaron los mayores valores de WUE_e con $4,89$ y $4,2 \mu\text{mol CO}_2 / \text{mmol H}_2\text{O}$ para los genotipos ECC 83 y ECC 60, respectivamente. En El Paujil hubo medias altas de WUE_e para IAN 873 y ECC 25 con valores de $3,94$ y $3,86 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}$, respectivamente. Los genotipos ECC 66, ECC 64 y ECC 60, fueron los menos eficientes en el uso del agua. Los genotipos ECC 73 y ECC 25 para San Vicente del Caguán presentaron los menores valores de WUE_e con $3,58$ y $3,59 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}$, respectivamente.

En San Vicente del Caguán las medias más bajas de Φ_{PSII} fueron representadas por los genotipos ECC 25 ($0,19$) y ECC 64 ($0,20$), los valores más altos de dicha localidad fueron $0,25$ y $0,23$, expresados por los genotipos ECC 90 y ECC 60, respectivamente (figura 5.9c). En El Paujil el valor más bajo fue de $0,22$ para ECC 35 y ECC 73, mientras que en el IAN 873 y el ECC 29 las medias fueron de $0,26$ y $0,24$, respectivamente (figura 5.9c).

El potencial hídrico de la hoja (Ψ_{foliar}) no presenta una respuesta inmediata a la dinámica del agua en el suelo causada por la intensidad de luz durante el día (Ayutthaya et al., 2011). El Ψ_{foliar} (MPa) en El Paujil presentó la media más negativa ($-0,18$ MPa) en el genotipo ECC 60, mientras que la media menos negativa se estimó en el IAN 873 (figura 5.10e). Variaciones en el potencial hídrico pueden causar disminución en la eficiencia fotoquímica y aumentar el flujo de disipación de energía por calor en plantas jóvenes (Silva, 2014). La relación F_v/F_m para San Vicente del Caguán fue alta ($0,77$) en los genotipos ECC 83, ECC 73, ECC 25 y ECC 60. Sin embargo, fue inferior a lo observado en El Paujil (ECC 83= $0,80$) (figura 5.9d).

5.3.4. Identificación de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 1

En la tabla 5.1 se presentan los mejores genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho por su vigor, comportamiento nutricional y desempeño fisiológico deseables en dos campos clonales a gran escala, a partir de la calificación ponderada de las principales variables priorizadas por su importancia agronómica para el cultivo del caucho.

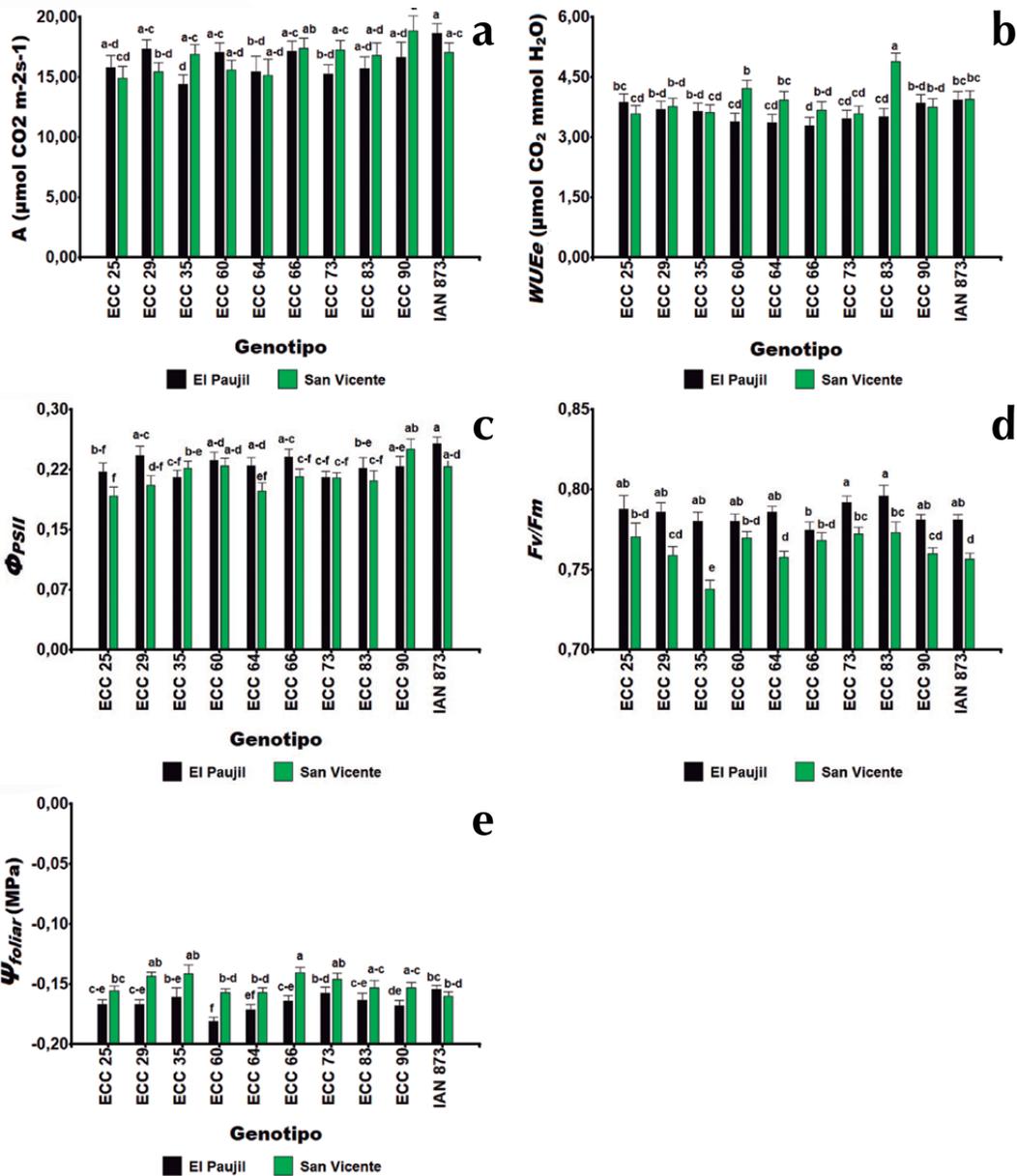


Figura 5.9. Medias de las variables fisiológicas estimadas para nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) y el IAN 873 (control) en dos campos clonales a gran escala (CCGE) establecidos en dos localidades del Caquetá, Colombia. Clave: Tasa fotosintética (A) (a), uso eficiente del agua extrínseco (WUE_e) (b), eficiencia de operación del fotosistema II (Φ_{PSII}) (c), eficiencia fotoquímica máxima potencial del fotosistema II (F_v/F_m) (d), y potencial hídrico foliar (Ψ_{foliar}) (e). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.1. Matriz de identificación de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho comparados con el clon IAN 873 (testigo), basada en rasgos de crecimiento (vigor), comportamiento nutricional y desempeño fisiológico en dos campos clonales a gran escala en el Caquetá (Colombia)

Localidad	Genotipo	CT ^a	N ^b _{CT}	N	N _h	P	N _p	K	N _k	Ca	N _{ca}	Mg	N _{mg}	S	N _s	Fe	N _{fe}	Mn	N _{mn}	Cu	N _{cu}	Zn	N _{zn}	B	N _b	A	N _a	WUE _e	WUE _e	phiPSII	N _{psi}	FvFm	N _{fvm}	Pot. Foliar	N _{pot}	Calificación ^c	Escalafón
El Pauji	ECC 64	22,17	1,00	3,19	0,10	0,20	0,10	0,78	0,15	0,81	0,33	0,18	0,10	0,23	0,33	68,67	0,47	285,08	0,49	8,82	0,66	18,84	0,10	59,75	0,10	15,44	0,32	3,56	0,10	0,23	0,40	0,79	0,57	-0,17	0,45	0,791	1
	ECC 66	21,41	0,86	3,40	0,57	0,20	0,10	0,83	0,38	0,78	0,16	0,20	0,30	0,23	0,33	62,98	0,29	232,75	0,10	8,58	0,55	22,08	0,35	69,25	0,50	17,13	0,68	3,88	0,49	0,24	0,66	0,78	0,10	-0,16	0,69	0,743	2
	ECC 29	21,05	0,79	3,36	0,48	0,21	0,40	0,84	0,43	0,88	0,72	0,23	0,60	0,23	0,33	67,18	0,43	352,08	1,00	8,32	0,44	25,13	0,59	62,48	0,22	17,36	0,73	3,91	0,53	0,24	0,68	0,79	0,57	-0,17	0,58	0,735	3
	ECC 83	20,81	0,74	3,45	0,69	0,20	0,10	0,77	0,10	0,82	0,38	0,23	0,60	0,22	0,10	63,25	0,30	341,75	0,92	8,66	0,59	26,29	0,68	66,42	0,38	15,68	0,37	3,83	0,43	0,23	0,36	0,80	1,00	-0,16	0,72	0,673	4
	ECC 90	19,82	0,56	3,47	0,73	0,22	0,70	0,83	0,38	0,88	0,72	0,22	0,50	0,22	0,10	56,85	0,10	331,42	0,84	8,49	0,52	26,19	0,67	71,74	0,61	16,63	0,57	3,79	0,38	0,23	0,38	0,78	0,36	-0,17	0,55	0,546	5
	ECC 60	19,17	0,43	3,27	0,28	0,22	0,70	0,87	0,57	0,77	0,10	0,22	0,50	0,23	0,33	85,38	1,00	312,08	0,70	8,70	0,61	28,78	0,87	81,04	1,00	17,05	0,66	3,73	0,31	0,24	0,55	0,78	0,31	-0,18	0,10	0,451	6
	ECC 25	19,08	0,42	3,30	0,35	0,21	0,40	0,84	0,43	0,80	0,27	0,21	0,40	0,22	0,10	60,53	0,22	302,83	0,63	7,53	0,10	24,98	0,58	67,57	0,43	15,82	0,40	4,12	0,78	0,22	0,25	0,79	0,66	-0,17	0,58	0,442	7
	IAN 873	17,41	0,10	3,59	1,00	0,23	1,00	0,96	1,00	0,83	0,44	0,27	1,00	0,26	1,00	78,38	0,78	233,00	0,10	9,61	1,00	30,39	1,00	60,59	0,14	18,63	1,00	4,30	1,00	0,26	1,00	0,78	0,36	-0,16	1,00	0,339	8
	ECC 73	18,15	0,24	3,42	0,62	0,22	0,70	0,90	0,72	0,83	0,44	0,21	0,40	0,23	0,33	58,45	0,15	308,17	0,67	8,99	0,73	28,67	0,87	73,29	0,67	15,25	0,28	3,76	0,35	0,22	0,10	0,79	0,83	-0,16	0,90	0,825	9
	ECC 35	17,51	0,12	3,43	0,64	0,23	1,00	0,80	0,24	0,93	1,00	0,26	0,90	0,23	0,33	68,68	0,47	321,00	0,77	8,18	0,38	24,45	0,54	66,67	0,39	14,42	0,10	3,95	0,57	0,22	0,10	0,78	0,31	-0,16	0,79	0,223	10
San Vicente	ECC 64	28,04	1,00	3,46	0,10	0,20	0,10	0,76	0,16	0,82	0,38	0,23	0,10	0,20	0,10	63,16	0,37	367,08	0,29	6,95	0,10	23,93	0,11	86,58	1,00	15,17	0,16	3,31	0,10	0,20	0,19	0,76	0,61	-0,16	0,24	0,768	1
	ECC 25	26,40	0,90	3,51	0,23	0,20	0,10	0,82	0,52	0,85	0,55	0,25	0,36	0,21	0,25	67,13	0,50	337,92	0,10	7,46	0,34	29,76	0,83	74,63	0,67	14,92	0,10	3,40	0,22	0,19	0,10	0,77	0,95	-0,16	0,28	0,652	2
	ECC 90	23,84	0,49	3,57	0,39	0,21	0,55	0,89	0,94	0,80	0,27	0,25	0,36	0,25	0,35	59,84	0,25	349,08	0,17	8,54	0,84	28,87	0,72	71,38	0,58	18,85	1,00	3,88	0,85	0,25	1,00	0,76	0,67	-0,15	0,42	0,565	3
	ECC 83	24,46	0,56	3,80	1,00	0,21	0,55	0,87	0,82	0,81	0,33	0,27	0,61	0,21	0,25	65,09	0,43	398,17	0,47	8,79	0,96	26,22	0,40	58,02	0,21	16,81	0,53	3,44	0,27	0,21	0,39	0,77	1,00	-0,15	0,42	0,564	4
	ECC 29	24,46	0,56	3,51	0,23	0,20	0,10	0,77	0,22	0,78	0,16	0,27	0,61	0,22	0,40	78,39	0,89	398,67	0,50	7,77	0,48	31,10	1,00	57,72	0,20	15,43	0,22	3,86	0,81	0,21	0,32	0,76	0,64	-0,14	0,82	0,538	5
	ECC 73	23,63	0,46	3,64	0,58	0,21	0,55	0,90	1,00	0,86	0,61	0,25	0,36	0,22	0,40	69,51	0,59	473,08	1,00	7,77	0,48	26,13	0,39	54,08	0,10	17,24	0,63	3,73	0,64	0,21	0,44	0,77	0,97	-0,15	0,73	0,529	6
	IAN 873	23,40	0,43	3,74	0,84	0,22	1,00	0,89	0,94	0,93	1,00	0,29	0,87	0,26	1,00	55,48	0,10	424,58	0,68	8,88	1,00	27,69	0,58	74,08	0,65	17,05	0,59	3,42	0,25	0,23	0,67	0,76	0,59	-0,16	0,10	0,483	7
	ECC 66	22,78	0,36	3,62	0,52	0,21	0,55	0,89	0,94	0,79	0,21	0,25	0,36	0,21	0,25	64,66	0,42	369,50	0,31	7,87	0,53	23,82	0,10	66,45	0,44	17,39	0,67	4,00	1,00	0,22	0,47	0,77	0,87	-0,14	1,00	0,466	8
	ECC 60	21,90	0,25	3,51	0,23	0,21	0,55	0,82	0,52	0,77	0,10	0,24	0,23	0,22	0,40	63,63	0,38	359,67	0,24	8,41	0,78	25,68	0,33	86,37	0,99	15,59	0,25	3,52	0,37	0,23	0,67	0,77	0,92	-0,16	0,24	0,309	9
	ECC 35	20,68	0,10	3,53	0,29	0,22	1,00	0,75	0,10	0,88	0,72	0,30	1,00	0,21	0,25	81,51	1,00	387,33	0,43	8,46	0,80	26,17	0,39	77,33	0,74	16,92	0,56	3,97	0,95	0,23	0,64	0,74	0,10	-0,14	0,96	0,261	10

^a Nota media

^b Nota media normalizada (N) [0,1 - 1]. 0,1: clon menos deseable. 1: clon más deseable

^c Nota media ponderada

Clave: circunferencia de tallo (CT) en el año 3, nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), boro (B), tasa fotosintética neta (A), uso eficiente del agua extrínseco (WUEe), eficiencia de operación del fotosistema II (φPSII), eficiencia fotoquímica máxima potencial del fotosistema II (FvFm) y el potencial hídrico foliar (Ψ_{foliar})

5.4. Consideraciones finales

Las evaluaciones en diferentes ambientes (localidades y épocas) durante la etapa juvenil, permitieron identificar genotipos con potenciales específicos para los parámetros fisiológicos y agronómicos de mayor interés. Los genotipos ECC 64 y ECC 25 presentaron mayor vigor en San Vicente del Caguán y El Paujil. Se evidenció una alta acidez y saturación de aluminio; los macronutrientes primarios (N, P, K), el macronutriente secundario (S) y los micronutrientes esenciales (B, Cu, Zn) fueron bajos a excepción del contenido de hierro, que se encontró en un nivel excesivo en el suelo en San Vicente del Caguán y El Paujil. San Vicente del Caguán presentó el mayor contenido de N y El Paujil indicó mayor K y S foliar. El clon IAN 873 presentó los mayores contenidos nutricionales foliares (N, P, K, Ca, Mg y S).

Las evaluaciones permitieron identificar genotipos con potenciales específicos en los parámetros fisiológicos. La tasa fotosintética de los genotipos evaluados, exceptuando al testigo IAN 873, fue superior en el periodo lluvioso. En contraste, durante época seca hay menor asimilación de CO₂ y aumento del uso eficiente del agua, especialmente en San Vicente del Caguán. Los genotipos ECC 90, ECC 66 y ECC 73 expresaron características fisiológicas destacadas en San Vicente del Caguán y ECC 29, IAN 873 y ECC 66 presentaron mejor desempeño fotosintético en El Paujil.

Este estudio permite concluir, a partir de la matriz de identificación (tabla 5.1), que los genotipos caquetenses selección ECC 1 más sobresalientes comparados con el clon IAN 873 (testigo) de acuerdo a su vigor y desempeño nutricional y fisiológico para El Paujil fueron: ECC 64, ECC 66, ECC 29, ECC 83, ECC 90, ECC 60 y ECC 25; y para San Vicente del Caguán: ECC 64, ECC 25, ECC 90, ECC 83, ECC 29 y ECC 73.

5.5. Referencias bibliográficas

- Ahmad, B., Idris, H. y Sulong, S. H. (2009). Early selection of promising high yielding *Hevea* progenies based on selected physiological and stomatal characteristics. *J. Rubber Res.*, 12, 140-150.
- Annamalainathan, K. George, G., Joy, S., Thomas, S., y Jacob, J., (2010). Drought induced changes in photosynthesis and chloroplast protein in *Hevea brasiliensis*. *Natural Rubber Research*, 23, 55-63.
- Ayutthaya, S., Do, F. C., Pannangpetch, K., Junjittakarn, J., Maeght, J. L., Rocheteau, A. y Cochard, H. (2011). Water loss regulation in mature *Hevea brasiliensis*: Effects of intermittent drought in the rainy season and hydraulic regulation. *Tree Physiol.*, 31, 751-762. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tp058>
- Backes, C., Villas, R., Grava, L., Forlan, P. y Marques, A. (2018). Determination of growth and nutrient accumulation in bella vista onion. *Caatinga*, 31, 246-254.
- Bataglia, O. C. y Santos, W. R. (1999). Efeitos da adubação NPK na fertilidade do solo, nutrição e crescimento da seringueira. *Rev. Bras. Ciência do Solo*, 24, 881-890.
- Blagodatsky, S., Xu, J. y Cadisch, G. (2016). Carbon balance of rubber (*Hevea brasiliensis*) plantations: A review of uncertainties at plot, landscape and production level. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 221, 8-19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.025>
- Cairo, P. A. R., De Oliveira, L. E. M., Mesquita, A. C., Cunha, R. L. (2015). Seasonal variation in the enzymatic activity of the source-sink system of rubber plants in a clonal garden. *J. Rubber Res.*, 18, 139-147.

- Carr, M. K. V. (2012). The water relations of rubber (*Hevea brasiliensis*): A review. *Exp. Agric.*, 48, 176-193. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0014479711000901>
- Cavalcante, J. R. y Conforto, E. C. (2002). Desempenho de cinco clones jovens de seringueira na região do Planalto Ocidental Paulista. *Bragantia*, 61, 237-245. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0006-87052002000300005>
- Cavalcante, J. R. y Conforto, E. C. (2006). Fotossíntese e relações hídricas de duas cultivares jovens de seringueira. *Rev. Bras. Bot.*, 29, 701-708. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-84042006000400019>
- Chen, J. W., Zhang, Q., Li, X. S. y Cao, K. F. (2010). Gas exchange and hydraulics in seedlings of *Hevea brasiliensis* during water stress and recovery. *Tree Physiol.*, 30, 876-885. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq043>
- Cheng, C., Wang, R. y Jiang, J. (2007). Variation of soil fertility and carbon sequestration by planting *Hevea brasiliensis* in Hainan Island, China. *Environ. Sci.*, 19, 348-352.
- Confederación Cauchera Colombiana – CCC. (2015). Estado actual del gremio cauchero colombiano. Bogotá: Confederación Cauchera Colombiana.
- Conforto, E. C., Cavalcante, J. R., Pessoa, J. D. C., Moreno, R. M. B. y Mattoso, L. H. C. (2005). Variação sazonal das trocas gasosas, turgescência relativa do tronco e produtividade em dois cultivares de seringueira em Votuporanga, SP, Brasil. *Acta Bot. Brasílica*, 19, 733-740. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062005000400008>
- Conforto, E. C. (2008). Respostas fisiológicas ao déficit hídrico em duas cultivares enxertadas de seringueira (“RRIM 600” e “GT 1”) crescidas em campo. *Cienc. Rural*, 38, 679-684. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000300013>
- Córdoba, O., Monsalve, D. A., Hernández, J. D., Guerra, J., Gil, J. P., Martínez, E. y Unigarro, C.A. (2018). Gas exchange in young *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll.Arg. (Euphorbiaceae), 19, 91-102. DOI: https://doi.org/https://doi.org/10.21930/rcta.vol19_num1_art:847
- Corpoamazonia. (2013). Clima del Caquetá – Región sur. Recuperado de http://www.corpoamazonia.gov.co/region/Jur_Clima.htm
- De Sena, J. O. A., Zaidan, H. A. y Castro, P. R. C. (2007). Transpiration and stomatal resistance variations of perennial tropical crops under soil water availability conditions and water deficit. *Brazilian Arch. Biol. Technol.*, 50, 225-230. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1516-89132007000200007>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarine, M. G., Gonzales, L., Tablada, M., Robledo, C.W. (2018). InfoStat versión 2018. COMPLETAR
- Do Nascimento, E. A., Mota De Oliveira, L. E., De Castro, E. M., Delú Filho, N., Mesquita, A. C. y Vieira, C. V. (2006). Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). *Cienc. Rural*, 36, 852-857. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000300019>
- Escobar, C. J. (2004). El cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis* Muell.) con enfoque agroforestal. Florencia, Caquetá: Produmedios
- Falqueto, A. R., Silva-Júnior, R. A., Gomes, M. T. G., Martins, J. P. R., Silva, D. M. y Partelli, F. L. (2017). Effects of drought stress on chlorophyll a fluorescence in two rubber tree clones. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, 224, 238-243. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.019>
- Gonçalves, P., Cardoso, M., Mente, E. M., Mello, A., Cecchetti, M. y Ortolani, A. (1993). Desempenho preliminar de clones de seringueira na região de São José do Rio Preto, planalto do Estado de São Paulo. *Bragantia, Campinas*, 2, 119-130.

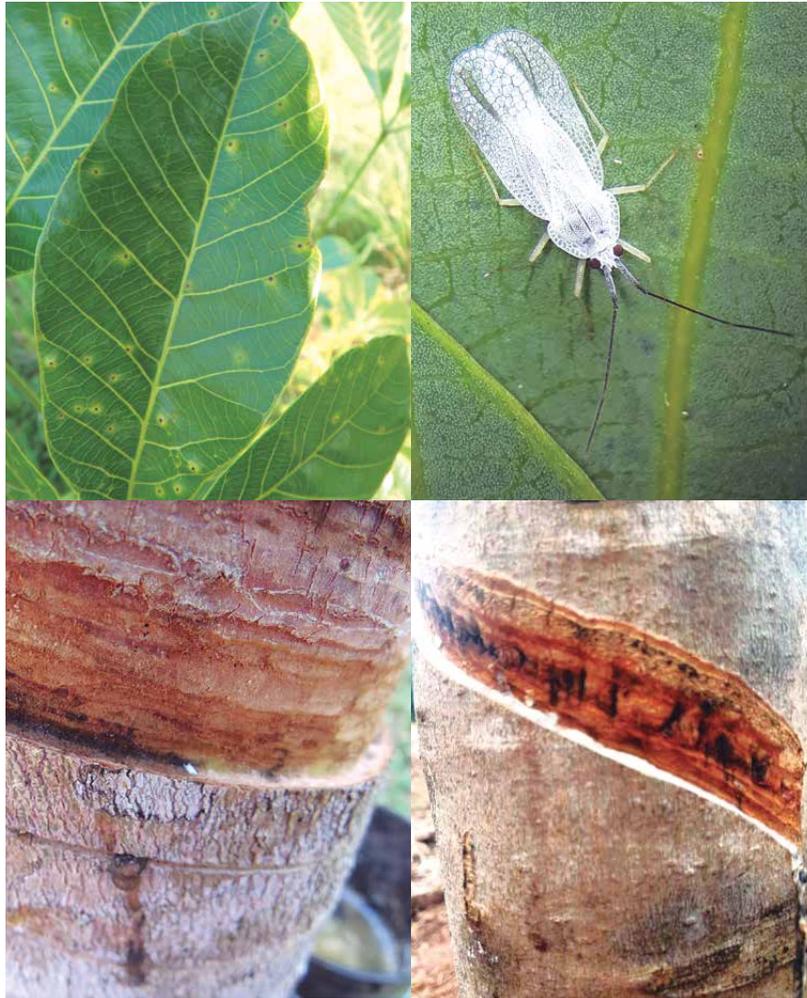
- Gonçalves, P. S., Ortolani, A. A. y Cardoso, M. (1997). *Melhoramento genético da seringueira: uma revisão*. Instituto Agronomico, Campinas (Brazil): Instituto Agronomico, Campinas (Brazil). Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2015009815> -
- Gonçalves, P. S., Bortoletto, N. y Furtado, E.L. (2001). Desempenho de clones de seringueira da série IAC 300 selecionados para a região noroeste do Estado de São Paulo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 36, 589-599.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – Ideam. (2015). Promedios precipitación y temperatura media. Promedio de los años 1981-2015 . Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/24189/561239/INFORME+DE+GESTION+2015-/f6185e2a-dd33-4765-b222-0e65a577a54e?version=1.0>.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. (2014). Estudio general de suelos y zonificación de tierras en el departamento del Caquetá, escala 1.100.000. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- Iqbal, S., y Rodrigo, V. (2006). Feasibility of rubber (*Hevea brasiliensis* Mull. Arg.) cultivation in the Eastern Province of Sri Lanka; a non traditional area for rubber. In *Preprints of the International Natural Rubber Conference* (pp. 571–584). Ho Chi Minh, Vietnam.
- Jaramillo, D. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 619 pp.
- Kositup, P. M., Kasemsap, P. y Améglío, E. (2008). Photosynthetic capacity and temperature responses of photosynthesis of rubber trees (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) acclimate to ... *Trees*, 23, 357-365. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-008-0284-x>
- Li, T., Ding, Y., Hu, Y., Sun, L., Jiang, C. y Liu, Y. (2015). Diurnal changes in photosynthesis in *Sclerocarya birrea* from South Africa and Israel after introduction and acclimatization in Wenshan, Yunnan Province, China. *South African J. Bot.*, 100, 101-107. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.05.021>
- Miguel, A. A., De Oliveira, L. E. M., Cairo, P. A. R. y De Oliveira, D. M. (2007). Photosynthetic behaviour during the leaf ontogeny of rubber tree clones [*Hevea brasiliensis* (Wild. ex. Adr. de Juss.) Muell. Arg.]. *Ciência e Agrotecnologia*, 31, 91-97. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-70542007000100014>
- Murad, C. A. y 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.RSASE.2018.07.003>
- Nugawela, A., Long, S. P., & Aluthewage, R. K. (1995). Genotypic variation in non-steady state photosynthetic carbon dioxide assimilation of *Hevea brasiliensis*. *Journal of the Rubber Research Institute of Sri Lanka*.
- Oliveira, C., Rodríguez, J., Soares, A., Oliveira, L. y Macedo, R. (2006). Trocas gasosas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) e seringueiras (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) em diferentes sistemas de cultivo. *Soc. Investig. Florestais*, 30, 197-206.
- Peña, C. y Cardona, G. (2010). Dinámica de los suelos amazónicos: Procesos de degradación y alternativas para su recuperación. Leticia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Ping, L. (2012). Differential responses of two rubber tree clones to chilling stress. *African J. Biotechnol.*, 11, 13466-13471. DOI: <https://doi.org/10.5897/ajb12.1180>
- Ploschuk, E. L., Bado, L. A., Salinas, M., Wassner, D. F., Windauer, L. B. e Insausti, P. (2014). Photosynthesis and fluorescence responses of *Jatropha curcas* to chilling and freezing stress during early vegetative stages. *Environ. Exp. Bot.*, 102, 18-26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.02.005>
- Priyadarshan, P. M. (2017). *Biology of Hevea Rubber*. Springer International Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-54506-6>

- Righi, C. A. y Bernardes, M. S. (2008). Disponibilidade de energia radiante em um sistema agroflorestal com seringueiras: Produtividade do feijoeiro. *Bragantia*, 67, 533-540. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0006-87052008000200031>
- Rivano, F., Martínez, M., Cevallos, V. y 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. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9563-7>
- Rodas, H., Rodríguez, H., Ojeda, M., Vidales, J. y Luna, A. (2012). Macronutrientes en calabacita italiana (*cucurbita pepo* L.). *Fitotec*, 35, 57-60.
- Rodrigo, V. H. L. (2007). Ecophysiological factors underpinning productivity of *Hevea brasiliensis*. *Brazilian J. Plant Physiol.*, 19, 245-255. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400002>
- Romero, H. M., Ayala, I. y Ruiz, R. (2007). Ecofisiología de la palma de aceite. *Palmas*, 28, 176-184.
- Senevirathna, A. M. W. K., Stirling, C. M. y Rodrigo, V. H. L. (2003). Growth, photosynthetic performance and shade adaptation of rubber (*Hevea brasiliensis*) grown in natural shade. *Tree Physiol.*, 23, 705-712. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/23.10.705>
- Shorrocks, V. M. (1965). Mineral nutrition, growth and nutrient cycle of cycle of *Hevea brasiliensis*. I. Growth and nutrition content. *J. Rubber Res. Inst. Malaya, Kuala Lumpur*, 19, 31-47.
- Silva, R. (2014). Alterações fisiológicas em clones de seringueira (*Hevea brasiliensis*) submetidos ao déficit hídrico. Universidade Federal do Espírito Santo .
- Sterling, A., Martínez-Viuche, E. J., Pimentel-Parra, G. A., Suárez-Córdoba, Y. D., Fonseca-Restrepo, J. A. y 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. DOI: 111811. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111811>
- Sterling, A. y Rodríguez, C. H. (Eds.). (2011). Nuevos clones de caucho natural para la Amazonia colombiana: énfasis en la resistencia al mal suramericano de las hojas (*Microcyclus ulei*). Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A. y Rodríguez, C. H. (2012). Ampliación de la base genética de caucho de caucho natural con proyección para la Amazonia colombiana: fase de evaluación en periodo improductivo a gran escala. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A. y Rodríguez, C. H. (2017). Bases técnicas para la selección, propagación y establecimiento de materiales regionales élite de caucho en Caquetá. Florencia, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A., Rodríguez, N., Quiceno, E., Trujillo, F., Clavijo, A. y Suárez-Salazar, J. C. (2019). Dynamics of photosynthetic responses in 10 rubber tree (*Hevea brasiliensis*) clones in Colombian Amazon: Implications for breeding strategies. *PLoS One*, 14, e0226254. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226254>
- Sterling, A., Suárez, J. C., Caicedo, D. F., Rodríguez, C. H., Salas, Y. M., Virgüez, Y. y Crecimiento, Y. (2015). Crecimiento inicial de clones promisorios de *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) en sistema agroforestal en Caquetá, Colombia. *Colomb. For.*, 18, 175-192.
- Sterling, C. A., Rodríguez, L. C. H., Dussan, H. I., Correa, D. J., Vargas, L. M. A., Centeno, C. A., Sánchez, L. R., Rodríguez, M. A. F., Plaza, P. C. D., Castro, G. D., Salas, T. Y. M., Ossa, M. E. O., Ruiz, T. P. N. y Castillo, O. J. O. (2012). Evaluación fitosanitaria con énfasis en la resistencia a *Microcyclus ulei* de diez clones de caucho natural (*Hevea brasiliensis*) en Campo Clonal a Gran Escala CCGE, Acción en periodo improductivo a gran escala. In *Ampliación de la base genética de caucho natural con*

proyección para la Amazonia colombiana: fase de evaluación en periodo improductivo a gran escala (pp. 79–121). Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – Sinchi.

- Thomas, M., Xavier, S., Sumesh, K. V., Annamalaiathan, K., Nair, D. B. y Mercy, M. A. (2015). Identification of potential drought tolerant hevea germplasm accessions using physiological and biochemical parameters. *Rubber Sci.*, 28, 62-69.
- Ugwa, I., Orimoloye, J. y Esekade, T. (2005). Nutrient status of some soil supporting rubber (*Hevea brasiliensis* Arg. Muell) in midwestern Nigeria. *Niger Agric.*, 36, 169-176.
- Velásquez, E., Lavelle, P. y Andrade, M. (2007). GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biol. Biochem.*, 39, 3066-3080. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.06.013>
- Zhang, M., Schaefer, D., Chan, O. C. y Zou, X. (2013). Decomposition differences of labile carbon from litter to soil in a tropical rain forest and rubber plantation of Xishuangbanna, southwest China. *Eur. J. Soil Biol.*, 55, 55-61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2012.12.003>

Evaluación fitosanitaria foliar y en panel de sangría precoz de genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*Hevea brasiliensis*) en campos clonales a gran escala en el Caquetá



Armando Sterling Cuéllar^{1*}, Lyda Constanza Galindo-Rodríguez^{2,3}, Yeny Rocío Virguez-Díaz², Luis Carlos Loaiza-Molina²

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

¹ Investigador del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, sede Florencia.

² Co-investigador del proyecto. Convenio 59-2013, Gobernación del Caquetá – Instituto SINCHI.

³ Docente del Programa de Biología, Facultad de Ciencias Básicas – Universidad de la Amazonía.

6.1. Introducción

El látex derivado del caucho natural (*Hevea brasiliensis*) representa un producto estratégico para el desarrollo rural y su cultivo es una alternativa económica importante para la región amazónica (Gijón *et al.*, 2019). Desde el punto de vista socioeconómico, ocupa una numerosa mano de obra durante todas sus fases de cultivo, desde el establecimiento de viveros hasta el establecimiento y mantenimiento de las plantaciones (Picón, 1999; Rojo, Jasso, Vargas y Palma, 2005). De esta forma, la heveicultura se ha convertido en una de las actividades más importantes en pro de mejorar la economía de la región y de las familias que cultivan esta especie.

Sin embargo, y a pesar de que el cultivo de caucho es una fuente de ingreso rentable, esta planta es susceptible de desarrollar diferentes enfermedades foliares y fustales, ocasionadas principalmente por hongos (Gasparotto *et al.*, 2012; Sterling y Rodríguez, 2018, 2020); además, es vulnerable a los ataques por insectos plaga (Altieri, 1994; Garzón, 2000), que terminan interfiriendo con la fisiología de la planta y la producción del látex (Gijón *et al.*, 2017; Santos y Silva, 2013). Estos problemas fitosanitarios pueden llegar a generar impactos económicos negativos, afectando especialmente a los pequeños y medianos productores (Vélez y Nieto, 2013).

En relación con las principales patologías foliares presentes en plantaciones de caucho, Alarcón *et al.* (2012), Garzón (2000) y Gasparotto, Dos Santos, Pereira y Ferreira (1997), registran al mal suramericano de las hojas, SALB por sus siglas en inglés (*South American Leaf Blight*) [*Pseudocercospora ulei* (Henn.)] (Hora-Júnior y Mizubuti, 2014), la mancha aerolada (*Thanatephorus cucumeris* A.B Frank), la costra negra (*Phyllachora huberi* P. Henn, 1900), la antracnosis [*Colletotrichum gloesporioides* (Penz.) Sacc. y *Colletotrichum acutatum* Simmonds] y la mancha de perdigón (*Drechslera heveae* Petch). Como principales enfermedades del panel de sangría se reportan la raya negra o chancro estriado (*Phytophthora* spp.), el moho ceniciento (*Ceratocystis fimbriata* Ellis & Halsted) y la antracnosis del panel de sangría (*Colletotrichum* spp.) (Alarcón *et al.*, 2012; Gasparotto *et al.*, 2012, 2016).

Según la CTS (2010) y Sterling *et al.* (2014, 2016), dentro de las plagas foliares más importantes que se han reportado en las plantaciones se encuentran el gusano cachón (*Erinnyis ello* Linnaeus, 1758), el gusano peludo (*Premolis semirufa* Walker, 1856), el chinche de encaje (*Leptopharsa heveae* Drake y Poor, 1935) y la hormiga arriera *Atta* (*Atta cephalotes*, *Atta columbica*, *Atta laevigata* y *Atta sexdens*). Existen otras especies que se caracterizan por ejercer una menor presión sobre las plantaciones de caucho, pero adquieren cada vez mayor importancia por el aumento del área plantada (Castellanos, Fonseca y Barón, 2009; Sterling y Rodríguez, 2018).

Por estas razones, el desafío actual en el departamento del Caquetá es el de ampliar la base genética del caucho natural mediante la identificación y selección de nuevos clones, con el fin de mejorar la productividad y favorecer la tolerancia a plagas y enfermedades mediante la evaluación de genotipos élite caquetenses en campos clonales a pequeña y gran escala (Sterling y Rodríguez, 2011, 2018). Estos estudios son de vital importancia, ya que permiten reconocer los genotipos promisorios autóctonos, y establecer a futuro plantaciones más productivas y con menor riesgo de desarrollar problemas fitosanitarios.

De acuerdo con lo anterior, en el presente capítulo se presentan los resultados de la evaluación fitosanitaria de las principales enfermedades y plagas foliares, y las principales enfermedades del panel de sangría precoz en nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho comparados con el clon IAN 873 (testigo) durante la fase de crecimiento en dos campos clonales a gran escala en el departamento del Caquetá (Colombia).

6.2. Metodología

6.2.1. Área de estudio

El estudio se realizó en dos campos clonales a gran escala (CCGE) localizados en los municipios de El Paujil y San Vicente del Caguán en el departamento del Caquetá (Colombia) (figura 5.1).

6.2.2. Material vegetal

Se estudiaron nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 (ECC 25, ECC 29, ECC 35, ECC 60, ECC 64, ECC 66, ECC 73, ECC 83, ECC 90) de caucho y el clon IAN 873 (testigo).

6.2.3. Diseño experimental

Cada CCGE correspondió a un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, diez tratamientos (genotipos) y sesenta árboles (unidad experimental) por tratamiento (figura 5.1).

6.2.4. Evaluación de los principales parámetros fitosanitarios

Se seleccionaron treinta plantas por genotipo para las evaluaciones fitosanitarias, las cuales se realizaron durante tres años a partir del primer mes del establecimiento de los dos CCGE, estas evaluaciones tuvieron una frecuencia mensual. Se analizaron los siguientes parámetros fitosanitarios:

- **Intensidad de los síntomas producidos por las principales enfermedades foliares**

Inicialmente se registró la presencia o ausencia de las principales enfermedades foliares con base en los síntomas y signos observados en los estadios foliares más afectados (foliolo B, C o D) (Hallé, Oldeman y Tomlinson, 1978). Luego, se evaluó la severidad (S) de cada enfermedad mediante el uso de escalas ordinales, así: antracnosis (SA) y mancha aerolada (SMA) se evaluaron con la escala modificada de Pizzeta, Porcena, Silva y Furtado (2008) de 0 a 6, donde, 0: Ataque nulo; 1: área foliar afectada hasta un 3,125%; 2: área foliar afectada entre 3,126% y 6,25%; 3: área foliar afectada entre 6,26% y 12,5%; 4: área foliar afectada entre 12,6% y 25%; 5: área foliar afectada entre 26,0% y 50%; 6: área foliar afectada mayor al 50%.

La severidad de costra negra (SCN) y de mancha de perdigón (SMP) se evaluaron con la escala adaptada de Ogbebor (2010) de 0 a 5, donde: 0: ataque nulo (ausencia de manchas); 1: muy

leve (hasta 5 manchas por foliolo); 2: leve (6 a 10 manchas por foliolo); 3: moderado (> 10 manchas por foliolo y 26-50% de hojas infectadas); 4: severo (lesiones grandes y 51-75% de hojas infectadas); y 5: muy severo (lesiones grandes y > 75% de hojas infectadas).

• Componentes de resistencia al mal suramericano de las hojas (MSH)

La severidad del mal suramericano de las hojas en hojas jóvenes (estadios B y C) (SMSHJ) y en hojas maduras (estadio D) (SMSHM) se evaluó mediante la escala de Chee y Holliday (1986), adaptada por Rivano, Martínez, Cevallos y Cilas (2010), la cual define las clases de acuerdo con el porcentaje de superficie foliar con síntomas o signos de enfermedad: 0: < 1% (ataque nulo); 1: 1-5% (ataque leve); 2: 6-15% (ataque moderado); 3: 16-30% (grave ataque); y 4: > 30% (ataque muy severo).

En hojas jóvenes también se evaluó la intensidad de esporulación conidial o tipo de reacción (TR), mediante una escala del 1 al 6, propuesta por Junqueira *et al.* (1986) y adaptada por Mattos *et al.* (2003), definiendo los siguientes puntajes: 1: lesiones necróticas sin esporas; 2: lesiones no necróticas sin esporas; 3: esporulación muy baja y heterogénea en el envés de la hoja; 4: esporulación alta, heterogénea o parcial en el envés de la hoja; 5: esporulación muy alta y uniforme cubriendo toda la lesión en el envés de la hoja; y 6: esporulación muy alta que cubre toda la lesión en la parte inferior y superior de la hoja.

En hojas maduras se evaluó además la densidad de estromas (DE), utilizando la escala propuesta por Rivano *et al.* (2010), que define los siguientes puntajes: 0: ausencia de estromas; 1: menos de cinco lesiones con estroma por foliolo; 2: entre 5 y 10 lesiones con estroma por foliolo; 3: entre 11 y 30 lesiones con estromas por foliolo; y 4: más de 30 lesiones con estromas por foliolo.

• Incidencia de las principales enfermedades del panel de sangría precoz

La incidencia de las enfermedades raya negra y antracnosis del panel se evaluó mediante la proporción porcentual de las plantas con síntomas o signos de la enfermedad y el total de plantas evaluadas por genotipo en cada parcela elemental (Sterling y Rodríguez, 2020).

• Incidencia de las principales plagas foliares

La incidencia de las plagas foliares gusano cachón, gusano peludo, chinche de encaje y hormiga arriera se evaluó mediante la proporción porcentual de las plantas con presencia del insecto y el total de plantas evaluadas por genotipo en cada parcela elemental (Sterling y Rodríguez, 2014).

6.2.5. Análisis de la información

Las variables fitosanitarias se analizaron mediante un ANOVA con el fin de determinar la variación entre épocas, entre localidades, entre genotipos y sus interacciones. Una prueba LSD de Fisher al 5% de significancia permitió contrastar la diferencia entre los valores promedio de

estas variables. Un análisis de componentes principales por cada localidad permitió ordenar los genotipos de acuerdo a su tolerancia a los diferentes problemas fitosanitarios.

En cada localidad, las medias de todas las variables estimadas por genotipo fueron normalizadas en el intervalo [0,1 - 1] mediante la fórmula de Velásquez *et al.* (2007):

$$Y = 1,1 - (0,1 + (x-b)/(a-b)*0,9)$$

Donde:

x = variable a transformar

a = valor máximo de la variable

b = valor mínimo de la variable

Luego, se calculó la media ponderada de todas las variables transformadas, usando la siguiente ponderación: SA (10%), SCN (10%), SMA (2,5%), SMP (2,5%), SMSHJ (12,5%), SMSHM (12,5%), TR (12,5%), DE (12,5%), IRN (2,5%), IAP (2,5%), ICE (7,5%), IGC (7,5%), IGP (2,5%) y IHA (2,5%). Esta media fue ordenada de mayor a menor con el fin de obtener por cada localidad el escalafón de los mejores genotipos por su tolerancia a los principales problemas fitosanitarios. Las pruebas estadísticas se realizaron con el programa InfoStat versión 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).

6.3. Resultados y discusión

6.3.1. Severidad de las principales enfermedades foliares

Se observó un efecto significativo de la época y el genotipo sobre la severidad de todas las enfermedades evaluadas ($P < 0,05$) (tabla 6.1). Por otro lado, se observaron diferencias significativas entre localidades para costra negra, mancha aerolada y mancha de perdigón. Hubo notas bajas de severidad de costra negra (< 2), mancha aerolada (< 1) y mancha de perdigón (< 2) para todos los efectos analizados (tabla 6.1). Esta baja severidad concuerda con lo reportado por Sterling *et al.* (2012), quienes evaluaron el efecto del clon y la localidad en periodo improductivo en clones de caucho en las localidades de Belén de los Andaquíes, San Vicente del Caguán y Florencia.

En El Paujil se registraron las notas más altas de severidad para costra negra y mancha aerolada, comparado con San Vicente del Caguán, donde se reportaron las mayores severidades de antracnosis y mancha de perdigón (tabla 6.1). Esto coincide con Sterling *et al.* (2018), quienes reportaron la mayor afectación por antracnosis en San Vicente del Caguán. Por otro lado, las mayores severidades se reportaron en la época de lluvia (tabla 6.1), lo que coincide con lo expuesto por Gasparotto *et al.* (2012), quienes afirman que las épocas de mayor precipitación son las más favorables para el desarrollo de las enfermedades de origen fúngico.

La antracnosis fue la enfermedad con las mayores notas de severidad (< 3) (tabla 6.1), siendo los genotipos ECC 25 y ECC 29 los que presentaron las severidades más bajas (tabla 6.1), resultados que coinciden con otros estudios donde la severidad media de la enfermedad fue inferior a 3 (Sterling *et al.*, 2011). La mayor severidad de costra negra se reportó en el clon IAN 873 y en

los genotipos ECC 35, ECC 64 y ECC 66; lo que difiere de lo expuesto por Sterling *et al.* (2012), quienes encontraron que la severidad de antracnosis no fue superior a 1. En cuanto a mancha aerolada, los genotipos con notas medias más bajas fueron el ECC 60 y ECC 35 con valores de 0,21 y 0,22, respectivamente. Para mancha de perdigón las notas más altas de severidad se registraron en los genotipos ECC 83, ECC 60 y en el clon IAN 873.

Según la figura 6.1, los genotipos más afectados por antracnosis fueron el ECC 83 y el clon IAN 873, con notas medias de 2,56 y 2,55 en San Vicente del Caguán. Por otro lado, la nota más baja se presentó en el clon IAN 873 en la localidad de El Paujil (figura 6.1).

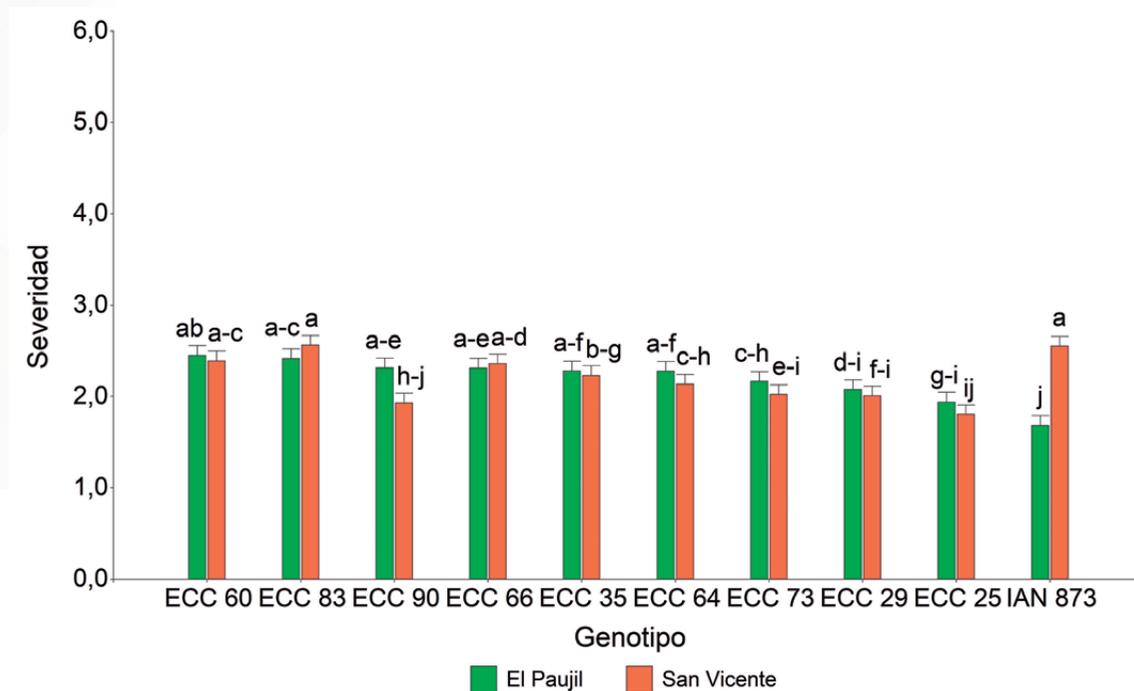


Figura 6.1. Medias de la severidad de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) en nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*Hevea brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en dos campos clonales a gran escala en el Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.1. Medias de la severidad de enfermedades foliares, componentes de resistencia al mal suramericano de las hojas e incidencia de enfermedades del panel y plagas foliares en caucho (*Hevea brasiliensis*) por localidad, genotipo y época

Factor	Nivel	Variables													
		Severidad				Resistencia				Incidencia (%)					
		SA	SCN	SMA	SMP	SMSHU	SMISHM	TR	DE	IRN	IAP	ICE	IGP	IGC	IHA
Localidad	El Paujil	2,19 ± 0,08	1,57 ± 0,06aab	0,37 ± 0,05a	1,20 ± 0,03b	0,08 ± 0,01b	0,99 ± 0,07b	0,14 ± 0,02b	1,40 ± 0,10	6,66 ± 3,05b	12,06 ± 3,08	3,43 ± 0,42	0,32 ± 0,05	0,49 ± 0,09	2,31 ± 0,97
	San Vicente	2,20 ± 0,08	1,10 ± 0,06b	0,18 ± 0,05b	1,34 ± 0,03a	0,13 ± 0,01a	1,28 ± 0,07a	0,25 ± 0,03a	1,76 ± 0,10	41,25 ± 6,39a	8,89 ± 3,24	2,43 ± 0,40	0,45 ± 0,14	0,40 ± 0,07	0,76 ± 0,09
	ECC 83	2,49 ± 0,07a	1,37 ± 0,07a-c	0,30 ± 0,04b	1,50 ± 0,05a	0,12 ± 0,02a	1,32 ± 0,08b	0,23 ± 0,03a	1,87 ± 0,11b	32,22 ± 9,76	15,60 ± 6,79ab	2,05 ± 0,42ab	0,42 ± 0,13	0,34 ± 0,10	1,52 ± 0,31
	ECC 60	2,42 ± 0,07a	1,31 ± 0,07b-d	0,21 ± 0,04d	1,30 ± 0,05a	0,13 ± 0,02a	1,40 ± 0,08b	0,25 ± 0,05a	1,86 ± 0,11b	16,67 ± 9,76	6,25 ± 6,79b	5,13 ± 1,27a	0,31 ± 0,19	0,56 ± 0,34	0,94 ± 0,22
	ECC 66	2,34 ± 0,07ab	1,44 ± 0,07ab	0,27 ± 0,04bc	1,26 ± 0,05bc	0,11 ± 0,01a	1,08 ± 0,08c	0,21 ± 0,03a	1,49 ± 0,11c	21,36 ± 9,76	10,42 ± 6,79ab	4,12 ± 1,09a	0,48 ± 0,25	0,63 ± 0,20	1,34 ± 0,27
	ECC 35	2,25 ± 0,07bc	1,45 ± 0,07ab	0,22 ± 0,04cd	1,26 ± 0,05bc	0,13 ± 0,02a	1,74 ± 0,08a	0,25 ± 0,03a	2,37 ± 0,11a	12,50 ± 9,76	0,00 ± 6,79b	1,93 ± 0,56ab	0,34 ± 0,11	0,33 ± 0,16	1,73 ± 0,40
Genotipo	ECC 64	2,21 ± 0,07b-d	1,44 ± 0,07ab	0,38 ± 0,04a	1,28 ± 0,05b	0,04 ± 0,01b	0,69 ± 0,08d	0,08 ± 0,02b	0,99 ± 0,11d	24,40 ± 9,76	28,42 ± 6,79a	1,47 ± 0,39b	0,27 ± 0,09	0,40 ± 0,12	0,97 ± 0,20
	ECC 90	2,12 ± 0,07c-e	1,22 ± 0,07cd	0,29 ± 0,04b	1,18 ± 0,05b-d	0,10 ± 0,01a	1,08 ± 0,08c	0,18 ± 0,02a	1,52 ± 0,11c	30,00 ± 9,76	15,63 ± 6,79ab	5,20 ± 1,70a	0,52 ± 0,26	0,42 ± 0,19	2,09 ± 1,08
	IAN 873	2,12 ± 0,07c-e	1,47 ± 0,07a	0,26 ± 0,04b-d	1,45 ± 0,05a	0,11 ± 0,01a	1,41 ± 0,08c	0,21 ± 0,03a	1,90 ± 0,11c	24,70 ± 9,76	0,00 ± 6,79b	1,45 ± 0,31b	0,22 ± 0,07	0,44 ± 0,21	1,45 ± 0,29
	ECC 73	2,09 ± 0,07de	1,29 ± 0,07b-d	0,26 ± 0,04bc	1,27 ± 0,05b	0,10 ± 0,01a	0,91 ± 0,08c	0,19 ± 0,03a	1,32 ± 0,11c	36,93 ± 9,76	13,90 ± 6,79ab	3,65 ± 1,25ab	0,36 ± 0,15	0,49 ± 0,16	1,54 ± 0,53
	ECC 29	2,04 ± 0,07e	1,17 ± 0,07d	0,27 ± 0,04bc	1,13 ± 0,05cd	0,08 ± 0,01a	0,96 ± 0,08c	0,19 ± 0,03a	1,39 ± 0,11c	20,53 ± 9,76	8,27 ± 6,79b	2,67 ± 0,46ab	0,59 ± 0,58	0,31 ± 0,09	0,77 ± 0,21
	ECC 25	1,87 ± 0,07f	1,19 ± 0,07d	0,28 ± 0,04b	1,07 ± 0,05d	0,11 ± 0,02a	1,07 ± 0,08c	0,21 ± 0,03a	1,52 ± 0,11c	28,27 ± 9,76	6,25 ± 6,79b	1,62 ± 0,34b	0,37 ± 0,15	0,50 ± 0,16	3,00 ± 4,66
Época	Lluvia	2,26 ± 0,06a	1,64 ± 0,05a	2,26 ± 0,06a	2,26 ± 0,06a	0,09 ± 0,01b	1,20 ± 0,06a	0,19 ± 0,02ab	1,63 ± 0,08a	-	-	5,24 ± 0,76a	0,41 ± 0,11a	0,15 ± 0,05c	0,74 ± 0,13
	Transición a seca	2,19 ± 0,06ab	1,35 ± 0,05b	2,19 ± 0,06ab	2,19 ± 0,06ab	0,10 ± 0,01ab	1,14 ± 0,06a	0,17 ± 0,02b	1,60 ± 0,08a	-	-	1,93 ± 0,34b	0,61 ± 0,19a	0,85 ± 0,15a	2,75 ± 1,43
	Seca	2,14 ± 0,06b	1,02 ± 0,05c	2,14 ± 0,06b	2,14 ± 0,06b	0,11 ± 0,01a	1,06 ± 0,06b	0,23 ± 0,02a	1,51 ± 0,08b	-	-	1,62 ± 0,22b	0,15 ± 0,04b	0,33 ± 0,16b	1,11 ± 0,17

^a Error estándar

^b Valores en cada columna con ausencia de letra o seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba LSD, $P < 0,05$)

Clave: Severidad (S) de: antracnosis (SA), costra negra (SCN), mancha aerolada (SMA), mancha de peridón (SMP), Componentes de resistencia al mal suramericano de las hojas (MSH): severidad del MSH en hojas jóvenes (SMSHU) y en hojas maduras (SMISHM), tipo de reacción (TR), densidad estromática (DE), incidencia (I) de: raya negra (RN), antracnosis de panel (IAP), clinchete de encaje (ICE), gusano peludo (IGP), gusano cachón (IGC), hormiga arriera (IHA).

6.3.2. Resistencia al mal suramericano de las hojas

Se evidenció el mal suramericano de las hojas (MSH) en las dos localidades, en los diez genotipos y en las tres épocas (tabla 6.1). Hubo un efecto significativo de la localidad en las variables SMSHJ, SMSHM y TR. Las cuatro variables de MSH presentaron una variación significativa entre genotipos y la época influyó también en las variables SMSHM, TR y DE (tabla 6.1). Estos resultados son similares a lo reportado por Sterling *et al.* (2011), quienes encontraron un efecto significativo de la época y el genotipo sobre los componentes de resistencia al MSH.

Entre localidades, fue posible observar que en San Vicente del Caguán se presentaron las notas medias más altas para cada uno de los componentes de resistencia, sobresaliendo la media registrada para la variable DE (1,76) (tabla 6.1). Sin embargo, un estudio realizado por Sterling *et al.* (2018), en las mismas localidades de esta investigación, permitió evidenciar que en el municipio de El Paujil se presentó la mayor incidencia de MSH comparado con San Vicente del Caguán. Posiblemente, la variación de la temperatura y humedad relativa en San Vicente del Caguán durante las diferentes épocas favoreció el desarrollo del hongo y la aparición de signos y síntomas característicos de la enfermedad.

Entre genotipos, se evidenciaron altas notas medias de SMSHJ en ECC 60 (0,13), ECC 35 (0,13) y ECC 83 (0,12), mientras que la nota de SMSHJ más baja se registró en ECC 64 con una media de 0,04. En la variable SMSHM se observó que la nota media más alta la registró el genotipo ECC 35 (1,74), en comparación con el genotipo ECC 64, que presentó un valor de 0,69. Para TR la media más alta se registró en los materiales ECC 60 (0,25) y ECC 35 (0,25), en contraste con el genotipo ECC 64, que mostró una media de 0,08. La mayor nota media de DE se reportó en el genotipo ECC 35 (2,37), frente a ECC 64, que presentó una nota media de 0,99 (tabla 6.1).

En relación con las épocas, las notas medias altas de SMSHJ (0,11) y de TR (0,23) se presentaron durante la época seca. Contrario a estas variables, las notas medias altas de SMSHM (1,20) y de DE (1,63) se reportaron para la época de lluvia (tabla 6.1).

Según Langford (1945), el tiempo seco no es un impedimento para la incidencia de *P. ulei*, lo cual fue confirmado por Gasparotto y Lima (1991), quienes observaron que la incidencia de la enfermedad es mayor cuando se presentan temperaturas superiores a 30 °C y es menor cuando la temperatura está en un rango de 25 a 30 °C. En este sentido, los resultados obtenidos en este estudio demuestran que las condiciones climáticas de la época seca lograron aumentar la severidad de la enfermedad en hojas jóvenes (SMSHJ) y la intensidad de esporulación conidial (TR), lo cual es visible en este tipo de hojas (estados foliares B y C).

Los resultados también permitieron observar que el genotipo ECC 60 presentó la media más alta para la variable SMSHJ con un valor de 0,19 en San Vicente del Caguán; mientras que el genotipo ECC 64 presentó la media más baja para esta variable en El Paujil (0,02) (figura 6.3a). Por otro lado, la media más alta para SMSHM se registró en el genotipo ECC 35 en San Vicente del Caguán (1,86), comparado con el clon IAN 873 que presentó una media de 0,57 en El Paujil (figura 6.3b).

Para la variable TR, se reportó la nota media más alta para el genotipo ECC 60 en San Vicente del Caguán (0,38), mientras que el genotipo ECC 64 exhibió la nota media de 0,05 para la misma variable en El Paujil (figura 6.3c). Finalmente, en la variable DE se puede destacar que el genotipo ECC 35 registró la nota media más alta en San Vicente del Caguán (2,48), en contraste con el genotipo ECC 64 que evidenció una nota media de 0,87 para El Paujil (figura 6.3d).

En general, el genotipo ECC 64 presentó las menores notas de SMSHJ, TR y DE en El Paujil, mientras que el genotipo ECC 60 presentó las notas más altas para SMSHJ y TR en San Vicente del Caguán, junto con ECC 35, que mostró las notas más altas para SMSHM y DE en la misma localidad.

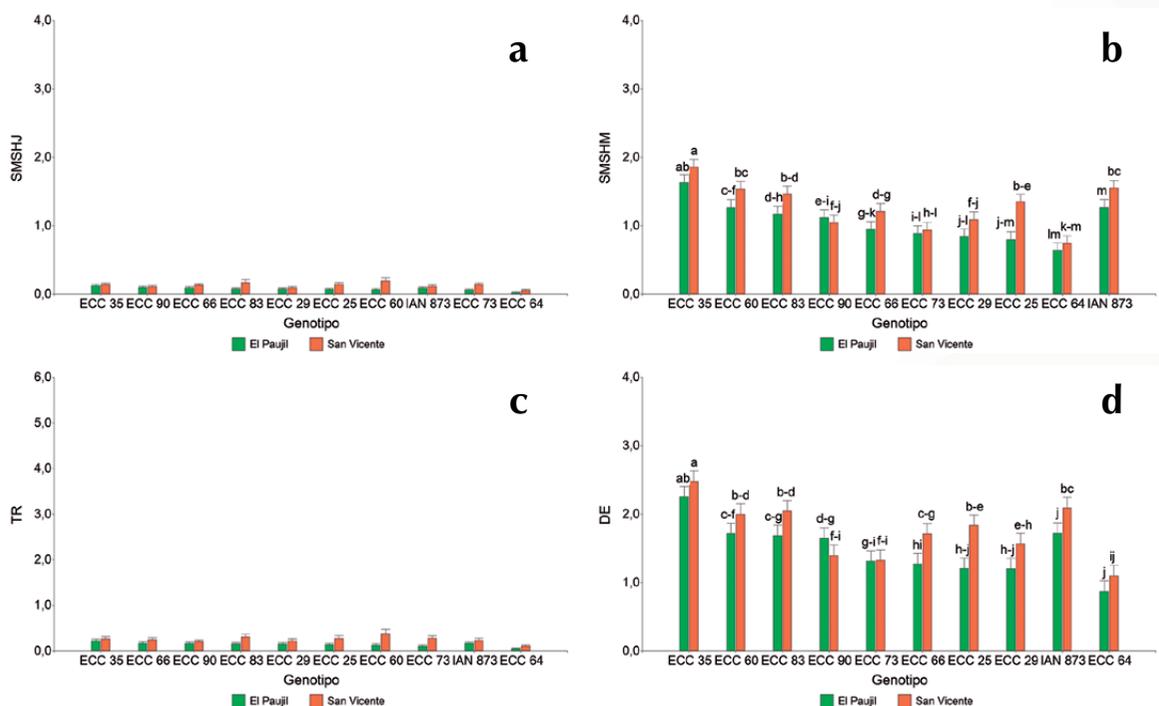


Figura 6.2. Medias de los componentes de resistencia al mal suramericano de las hojas en nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*Hevea brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en dos localidades del Caquetá (Colombia). (a) SMSHJ: severidad del mal suramericano de las hojas en hojas jóvenes; (b) SMSHM: severidad del mal suramericano de las hojas en hojas maduras; (c) TR: Tipo de reacción (intensidad de esporulación conidial); y (d) DE: densidad estromática.

Fuente: Elaboración propia.

Según la figura 6.4, los genotipos ECC 64, ECC 73, ECC 29, ECC 66, ECC 25 y ECC 90 son los más deseables (presentaron puntajes de DE más bajos que el promedio del entorno). El genotipo ECC 64 (genotipo ideal) fue el menos afectado y presentó un comportamiento estable durante las tres épocas. Los genotipos ECC 83, ECC 35 y el clon IAN 873 son los menos

deseables debido a su alta susceptibilidad al SALB durante las tres épocas (puntaje de DE más altos que el promedio del entorno). En la localidad de El Paujil, los genotipos ECC 60, ECC 83, ECC 35 fueron los más afectados en las tres épocas; mientras que San Vicente del Caguán fue la localidad más favorable, pues no se asoció en ninguna de las épocas con altas notas de DE en los genotipos menos deseables. Estos resultados, comparados con los de Sterling *et al.* (2018), demuestran que genotipos como el ECC 64 y ECC 66 que presentaron resistencia parcial a *P. ullei*, actualmente mantienen una estabilidad temporal en cuanto a tolerancia al SALB; mientras que genotipos como el ECC 35 y ECC 60 continuaron presentando alta susceptibilidad a la enfermedad en las dos localidades.

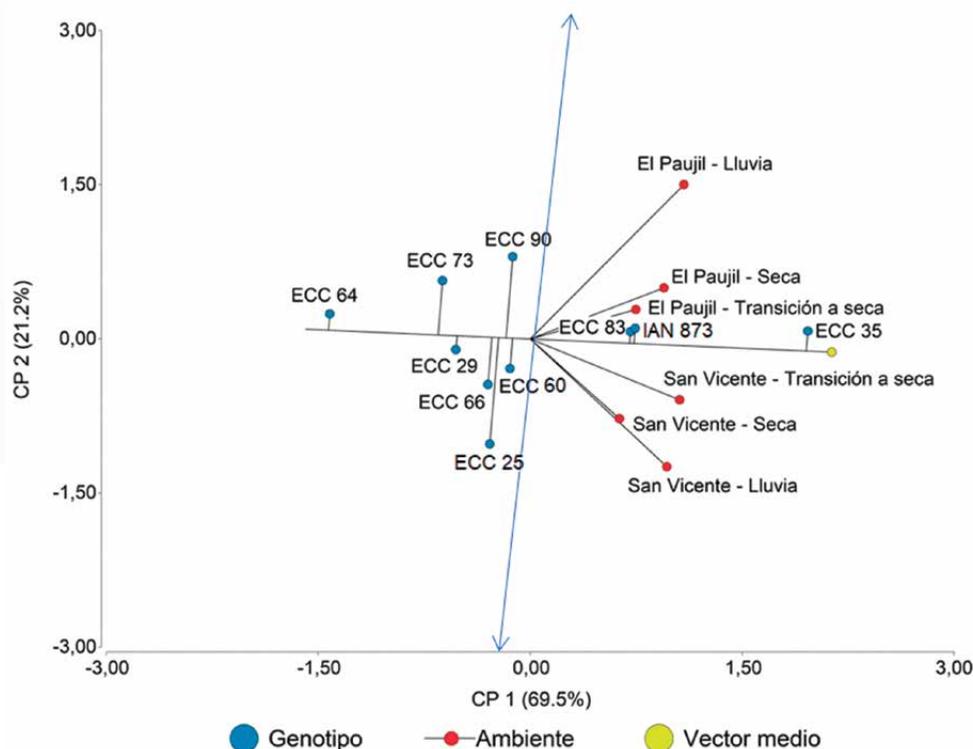


Figura 6.3. GGE biplot de la interacción genotipo x ambiente (localidad – época) basado en el análisis de la densidad estromática (DE) para nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*Hevea brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo). Los genotipos que están a la derecha de la línea perpendicular al eje ambiental promedio son los menos resistentes. Los rangos de genotipo disminuyen a medida que se alejan del genotipo ideal (ECC 64).

Fuente: Elaboración propia.

6.3.3. Incidencia de las principales enfermedades del panel de sangría precoz

Hubo un efecto significativo ($P < 0,05$) en la incidencia de raya negra entre localidades y en la incidencia de la antracnosis del panel entre genotipos (tabla 6.1). Raya negra fue la enfermedad

con mayor incidencia (> 30%), que coincide con lo reportado en el departamento del Quindío (Colombia) en clones comerciales de origen asiático y brasilero (López, 1998).

La mayor incidencia de raya negra se registró en los materiales ECC 73 (36,93%) y ECC 83 (32,22%). Respecto a la antracnosis del panel, la mayor incidencia se evidenció en el genotipo ECC 64 (28,42%); mientras que los materiales ECC 35 y el clon IAN 873 no presentaron incidencia de esta enfermedad (tabla 6.1).

La figura 6.4 presenta una interacción localidad x genotipo no significativa para la incidencia de raya negra. Sin embargo, se observa una tendencia que muestra a San Vicente del Caguán como la localidad de mayor incidencia. En este sentido, los materiales ECC 25, ECC 73, ECC 35 y el clon IAN 873 fueron los más tolerantes, especialmente en El Paujil (figura 6.2). Contrario a esto, en San Vicente del Caguán, los genotipos ECC 73 (73,86%), ECC 25 (56,53%) y ECC 83 (55,92%) mostraron los porcentajes más altos de incidencia.

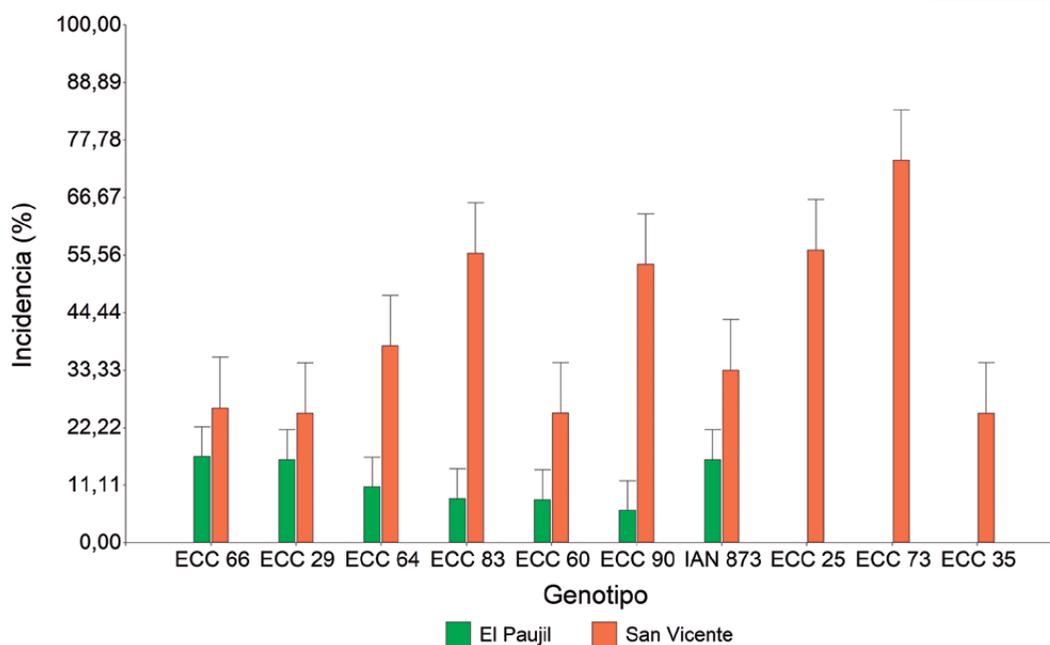


Figura 6.4. Medias de la incidencia (%) de raya negra (*Phytophthora* spp.) en el panel de sangría precoz en nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*Hevea brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en dos campos clonales a gran escala en el Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

6.3.4. Incidencia de las principales plagas foliares

Hubo un efecto significativo de la época sobre la incidencia de gusano cachón, gusano peludo y chinche de encaje ($P < 0,05$), esta última fue la más incidente en los dos CCGE (tabla 6.1). Solo se evidenció un efecto significativo del genotipo sobre el chinche de encaje. No hubo diferencias significativas en ninguna de las plagas entre las dos localidades. En general, se observó una baja incidencia de chinche de encaje ($< 6\%$), hormiga arriera ($< 3\%$), gusano cachón ($< 1\%$) y gusano peludo ($< 1\%$) en las dos localidades, en los diez genotipos y en las tres épocas (tabla 6.1). Esta baja incidencia de plagas foliares coincide con lo reportado por Sterling y Rodríguez (2014) y Sterling *et al.* (2016), quienes evaluaron el efecto de localidad, época y clon en sistemas agroforestales con caucho. Por otro lado, es probable que las bajas incidencias reportadas en este estudio estén relacionadas, además de la tolerancia a los genotipos, a otros factores de tipo biológicos como controladores y enemigos naturales que ya han sido reportados en este tipo de experimentos (Gamboa *et al.*, 2019).

Entre localidades, se evidenció una mayor incidencia de plagas foliares en El Paujil con excepción de gusano peludo, que tuvo más prevalencia en San Vicente del Caguán (tabla 6.1). Respecto a las épocas, la mayor incidencia fue dada en la transición hacia la época seca, excepto para chinche de encaje que fue más frecuente en lluvia (tabla 6.1).

De acuerdo con lo anterior, estos resultados concuerdan con Sterling *et al.* (2016), quienes reportaron la mayor incidencia de chinche de encaje en la época lluviosa. Así mismo, Santos, Costa, Silva y Freitas (2012) afirman que en el inicio de la temporada de lluvias se produce un aumento en el número de huevos de chinche de encaje, así como un incremento de nitrógeno soluble en los tejidos de las hojas de caucho, lo que aumenta su palatabilidad y, por tanto, se incrementa la probabilidad de ataque de este insecto, lo que conlleva a su vez a la formación de picos poblacionales durante la época lluviosa.

El chinche de encaje fue el que presentó la mayor incidencia media en los genotipos ECC 90 (5,20%), ECC 60 (5,13%) y ECC 66 (4,12%) (tabla 6.1). Respecto a la hormiga arriera, la mayor incidencia se evidenció en los genotipos ECC 25 (3%) y ECC 90 (2,09%), lo cual concuerda con lo reportado por Sterling *et al.* (2018), quienes encontraron que la hormiga arriera presentó una infestación muy baja, con medias de incidencia inferior al 5% y en especial en el genotipo ECC 90. Para el caso de gusano cachón y gusano peludo la incidencia fue muy baja ($< 1\%$) (tabla 6.1). Esto contrario a lo informado en otros estudios, en los que se han reportado infestaciones por gusano cachón superiores al 15% (Sterling *et al.*, 2009) y al 50% (Garzón, 2000), valores que difieren de los reportados en el presente estudio ($< 1\%$). En general, los genotipos con menor incidencia al ataque de estas plagas insectiles fueron ECC 64, ECC 83, ECC 25 y ECC 35 (tabla 6.1).

En la figura 6.5 se evidencia que los porcentajes más altos de chinche de encaje se presentaron durante la época de lluvia, específicamente en los genotipos ECC 90 (0,27%), ECC 60 (0,11%) y ECC 73 (0,19%). La incidencia más baja se reportó en la época seca en los genotipos ECC 29,

ECC 64 y ECC 35 con medias inferiores a 0,01%. Estos resultados coinciden con los reportes de Sterling *et al.* (2012), quienes evidenciaron también bajas incidencias de chinche de encaje (< 1%).

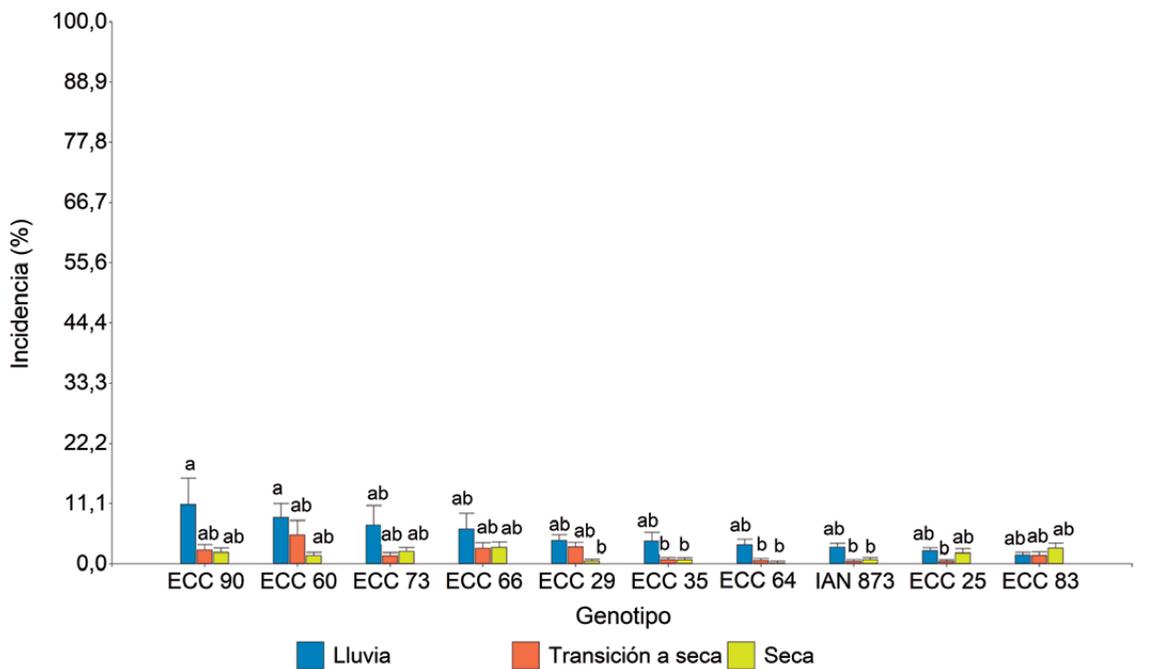


Figura 6.5. Medias de la incidencia (%) de chinche de encaje (*Leptopharsa heveae*) en nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*Hevea brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo), en tres épocas en el Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

6.3.5. Análisis multivariado de los principales problemas fitosanitarios

El análisis de componentes principales (ACP) realizado en la localidad de El Paujil explicó con el CP1 el 36,6% de la variabilidad y separó en el extremo negativo a los genotipos ECC 29 y ECC 73, que presentaron mayor severidad de mancha aerolada y mayor incidencia de antracnosis del panel y raya negra (figura 6.6a). El extremo positivo del CP1 agrupó los genotipos ECC 35, ECC 90 y ECC 83 más susceptibles al SALB y con mayor incidencia de gusano cachón. Por su parte, el CP2 capturó el 21,6% de la variabilidad y separó en su extremo positivo el ECC 60 y ECC 66 que presentaron mayor severidad de costra negra, antracnosis y mancha de perdigón, así como alta incidencia de chinche de encaje (figura 6.6a). El extremo negativo de este componente agrupó los genotipos ECC 25 e IAN 873, los cuales presentaron altas incidencias de hormiga arriera y gusano peludo.

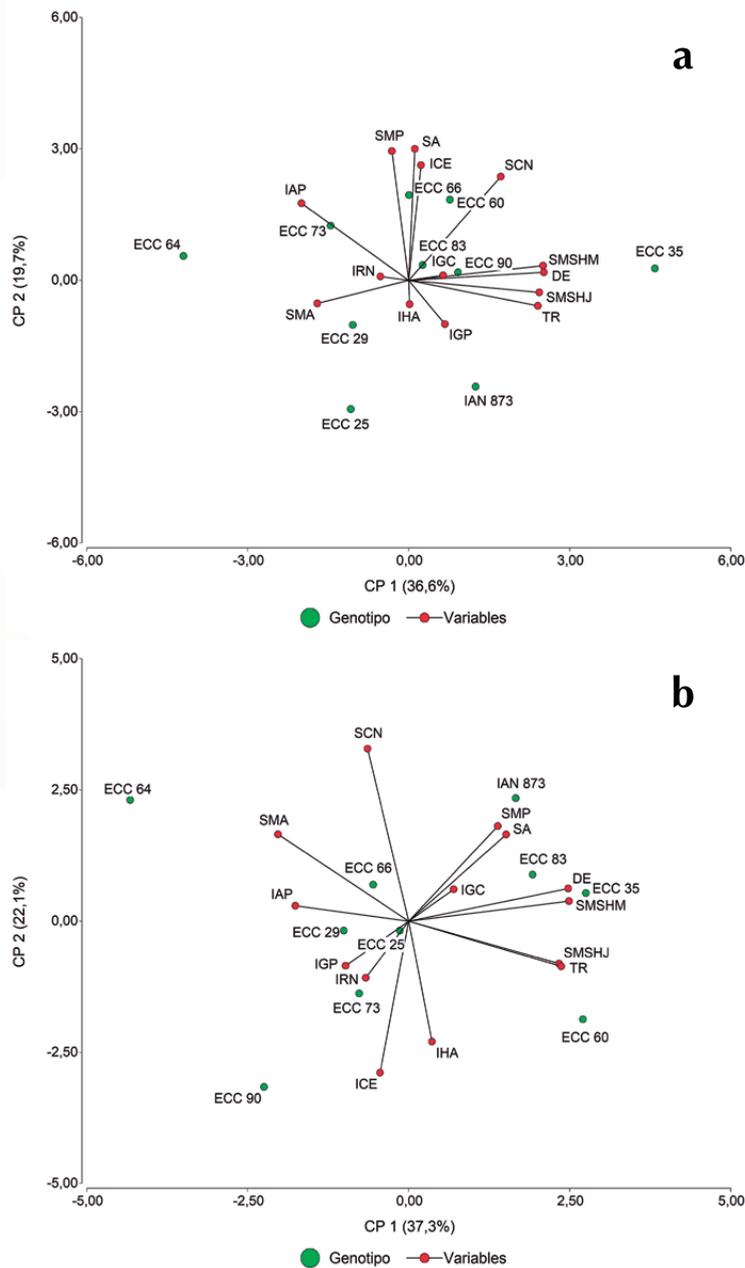


Figura 6.6. Análisis de componentes principales (gráfico biplot) para la severidad de enfermedades foliares (SA, SCN, SMA y SMP), resistencia al mal suramericano de las hojas (SMSHJ, SMSHM, TR y DE) e incidencia de enfermedades del panel (RN y AP) y plagas foliares (CE, GC, GP y HA) registradas en nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*Hevea brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo), en dos localidades del Caquetá. **(a)** El Paujil; y **(b)** San Vicente del Caguán.

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de componentes principales (ACP) realizado en la localidad de San Vicente del Caguán explicó con el CP1 el 37,3% de la variabilidad y separó en el extremo negativo a los genotipos ECC 29, ECC 25, ECC 66 y ECC 64 que presentaron mayor severidad de mancha aerolada e incidencia de antracnosis del panel y gusano peludo (figura 6.6b). El extremo positivo del CP1 agrupó los genotipos ECC 35, ECC 83 y ECC 60 más susceptibles al SALB y con mayor incidencia de gusano cachón. Por su parte, el CP2 capturó el 22,1% de la variabilidad y separó en su extremo positivo el clon IAN 873 que presentó mayor severidad de costra negra, antracnosis y mancha de perdigón (figura 6.6b). El extremo negativo de este componente agrupó a los genotipos ECC 90 y ECC 73 que presentaron alta incidencia de chinche de encaje, hormiga arriera y raya negra.

Los resultados del presente estudio, comparados con los de Sterling *et al.* (2018) para la localidad de El Paujil, muestran una estabilidad temporal en la tolerancia de genotipos como ECC 29 y ECC 25, dado que en ambos estudios estos materiales presentaron bajas susceptibilidades a los principales problemas fitosanitarios. Sin embargo, genotipos como ECC 35 y ECC 60 aumentaron su susceptibilidad, y otros como ECC 64 y ECC73 mejoraron sus niveles de tolerancia. En relación con la localidad de San Vicente del Caguán, los resultados reportados aquí coinciden con Sterling *et al.* (2018) al destacar genotipos como ECC 66, ECC 73 y ECC 29 que presentaron bajos niveles de susceptibilidad. Sin embargo, contrastan con el genotipo ECC 35, cuya susceptibilidad aumentó significativamente en el presente estudio. Adicionalmente, en esta investigación se destacan genotipos como ECC 64, ECC 90 y ECC 25, que mejoraron sus niveles de tolerancia. En general, se observó en ambas localidades un comportamiento sobresaliente en los genotipos ECC 64, ECC 25, ECC 73 y ECC 29, pero una reacción desfavorable en el genotipo ECC 35, el cual presentó las mayores medias de incidencia y severidad.

6.3.6. Identificación de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 1

En la tabla 6.2 se presentan los mejores genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho por su comportamiento fitosanitario deseable, a partir de la calificación ponderada de las principales plagas y enfermedades foliares y de panel de sangría registradas en campo clonal a gran escala.

Tabla 6.2. Matriz de identificación de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho comparados con el clon IAN 873 (testigo), basada en las variables de severidad de enfermedades foliares, resistencia a *P. ullei*, incidencia de enfermedades del panel (fase de sangría precoz) e incidencia de plagas foliares en dos campos clonales a gran escala en el Caquetá (Colombia)

Localidad	Genotipo	SA ^a	N ^b _{SA}	SCN	N _{SCN}	SMA	N _{SMA}	SMP	N _{SMP}	SMShU	N _{SMShU}	SMShM	N _{SMShM}	TR	N _{TR}	DE	N _{DE}	IRN	N _{IRN}	IAP	N _{IAP}	ICE	N _{ICE}	IGP	N _{IGP}	IGC	N _{IGC}	IHA	N _{IHA}	Calificación ^c	Escalación
El Paujil	ECC 64	2,28	0,30	1,45	0,74	0,48	0,10	1,27	0,37	0,02	1,00	0,64	1,00	0,05	1,00	0,87	1,00	10,77	0,42	20,77	0,25	6,75	0,60	0,25	0,67	0,06	0,79	0,63	0,79	0,774	1
	ECC 25	1,94	0,70	1,29	1,00	0,36	0,60	0,99	1,00	0,07	0,56	0,80	0,86	0,14	0,51	1,21	0,78	0,00	1,00	12,50	0,55	3,33	0,92	0,69	0,10	0,00	1,00	2,72	0,10	0,736	2
	ECC 73	2,17	0,43	1,58	0,51	0,36	0,62	1,20	0,54	0,06	0,61	0,89	0,77	0,11	0,67	1,31	0,71	0,00	1,00	25,00	0,10	11,98	0,10	0,13	0,84	0,00	1,00	0,83	0,72	0,619	3
	ECC 29	2,08	0,54	1,32	0,96	0,36	0,62	1,16	0,63	0,08	0,51	0,84	0,82	0,15	0,44	1,20	0,78	16,07	0,13	11,91	0,57	6,20	0,65	0,00	1,00	0,26	0,13	2,08	0,31	0,609	4
	IAN 873	1,68	1,00	1,57	0,53	0,35	0,64	1,00	0,99	0,09	0,39	1,27	0,43	0,17	0,37	1,72	0,45	16,07	0,14	0,00	1,00	5,00	0,76	0,22	0,72	0,00	1,00	0,41	0,86	0,597	5
	ECC 60	2,45	0,10	1,76	0,22	0,27	1,00	1,24	0,44	0,07	0,58	1,27	0,43	0,13	0,57	1,72	0,45	8,33	0,55	12,50	0,55	10,10	0,28	0,06	0,92	0,00	1,00	1,94	0,36	0,476	6
	ECC 90	2,31	0,26	1,58	0,51	0,42	0,38	1,24	0,44	0,10	0,32	1,12	0,56	0,16	0,40	1,65	0,49	6,25	0,66	6,25	0,78	8,90	0,39	0,67	0,13	0,06	0,79	0,41	0,86	0,469	7
	ECC 83	2,41	0,14	1,54	0,58	0,45	0,24	1,39	0,10	0,08	0,50	1,17	0,52	0,16	0,44	1,69	0,47	8,52	0,54	10,80	0,61	2,50	1,00	0,56	0,27	0,27	0,10	0,00	1,00	0,464	8
	ECC 66	2,31	0,26	1,76	0,21	0,32	0,78	1,35	0,19	0,09	0,37	0,95	0,72	0,17	0,38	1,27	0,74	16,67	0,10	20,83	0,25	11,04	0,19	0,33	0,56	0,06	0,79	1,88	0,38	0,453	9
	ECC 35	2,28	0,30	1,82	0,10	0,28	0,98	1,17	0,61	0,12	0,10	1,63	0,10	0,22	0,10	2,25	0,10	0,00	1,00	0,00	1,00	8,44	0,44	0,48	0,37	0,21	0,31	1,46	0,52	0,258	10
San Vi-cente	ECC 64	2,14	0,60	1,44	0,10	0,27	0,10	1,28	0,80	0,05	1,00	0,74	1,00	0,11	1,00	1,10	1,00	38,03	0,76	36,08	0,10	0,33	0,98	0,33	0,85	0,17	0,85	0,17	0,78	0,792	1
	ECC 29	2,01	0,76	1,03	0,73	0,18	0,76	1,11	1,00	0,10	0,71	1,09	0,72	0,25	0,55	1,57	0,69	24,98	1,00	4,63	0,88	2,50	0,83	0,42	0,78	0,00	1,00	0,00	1,00	0,756	2
	ECC 73	2,02	0,74	1,01	0,77	0,17	0,80	1,34	0,73	0,13	0,54	0,94	0,84	0,26	0,49	1,33	0,85	73,86	0,10	2,80	0,93	2,33	0,84	0,17	1,00	0,17	0,85	0,67	0,10	0,710	3
	ECC 90	1,93	0,85	0,86	0,99	0,17	0,83	1,12	0,99	0,11	0,67	1,04	0,76	0,21	0,66	1,40	0,81	53,75	0,47	25,00	0,38	13,00	0,10	1,17	0,10	0,00	1,00	0,50	0,33	0,705	4
	ECC 25	1,80	1,00	1,09	0,64	0,20	0,59	1,15	0,95	0,14	0,44	1,35	0,51	0,29	0,39	1,84	0,52	56,53	0,42	0,00	1,00	1,50	0,90	0,33	0,85	0,33	0,70	0,00	1,00	0,635	5
	ECC 66	2,36	0,34	1,13	0,58	0,22	0,44	1,18	0,92	0,13	0,52	1,21	0,62	0,25	0,52	1,71	0,60	26,04	0,98	0,00	1,00	1,83	0,87	1,17	0,10	0,33	0,70	0,00	1,00	0,604	6
	IAN 873	2,55	0,11	1,37	0,22	0,16	0,87	1,90	0,10	0,13	0,54	1,55	0,35	0,26	0,50	2,09	0,35	33,33	0,85	0,00	1,00	1,17	0,92	0,33	0,85	0,00	1,00	0,00	1,00	0,511	7
	ECC 60	2,39	0,30	0,86	1,00	0,14	1,00	1,36	0,71	0,20	0,10	1,53	0,36	0,38	0,10	2,00	0,41	25,00	1,00	0,00	1,00	7,00	0,52	0,17	1,00	0,00	1,00	0,67	0,10	0,487	8
	ECC 35	2,23	0,49	1,07	0,68	0,16	0,85	1,36	0,71	0,15	0,39	1,86	0,10	0,30	0,38	2,48	0,10	25,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,17	1,00	1,00	0,10	0,50	0,33	0,443	9
	ECC 83	2,56	0,10	1,19	0,48	0,16	0,89	1,61	0,43	0,20	0,10	1,47	0,42	0,38	0,11	2,05	0,38	55,92	0,43	20,40	0,49	0,83	0,94	0,50	0,70	0,00	1,00	0,00	1,00	0,429	10

^a Nota media

^b Nota media normalizada (N) [0,1 - 1]; 0,1: clon menos deseable; 1: clon más deseable

^c Nota media ponderada

Clave: Severidad (S) de: antracnosis (SA), costra negra (SCN), mancha aerolada (SMA), mancha de peridón (SMP), Componentes de resistencia al mal suramericano de las hojas (MSH); severidad del MSH en hojas jóvenes (SMShU) y en hojas maduras (SMShM), tipo de reacción (TR), densidad estromática (DE), Incidencia (I) de: raya negra (IRN), antracnosis del panel (IAP), chinche de encaje (ICE), gusano peludo (IGP), gusano cación (IGC), hormiga aritera (IHA).

6.4. Consideraciones finales

San Vicente del Caguán fue la localidad con menores notas de severidad para las enfermedades de costra negra (< 2) y mancha aerolada (< 1) en los genotipos ECC 29 y ECC 25. Así mismo, en la época seca se reportaron las menores notas de severidad de las enfermedades ($< 2,2$).

Los genotipos ECC 60 y ECC 35 registraron la mayor tolerancia a las enfermedades raya negra y antracnosis ($< 17\%$) en el panel de sangría precoz, comparados con el IAN 873 (testigo).

A partir de los resultados obtenidos para la resistencia al mal suramericano de las hojas (MSH), es posible concluir que los genotipos ECC 64, ECC 29, ECC 73 y ECC 90 (SMSHJ $< 0,11$; SMSHM $< 1,41$; TR $< 0,21$; y DE $< 1,90$) fueron los más resistentes al MSH comparados con el clon IAN 873 (testigo). Así mismo, es posible afirmar que El Paujil fue la localidad menos afectada por la enfermedad al presentar las notas medias más bajas para cada uno de los componentes de resistencia al MSH.

Se reportaron muy bajas incidencias ($< 6\%$) de insectos plaga en todos los genotipos evaluados, entre los cuales se destacan los genotipos ECC 64, ECC 73 y ECC 35 por presentar incidencias inferiores al 2% para todas las plagas evaluadas. En San Vicente del Caguán se evidenció la menor incidencia de plagas. Así mismo, hubo menor incidencia de chinche de encaje y gusano peludo en la época seca y menor incidencia de gusano cachón y hormiga arriera en la época de lluvia.

Este estudio permite concluir, a partir de la matriz de identificación (tabla 6.2), que: en El Paujil los genotipos caquetenses ECC 64, ECC 25, ECC 73 y ECC 29, y en San Vicente del Caguán los genotipos ECC 64, ECC 29, ECC 73, ECC 90, ECC 25 y ECC 66, fueron los más sobresalientes comparados con el clon IAN 873 (testigo), debido a su mayor tolerancia a los principales problemas fitosanitarios en los primeros tres años de crecimiento en el departamento del Caquetá (Colombia).

6.5. Referencias bibliográficas

- Alarcon, J., Arévalo, E., Díaz, A., Alberto, A. y Galindo, J. (2012). Manejo integrado de plagas y enfermedades en el cultivo del caucho. Bogotá: Instituto Colombiano Agropecuario – Procaucho.
- Altieri, M. (1994). *Biodiversity and pest management in agroecosystems biodiversity and pest management in agroecosystems*. New York: Haworth Press.
- Castellanos, O., Fonseca, S. y Barón, M. (2009). Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de caucho natural y su industria en Colombia. *Ing. e Investig.*, 29, 63-65.
- Chee, K. H. y Holliday, P. (1986). South American leaf blight of Hevea rubber. *Malaysian Rubber Res. Dev. Board Monogr.*, 13, 50.
- Comissão Técnica da Seringueira – CTS. (2010). A cultura da seringueira para o estado de São Paulo. [2ª ed.]. Elaine Cristine Piffer Gonçalves (Coord.). [Manual técnico, 72]. Campinas: CATI.

- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarine, M., Gonzales, L., Tablada, M. y Robledo, C. InfoStat versión (2018) [Internet]. Córdoba, Ar.: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina; 2018. Available: <http://www.infostat.com.ar>.
- Gamboa, J., Sterling, A., Quiceno, D., Quiseno, E., Virguez, Y., Gómez, A., Bermudez, M. y Carreño, A. (2019). Entomofauna asociada a campos clonales a gran escala de caucho (*Hevea brasiliensis*) en el departamento del Caquetá. En A. Sterling Cuellar, C. H. Rodríguez León (Eds.), *Valoración y análisis de la biodiversidad y servicios ecosistémicos asociados a campos clonales de caucho en Caquetá, Amazonia colombiana*, pp. 13-65. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Garzón, F. (2000). Principales plagas y enfermedades en el cultivo del caucho (*Hevea brasiliensis*) con énfasis en la Amazonia colombiana. Bogotá: Instituto Amazonico de Investigaciones Científicas SINCHI – Ministerio del Medio Ambiente, Plan Nacional de Desarrollo Alternativo – Plant.
- Gasparotto, L., Dos Santos, A., Pereira, J. y Ferreira, F. (1997). *Doenças da seringueira no Brasil*. Manaus: Embrapa..
- Gasparotto, L., Ferreira, F., Dos santos, A., Rezende, P. y Furtado, E. (2012). Doenças das folhas. En L. Gasparotto y J. Pereira (Eds.), *Doenças da seringueira no Brasil*, p. 255. Brasília: Embrapa, Amazônia Occidental.
- Gasparotto, L. y Lima, M. (1991). Research on South American Leaf Blight (*Microcyclus ulei*) of rubber in Brazil. *Indian J. Nat. Rubb. Res*, 4, 83-90.
- Gasparotto, L., Rezende, P., Moreira, A., Furtado, E. y Dos Figueredo, S. (2016). *Manual de identificação de doenças da cultura da seringueira*. Brasília.
- Gijón, H., Pérez, G., Torres, H., Ortiz, C., Sánchez, G., Villagómez, R. y Reséndiz, M. (2017). Enfermedades del cultivo de hule [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.]. Coyoacán, Ciudad de México, México: Cenid-Comef, INIFAP.
- Gijón, H., Pérez, G., Torres, H., Rojas, S. y Ortiz, C. (2019). Identificación del agente causal de la antracnosis en el cultivo de hule [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.]. *Rev. Mex. ciencias For.*, 10, 136-148. DOI: <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.29298/rmcf.v10i56.551>
- Hallé, F., Oldeman, R. A. A. y Tomlinson, P. B. (1978). *Tropical trees and forest*. Berlin.
- Junqueira, N. T. V., Chaves, G. M., Zambolim, L., Gasparotto, L. y Alfenas, A. C. (1986). Variabilidade fisiologica de *Microcyclus ulei*. *Fitopatol. Bras.*, 11, 823-833.
- Langford, M. (1945). South American Leaf Blight of Hevea rubber tree. [Technical Bulletin, 882]. Washington: USDA.
- López, J. (1998). Comportamiento de clones de caucho (*Hevea brasiliensis*) en la zona cafetera. [Avances Técnicos Cenicafé, 247]. Chinchiná, Caldas: Cenicafé.
- Mattos, C., García, D., Pinard, F. y Le Guen, V. (2003). Variabilidade de isolados de *Microcyclus ulei* no sudeste da Bahia. *Fitopatol. Bras.*, 28, 502-507. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-41582003000500006>
- Ogbebor, O. (2010). The status of three common leaf disease of Para rubber in Nigeria. *J. Anim. Plant Sci.*, 6, 567-570.
- Picón, L. (1999). Manual para el cultivo del hule en Tabasco. Villahermosa, Tabasco: Gobierno del Estado de Tabasco – INIFAP.
- Pizzeta, M., Porcena, A., Silva, L. y Furtado, E. (2008). Elaboração de escala diagramática de antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Sacc.) para avaliação de clones de seringueira (*Hevea brasiliensis* (Wild ex. A.Juss.) Müll.Arg.). Congresso Nacional de Iniciação Científica. Botucatu.

- Rivano, F., Martínez, M., Cevallos, V. y 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. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9563-7>
- Rojo, M., Jasso, M., Vargas, H. y Palma, L. M. V. (2005). Análisis de la problemática de carácter técnico-económico del proceso productivo del hule en México. *Ra Ximhai*, 1, 81-110.
- Santos, R., Costa, V., Silva, J. y Freitas, S. (2012). Population dynamics of *Leptopharsa heveae* (Hemiptera: Tingidae) and *Erythmelus tingitiphagus* (Hymenoptera: Mymaridae) in rubber tree plants. *Rev. Colomb. Entomol.*, 38, 314-319.
- Santos, R. y Silva, J. (2013). Dinâmica populacional do parasitoide de ovos *Erythmelus tingitiphagus* (hymenoptera: mymaridae) em clone de seringueira, em Itiquira, MT. *Rev. Árvore*, 37, 237-244. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-67622013000200005>
- Sterling, A., Fonseca, J., Velasco, G., Zapata, J. y Caicedo, D. (2018). El mejoramiento genético como estrategia de control de enfermedades y plagas en el cultivo del caucho (*Hevea brasiliensis*). En A. Sterling y C. Rodríguez (Eds.), *Estrategias de manejo para las principales enfermedades y plagas del cultivo del caucho con énfasis en la Amazonia colombiana*, pp. 99-127. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A. y Rodríguez, C. (2018). Estrategias de manejo para las principales enfermedades y plagas del cultivo del caucho con énfasis en la Amazonia colombiana. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A. y Rodríguez, C. (2011). *Nuevos clones de caucho natural para la amazonia colombiana: énfasis en la resistencia al mal suramericano de las hojas (Microcyclus ulei)*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A. y Rodríguez, C. (2014). Agroforestería en el Caquetá: clones promisorios de caucho en asocio con copoazú y plátano hartón con potencial para la Amazonia colombiana. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A. y Rodríguez, C. (2020). Valoración inicial del potencial productivo de *Hevea brasiliensis* en la Amazonia colombiana mediante la evaluación de nuevos clones promisorios para la región. Florencia, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI,.
- Sterling, A., Rodríguez, C., Betancurt, B., Mazon, A., Dussan, I., Galindo, L. C., Hernández, J., Plaza, C., Polo, F., Gamboa, A., Castro, D. y Martínez, O. (2011). Evaluación del desempeño y comportamiento fitosanitario de genotipos elites de H. brasiliensis de origen franco en Campo Clonal a Pequeña Escala CCPE. En A. Sterling y C. Rodríguez (Eds.), *Nuevos clones de caucho natural para la Amazonia colombiana: énfasis en la resistencia al mal suramericano de las hojas (Microcyclus ulei)*, pp. 85-138. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A., Rodríguez, C., Dussan, I., Correa, J., Vargas, M., Centeno, A., Sánchez, R., Rodríguez, A., Plaza, C., Castro, D., Salas, Y., Ossa, E., Ruiz, P. y Castillo, J. (2012). Evaluación fitosanitaria con énfasis en la resistencia a *Microcyclus ulei* de diez clones de caucho natural (*Hevea brasiliensis*) en Campo Clonal a Gran Escala CCGE. En A. Sterling y C. Rodríguez, C. (Eds.), *Ampliación de la base genética de caucho natural con proyección para la Amazonia colombiana: fase de evaluación en periodo improductivo a gran escala*, pp. 79-121. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, C., Rodríguez, O., Quintero, L. y Correa, J. (2009). Evaluación fitosanitaria y resistencia en campo a *Microcyclus ulei* de *Hevea brasiliensis* en la Amazonia colombiana. *Rev. Colomb. Amaz.*, 2, 80-90.

- Sterling, C., Salas, T. y Virgüez, D. (2016). *Erinyis ello* (Lepidoptera: Sphingidae) y *Leptopharsa heveae* (Hemiptera: Tingidae) en *Hevea brasiliensis* en sistema agroforestal. *Rev. Colomb. Entomol.*, 42, 124-132. DOI: <https://doi.org/10.25100/socolen.v42i2.6682>
- Velásquez, E., Lavelle, P. y Andrade, M. (2007). GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biol. Biochem.*, 39, 3066-3080. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.06.013>
- Vélez, D. y Nieto, V. (2013). Desempeño inicial de clones de caucho en el municipio de Puerto Carreño, Vichada, Colombia. *Colomb. For.*, 16, 186-199.

Evaluación del rendimiento precoz y rasgos relacionados de genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*Hevea brasiliensis*) en campos clonales a gran escala en el Caquetá



Armando Sterling Cuellar^{1*}, Ariel Antonio Agudelo-Sánchez², Mauren Daniela Celis-Hernández², Heberth Góngora-Ocampo², Edwin Andrés Clavijo-Arias², Carlos Hernando Rodríguez-León¹, Maolenmarx Tatiana Garzón¹

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

¹ Investigador del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, sede Florencia.

² Co-investigador del proyecto. Convenio 59-2013, Gobernación del Caquetá – Instituto SINCHI.

7.1. Introducción

La producción de caucho natural presenta gran importancia a nivel mundial, principalmente en la industria llantera (Compagnon, 1998). En el año 2018 se reportó una producción de alrededor de 13,8 millones de toneladas, a dicha producción Asia-Pacífico aportó el 91,2%, seguido por África con el 6,8% y América Latina con el 2,3% (IRSG, 2019). Hay alrededor de 2500 especies productoras de látex, sin embargo, la especie *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg es la principal y más importante fuente comercial de caucho natural (Chhim, Somboonsuke y Chirawipa, 2019). El caucho natural ocupa la tercera posición en materias primas para la industria mundial después del hierro y el acero (Pandey, Dhungana y Sharma, 2020). Este derivado del látex es considerado una materia prima excelente para la industria por sus propiedades físicas y químicas, que no pueden ser reemplazadas por el caucho de origen sintético (Li, Wu y Longjun, 2020).

El látex tiene una importancia bastante significativa en la producción de caucho natural, es sintetizado y depositado dentro de las células laticíferas altamente especializadas dentro del floema, por ello, el látex que contiene caucho es en realidad el citoplasma de los vasos laticíferos (Wu, Sun, Li y Zeng, 2017). Para la extracción del látex es necesario generar una herida sobre la corteza blanda del árbol con el fin de abrir los vasos laticíferos y producir un “sangrado”, el látex es expulsado debido a la presión de turgencia liberada por los vasos laticíferos hasta que se obstruyen debido a la coagulación (She *et al.*, 2013).

La producción de caucho natural está relacionada con el flujo y la regeneración del material celular entre dos sangrías (Silva *et al.*, 2012). Las partículas de caucho representan hasta del 55% a menos del 30% del volumen del látex, dependiendo de la época, la hora de extracción, la edad del árbol, el sistema de explotación y el material vegetal (Tungngoen *et al.*, 2009).

El vigor en los árboles de la especie *H. brasiliensis* es el factor de mayor importancia para entrar en la fase de aprovechamiento o sangría, ya que se debe alcanzar una circunferencia óptima de 45 cm a 1,2 m del suelo para iniciar el proceso de sangría (Krishan, 2015). Sin embargo, la determinación del potencial productivo de las progenies y genotipos de caucho a partir de pruebas de precocidad productiva realizada en árboles en fase de crecimiento en los programas de mejoramiento genético, resultan fundamentales para la selección temprana de genotipos superiores o la identificación de patrones futuros de productividad en los materiales genéticos estudiados (Junior, Gonçalves, Aguiar y Arantes, 2007; Ahmad *et al.*, 2009; Silva-Peres *et al.*, 2014; Oliveira *et al.*, 2015; Sant’Anna *et al.*, 2020).

En la Amazonia colombiana, y particularmente en el departamento del Caquetá, se han realizado desde el año 2008 diversos esfuerzos interinstitucionales para identificar y seleccionar nuevos materiales genéticos de caucho (*H. brasiliensis*) a través de la evaluación de clones introducidos (Sterling y Rodríguez, 2012) y el rescate y valoración a pequeña (Sterling y Rodríguez, 2011, 2017) y a gran escala de genotipos élite regionales (Sterling y Rodríguez, 2017, 2018), con el fin de ampliar la base genética de caucho y fortalecer la productividad y la competitividad del sector cauchero en la región.

En el presente capítulo, se presentan los resultados de la evaluación del rendimiento precoz y rasgos relacionados con el látex de nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en la fase de crecimiento en dos campos clonales a gran escala en el departamento del Caquetá (Colombia).

7.2. Metodología

7.2.1. Área de estudio

El estudio se realizó en dos campos clonales a gran escala (CCGE) localizados en los municipios de El Paujil y San Vicente del Caguán en el departamento del Caquetá (Colombia) (figura 5.1).

7.2.2. Material vegetal

Se evaluaron nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 (ECC 25, ECC 29, ECC 35, ECC 60, ECC 64, ECC 66, ECC 73, ECC 83 y ECC 90) de caucho y el clon IAN 873 (testigo).

7.2.3. Diseño experimental

Cada CCGE correspondió a un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, diez tratamientos (genotipos) y sesenta árboles (unidad experimental) por tratamiento (figura 5.1).

7.2.4. Preparación y desarrollo de las actividades de sangría precoz

Las labores inherentes a la sangría precoz incluyeron las siguientes etapas: a) inventario y selección de los árboles aptos; b) trazado y apertura de los paneles de sangría; c) equipamiento y aplicación del sistema de sangría; y d) labores de sostenimiento técnico (figura 7.1).

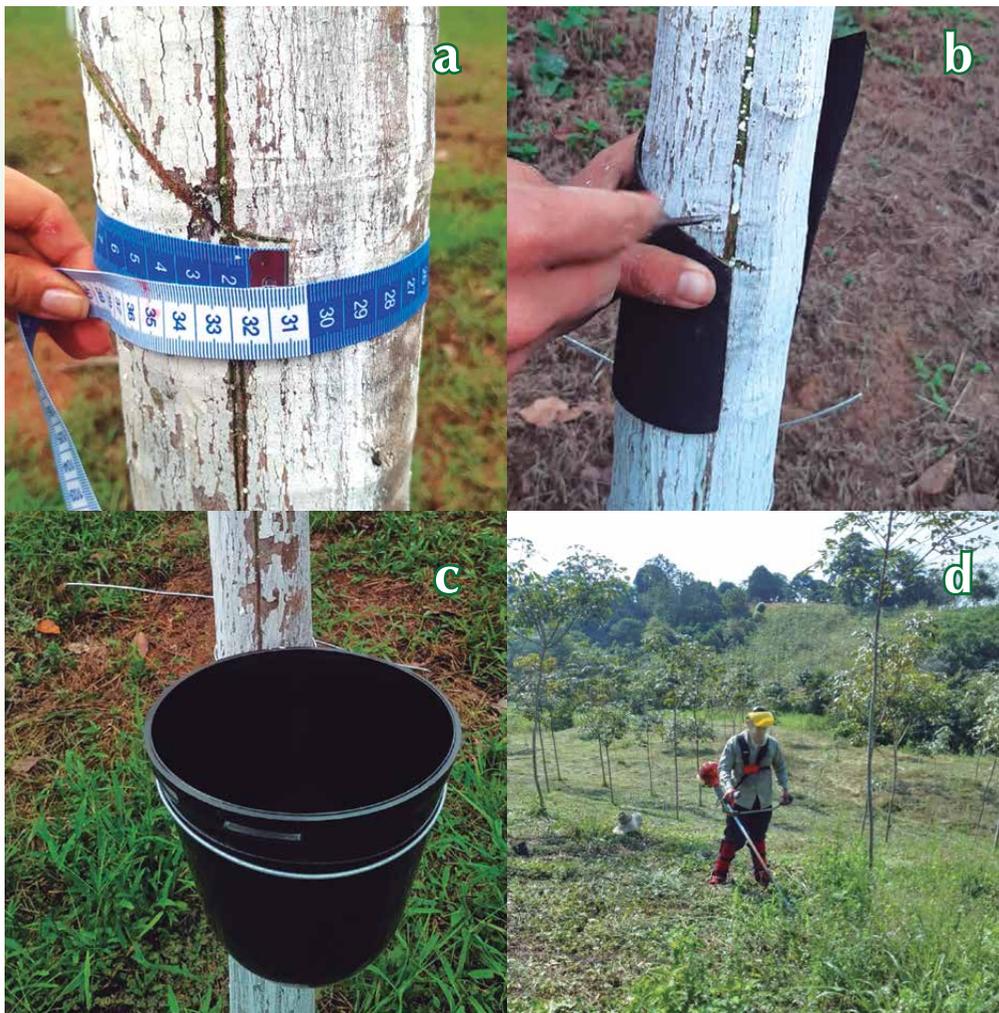


Figura 7.1. Diagrama general del proceso de sangría precoz implementado sobre nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) durante la fase de crecimiento en dos CCGE en el Caquetá (Colombia).

Fuente: Elaboración propia.

- **Inventario y selección de los árboles aptos**

Se midió la circunferencia del tronco (CT) (cm) para identificar los árboles aptos para el proceso de sangría precoz ($CT \geq 25$ cm a 1,2 m del suelo), modificado de Silva-Peres *et al.* (2014). Luego, se marcaron a 1,8 m del suelo los fustes de los árboles con un círculo rojo y el código de siembra de los mismos.

• Trazado y apertura de los paneles de sangría

Se dividió el tronco de los árboles en dos caras iguales y se trazaron dos líneas verticales llamadas generatrices en las caras opuestas del tronco quedando simétrico diametralmente. Luego se marcó el panel de sangría, utilizando una banderola con 35° de inclinación. Para la apertura de los paneles se empleó una cuchilla desinfectada a través de la línea realizada en la marcación del panel con el fin de llegar hasta los vasos laticíferos, y se culminó con un canal vertical de 15 cm de longitud para facilitar el escurrimiento del látex.

• Equipamiento y aplicación del sistema de sangría

Al final del canal vertical se instaló la canaleta y se colocaron las tazas de recolección, utilizando un anillo de alambre galvanizado calibre 12 alrededor del fuste de los árboles. Se empleó un sistema de explotación 1/2S ↓ d/4 6d/7 10 m/12 Etrhel 2,5% 1 (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).

• Labores de sostenimiento técnico

Se realizaron controles manuales, mecánicos y químicos de arvenses cada tres meses, fertilizaciones con abono orgánico (1000 kg.ha⁻¹), mezcla de fertilizantes (270 kg.ha⁻¹.año⁻¹) y correcciones de acidez del suelo con la aplicación de cal dolomita (1,5 kg.ha⁻¹).

7.2.5. Evaluación de los parámetros asociados a la producción precoz

• Vigor pre-sangría

El vigor pre-sangría de los árboles se midió en función de la circunferencia del tronco (CT) a 1,2 m del suelo en la apertura del panel de sangría (CTa) de los árboles aptos para la sangría precoz (CT ≥ 25 cm) en el año 3 después de la siembra.

• Proporción de caucho seco en coágulo y rendimiento de caucho seco

El seguimiento de la producción precoz durante seis meses de sangría al cabo del cual se estimaron el promedio de las variables proporción de caucho seco en coágulo PCSC (%) y rendimiento de caucho seco RCS (g.árbol⁻¹.sangría⁻¹).

Para estimar PCSC se recolectó el coágulo de campo (peso fresco) cada tres sangrías en cada árbol en producción. Luego, se tomó al azar una muestra de coágulo (20 a 25 g) en cada parcela elemental. Esta muestra se laminó con un equipo de rodillos abiertos hasta obtener una lámina de 2 mm de espesor y a continuación se secó a 120 °C por 5 horas en un horno de calentamiento convencional hasta obtener un peso seco constante (Mendoza y Jiménez, 2018).

A partir de la determinación del PCSC y el peso fresco del coágulo recolectado, se calculó el RCS (g.árbol⁻¹.sangría⁻¹).

El cálculo de PCSC se realizó con la ecuación 7.1:

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

Ecuación (7.1)

Donde:

PCSC: Proporción de caucho seco en coágulo (%)

A: Peso de la muestra inicial fresca (g)

B: Peso de la muestra final seca (g)

El cálculo del RCS se realizó con la ecuación 7.2:

$$RCS = PCF * PCSC$$

Ecuación (7.2)

Donde:

RCS: Rendimiento de caucho seco (g.árbol⁻¹.sangría⁻¹)

PCF: Peso de caucho fresco (g.árbol⁻¹.sangría⁻¹)

PCSC: Proporción de caucho seco en coágulo (%)

7.2.6. Análisis de la información

Las variables estudiadas se analizaron mediante un ANOVA con el fin de determinar la variación entre localidades, genotipos y su interacción. Una prueba LSD de Fisher al 5% de significancia permitió contrastar la diferencia entre las medias de estas variables. La técnica de análisis de componentes principales se empleó con el fin de ordenar los genotipos de acuerdo con su comportamiento productivo precoz. A partir de los datos de producción precoz, se realizó una proyección del rendimiento e ingresos económicos potenciales a escala comercial de los diez materiales genéticos estudiados en las dos localidades del Caquetá.

En cada localidad, las medias de las variables estudiadas por genotipo fueron normalizadas en el intervalo [0,1 - 1], al igual que en Velásquez *et al.* (2007), utilizando la ecuación 7.3.

$$Y = 0,1 + \frac{(x - b)}{(a - b)} * 0,9$$

Ecuación (7.3)

Donde:

x = variable a transformar

a = valor máximo de la variable

b = valor mínimo de la variable

Luego, se calculó la media ponderada de todas las variables transformadas, usando la siguiente ponderación: RCS (90%), PCSC (5%) y CTa (5%). Esta media fue ordenada de mayor a menor con el fin de obtener por cada localidad el escalafón de los mejores genotipos por su vigor y desempeño productivo precoz. Las pruebas estadísticas se realizaron con el programa InfoStat versión 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).

7.3. Resultados y discusión

7.3.1. Influencia de los factores principales sobre los parámetros asociados a la producción precoz

Según la tabla 7.1, se presentaron diferencias significativas para CTa y PCSC entre localidades ($P < 0,05$), y para CTa y RCS entre genotipos ($P < 0,05$).

En San Vicente del Caguán se presentaron las medias más altas para las variables CTa, PCSC y RCS con valores de 26,36 cm, 64,78% y 2,31, g.árbol⁻¹.sangría⁻¹, respectivamente (tabla 7.1). Los genotipos ECC 64 y ECC 25 presentaron las mayores medias de CTa (26,73 cm y 26,21 cm, respectivamente). Los genotipos ECC 25 y ECC 29 tuvieron los mayores promedios de PCSC, con valores del 60,45% y 58,45%, respectivamente. Los genotipos ECC 25, ECC 83, ECC 64 y ECC 90 presentaron los mayores rendimientos, con medias de RCS de 3,68, 3,16, 2,69 y 2,36 g.árbol.sangría⁻¹, respectivamente.

Tabla 7.1. Medias de los parámetros asociados a la producción precoz por localidad y por genotipo de caucho (*H. brasiliensis*) en el Caquetá (Colombia)

Factor	Nivel	Variables		
		CTa	PCSC	RCS
Localidad	El Paujil	25,09 ± 0,09 ^a b ^b	48,53 ± 1,23 b	1,89 ± 0,10 a
	San Vicente del Caguán	26,36 ± 0,16 a	64,78 ± 1,15 a	2,31 ± 0,22 a
Genotipo	ECC 25	26,21 ± 0,20 ab	60,45 ± 1,32 a	3,68 ± 0,76 a
	ECC 29	25,92 ± 0,16 b	58,45 ± 2,78 a	0,88 ± 0,04 c
	ECC 35	25,00 ± 0,61 b	52,58 ± 5,16 a	1,72 ± 0,23 c
	ECC 60	25,07 ± 0,24 b	56,97 ± 0,83 a	1,37 ± 0,12 c
	ECC 64	26,73 ± 0,18 a	58,13 ± 1,18 a	2,69 ± 0,35 ab
	ECC 66	25,34 ± 0,22 b	57,49 ± 2,16 a	1,46 ± 0,18 c
	ECC 73	25,47 ± 0,22 b	56,31 ± 2,38 a	1,85 ± 0,19 bc
	ECC 83	26,00 ± 0,19 b	55,26 ± 2,54 a	3,16 ± 0,23 a
	ECC 90	25,99 ± 0,26 b	53,66 ± 4,03 a	2,36 ± 0,73 abc
	IAN 873	25,44 ± 0,31 b	57,24 ± 0,21 a	1,80 ± 0,18 c

^a Error estándar

^b Valores en cada columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD Fisher ($P < 0,05$).
Clave: **CTa**: Circunferencia del tronco en la apertura del panel (cm); **PCSC**: Proporción de caucho seco en coágulo (%). **RCS**: Rendimiento de caucho seco (g.árbol⁻¹.sangría⁻¹).

Fuente: Elaboración propia.

7.3.2. Efecto de la interacción localidad x genotipo sobre los parámetros asociados a la producción precoz

• Vigor pre-sangría

La interacción localidad x genotipo resultó muy significativa para la CTa ($P < 0,01$) (figura 7.2). En San Vicente del Caguán los genotipos ECC 64 Y ECC 25 presentaron el mayor vigor pre-sangría, con medias de CTa de 28,32 cm y 27,42 cm, respectivamente. Estas medias fueron significativamente superiores a la del clon IAN 873 (CTa = 25,88 cm). En El Paujil no se evidenciaron diferencias significativas entre genotipos ($P > 0,05$) (figura 7.2). En general, todos los demás genotipos presentan un vigor mayor al IAN 873, con excepción del genotipo ECC 60.

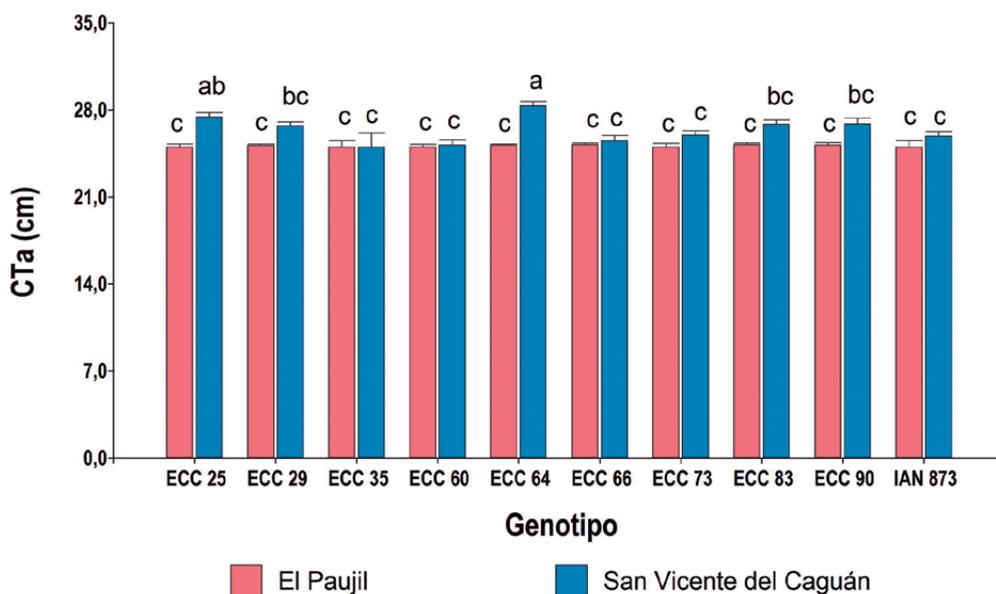


Figura 7.2. Medias de la circunferencia del tronco en la apertura del panel de sangría (CTa) (cm) de nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en el inicio de la fase de sangría precoz en dos localidades del Caquetá, Colombia. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes, prueba LSD ($P > 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

Además del rendimiento productivo, el vigor basado en la circunferencia del tronco es un criterio de selección en los programas de mejoramiento genético del caucho, dado que es un rasgo importante asociado con el inicio de la sangría y el rendimiento temprano (Ahmad *et al.*, 2009). Según Gonçalves (2013), el buen crecimiento del tronco durante el período de sangría mantendrá la producción constante a lo largo de su vida útil.

El incremento de la circunferencia del tronco disminuye cuando se inicia la explotación (sangría), pues los productos de la fotosíntesis se dividen en la producción de látex y el crecimiento del

diámetro del tronco (Gouvêa et al., 2012), de ahí que el vigor durante la sangría sea un indicador importante para entender mejor el rendimiento temprano y la estabilidad de la producción en los primeros años de sangría (Krishan, 2015). Antony, Priyadarshan, Das y Dey (2018) encontraron que los árboles con un rendimiento alto obtuvieron un grosor superior al promedio en el primer año de sangría, indicando una relación positiva del rendimiento temprano con la circunferencia del tronco.

• Proporción de caucho seco en coágulo

La interacción localidad x genotipo fue muy significativa para PCSC ($P < 0,01$) (figura 7.3). Las diferencias no se encontraron entre genotipos de la misma localidad, sino entre genotipos de distinta localidad. En San Vicente del Caguán todos los genotipos presentaron medias de PCSC superiores a las de El Paujil. Estas diferencias entre localidades fueron significativas para los genotipos ECC 25, ECC 73, ECC 83 e IAN 873 con medias de PCSC $> 60\%$ en San Vicente del Caguán. En El Paujil los genotipos ECC 25, ECC 29, ECC 66 y ECC 64 presentaron medias de PCSC $< 53\%$, y los genotipos ECC 73 y IAN 873 tuvieron medias de PCSC $< 46\%$.

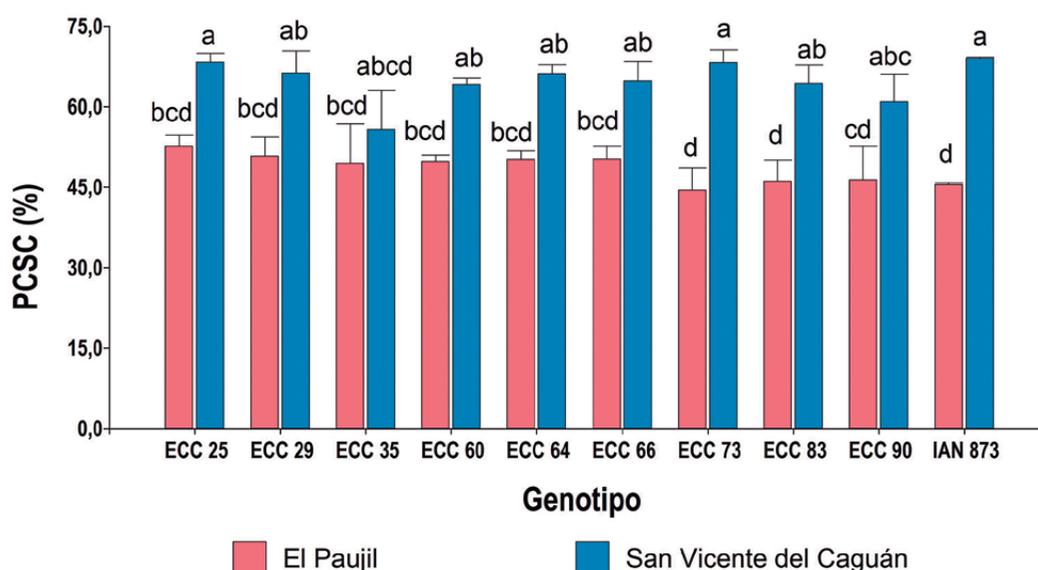


Figura 7.3. Medias de la proporción de caucho seco en coágulo PCSC (%) de nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en el inicio de la fase de sangría precoz en dos localidades del Caquetá, Colombia. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes, prueba LSD ($P > 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

La proporción de caucho seco en coágulo está muy relacionado con las labores de beneficio del coágulo y las condiciones climáticas, especialmente la lluvia (Fernández, 2013; Sterling y Hernández, 2012). En este sentido, un menor contenido de humedad en el coágulo favorecerá

una mayor proporción de caucho, pero no necesariamente un mayor rendimiento, pues este estará más relacionado con el potencial genético del árbol para producir más contenido de caucho seco en látex (Gohet *et al.*, 2015; Quesada, Aristizábal y Montoya, 2012).

• Rendimiento de caucho seco

Se evidenció un efecto muy significativo de la interacción localidad x genotipo en RCS ($P < 0,01$) (figura 7.4). Las diferencias se observaron entre genotipos de la misma localidad y entre genotipos de localidades distintas. En San Vicente del Caguán, los genotipos ECC 25, ECC 64 y ECC 83 presentaron las mayores medias de RCS (5,55, 3,75 y 3,30 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹, respectivamente, significativamente superiores a las del clon IAN 873 (1,88 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹). En El Paujil los genotipos ECC 35 y ECC 83, con valores de 3,03 y 3,01 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹, respectivamente, tuvieron un rendimiento superior al IAN 873 (1,73 g.árbol⁻¹.sangría⁻¹) (figura 7.4).

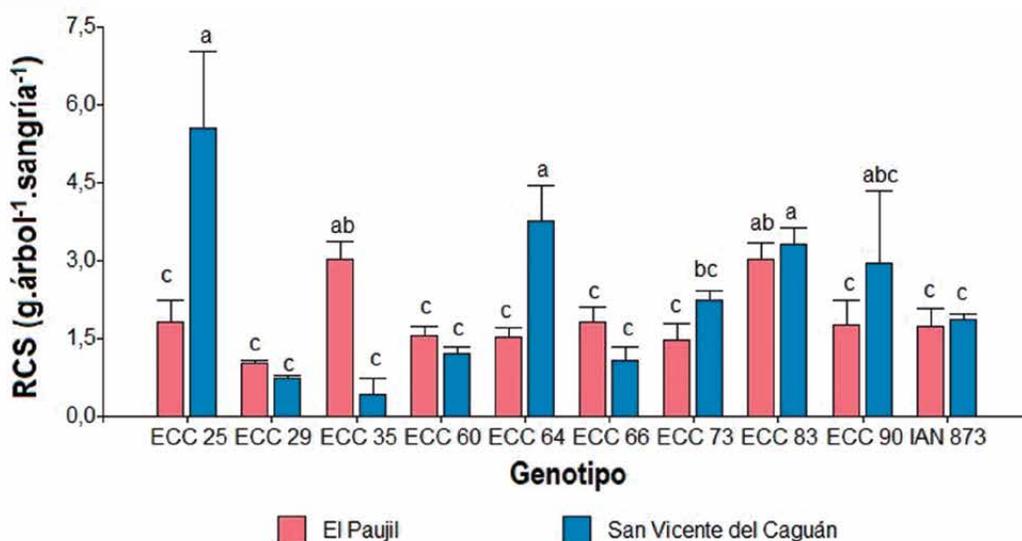


Figura 7.4. Medias del rendimiento de caucho seco (g.árbol⁻¹.sangría⁻¹) de nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en el inicio de la fase de sangría precoz en dos localidades del Caquetá. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes, prueba LSD ($P > 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

En los sistemas de sangría de menor frecuencia, como d/4 y d/7, se produce una mayor y mejor regeneración de látex en los vasos laticíferos, obteniendo de esta manera mejores rendimientos productivos. Sin embargo, una correcta sangría aunada a la genética y los estados fenológicos del árbol optimizarán aún más el rendimiento (Silva *et al.*, 2012). Asimismo, las variables climáticas influyen en el rendimiento en términos fotosintéticos e hídricos para la producción del látex de caucho (Carr, 2012; Golbon *et al.*, 2015).

7.3.3. Análisis de componentes principales (ACP) de los parámetros asociados a la producción precoz

El análisis de componentes principales realizado en El Paujil y en San Vicente del Caguán capturó con las tres variables estudiadas más del 70% de la variabilidad total en cada localidad con los dos primeros componentes principales (figura 7.5)

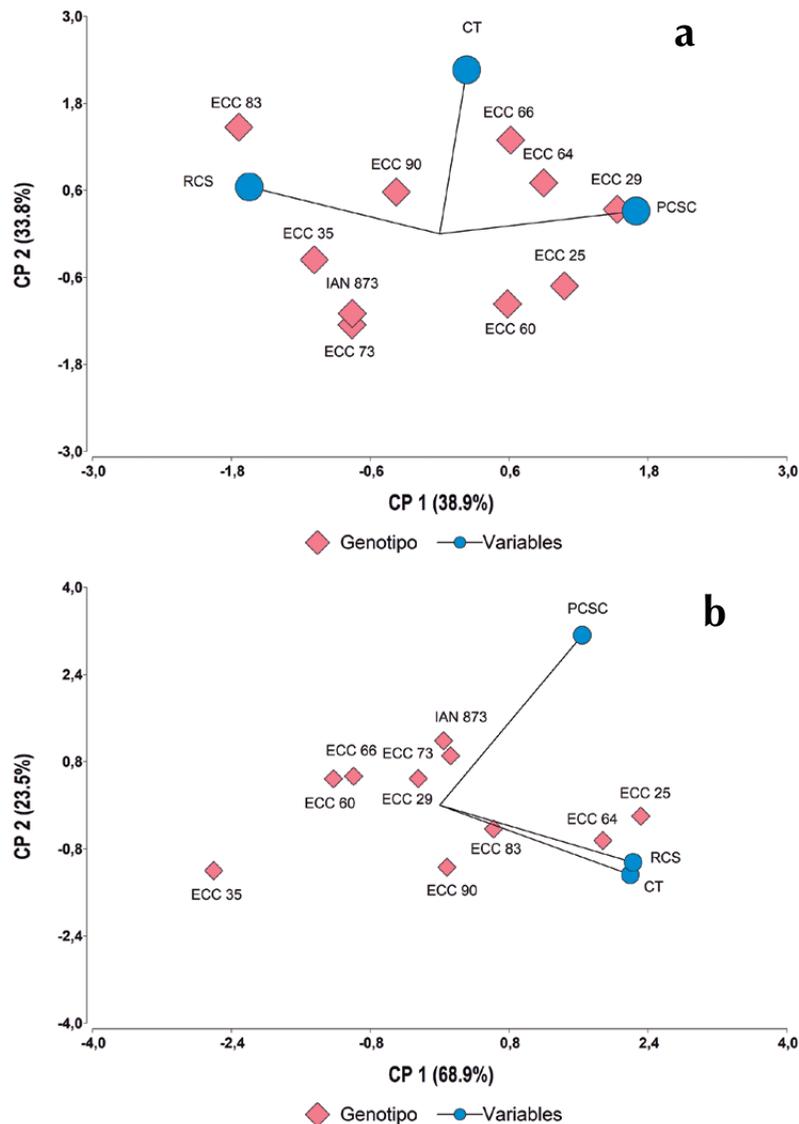


Figura 7.5. Análisis de componentes principales (gráfico biplot) para las variables asociadas con la producción precoz de nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en el inicio de la fase de sangría precoz en dos localidades del Caquetá. (a) El Paujil; (b) San Vicente del Caguán. Clave: CTa: Circunferencia del tronco en

la apertura del panel de sangría (cm). PCSC: Proporción de caucho seco en coágulo (%). RCS: Rendimiento de caucho seco (g.árbol⁻¹.sangría⁻¹).

Fuente: Elaboración propia.

En El Paujil, los genotipos con mayor RCS tuvieron menor PCSC y su comportamiento productivo fue independiente de la CTa (figura 7.5a). En este sentido, los genotipos ECC 35, ECC 83 y ECC 90 presentaron un mayor RCS, comparados con genotipos como ECC 29, ECC 60 y ECC 25. Otros genotipos como ECC 64 y ECC 66 se destacaron más por su CTa.

En San Vicente del Caguán, ocurrió casi lo contrario, pues los genotipos ECC 64 y ECC 25 tuvieron el mayor RCS y CTa (figura 7.5b), seguido por los genotipos ECC 83 y ECC 90 que también fueron relevantes en El Paujil (figura 7.5a). La variable PCSC fue, en general, independiente del comportamiento productivo observado en los genotipos valorados en San Vicente del Caguán. El genotipo ECC 35 fue el de menor rendimiento en esta localidad.

7.3.4. Proyección del rendimiento e ingresos económicos potenciales

En la localidad de El Paujil, los genotipos ECC 35 y ECC 83 tuvieron un rendimiento un 74% superior al IAN 873 en los primeros seis meses de sangría, lo que implicaría con este rendimiento temprano un ingreso económico potencial bruto mayor a \$ 4.300.000 COP.ha⁻¹año⁻¹. En San Vicente del Caguán, los genotipos ECC 90, ECC 83, ECC 64 y ECC 25 presentaron rendimientos superiores al IAN 873 (56,91%, 75,53%, 99,47%, y 195,21% superiores, respectivamente) con ingresos potenciales mayores a \$ 3.900.000 COP.ha⁻¹año⁻¹.

Tabla 7.2. Proyección del rendimiento e ingresos económicos potenciales a escala comercial de los diez genotipos de caucho (*H. brasiliensis*) para las dos localidades del Caquetá (Colombia)

Localidad	Genotipo	RCS (g.árbol ⁻¹ .sangría ⁻¹)	RCSA (g.árbol ⁻¹ .año ⁻¹)	Proporción de RCS (%) ^a	RCSEC (Ton.ha ⁻¹ .año ⁻¹) ^b	Ingresos estimados (COP.ha ⁻¹ .año ⁻¹) ^c
El Paujil	ECC 25	1,81	108,60	4,62	0,94	2.636.532
	ECC 29	1,02	61,20	-41,04	0,53	1.485.780
	ECC 35	3,03	181,80	75,14	1,58	4.413.642
	ECC 60	1,55	93,00	-10,40	0,81	2.257.803
	ECC 64	1,64	98,40	-5,20	0,85	2.388.902
	ECC 66	1,83	109,80	5,78	0,95	2.665.665
	ECC 73	1,48	88,80	-14,45	0,77	2.155.838
	ECC 83	3,01	180,60	73,99	1,57	4.384.509
	ECC 90	1,76	105,60	1,73	0,92	2.563.699
	IAN 873	1,73	103,80	-	0,90	2.520.000

Localidad	Genotipo	RCS (g.árbol ⁻¹ .sangría ⁻¹)	RCSA (g.árbol ⁻¹ .año ⁻¹)	Proporción de RCS (%) ^a	RCSEC (Ton.ha ⁻¹ .año ⁻¹) ^b	Ingresos estimados (COP.ha ⁻¹ .año ⁻¹) ^c
San Vicente del Caguán	ECC 25	5,55	333,00	195,21	2,66	7.439.362
	ECC 29	0,74	44,40	-60,64	0,35	991.915
	ECC 35	0,41	24,60	-78,19	0,20	549.574
	ECC 60	1,20	72,00	-36,17	0,57	1.608.511
	ECC 64	3,75	225,00	99,47	1,80	5.026.596
	ECC 66	1,09	65,40	-42,02	0,52	1.461.064
	ECC 73	2,23	133,80	18,62	1,07	2.989.149
	ECC 83	3,30	198,00	75,53	1,58	4.423.404
	ECC 90	2,95	177,00	56,91	1,41	3.954.255
IAN 873	1,88	112,80	-	0,90	2.520.000	

^a Cálculo realizado con respecto al clon IAN 873 (datos del presente estudio).

^b Proyección realizada sobre 400 árboles explotados por 10 meses al año con un total de 60 sangrías comparado con el rendimiento comercial promedio del clon IAN 873 (0,9 t.ha⁻¹.año⁻¹).

^c Valor de 1 kg de caucho seco: \$ 2.800 COP (ASOHECA, 2020).

Claves: RCS: rendimiento de caucho seco (promedio de los primeros seis meses de sangría); RCSA: rendimiento de caucho seco acumulado (sumatoria de los primeros seis meses de sangría); RCSEC: rendimiento de caucho seco a escala comercial (proyección estimada).

Fuente: Elaboración propia.

7.3.5. Identificación de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 1

En la tabla 7.3 se presentan los mejores genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho por su vigor y desempeño productivo precoz en dos campos clonales a gran escala, a partir de la calificación ponderada de las variables priorizadas por su importancia agronómica para el cultivo del caucho.

Tabla 7.3. Matriz de identificación de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho comparados con el clon IAN 873 (testigo), basada en las variables circunferencia del tronco en la apertura del panel de sangría y rendimiento de caucho seco en dos campos clonales a gran escala en el Caquetá (Colombia)

Localidad	Genotipo	CTa ^a	N ^b _{CTa}	RCS	N _{RCS}	Calificación ^c	Escalafón
El Paujil	ECC 83	25,18	0,95	3,01	0,99	0,989	1
	ECC 35	25,01	0,10	3,03	1,00	0,955	2
	ECC 66	25,19	1,00	1,83	0,46	0,487	3
	ECC 90	25,14	0,75	1,76	0,43	0,449	4
	ECC 25	25,02	0,15	1,81	0,45	0,436	5
	ECC 64	25,15	0,80	1,64	0,38	0,400	6
	IAN 873	25,01	0,10	1,73	0,42	0,399	7
	ECC 60	25,02	0,15	1,55	0,33	0,325	8
	ECC 73	25,03	0,20	1,48	0,31	0,302	9
ECC 29	25,13	0,70	1,02	0,10	0,130	10	

Localidad	Genotipo	CTa ^a	N ^b _{CTa}	RCS	N _{RCS}	Calificación ^c	Escalafón
San Vicente del Caguán	ECC 25	27,42	0,76	5,55	1,00	0,988	1
	ECC 64	28,32	1,00	3,75	0,68	0,701	2
	ECC 83	26,82	0,59	3,30	0,61	0,605	3
	ECC 90	26,84	0,60	2,95	0,54	0,547	4
	ECC 73	25,95	0,36	2,23	0,42	0,416	5
	IAN 873	25,88	0,34	1,88	0,36	0,356	6
	ECC 29	26,70	0,56	0,74	0,16	0,178	7
	ECC 66	25,50	0,24	1,09	0,22	0,220	8
	ECC 60	25,14	0,14	1,20	0,24	0,233	9
	ECC 35	25,00	0,10	0,41	0,10	0,100	10

^a Nota media
^b Nota media normalizada (N) [0,1 - 1]. 0,1: genotipo menos deseable. 1: genotipo más deseable
^c Nota media ponderada
Clave: CTa: Circunferencia del tronco en la apertura del panel (cm); RCS: Rendimiento de caucho seco (g.árbol⁻¹. sangría⁻¹).
Fuente: Elaboración propia.

7.4. Consideraciones finales

En general, en San Vicente del Caguán se presentó el mayor desempeño (CTa, PCSC y RCS) de los genotipos estudiados. Los genotipos ECC 64 y ECC 25 fueron los más vigorosos (CTa). Los genotipos ECC 25 y ECC 29 presentaron rendimientos superiores para la variable PSCS. Los genotipos ECC 25, ECC 83, ECC 64 y ECC 90 tuvieron el mayor rendimiento (RCS).

Este estudio permite concluir, a partir de la matriz de identificación (tabla 7.3), que los genotipos caquetenses de la selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) más sobresalientes comparados con el clon IAN 873 (testigo), de acuerdo a su vigor pre-sangría y desempeño productivo precoz en cada localidad, fueron: a) en El Paujil, los genotipos ECC 83, ECC 35, ECC 66, ECC 90, ECC 25 y ECC 64; y b) en San Vicente del Caguán, los genotipos ECC 25, ECC 64, ECC 83, ECC 90 y ECC73.

7.5. Referencias bibliográficas

- Ahmad, B., Idris, H. y Sulong, S. H. (2009). Early selection of promising high yielding Hevea progenies based on selected physiological and stomatal characteristics. *J. Rubber Res.*, 12, 140-150.
- Antony, P. D., Priyadarshan, P. M., Das, K. y Dey, S. K. (2018). Yield-growth dynamics of hevea hybrid clones in tripura. *J. Rubber Res.*, 21, 46-61. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf03449161>
- ASOHECA, 2020. Asociación de reforestadores y cultivadores de caucho del Caquetá. Florencia. Recuperado: http://www.asoheca.org/paginas/art_planprospectivo.html
- Carr, M. K. V. (2012). The water relations of rubber (*Hevea brasiliensis*): A review. *Exp. Agric.*, 48, 176-193. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0014479711000901>

- Chhim, C., Somboonsuke, B. Y Chiarawipa, R. (2019). The study of rubber tapping technology quality in Memot Rubber Plantation Co., Ltd. *Int. J. Agric. Technol.*, 15, 1-16.
- Compagnon, P. (1998). *El caucho natural, biología, cultivo, producción*. México: Consejo Mexicano del Hule – CIRAD.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarine, M. G., Gonzales, L., Tablada, M. y Robledo, C.W. (2018). InfoStat versión 2018. Centro de transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Fernández, M. (2013). Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de cultivos por sectores. Estado del arte sobre la agricultura y el cambio climático. Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo – Fonade e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Bogotá. 49 p
- Gohet, E., Cavaloc, E., Cardoso, S., Cairo, I., García, D., Rivano, F., Lacote, R. y Lesturgez, G. (2015). A first physiological assessment of latex clonal metabolic typology and rubber yield potential of “CMS” rubber tree clones. En Proceeding International Rubber Conference, Ho Chi Minh 2 - 3 November 2015, pp. 287–294. Agriculture Publishing House. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3007.4328>
- Golbon, R., Ogutu, J. O., Cotter, M. y Sauerborn, J. (2015). Rubber yield prediction by meteorological conditions using mixed models and multi-model inference techniques. *Int. J. Biometeorol.*, 59, 1747-1759. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-015-0983-0>
- Gonçalves, P. S. (2013). Novos clones de Seringueira para o estado de São Paulo. In: Simpósio Sobre a Cult. da Sering. no Estado São Paulo, 38. São Paulo, Brasil.
- Gouvêa, L. R. L., Silva, G. A. P., Verardi, C. K., Silva, J. Q., Scaloppi-Junior, E. J. y Gonçalves, P. S. (2012). Temporal stability of vigor in rubber tree genotypes in the pre- and post-tapping phases using different methods. *Euphytica*, 186, 625-634. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-012-0688-y>
- International Rubber Study Group – IRSG. (2019). *Rubber Statistical Bulletin*. Sri Lanka.
- Junior, E. J. S., Gonçalves, P. S., Aguiar, A. T. E. y Arantes, F. E. (2007). Seleção de progênies de seringueira a partir de caracteres de produção e vigor. En, *Memórias I Congresso Brasileiro de Heveicultura*. Borracha Natural, p. 2. Brasil: INCAPER.
- Krishan, B. (2015). Growth assesement of popular clones of natural rubber (*Hevea brasiliensis*) under warm dry climatic conditions of chattisgarh state, central India. *J. Exp. Biol. Agric. Sci.*, 3, 157-161. DOI: [https://doi.org/10.18006/2015.3\(2\).157.161](https://doi.org/10.18006/2015.3(2).157.161)
- Li, D., Wu, S. y Longjun, D. (2020). Current progress in transcriptomics and proteomics of latex physiology and metabolism in the *Hevea brasiliensis* Rubber Tree. En M. Matsui y K. S. Chow (Eds.), *The Rubber Tree Genome*, p. 191. Malaysia: Springer Nature Switzerland AG. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-42258-5>
- Mendoza, L. P. y Jiménez, J. A. (2018). Efecto de inclusión de anticoagulantes durante el beneficio de *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg. *Colomb. For.*, 21, 91-101. DOI: <https://doi.org/10.14483/2256201X.11878>
- Oliveira, A. L. B., Gouvêa, L. R. L., Verardi, C. K., Silva, G. A. P. y Gonçalves, P. S. (2015). Genetic variability and predicted genetic gains for yield and laticifer system traits of rubber tree families. *Euphytica*, 203, 285-293. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-014-1256-4>
- Pandey, S. R., Dhungana, S. M. y Sharma, G. P. (2020). Economics of production and marketing of natural rubber (*Hevea brasiliensis*) in Jhapa, Nepal. *Arch. Agric. Environ. Sci.*, 5, 25-32. DOI: <https://doi.org/10.26832/24566632.2020.050104>

- Quesada, I., Aristizábal, F. y Montoya, 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. DOI: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2012.1.a06>
- Rojas, J., Rojas, M., Rueda, G. H., Suárez, Y. J. y 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. DOI: <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6160>
- Sant'Anna, I. de C., Gouvêa, L. R. L., Spitti, A. M. D. S., Martins, A. L. M. y Gonçalves, P. S. (2020). Relationships between yield and some anatomical and morphological traits in rubber tree progenies. *Ind. Crops Prod.*, 147, 112221. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112221>
- She, F., Zhu, D., Kong, L., Wang, J., An, F. y Lin, W. (2013). Ultrasound-assisted tapping of latex from Para rubber tree *Hevea brasiliensis*. *Ind. Crops Prod.* 50, 803-808. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.08.065>
- Silva-Peres, G. A., Gouvêa, L. R. L., Verardi, C. K., Oliveira, A. L. B. y Gonçalves, P. S. (2014). Annual growth increment and stability of rubber yield in the tapping phase in rubber tree clones: Implications for early selection. *Ind. Crops Prod.*, 52, 801-808. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.12.010>
- Silva, J. Q., Scaloppi, E. J., Moreno, R. M. B., De Souza, G. B., Gonçalves, P. S. y Filho, J. A. S. (2012). Producción y propiedades químicas del caucho en clones de *Hevea* según los estados fenológicos. *Pesqui. Agropec. Bras.*, 47, 1066-1076.
- Sterling, A. y Hernández, J. 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, 111-125.
- Sterling, A. y Rodríguez, C. H. (2012). Ampliación de la base genética de caucho de caucho natural con proyección para la Amazonia colombiana: fase de evaluación en periodo improductivo a gran escala. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A. y Rodríguez, C. H. (2018). Estrategias de Mmanejo para las principales enfermedades y plagas del cultivo del caucho con énfasis en la Amazonia colombiana. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A. y Rodríguez, C. H. (2017). Bases técnicas para la selección, propagación y establecimiento de materiales regionales élitos de caucho en Caquetá. Florencia, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A. y Rodríguez, C. H. (Eds.). (2011). Nuevos clones de caucho natural para la Amazonia colombiana: énfasis en la resistencia al mal suramericano de las hojas (*Microcyclus ulei*). Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Tungngoen, K., Kongsawadworakul, P., Viboonjun, U., Katsuhara, M., Brunel, N., Sakr, S., Narangajavana, J. y Chrestin, H. (2009). Involvement of HbPIP2;1 and HbTIP1;1 aquaporins in ethylene stimulation of latex yield through regulation of water exchanges between inner liber and latex cells in *Hevea brasiliensis*. *Plant Physiol.*, 151, 843-856. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.109.140228>
- Velásquez, E., Lavelle, P. y Andrade, M. (2007). GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biol. Biochem.*, 39, 3066-3080. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.06.013>
- Wu, C., Sun, L., Li, Y. 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.042>

Evaluación de la resistencia al hongo *Pseudocercospora ulei* de genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*Hevea brasiliensis*) en condiciones de inoculación controlada en el Caquetá



Armando Sterling Cuéllar^{1*}, Jesica Andrea Fonseca-Restrepo², Lyda Constanza Galindo-Rodríguez^{2,3} y Karla Valentina Arboleda-Gasca²

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

¹ Investigador del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, sede Florencia.

² Co-investigador del proyecto. Convenio 59-2013, Gobernación del Caquetá – Instituto SINCHI.

³ Docente del Programa de Biología, Facultad de Ciencias Básicas – Universidad de la Amazonía.

8.1. Introducción

El mal suramericano de las hojas (MSH) por sus siglas en inglés SALB (South American Leaf Blight) es una enfermedad endémica del caucho (*Hevea brasiliensis*) causada por el hongo patógeno *Pseudocercospora ulei*, y constituye el principal limitante del cultivo en América donde el microorganismo es endémico (García *et al.*, 2011; Rivano *et al.*, 2011). Esta enfermedad provoca retrasos en el desarrollo y pérdidas significativas de los cultivos, lo que disminuye la producción de látex (Cevallos, 2013; Hurtado *et al.*, 2015).

El manejo de esta enfermedad está orientado principalmente a la búsqueda de resistencia genética en el hospedero (García, 2012). En América Latina, la extensión del cultivo ha sido limitada por la baja oferta de materiales resistentes que permitan su fomento en zonas donde el hongo es endémico (Rivano *et al.*, 2011). En la Amazonia colombiana, la mayoría de los cultivares han perdido productividad y cada vez son más susceptibles al MSH (Sterling *et al.*, 2009; 2010).

Lo anterior ha motivado en muchos países de Latinoamérica a ampliar el conocimiento sobre la variabilidad fisiológica del hongo (Gasparotto *et al.*, 2012; Mattos *et al.*, 2003) y su virulencia en clones de caucho de uso comercial, promisorio y potencial, con el fin de identificar métodos apropiados de manejo de la enfermedad (Sterling, 2008). Las pérdidas ocasionadas por el MSH en la región justifican la necesidad de promover y ampliar la base genética del caucho, mediante la evaluación a pequeña y a gran escala de materiales con caracteres fenotípicos sobresalientes acordes con las características edafoclimáticas de cada región (Castellanos *et al.*, 2009; 2010).

El uso del mejoramiento genético para la generación de materiales con resistencia al MSH representa la principal estrategia para el manejo de la enfermedad (Gasparotto *et al.*, 2012; Rivano *et al.*, 2013). En este sentido, desde el año 2009 en el Caquetá (Colombia) se viene analizando la resistencia a *P. ulei* de genotipos élite caquetenses en campo clonal a pequeña y a gran escala, así como en condiciones de inoculación controlada (Sterling *et al.*, 2019; Sterling y Rodríguez, 2011; 2018). No obstante, debido a la variabilidad fisiológica de *P. ulei*, la aparición de nuevas razas del hongo pueden atenuar los niveles de resistencia o causar la pérdida de resistencia en los materiales genéticos (Bevenuto *et al.*, 2017; Mattos *et al.*, 2003). Esto implica no solo conocer la variabilidad fisiológica y genética del hongo, sino también analizar la reacción de los hospederos a aislamientos con distintos niveles de virulencia (Sterling *et al.*, 2010; Velasco-Anaconda, 2020).

De acuerdo con lo anterior, en el presente capítulo se presentan los resultados de la evaluación de la resistencia al hongo *P. ulei* de nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) comparados con el clon IAN 873 (testigo) en condiciones de inoculación controlada en el Caquetá, Colombia.

8.2. Metodología

8.2.1. Condiciones experimentales

El estudio se realizó en el cuarto climatizado del Laboratorio de Fitopatología del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI en Florencia, Caquetá (Colombia). El ambiente controlado tuvo una temperatura de 23 °C, una humedad relativa del 90-95% y un fotoperiodo de 12/12 h (ver Capítulo 4).

8.2.2. Fuente de inóculo

Se emplearon cuatro aislamientos virulentos de *P. ulei*: 1BI, 2FI, 3SI y 4PI, pertenecientes al banco de aislamientos del Laboratorio de Fitopatología del Instituto SINCHI. Estos aislamientos se conservaron en medio de crecimiento (MC) (Junqueira *et al.*, 1986) y esporulados en medio M4 (papa dextrosa agar – PDA) (Mattos, 1999) (figura 8.1).

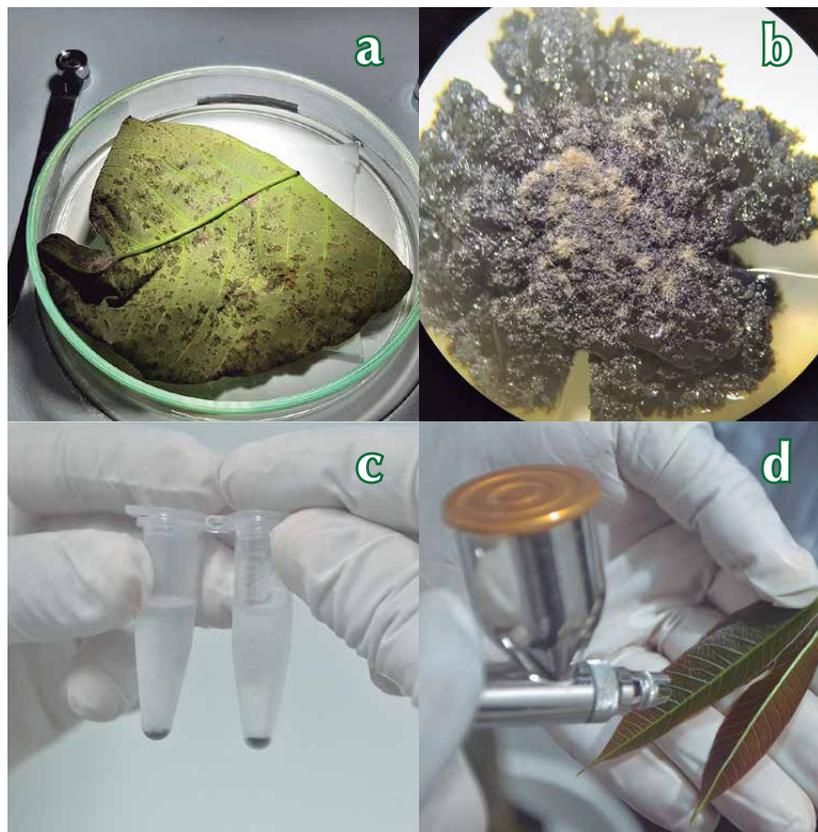


Figura 8.1. Inóculo de *P. ulei*. (a) Lesiones conidiales en folíolos jóvenes. (b) Aislamiento esporulado. (c) Suspensión de inóculo (2×10^5 conidios/ml). (d) Aspersión de la suspensión de inóculo.

Fuente: Elaboración propia.

8.2.3. Material vegetal

Se estudiaron nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 (ECC 25, ECC 29, ECC 35, ECC 60, ECC 64, ECC 66, ECC 73, ECC 83, ECC 90) y el clon IAN 873 (testigo) (ver Capítulo 5).

8.2.4. Inoculaciones controladas y diseño experimental

Para las inoculaciones se empleó una suspensión de inóculo con una concentración de 2×10^5 conidios/ml la cual se asperjó en el envés de 12 folíolos jóvenes en estadio B₂, empleando un aerógrafo acondicionado a un compresor eléctrico a 4,5 Pa de presión. Se inocularon cinco plantas (unidad experimental) por genotipo y cuatro aislamientos por cada planta de cada genotipo (ver Capítulo 4).

Se empleó un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 10 x 4 (10 genotipos y 4 aislamientos) con 5 repeticiones, para un total de 40 tratamientos y 200 plantas evaluadas.

8.2.5. Seguimiento del periodo de post-inoculación

Se realizó un control visual a los folíolos desde las 24 horas y en adelante diariamente hasta el día 12 después de la inoculación, en el cual se evaluaron las lesiones producidas por la fase asexual conidial de *P. ulei* en folíolos jóvenes en estadio C. Las lesiones en folíolos maduros en estadio C producidas en la fase sexual ascospórica de *P. ulei* se evaluaron entre los 45 y 60 días después de la inoculación en un vivero con polisombra al 50% (Sambugaro y Furtado, 2007).

8.2.6. Evaluación de los componentes de resistencia a *P. ulei*

La severidad del mal suramericano de las hojas (*P. ulei*) en hojas jóvenes (folíolos C) (SMSHJ) y en hojas maduras (folíolos D) (SMSHM) se evaluó con la escala de Chee y Holliday (1986), adaptada por Rivano *et al.* (2010) y basada en el porcentaje de área foliar con síntomas o signos del patógeno, con nota de 0 a 4 así: 0 = < 0% (ataque nulo o resistencia); 1 = 1-5% (ataque leve); 2 = 6-15% (ataque moderado); 3 = 16-30% (ataque severo) y 4 = > 30% (ataque muy severo).

El tipo de reacción (TR) basado en la intensidad de esporulación asexual (conidial) sobre folíolos jóvenes (folíolos C) se realizó con la escala de Junqueira *et al.* (1986), adaptada por Mattos *et al.* (2003), con notas que van de 1 a 6, donde; 1 = lesiones necróticas sin esporas; 2 = lesiones no necróticas sin esporas; 3 = esporulación muy débil sobre la cara inferior de la lesión; 4 = esporulación fuerte cubriendo parcialmente la cara inferior de la lesión; 5 = esporulación fuerte cubriendo toda la cara inferior de la lesión; y 6 = esporulación muy fuerte cubriendo toda la cara inferior de la lesión y fuerte en la cara superior.

La densidad estromática (DE) basada en la intensidad de la esporulación sexual (ascospórica) sobre folíolos con madurez fisiológica (folíolos D) se realizó con la escala de 0 a 4 propuesta por Rivano *et al.* (2010) y adaptada pictóricamente para mayor comprensión, donde: 0 = ausencia de estromas; 1 = menos de 5 lesiones con estromas por folíolo; 2 = entre 5 y 10 lesiones

con estroma por foliolo; 3 = entre 11 y 30 lesiones con estromas por foliolo; y 4 = más de 30 lesiones con estromas por foliolo.

8.2.7. Análisis de la información

Las variables de resistencia a *P. ulei* se analizaron mediante un ANOVA bifactorial con el fin de determinar el efecto de los factores clon y aislamiento, y la interacción clon x aislamiento. Una prueba LSD de Fisher al 5% de significancia permitió contrastar la diferencia entre las medias de estas variables. Un análisis de componentes principales permitió ordenar los clones de acuerdo a su reacción frente a los distintos aislamientos de *P. ulei*.

Las medias de todas las variables estimadas por clon fueron normalizadas en el intervalo [0,1 – 1] al igual que Velásquez *et al.* (2007), utilizando la fórmula:

$$Y = 1,1 - (0,1 + (x-b)/(a-b)*0,9)$$

Ecuación (8.1)

Donde:

- x = variable a transformar
- a = valor máximo de la variable
- b = valor mínimo de la variable

Luego se calculó la media ponderada de todas las variables transformadas, usando la siguiente ponderación: DE (35%), TR (30%), SMSHM (25%) y SMSHJ (10%). Esta media fue ordenada de mayor a menor con el fin de obtener el escalafón de los mejores clones por resistencia a *P. ulei*. Las pruebas estadísticas se realizaron con el programa InfoStat versión 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).

8.3. Resultados y discusión

8.3.1. Influencia de los factores principales sobre la resistencia a *P. ulei*

Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre genotipos y entre aislamientos para las cuatro variables estudiadas ($P < 0,05$). El clon testigo IAN 873 presentó la mayor susceptibilidad a *P. ulei*, con las notas medias más altas para SMSHJ, SMSHM, TR y DE. Los nueve genotipos, en su orden ECC 64, ECC 90, ECC 83, ECC 60, ECC 25, ECC 35, ECC 29, ECC 66 y ECC 73, presentaron un mayor nivel de resistencia a *P. ulei* comparados con el IAN 873 (tabla 8.1).

El clon IAN 873 la mayor media de SMSHJ (2,00) seguido de los genotipos ECC 73 y ECC 66 con medias de 1,50 y 1,40, respectivamente (tabla 8.1). El genotipo ECC 64 evidenció la menor media de SMSHJ (0,65) (tabla 8.1). Estos resultados coinciden con Sterling y Rodríguez (2011), quienes evidenciaron altas severidades del MSH en el clon IAN 873 tanto en condiciones naturales como controladas. De igual forma, Sterling *et al.* (2019) evidenciaron mayores síntomas producidos por *P. ulei* en el clon IAN 873 en las épocas de mayor precipitación en el Caquetá.

El aislamiento 3SI produjo las menores notas medias de SMSHJ ($< 1,00$). El aislamiento 1BI fue el más virulento con la media más alta (1,56). Estos resultados coinciden con lo reportado por Pimentel-Parra, (2020) quien evaluó la resistencia a *P. ulei* de diez clones de *H. brasiliensis* en condiciones controladas y naturales de infección, donde se resaltó el aislamiento 1BI como el más virulento.

Para la variable TR, se encontraron diferencias significativas entre los genotipos caquetenses y el clon IAN 873, en donde este último presentó la mayor TR (2,80, seguido del ECC 73 con 2,50). Los genotipos ECC 66, ECC 60, ECC 25, ECC 29 y ECC 35 presentaron notas medias máximas de TR, entre 2,00 y 2,25 (tabla 8.1). Los genotipos ECC 64, ECC 90 y ECC 83 fueron los menos afectados con medias entre 0,80 y 1,95, que correspondió a la ausencia de esporulación conidial en los folíolos jóvenes.

Los resultados de este estudio son similares a los reportados por Sterling y Hernández (2012) y Sterling y Rodríguez (2011) para el clon IAN 873. Sin embargo, contrasta con los resultados reportados por Sterling *et al.* (2019), en los que los genotipos caquetenses ECC 83 y ECC 90 fueron más afectados en condiciones de campo. De acuerdo con Jaimes *et al.* (2015), la ausencia de esporulación se relaciona directamente con el tipo de resistencia completa a *P. ulei*, mientras que la tasa reducida del desarrollo de la epidemia puede ser una resistencia parcial; en este sentido, un clon puede mostrar resistencia completa en un lugar en particular y resistencia parcial en otro, dependiendo de la adaptabilidad y variabilidad de *P. ulei* (Le Guen *et al.*, 2003). En este sentido, los genotipos evaluados demostraron niveles de resistencia completa y parcial, donde la variación estuvo relacionada con los aislamientos evaluados de *P. ulei*, siendo el 1BI el más virulento.

Tabla 8.1. Medias de los componentes de resistencia al mal suramericano de las hojas para nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo), y los cuatro aislamientos de *P. ulei* probados en condiciones de inoculación controlada.

Factor		Variables			
		SMSHJ	SMSHM	TR	DE
Genotipos	IAN 873	2,00 ± 0,12a	1,35±0,13a	2,80±0,20a	1,50±0,15a
	ECC 73	1,50 ± 0,12b	1,05±0,13a	2,50±0,20ab	1,10±0,15a
	ECC 66	1,40 ± 0,12bc	0,30±0,13bc	2,00±0,20bc	0,35±0,15bc
	ECC 29	1,15 ± 0,12bc	0,45±0,13b	2,15±0,20ab	0,50±0,15b
	ECC 35	1,15 ± 0,12bc	0,50±0,13b	2,25±0,20ab	0,55±0,15b
	ECC 25	1,10 ± 0,12bcd	0,40±0,13b	2,05±0,20bc	0,55±0,15b
	ECC 60	1,10 ± 0,12bcd	0,30±0,13bc	2,00±0,20bc	0,35±0,15bc
	ECC 83	1,05 ± 0,12cd	0,20±0,13bc	1,95±0,20bc	0,20±0,15bc
	ECC 90	0,80 ± 0,12de	0,20±0,13bc	1,60±0,20c	0,20±0,15bc
Aislamiento	1BI	1,56±0,08a	0,94±0,09a	2,48±0,13a	1,06±0,11a
	4PI	1,18±0,08b	0,42±0,09b	2,02±0,11b	0,42±0,09b
	2FI	1,06±0,05b	0,20±0,06c	1,76±0,12b	0,22±0,07b
	3SI	0,96±0,09b	0,34±0,07bc	1,78±0,16b	0,42±0,10b

^a Error estándar
^b Valores en cada columna con ausencia de letra o seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba LSD, $P < 0,05$) Clave: SMSHJ: Severidad al mal suramericano de las hojas jóvenes; SMSHM: Severidad al mal suramericano de las hojas maduras; TR: Tipo de reacción; DE: Densidad estromática.

Las notas medias más altas de SMSHM se presentaron en los genotipos IAN 873 y ECC 73, con valores de 1,35 y 1,05, respectivamente (tabla 8.1). Le siguieron en orden descendente los genotipos ECC 35, ECC 29, ECC 25, ECC 66, ECC 60, ECC 83, ECC 90 y ECC 64, con medias entre 0,50 (ataque bajo) y 0,00 (ataque nulo).

Los genotipos ECC 35, ECC 29, ECC 25, ECC 66, ECC 60, ECC 83 y ECC 90 mostraron notas medias de DE, entre 0,55 y 0,20, lo que indica un nivel de resistencia superior al IAN 873. El genotipo ECC 64 evidenció una resistencia completa con ausencia de estromas (DE = 0,00) (tabla 8.1). El aislamiento 1BI produjo las mayores notas de DE, mientras que el aislamiento 2FI presentó la media más baja (0,22) (tabla 8.1).

8.3.2. Influencia de la interacción clon x aislamiento sobre la resistencia a *P. ulei*

La interacción clon x aislamiento resultó significativa para SMSHJ ($P < 0,05$). La media de SMSHJ osciló entre 0,65 para el genotipo ECC 64 y 2,0 para el clon IAN 873, siendo este rango significativo ($P < 0,05$) (figura 8.2). Entre aislamientos, SMSHJ osciló entre 0,96 para 3SI y 1,56 en 1BI ($P < 0,05$). El genotipo ECC 64 inoculado con los aislamientos 3SI y 2FI presentó las menores medias de SMSHJ (0,4 y 0,6, respectivamente). En contraste, los genotipos IAN 873 y ECC 73 inoculados con el aislamiento 1BI presentaron las mayores medias (2,8 y 2,4, respectivamente) (figura 8.2).

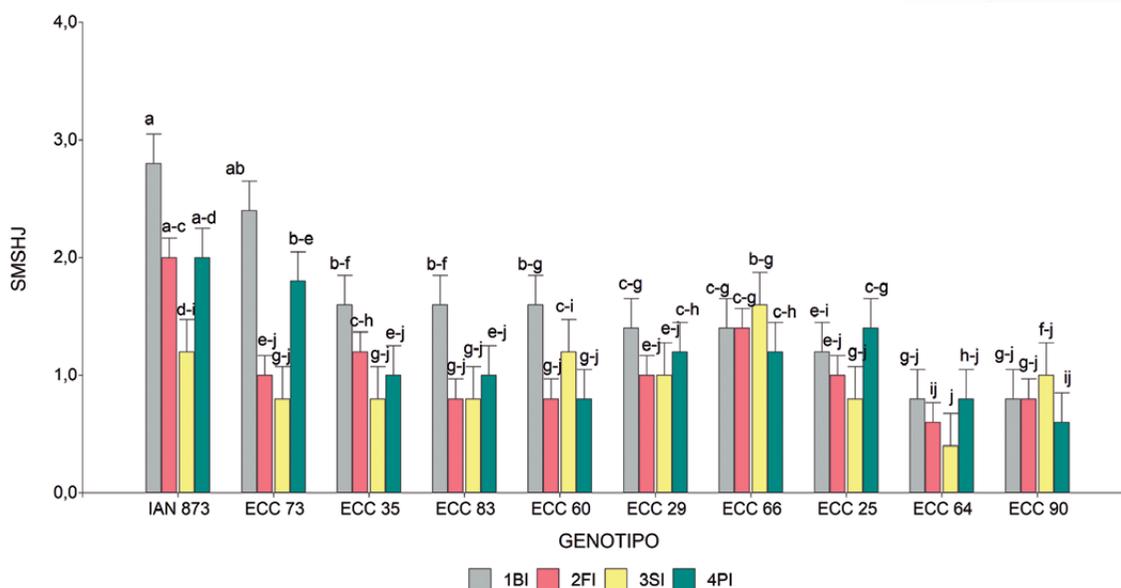


Figura 8.2. Medias de las notas de severidad del mal suramericano de las hojas en hojas jóvenes (SMSHJ) producida por cuatro aislamientos de *P. ulei* en nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en condiciones de inoculación controlada en el Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

En esta investigación, se encontró que las mayores notas medias de SSMHJ, las ocasionó el aislamiento procedente de Belén de los Andaquíes (1BI), zona donde se establecieron las primeras plantaciones de caucho en el año 1964 con clones procedentes de Brasil. Según Velasco (2020), es probable que los clones originarios de Brasil venían infectados con *P. ulei* y desde entonces el patógeno ha evolucionado, permitiendo una mayor tasa de recombinación genética a través del tiempo y por ende una mayor variabilidad de haplotipos (conjunto de variaciones del ADN o polimorfismos) que se han propagado en los cultivos de caucho establecidos en la misma zona.

La interacción clon x aislamiento no fue significativa para TR ($P > 0,05$). La media de TR osciló entre 0,8 para el genotipo ECC 64 y 2,8 para el clon IAN 873, siendo este rango significativo ($P < 0,05$) (figura 8.3). El aislamiento 2FI produjo la menor TR (1,76), en contraste con 1BI, que generó la mayor media (2,48). El genotipo ECC 64 presentó las menores medias de TR al ser inoculado con los aislamientos 3SI, 2FI y 4PI con valores de 0,4; 0,6 y 0,8, respectivamente. Los genotipos IAN 873 y ECC 73 inoculados con 1BI evidenciaron las medias más altas (4,0 y 3,0, respectivamente) (figura 8.3).

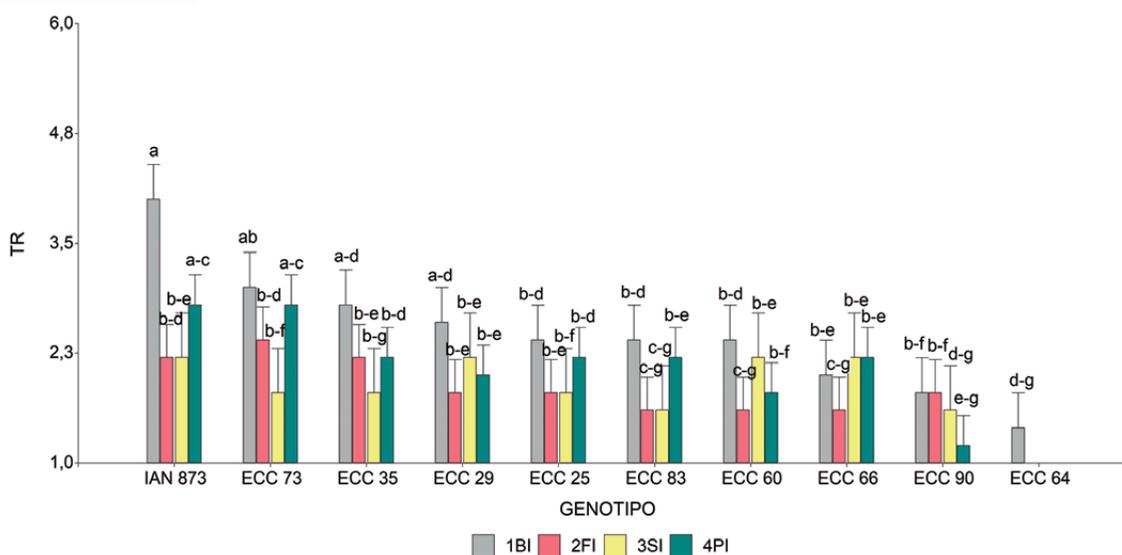


Figura 8.3. Medias de las notas del tipo de reacción (TR) (intensidad de esporulación conidial) producida por cuatro aislamientos de *P. ulei* en nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en condiciones de inoculación controlada en el Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

En un estudio de campo realizado con estos genotipos caquetenses, Sterling *et al.* (2019) reportaron en los genotipos ECC 35 e IAN 873 los mayores niveles de esporulación conidial, lo que coincide con la presente investigación para el clon IAN 873 en condiciones de laboratorio. Se

resalta además que el genotipo ECC 64 fue el más resistente en ambos estudios. Por otro lado, el genotipo ECC 73 en el estudio de campo fue menos susceptible al reportado aquí en laboratorio.

Velasco (2020) encontró que la población de *P. ulei* procedente de Belén de los Andaquíes presentó el mayor índice de diversidad genética, genotípica y el mayor número de haplotipos, comparado con la población del hongo procedente de los municipios de Florencia, El Paujil y San Vicente del Caguán. Por lo tanto, al evaluar el aislamiento de Belén de los Andaquíes (1BI) en condiciones de inoculación controlada, es probable que su mayor virulencia esté más relacionada con mayor variabilidad genética. Guyot y Le Guen (2018) afirman que la alta variabilidad genotípica poblacional de *P. ulei* y la recombinación genética, favorecen la adaptación del hongo a diferentes ambientes, con lo que su agresividad es mayor en clones tradicionalmente cultivados.

La interacción clon x aislamiento resultó significativa para SMSHM ($P < 0,05$). El valor medio de SMSHM osciló entre 0,0 para el genotipo ECC 64 y 1,35 para el clon IAN 873, siendo este rango significativo ($P < 0,05$) (figura 8.4). Entre aislamientos SMSHM osciló entre 0,2 en 2FI y 0,94 en 1BI ($P < 0,05$). Los genotipos ECC 66 y ECC 60 inoculados con los aislamientos 2FI y el genotipo ECC 64 inoculado con los cuatro aislamientos, presentaron las menores notas nula de SMSHM. En contraste, los genotipos IAN 873 y ECC 73 presentaron las mayores notas con 1BI (2,6 y 2,2, respectivamente) (figura 8.4).

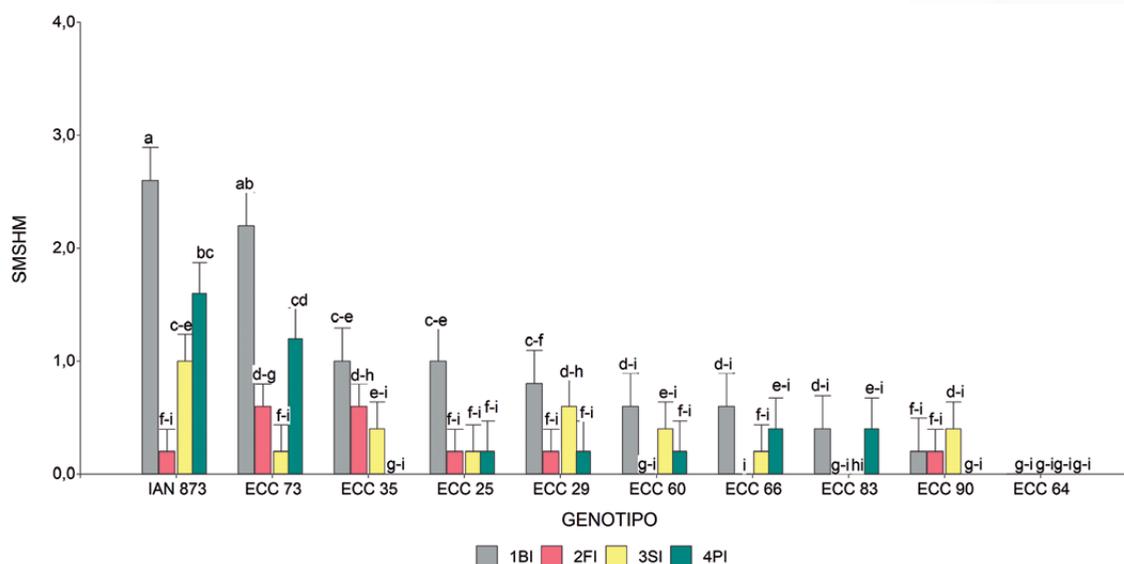


Figura 8.4. Medias de las notas de severidad del mal suramericano de las hojas en hojas maduras (SMSHM) producida por cuatro aislamientos de *P. ulei* en nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en condiciones de inoculación controlada en el Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

La interacción clon x aislamiento fue significativa para DE ($P < 0,05$). La media de DE fluctuó entre 0,0 para el genotipo ECC 64 y 1,5 para el clon IAN 873 ($P < 0,05$) (figura 8.5). La media de DE osciló entre aislamientos de 0,22 con 2FI y 1,06 con 1BI ($P < 0,05$). El genotipo ECC 35 inoculado con el aislamiento 4PI y los genotipos ECC 60 y ECC 83 inoculados 2FI presentaron medias nulas de DE. En contraste, los genotipos IAN 873 y ECC 73 fueron los más susceptibles al aislamiento 1BI, con medias de DE de 3,0 y 2,2, respectivamente (figura 8.5).

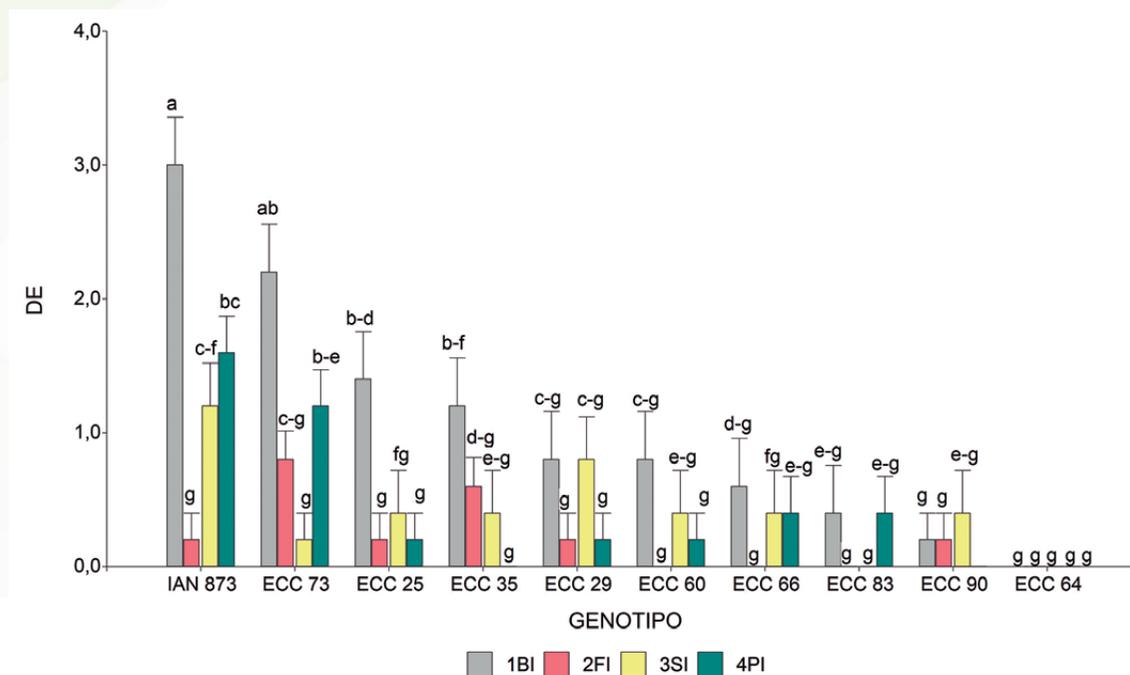


Figura 8.5. Medias de las notas de densidad estromática (DE) producida por cuatro aislamientos de *P. ulei* en nueve genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en condiciones de inoculación controlada en el Caquetá (Colombia). Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

Sterling *et al.* (2019) reportaron una mayor formación de estromas en los genotipos ECC 35, ECC 83 y ECC 60 con las notas más altas de DE, que difiere del presente estudio en tanto la mayor DE se evidenció en los genotipos IAN 873 y ECC 73.

Los resultados obtenidos bajo condiciones de inoculación controlada para las cuatro variables que caracterizan las diferentes etapas del ciclo de infección de *P. ulei* (SMSHJ, TR, SMSHM y DE), permitieron una aproximación inicial en la clasificación de los genotipos por su susceptibilidad al patógeno. Sterling *et al.* (2019), plantean que estos estudios permiten reconocer las condiciones climáticas que favorecen en mayor grado la incidencia de la enfermedad y comprender mejor la interacción planta-patógeno.

8.3.4. Identificación de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 1

En la tabla 8.2 se presentan los mejores genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho por su resistencia al hongo *P. ulei* (SMSHJ, TR, SMSHM y DE) en condiciones de inoculación controlada.

Tabla 8.2. Matriz de identificación de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) comparados con el clon IAN 873 (testigo), basada en los componentes de resistencia a *P. ulei* en condiciones de inoculación controlada

Genotipos	SMSHJ ^a	N ^b _{SMSHJ}	SMSHM	N _{SMSHM}	TR	N _{TR}	DE	N _{DE}	Calificación ^c	Escalafón
ECC 64	0,65	1,00	0,00	1,00	0,80	1,00	0,00	1,00	1,000	1
ECC 90	0,80	0,90	0,20	0,87	1,60	0,64	0,20	0,88	0,807	2
ECC 83	1,05	0,73	0,20	0,87	1,95	0,49	0,20	0,88	0,744	3
ECC 60	1,10	0,70	0,30	0,80	2,00	0,46	0,35	0,79	0,686	4
ECC 66	1,40	0,50	0,30	0,80	2,00	0,46	0,35	0,79	0,666	5
ECC 25	1,10	0,70	0,40	0,73	2,05	0,43	0,55	0,67	0,616	6
ECC 29	1,15	0,67	0,45	0,70	2,15	0,39	0,50	0,70	0,605	7
ECC 35	1,15	0,67	0,50	0,67	2,25	0,35	0,55	0,67	0,573	8
ECC 73	1,50	0,43	1,05	0,30	2,50	0,24	1,10	0,34	0,308	9
IAN 873	2,00	0,10	1,35	0,10	2,80	0,10	1,50	0,10	0,100	10

^a Nota media
^b Nota media normalizada [0,1 - 1]. 0,1: clon menos deseable. 1: clon más deseable
^c Nota media ponderada

8.4. Consideraciones finales

En el presente estudio se encontró que el genotipo ECC 64 fue el más resistente a *P. ulei* frente a los cuatro aislamientos probados en condiciones controladas, en contraste con el clon IAN 873, el más susceptible.

El aislamiento 1BI (procedente de Belén de los Andaquíes) fue el más virulento y afectó principalmente a los clones IAN 873, ECC 73 y ECC 35.

Se concluye que los genotipos más resistentes a *P. ulei*, en su orden, fueron ECC 64, ECC 90, ECC 83, ECC 60, ECC 66, ECC25, ECC 29, ECC 25 y ECC 73 (tabla 8.2), siendo considerados los más deseables en esta investigación, ya que obtuvieron una calificación superior al clon testigo IAN 873.

8.5. Referencias bibliográficas

Bevenuto, J. A., De Souza, J. R. y Furtado, E. L., 2017. *Microcyclus ulei* races in Brazil. Summa Phytopathol. 43, 326–336. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/172339>

- Castellanos, O.F., Fonseca, S.L., Barón, M.R., 2009. Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de caucho natural y su industria en Colombia, Ministerio de agricultura y desarrollo rural, Proyecto Transición de la Agricultura.
- Cevallos, V., 2013. Avaliação genética da resistência de clones de seringueira ao mal sul-americano das folhas dissertação. Tesis Maest. 1–224. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Chee, K.H., Holliday, P., 1986. South American leaf blight of Hevea rubber. Malaysian Rubber Res. Dev. Board Monogr. 13, 50.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarine, M., Gonzales, L., Tablada, M. y Robledo, C. InfoStat versión (2018) [Internet]. Córdoba, Ar.: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina; 2018. Available: <http://www.infostat.com.ar>.
- García, I.A., 2012. Estudio de la interacción planta – patógeno en clones comerciales de *Hevea brasiliensis* presentes en jardines clonales de Colombia, susceptibles y resistentes al mal suramericano de la hoja del caucho. Universidad Nacional de Colombia.
- García, I.A., Castro, O.M., Aristizábal, F., Tapiero, A.L., 2011. Primer reporte de susceptibilidad del clon de caucho natural FX- 3864 a *Microcyclus ulei* en la altillanura colombiana. Inst. Biotecnol. (IBUN), Univ. Nac. Colomb. Sede Bogotá XIII, 144–147.
- Gasparotto, L., Pereira, J.C.R., Furtado, E.L., 2012a. Doenças da seringueira no Brasil. Embrapa 2. ed. rev, 255.
- Gasparotto, L., Pereira, J.C.R., Furtado, E.L., 2012b. Doenças da seringueira no Brasil. Empres. Bras. Pesqui. Agropecuária Capítulo 4, 39–176.
- Guyot, J., Le Guen, V., 2018. A Review of a Century of Studies on South American Leaf Blight of the Rubber Tree. Plant Dis. 1–14. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-17-0592-FE>
- Hora Junior, B.T., de Macedo, D.M., Barreto, R.W., Evans, H.C., Mattos, C.R.R., Maffia, L.A., Mizubuti, E.S.G., 2014. Erasing the Past : A New Identity for the Damoclean Pathogen Causing South American Leaf Blight of Rubber. PLoS One 9, e104750. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104750>
- Hurtado, U., Garcia, I., Restrepo, S.R., Aristizábal, F.A., Castaño, D.M., 2015. Assembly and analysis of differential transcriptome responses of *Hevea brasiliensis* on interaction with *Microcyclus ulei*. PLoS One 10, 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134837>
- Jaimes, Y.Y., Molina, J.R., Furtado, E.L., 2015. Clones de *Hevea brasiliensis* de alta productividad caracterizados por resistencia a *Microcyclus ulei* en jardín clonal en el magdalena medio colombiano. Summa Phytopathol. 41, 115–120. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/1985>
- Junqueira, N.T., Chaves, G., Zambolim, L., Gasparotto, L., Alfnas, A., 1986. Variabilidade fisiológica de *Microcyclus ulei*. Fitopatol. Bras. 11, 823–833.
- Junqueira, N.T. V, Chaves, G.M., Zambolim, L., Gasparotto, L., Alfnas, A.C., 1986. Variabilidade fisiológica de *Microcyclus ulei*. Fitopatol. Bras. 11, 823–833.
- Le Guen, V., Lespinasse, D., Oliver, G., Rodier-Goud, M., Pinard, F., Seguin, M., 2003. Molecular mapping of genes conferring field resistance to South American Leaf Blight (*Microcyclus ulei*) in rubber tree. Theor. Appl. Genet. 108, 160–167. <https://doi.org/10.1007/s00122-003-1407-9>
- Mattos, C.R., 1999. Meios de cultura com água de coco verde para esporulação de *Microcyclus ulei*. Fitopatologia Brasileira.
- Mattos, C.R.R., Garcia, D., Pinard, F., Le Guen, V., 2003. Variabilidade de isolados de *Microcyclus ulei* no Sudeste da Bahia. Fitopatol. Bras. 28, 502–507. <https://doi.org/10.1590/s0100-41582003000500006>
- Pimentel-Parra, G.A., 2020. Resistencia a *Pseudocercospora ulei* de diez clones de caucho (*Hevea brasiliensis*) bajo condiciones controladas y naturales de infección en Caquetá, Colombia 21, 1–9.

- 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., Guyot, J., Guen, V. Le, Garcia, D., 2011. Nuevas perspectivas para el control sostenible del Mal Suramericano de la Hoja en el cultivo de Caucho. XI Jornadas Latinoam. del caucho Nat. 1–11.
- 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>
- Sambugaro, R., Furtado, E.L., 2007. Estágios foliares, fenologia da seringueira (*Hevea* spp.) e interação com *Microcyclus ulei* (Mal das folhas) Campus de Botucatu estágios foliares, fenologia da seringueira (*Hevea* spp.) e interação com *Microcyclus ulei* (MAL DAS FOLHAS) Tese apresen. Tese.
- Sterling, A., 2008. Evaluación de los niveles de patogenicidad de *Microcyclus ulei* en diez clones de caucho (*Hevea* spp.) bajo condiciones controladas en la Amazonia colombiana. Tesis Maest. 118.
- Sterling, A., Calderón, A., Rodríguez, O.L., Quintero, L., 2010. Caracterización morfológica y patogenicidad de *Microcyclus ulei* en la Amazonia colombiana. *Rev. Colomb. Amaz.* 99–116.
- Sterling, A., Galindo-Rodríguez, L.C., Suárez-Córdoba, Y.D., Velasco-Anaconda, G., Andrade-Ramírez, T., Gómez-Torres, A.K., 2019. Early assessing performance and resistance of Colombian rubber tree genotypes under high South American Leaf Blight pressure in Amazon. *Ind. Crops Prod.* 141, 111775. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111775>
- Sterling, A., Hernandez, C., 2012. Ampliación de la base genética de caucho natural con proyección para la Amazonia colombiana: fase de evaluación en periodo improductivo a gran escala. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – Sinchi, Bogotá, Colombia.
- Sterling, A., Rodriguez, C., 2018. Estrategias de Manejo para las principales enfermedades y plagas del cultivo del caucho con énfasis en la Amazonia colombiana. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Bogotá, Colombia.
- Sterling, A, Rodríguez, C.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, Colombia.
- Sterling, Armando, Rodríguez, 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, Colombia.
- Sterling, A, Rodriguez, O., Quintero, L., 2010. Variabilidad fisiológica de aislamientos de de *Microcyclus ulei* de la Amazonia colombiana. *Momentos Cienc.* 7, 30–35.
- Sterling, A., Rodríguez, O.L., Correa, J., 2009. Evaluación fitosanitaria y resistencia en campo a *Microcyclus ulei* de *Hevea brasiliensis* en la Amazonia colombiana. *Rev. Colomb. Amaz.* 5, 80–90.
- Velasco-Anaconda, G., 2020. Caracterización de la variabilidad genética poblacional de *Pseudocercospora ulei*, en el departamento del Caquetá, Amazonia Colombiana. Tesis Maest. 133.
- Velasquez, E., Lavelle, P., Andrade, M., 2007. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biol. Biochem.* 39, 3066–3080. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.06.013>

CONSIDERACIONES FINALES

Identificación preliminar de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*Hevea brasiliensis*) en el Caquetá (Colombia)

A partir de las conclusiones obtenidas de las evaluaciones realizadas en dos campos clonales a gran escala inherentes a los rasgos de crecimiento, nutricionales y fisiológicos (Capítulo 5), fitosanitarias foliares y del panel de sangría precoz (Capítulo 6), rendimiento precoz (Capítulo 7) y la resistencia al hongo *Pseudocercospora ulei* en laboratorio (Capítulo 8), se presenta la matriz de identificación preliminar de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) comparados con el clon IAN 873 (testigo) durante los tres primeros años de la fase de crecimiento en el Caquetá (Colombia) (tabla II).

Tabla II. Matriz de identificación preliminar de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 1 de caucho (*H. brasiliensis*) comparados con el clon IAN 873 (testigo), basada en los rasgos de crecimiento, nutricionales y fisiológicos, fitosanitarias foliares y del panel de sangría precoz y rendimiento precoz evaluados en dos campos clonales a gran escala, y los componentes de resistencia al hongo *Pseudocercospora ulei* en condiciones controladas

Localidad	Genotipo	Calificación 1 ^a	Calificación 2 ^b	Calificación 3 ^c	Calificación 4 ^d	Calificación final ^e	Escalafón final
El Paujil	ECC 83	0,673	0,464	0,989	0,744	0,775	1
	ECC 35	0,223	0,258	0,955	0,573	0,634	2
	ECC 64	0,791	0,774	0,400	1,000	0,611	3
	ECC 25	0,442	0,736	0,436	0,616	0,545	4
	ECC 66	0,743	0,453	0,487	0,666	0,520	5
	ECC 90	0,546	0,469	0,449	0,807	0,500	6
	IAN 873	0,339	0,597	0,399	0,100	0,423	7
	ECC 60	0,451	0,476	0,325	0,686	0,419	8
	ECC 73	0,325	0,619	0,302	0,308	0,400	9
	ECC 29	0,735	0,609	0,130	0,605	0,382	10
San Vicente del Caguán	ECC 25	0,652	0,635	0,988	0,616	0,811	1
	ECC 64	0,768	0,792	0,701	1,000	0,765	2
	ECC 90	0,565	0,705	0,547	0,807	0,623	3
	ECC 83	0,564	0,429	0,605	0,744	0,562	4
	ECC 73	0,529	0,710	0,416	0,308	0,504	5
	ECC 29	0,538	0,756	0,178	0,605	0,430	6
	ECC 66	0,466	0,604	0,220	0,666	0,404	7
	IAN 873	0,483	0,511	0,356	0,100	0,390	8
	ECC 60	0,309	0,487	0,233	0,686	0,362	9
	ECC 35	0,261	0,443	0,100	0,573	0,266	10

^a calificación basada en parámetros de crecimiento, comportamiento nutricional y rasgos fisiológicos (ver capítulo 5)
^b calificación basada en parámetros fitosanitarias foliares y del panel de sangría precoz (ver capítulo 6)
^c calificación basada en parámetros de rendimiento precoz (ver capítulo 7)
^d calificación basada en la resistencia al hongo *Pseudocercospora ulei* en laboratorio (ver capítulo 8)
^e Nota media ponderada [calificación 1 (10%), calificación 2 (30%), calificación 3 (50%), calificación 4 (10%)]

Este estudio permite concluir que: a) en El Paujil, los genotipos ECC83, ECC 35, ECC 64, ECC 25, ECC 66 y ECC 90; y b) en San Vicente del Caguán, los genotipos ECC 25, ECC 64, ECC 90, ECC 83, ECC 73, ECC 29 y ECC 66, fueron los materiales genéticos más sobresalientes comparados con el clon IAN 873 (testigo), y por tanto son los más deseables en los tres primeros años de la fase de crecimiento en el Caquetá (Colombia).

La siguiente fase implicará la selección y promoción temprana y el registro de nuevos genotipos superiores mediante el uso de indicadores de precocidad productiva en un periodo no inferior a 3 o 4 años, antes de ofrecer una recomendación final al nivel de productor para su fomento comercial a pequeña escala en la región.

PARTE III

Genotipos caquetenses selección
ECC 2 de caucho (*Hevea brasiliensis*)
en el Caquetá (Colombia)

Evaluación del crecimiento y nutrición de genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*Hevea brasiliensis*) en campo clonal a pequeña escala en el Caquetá



Armando Sterling Cuéllar^{1*}, Armando Gamboa-Tabares² y Eidy Janeth Martínez-Viuche

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

¹ Investigador del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, sede Florencia.

² Co-investigador del proyecto. Convenio 59-2013, Gobernación del Caquetá – Instituto SINCHI.

9.1. Introducción

El potencial genético del caucho [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg] está ligado a diversos factores intrínsecos importantes como el vigor, la altura, el grosor y la anatomía de la corteza, la sequedad del panel y las enfermedades. También a factores ambientales como el clima, el suelo y las prácticas de manejo en sistemas de sangrado, estimulación química, densidad de siembra, fertilizantes, control de plagas y enfermedades (Tan, 1987). Uno de los factores más importantes que influye en la productividad de una plantación de caucho es el material genético (Lage, 2013).

La fertilización es un factor determinante para lograr una nutrición ideal; de ella depende la uniformidad en el crecimiento y la productividad del caucho, cuyo objetivo principal es anticipar el comienzo de la fase productiva (Bataglia y Santos, 1998). Los nutrientes requeridos en mayor cantidad por el árbol de caucho son N, P y K (Alves y Ventorim, 1991).

Colombia tiene limitaciones de germoplasma (clones de *H. brasiliensis*) para el fomento comercial, dificultad que ha creado la necesidad de generar nuevas investigaciones en mejoramiento genético y evaluación de nuevos materiales genéticos, con el fin de ampliar la base genética de caucho en el país, mediante la evaluación a pequeña y a gran escala de materiales productivos y adaptados al contexto ambiental de las regiones heveícolas (Castellanos, Fonseca y Barón, 2009).

En consecuencia, en el departamento del Caquetá, el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, la Universidad de la Amazonía 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 selección ECC (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).

En el año 2016, esta alianza interinstitucional desarrolló una segunda selección de 99 progenies élite caquetenses, se estableció un nuevo CCPE y se realizó una valoración agroambiental inicial de estos nuevos materiales, denominados genotipos caquetenses selección ECC 2 en El Paujil, Caquetá (Sterling y Rodríguez, 2017, 2018, 2019).

En el presente capítulo se presentan los resultados de la evaluación del crecimiento y comportamiento nutricional de 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) durante la fase de inmadurez en un campo clonal a pequeña escala en el municipio del El Paujil, Caquetá (Colombia).

9.2. Metodología

9.2.1. Área de estudio

El experimento está localizado en la vereda Moravia (01° 30' 55.31" N y 75° 17' 38.20" W, altitud 270 m s.n.m.), municipio de El Paujil, Caquetá, Colombia (figura 9.1).

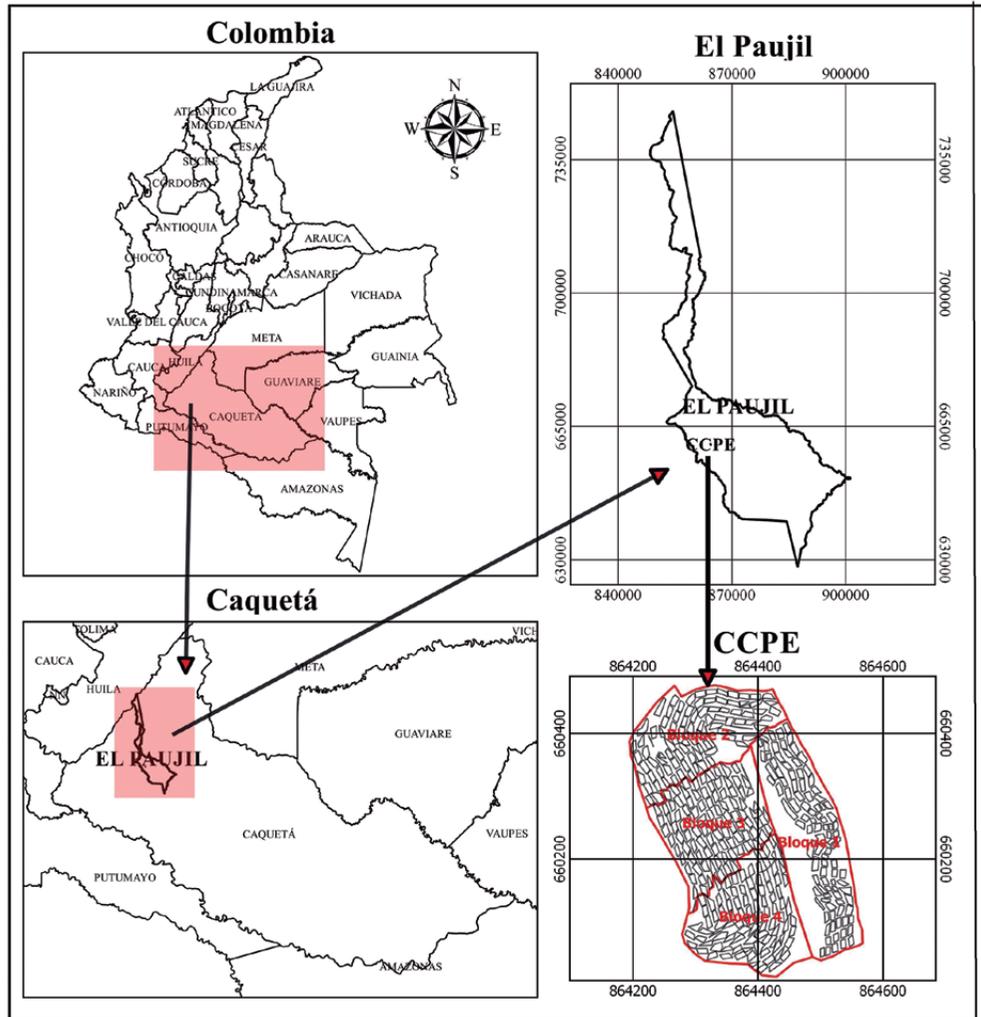


Figura 9.1. Localización y plano del campo clonal a pequeña escala (CCPE) con genotipos caquetenses de caucho selección ECC 2, vereda Moravia, municipio de El Paujil, Caquetá (Colombia).

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).

9.2.2. Material vegetal

Se evaluaron 99 genotipos caquetenses selección ECC (Élite Caquetá Colombia) 2: ECC 101, ECC 102, ECC 103, ..., ECC 199 de caucho, pertenecientes al Banco de Germoplasma del Instituto 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 9.1), 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 se utilizó como testigo.

Tabla 9.1. Lista de los 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) establecidos en un campo clonal a pequeña escala en el Caquetá, Colombia.

Genotipo	Progenie (árbol élite)	Edad (años)	Geoposicionamiento		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 Orquídea	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 1	0,90	350	58	CR
ECC 106	PE 6	25	01° 44' 11.8"	75° 08' 09.1"	Puerto Rico	La Orquídea	2,00	300	58	PR
ECC 107	PE 7	25	01° 44' 09.4"	75° 08' 09.2"	Puerto Rico	La Orquídea	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 1	1,20	400	60	CR
ECC 110	PE 103	29	01° 38' 05.4"	74° 56' 32.7"	Puerto Rico	Maracaibo 1	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 1	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 Orquídea	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 1	1,00	800	58	CR
ECC 122	PE 107	23	01° 37' 31.3"	75° 04' 26.6"	El Doncello	Trocha F	0,80	500	60	CR
ECC 123	PE 108	30	01° 37' 58.6"	75° 04' 11.1"	El Doncello	Trocha 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

Tabla 9.1. (Cont.)

Genotipo	Progenie (árbol élite)	Edad (años)	Geoposicionamiento		Procedencia		CAP	Rendimiento	PCSC	RMSH
			Latitud	Longitud	Municipio	Vereda				
ECC 126	PE 93	27	01° 47' 31.0"	75° 12' 41.7"	Puerto Rico	Coconuco 1	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 1	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
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

Tabla 9.1. (Cont.)

Genotipo	Progenie (árbol élite)	Edad (años)	Geoposicionamiento		Procedencia		CAP	Rendimiento	PCSC	RMSH
			Latitud	Longitud	Municipio	Vereda				
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 Tigresa	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' 0.67"	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 Tigresa	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° 07,1' 47.4"	El Doncello	La Tigresa	1,42	400	62	CR
ECC 169	PE 69	13	01° 17' 04.6"	75° 57' 21"	Albania	El Quebradón	0,83	100	68	CR
ECC 170	PE 123	50	01° 37' 32.6"	75° 07' 47.5"	El Doncello	La Tigresa	1,36	406	65	CR
ECC 171	PE 71	13	01° 17' 03.5"	75° 57' 18.3"	Albania	El Quebradón	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 Quebradón	1,23	150	59	CR
ECC 174	PE 74	13	01° 16' 33.6"	75° 57' 10.5"	Albania	El Quebradón	0,97	100	58	CR
ECC 175	PE 75	13	01° 16' 33.2"	75° 57' 14.1"	Albania	El Quebradón	0,96	100	58	CR

Tabla 9.1 (Cont.)

Genotipo	Progenie (árbol élite)	Edad (años)	Geoposicionamiento		Procedencia		CAP	Rendimiento	PCSC	RMSH
			Latitud	Longitud	Municipio	Vereda				
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
ECC 179	PE 79	30	01° 21' 28.7"	74° 44' 14.0"	Cartagena del Chairá	Primavera	1,05	350	59	PR
ECC 180	PE 80	30	01° 21' 28.9"	74° 44' 12.5"	Cartagena del Chairá	Primavera	1,20	400	59	CR
ECC 181	PE 81	30	01° 21' 28.3"	74° 44' 11.8"	Cartagena del Chairá	Primavera	1,10	460	58	PR
ECC 182	PE 82	30	01° 21' 29.7"	74° 44' 08.4"	Cartagena del Chairá	Primavera	1,67	600	58	CR
ECC 183	PE 127	25	01° 26' 16.8"	75° 16' 38.0"	La Montañita	La Tigra	1,26	350	57	CR
ECC 184	PE 84	30	01° 07' 26.4"	74° 50' 55.3"	Cartagena del Chairá	Teusaquillo	1,05	800	58	CR
ECC 185	PE 85	30	01° 07' 26.9"	74° 50' 55.2"	Cartagena del Chairá	Teusaquillo	1,00	1000	57	PR
ECC 186	PE 86	30	01° 07' 28.4"	74° 50' 52.9"	Cartagena del Chairá	Teusaquillo	0,90	500	58	CR
ECC 187	PE 128	30	01° 07' 23.27"	74° 50' 55.40"	Cartagena del Chairá	Teusaquillo	1,22	340	60	C
ECC 188	PE 88	30	01° 07' 24.6"	74° 50' 56.0"	Cartagena del Chairá	Teusaquillo	1,20	460	57	C
ECC 189	PE 89	30	01° 07' 24.2"	74° 50' 55.7"	Cartagena del Chairá	Teusaquillo	0,80	520	58	CR
ECC 190	PE 90	20	01° 08' 50.4"	74° 51' 31.3"	Cartagena del Chairá	Teusaquillo	1,50	460	60	CR
ECC 191	PE 91	14	01° 05' 33.3"	75° 47' 23.0"	Valparaíso	Galilea	1,60	1000	65	PR
ECC 192	PE 92	14	01° 05' 33.0"	75° 47' 23.3"	Valparaíso	Galilea	1,20	800	58	PR
ECC 193	PE 129	30	01° 38' 14.2"	75° 09' 05.8"	El Doncello	Maguare	1,72	400	75	CR
ECC 194	PE 94	14	01° 05' 31.8"	75° 47' 23.6"	Valparaíso	Galilea	1,24	500	68	CR
ECC 195	PE 95	14	01° 05' 44.4"	75° 47' 36.9"	Valparaíso	Galilea	1,61	552	65	CR
ECC 196	PE 130	50	01° 37' 32.2"	75° 07' 46.8"	El Doncello	La Tigra	1,58	464	57	CR
ECC 197	PE 97	35	01° 01' 16.0"	75° 45' 39.7"	Valparaíso	Los Cedros	1,10	460	57	PR
ECC 198	PE 98	35	01° 01' 17"	75° 45' 39.7"	Valparaíso	Los Cedros	1,35	1000	56	PR
ECC 199	PE 131	30	01° 38' 30.6"	75° 09' 32.6"	El Doncello	Maguare	1,63	570	64	PR

Clave: CAP: circunferencia a la altura del pecho (m); Rendimiento (g árbol⁻¹ sangría⁻¹); PCSC: proporción de caucho seco en coágulo (%); RMSH: resistencia al mal suramericano de la hoja (CR: completamente resistente, PR: parcialmente resistente).

9.2.3. Diseño experimental

El experimento denominado campo clonal a pequeña escala (CCPE) siguió un diseño de bloques completos al azar con 100 tratamientos (genotipos) y 4 repeticiones completamente al azar, en bloques con 12 árboles por réplica y por genotipo (figura 9.2). La distancia de siembra fue de 7 m × 3 m, proporcionando una densidad de 476 árboles por hectárea, para un área total de 10,1 ha. La parcela elemental 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.



Figura 9.2. Campo clonal a pequeña escala (CCPE) con genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho en la vereda Moravia, municipio de El Paujil, Caquetá (Colombia).

Fuente: Elaboración propia

9.2.4. Evaluación del vigor

La circunferencia del tronco (CT) de todos los árboles se midió anualmente a 1 m de altura, usando una vara de 10 m de longitud, 1, 2 y 3 años después de la siembra.

9.2.5. Evaluación del contenido nutricional edáfico

Durante los años 1, 2 y 3, se recolectaron muestras edáficas en el CCPE de El Paujil. Este procedimiento consistió en extraer 500 g de muestra de suelo desmenuzado, limpio y libre de restos

vegetales, el cual se empacó en bolsas plásticas rotuladas de cierre hermético para su envío al laboratorio.

Las muestras de suelo se analizaron en Agrilab Laboratorios S.A.S. (Bogotá, Colombia), para la determinación de los parámetros: textura de Bouyoucos; pH en agua 1:1, peso/volumen; contenido de materia orgánica (%) y C orgánico (%) de Walkey y Black; P (mg kg^{-1}) por Bray II y método colorimétrico; K, Ca, Mg ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) por acetato de amonio a pH 7,0 y absorción atómica; Fe Mn, Cu, Zn (mg kg^{-1}) por Olsen (0,5 M NaHCO_3 y EDTA) y absorción atómica; B (mg kg^{-1}) extraído con agua caliente; Al ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) por KCl 1 M y absorción atómica; S (mg kg^{-1}) por fosfato monocálcico 0,008 M; NO_3^- (mg kg^{-1}) por sulfato de aluminio 0,025 M; NH_4^+ (mg kg^{-1}) (1 MKCl); y ECEC ($\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$) suma de cationes intercambiables.

9.2.6. Evaluación del contenido nutricional foliar

Durante los años 1, 2 y 3, se recolectaron muestras foliares en el CCPE de El Paujil. Este procedimiento consistió en extraer 300 g de muestras foliares sanas que se encontraban en estadio foliar D. Estas hojas se empacaron en bolsas de papel de 6 lb, rotuladas y depositadas dentro de bolsas plásticas de cierre hermético.

Las muestras foliares se enviaron a análisis a Agrilab Laboratorios S.A.S. Mediante la técnica de absorción y emisión atómica, se determinaron los elementos K, Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Mn y Zn. De manera similar, se utilizó el método colorimétrico para determinar P y B, así como la digestión húmeda y el Kjeldahl, método para N y turbidimetría para S.

9.2.7. Análisis de la información

Se realizó un análisis de varianza y la prueba DGC al 5% de significancia para estudiar el comportamiento del crecimiento (CT) y un análisis de varianza y la prueba LSD Fisher al 5% de significancia para estudiar el comportamiento de las variables de contenido nutricional edáficas y foliares. Además, 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).

Los datos se analizaron mediante un ANOVA con el fin de determinar la variación entre genotipos, entre años y sus interacciones. Una prueba LSD de Fisher al 5% de significancia permitió contrastar la diferencia entre los valores promedios de las variables. Adicionalmente, se realizó un análisis de conglomerados por año, empleando el método de Ward y la distancia Euclidea, el cual permitió agrupar los genotipos por su comportamiento nutricional. Un análisis de componentes principales (ACP) por año permitió ordenar los grupos de genotipos por su contenido nutricional foliar y otro ACP ordenó los cambios anuales en las propiedades químicas edáficas.

En cada localidad, las medias de las variables priorizadas por genotipo fueron normalizadas en el intervalo [0,1 - 1], utilizando la fórmula empleada por Velásquez *et al.* (2007):

$$Y = 0,1 + (x-b)/(a-b)*0,9$$

Ecuación (9.1)

Donde:

x = variable a transformar

a = valor máximo de la variable

b = valor mínimo de la variable

Luego se calculó la media ponderada de todas las variables transformadas, usando la siguiente ponderación: CT (90%), N (2%), K (2%), P (2%), Ca (0,5%), Mg (0,5%), S (0,5%), Mn (0,5%), Fe (0,5%), B (0,5%), Zn (0,5%) y Cu (0,5%). Esta media fue ordenada de mayor a menor con el fin de obtener el escalafón de los mejores genotipos por su vigor y comportamiento nutricional. Las pruebas estadísticas se realizaron con el programa InfoStat versión 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).

9.3. Resultados y discusión

9.3.1. Vigor anual

El análisis de varianza indicó diferencias estadísticas muy significativas ($P < 0,0001$) entre genotipos, años y la interacción analizada entre estos dos factores para la media de la circunferencia del tronco (CT).

En el año 1 después de la siembra, la circunferencia del tronco (CT) estuvo entre los 10,03 cm hasta los 12,40 cm para 11 genotipos de mayor crecimiento; por su parte, el año 2 destacó 7 genotipos con crecimientos de 13,08 cm hasta los 16,52 cm; finalmente, el año 3 exhibió 6 genotipos con crecimientos entre 20,65 cm hasta 24,02 cm (tabla 9.2).

Los genotipos ECC 121, ECC 129, ECC 136, ECC 173 y ECC 182 demostraron una CT óptima durante los tres años, no obstante, el ECC 168 destacó su desempeño con valor medio ideal para el año 3.

Para los años 2 y 3, los genotipos ECC 121, ECC 129, ECC 136 y ECC 182 presentaron un incremento anual en la circunferencia mayor a 7,0 cm; para el mismo tiempo, el genotipo ECC 173 tuvo un incremento superior a 9,0 cm.

En el año 3, la CT fue mayor en los genotipos ECC 129, ECC 173, ECC 136, ECC 121, ECC 182 y ECC 168, con medias de 24,02 cm, 23,40 cm, 22,12 cm, 20,77 cm, 20,75 cm y 20,65 cm, respectivamente. Estas medidas fueron superiores a las reportadas para el clon IAN 873 (control), que demostró una CT promedio de 13,33 cm. Los genotipos ECC 189, ECC 148 y ECC 101 expresaron las CT más bajas: 6,60 cm, 6,53 cm y 6,23 cm, respectivamente.

Para el año 1, sobresalió el 6% de los genotipos evaluados con CT media entre 11,10 cm y 12,40 cm. Estos resultados difieren con los de Macedo *et al.* (2002), quienes evaluaron la circunferencia del tronco de clones un año después de la siembra, con crecimientos que oscilaron entre 4,31

cm y 6,52 cm. De modo similar, Venturin *et al.* (2004) estimaron la circunferencia de clones un año después de la siembra, y encontraron clones con circunferencias mayores, con medias que oscilaron entre 4,06 cm y 6,23 cm.

Macedo *et al.* (2002) y Venturin *et al.* (2004), justificaron el hecho de que las plantas están en una fase de crecimiento inicial y, por lo tanto, las diferencias en la circunferencia del tronco de los clones aún no son evidentes, lo que puede ocurrir en etapas de crecimiento avanzadas. Tal afirmación tendría sentido para este estudio al mirar los reportes de 15 genotipos de los 100 evaluados, los cuales mostraron valores medios de crecimiento entre 3,55 cm y 6,55 cm. Esto indica la existencia de otro factor determinante a considerar en el crecimiento, como lo es el material vegetal utilizado, al observar 85 genotipos que fueron superiores a los clones evaluados en ambos experimentos en Brasil.

El genotipo ECC 129 presentó un crecimiento superior, seguido por ECC 173, ECC 136, ECC 121, ECC 182 y ECC 168 (todos con una CT > 20 cm) al año 3 posterior a su siembra. Pero el ECC 129, aunque fue el genotipo de mejor crecimiento al cabo del año 3, para el año 1 no estuvo entre los genotipos destacados. De la misma forma, el genotipo ECC 168 se ubicó sexto por su crecimiento en el año 3, aunque en los años 1 y 2 no fue relevante el crecimiento. Esta información está acorde a lo expresado por Macedo *et al.* (2002), al considerar que ciertos clones pueden mostrar un crecimiento inicial lento y desarrollarse rápidamente en etapas después del establecimiento, lo que sugiere un cambio en el comportamiento a lo largo de los años.

Sterling *et al.* (2015) evaluaron el crecimiento inicial (dos años) del clon IAN 873 en cuatro sistemas de plantación en dos regiones del Caquetá (Colombia), y reportaron que tenía la CT de 9,97 cm. Este resultado fue similar al registrado en este estudio durante el año 2 de la evaluación, porque la CT fue de 9,90 cm.

Para este estudio, a los 36 meses de sembrados, 61 genotipos fueron mejores al clon de (control) IAN 873, con valores de crecimiento medio que oscilaron entre 13,33 cm para el ECC 192 y 24,02 cm para el ECC 129; el IAN 873 mostró valor medio de circunferencia de 13,33 cm. Sterling y Hernández (2012) estimaron la circunferencia media del tronco en 100 genotipos durante 30 meses, 7 genotipos mostraron crecimiento superior al clon de (control) IAN 873, ellos fueron ECC 76, ECC 69, ECC 63, ECC 83, ECC 82, ECC 22, ECC 80 e IAN 873, con medias de 13,05 cm, 12,00 cm, 11,47 cm, 11,16 cm, 11,11 cm, 11,07 cm, 10,72 cm y 10,65 cm, respectivamente.

La mencionada investigación desarrollada en 2012, coincidió con este estudio no solo en el diseño de evaluación de campo clonal a pequeña escala (CCPE), sino en el uso de genotipos élites promisorios y el clon de (control) IAN 873, con una diferencia de seis meses de crecimiento para este estudio, lo que muestra superioridad en el desarrollo de los materiales, con crecimientos ideales superiores > 20 cm.

Sterling y Hernández (2012) afirman que el desarrollo estuvo influenciado por factores como el genotipo y el régimen pluviométrico. Según Gonçalves *et al.* (2001), los genotipos vigorosos son deseados, por alcanzar rápidamente el período de sangría y permitir una explotación y

retorno económico rápido. Por lo anterior, los genotipos de circunferencias superiores deben seguir siendo evaluados para ofrecer una buena recomendación final.

Los genotipos ECC 121, ECC 129, ECC 136, ECC 168, ECC 173 y ECC 182 aumentaron anualmente la circunferencia entre 7,0 cm y 9,0 cm, sobresaliendo significativamente. Gonçalves *et al.* (1979) destacan la circunferencia del tronco como característica importante, así mismo, el grosor de la corteza, la cantidad de anillos de vasos laticíferos, el espacio entre los anillos, el diámetro de los vasos laticíferos y el índice de taponamiento, determinan la mayor producción de látex.

Lavorenti *et al.* (1990) destacaron la circunferencia del tronco como responsable del 36% de la variación en la producción y el grosor de la corteza del 41% de la variación de la circunferencia del tronco, constituyendo así dos caracteres útiles para orientar la selección hacia la producción y el vigor, características que pueden orientar en este estudio a los seis genotipos destacados por su buen crecimiento circunferencial (todos con una CT > 20 cm) al cabo del año 3, a realizar evaluaciones futuras del comportamiento circunferencial y el espesor de la corteza durante el período de inmadurez y la etapa productiva.

Al considerar los crecimientos destacables de algunos genotipos, toma importancia el hecho que una plantación de caucho adaptada a la región donde se establezca, disminuye el período improductivo, con mayores rendimientos económicos para el productor. La apertura temprana del panel y la buena producción se relacionan con árboles que crecen vigorosamente en la etapa juvenil. Dependiendo del cultivar, la tasa de crecimiento tiende a disminuir Wycherley (1976).

Tabla 9.2. Circunferencia del tronco (cm) para 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho y el clon IAN 873 (testigo) en un campo clonal a pequeña escala en El Paujil, Caquetá

Genotipo	Año 1	Año 2	Año 3	Genotipo/ Clon	Año 1	Año 2	Año 3
ECC 101	4,50 ± 0,98adb	5,45 ± 0,98d	6,23 ± 0,98c	ECC 151	7,60 ± 0,98c	8,78 ± 0,98c	11,88 ± 0,98c
ECC 102	9,25 ± 0,98c	10,50 ± 0,98c	14,95 ± 0,98b	ECC 152	7,83 ± 0,98c	9,10 ± 0,98c	14,53 ± 0,98b
ECC 103	10,03 ± 0,98c	11,35 ± 0,98c	16,98 ± 0,98b	ECC 153	9,20 ± 0,98c	9,90 ± 0,98c	14,73 ± 0,98b
ECC 104	6,78 ± 0,98c	7,83 ± 0,98c	11,38 ± 0,98c	ECC 154	9,45 ± 0,98c	10,65 ± 0,98c	16,75 ± 0,98b
ECC 105	7,05 ± 0,98c	7,93 ± 0,98c	11,63 ± 0,98c	ECC 155	8,73 ± 0,98c	11,05 ± 0,98c	18,30 ± 0,98b
ECC 106	9,33 ± 0,98c	10,80 ± 0,98c	16,48 ± 0,98b	ECC 156	6,00 ± 0,98c	7,03 ± 0,98c	9,93 ± 0,98c
ECC 107	7,43 ± 0,98c	8,95 ± 0,98c	14,10 ± 0,98b	ECC 157	6,85 ± 0,98c	7,83 ± 0,98c	9,10 ± 0,98c
ECC 108	6,38 ± 0,98c	7,83 ± 0,98c	12,18 ± 0,98c	ECC 158	9,28 ± 0,98c	11,23 ± 0,98c	16,40 ± 0,98b
ECC 109	6,80 ± 0,98c	8,03 ± 0,98c	10,38 ± 0,98c	ECC 159	8,33 ± 0,98c	10,35 ± 0,98c	13,58 ± 0,98c
ECC 110	7,83 ± 0,98c	9,45 ± 0,98c	12,90 ± 0,98c	ECC 160	8,18 ± 0,98c	9,25 ± 0,98c	11,65 ± 0,98c
ECC 111	7,38 ± 0,98c	8,30 ± 0,98c	11,50 ± 0,98c	ECC 161	8,03 ± 0,98c	9,65 ± 0,98c	15,13 ± 0,98b
ECC 112	8,45 ± 0,98c	9,38 ± 0,98c	13,20 ± 0,98c	ECC 162	8,85 ± 0,98c	9,95 ± 0,98c	15,30 ± 0,98b
ECC 113	9,15 ± 0,98c	11,33 ± 0,98c	15,85 ± 0,98b	ECC 163	8,78 ± 0,98c	9,55 ± 0,98c	15,13 ± 0,98b
ECC 114	6,93 ± 0,98c	8,28 ± 0,98c	10,58 ± 0,98c	ECC 164	8,58 ± 0,98c	10,05 ± 0,98c	15,83 ± 0,98b
ECC 115	11,25 ± 0,98c	13,70 ± 0,98c	18,13 ± 0,98b	ECC 165	6,50 ± 0,98c	7,43 ± 0,98c	8,53 ± 0,98c
ECC 116	7,50 ± 0,98c	8,80 ± 0,98c	11,18 ± 0,98c	ECC 166	8,78 ± 0,98c	10,58 ± 0,98c	15,35 ± 0,98b

Genotipo	Año 1	Año 2	Año 3	Genotipo/ Clon	Año 1	Año 2	Año 3
ECC 117	7,23 ± 0,98c	8,83 ± 0,98c	11,08 ± 0,98c	ECC 167	9,38 ± 0,98c	11,63 ± 0,98c	16,68 ± 0,98b
ECC 118	7,30 ± 0,98c	9,05 ± 0,98c	12,10 ± 0,98c	ECC 168	9,88 ± 0,98c	12,50 ± 0,98c	20,65 ± 0,98a
ECC 119	9,90 ± 0,98c	10,63 ± 0,98c	14,98 ± 0,98b	ECC 169	7,45 ± 0,98c	8,05 ± 0,98c	10,28 ± 0,98c
ECC 120	6,75 ± 0,98c	7,53 ± 0,98c	9,55 ± 0,98c	ECC 170	9,85 ± 0,98c	12,20 ± 0,98c	19,45 ± 0,98b
ECC 121	11,12 ± 0,98c	13,75 ± 0,98c	20,78 ± 0,98a	ECC 171	8,03 ± 0,98c	10,33 ± 0,98c	14,95 ± 0,98b
ECC 122	9,43 ± 0,98c	11,45 ± 0,98c	17,55 ± 0,98b	ECC 172	9,48 ± 0,98c	10,93 ± 0,98c	15,55 ± 0,98b
ECC 123	6,75 ± 0,98c	7,70 ± 0,98c	10,23 ± 0,98c	ECC 173	11,08 ± 0,98c	14,15 ± 0,98b	23,40 ± 0,98a
ECC 124	8,38 ± 0,98c	10,93 ± 0,98c	17,45 ± 0,98b	ECC 174	10,85 ± 0,98c	12,75 ± 0,98c	18,48 ± 0,98b
ECC 125	8,35 ± 0,98c	9,50 ± 0,98c	14,65 ± 0,98b	ECC 175	9,23 ± 0,98c	10,55 ± 0,98c	18,13 ± 0,98b
ECC 126	8,83 ± 0,98c	10,93 ± 0,98c	16,15 ± 0,98b	ECC 176	8,23 ± 0,98c	9,35 ± 0,98c	12,65 ± 0,98c
ECC 127	9,18 ± 0,98c	11,18 ± 0,98c	18,80 ± 0,98b	ECC 177	5,38 ± 0,98d	6,30 ± 0,98c	7,53 ± 0,98c
ECC 128	8,15 ± 0,98c	9,15 ± 0,98c	12,35 ± 0,98c	ECC 178	8,75 ± 0,98c	11,43 ± 0,98c	16,80 ± 0,98b
ECC 129	8,93 ± 0,98c	16,53 ± 0,98b	24,03 ± 0,98a	ECC 179	8,60 ± 0,98c	9,80 ± 0,98c	15,65 ± 0,98b
ECC 130	7,38 ± 0,98c	9,55 ± 0,98c	12,98 ± 0,98c	ECC 180	8,00 ± 0,98c	8,78 ± 0,98c	12,95 ± 0,98c
ECC 131	7,83 ± 0,98c	8,85 ± 0,98c	12,48 ± 0,98c	ECC 181	9,50 ± 0,98c	10,53 ± 0,98c	14,08 ± 0,98b
ECC 132	7,13 ± 0,98c	8,30 ± 0,98c	11,85 ± 0,98c	ECC 182	11,38 ± 0,98c	13,60 ± 0,98c	20,75 ± 0,98a
ECC 133	6,33 ± 0,98c	8,48 ± 0,98c	10,10 ± 0,98c	ECC 183	9,30 ± 0,98c	11,18 ± 0,98c	16,63 ± 0,98b
ECC 134	7,13 ± 0,98c	10,60 ± 0,98c	14,95 ± 0,98b	ECC 184	6,55 ± 0,98c	7,53 ± 0,98c	10,63 ± 0,98c
ECC 135	9,40 ± 0,98c	12,08 ± 0,98c	16,78 ± 0,98b	ECC 185	6,90 ± 0,98c	8,20 ± 0,98c	11,35 ± 0,98c
ECC 136	12,40 ± 0,98c	15,05 ± 0,98b	22,12 ± 0,98a	ECC 186	6,55 ± 0,98c	8,68 ± 0,98c	12,90 ± 0,98c
ECC 137	8,50 ± 0,98c	9,98 ± 0,98c	18,30 ± 0,98b	ECC 187	9,98 ± 0,98c	11,93 ± 0,98c	18,48 ± 0,98b
ECC 138	11,08 ± 0,98c	13,08 ± 0,98c	18,68 ± 0,98b	ECC 188	6,23 ± 0,98c	6,90 ± 0,98c	9,28 ± 0,98c
ECC 139	5,60 ± 0,98d	6,28 ± 0,98c	7,93 ± 0,98c	ECC 189	4,18 ± 0,98d	4,75 ± 0,98d	6,60 ± 0,98c
ECC 140	10,05 ± 0,98c	11,35 ± 0,98c	17,00 ± 0,98b	ECC 190	5,58 ± 0,98d	6,15 ± 0,98c	8,58 ± 0,98c
ECC 141	8,33 ± 0,98c	9,80 ± 0,98c	12,23 ± 0,98c	ECC 191	7,55 ± 0,98c	8,95 ± 0,98c	12,23 ± 0,98c
ECC 142	7,80 ± 0,98c	8,75 ± 0,98c	13,25 ± 0,98c	ECC 192	7,93 ± 0,98c	9,18 ± 0,98c	13,33 ± 0,98c
ECC 143	8,83 ± 0,98c	10,28 ± 0,98c	17,75 ± 0,98b	ECC 193	10,35 ± 0,98c	12,00 ± 0,98c	19,33 ± 0,98b
ECC 144	9,63 ± 0,98c	11,98 ± 0,98c	17,98 ± 0,98b	ECC 194	9,13 ± 0,98c	11,25 ± 0,98c	15,83 ± 0,98b
ECC 145	6,08 ± 0,98c	6,93 ± 0,98c	8,90 ± 0,98c	ECC 195	7,90 ± 0,98c	9,23 ± 0,98c	13,08 ± 0,98c
ECC 146	7,25 ± 0,98c	7,93 ± 0,98c	10,58 ± 0,98c	ECC 196	4,95 ± 0,98d	5,68 ± 0,98d	7,03 ± 0,98c
ECC 147	10,88 ± 0,98c	12,93 ± 0,98c	17,93 ± 0,98b	ECC 197	7,25 ± 0,98c	7,98 ± 0,98c	13,53 ± 0,98c
ECC 148	3,55 ± 0,98d	4,85 ± 0,98d	6,53 ± 0,98c	ECC 198	8,65 ± 0,98c	10,35 ± 0,98c	16,23 ± 0,98b
ECC 149	7,73 ± 0,98c	8,18 ± 0,98c	11,45 ± 0,98c	ECC 199	9,70 ± 0,98c	12,35 ± 0,98c	19,53 ± 0,98b
ECC 150	9,33 ± 0,98c	11,03 ± 0,98c	16,10 ± 0,98b	IAN 873	8,58 ± 0,98c	9,90 ± 0,98c	13,33 ± 0,98c

^a Error estándar.

^b Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P > 0, 05$) según la prueba LSD

9.3.2. Contenido nutricional edáfico de un campo clonal a pequeña escala CCPE de caucho natural

El análisis de varianza indicó diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$) en 31 de los 32 parámetros edáficos como pH (pH), conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónica efectiva (CICE), saturación de humedad media (SHM), carbono orgánico oxidable

(C.O.Ox.), materia orgánica (MO), nitrógeno total (N), densidad aparente (DA), entre otros. La variable fósforo (P) no presentó diferencias ($P > 0,05$).

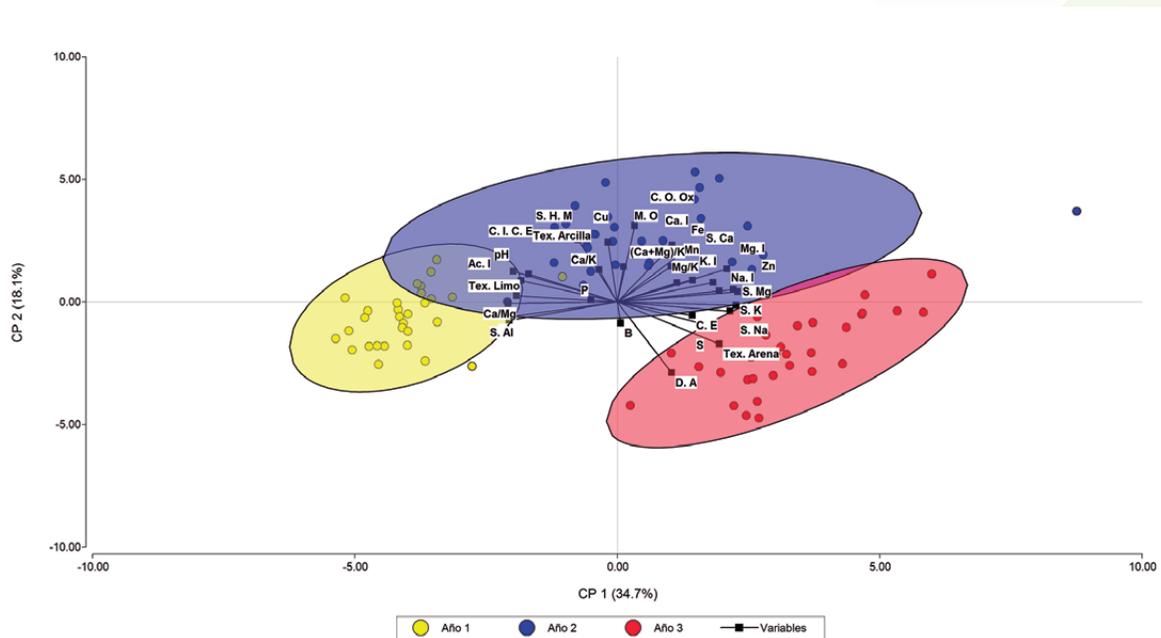


Figura 9.3. Biplot con elipses de predicción al 90%, producido mediante un análisis de componentes principales de 32 parámetros químicos edáficos diferenciados en 3 años en un campo clonal a pequeña escala en El Paujil, Caquetá (Colombia).

En la figura 9.3 se pueden apreciar tres años de estudio. El año 1 destacó la mejor la disponibilidad de nutrientes para los árboles respecto a la C.I.C.E., que favoreció el crecimiento de los genotipos con contenidos de N y P y una relación ideal entre Ca/Mg. Aunque fue el año en que se obtuvo la mayor S. Al que limitó la disponibilidad de absorción de cationes K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} .

El año 2 ubicó los mejores contenidos de materia orgánica para los genotipos de acuerdo a la disposición de C.O.Ox., presencia de microelementos necesarios como Fe, Mn, Cu. Las relaciones de las bases Ca/K, Mg/K y (Ca+Mg)/K beneficiaron el suelo al reducir la acidez.

Finalmente, en el año 3 hubo un aumento de variables como C.E. (mayor salinidad), M.O (mayor concentración de residuos orgánicos), K.I. y Mg.I (bases intercambiables esenciales en la fertilidad del suelo) y micronutrientes benéficos como Zn, B y S.

El ACP permitió evidenciar el 59,4% de los parámetros que tuvieron mayor contenido nutricional similar en el año 2, el 21,9% de los que obtuvieron valores superiores en el año 1 y el 18,8 % de los que presentaron mayor contenido para el año 2 (figura 9.3). El pH para este estudio tuvo un rango de acidez bajo de 4,31 a 4,93. El valor de pH va de 0 a 14, en suelos agrícolas los valores pueden variar entre 4 y 10. Los suelos colombianos, en un 85% del territorio, presentan acidez,

por eso es indispensable darle un correcto manejo a esta condición que limita la productividad (Lizcano *et al.*, 2017).

La CE (dS/m) fue de 0,10 – 0,18, concentración 1-2 suelos bajos en sales, donde los rendimientos de las plantaciones pueden verse afectados. Según Castellanos (2000), los resultados se pueden clasificar con relación al efecto sobre las plantaciones desde suelos no salinos hasta muy salinos. La CICE (meq/100g) osciló entre 8,81 y 13,46. La CIC refleja la suma total de los cationes intercambiables de un suelo; cuanto mayor es la CIC, mayor es la cantidad de cationes que este puede retener (absorber), la CIC es un indicador directo de la fertilidad del suelo debido a que controla la disponibilidad de nutrientes para las plantas: K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} .

El caucho presenta adaptabilidad a suelos ácidos cuando presentan bajos contenidos minerales (Reis y Chepote, 2008). Esta especie requiere también suelos profundos, porosos y drenados, donde se facilite el desarrollo de las raíces, conllevando al suministro de agua, nutrientes y buena fijación del árbol (Ferreira da Motta, 2007). En el caucho, en condiciones ideales, su sistema de raíces es vigoroso y distribuido, permitiendo la extensión en grandes volúmenes de suelo (Ferreira *et al.*, 2000).

El C.O.Ox. (%) fluctuó entre 1,42 y 2,07. De acuerdo al método Walkley-Black con clima cálido, el nivel de carbono es medio, indicativo del contenido de materia orgánica del suelo. La MO (%) de 2,43 a 3,56, está compuesta por una amplia variedad de sustancias y su naturaleza específica está determinada por las plantas y los residuos animales que se descomponen en un sitio de forma continua. De igual forma, el contenido de carbono orgánico de un suelo es un indicativo del porcentaje de su materia orgánica (IGAC, 2006).

El N (%) estuvo entre 0,11 y 9,55. La mayoría del nitrógeno en los suelos existe en forma orgánica; sus formas disponibles (amonio y nitrato) normalmente existen en cantidades relativamente pequeñas. Más del 90% del nitrógeno del suelo normalmente existe en una combinación compleja con la materia orgánica, aproximadamente el 5 % de la materia orgánica es nitrógeno total (por ejemplo, la fracción húmica) (Sarkar y Haldar, 2005).

Bataglia, Rodrigues, Igue y Gonçalves (1998) reportaron que el crecimiento circunferencial del tallo se debió al efecto de los nutrientes N y P. La función del P favorece el crecimiento. Con los estudios sobre el efecto de la fertilización en el desarrollo del caucho, la recomendación de la fertilización para cualquier región reducirá el período de inmadurez del cultivo.

Al evaluar el estado nutricional de 40 plantaciones productivas de caucho en el estado de São Paulo, Bataglia, Cardoso y Carretero (1988) establecieron rangos de concentraciones de nutrientes y encontraron un mayor desarrollo del caucho en suelos con un mejor nivel de fertilidad relacionados con N y K.

La DA (g/cm^3) fue de 1,18 – 1,34, lo que describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y el espacio poroso (Keller y Håkansson, 2010). Los resultados pueden variar desde $0,1 g cm^{-3}$ o menos en suelos orgánicos, hasta $1,6 g cm^{-3}$ en suelos minerales

(Thompson y Troeh, 1988). De acuerdo a la relación entre textura y densidad aparente, el suelo donde se estableció el experimento presenta textura fina a media (franco-arcilloso).

Se presentaron las siguientes texturas para el análisis de suelo: Tex. Arcilla (%) 47,81 – 58,52, Tex. Arena (%) 19,67 – 40,84 y Tex. Limo (%) 11,35 – 26,80. La textura es una propiedad inherente del suelo, determina la cantidad de agua que un suelo puede retener cuando se encuentra completamente húmedo; de igual forma, cuantifica la relación entre el agua y los solutos disueltos cuando están potencialmente disponibles para ser tomados por las plantas (Proffitt, 2014).

Las bases intercambiables están conformadas por los siguientes elementos nutricionales, con las concentraciones determinadas de la siguiente manera: K.I (mg/kg) 60,71 – 85,78, Ca.I (mg/kg) 267,73 – 359,48, Mg.I (mg/kg) 30,76 – 65,68, Na.I (mg/kg) 28,60 – 44,19, son importantes para las plantas por ser elementos esenciales, excepto el sodio (Na⁺), el cual tiene importancia en suelos salino-sódicos o sódicos con pH superiores a 6.

Las bases intercambiables son fundamentales porque hacen parte de la CIC y son la base de la fertilidad (Lizcano *et al.*, 2017). La Ac.I (mg/kg) obtenida fue de 573,32 – 1039,53. Está dada por los elementos Al³⁺ + H⁺; se considera como la acidez intercambiable, de manera que presenta la capacidad de retener cationes que estén funcionando en el suelo.

Domingues (1994) desarrolló un registro nutricional en plantaciones de caucho en São Paulo y determinó que los suelos evaluados mostraron alta acidez, bajos niveles de nutrientes como P, K, Ca, Mg y baja saturación por bases, lo que mostró desinterés de los productores en cuanto al manejo adecuado del cultivo. Además, comprobó que las plantaciones establecidas en suelos con saturación de bases > 50%, tuvieron mayor crecimiento anual en la circunferencia del tallo.

El elemento mayor Mg es indispensable para la productividad de las plantaciones, actúa como constituyente de la clorofila, indispensable en el proceso de fotosíntesis, funciona como un activador de enzimas relacionadas con el metabolismo de los carbohidratos y participa en la síntesis de ácidos nucleicos (Reis y Chepote, 2008).

Los siguientes elementos nutricionales menores mostraron las siguientes determinaciones de contenido en suelo durante los tres años: Fe (mg/kg) 236,47 – 404,94, Mn (mg/kg) 8,83 – 17,25, Cu (mg/kg) 1,63 – 2,12, Zn (mg/kg) 0,47 – 1,38, B (mg/kg), 0,07 – 0,16. Por su parte, los elementos mayores mostraron los siguientes contenidos: P (mg/kg) 2,73 – 4,19, S (mg/kg) 4,35 – 9,90. Los resultados de las saturaciones se encontraron de la siguiente manera: S.Mg (%) 1,95 – 6,28, S.Na (%) 0,96 – 2,24, S.Al (%) 71,64 – 85,42, S.K (%) 1,16 – 2,54, S.Ca (%) 10,24 – 17,36.

Finalmente, se muestran las relaciones iónicas entre Ca/Mg: 2,82 – 5,37 (Ideal 3 – 4, Rango Crítico Ca < 3 Mg > 4), Ca/K: 6,87 – 8,86 (Ideal 12 – 15, Rango Crítico > 15 P < 10 Ca), Mg/K: 1,87 – 2,59 (Ideal 6 – 8, Rango Crítico > 10 P < 5 Mg) y (Ca+Mg)/K: 9,32 – 11,44 (Ideal 12 – 20, Rango Crítico P > 25 Ca+Mg < 10). Con un adecuado manejo de los elementos que conforman las relaciones, se puede contribuir indirectamente a reducir la acidez, dislocando los elementos

que conforman la acidez intercambiable ($H^+ + Al^{+3}$) y dejando esas cargas para que sean ocupadas por dichas bases, según los valores establecidos por Castro y Gómez (2010).

Investigaciones desarrolladas por Roque *et al.* (2004) realizaron aplicaciones de piedra caliza sobre la superficie de las raíces de árboles de caucho, el contenido de calcio aplicado se reflejó con una alta productividad de caucho seco. El ion Ca^{+2} es importante en el desarrollo de la raíz, es uno de los componentes de la pared celular y es indispensable para la mitosis en el proceso de división celular (Reis y Chepote, 2008).

9.3.3. Variación interanual en el contenido nutricional foliar

En el año 1 el análisis de varianza evidenció diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$) en 18 de los 23 parámetros foliares como nitrógeno total (N), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), manganeso (Mn), boro (B), zinc (Zn), entre otros. Los parámetros fósforo (P), azufre (S), hierro (Fe), cobre (Cu) y sodio (Na) no mostraron diferencias ($P > 0,05$).

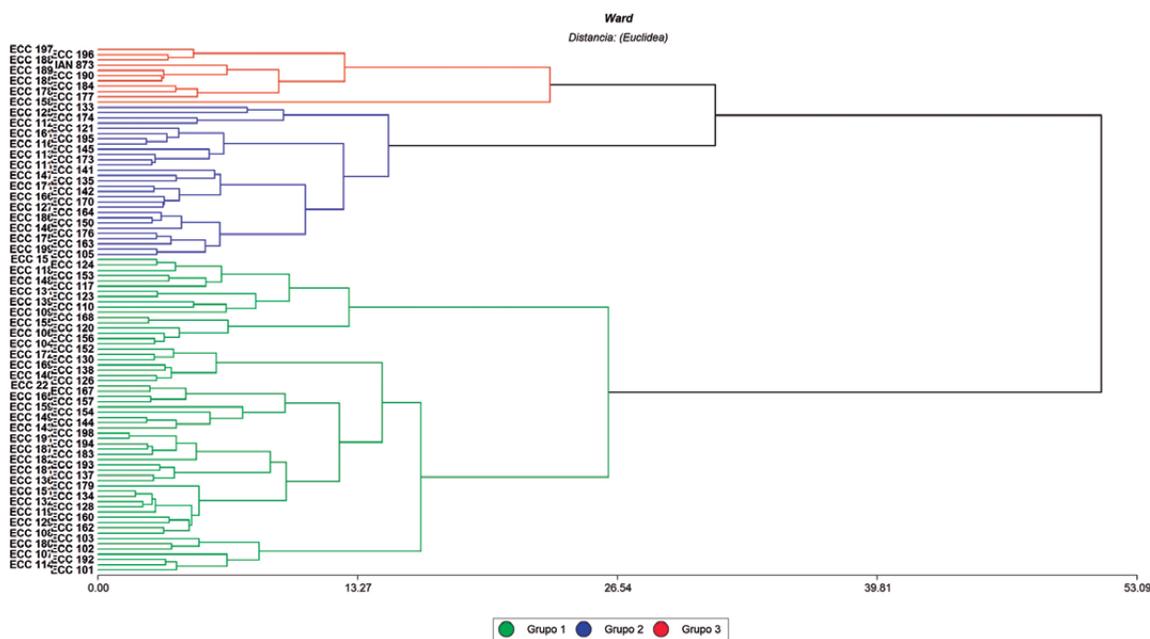


Figura 9.4. Dendrograma producido mediante el análisis de conglomerados (método Ward y la distancia Euclídea) para el contenido nutricional de 23 parámetros químicos foliares en el año 1 de un campo clonal a pequeña escala en El Paujil, Caquetá

En la figura 9.4, se pueden apreciar tres grupos de genotipos. En el grupo 1 se encontraron los 60 genotipos como ECC 124, ECC 118, ECC 153, ECC 148, ECC 117, ECC 131, ECC 123, ECC 139, ECC 110 y ECC 109, entre otros, de mayor contenido nutricional para magnesio (Mg),

azufre (S), manganeso (Mn), zinc (Zn), saturación de magnesio (SMg), relación magnesio/potasio (Mg/K), relación (calcio+magnesio)/potasio [(Ca+Mg)/K] y relación nitrógeno/fósforo (N/P).

En el grupo 2 se ubicaron 29 genotipos como ECC 133, ECC 125, ECC 174, ECC 112, ECC 121, ECC 161, ECC 195, ECC 116, ECC 145, ECC 113, entre otros, destacados con contenido nutricional superior para potasio (K), calcio (Ca), saturación de calcio (S. Ca), relación calcio/magnesio (Ca/Mg), relación calcio/potasio (Ca/K) y relación calcio/boro (Ca/B).

Finalmente, en el grupo 3 se localizaron 11 genotipos como ECC 197, ECC 196, ECC 188, IAN 873 y ECC 189, entre otros, los cuales destacaron su contenido nutricional para nitrógeno total (N), fósforo (P), hierro (Fe), cobre (Cu), boro (B), sodio (Na), saturación de potasio (SK), relación nitrógeno/azufre (N/S) y relación hierro/manganeso (Fe/Mn).

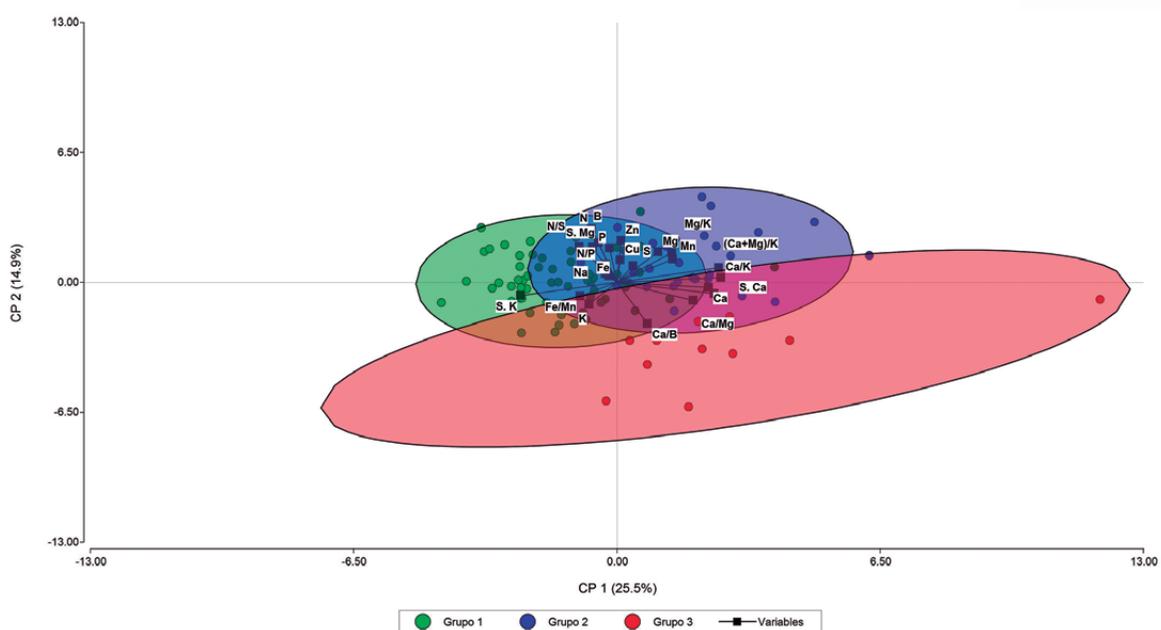


Figura 9.5. Biplot con elipses de predicción al 90% producido mediante un análisis de componentes principales de 23 parámetros químicos foliares en 100 genotipos de caucho diferenciados en tres grupos en el año 1 en un campo clonal a pequeña escala en El Paujil, Caquetá.

En la figura 9.5 se observan tres grupos de genotipos. El grupo 1 expresó las relaciones iónicas entre cationes de importancia a nivel nutricional para las plantaciones de caucho, notándose (Ca/K), (Ca+Mg)/K, (Ca/Mg), el calcio se cataloga importante en la formación de la rigidez de la pared celular, ya que participa en la formación de pectatos de calcio (Mg/K), al igual (Fe/Mn) es indispensable la relación en los procesos de la fotosíntesis (activación de metionina).

Asimismo, se dispuso el P como elemento esencial para la vida. B, N, SMg, N/S, K y Ca/B se convierten en elementos nutritivos provenientes de residuos de hojas, estiércoles y deyecciones

de la meso y microfauna del suelo; son materiales orgánicos que se descomponen fácilmente formando sustancias pre-húmicas.

El ACP permitió evidenciar el 26,1% de las variables que tuvieron mayor contenido nutricional en el grupo 2, el 69,6% de las variables obtuvieron contenidos nutricionales similares en los grupos 1 y 2; el 4,3% de las variables presentaron mayor contenido para el grupo 2; finalmente, el grupo 3 de genotipos obtuvo valores inferiores de contenido nutricional (figura 9.5).

En el año 2 el análisis de varianza presentó diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$) en 23 parámetros como potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), manganeso (Mn), boro (B), nitrógeno total (N), fósforo (P), hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn) y sodio (Na), entre otros.

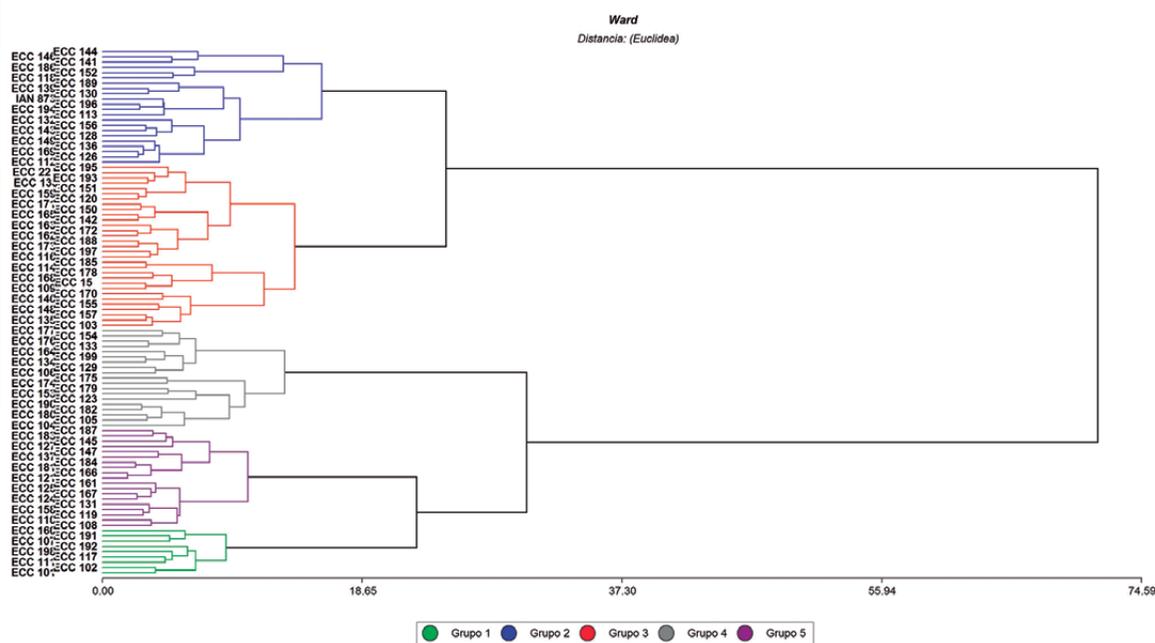


Figura 9.6. Dendrograma producido mediante el análisis de conglomerados (método Ward y la distancia Euclídea) para el contenido nutricional de 23 parámetros químicos foliares en el año 2 de un campo clonal a pequeña escala en El Paujil, Caquetá.

La figura 9.6 diferenció cinco grupos de genotipos. El grupo 1 contiene nueve genotipos, como ECC 160, ECC 191, ECC 107, ECC 192 y ECC 198, entre otros, de mayor contenido nutricional para nitrógeno total (N), fósforo (P), azufre (S), manganeso (Mn), cobre (Cu) y zinc (Zn).

En el grupo 2 se ubicaron 22 genotipos, como ECC 144, ECC 146, ECC 141, ECC 186, ECC 152, ECC 118, ECC 189 y ECC 139, entre otros, con contenido nutricional superior para potasio (K), sodio (Na), saturación de potasio (SK), saturación de magnesio (SMg), relación nitrógeno/azufre (N/S) y relación hierro/manganeso (Fe/Mn).

El grupo 3 localizó a 31 genotipos, como ECC 195, ECC 122, ECC 193, ECC 138, ECC 151, ECC 159, ECC 120 y ECC 171, entre otros, con altos valores nutricionales para hierro (Fe). El grupo 4 se ubicó con 19 genotipos, como ECC 154, ECC 176, ECC 133, ECC 164, ECC 199, ECC 134, ECC 129 y ECC 106, entre otros, sobresalientes en contenido nutricional para calcio (Ca), magnesio (Mg), saturación de calcio (SCa), relación calcio/potasio (Ca/K), relación magnesio/potasio (Mg/K), relación (calcio+magnesio)/potasio [(Ca+Mg)/K] y relación calcio/boro (Ca/B).

Finalmente, en el grupo cinco estuvieron 19 genotipos, como ECC 187, ECC 183, ECC 145, ECC 127, ECC 147, ECC 137, ECC 184 y ECC 181, entre otros, relevantes en contenido nutricional para boro (B), relación calcio/magnesio (Ca/Mg) y relación nitrógeno/fósforo (N/P).

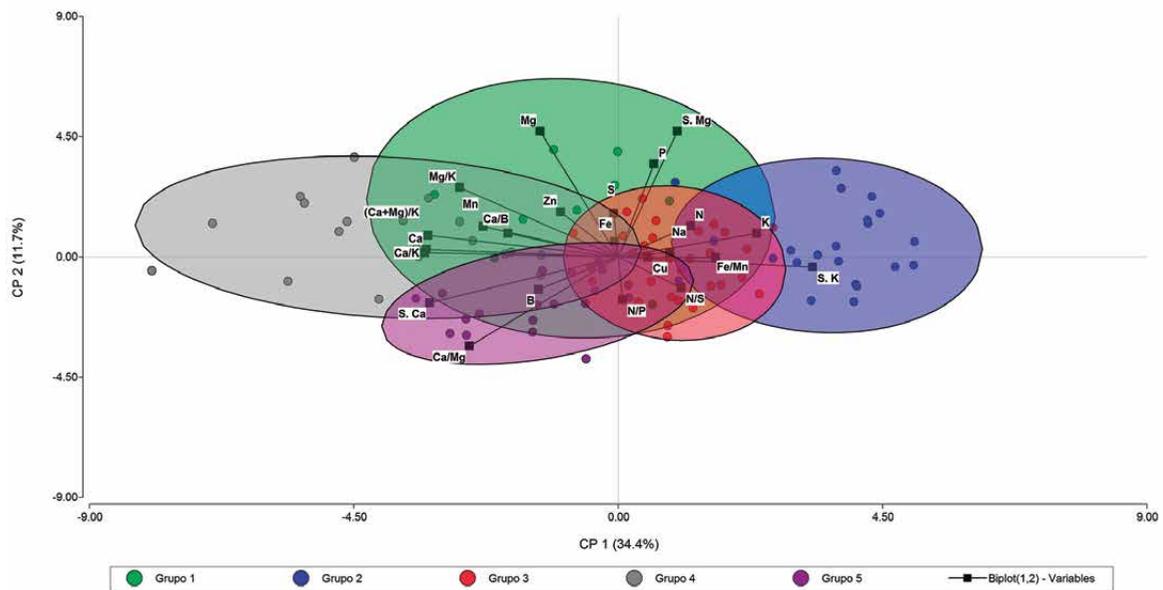


Figura 9.7. Biplot con elipses de predicción al 90% producido mediante un análisis de componentes principales de 23 parámetros químicos foliares en 100 genotipos de caucho diferenciados en cinco grupos en el año 2 en un campo clonal a pequeña escala en El Paujil, Caquetá.

La figura 9.7 muestra cinco grupos de genotipos. Mostró la distribución similar para los elementos como el N, esencial en el sistema de raíces de los árboles de caucho y el proceso de absorción. El K es elemental en la nutrición de los árboles de caucho y funciones metabólicas relacionadas con la fotosíntesis, y el Na es importante en la determinación de suelos sódicos, con pH > 6.

El Cu fue de los micronutrientes menos absorbidos en este estudio, por la presencia de iones metálicos de Mn y Fe que redujeron su disponibilidad. El Mg es importante para la productividad de los cultivos, es un elemento constitutivo de la clorofila e indispensable en la fotosíntesis. Los niveles de B y Cu encontrados en este trabajo son adecuados para caucho, el B tiene implica-

ciones en procesos celulares y fisiológicos y el (Cu) está asociado con enzimas involucradas en reacciones redox.

El ACP permitió evidenciar el 87,0% de las variables que tuvieron contenido nutricional similar en los grupos 1, 2, 3, 4 y 5; el 4,3% de las variables obtuvo contenidos nutricionales superiores en el grupo 2; el 4,3% de las variables presentó mayor contenido para el grupo 4; y finalmente, el grupo cinco de genotipos mostró valores superiores al 4,3% de contenido nutricional (figura 9.7). El año 3 mostró una varianza con diferencias estadísticas muy significativas ($P < 0,05$) en 18 parámetros como potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), manganeso (Mn), fósforo (P), hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn) y sodio (Na), entre otros. Por último, no hubo diferencias estadísticas ($P > 0,05$) entre genotipos, para las variables N, S, B, relación N/S y relación N/P.

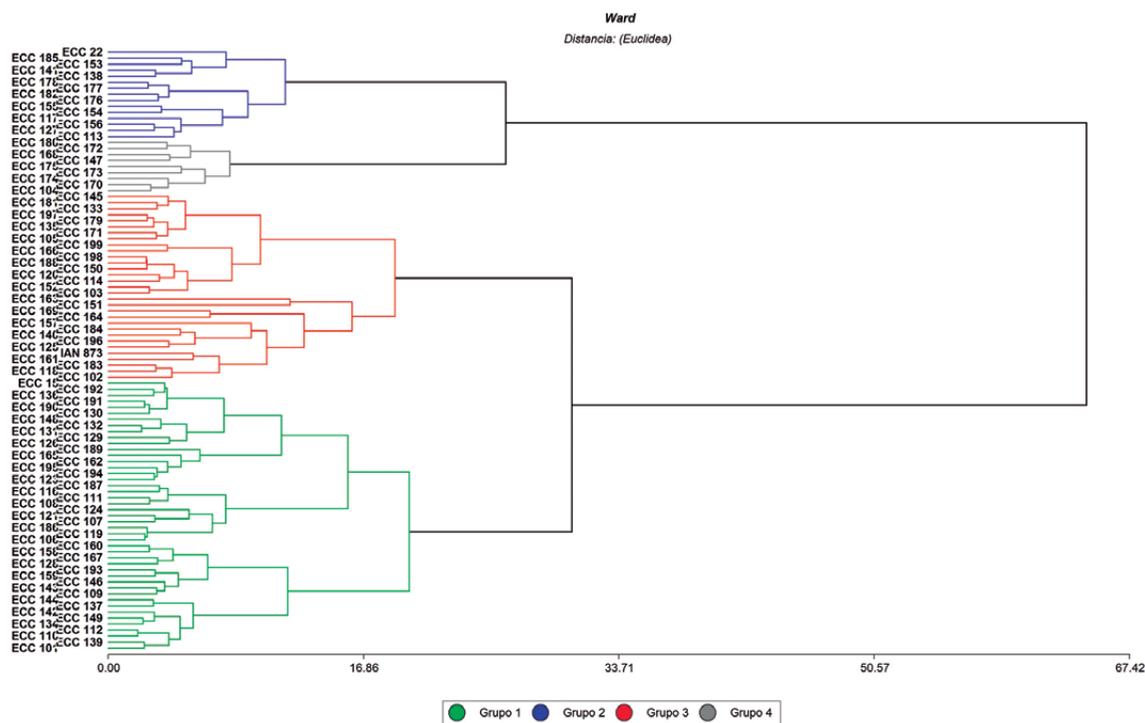


Figura 9.8. Dendrograma producido mediante el análisis de conglomerados (método Ward y la distancia Euclídea) para el contenido nutricional de 23 parámetros químicos foliares en el año 3 de un campo clonal a pequeña escala en El Paujil, Caquetá.

La figura 9.8 permitió reconocer cuatro grupos de genotipos. El grupo 1 se conformó por nueve genotipos ECC 192, ECC 136, ECC 191, ECC 190, ECC 130, ECC 148, ECC 132, ECC 131, ECC 129 y ECC 126, entre otros, de mayor contenido nutricional para calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), manganeso (Mn), boro (B), saturación de magnesio (SMg), relación calcio/potasio (Ca/K), relación magnesio/potasio (Mg/K), relación (calcio+magnesio)/potasio [(Ca+Mg)/K] y relación nitrógeno/fósforo (N/P).

En el grupo 2 se ubicaron 15 genotipos, como ECC 122, ECC 185, ECC 153, ECC 141, ECC 138, ECC 178, ECC 177, ECC 182, ECC 176 y ECC 155, entre otros, con contenido nutricional superior para sodio (Na), saturación de calcio (S. Ca), relación calcio/magnesio (Ca/Mg), relación nitrógeno/azufre (N/S) y relación calcio/boro (Ca/B).

El grupo 3 se localizó a 31 genotipos como ECC 145, ECC 181, ECC 133, ECC 197, ECC 179, ECC 135, ECC 171, ECC 105, ECC 199 y ECC 166, entre otros, destacados en contenido nutricional para nitrógeno (N), fósforo (P), hierro (Fe), cobre (Cu) y zinc (Zn).

Finalmente, el grupo 4 estuvo conformado por 45 genotipos relevantes en contenido nutricional para potasio (K), saturación de potasio (SK) y relación hierro/manganeso (Fe/Mn).

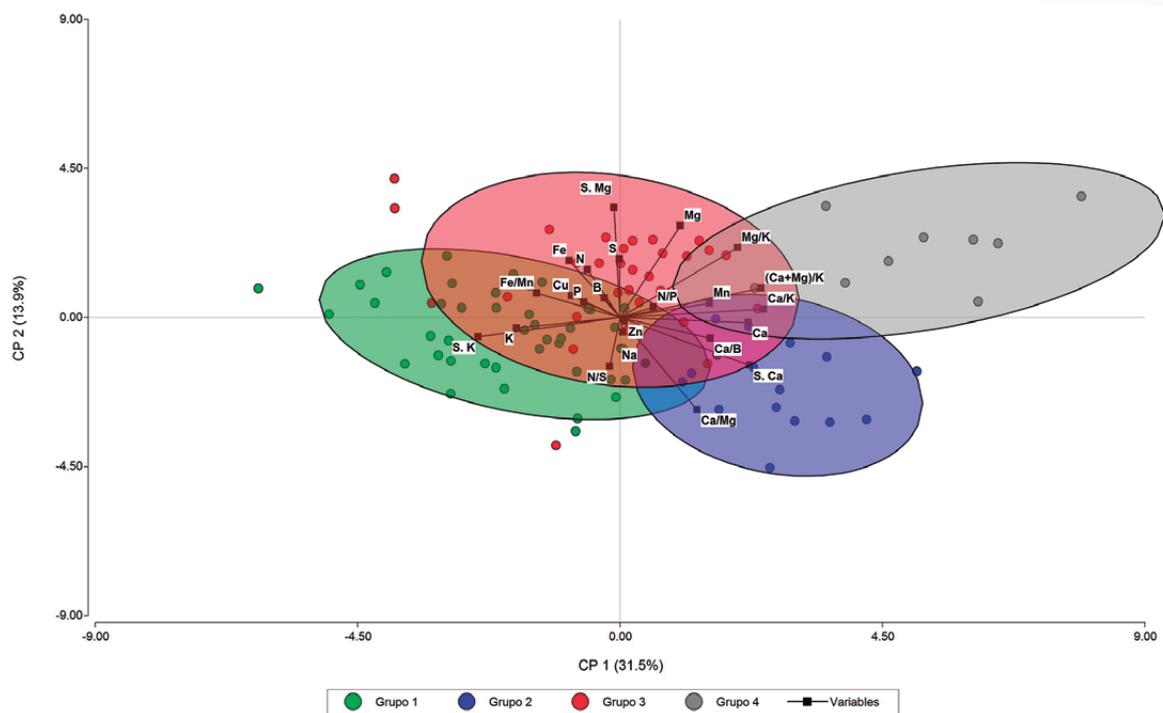


Figura 9.9. Biplot con elipses de predicción al 90% producido mediante un análisis de componentes principales de 23 parámetros químicos foliares en 100 genotipos de caucho diferenciados en 4 grupos en el año 3 en un campo clonal a pequeña escala en El Paujil, Caquetá.

La figura 9.9 está conformada por cuatro grupos de genotipos. Se evidenció la presencia del ion Ca, clave en el desarrollo de la raíz, así como Ca/B, esta relación de elementos fortalece la lamela media de las células. El pH del suelo se encontró por debajo de 5, con alta presencia de Al, condición que hace el Al intercambiable y soluble predominante, característica del suelo en este estudio, que al presentar alta acidez y desaturación mostró alta presencia de hierro y manganeso también en la hoja.

La importancia de P en el crecimiento de los árboles de caucho es esencial, de la misma forma en que este elemento influye en la producción y recuperación de la corteza en plantaciones en explotación. K mostró baja concentración de este ion. Entre los macronutrientes, el S en las condiciones en que se realizó este trabajo fue un el elemento con menor contenido. Por las características de suelo arcilloso del experimento, con altos niveles de óxidos de hierro, tienen una alta capacidad de adsorción de SO_4 , lo que redujo su movimiento en el perfil del suelo.

El ACP permitió evidenciar el 95,7% de las variables que tuvieron contenido nutricional similar en los grupos 1, 2, 3 y 4; el 4,3% de las variables obtuvo contenidos nutricionales superiores en el grupo 2 (figura 9.9).

En este trabajo se observaron contenidos de los macronutrientes foliares en los genotipos evaluados durante tres años destacando las concentraciones mayores en el siguiente orden: $N > Ca > K > P > Mg > S$. Similar al resultado encontrado por Lage (2013) dispuestos en la forma $N > Ca > K > Mg > P > S$. El mayor contenido de macronutrientes hallado por Rodrigues *et al.* (2000) y Silva *et al.* (1998), fue $K > N > Ca > P > S > Mg$. Mientras Shorrocks (1964) reportó $N > K > Ca > Mg > P > S$. Resultan evidentes las diferencias determinadas en este estudio respecto a otros investigadores, exhibiendo el orden de los nutrientes que pueden diferir según el genotipo, el estadio fenológico, los factores edafoclimáticos y el manejo técnico aplicado.

La interpretación de los resultados de los análisis vegetales está basada en el criterio de “suficiencia o rangos de suficiencia”, de acuerdo a Bennett (1993), de la siguiente manera: suficiencia de N (%) 2,0 – 5,0, P (%) 0,2 – 0,5, K (%) 1,0 – 5,0, S (%) 0,1 – 0,3, Ca (%) 0,1 – 1,0, Mg (%) 0,1 – 0,4, B (mg/kg) 10 – 100, Cu (mg/kg) 5 – 20, Fe (mg/kg) 50 – 250, Mn (mg/kg) 20 – 300, Mo (mg/kg) 0,1 – 0,5 y Zn (mg/kg) 20 – 100. El criterio de nivel crítico se ubica por debajo del rango de suficiencia. El criterio de toxicidad se halla por encima del rango de suficiencia para B, Cu, Mn, Mo, Zn. Mientras que los elementos N, P, K, S, Ca, Mg, Fe, por encima del rango de suficiencia son no tóxicos, pueden causar desbalances y ser perjudiciales para el crecimiento, pero rara vez son tóxicos.

El N fue el macronutriente de mayor cantidad (3,8%) en los genotipos evaluados en este trabajo. Conforme a lo descrito por Lage (2013) quien expresó que, entre los minerales esenciales, este elemento es el más abundante en los vegetales, siendo fundamental e importante en la producción de biomasa. El N es el macronutriente de mayor interés para el desarrollo de la planta, siendo constituyente de proteínas, clorofila, ácidos nucleicos y muchos otros importantes constituyentes celulares, incluyendo membranas y fitorreguladores (Souza y Fernandes, 2006); Reis y Chepote, 2008). En el caucho natural, el N está presente principalmente como constituyente proteico.

El mayor contenido de calcio observado en este estudio, posiblemente, se debe a la exigencia de *H. brasiliensis* para este nutriente. Afirmación acorde a lo dicho por Carvalho, Carvalho y Assis (2000), al considerar el Ca como uno de los elementos más requeridos por los árboles de caucho, particularmente cuando son adultos, y se relaciona con la producción del caucho seco. Pero difiere de la apreciación hecha por Haag y Viégas (2000), al sostener que el Ca es el macronutriente con la concentración más baja en caucho natural.

El contenido de potasio de los genotipos en estudio fue menor. Se debe a la baja concentración de este ion en la solución del suelo de la plantación de caucho, en consecuencia, a la mayor absorción de cationes que compiten por el mismo sitio de absorción (Lage, 2013). K^+ compete con varios cationes por los sitios de absorción en la membrana plasmática, principalmente NH_4^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} (Ernani, De Almeida y Dos Santos, 2007). Los niveles de NH_4^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , mostraron nivel de suficiencia al momento del análisis, incluso bajo condiciones de acidez del suelo, exhibiendo así una óptima eficiencia de absorción de estos nutrientes.

El nutriente fósforo, en esta investigación, presentó nivel de suficiencia (Bennett, 1993). La concentración de P en la solución del suelo es generalmente baja, porque se absorbe rápidamente sobre las superficies de los coloides del suelo o se precipita como fosfatos de Ca, Mg, Fe y Al (Lage, 2013). La absorción de P por las plantas es proporcional a la densidad de las raíces, por lo tanto, el aumento en el área superficial de la masa de la raíz incrementa la capacidad de la planta para acceder y absorber el fósforo del suelo (Grant *et al.*, 2001).

El análisis de magnesio mostró niveles de suficiencia para los genotipos entre 0,24 y 0,34 (%), de acuerdo a Bennett (1993), bajo condiciones de acidez del suelo, con capacidad ideal de absorción. García *et al.* (1999) consideraron el rango adecuado de magnesio en el caucho, entre 2,4 y 4,0 (%). Bataglia *et al.* (1988) observaron que la acidez del suelo no afectó la disponibilidad de Mg para las plantas.

Bajo las condiciones en que se realizó esta investigación, de los macronutrientes evaluados, el azufre es el elemento con el menor contenido. El azufre es absorbido por las plantas en forma SO_4^{2-} , que está altamente sujeto a pérdidas de lixiviados; los suelos más arcillosos, con altos niveles de óxidos de hierro, tienen una alta capacidad de absorción de SO_4^{2-} , lo que reduce su movimiento en el perfil del suelo. El azufre en la solución del suelo (SO_4^{2-}) también puede absorberse a los coloides inorgánicos (Lage, 2013). El suelo de los genotipos de caucho estudiados tiene textura arcillosa.

Por otra parte, en este estudio se observaron los mayores contenidos de micronutrientes foliares en los genotipos evaluados durante tres años, destacando las concentraciones en el siguiente orden: $Mn > Fe > B > Zn > Cu$; diferente al resultado encontrado por Lage (2013), dispuestos en la forma $Fe > Mn > Zn > B > Cu$. Resultan evidentes las diferencias determinadas en este estudio, respecto a otra investigación, exhibiendo el orden de los nutrientes que pueden diferir según el genotipo, el estadio fenológico, los factores edafoclimáticos y el manejo técnico aplicado.

Los micronutrientes manganeso (Mn), hierro (Fe), boro (B), zinc (Zn) y cobre (Cu), son elementos indispensables en el crecimiento de las plantas, se distinguen por ser absorbidos en pequeñas cantidades (Dechen y Nachtigall, 2006). Los autores consideran, que esto es debido al hecho de que no están involucrados en las estructuras de las plantas, sino en la constitución de enzimas o bien actuar como sus activadores. Los contenidos bajos de estos nutrientes en la planta pueden ocasionar problemas de desarrollo, evidenciado sobre la calidad y cantidad de producción.

El manganeso fue el micronutriente más absorbido, seguido del hierro. Según Shorrocks (1964), el Fe y el Mn son los micronutrientes más absorbidos por el árbol del caucho. El hierro juega un papel importante como componente de las enzimas involucradas en la transferencia de electrones y el manganeso actúa activando varias enzimas en las células vegetales (Taiz y Zeiger, 2009).

El boro presentó niveles de suficiencia entre 28,81 y 66,80 (mg/kg) (Bennett, 1993). Taiz y Zeiger (2009), consideraron que el papel específico del boro en el metabolismo de las plantas no está claro, la evidencia sugiere que juega un papel en el alargamiento celular, la síntesis de ácidos nucleicos, las respuestas hormonales y el funcionamiento de la membrana. Por su parte, el Zn reportó niveles de suficiencia entre 17,60 y 36,28 (mg/kg).

El cobre fue el elemento que presentó el contenido más bajo entre los micronutrientes. Lo que coincide con los resultados obtenidos por Shorrocks (1964), quien encontró que el cobre es el nutriente menos absorbido por *H. brasiliensis*. Los iones metálicos, como Fe, Mn y Al, presentes en el medio, disminuyen la disponibilidad de cobre para las plantas, sin importar el tipo de suelo (Abreu *et al.*, 2007).

Por su parte, los resultados de saturación por bases de esta investigación, consistió en la suma de los cationes principales: calcio, magnesio y potasio, respecto a la capacidad de intercambio catiónico. Cuanto más básico sea el suelo, mayor será el porcentaje de saturación de las bases. Cuanto más alto sea el porcentaje de saturación, mayores posibilidades de retener cationes.

La relación (calcio+magnesio)/potasio [(Ca+Mg)/K] arrojó valores entre 2,09 y 5,70; se aplica una valoración de la relación < 40 con nota adecuada para potasio. La relación nitrógeno/azufre (N/S), entre 10,31 y 19,12. La relación nitrógeno/fósforo (N/P), entre 11,70 y 16,76. La relación calcio/boro (Ca/B), entre 107,25 y 706,59, tiene una valoración de la relación < 1,000 catalogada como rango crítico (Deficiencia), el rango óptimo está entre 1000 y 2000 (Ideal). Finalmente, la relación hierro/manganeso (Fe/Mn), entre 0,13 y 0,56, muestra un valor de relación < 8 considerada como rango crítico (Deficiencia), el rango debe estar entre 8 y 10 (Ideal).

9.3.4. Identificación de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 2

En la tabla 9.3 se presentan los mejores genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho por su vigor y comportamiento nutricional foliar deseable, a partir de la calificación ponderada de las principales variables nutricionales (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn y B), analizadas luego de tres años de evaluación en un campo clonal a pequeña escala.

Tabla 9.3. Matriz de identificación de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) comparados con el clon IAN 873 (testigo), basada en las variables de crecimiento y contenido nutricional foliar en un campo clonal a pequeña escala en El Paujil, Caquetá (Colombia)

Genotipo	CT ^a	N ^b _{cr}	N	N _n	P	N _p	K	N _k	Ca	N _{ca}	Mg	N _m _{mg}	S	N _s	Fe	N _{fe}	Mn	N _m _{mn}	Cu	N _{cu}	Zn	B	N _b	Calificación ^c	Escalón	
ECC 129	24,02	1,00	3,73	0,65	0,25	0,37	0,77	0,48	0,66	0,22	0,23	0,26	0,26	0,46	82,26	0,47	270,00	0,25	8,67	0,59	25,78	0,20	59,32	0,55	0,945	1
ECC 173	23,40	0,97	3,51	0,43	0,25	0,37	0,76	0,46	0,84	0,41	0,26	0,42	0,28	0,64	71,12	0,28	389,33	0,61	6,84	0,13	29,39	0,29	68,54	0,78	0,915	2
ECC 136	22,12	0,90	3,70	0,62	0,27	0,55	0,90	0,75	0,56	0,12	0,22	0,21	0,28	0,64	73,41	0,32	300,06	0,34	7,54	0,30	24,16	0,16	56,59	0,48	0,865	3
ECC 182	20,75	0,83	3,52	0,44	0,26	0,46	0,73	0,39	0,85	0,42	0,27	0,47	0,28	0,64	61,10	0,10	429,50	0,73	8,28	0,49	23,51	0,14	57,00	0,49	0,794	4
ECC 121	20,77	0,84	3,76	0,68	0,22	0,10	0,74	0,41	0,64	0,20	0,27	0,47	0,27	0,55	70,08	0,26	334,11	0,44	7,94	0,40	27,61	0,24	61,78	0,61	0,792	5
ECC 168	20,65	0,83	3,74	0,66	0,23	0,19	0,74	0,41	0,77	0,34	0,29	0,58	0,25	0,37	95,58	0,71	321,78	0,40	7,41	0,27	25,32	0,19	61,92	0,62	0,789	6
ECC 193	19,33	0,76	3,73	0,65	0,28	0,64	0,99	0,94	0,73	0,29	0,23	0,26	0,27	0,55	84,63	0,52	360,61	0,52	7,22	0,22	26,68	0,22	57,24	0,50	0,746	7
ECC 170	19,45	0,77	3,78	0,70	0,23	0,19	0,71	0,35	0,81	0,38	0,29	0,58	0,27	0,55	65,31	0,17	394,61	0,62	7,76	0,36	26,54	0,22	65,23	0,70	0,735	8
ECC 199	19,53	0,77	3,37	0,28	0,22	0,10	0,74	0,41	0,83	0,40	0,31	0,68	0,24	0,28	73,60	0,32	357,78	0,51	7,74	0,35	25,42	0,19	60,79	0,59	0,728	9
ECC 127	18,80	0,74	3,67	0,59	0,22	0,10	0,80	0,54	0,79	0,36	0,27	0,47	0,27	0,55	63,49	0,14	454,33	0,80	8,38	0,51	34,51	0,42	62,06	0,62	0,706	10
ECC 187	18,48	0,72	3,80	0,72	0,25	0,37	0,78	0,50	0,66	0,22	0,25	0,36	0,27	0,55	86,13	0,54	426,11	0,72	7,97	0,41	24,64	0,17	65,33	0,70	0,698	11
ECC 138	18,68	0,73	3,38	0,29	0,26	0,46	0,78	0,50	0,68	0,24	0,23	0,26	0,22	0,10	75,30	0,35	318,17	0,39	7,29	0,24	21,93	0,10	65,66	0,71	0,694	12
ECC 174	18,48	0,72	3,59	0,51	0,25	0,37	0,59	0,10	1,14	0,71	0,33	0,79	0,31	0,91	70,58	0,27	426,50	0,72	6,78	0,11	27,02	0,23	66,92	0,74	0,690	13
ECC 137	18,30	0,71	3,56	0,48	0,26	0,46	0,92	0,79	0,79	0,36	0,23	0,26	0,27	0,55	77,80	0,39	314,67	0,38	6,73	0,10	22,33	0,11	64,37	0,68	0,688	14
ECC 143	17,75	0,68	3,84	0,76	0,29	0,73	1,02	1,00	0,73	0,29	0,26	0,42	0,28	0,64	82,51	0,48	390,83	0,61	9,78	0,87	29,12	0,28	56,54	0,48	0,685	15
ECC 155	18,30	0,71	3,77	0,69	0,24	0,28	0,77	0,48	0,79	0,36	0,27	0,47	0,24	0,28	76,38	0,37	266,44	0,24	8,88	0,64	23,49	0,14	58,78	0,54	0,684	16
ECC 115	18,13	0,70	3,63	0,55	0,26	0,46	0,84	0,62	0,66	0,22	0,24	0,31	0,28	0,64	102,96	0,84	297,39	0,33	8,17	0,46	26,22	0,21	61,37	0,60	0,683	17
ECC 147	17,93	0,69	3,73	0,65	0,26	0,46	0,73	0,39	0,96	0,53	0,30	0,63	0,28	0,64	76,11	0,37	453,02	0,80	8,17	0,46	29,80	0,30	66,58	0,73	0,675	18
ECC 144	17,98	0,69	3,42	0,34	0,24	0,28	0,87	0,69	0,63	0,19	0,24	0,31	0,24	0,28	75,17	0,35	317,67	0,39	9,01	0,67	24,79	0,17	49,07	0,29	0,664	19
ECC 175	18,13	0,70	3,36	0,27	0,22	0,10	0,62	0,16	0,87	0,44	0,30	0,63	0,25	0,37	61,64	0,11	520,67	1,00	7,46	0,28	26,09	0,21	55,82	0,46	0,660	20
ECC 122	17,55	0,67	3,62	0,54	0,24	0,28	0,88	0,71	0,77	0,34	0,21	0,15	0,24	0,28	72,71	0,31	282,33	0,28	7,93	0,40	25,43	0,19	51,69	0,35	0,647	21
ECC 124	17,45	0,67	3,74	0,66	0,23	0,19	0,73	0,39	0,73	0,29	0,23	0,26	0,27	0,55	75,44	0,35	353,78	0,50	8,98	0,67	28,63	0,27	64,28	0,68	0,644	22
ECC 103	16,98	0,64	3,62	0,54	0,31	0,91	0,82	0,58	0,71	0,27	0,31	0,68	0,25	0,37	81,32	0,46	335,50	0,44	9,79	0,87	29,67	0,30	51,23	0,34	0,639	23
ECC 135	16,77	0,63	4,00	0,93	0,28	0,64	0,83	0,60	0,82	0,39	0,31	0,68	0,28	0,64	83,42	0,49	444,44	0,77	7,98	0,41	30,14	0,31	51,62	0,35	0,634	24
ECC 140	17,00	0,64	3,66	0,58	0,26	0,46	0,88	0,71	0,58	0,14	0,27	0,47	0,23	0,19	81,36	0,46	287,50	0,30	8,15	0,46	22,89	0,12	51,93	0,36	0,628	25
ECC 154	16,75	0,63	3,76	0,68	0,25	0,37	0,89	0,73	0,83	0,40	0,29	0,58	0,23	0,19	75,11	0,35	431,06	0,73	8,74	0,61	30,77	0,32	55,41	0,45	0,623	26
ECC 183	16,63	0,63	3,62	0,54	0,25	0,37	0,83	0,60	0,68	0,24	0,23	0,26	0,30	0,82	80,23	0,44	444,44	0,77	8,99	0,67	26,80	0,22	58,51	0,53	0,614	27
ECC 178	16,80	0,63	3,34	0,25	0,25	0,37	0,81	0,56	0,88	0,45	0,22	0,21	0,26	0,46	88,58	0,59	372,22	0,55	7,73	0,35	25,50	0,19	63,29	0,65	0,612	28
ECC 158	16,40	0,61	3,72	0,64	0,25	0,37	0,89	0,73	1,42	1,00	0,25	0,36	0,27	0,55	72,30	0,30	434,11	0,74	9,97	0,91	26,49	0,22	67,20	0,75	0,612	29
ECC 167	16,68	0,63	3,58	0,50	0,23	0,19	0,89	0,73	0,69	0,25	0,21	0,15	0,26	0,46	75,91	0,36	298,94	0,33	9,28	0,74	23,70	0,14	57,44	0,50	0,609	30
ECC 198	16,23	0,61	3,58	0,50	0,28	0,64	0,87	0,69	0,76	0,33	0,28	0,52	0,26	0,46	81,61	0,46	427,44	0,72	8,27	0,49	32,32	0,36	55,76	0,46	0,601	31
ECC 106	16,48	0,62	3,57	0,49	0,26	0,46	0,74	0,41	0,73	0,29	0,27	0,47	0,26	0,46	75,33	0,35	308,72	0,36	8,55	0,56	24,81	0,17	52,83	0,38	0,599	32
ECC 113	15,85	0,59	3,93	0,86	0,28	0,64	0,86	0,67	0,72	0,28	0,28	0,52	0,27	0,55	89,28	0,60	397,72	0,63	8,87	0,64	28,52	0,27	55,08	0,44	0,591	33

Tabla 9.3. (Cont.)

Genotipo	CT ^b	N ^b _{CT}	N	N _v	P	N _p	K	N _k	Ca	N _{ca}	Mg	N _{mg}	S	N _s	Fe	N _{fe}	Mn	N _{mn}	Cu	N _{cu}	Zn	N _{zn}	B	N _b	Calificación ^c	Escalación
ECC 194	15,83	0,59	3,96	0,89	0,28	0,64	0,92	0,79	0,54	0,10	0,23	0,26	0,27	0,55	79,11	0,42	257,61	0,21	8,52	0,55	26,08	0,21	61,38	0,60	0,588	34
ECC 126	16,15	0,60	3,73	0,65	0,26	0,46	0,85	0,64	0,58	0,14	0,20	0,10	0,24	0,28	67,26	0,21	314,00	0,38	7,03	0,18	26,34	0,21	62,44	0,63	0,587	35
ECC 150	16,10	0,60	3,69	0,61	0,24	0,28	0,78	0,50	0,71	0,27	0,26	0,42	0,26	0,46	84,34	0,51	359,94	0,52	9,13	0,70	25,59	0,19	53,01	0,39	0,584	36
ECC 179	15,65	0,58	4,00	0,93	0,27	0,55	0,86	0,67	0,87	0,44	0,29	0,58	0,25	0,37	94,12	0,68	442,61	0,77	7,48	0,29	32,21	0,36	73,42	0,91	0,584	37
ECC 164	15,83	0,59	3,53	0,45	0,24	0,28	0,77	0,48	0,85	0,42	0,27	0,47	0,27	0,55	81,80	0,47	272,67	0,26	8,16	0,46	23,89	0,15	58,87	0,54	0,568	38
ECC 102	14,95	0,54	3,81	0,73	0,29	0,73	0,92	0,79	0,83	0,40	0,30	0,63	0,29	0,73	87,27	0,56	482,94	0,89	9,68	0,84	28,73	0,27	74,94	0,95	0,558	39
ECC 172	15,55	0,57	3,48	0,40	0,26	0,46	0,76	0,46	0,66	0,22	0,27	0,47	0,27	0,55	69,62	0,25	342,72	0,47	7,87	0,39	23,20	0,13	61,21	0,60	0,556	40
ECC 161	15,13	0,55	3,83	0,75	0,25	0,37	0,82	0,58	0,83	0,40	0,26	0,42	0,31	0,91	79,67	0,43	425,56	0,71	9,74	0,86	29,02	0,28	77,00	1,00	0,554	41
ECC 162	15,30	0,56	3,78	0,70	0,23	0,19	0,83	0,60	0,62	0,18	0,24	0,31	0,27	0,55	85,59	0,53	373,89	0,56	9,91	0,90	27,92	0,25	60,54	0,58	0,552	42
ECC 166	15,35	0,56	3,68	0,60	0,23	0,19	0,74	0,41	0,81	0,38	0,29	0,58	0,26	0,46	76,33	0,37	350,44	0,49	7,89	0,39	27,81	0,25	57,33	0,50	0,546	43
ECC 119	14,98	0,54	3,73	0,65	0,26	0,46	0,83	0,60	0,68	0,24	0,24	0,31	0,28	0,64	80,14	0,44	289,00	0,30	8,72	0,60	27,58	0,24	56,40	0,47	0,539	44
ECC 125	14,65	0,53	3,88	0,81	0,30	0,82	0,81	0,56	0,86	0,43	0,28	0,52	0,26	0,46	74,39	0,33	386,89	0,60	9,18	0,72	38,79	0,53	63,86	0,66	0,538	45
ECC 163	15,13	0,55	3,34	0,25	0,24	0,28	0,74	0,41	0,79	0,36	0,28	0,52	0,26	0,46	92,51	0,65	399,00	0,63	8,63	0,58	57,34	1,00	56,60	0,48	0,538	46
ECC 171	14,95	0,54	3,61	0,53	0,27	0,55	0,76	0,46	0,78	0,35	0,28	0,52	0,26	0,46	68,80	0,24	400,56	0,64	8,27	0,49	25,98	0,20	66,20	0,72	0,536	47
ECC 134	14,95	0,54	3,63	0,55	0,25	0,37	0,83	0,60	0,76	0,33	0,26	0,42	0,26	0,46	68,51	0,23	372,06	0,55	7,57	0,31	29,89	0,30	52,37	0,37	0,532	48
ECC 153	14,73	0,53	3,81	0,73	0,27	0,55	0,68	0,29	0,94	0,51	0,26	0,42	0,27	0,55	76,87	0,38	386,33	0,60	8,69	0,59	27,32	0,24	63,73	0,66	0,528	49
ECC 152	14,53	0,52	3,71	0,63	0,27	0,55	0,77	0,48	0,58	0,14	0,29	0,58	0,27	0,55	87,64	0,57	309,94	0,37	8,87	0,64	27,18	0,23	61,07	0,59	0,519	50
ECC 107	14,10	0,50	4,07	1,00	0,29	0,73	0,83	0,60	0,72	0,28	0,31	0,68	0,28	0,64	89,53	0,60	396,50	0,63	10,22	0,98	30,43	0,32	51,48	0,35	0,517	51
ECC 181	14,08	0,50	3,69	0,61	0,29	0,73	0,82	0,58	0,75	0,31	0,26	0,42	0,28	0,64	69,58	0,25	355,50	0,50	7,43	0,28	28,01	0,25	63,28	0,65	0,502	52
ECC 159	13,58	0,47	4,04	0,97	0,27	0,55	0,90	0,75	0,93	0,50	0,26	0,42	0,27	0,55	83,93	0,50	400,11	0,64	8,34	0,50	26,98	0,23	67,47	0,76	0,491	53
ECC 192	13,33	0,46	3,91	0,84	0,32	1,00	1,01	0,98	0,76	0,33	0,30	0,63	0,31	0,91	77,32	0,39	332,78	0,44	8,22	0,47	27,84	0,25	56,82	0,49	0,489	54
IAN 873	13,33	0,46	3,82	0,74	0,29	0,73	1,01	0,98	0,89	0,46	0,30	0,63	0,32	1,00	82,03	0,47	447,11	0,78	9,45	0,78	29,36	0,29	45,08	0,19	0,485	55
ECC 197	13,53	0,47	3,40	0,31	0,26	0,46	0,96	0,87	0,85	0,42	0,30	0,63	0,27	0,55	71,56	0,28	400,17	0,64	8,33	0,50	28,74	0,27	41,71	0,10	0,472	56
ECC 195	13,08	0,45	3,91	0,84	0,24	0,28	0,93	0,81	0,65	0,21	0,24	0,31	0,28	0,64	85,07	0,52	338,56	0,45	8,25	0,48	26,29	0,21	66,24	0,73	0,458	57
ECC 180	12,95	0,44	3,74	0,66	0,30	0,82	0,78	0,50	0,96	0,53	0,34	0,84	0,28	0,64	71,04	0,28	437,11	0,75	8,04	0,43	30,18	0,31	64,66	0,69	0,458	58
ECC 142	13,25	0,46	3,59	0,51	0,24	0,28	0,75	0,43	0,77	0,34	0,25	0,36	0,26	0,46	71,14	0,28	413,89	0,68	9,04	0,68	26,27	0,21	59,33	0,55	0,452	59
ECC 112	13,20	0,45	3,59	0,51	0,25	0,37	0,76	0,46	0,74	0,30	0,26	0,42	0,28	0,64	75,13	0,35	353,06	0,50	8,29	0,49	32,06	0,36	48,94	0,28	0,451	60
ECC 186	12,90	0,44	3,74	0,66	0,25	0,37	0,84	0,62	0,74	0,30	0,32	0,74	0,27	0,55	97,03	0,73	360,72	0,52	7,96	0,41	28,94	0,28	57,82	0,51	0,447	61
ECC 130	12,98	0,44	3,59	0,51	0,26	0,46	0,82	0,58	0,58	0,14	0,23	0,26	0,28	0,64	67,30	0,21	277,54	0,27	8,18	0,46	27,12	0,23	60,33	0,57	0,442	62
ECC 110	12,90	0,44	3,55	0,47	0,23	0,19	0,79	0,52	0,79	0,36	0,22	0,21	0,27	0,55	90,06	0,61	402,33	0,64	6,82	0,12	27,22	0,23	75,96	0,97	0,436	63
ECC 128	12,35	0,41	3,87	0,80	0,27	0,55	0,93	0,81	0,67	0,23	0,23	0,26	0,27	0,55	79,28	0,42	360,56	0,52	9,34	0,76	30,03	0,31	65,94	0,72	0,431	64
ECC 131	12,48	0,42	3,71	0,63	0,26	0,46	0,83	0,60	0,71	0,27	0,22	0,21	0,26	0,46	77,16	0,38	296,00	0,33	7,74	0,35	29,43	0,29	60,27	0,57	0,423	65
ECC 191	12,23	0,40	3,74	0,66	0,28	0,64	0,89	0,73	0,72	0,28	0,28	0,52	0,29	0,73	76,71	0,38	341,28	0,46	9,01	0,67	26,21	0,21	54,68	0,43	0,422	66
ECC 176	12,65	0,42	3,38	0,29	0,24	0,28	0,67	0,27	0,86	0,43	0,25	0,36	0,27	0,55	78,50	0,41	351,61	0,49	7,36	0,26	25,93	0,20	60,31	0,57	0,416	67

Tabla 9.3. (Cont.)

Genotipo	CT ^a	N ^b _{CT}	N	N _v	P	N _p	K	N _k	Ca	N _{ca}	Mg	N _{mg}	S	N _s	Fe	N _{fe}	Mn	N _{mn}	Cu	N _{cu}	Zn	N _{zn}	B	N _b	Calificación ^c	Escalación
ECC 108	12,18	0,40	3,74	0,66	0,26	0,46	0,86	0,67	0,70	0,26	0,22	0,21	0,25	0,37	94,23	0,69	455,22	0,80	8,44	0,53	25,82	0,20	62,83	0,64	0,415	68
ECC 151	11,88	0,39	3,86	0,79	0,28	0,64	0,92	0,79	0,77	0,34	0,24	0,31	0,26	0,46	84,92	0,52	325,72	0,42	9,05	0,68	33,46	0,39	63,81	0,66	0,410	69
ECC 118	12,10	0,40	3,76	0,68	0,26	0,46	0,81	0,56	0,57	0,13	0,27	0,47	0,29	0,73	81,09	0,45	322,61	0,41	8,81	0,62	28,91	0,28	56,90	0,49	0,409	70
ECC 141	12,23	0,40	3,42	0,34	0,26	0,46	0,82	0,58	0,79	0,36	0,22	0,21	0,24	0,28	71,39	0,28	432,44	0,74	7,74	0,35	23,18	0,13	44,29	0,17	0,403	71
ECC 132	11,85	0,38	3,95	0,88	0,26	0,46	0,94	0,83	0,62	0,18	0,23	0,26	0,26	0,46	67,04	0,20	255,72	0,21	8,32	0,50	30,54	0,32	56,20	0,47	0,402	72
ECC 160	11,65	0,37	3,91	0,84	0,24	0,28	1,02	1,00	0,74	0,30	0,23	0,26	0,28	0,64	82,89	0,48	351,83	0,49	10,31	1,00	26,64	0,22	66,40	0,73	0,400	73
ECC 105	11,63	0,37	3,67	0,59	0,28	0,64	0,76	0,46	0,93	0,50	0,33	0,79	0,27	0,55	76,61	0,37	391,61	0,61	7,89	0,39	26,77	0,22	56,30	0,47	0,389	74
ECC 111	11,50	0,37	3,76	0,68	0,26	0,46	0,79	0,52	0,75	0,31	0,27	0,47	0,27	0,55	86,79	0,55	490,72	0,91	8,73	0,60	34,76	0,43	55,10	0,44	0,385	75
ECC 149	11,45	0,36	3,56	0,48	0,24	0,28	0,91	0,77	0,67	0,23	0,26	0,42	0,26	0,46	73,12	0,31	344,39	0,47	8,74	0,61	27,52	0,24	60,09	0,57	0,375	76
ECC 104	11,38	0,36	3,49	0,41	0,26	0,46	0,74	0,41	1,03	0,60	0,34	0,84	0,26	0,46	80,02	0,43	314,61	0,38	8,36	0,51	27,72	0,25	58,06	0,52	0,370	77
ECC 117	11,08	0,35	3,76	0,68	0,27	0,55	0,72	0,37	0,78	0,35	0,27	0,47	0,28	0,64	96,94	0,73	386,44	0,60	9,90	0,90	28,50	0,27	64,07	0,67	0,366	78
ECC 185	11,35	0,36	3,36	0,27	0,24	0,28	0,73	0,39	0,78	0,35	0,28	0,52	0,26	0,46	100,74	0,80	442,44	0,77	8,74	0,61	22,99	0,13	48,08	0,26	0,362	79
ECC 116	11,18	0,35	3,65	0,57	0,24	0,28	0,81	0,56	0,65	0,21	0,26	0,42	0,26	0,46	78,24	0,40	334,67	0,44	8,59	0,57	28,50	0,27	56,50	0,48	0,360	80
ECC 114	10,58	0,32	3,87	0,80	0,26	0,46	0,87	0,69	0,63	0,19	0,29	0,58	0,27	0,55	112,06	1,00	345,33	0,47	9,03	0,68	31,63	0,35	47,48	0,25	0,347	81
ECC 146	10,58	0,32	3,52	0,44	0,26	0,46	0,93	0,81	0,83	0,40	0,27	0,47	0,25	0,37	74,52	0,34	338,22	0,45	9,41	0,77	27,53	0,24	52,82	0,38	0,339	82
ECC 109	10,38	0,31	3,49	0,41	0,24	0,28	1,02	1,00	0,79	0,36	0,29	0,58	0,27	0,55	104,04	0,86	299,39	0,34	7,83	0,38	31,33	0,34	54,79	0,43	0,332	83
ECC 184	10,63	0,32	3,36	0,27	0,26	0,46	0,76	0,46	0,77	0,34	0,23	0,26	0,27	0,55	78,63	0,41	381,06	0,58	8,09	0,44	23,89	0,15	53,99	0,41	0,330	84
ECC 169	10,28	0,30	3,58	0,50	0,27	0,55	0,89	0,73	0,59	0,15	0,28	0,52	0,26	0,46	86,81	0,55	321,50	0,40	9,35	0,76	23,83	0,15	62,52	0,63	0,328	85
ECC 133	10,10	0,30	3,76	0,68	0,28	0,64	0,80	0,54	0,83	0,40	0,37	1,00	0,27	0,55	81,23	0,46	403,89	0,65	8,38	0,51	29,56	0,29	60,53	0,58	0,326	86
ECC 123	10,23	0,30	3,90	0,83	0,24	0,28	0,85	0,64	0,64	0,20	0,23	0,26	0,27	0,55	83,32	0,49	331,28	0,43	8,83	0,63	28,43	0,27	63,98	0,67	0,325	87
ECC 156	9,93	0,29	3,54	0,46	0,26	0,46	0,87	0,69	0,73	0,29	0,27	0,47	0,28	0,64	78,72	0,41	356,56	0,51	9,26	0,74	26,54	0,22	55,91	0,46	0,309	88
ECC 120	9,55	0,27	3,61	0,53	0,26	0,46	0,85	0,64	0,73	0,29	0,27	0,47	0,28	0,64	72,40	0,30	311,11	0,37	8,09	0,44	25,50	0,19	55,92	0,46	0,290	89
ECC 145	8,90	0,24	3,81	0,73	0,27	0,55	0,89	0,73	0,90	0,47	0,27	0,47	0,29	0,73	77,84	0,40	437,17	0,75	8,26	0,48	30,17	0,31	56,49	0,48	0,272	90
ECC 188	9,28	0,25	3,28	0,19	0,26	0,46	0,91	0,77	0,72	0,28	0,27	0,47	0,25	0,37	71,81	0,29	337,22	0,45	7,36	0,26	25,77	0,20	44,09	0,16	0,270	91
ECC 157	9,10	0,25	3,72	0,64	0,24	0,28	0,82	0,58	0,63	0,19	0,27	0,47	0,25	0,37	72,29	0,30	372,61	0,56	9,69	0,84	26,24	0,21	48,69	0,28	0,267	92
ECC 190	8,58	0,22	3,40	0,31	0,27	0,55	0,82	0,58	0,85	0,42	0,29	0,58	0,28	0,64	76,11	0,37	389,17	0,61	8,55	0,56	28,07	0,26	56,92	0,49	0,245	93
ECC 165	8,53	0,22	3,68	0,60	0,23	0,19	0,81	0,56	0,63	0,19	0,23	0,26	0,25	0,37	65,73	0,18	311,06	0,37	9,44	0,78	26,42	0,21	67,78	0,76	0,237	94
ECC 139	7,93	0,19	3,44	0,36	0,24	0,28	0,87	0,69	0,57	0,13	0,22	0,21	0,29	0,73	76,27	0,37	261,61	0,22	7,38	0,26	27,73	0,25	51,70	0,35	0,206	95
ECC 177	7,53	0,17	3,19	0,10	0,23	0,19	0,78	0,50	0,89	0,46	0,26	0,42	0,22	0,10	70,97	0,27	486,00	0,90	7,45	0,28	24,99	0,18	56,78	0,48	0,180	96
ECC 196	7,03	0,14	3,57	0,49	0,28	0,64	0,95	0,85	0,67	0,23	0,28	0,52	0,26	0,46	72,14	0,29	327,44	0,42	7,96	0,41	30,59	0,32	42,99	0,13	0,180	97
ECC 189	6,60	0,12	3,39	0,30	0,26	0,46	0,98	0,92	0,54	0,10	0,26	0,42	0,27	0,55	96,27	0,72	266,94	0,24	8,39	0,52	28,18	0,26	50,99	0,34	0,156	98
ECC 101	6,23	0,10	3,81	0,73	0,29	0,73	0,86	0,67	0,75	0,31	0,27	0,47	0,28	0,64	87,48	0,57	464,83	0,83	9,22	0,73	32,40	0,37	63,97	0,67	0,156	99
ECC 148	6,53	0,12	3,63	0,55	0,27	0,55	0,83	0,60	0,67	0,23	0,25	0,36	0,27	0,55	83,71	0,50	220,72	0,10	8,39	0,52	27,08	0,23	75,93	0,97	0,155	100

^a Nota media

^b Nota media normalizada (N) [0,1 - 1], 0,1: genotipo menos deseable. 1: genotipo más deseable

^c Nota media ponderada

Clave: Desempeño agronómico: circunferencia del tronco (CT). Contenido nutricional foliar: Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Boro (B).

9.4. Consideraciones finales

Los genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho que fueron más vigorosos (CT), comparados con el clon IAN 873 luego de tres años, fueron: ECC 129, ECC 173, ECC 136, ECC 121, ECC 182, ECC 168, ECC 199, ECC 170, ECC 193 y ECC 127.

Los genotipos que mostraron mejor comportamiento nutricional foliar comparados con el clon IAN 873, fueron: ECC 102, ECC 103, ECC 114, ECC 118, ECC 120, ECC 133, ECC 135, ECC 140, ECC 105 y ECC 125.

Los parámetros nutricionales foliares más favorables (mayores concentraciones de N, P, Mg, S, Zn y B) se presentaron en el año 3. En el año 2 los nutrientes con concentraciones más favorables fueron K, Ca, Fe, Mn y Cu. En el año 1 no se evidenciaron concentraciones nutricionales favorables comparado con los años 2 y 3.

La matriz de identificación de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho en campo clonal a pequeña escala en Caquetá (tabla 9.3), permitió identificar 54 genotipos con mejor calificación superior (deseables) comparados con el clon IAN 873 (testigo), de los cuales se listan los diez primeros en su orden: ECC 129, ECC 173, ECC 136, ECC 182, ECC 121, ECC 168, ECC 193, ECC 170, ECC 199 y ECC 127.

9.5. Referencias bibliográficas

- Abreu, C. A., Lopes, A. S. y Santos, G. C. G. (2007). Micronutrientes. En N. R. Ferreira, V. V. H., Álvarez, N. F. de Barros, F. R. L. Fontes, C. R. Bertola y N. J. C. Lima (Eds.), *Fertilidade do solo*, Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.645-736.
- Alves, R. N. B. y Ventorim, N. (1991). Variação de macro e micronutrientes em função de níveis de NPK Mg em Viveiro de Seringueira. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, 26, 137-147.
- Bataglia, O. C., Cardoso, M. y Carretero, M. V. (1988). Situação nutricional de seringais produtivos no Estado de São Paulo. *Bragantia*, 47, 109-123. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0006-87051988000100013>
- Bataglia, O. C., Rodrigues, D. S. W., Igue, T. y Gonçalves, P. S. (1998). Resposta da Seringueira Clone RRIM 600 á Adubação NPK em Solo Podzólico Vermelho-Amarelo. *Bragantia*, 57, 367-377.
- Bataglia, O. C. y Santos, W. R. (1998). Nutrição e adubação de seringais em formação e produção. En *Ciclo de Palestras Sobre a Heveicultura Paulista*, pp. 45-60.
- Bennett, W. F. (1993). *Nutrient deficiencies & toxicities in crop plants*. USA: 1993.
- Carvalho, J. G., Carvalho, M. A. y Assis, R. P. (2000). Calagem e gessagem na cultura da seringueira. En I. J. M. Viegas y J. G. Carvalho. (Eds.), *Seringueira - nutrição e adubação no Brasil*, pp. 175-208. Brasília: Embrapa.
- Castellanos, O. F., Fonseca, S. L. y Barón, M. R. (2009). Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de caucho natural y su industria en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; Proyecto Transición de la Agricultura.
- Castellanos, R. J. Z. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. México: Intagri Gto.

- Castro, H. y Gómez, M. (2010). Fertilidad de suelos y fertilizantes. En , *Ciencia del suelo principios básicos*, Bogotá. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. p. 610.
- Dechen, A. R. y Nachtigall, G. R. (2006). Micronutrientes. En M. S. Fernandes (Ed.), *Nutrição mineral de plantas*, pp. 327-354. Viçosa, Brasil: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Domingues, D. A. F. (1994). Nutrição mineral e crescimento de seringueiras em início de exploração no Estado de São Paulo. [Tese Doutorado em Fisiologia Vegetal], Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, Brasil.
- Ernani, P. R., De Almeida, J. A. y Dos Santos, F. C. (2007). Potássio. En N. R. Ferreira, V. V. H. Álvarez, N. F. De Barros, F.R.L. Fontes, C. R. Bertola y N. J. C. Lima, N.J.C. (Eds.), *Fertilidade Do Solo*. 2007, Viçosa, Brasil, pp. 551-594.
- Ferreira da Motta, P. E. (2007). Solos aptos para a cultura da seringueira em minas gerais. *Inf. Agropecuário*, 28, 44-48.
- Ferreira, C. T. J., Blancaneaux, P., Calderano, F. B., Ferreira, S. C. C. A., Pinheiro, G. N. C. y Bezerra, L. E. M. (2000). Influência da Diferenciação Pedológica no Desenvolvimento da Seringueira no Município de Oratórios. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, 35, 145-155.
- Garcia, N. C. P., Pereira, A. V., Lima, P. C., Salgado, L. T., Carvalho, J. G., Brito, S. A., Carmo, C. A. F. S. (1999). Seringueira. En Ribeiro, A. C., Guimaraes, G. P. T. y Alvarez, V. V. H. (Eds.), *Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais*, pp. 317-322. Viçosa, Minas Gerais, Brasil: SBCS.
- Gonçalves, P. S., Bataglia, O. C., Ortolani, A. A. y Fonseca, F. S. (2001). *Manual de heveicultura para o estado de São Paulo*. Campinas, Brasil: Instituto Agronomico (IAC).
- Gonçalves, P. S., Vasconcelos, M. E. y Silva, E. B. (1979). Desenvolvimento vegetativo de clones de seringueira. *Pesqui. Agropecuária Bras.*, 14, 365-375.
- Grant, C. A., Flaten, D. N., Tomasiewicz, D. J. y Sheppard, S. C. (2001). A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. *Informações Agrônomicas*, 95, 5.
- Haag, H. P. y Viégas, I. J. M. (2000). Crescimento e extração de nutrientes da seringueira. En Viégas, I. J. M. y Carvalho, J. G. (Eds.), *Seringueira nutrição e adubação no Brasil*, pp. 77-121. Brasília: Embrapa.
- IGAC, 2014. Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras Departamento de Caquetá. Bogotá.
- IGAC, 2006. Métodos Analíticos de Laboratorio de Suelos, 6th ed. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) - Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), Bogotá, Colombia.
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales – Ideam. (2015). Promedios precipitación y temperatura media. Promedio de los años 1981-2010
- Keller, T. y Håkansson, I. (2010). Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma*, 154, 398-406. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.11.013>
- Lage, P. (2013). *Relações das características morfo-anatômicas da casca, estado nutricional e variações climáticas sazonais com a produção de látex em clones de seringueira, em Napumoceno, MG*. Minas Gerais, Brasil: Universidade Federal de Lavras.
- Lavorenti, C., Gonçalves, P. S., Cardoso, M., Boaventura, M. M. y Martins, A. L. M. (1990). Relação entre diferentes caracteres de plantas jovens de seringueira. *Bragantia*, 49, 93-103. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0006-87051990000100008>
- Lizcano, T. R., Olivera, V. D., Saavedra, M. D., Machado, C. L., Valencia, E. R., Moreno, P. M. F. y Flórez, M. F. (2017). *Muestreo de suelos, técnicas de laboratorio e interpretación de análisis de suelos*. [21ª ed.]. Campoalegre, Huila: Sílabo Editores SAS.

- Macedo, R., Kamel, T., Venturin, N., y Gomes, J. (2002). Introdução de clones de seringueira no noroeste do estado de minas gerais. *CERNE*, 8(1), 124-133.
- Murad, C. A. y 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.RSASE.2018.07.003>
- Proffitt, T. (2014). Assessing soil quality and interpreting soil test results. *Sustain. Agric.*, 1-8.
- Reis, E. L. y Chepote, R. E. S. (2008). Solos e nutrição da seringueira. En Alvarenga, A. P. y Santana do Carmo, C. A. F. (Eds.), *Seringueira*, pp. 249-310. Viçosa, Brasil: Epamig.
- Rodrigues, M. R. L., Neves, C. S. V. J., Silva, A. C., Dos Santos, A. R., De Paiva, A. V. y Mello, S. L. M. (2000). Concentração e redistribuição de nutrientes em folhas de hevea brasiliensis e pinus oocarpa. *Semin. Ciênc. Agrár.*, 21, 61-66.
- Roque, C. G., De Prado, M.R., Natale, W., Beutler, A. N. y Centurion, J. F. (2004). Estado nutricional e produtividade da seringueira em solo com calcário aplicado superficialmente. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, 39, 485-490. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2004000500011>
- Sarkar, D. y Haldar, A. (2005). *Physical and chemical methods in soil analysis*. India: New Age International Pvt Ltd Publishers.
- Shorrocks, V. M. (1964). Mineral deficiencies in Hevea and associated cover plants. Kuala Lumpur, Malaysia: Rubber Research Institute. DOI: <https://doi.org/10.1097/00010694-196506000-00012>
- Silva, A. C., Dos Santos, A. R. y De Vieira, P. A. (1998). Translocación de nutrientes em folhas de Hevea brasiliensis (Clone) e em Acículas de Pinus oocarpa. *R. Un. Alfenas*, 4, 11-18. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2000v21n1p61>
- Souza, S. R. y Fernandes, M. S. (2006). Nitrogênio. En Fernandes, M. S. (Ed.), *Nutrição Mineral de Plantas*, pp. 215-252. Viçosa, Brasil: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo .
- Sterling, A. y Hernández, J. E. (2012). Desempeño de genotipos élités de caucho [Hevea brasiliensis (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.] en período de inmadurez en el suroccidente del Caquetá, Colombia. *Ing. Amaz.* 5, 111-125.
- Sterling, A. y Rodríguez, C. (2011). *Nuevos clones de caucho natural para la amazonia colombiana: énfasis en la resistencia al mal suramericano de las hojas (Microcyclus ulei)*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A. y Rodríguez, C. (2018). Estrategias de manejo para las principales enfermedades y plagas del cultivo del caucho con énfasis en la Amazonia colombiana. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A. y Rodríguez, C. H. (2017). Bases técnicas para la selección, propagación y establecimiento de materiales regionales élités de caucho en Caquetá. Florencia, Caquetá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A. y Rodríguez, C. H. (2019). Valoración y análisis de la biodiversidad y servicios ecosistémicos asociados a campos clonales de caucho en Caquetá, Amazonia colombiana. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A., Rodríguez, O. L., Rodríguez, C. H., Martínez, O., Bonilla, N. C. y Dussán, I. (2011). Variabilidad genética de genotipos élités de *Hevea brasiliensis* mediante el uso de descriptores morfológicos. *Rev. Colomb. Amaz.*, 129-142.
- Sterling, A., Suárez, S. J. C., Rodríguez, L. C. H., Caicedo, R. D. F., Salas, T. Y. M. y Virguez, D. Y. R. (2015). Crecimiento inicial de clones promisorios de *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg. en siste-

ma agroforestal en Caquetá, Colombia. *Colomb. For.*, 18, 175-192. DOI: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2015.2.a01>

Taiz, L. y Zeiger, E. (2009). *Fisiología vegetal*. [4ª ed.]. Porto Alegre, Brasil: Artmed.

Tan, H. (1987). Strategies in rubber tree breeding. In: Abbott A.J. and Atkin R.K. (eds), *Improving vegetatively propagated crops*. Academic Press, London, pp. 28–54.

Thompson, L. M. y Troeh, F. R. (1988). *Soils and fertility*. [4ª ed.]. Barcelona: Editorial Reverté.

Venturin, N., Macedo, G. L. R., De Oliveira, T. K., Do Silva, V. R. y Higashikawa, E. M. (2004). Establecimiento de potenciales clones de seringueira como quebra-ventos em lavoura cafeeira na Região de crop in the region of Lavras-MG. *Agrossilvicultura*, 1, 135-143.

Wycherley, P. R. (1976). Tapping and partition. *Rubber Res. Inst. Malaysia*, 24, 169-194. DOI: <https://doi.org/10.1093/nq/s9-vii.167.191h>

Evaluación fitosanitaria foliar y en panel de microsangría de genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*Hevea brasiliensis*) en campo clonal a pequeña escala en el Caquetá



Armando Sterling-Cuellar^{1,*}, Juan Diego Hoyos-Duarte², Camilo Hernando Suárez-Pacheco² y Norma Constanza Bonilla-Ríos³

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

¹ Investigador del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, sede Florencia.

² Co-investigador del proyecto. Convenio 59-2013, Gobernación del Caquetá – Instituto SINCHI.

³ Docente investigadora del Programa de Química, Facultad de Ciencias Básicas – Universidad de la Amazonía.

10.1. Introducción

El cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*) en la región amazónica se ha visto afectado principalmente por problemas fitosanitarios (enfermedades de origen fúngico y plagas), los cuales han limitado la producción de caucho y, por ende, su fomento en departamentos tradicionalmente caucheros como el Caquetá (Sterling et al., 2016). Estos problemas fitosanitarios se deben, principalmente, a las condiciones ambientales de la Amazonia colombiana, reconocida como una zona tropical de alta pluviosidad y temperaturas elevadas (Garzón, 2000; Gasparotto et al., 1997; Sterling y Rodríguez, 2011, 2012), que favorecen el crecimiento y propagación de diversas enfermedades y plagas (Gasparotto et al., 1997; Sterling et al., 2012).

Las enfermedades de origen fúngico son los principales limitantes fitosanitarios del cultivo, logrando afectar tanto la parte foliar como el panel de sangría (Gasparotto et al., 2016). En relación con las patologías foliares presentes en plantaciones de caucho, Gasparotto et al. (2012) y Sterling y Rodríguez (2018) registran las siguientes: mal suramericano de la hoja, SALB por sus siglas en inglés (South American Leaf Blight) [*Pseudocercospora ulei* (Henn)] (Hora-Junior y Mizubuti), mancha aerolada [*Rizhiocthonía solani* (A.B Frank)] (Donk, 1956), costra negra (*Phyllacora huberi* P. Henn), antracnosis [*Colletotrium gloesporioides* (Penz.) Sacc. y *Colletotrichum acutatum*] y mancha de perdigón (*Drechslera heveae* Petch) como las de mayor impacto en este cultivo (Sterling et al., 2011). Respecto a las patologías del panel de sangría, se destacan: 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., 2012, 2016).

Además de los problemas fitosanitarios de origen fúngico, existen diferentes organismos (plagas) que dado su comportamiento y necesidades biológicas pueden ocasionar daños hasta del 50% en el tejido de las plantas, siendo también un importante limitante fitosanitario en el desarrollo de este cultivo, generando pérdidas económicas importantes para el sector cauchero (Garzón, 2000). Entre las plagas que generan más daños se reportan: el gusano cachón *Erinnyis ello* Linnaeus, 1758 (Lepidoptera: Sphingidae); el chinche de encaje *Leptopharsa heveae* Drake, 1935 (Hemiptera: Tingidae); el gusano peludo *Premolis semirufa*, 1856 (Lepidoptera: Arctiidae); y la hormiga arriera *Atta* spp. (Hymenoptera: Formicidae) (Sterling et al., 2014, 2016).

Como una estrategia de manejo frente a estos limitantes fitosanitarios, en el Caquetá se han realizado diversos estudios orientados a la búsqueda de materiales genéticos de origen regional (genotipos élite caquetenses) con niveles deseables de tolerancia a estos problemas (Sterling y Rodríguez, 2011, 2018). De acuerdo con lo anterior, en el presente capítulo se presentan los resultados de la evaluación fitosanitaria a nivel foliar y en panel de microsangría en 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*Hevea brasiliensis*), comparados con el clon IAN 873 (testigo) durante los primeros tres años de la fase de crecimiento en un campo clonal a pequeña escala establecido en El Paujil, Caquetá (Colombia).

10.2. Metodología

10.2.1 Área de estudio

El estudio se realizó en un campo clonal a pequeña escala (CCPE) localizado en el municipio de El Paujil en el departamento del Caquetá (Colombia) (figura 9.1).

10.2.2 Material vegetal

Se estudiaron 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho y el clon IAN 873 (testigo).

10.2.3 Diseño experimental

El CCPE correspondió a un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, 100 tratamientos (99 genotipos caquetenses y el clon testigo IAN 873) y 12 árboles (unidad experimental) por tratamiento (figura 9.2).

10.2.4. Evaluación de los principales parámetros fitosanitarios

Se realizaron evaluaciones mensuales de los problemas fitosanitarios a nivel foliar (plagas y enfermedades) durante 3 años comprendidos en distintas épocas (seca, lluvia, transición), monitoreándose 7 árboles por tratamiento en cada parcela elemental. Respecto a las evaluaciones de las enfermedades de panel de microsangría se realizaron durante 1 año en las mismas épocas (seca, lluvia, transición), en 78 genotipos caquetenses y el clon IAN 873 (testigo) los cuales se encontraban en fase de microsangría, monitoreando 4 árboles por tratamiento en cada parcela elemental.

• Intensidad de los síntomas producidos por las principales enfermedades foliares

Inicialmente, bajo condiciones de campo, se realizó el reconocimiento de las cinco principales enfermedades foliares de origen fúngico: mal suramericano de las hojas (*P. ulei*), antracnosis (*C. gloesporioides - acutatum*), mancha aerolada (*R. solani*), costra negra (*P. huberi*) y mancha de perdigón (*D. heveae*). Posterior a ello, se registró la severidad (S) de cada enfermedad basándose en los síntomas y signos observados en los estadios foliares más afectados (foliolos B, C o D) (Halle et al., 1978). La evaluación de las enfermedades se realizó mediante el uso de escalas ordinales, así: la severidad de antracnosis (SA) y de mancha aerolada (SMA) se evaluaron con la escala modificada de Pizzeta, Porcena, Silva y Furtado (2008), de 0 a 6, donde 0 = ataque nulo; 1 = área foliar afectada hasta un 3,125%; 2 = área foliar afectada entre 3,126% y 6,25%; 3 = área foliar afectada entre 6,26% y 12,5%; 4 = área foliar afectada entre 12,6% y 25%; 5 = área foliar afectada entre 26,0% y 50%; y 6 = área foliar afectada mayor al 50%.

La severidad de costra negra (SCN) y de mancha de perdigón (SMP) se evaluaron con la escala adaptada de Ogbebor (2010), de 0 a 5, donde: 0 = ataque nulo (ausencia de manchas); 1 =

muy leve (hasta 5 manchas por foliolo); 2 = leve (6 a 10 manchas por foliolo); 3 = moderado (> 10 manchas por foliolo y 26-50% de hojas infectadas); 4 = severo (lesiones grandes y 51-75% de hojas infectadas); y 5 = muy severo (lesiones grandes y > 75% de hojas infectadas).

• Componentes de resistencia al mal suramericano de las hojas (MSH)

La severidad del mal suramericano de las hojas en hojas jóvenes (estadios B y C) (SMSHJ) y en hojas maduras (estadio D) (SMSHM) se evaluó mediante la escala de Chee y Holliday (1986), adaptada por Rivano *et al.* (2010), que va de 0 a 4, basado en el porcentaje de área foliar lesionada por el patógeno, siendo 0 = 0%, un ataque nulo; 1 = 1-5%, corresponde a un ataque leve; 2 = 6-15%, el ataque es moderado; 3 = 16-30%, el ataque es severo; y 4 = > 30%, el patógeno tiene un ataque muy severo.

En hojas jóvenes, además de SMSHJ, se evaluó la intensidad de esporulación conidial o tipo de reacción (TR), mediante la escala propuesta por Junqueira *et al.* (1986) y adaptada por Mattos *et al.* (2003), que va de 1 a 6, donde: 1 = lesiones necróticas sin esporas; 2 = lesiones no necróticas sin esporas; 3 = esporulación muy débil sobre la cara inferior de la lesión; 4 = esporulación fuerte cubriendo parcialmente la cara inferior de la lesión; 5 = esporulación fuerte cubriendo toda la cara inferior de la lesión; y 6 = esporulación muy fuerte cubriendo toda la cara inferior de la lesión y fuerte en la cara superior.

En hojas maduras, además de SMSHM, se evaluó la densidad de estromas (DE), utilizando la escala propuesta por Rivano *et al.* (2010), que va de 0 a 4, donde: 0 = ausencia de estromas, 1 = menos de cinco lesiones con estroma por foliolo, 2 = entre 5 y 10 lesiones con estroma por foliolo, 3 = entre 11 y 30 lesiones con estromas por foliolo, y 4 = más de 30 lesiones con estromas por foliolo.

• Incidencia de las principales plagas foliares

En la evaluación de la incidencia (I) de las plagas foliares, se tuvieron en cuenta cuatro insectos-plagas: chinche de encaje (ICE) (*L. heveae*), gusano cachón (IGC) (*E. ello*), gusano peludo (IGP) (*P. semirufa*) y hormiga arriera (IHA) (*Atta spp.*), las cuales se evaluaron mediante la proporción porcentual de las plantas con síntomas o signos de la enfermedad y el total de plantas evaluadas por genotipo caquetense en cada parcela elemental (Sterling y Rodríguez, 2020).

• Incidencia de las principales enfermedades del panel de microsangría

La incidencia (I) de las enfermedades de panel de microsangría, antracnosis del panel de sangría (IAP) (*Colletotrichum spp*) y raya negra (IRN) (*Phytophthora spp*), se evaluaron mediante la proporción porcentual de las plantas con síntomas o signos de la enfermedad y el total de plantas evaluadas por genotipo caquetense en cada parcela elemental (Sterling y Rodríguez, 2020).

10.2.5. Análisis de la información

Las variables fitosanitarias se analizaron mediante un ANOVA con el fin de determinar la variación entre genotipos, entre épocas y sus interacciones. Una prueba LSD de Fisher al 5% de significancia permitió contrastar la diferencia entre los valores promedios de estas variables. Adicionalmente, se realizó un análisis de conglomerados, empleando el método de Ward y la distancia Euclídea, el cual permitió agrupar los genotipos por su comportamiento fitosanitario. Luego, se realizó un análisis de componentes principales que permitió ordenar los grupos de genotipos; y finalmente, un ANOVA con una prueba LSD de Fisher ($\alpha = 0,05$) que permitió contrastar las medias de las variables entre los grupos de genotipos.

Las medias de todas las variables estimadas por genotipo caquetenses fueron normalizadas en el intervalo [0,1 - 1] mediante la fórmula de Velásquez *et al.* (2007):

$$Y = 1.1 - (0.1 + (x-b)/(a-b)*0.9)$$

Donde:

x: Variable a transformar.

a: Valor máximo de la variable.

b: Valor mínimo de la variable

Luego, se calculó la media ponderada de todas las variables transformadas, usando la siguiente ponderación: SA (10%), SCN (10%), SMA (2,5%), SMP (2,5%), SMSHJ (12,5%), SMSHM (12,5%), TR (12,5%), DE (12,5%), IAP (2,5%), IRN (2,5%), ICE (7,5%), IGC (7,5%), IGP (2,5%) y, por último, IHA (2,5%). Esta media fue ordenada de mayor a menor con el fin de obtener el escalafón de los mejores genotipos por su tolerancia a los principales problemas fitosanitarios. Todas las pruebas estadísticas se realizaron con el programa InfoStat versión 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).

10.3. Resultados y discusión

10.3.1. Análisis de los parámetros foliares y del panel de microsangría

Según la tabla 10.1, se evidenció un efecto significativo ($P < 0,05$) del genotipo y la época en las severidades de antracnosis (SA), costra negra (SCN), mancha aerolada (SMA) y mancha de perdigón (SMP). El 34% de los genotipos presentaron una SA $< 1,48$, el 95% presentaron una SCN $< 1,63$, el 59% obtuvieron una SMA $< 0,37$ y el 92% de los genotipos presentaron una SMP $< 1,92$, siendo todos estos valores medios inferiores a las del clon IAN 873. La época de lluvia obtuvo la mayor media SA y SCN (1,57 y 1,39, respectivamente), mientras la época de transición evidenció las mayores medias para SMA y SMP (0,48 y 1,37, respectivamente). Esto concuerda con Gasparotto *et al.* (1997, 2012) y Rincón (2012), quienes mencionan que la incidencia y severidad de estos problemas fitosanitarios aumenta durante los periodos de mayor precipitación. La evaluación de parámetros foliares permitió evidenciar que SA obtuvo las mayores notas promedio (1,51) de los genotipos caquetenses evaluados, siendo así la enfermedad

con mayor severidad en este estudio, seguida por SMP (1,29) y SCN (1,24), y, por último, SMA con la menor media promedio (0,34) (tabla 10.1).

Los componentes de resistencia al mal suramericano de las hojas (MSH), en hoja joven (SMSHJ), en hoja madura (SMSHM), tipo de reacción (TR) y densidad estromática (DE) evidenciaron diferencias significativas entre genotipos y épocas ($P < 0,05$), en donde la época lluvia obtuvo las mayores notas medias ($> 0,13$) de los componentes de resistencia (tabla 10.1). En las hojas jóvenes, el 46% de los genotipos presentaron una SMSHJ $< 0,08$, siendo inferior al clon IAN 873, y se destacaron seis genotipos (ECC 150, ECC 136, ECC 147, ECC 129, ECC 137 y ECC 121) con notas de 0,0. Para los valores de TR, el 44% de los genotipos evidenciaron notas inferiores al clon IAN 873 (0,20) y se destacaron tres genotipos con TR de 0,0 (ECC 147, ECC 136 y ECC 150).

De acuerdo a la tabla 10.1, en hojas maduras, el 85% de los genotipos presentaron una SMSHM $< 1,29$, siendo inferior al clon IAN 873, y se destacaron dos genotipos con notas de 0,0 (ECC 150 y ECC 129). Para los valores de DE, el 86% de los genotipos evidenciaron valores medios inferiores al clon IAN 873 (1,70) y se destacaron los genotipos ECC 150 y ECC 129 con medias de 0,0. Lo cual difiere con Chee y Wastie (1980), quienes reportaron resistencia completa en el clon IAN 873.

Es importante resaltar que los valores medios de SMSHJ reportados en este estudio representa un ataque nulo y SMSHM representa un ataque leve de acuerdo con la escala de Chee y Wastie (1976), lo que evidencia una baja intensidad de los síntomas en esta zona de estudio.

Respecto a la evaluación de la incidencia de las plagas chinche de encaje (ICE), gusano cachón (IGC), gusano peludo (IGP) y hormiga arriera (IHA), no se evidenciaron diferencias significativas entre genotipo ($P < 0,05$), pero sí entre épocas, excepto para la IGP (tabla 10.1). El 80% de los genotipos presentaron una ICE $< 4,37\%$, siendo inferior al clon IAN 873, el 21% de los genotipos presentaron IGC menor al clon IAN 873 (0,60), el 79% de los genotipos evidenciaron una IGP $< 0,69$, siendo inferior al clon IAN 873 y el 90% de los genotipos, incluido el clon testigo IAN 87, evidenciaron una IHA de 0,0. La época seca fue la de mayor incidencia de plagas ($> 8\%$), con excepción de IGP, que fue mayor en la época de lluvia. Esto concuerda con Belloti, Smith y Lapointe (1999), quienes afirman que las plagas son más abundantes en la época seca que en la época de lluvia. La evaluación de parámetros foliares permitió evidenciar que la ICE obtuvo los mayores promedios (3,36%) de los genotipos caquetenses evaluados, siendo así la plaga con mayor incidencia en este estudio, seguida por IGC (1,78%) e IGP (0,44%), y, por último, IHA con la menor media promedio (0,04%) (tabla 10.1).

Según la tabla 10.1, se evidenció un efecto significativo ($P < 0,05$) del genotipo y la época en la incidencia de antracnosis de panel de sangría (IAP) y raya negra (IRN). El 93% de los genotipos presentaron una IAP $< 12,50\%$, siendo inferior a la del clon IAN 873, y el 73% de los genotipos presentaron un IRN menor que el clon IAN 873 (45,83%). La época lluvia fue la de mayor incidencia en enfermedades del panel de sangría ($> 40\%$). La evaluación de los parámetros del panel de microsangría permitió evidenciar que IRN obtuvo los mayores promedios (38%) de los genotipos caquetenses evaluados.

Tabla 10.1. Medias de la severidad de enfermedades foliares, componentes de resistencia al mal suramericano de las hojas e incidencia de enfermedades del panel de microsangría y plagas foliares para 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*Hevea brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo), y tres épocas en un campo clonal a pequeña escala en El Paujil, Caquetá

Factor	Nivel	Variables														
		SA	SCN	SMA	SMP	SMSHJ	SMSHM	TR	DE	IAP	IRN	ICE	IGC	IGP	IHA	
ECC 101	1,47 ± 0,14 ^b	1,10 ± 0,1c	0,62 ± 0,1a	1,13 ± 0,1b	0,12 ± 0,0d	0,93 ± 0,1c	0,22 ± 0,1d	1,32 ± 0,1c	-	-	-	0,00 ± 2,8a	4,11 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,35 ± 0,2b	
ECC 102	1,52 ± 0,1b	1,43 ± 0,1a	0,60 ± 0,1a	0,98 ± 0,1b	0,01 ± 0,0d	0,61 ± 0,1d	0,02 ± 0,1d	0,79 ± 0,1d	14,58 ± 3,1a	41,67 ± 6,6e	4,96 ± 2,8a	0,40 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	
ECC 103	1,66 ± 0,1b	1,19 ± 0,1b	0,56 ± 0,1a	1,29 ± 0,1b	0,05 ± 0,0d	0,86 ± 0,1d	0,12 ± 0,1d	1,12 ± 0,1d	0,00 ± 3,1d	39,58 ± 6,6e	2,18 ± 2,8a	2,98 ± 1,0a	0,54 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 104	1,45 ± 0,1c	1,15 ± 0,1b	0,54 ± 0,1a	1,23 ± 0,1b	0,04 ± 0,0d	0,79 ± 0,1d	0,10 ± 0,1d	1,04 ± 0,1d	-	-	7,43 ± 2,8a	2,53 ± 1,0a	1,41 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 105	1,67 ± 0,1b	1,26 ± 0,1b	0,54 ± 0,1a	1,26 ± 0,1b	0,11 ± 0,0d	1,40 ± 0,1b	0,25 ± 0,1d	1,80 ± 0,1b	4,17 ± 3,1c	43,75 ± 6,6d	1,59 ± 2,8a	2,04 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 106	1,54 ± 0,1b	1,22 ± 0,1b	0,52 ± 0,1a	1,26 ± 0,1b	0,03 ± 0,0d	0,64 ± 0,1d	0,06 ± 0,1d	0,92 ± 0,1d	12,50 ± 3,1a	45,83 ± 6,6c	3,57 ± 2,8a	0,99 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 107	1,51 ± 0,1b	1,30 ± 0,1b	0,49 ± 0,1b	1,19 ± 0,1b	0,03 ± 0,0d	0,61 ± 0,1d	0,07 ± 0,1d	0,82 ± 0,1d	14,58 ± 3,1a	66,67 ± 6,6b	3,74 ± 2,8a	2,41 ± 1,0a	0,24 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 108	1,62 ± 0,1b	1,00 ± 0,1c	0,49 ± 0,1b	1,31 ± 0,1b	0,08 ± 0,0d	0,99 ± 0,1c	0,22 ± 0,1d	1,30 ± 0,1c	-	-	6,05 ± 2,8a	1,46 ± 1,0a	0,41 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 109	1,48 ± 0,1b	0,98 ± 0,1c	0,49 ± 0,1b	1,28 ± 0,1b	0,08 ± 0,0d	0,80 ± 0,1d	0,18 ± 0,1d	1,06 ± 0,1d	10,42 ± 3,1a	62,50 ± 6,6b	6,22 ± 2,8a	5,60 ± 1,0a	0,65 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 110	1,63 ± 0,1b	1,00 ± 0,1c	0,48 ± 0,1b	1,25 ± 0,1b	0,05 ± 0,0d	1,07 ± 0,1c	0,13 ± 0,1d	1,46 ± 0,1c	4,17 ± 3,1c	77,08 ± 6,6a	3,71 ± 2,8a	1,67 ± 1,0a	1,15 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 111	1,68 ± 0,1b	1,14 ± 0,1b	0,48 ± 0,1b	1,35 ± 0,1b	0,18 ± 0,0c	1,57 ± 0,1a	0,32 ± 0,1d	2,04 ± 0,1b	8,33 ± 3,1b	72,92 ± 6,6a	8,28 ± 2,8a	0,94 ± 1,0a	0,71 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 112	1,85 ± 0,1b	1,31 ± 0,1b	0,47 ± 0,1b	1,39 ± 0,1b	0,09 ± 0,0d	1,36 ± 0,1b	0,19 ± 0,1d	1,82 ± 0,1b	10,42 ± 3,1a	66,67 ± 6,6b	4,66 ± 2,8a	0,74 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 113	1,76 ± 0,1b	1,15 ± 0,1b	0,46 ± 0,1b	1,39 ± 0,1b	0,06 ± 0,0d	1,00 ± 0,1c	0,10 ± 0,1d	1,29 ± 0,1c	0,00 ± 3,1d	66,67 ± 6,6b	3,46 ± 2,8a	1,01 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 114	1,68 ± 0,1b	1,31 ± 0,1b	0,46 ± 0,1b	1,21 ± 0,1b	0,08 ± 0,0d	0,89 ± 0,1d	0,19 ± 0,1d	1,20 ± 0,1c	0,00 ± 3,1d	75,00 ± 6,6a	8,00 ± 2,8a	3,00 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 115	1,75 ± 0,1b	1,20 ± 0,1b	0,45 ± 0,1b	1,50 ± 0,1b	0,03 ± 0,0d	1,26 ± 0,1b	0,05 ± 0,1d	1,71 ± 0,1b	6,25 ± 3,1b	70,83 ± 6,6a	2,38 ± 2,8a	0,37 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 116	1,70 ± 0,1b	0,91 ± 0,1c	0,44 ± 0,1b	1,34 ± 0,1b	0,05 ± 0,0d	0,91 ± 0,1c	0,13 ± 0,1d	1,24 ± 0,1c	0,00 ± 3,1d	70,83 ± 6,6a	7,03 ± 2,8a	4,01 ± 1,0a	0,17 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 117	1,56 ± 0,1b	0,88 ± 0,1c	0,44 ± 0,1b	1,00 ± 0,1b	0,14 ± 0,0c	0,72 ± 0,1d	0,23 ± 0,1d	0,90 ± 0,1d	-	-	5,18 ± 2,8a	2,58 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 118	1,78 ± 0,1b	0,99 ± 0,1c	0,44 ± 0,1b	1,42 ± 0,1b	0,02 ± 0,0d	0,85 ± 0,1d	0,06 ± 0,1d	1,14 ± 0,1d	6,25 ± 3,1b	62,50 ± 6,6b	2,78 ± 2,8a	0,54 ± 1,0a	1,56 ± 0,6a	0,30 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 119	1,53 ± 0,1b	1,37 ± 0,1b	0,43 ± 0,1b	1,30 ± 0,1b	0,02 ± 0,0d	0,67 ± 0,1d	0,04 ± 0,1d	0,88 ± 0,1d	6,25 ± 3,1b	37,50 ± 6,6e	2,38 ± 2,8a	1,31 ± 1,0a	0,17 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 120	1,60 ± 0,1b	1,02 ± 0,1c	0,43 ± 0,1b	1,22 ± 0,1b	0,05 ± 0,0d	0,97 ± 0,1c	0,14 ± 0,1d	1,28 ± 0,1c	-	-	2,38 ± 2,8a	3,70 ± 1,0a	2,15 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 121	1,36 ± 0,1c	1,14 ± 0,1b	0,43 ± 0,1b	1,34 ± 0,1b	0,00 ± 0,0d	0,02 ± 0,1e	0,01 ± 0,1d	0,02 ± 0,1f	12,50 ± 3,1a	31,25 ± 6,6f	6,05 ± 2,8a	2,78 ± 1,0a	1,98 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 122	1,76 ± 0,1b	1,27 ± 0,1b	0,43 ± 0,1b	1,64 ± 0,1a	0,04 ± 0,0d	1,48 ± 0,1b	0,09 ± 0,1d	1,94 ± 0,1b	4,17 ± 3,1c	18,75 ± 6,6k	7,99 ± 2,8a	0,00 ± 1,0a	0,17 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 123	1,50 ± 0,1b	1,27 ± 0,1b	0,42 ± 0,1b	1,15 ± 0,1b	0,09 ± 0,0d	0,94 ± 0,1c	0,19 ± 0,1d	1,29 ± 0,1c	0,00 ± 3,1d	12,50 ± 6,6m	3,71 ± 2,8a	3,60 ± 1,0a	0,68 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 124	1,67 ± 0,1b	1,37 ± 0,1b	0,42 ± 0,1b	1,55 ± 0,1b	0,03 ± 0,0d	1,11 ± 0,1c	0,06 ± 0,1d	1,55 ± 0,1b	0,00 ± 3,1d	37,50 ± 6,6e	8,93 ± 2,8a	1,16 ± 1,0a	1,53 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 125	1,77 ± 0,1b	1,34 ± 0,1b	0,41 ± 0,1b	1,38 ± 0,1b	0,10 ± 0,0d	1,05 ± 0,1c	0,22 ± 0,1d	1,35 ± 0,1c	6,25 ± 3,1b	22,92 ± 6,6i	3,57 ± 2,8a	2,28 ± 1,0a	0,20 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 126	1,75 ± 0,1b	1,04 ± 0,1c	0,40 ± 0,1b	1,30 ± 0,1b	0,06 ± 0,0d	1,16 ± 0,1c	0,13 ± 0,1d	1,56 ± 0,1b	0,00 ± 3,1d	14,58 ± 6,6m	2,38 ± 2,8a	0,67 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 127	1,60 ± 0,1b	1,09 ± 0,1c	0,40 ± 0,1b	1,31 ± 0,1b	0,01 ± 0,0d	0,48 ± 0,1d	0,04 ± 0,1d	0,82 ± 0,1e	0,00 ± 3,1d	33,33 ± 6,6f	4,17 ± 2,8a	1,48 ± 1,0a	0,17 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 128	1,57 ± 0,1b	1,21 ± 0,1b	0,40 ± 0,1b	1,22 ± 0,1b	0,03 ± 0,0d	0,64 ± 0,1d	0,07 ± 0,1d	0,83 ± 0,1d	-	-	2,76 ± 2,8a	2,15 ± 1,0a	1,70 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 129	1,40 ± 0,1c	1,66 ± 0,1a	0,39 ± 0,1b	1,30 ± 0,1b	0,00 ± 0,0d	0,00 ± 0,1e	0,01 ± 0,1d	0,00 ± 0,1f	4,17 ± 3,1c	25,00 ± 6,6h	3,08 ± 2,8a	0,84 ± 1,0a	2,65 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 130	1,65 ± 0,1b	1,28 ± 0,1b	0,39 ± 0,1b	1,19 ± 0,1b	0,22 ± 0,0c	1,31 ± 0,1b	0,43 ± 0,1c	1,67 ± 0,1b	-	-	0,79 ± 2,8a	0,54 ± 1,0a	0,17 ± 0,6a	0,20 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 131	1,58 ± 0,1b	0,88 ± 0,1c	0,39 ± 0,1b	1,29 ± 0,1b	0,09 ± 0,0d	0,80 ± 0,1d	0,13 ± 0,1d	1,05 ± 0,1d	0,00 ± 3,1d	20,83 ± 6,6j	3,97 ± 2,8a	2,22 ± 1,0a	0,57 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 132	1,48 ± 0,1b	1,30 ± 0,1b	0,39 ± 0,1b	1,14 ± 0,1b	0,05 ± 0,0d	0,72 ± 0,1d	0,13 ± 0,1d	0,99 ± 0,1d	-	-	7,47 ± 2,8a	4,49 ± 1,0a	0,37 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 133	1,29 ± 0,1c	1,13 ± 0,1b	0,39 ± 0,1b	1,11 ± 0,1b	0,02 ± 0,0d	0,09 ± 0,1e	0,04 ± 0,1d	0,10 ± 0,1f	-	-	1,39 ± 2,8a	5,22 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 134	1,74 ± 0,1b	1,25 ± 0,1b	0,39 ± 0,1b	1,50 ± 0,1b	0,08 ± 0,0d	1,37 ± 0,1b	0,15 ± 0,1d	1,86 ± 0,1b	4,17 ± 3,1c	12,50 ± 6,6m	7,58 ± 2,8a	1,67 ± 1,0a	0,17 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	
ECC 135	1,50 ± 0,1b	1,31 ± 0,1b	0,39 ± 0,1b	1,43 ± 0,1b	0,04 ± 0,0d	0,64 ± 0,1d	0,11 ± 0,1d	0,89 ± 0,1d	0,00 ± 3,1d	14,58 ± 6,6m	1,90 ± 2,8a	4,51 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b	0,00 ± 0,2b	

Tabla 10.1. (Cont)

ECC 136	1,31 ± 0,1c	1,29 ± 0,1b	0,38 ± 0,1b	1,22 ± 0,1b	0,00 ± 0,0d	0,01 ± 0,1e	0,00 ± 0,1d	0,01 ± 0,1f	4,17 ± 3,1c	16,67 ± 6,6f	7,24 ± 2,8a	0,00 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 137	1,27 ± 0,1c	1,17 ± 0,1b	0,38 ± 0,1b	1,17 ± 0,1b	0,00 ± 0,0d	0,10 ± 0,1e	0,01 ± 0,1d	0,12 ± 0,1f	0,00 ± 3,1d	41,67 ± 6,6e	7,24 ± 2,8a	2,79 ± 1,0a	0,35 ± 0,6a	0,20 ± 0,2b
ECC 138	1,49 ± 0,1b	1,46 ± 0,1a	0,37 ± 0,1b	1,26 ± 0,1b	0,01 ± 0,0d	0,20 ± 0,1e	0,02 ± 0,1d	0,26 ± 0,1f	8,33 ± 3,1b	45,83 ± 6,6c	1,01 ± 2,8a	1,09 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 139	1,37 ± 0,1c	0,93 ± 0,1c	0,37 ± 0,1b	1,12 ± 0,1b	0,05 ± 0,0d	0,78 ± 0,1d	0,12 ± 0,1d	0,99 ± 0,1d	0,00 ± 3,1d	50,00 ± 6,6b	1,39 ± 2,8a	5,66 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 140	1,41 ± 0,1c	1,58 ± 0,1a	0,37 ± 0,1b	1,25 ± 0,1b	0,01 ± 0,0d	0,11 ± 0,1e	0,01 ± 0,1d	0,13 ± 0,1f	4,17 ± 3,1c	72,92 ± 6,6a	4,56 ± 2,8a	0,61 ± 1,0a	0,17 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 141	1,79 ± 0,1b	1,17 ± 0,1b	0,37 ± 0,1b	1,34 ± 0,1b	0,27 ± 0,0b	1,62 ± 0,1a	0,54 ± 0,1c	2,20 ± 0,1a	0,00 ± 3,1d	43,75 ± 6,6d	1,50 ± 2,8a	1,43 ± 1,0a	0,17 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 142	1,78 ± 0,1b	1,31 ± 0,1b	0,36 ± 0,1b	1,38 ± 0,1b	0,12 ± 0,0d	1,46 ± 0,1b	0,27 ± 0,1d	1,89 ± 0,1b	0,00 ± 3,1d	45,83 ± 6,6c	3,03 ± 2,8a	0,66 ± 1,0a	0,58 ± 0,6a	0,17 ± 0,2b
ECC 143	1,54 ± 0,1b	1,09 ± 0,1c	0,36 ± 0,1b	1,27 ± 0,1b	0,09 ± 0,0d	0,89 ± 0,1d	0,22 ± 0,1d	1,23 ± 0,1c	0,00 ± 3,1d	35,42 ± 6,6e	1,67 ± 2,8a	0,98 ± 1,0a	0,37 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 144	2,00 ± 0,1a	1,21 ± 0,1b	0,36 ± 0,1b	1,45 ± 0,1b	0,13 ± 0,0d	1,79 ± 0,1a	0,28 ± 0,1d	2,33 ± 0,1a	4,17 ± 3,1c	50,00 ± 6,6b	2,68 ± 2,8a	0,57 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 145	1,47 ± 0,1b	1,19 ± 0,1b	0,36 ± 0,1b	1,18 ± 0,1b	0,09 ± 0,0d	0,95 ± 0,1c	0,22 ± 0,1d	1,22 ± 0,1c	0,00 ± 3,1d	41,67 ± 6,6e	1,39 ± 2,8a	4,93 ± 1,0a	0,52 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 146	1,55 ± 0,1b	1,42 ± 0,1a	0,35 ± 0,1b	1,28 ± 0,1b	0,07 ± 0,0d	1,07 ± 0,1c	0,18 ± 0,1d	1,39 ± 0,1c	-	-	1,69 ± 2,8a	4,15 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 147	1,23 ± 0,1c	0,64 ± 0,1d	0,35 ± 0,1b	1,18 ± 0,1b	0,00 ± 0,0d	0,03 ± 0,1e	0,00 ± 0,1d	0,05 ± 0,1f	2,08 ± 3,1c	37,50 ± 6,6e	2,68 ± 2,8a	2,25 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,30 ± 0,2b
ECC 148	1,60 ± 0,1b	1,33 ± 0,1b	0,35 ± 0,1b	1,11 ± 0,1b	0,19 ± 0,0c	1,23 ± 0,1b	0,39 ± 0,1c	1,63 ± 0,1b	-	-	0,00 ± 2,8a	3,42 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 149	1,61 ± 0,1b	1,28 ± 0,1b	0,35 ± 0,1b	1,26 ± 0,1b	0,19 ± 0,0c	1,21 ± 0,1b	0,42 ± 0,1c	1,62 ± 0,1b	0,00 ± 3,1d	41,67 ± 6,6e	7,24 ± 2,8a	2,57 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 150	1,30 ± 0,1c	1,57 ± 0,1a	0,34 ± 0,1b	1,18 ± 0,1b	0,00 ± 0,0d	0,00 ± 0,1e	0,00 ± 0,1d	0,00 ± 0,1f	4,17 ± 3,1c	70,83 ± 6,6a	1,39 ± 2,8a	1,08 ± 1,0a	0,37 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 151	1,58 ± 0,1b	1,08 ± 0,1c	0,34 ± 0,1b	1,35 ± 0,1b	0,23 ± 0,0c	0,92 ± 0,1c	0,56 ± 0,1c	1,21 ± 0,1c	0,00 ± 3,1d	41,67 ± 6,6e	1,08 ± 2,8a	2,83 ± 1,0a	1,42 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 152	1,37 ± 0,1c	1,00 ± 0,1c	0,34 ± 0,1b	1,28 ± 0,1b	0,17 ± 0,0c	0,73 ± 0,1d	0,44 ± 0,1c	0,95 ± 0,1d	4,17 ± 3,1c	60,42 ± 6,6b	2,86 ± 2,8a	0,41 ± 1,0a	0,34 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 153	1,31 ± 0,1c	1,45 ± 0,1a	0,34 ± 0,1b	1,36 ± 0,1b	0,11 ± 0,0d	0,23 ± 0,1e	0,30 ± 0,1d	0,34 ± 0,1e	0,00 ± 3,1d	64,58 ± 6,6b	1,74 ± 2,8a	1,23 ± 1,0a	0,80 ± 0,6a	0,30 ± 0,2b
ECC 154	1,26 ± 0,1c	1,44 ± 0,1a	0,34 ± 0,1b	1,21 ± 0,1b	0,08 ± 0,0d	0,33 ± 0,1e	0,24 ± 0,1d	0,41 ± 0,1e	6,25 ± 3,1b	43,75 ± 6,6d	2,58 ± 2,8a	0,57 ± 1,0a	0,50 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 155	1,51 ± 0,1b	1,11 ± 0,1c	0,33 ± 0,1b	1,40 ± 0,1b	0,18 ± 0,0c	0,63 ± 0,1d	0,52 ± 0,1c	0,81 ± 0,1d	0,00 ± 3,1d	37,50 ± 6,6e	3,00 ± 2,8a	1,59 ± 1,0a	0,60 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 156	1,52 ± 0,1b	1,15 ± 0,1b	0,33 ± 0,1b	1,25 ± 0,1b	0,16 ± 0,0c	1,11 ± 0,1c	0,37 ± 0,1c	1,38 ± 0,1c	-	-	2,63 ± 2,8a	2,83 ± 1,0a	0,58 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 157	1,56 ± 0,1b	1,27 ± 0,1b	0,33 ± 0,1b	1,46 ± 0,1b	0,21 ± 0,0c	0,87 ± 0,1d	0,48 ± 0,1c	1,15 ± 0,1d	0,00 ± 3,1d	45,83 ± 6,6c	2,96 ± 2,8a	2,49 ± 1,0a	0,60 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 158	1,17 ± 0,1c	1,66 ± 0,1a	0,33 ± 0,1b	1,21 ± 0,1b	0,03 ± 0,0d	0,06 ± 0,1e	0,09 ± 0,1d	0,11 ± 0,1f	2,08 ± 3,1c	41,67 ± 6,6e	2,81 ± 2,8a	0,79 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 159	1,53 ± 0,1b	1,37 ± 0,1b	0,32 ± 0,1b	1,51 ± 0,1b	0,12 ± 0,0d	0,76 ± 0,1d	0,31 ± 0,1d	0,95 ± 0,1d	0,00 ± 3,1d	33,33 ± 6,6f	2,18 ± 2,8a	1,70 ± 1,0a	0,17 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 160	1,43 ± 0,1c	1,32 ± 0,1b	0,32 ± 0,1b	1,36 ± 0,1b	0,11 ± 0,0d	0,54 ± 0,1d	0,28 ± 0,1d	0,65 ± 0,1e	0,00 ± 3,1d	33,33 ± 6,6f	2,41 ± 2,8a	2,75 ± 1,0a	0,64 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 161	1,26 ± 0,1c	1,09 ± 0,1c	0,32 ± 0,1b	1,11 ± 0,1b	0,04 ± 0,0d	0,13 ± 0,1e	0,10 ± 0,1d	0,20 ± 0,1f	0,00 ± 3,1d	43,75 ± 6,6d	3,83 ± 2,8a	2,93 ± 1,0a	1,26 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 162	1,55 ± 0,1b	1,67 ± 0,1a	0,31 ± 0,1b	1,36 ± 0,1b	0,21 ± 0,0c	1,40 ± 0,1b	0,47 ± 0,1c	1,92 ± 0,1b	2,08 ± 3,1c	29,17 ± 6,6f	3,17 ± 2,8a	1,23 ± 1,0a	0,17 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 163	1,49 ± 0,1b	1,19 ± 0,1b	0,31 ± 0,1b	1,35 ± 0,1b	0,23 ± 0,0c	1,00 ± 0,1c	0,50 ± 0,1c	1,27 ± 0,1c	-	-	1,19 ± 2,8a	1,47 ± 1,0a	1,30 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 164	1,63 ± 0,1b	1,45 ± 0,1a	0,31 ± 0,1b	1,49 ± 0,1b	0,16 ± 0,0c	1,06 ± 0,1c	0,41 ± 0,1c	1,45 ± 0,1c	0,00 ± 3,1d	18,75 ± 6,6k	2,98 ± 2,8a	1,40 ± 1,0a	1,33 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 165	1,58 ± 0,1b	1,01 ± 0,1c	0,31 ± 0,1b	1,36 ± 0,1b	0,31 ± 0,0b	1,18 ± 0,1c	0,67 ± 0,1b	1,60 ± 0,1b	-	-	2,95 ± 2,8a	2,56 ± 1,0a	0,30 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 166	1,39 ± 0,1c	1,49 ± 0,1a	0,31 ± 0,1b	1,40 ± 0,1b	0,21 ± 0,0c	0,75 ± 0,1d	0,51 ± 0,1c	0,98 ± 0,1d	8,33 ± 3,1b	29,17 ± 6,6f	2,98 ± 2,8a	2,90 ± 1,0a	0,50 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 167	1,57 ± 0,1b	1,60 ± 0,1a	0,31 ± 0,1b	1,29 ± 0,1b	0,20 ± 0,0c	0,77 ± 0,1d	0,50 ± 0,1c	0,93 ± 0,1d	0,00 ± 3,1d	37,50 ± 6,6e	3,20 ± 2,8a	1,11 ± 1,0a	0,40 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 168	1,16 ± 0,1c	1,00 ± 0,1c	0,30 ± 0,1b	1,03 ± 0,1b	0,03 ± 0,0d	0,07 ± 0,1e	0,10 ± 0,1d	0,11 ± 0,1f	0,00 ± 3,1d	33,33 ± 6,6f	1,79 ± 2,8a	0,37 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 169	1,53 ± 0,1b	1,28 ± 0,1b	0,30 ± 0,1b	1,42 ± 0,1b	0,36 ± 0,0b	1,68 ± 0,1a	0,76 ± 0,1b	2,29 ± 0,1a	-	-	0,24 ± 2,8a	1,65 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 170	1,28 ± 0,1c	1,16 ± 0,1b	0,30 ± 0,1b	1,32 ± 0,1b	0,10 ± 0,0d	0,35 ± 0,1e	0,27 ± 0,1d	0,47 ± 0,1c	4,17 ± 3,1c	39,58 ± 6,6e	3,08 ± 2,8a	0,34 ± 1,0a	0,67 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 171	1,25 ± 0,1c	1,59 ± 0,1a	0,30 ± 0,1b	1,11 ± 0,1b	0,12 ± 0,0d	0,16 ± 0,1e	0,30 ± 0,1d	0,25 ± 0,1f	0,00 ± 3,1d	39,58 ± 6,6e	2,98 ± 2,8a	2,04 ± 1,0a	0,20 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 172	1,50 ± 0,1b	1,19 ± 0,1b	0,29 ± 0,1b	1,40 ± 0,1b	0,17 ± 0,0c	0,82 ± 0,1d	0,46 ± 0,1c	1,06 ± 0,1d	-	-	3,57 ± 2,8a	1,36 ± 1,0a	0,81 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 173	1,41 ± 0,1c	1,31 ± 0,1b	0,28 ± 0,1b	1,26 ± 0,1b	0,07 ± 0,0d	0,47 ± 0,1d	0,18 ± 0,1d	0,54 ± 0,1e	4,17 ± 3,1c	37,50 ± 6,6e	3,27 ± 2,8a	0,71 ± 1,0a	0,67 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b

Genotipo

Tabla 10.1. (Cont)

ECC 174	1,31 ± 0,1c	0,83 ± 0,1c	0,28 ± 0,1b	1,23 ± 0,1b	0,03 ± 0,0d	0,07 ± 0,1e	0,08 ± 0,1d	0,12 ± 0,1f	0,00 ± 3,1d	33,33 ± 6,6f	2,44 ± 2,8a	1,29 ± 1,0a	1,19 ± 0,6a	0,30 ± 0,2b
ECC 175	1,29 ± 0,1c	0,90 ± 0,1c	0,27 ± 0,1b	1,17 ± 0,1b	0,07 ± 0,0d	0,30 ± 0,1e	0,20 ± 0,1d	0,37 ± 0,1e	0,00 ± 3,1d	16,67 ± 6,6l	2,13 ± 2,8a	1,98 ± 1,0a	0,71 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 176	1,60 ± 0,1b	1,54 ± 0,1a	0,26 ± 0,1b	1,34 ± 0,1b	0,23 ± 0,0c	1,17 ± 0,1c	0,53 ± 0,1c	1,49 ± 0,1c	4,17 ± 3,1c	14,58 ± 6,6m	2,67 ± 2,8a	1,76 ± 1,0a	0,57 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 177	1,72 ± 0,1b	1,25 ± 0,1b	0,26 ± 0,1b	1,74 ± 0,1a	0,49 ± 0,0a	1,30 ± 0,1b	1,02 ± 0,1a	1,77 ± 0,1b	-	-	0,67 ± 2,8a	2,71 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	1,04 ± 0,2a
ECC 178	1,63 ± 0,1b	1,57 ± 0,1a	0,26 ± 0,1b	1,42 ± 0,1b	0,23 ± 0,0c	1,12 ± 0,1c	0,56 ± 0,1c	1,47 ± 0,1c	0,00 ± 3,1d	18,75 ± 6,6k	1,13 ± 2,8a	0,40 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 179	1,51 ± 0,1b	1,62 ± 0,1a	0,26 ± 0,1b	1,47 ± 0,1b	0,23 ± 0,0c	1,14 ± 0,1c	0,55 ± 0,1c	1,42 ± 0,1c	0,00 ± 3,1d	16,67 ± 6,6l	1,62 ± 2,8a	0,20 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 180	1,48 ± 0,1b	1,49 ± 0,1a	0,25 ± 0,1b	1,49 ± 0,1b	0,08 ± 0,0d	1,08 ± 0,1c	0,18 ± 0,1d	1,41 ± 0,1c	2,08 ± 3,1c	20,83 ± 6,6j	1,70 ± 2,8a	1,29 ± 1,0a	0,47 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 181	1,65 ± 0,1b	1,47 ± 0,1a	0,25 ± 0,1b	1,57 ± 0,1b	0,11 ± 0,0d	1,56 ± 0,1a	0,26 ± 0,1d	2,06 ± 0,1b	0,00 ± 3,1d	20,83 ± 6,6j	1,88 ± 2,8a	1,86 ± 1,0a	0,51 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 182	1,51 ± 0,1b	1,41 ± 0,1a	0,25 ± 0,1b	1,42 ± 0,1b	0,16 ± 0,0c	0,83 ± 0,1d	0,40 ± 0,1c	1,07 ± 0,1d	0,00 ± 3,1d	29,17 ± 6,6f	4,34 ± 2,8a	1,76 ± 1,0a	0,51 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 183	1,56 ± 0,1b	1,62 ± 0,1a	0,25 ± 0,1b	1,41 ± 0,1b	0,16 ± 0,0c	0,86 ± 0,1d	0,45 ± 0,1c	1,06 ± 0,1d	2,08 ± 3,1c	20,83 ± 6,6j	3,15 ± 2,8a	0,34 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 184	1,59 ± 0,1b	1,39 ± 0,1b	0,25 ± 0,1b	1,38 ± 0,1b	0,18 ± 0,0c	1,27 ± 0,1b	0,41 ± 0,1c	1,65 ± 0,1b	0,00 ± 3,1d	22,92 ± 6,6i	4,76 ± 2,8a	2,48 ± 1,0a	0,84 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 185	1,75 ± 0,1b	1,76 ± 0,1a	0,24 ± 0,1b	1,42 ± 0,1b	0,12 ± 0,0d	1,29 ± 0,1b	0,29 ± 0,1d	1,67 ± 0,1b	4,17 ± 3,1c	27,08 ± 6,6g	2,38 ± 2,8a	0,00 ± 1,0a	0,37 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 186	1,33 ± 0,1c	1,20 ± 0,1b	0,24 ± 0,1b	1,18 ± 0,1b	0,06 ± 0,0d	0,66 ± 0,1d	0,19 ± 0,1d	0,80 ± 0,1d	4,17 ± 3,1c	25,00 ± 6,6h	1,69 ± 2,8a	1,08 ± 1,0a	0,60 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 187	1,47 ± 0,1b	1,30 ± 0,1b	0,24 ± 0,1b	1,43 ± 0,1b	0,09 ± 0,0d	0,76 ± 0,1d	0,24 ± 0,1d	0,93 ± 0,1d	0,00 ± 3,1d	25,00 ± 6,6h	3,57 ± 2,8a	0,50 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	1,04 ± 0,2a
ECC 188	1,38 ± 0,1c	1,18 ± 0,1b	0,23 ± 0,1b	1,17 ± 0,1b	0,16 ± 0,0c	0,80 ± 0,1d	0,37 ± 0,1c	1,01 ± 0,1d	-	-	2,58 ± 2,8a	1,36 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 189	1,49 ± 0,1b	0,83 ± 0,1c	0,23 ± 0,1b	1,23 ± 0,1b	0,23 ± 0,0c	1,03 ± 0,1c	0,49 ± 0,1c	1,24 ± 0,1c	-	-	1,59 ± 2,8a	3,47 ± 1,0a	0,20 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 190	1,60 ± 0,1b	0,90 ± 0,1c	0,22 ± 0,1b	1,22 ± 0,1b	0,20 ± 0,0c	1,15 ± 0,1c	0,43 ± 0,1c	1,47 ± 0,1c	-	-	2,81 ± 2,8a	1,16 ± 1,0a	0,24 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 191	1,63 ± 0,1b	1,27 ± 0,1b	0,22 ± 0,1b	1,36 ± 0,1b	0,23 ± 0,0c	1,20 ± 0,1b	0,51 ± 0,1c	1,54 ± 0,1b	2,08 ± 3,1c	14,58 ± 6,6m	2,58 ± 2,8a	0,40 ± 1,0a	0,20 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 192	1,29 ± 0,1c	1,08 ± 0,1c	0,21 ± 0,1b	1,15 ± 0,1b	0,15 ± 0,0c	0,35 ± 0,1e	0,38 ± 0,1c	0,43 ± 0,1e	0,00 ± 3,1d	22,92 ± 6,6i	2,18 ± 2,8a	2,04 ± 1,0a	0,34 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 193	1,54 ± 0,1b	1,23 ± 0,1b	0,21 ± 0,1b	1,46 ± 0,1b	0,11 ± 0,0d	1,13 ± 0,1c	0,29 ± 0,1d	1,41 ± 0,1c	0,00 ± 3,1d	29,17 ± 6,6f	4,17 ± 2,8a	0,37 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 194	1,16 ± 0,1c	1,44 ± 0,1a	0,20 ± 0,1b	1,10 ± 0,1b	0,10 ± 0,0d	0,32 ± 0,1e	0,27 ± 0,1d	0,39 ± 0,1e	2,08 ± 3,1c	27,08 ± 6,6g	2,18 ± 2,8a	0,91 ± 1,0a	0,74 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 195	1,26 ± 0,1c	1,51 ± 0,1a	0,18 ± 0,1b	1,15 ± 0,1b	0,09 ± 0,0d	0,74 ± 0,1d	0,24 ± 0,1d	0,92 ± 0,1d	4,17 ± 3,1c	37,50 ± 6,6e	2,78 ± 2,8a	1,39 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 196	1,12 ± 0,1c	0,16 ± 0,1e	0,18 ± 0,1b	0,76 ± 0,1c	0,01 ± 0,0d	0,07 ± 0,1e	0,03 ± 0,1d	0,11 ± 0,1f	-	-	1,89 ± 2,8a	1,47 ± 1,0a	0,00 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 197	1,29 ± 0,1c	1,45 ± 0,1a	0,18 ± 0,1b	1,09 ± 0,1b	0,08 ± 0,0d	0,75 ± 0,1d	0,20 ± 0,1d	0,93 ± 0,1d	2,08 ± 3,1c	31,25 ± 6,6f	2,71 ± 2,8a	0,58 ± 1,0a	0,28 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 198	1,40 ± 0,1c	1,60 ± 0,1a	0,16 ± 0,1b	1,33 ± 0,1b	0,14 ± 0,0c	0,82 ± 0,1d	0,37 ± 0,1c	1,05 ± 0,1d	0,00 ± 3,1d	27,08 ± 6,6g	2,44 ± 2,8a	0,37 ± 1,0a	0,17 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
ECC 199	1,50 ± 0,1b	1,06 ± 0,1c	0,16 ± 0,1b	1,36 ± 0,1b	0,18 ± 0,0c	0,87 ± 0,1d	0,40 ± 0,1c	1,08 ± 0,1d	4,17 ± 3,1c	35,42 ± 6,6e	3,34 ± 2,8a	0,40 ± 1,0a	0,55 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
IAN 873	1,48 ± 0,1b	1,65 ± 0,1a	0,13 ± 0,1b	1,50 ± 0,1b	0,08 ± 0,0d	1,29 ± 0,1b	0,20 ± 0,1d	1,70 ± 0,1b	12,50 ± 3,1a	45,83 ± 6,6c	4,37 ± 2,8a	0,60 ± 1,0a	0,69 ± 0,6a	0,00 ± 0,2b
Seca	1,45 ± 0,0c	1,17 ± 0,0b	0,29 ± 0,0b	1,29 ± 0,0b	0,12 ± 0,0b	0,79 ± 0,0b	0,29 ± 0,0a	1,03 ± 0,0c	2,29 ± 0,6b	37,34 ± 1,1b	5,54 ± 1,9a	2,26 ± 0,2a	0,38 ± 0,2a	0,01 ± 0,0b
Lluvia	1,57 ± 0,0a	1,39 ± 0,0a	0,27 ± 0,0c	1,23 ± 0,0c	0,13 ± 0,0a	0,84 ± 0,0a	0,31 ± 0,0a	1,12 ± 0,0a	4,19 ± 0,6a	39,64 ± 1,1a	2,65 ± 1,9b	2,09 ± 0,2a	0,55 ± 0,2a	0,01 ± 0,0b
Transición	1,51 ± 0,0b	1,18 ± 0,0b	0,48 ± 0,0a	1,37 ± 0,0a	0,08 ± 0,0c	0,83 ± 0,0a	0,18 ± 0,0b	1,07 ± 0,0b	2,29 ± 0,6b	37,34 ± 1,1b	1,58 ± 1,9c	0,98 ± 0,2b	0,40 ± 0,2a	0,11 ± 0,0a

* Error estándar

^a Valores en cada columna con ausencia de letras o seguido por la misma no difieren estadísticamente (Prueba LSD, P < 0,05)

(-) No aplica, materiales que no se encontraban en proceso de sangría.

Clave: Severidad (S) de: antracnosis (SA), costra negra (SCN), mancha aerolada (SMA), mancha de peridonio (SMP); Componentes de resistencia al mal suramericano de las hojas (MSH); severidad del MSH en hojas jóvenes (SMSHJ), severidad del MSH en hojas maduras (SMSHM); tipo de reacción (TR); densidad estomatocítica (DE); incidencia (I) de: antracnosis del panel de sangría (AP), raya negra (RN), chinche de entraje (CE), gusano cachón (GC), gusano peludo (GP), hormiga arriera (HA).

10.3.2. Análisis de los parámetros foliares por grupos de genotipos

El dendrograma presentado en la figura 10.1 permitió evidenciar 4 grupos de genotipos caquetenses: el grupo 1, conformado por 31 genotipos, el grupo 2, conformado por 32 genotipos, el grupo 3, conformado por 21 genotipos y, por último, el grupo 4, conformado por 15 genotipos y el clon testigo IAN 873.

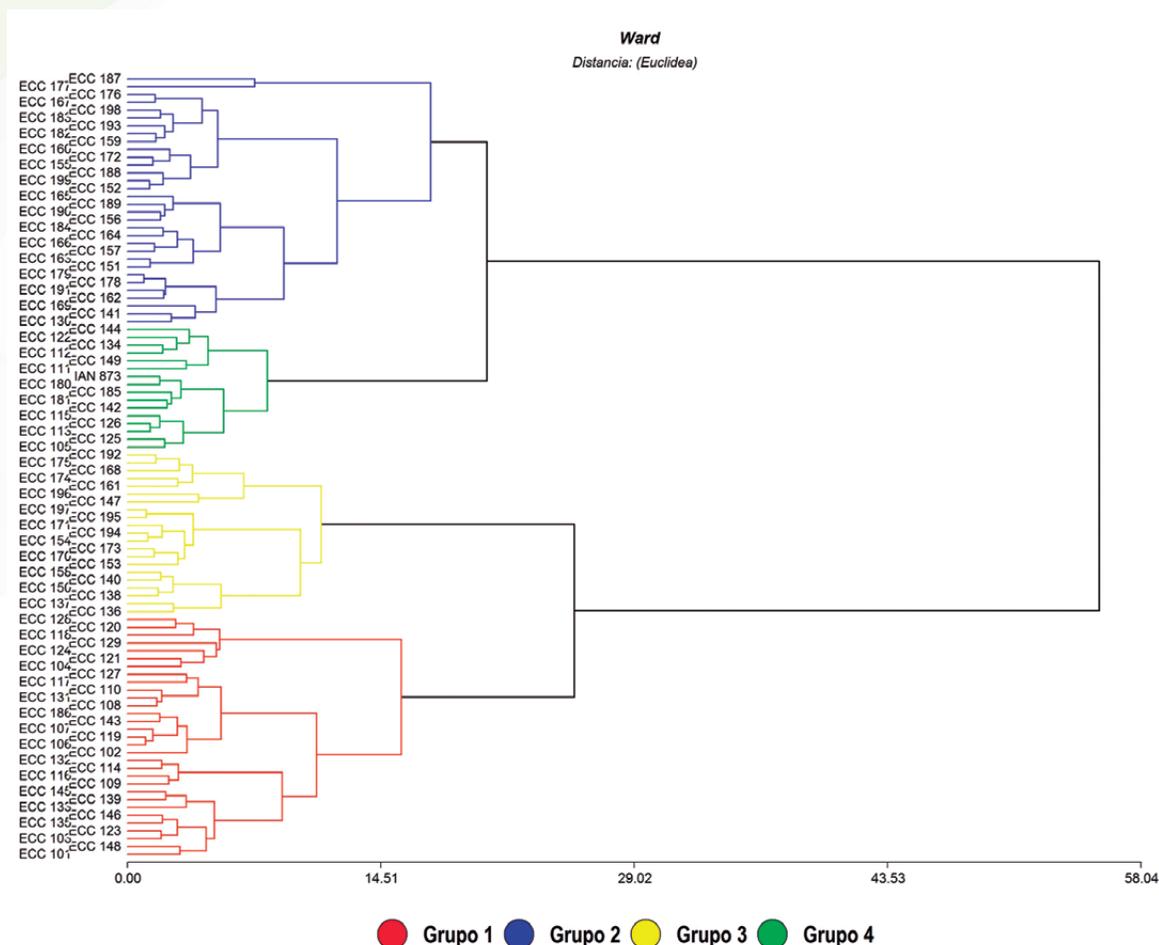


Figura 10.1. Dendrograma resultante del análisis de conglomerados de la evaluación fitosanitaria a nivel foliar (severidad de cuatro enfermedades, cuatro componentes de resistencia al mal suramericano de las hojas e incidencia de cuatro plagas) en 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*Hevea brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en un campo clonal a pequeña escala en El Paujil, Caquetá.

Según la figura 10.2, el grupo 1 se caracterizó por agrupar los genotipos con las menores medias de SCN y SMA, así como las menores notas para TR ($< 1,0$), obteniendo para este componente de resistencia a *P.ulei* una media de 0,13 (figura 10.4c); por último, agrupó aquellos genotipos con los mayores promedios de IGC e IGP. El grupo 2 agrupó los materiales con las mayores medias de SMA, las mayores notas para los componentes de resistencia SSMHJ y TR (0,20 y 0,48, respectivamente) (figuras 10.4a y 10.4c). Además, asoció los menores promedios de IHA e ICE, donde ICE presentó un valor promedio de 2,53% (figura 10.5). De acuerdo con Sterling *et al.* (2012), aunque la incidencia de chinche de encaje puede ser baja, las lesiones producidas por este insecto pueden llevar a infecciones severas por parte de patógenos parásitos (Gonçalves *et al.*, 2010).

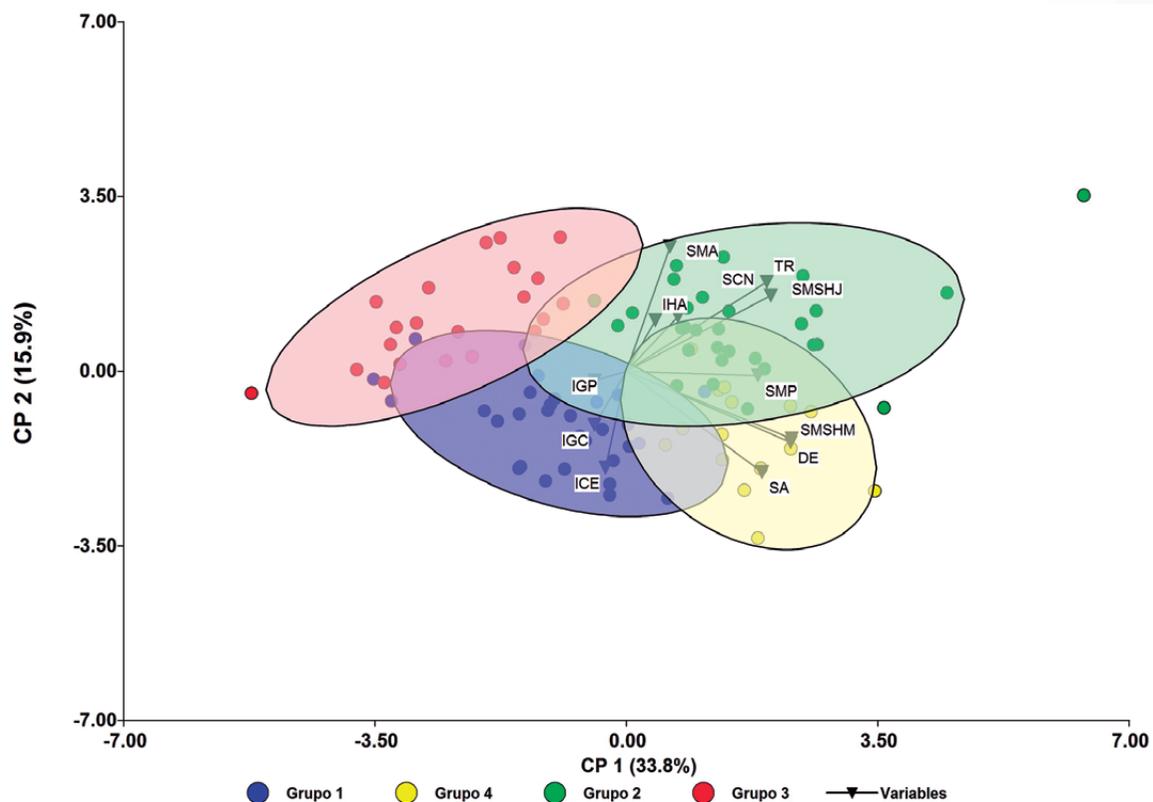


Figura 10.2 Análisis de componentes principales (grafico biplot) de la evaluación fitosanitaria a nivel foliar (plagas y enfermedades) por grupos, estimados en 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*Hevea brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en un campo clonal a pequeña escala en El Paujil, Caquetá.

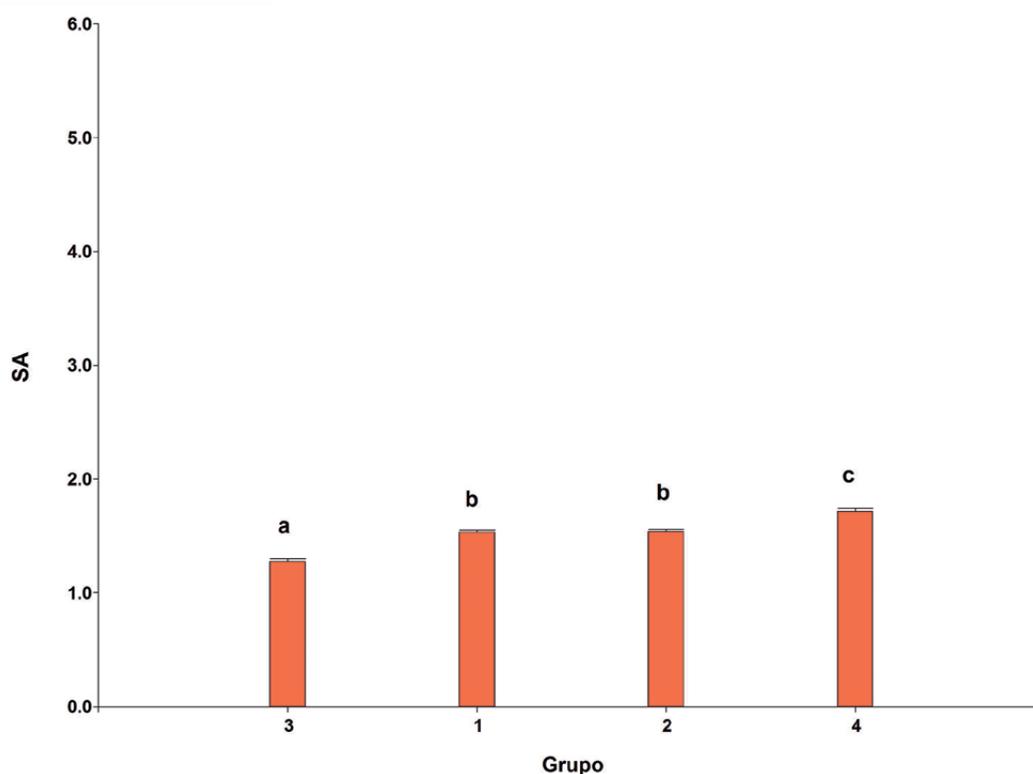


Figura 10.3. Notas medias de la severidad de antracnosis (*Colletotrium gloesporioides* y *Colletotrichum acutatum*) (SA), estimadas por grupos de genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*Hevea brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) durante los tres primeros años de crecimiento en un campo clonal a pequeña escala en El Paujil, Caquetá. Medias seguidas por la misma letra entre grupos no difieren estadísticamente (Prueba de LSD Fisher, $P < 0,05$).

De acuerdo a la figura 10.2, el grupo 3 obtuvo las menores medias para SMP y SA, siendo antracnosis la enfermedad más severa de las evaluadas en este estudio, al obtener una media de 1,28 en este grupo (figura 10.3). El grupo 3 también asoció la media más baja para los componentes de resistencia de MSH en SMSHJ, SMSHM y DE, con valores medios de 0,05, 0,23 y 0,30, respectivamente (figuras 10.4a, 10.4b y 10.4d). Por último, el grupo 4 reunió los genotipos con los mayores valores medios de SA, SCN, SMP, SMSHM y DE; también asoció los genotipos con los menores promedios de IGC, IGP e IHA y los mayores promedios para ICE (4,07%), siendo esta plaga la de mayor incidencia en este estudio (figura 10.5). La SA fue más alta en este grupo (1,72) (figura 10.3), así como los componentes de resistencia SMSHM (1,33) y DE (1,75) (figuras 10.4b y D). Esto difiere de Silva *et al.* (2009), quienes afirmaron que el clon IAN 873 se reportó como un clon resistente a la presencia de *P.ulei* en el estado de Espírito Santo en Brasil.

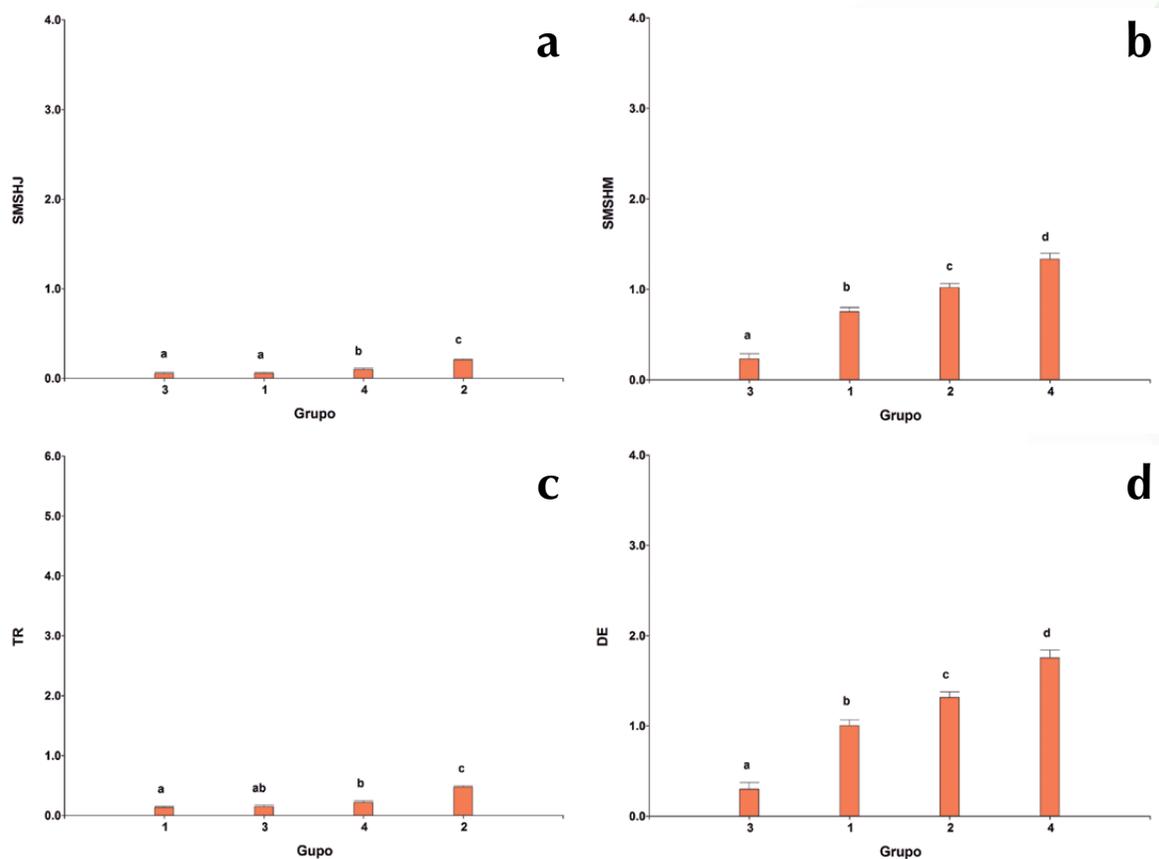


Figura 10.4. Medias de los componentes de resistencia al mal suramericano de las hojas (*Pseudocercospora ulei*) estimadas por grupos de genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*Hevea brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) durante los tres primeros años de crecimiento en un campo clonal a pequeña escala en El Paujil, Caquetá. (a) Severidad de mal suramericano de las hojas en hoja joven (SSMHJ); (b) Severidad de mal suramericano de las hojas en hoja madura (SSMHM); (c) Tipo de reacción en hojas jóvenes: intensidad de esporulación conidial (TR); (d) Densidad de estromas en hoja madura (DE). Medias seguidas por la misma letra entre grupos no difieren estadísticamente (Prueba de LSD Fisher, $P < 0,05$).

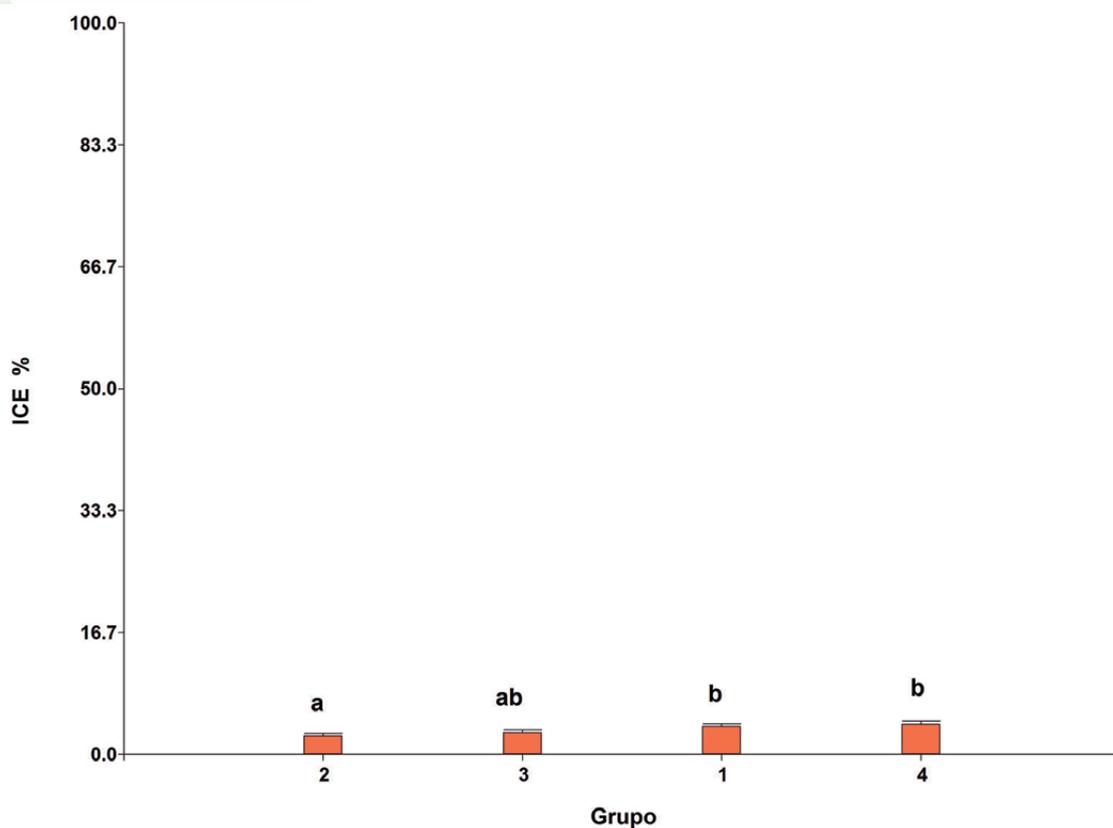


Figura 10.5. Medias de la incidencia de chinche de encaje (*Leptopharsa heveae*) (ICE%) estimadas por grupos de genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*Hevea brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) durante los tres primeros años de crecimiento en un campo clonal a pequeña escala en El Paujil, Caquetá. Medias seguidas por la misma letra entre grupos no difieren estadísticamente (Prueba de LSD Fisher, $P < 0,05$).

10.3.3. Análisis de los parámetros del panel de microsangría por grupos de genotipos

El dendograma presentado en la figura 10.6 permitió evidenciar la formación de 4 grupos de genotipos caquetenses: el grupo 1, conformado por 7 genotipos y el clon testigo IAN 873; el grupo 2, conformado por 40 genotipos; el grupo 3, conformado por 21 genotipos; y el grupo 4, conformado por 10 genotipos.

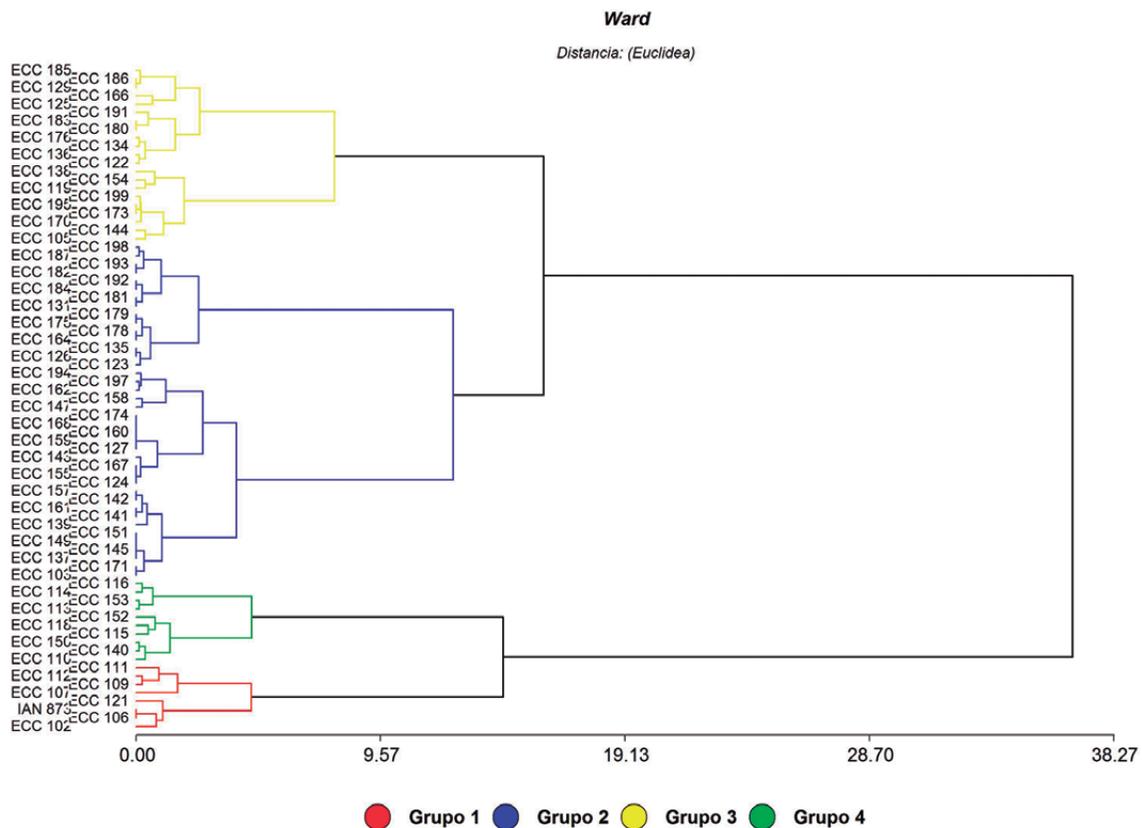


Figura 10.6. Dendrograma resultante del análisis de conglomerados de la evaluación fitosanitaria del panel de microsangría en 78 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*Hevea brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en un campo clonal a pequeña escala en El Paujil, Caquetá.

La figura 10.7 evidenció que los dos componentes aportan el 100% de la variabilidad total, y además permitió evidenciar que el grupo 1 se caracterizó por presentar los mayores promedios de IAP (11,98%), mientras el grupo 2 asoció los menores promedios de IAP (0,26%). El grupo 3 se caracterizó con asociar los materiales con los menores promedios de IRN (29,46 %), en comparación con el grupo 4, el cual obtuvo el mayor promedio de IRN (69,17%).

En general, se observaron bajos niveles de IAP en contraste con lo reportado para IRN y una variación notable en la reacción en campo de los diferentes genotipos, materiales con niveles de incidencia superiores al 77% y, en otros casos, genotipos sin presencia de síntomas ni signos de las enfermedades.

Estos resultados diferenciales, observados en el panel de microsangría de genotipos aún en fase de crecimiento, son un indicador interesante del potencial de resistencia a estas enfermedades que podrían expresarse 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 (Gonçalves *et al.*, 1997).

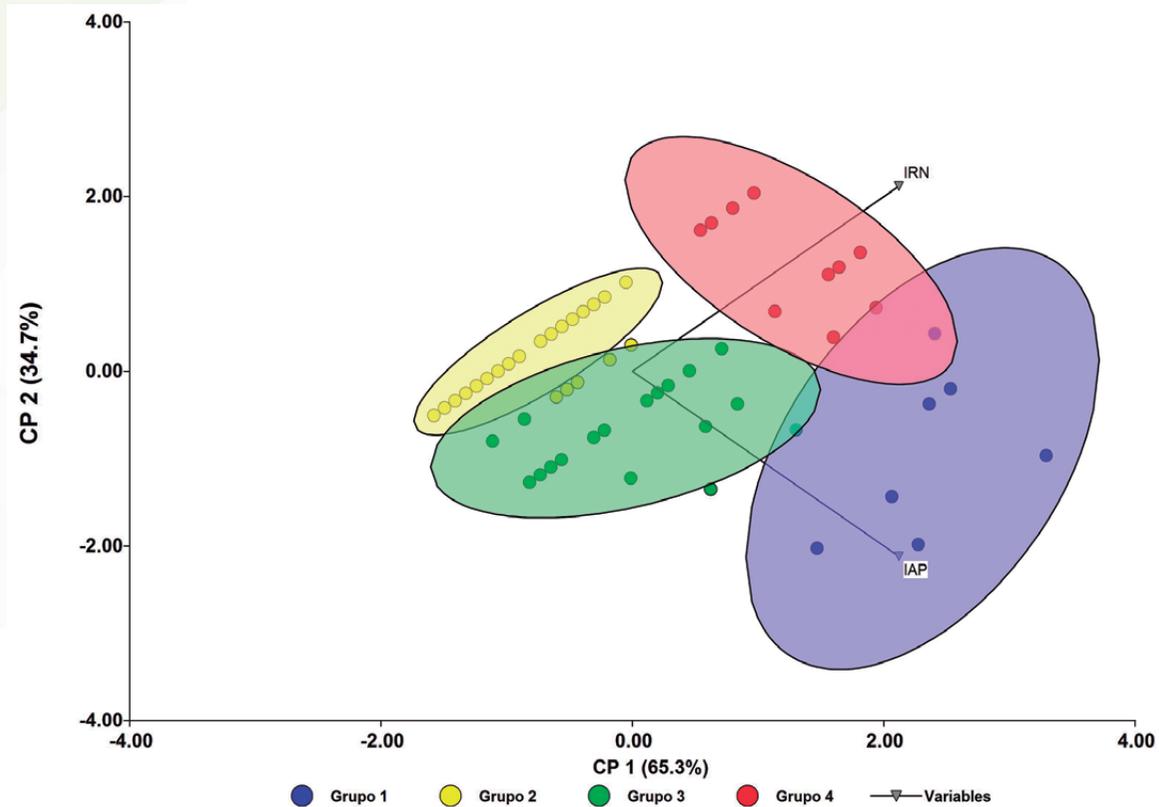


Figura 10.7. Análisis de componentes principales (grafico biplot) de la evaluación de la incidencia de enfermedades del panel de microsangría por grupos, en 78 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*Hevea brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en un campo clonal a pequeña escala en El Paujil, Caquetá.

10.3.4. Identificación de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 2

En la tabla 10.2 se presentan los mejores genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho por su comportamiento fitosanitario deseable, a partir de la calificación ponderada de las principales plagas, enfermedades foliares y enfermedades del panel de microsangría, registradas en un campo clonal a pequeña escala.

Tabla 10.2. Matriz de identificación de 78 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*Hevea brasiliensis*) comparados con el clon IAN 873 (testigo), basada en las variables de severidad de enfermedades foliares, resistencia a *P. ulmi*, incidencia de enfermedades del panel de microsangría e incidencia de plagas foliares en un campo clonal a pequeña escala en El Paujil, Caquetá

Genotipo	SA ^a	N ^a SA	SCN	N _{SCN}	SMA	N _{SMA}	SMP	N _{SMP}	SMSHU	N _{SMSHU}	SMSHW	N _{SMSHW}	TR	N _{TR}	DE	N _{DE}	IAP	N _{IAP}	IRN	N _{IRN}	ICE	N _{ICE}	IGC	N _{IGC}	IGP	N _{IGP}	IHA	N _{IHA}	Calificación ^b	Escalación
ECC 168	1,16	0,96	1,00	0,53	0,34	0,62	1,03	0,75	0,03	0,94	0,07	0,96	0,10	0,91	0,11	0,96	0,00	0,00	33,33	0,71	1,79	0,82	0,37	0,94	0,00	1,00	0,00	1,00	0,88	1
ECC 147	1,23	0,89	0,64	0,73	0,22	0,84	1,18	0,61	0,00	1,00	0,03	0,98	0,00	1,00	0,05	0,98	2,08	0,87	37,50	0,65	2,68	0,73	2,25	0,64	0,00	1,00	0,30	0,74	0,88	2
ECC 174	1,31	0,80	0,83	0,62	0,36	0,58	1,23	0,57	0,03	0,95	0,07	0,97	0,08	0,93	0,12	0,95	0,00	1,00	33,33	0,71	2,44	0,75	1,29	0,80	1,19	0,60	0,30	0,74	0,84	3
ECC 150	1,30	0,81	1,57	0,21	0,18	0,91	1,18	0,61	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	4,17	0,74	70,83	0,19	1,39	0,86	1,08	0,83	0,37	0,87	0,00	1,00	0,84	4
ECC 136	1,31	0,81	1,29	0,36	0,34	0,61	1,22	0,58	0,00	1,00	0,01	0,99	0,00	1,00	0,01	0,99	4,17	0,74	16,67	0,94	7,24	0,27	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,83	5
ECC 158	1,17	0,95	1,66	0,16	0,34	0,62	1,21	0,58	0,03	0,94	0,06	0,97	0,09	0,92	0,11	0,96	2,08	0,87	41,67	0,59	2,81	0,72	0,79	0,87	0,00	1,00	0,00	1,00	0,82	6
ECC 175	1,29	0,83	0,90	0,58	0,35	0,60	1,17	0,62	0,07	0,87	0,30	0,85	0,20	0,82	0,37	0,86	0,00	1,00	16,67	0,94	2,13	0,79	1,98	0,68	0,71	0,76	0,00	1,00	0,80	7
ECC 138	1,49	0,63	1,46	0,27	0,25	0,78	1,26	0,54	0,01	0,99	0,20	0,90	0,02	0,98	0,26	0,90	8,33	0,49	45,83	0,54	1,01	0,90	1,09	0,83	0,00	1,00	0,00	1,00	0,80	8
ECC 129	1,40	0,71	1,66	0,16	0,32	0,65	1,30	0,51	0,00	0,99	0,00	1,00	0,01	0,99	0,00	1,00	4,17	0,74	25,00	0,83	3,08	0,69	0,84	0,87	2,65	0,10	0,00	1,00	0,80	9
ECC 137	1,27	0,85	1,17	0,43	0,33	0,63	1,17	0,62	0,00	0,99	0,10	0,95	0,01	1,00	0,12	0,95	0,00	1,00	41,67	0,59	7,24	0,27	2,79	0,56	0,35	0,88	0,20	0,83	0,79	10
ECC 161	1,26	0,86	1,09	0,48	0,45	0,41	1,11	0,68	0,04	0,93	0,13	0,94	0,10	0,91	0,20	0,92	0,00	1,00	43,75	0,56	3,83	0,61	2,93	0,53	1,26	0,57	0,00	1,00	0,79	11
ECC 140	1,41	0,70	1,58	0,20	0,29	0,72	1,25	0,55	0,01	0,99	0,11	0,95	0,01	0,99	0,13	0,95	4,17	0,74	72,92	0,16	4,56	0,54	0,61	0,90	0,17	0,94	0,00	1,00	0,79	12
ECC 121	1,36	0,75	1,14	0,45	0,31	0,67	1,34	0,46	0,00	0,99	0,02	0,99	0,01	0,99	0,02	0,99	12,50	0,23	31,25	0,74	6,05	0,39	2,78	0,56	1,98	0,33	0,00	1,00	0,77	13
ECC 194	1,16	0,96	1,44	0,28	0,49	0,33	1,10	0,69	0,10	0,82	0,32	0,84	0,27	0,76	0,39	0,85	2,08	0,87	27,08	0,80	2,18	0,78	0,91	0,86	0,74	0,75	0,00	1,00	0,77	14
ECC 170	1,28	0,84	1,16	0,44	0,48	0,36	1,32	0,49	0,10	0,81	0,35	0,82	0,27	0,76	0,47	0,82	4,17	0,74	39,58	0,62	3,08	0,69	0,34	0,95	0,67	0,77	0,00	1,00	0,75	15
ECC 154	1,26	0,85	1,44	0,28	0,47	0,37	1,21	0,58	0,08	0,85	0,33	0,83	0,24	0,79	0,41	0,84	6,25	0,61	43,75	0,56	2,58	0,74	0,57	0,91	0,50	0,83	0,00	1,00	0,75	16
ECC 192	1,29	0,82	1,08	0,48	0,36	0,58	1,15	0,64	0,15	0,73	0,35	0,83	0,38	0,67	0,43	0,83	0,00	1,00	22,92	0,85	2,18	0,78	2,04	0,68	0,34	0,88	0,00	1,00	0,75	17
ECC 186	1,33	0,79	1,20	0,41	0,31	0,67	1,18	0,62	0,06	0,89	0,66	0,67	0,19	0,84	0,80	0,69	4,17	0,74	25,00	0,83	1,69	0,83	1,08	0,83	0,60	0,80	0,00	1,00	0,75	18
ECC 127	1,60	0,51	1,09	0,47	0,49	0,33	1,31	0,49	0,01	0,98	0,48	0,76	0,04	0,97	0,62	0,76	0,00	1,00	33,33	0,71	4,17	0,58	1,48	0,76	0,17	0,94	0,00	1,00	0,74	19
ECC 171	1,25	0,87	1,59	0,20	0,54	0,25	1,11	0,68	0,12	0,79	0,16	0,92	0,30	0,74	0,25	0,90	0,00	1,00	39,58	0,62	2,98	0,70	2,04	0,68	0,20	0,93	0,00	1,00	0,74	20
ECC 173	1,41	0,70	1,31	0,35	0,39	0,52	1,26	0,54	0,07	0,87	0,47	0,76	0,18	0,84	0,54	0,79	4,17	0,74	37,50	0,65	3,27	0,67	0,71	0,89	0,67	0,77	0,00	1,00	0,74	21
ECC 153	1,31	0,81	1,45	0,27	0,48	0,37	1,36	0,44	0,11	0,80	0,23	0,88	0,30	0,73	0,34	0,87	0,00	1,00	64,58	0,27	1,74	0,83	1,23	0,80	0,80	0,73	0,30	0,74	0,73	22
ECC 119	1,53	0,58	1,37	0,32	0,25	0,78	1,30	0,50	0,02	0,96	0,67	0,66	0,04	0,96	0,88	0,66	6,25	0,61	37,50	0,65	2,38	0,76	1,31	0,79	0,17	0,94	0,00	1,00	0,73	23
ECC 102	1,52	0,59	1,43	0,29	0,27	0,74	0,98	0,80	0,01	0,98	0,61	0,69	0,02	0,98	0,79	0,70	14,58	0,10	41,67	0,59	4,96	0,50	0,40	0,94	0,00	1,00	0,00	1,00	0,72	24
ECC 197	1,29	0,83	1,45	0,27	0,39	0,53	1,09	0,70	0,08	0,86	0,75	0,62	0,20	0,83	0,93	0,64	2,08	0,87	31,25	0,74	2,71	0,73	0,58	0,91	0,28	0,91	0,00	1,00	0,72	25
ECC 106	1,54	0,57	1,22	0,41	0,28	0,72	1,26	0,54	0,03	0,95	0,64	0,68	0,06	0,95	0,92	0,64	12,50	0,23	45,83	0,54	3,57	0,64	0,99	0,84	0,00	1,00	0,00	1,00	0,71	26
ECC 139	1,37	0,75	0,93	0,57	0,26	0,76	1,12	0,67	0,05	0,91	0,78	0,61	0,12	0,89	0,99	0,62	0,00	1,00	50,00	0,48	1,39	0,86	5,66	0,10	0,00	1,00	0,00	1,00	0,70	27
ECC 135	1,50	0,61	1,31	0,35	0,25	0,79	1,43	0,39	0,04	0,92	0,64	0,68	0,11	0,90	0,89	0,66	0,00	1,00	14,58	0,97	1,90	0,81	4,51	0,28	0,00	1,00	0,00	1,00	0,70	28
ECC 195	1,26	0,85	1,51	0,24	0,43	0,45	1,15	0,64	0,09	0,84	0,74	0,63	0,24	0,79	0,92	0,64	4,17	0,74	37,50	0,65	2,78	0,72	1,39	0,78	0,00	1,00	0,00	1,00	0,70	29
ECC 143	1,54	0,58	1,09	0,48	0,26	0,76	1,27	0,53	0,09	0,84	0,89	0,56	0,22	0,81	1,23	0,53	0,00	1,00	35,42	0,68	1,67	0,83	0,98	0,84	0,37	0,87	0,00	1,00	0,69	30

Genotipo	SA ^a	N ^{SA}	SGN	N _{SGN}	SMA	N _{SMA}	SMP	N _{SMP}	SMSHJ	N _{SMSHJ}	SMSHM	N _{SMSHM}	TR	N _{TR}	DE	N _{DE}	IAP	N _{IAP}	IRN	N _{IRN}	ICE	N _{ICE}	IGC	N _{IGC}	IGP	N _{IGP}	IHA	N _{IHA}	Calificador	Escalafón
ECC131	1,58	0,53	0,88	0,60	0,25	0,78	1,29	0,51	0,09	0,84	0,80	0,60	0,18	0,84	1,05	0,59	0,00	1,00	20,83	0,88	3,97	0,60	2,22	0,65	0,57	0,81	0,00	1,00	0,69	31
ECC107	1,51	0,61	1,30	0,36	0,28	0,73	1,19	0,60	0,03	0,95	0,61	0,69	0,07	0,94	0,82	0,69	14,58	0,10	66,67	0,25	3,74	0,62	2,41	0,62	0,24	0,92	0,00	1,00	0,69	32
ECC160	1,43	0,69	1,32	0,35	0,52	0,29	1,36	0,45	0,11	0,81	0,54	0,73	0,28	0,75	0,65	0,75	0,00	1,00	33,33	0,71	2,41	0,76	2,75	0,56	0,64	0,78	0,00	1,00	0,69	33
ECC152	1,37	0,74	1,00	0,53	0,38	0,54	1,28	0,52	0,17	0,69	0,73	0,63	0,44	0,61	0,95	0,63	4,17	0,74	60,42	0,33	2,86	0,71	0,41	0,94	0,34	0,88	0,00	1,00	0,67	34
ECC187	1,47	0,64	1,30	0,36	0,41	0,48	1,43	0,39	0,09	0,84	0,76	0,62	0,24	0,78	0,93	0,64	0,00	1,00	25,00	0,83	3,57	0,64	0,50	0,92	0,00	1,00	1,04	0,10	0,67	35
ECC118	1,78	0,33	0,99	0,53	0,33	0,63	1,42	0,39	0,02	0,96	0,85	0,57	0,06	0,95	1,14	0,56	6,25	0,61	62,50	0,30	2,78	0,72	0,54	0,91	1,56	0,47	0,30	0,74	0,67	36
ECC103	1,66	0,44	1,19	0,42	0,30	0,70	1,29	0,52	0,05	0,90	0,86	0,57	0,12	0,90	1,12	0,57	0,00	1,00	39,58	0,62	2,18	0,78	2,98	0,53	0,54	0,82	0,00	1,00	0,67	37
ECC126	1,75	0,36	1,04	0,50	0,36	0,58	1,30	0,51	0,06	0,90	1,16	0,42	0,13	0,88	1,56	0,40	0,00	1,00	14,58	0,97	2,38	0,76	0,67	0,89	0,00	1,00	0,00	1,00	0,66	38
ECC159	1,53	0,58	1,37	0,32	0,44	0,44	1,51	0,31	0,12	0,78	0,76	0,62	0,31	0,73	0,95	0,63	0,00	1,00	33,33	0,71	2,18	0,78	1,70	0,73	0,17	0,94	0,00	1,00	0,66	39
ECC198	1,40	0,72	1,60	0,19	0,54	0,26	1,33	0,48	0,14	0,75	0,82	0,59	0,37	0,68	1,05	0,60	0,00	1,00	27,08	0,80	2,44	0,75	0,37	0,94	0,17	0,94	0,00	1,00	0,66	40
ECC113	1,76	0,34	1,15	0,44	0,30	0,69	1,39	0,42	0,06	0,89	1,00	0,50	0,10	0,91	1,29	0,50	0,00	1,00	66,67	0,25	3,46	0,65	1,01	0,84	0,00	1,00	0,00	1,00	0,65	41
ECC123	1,50	0,61	1,27	0,37	0,23	0,82	1,15	0,65	0,09	0,84	0,94	0,53	0,19	0,83	1,29	0,50	0,00	1,00	12,50	1,00	3,71	0,63	3,60	0,43	0,68	0,77	0,00	1,00	0,65	42
ECC155	1,51	0,60	1,11	0,47	0,44	0,43	1,40	0,41	0,18	0,68	0,63	0,69	0,52	0,54	0,81	0,69	0,00	1,00	37,50	0,65	3,00	0,70	1,59	0,75	0,60	0,80	0,00	1,00	0,65	43
ECC180	1,48	0,64	1,49	0,25	0,43	0,45	1,49	0,33	0,08	0,85	1,08	0,46	0,18	0,84	1,41	0,46	2,08	0,87	20,83	0,88	1,70	0,83	1,29	0,80	0,47	0,84	0,00	1,00	0,65	44
ECC199	1,50	0,61	1,06	0,49	0,43	0,45	1,36	0,45	0,18	0,67	0,87	0,56	0,40	0,65	1,08	0,58	4,17	0,74	35,42	0,68	3,34	0,66	0,40	0,94	0,55	0,81	0,00	1,00	0,64	45
ECC145	1,47	0,64	1,19	0,42	0,37	0,56	1,18	0,62	0,09	0,84	0,95	0,52	0,22	0,81	1,22	0,53	0,00	1,00	41,67	0,59	1,39	0,86	4,93	0,22	0,52	0,82	0,00	1,00	0,64	46
ECC110	1,63	0,47	1,00	0,53	0,26	0,75	1,25	0,55	0,05	0,91	1,07	0,46	0,13	0,88	1,46	0,44	4,17	0,74	77,08	0,10	3,71	0,63	1,67	0,73	1,15	0,61	0,00	1,00	0,63	47
ECC193	1,54	0,57	1,23	0,40	0,46	0,39	1,46	0,36	0,11	0,80	1,13	0,43	0,29	0,74	1,41	0,46	0,00	1,00	29,17	0,77	4,17	0,58	0,37	0,94	0,00	1,00	0,00	1,00	0,63	48
ECC115	1,75	0,35	1,20	0,42	0,39	0,53	1,50	0,31	0,03	0,95	1,26	0,37	0,05	0,95	1,71	0,34	6,25	0,61	70,83	0,19	2,38	0,76	0,37	0,94	0,00	1,00	0,00	1,00	0,62	49
ECC183	1,56	0,55	1,62	0,18	0,40	0,51	1,41	0,40	0,16	0,70	0,86	0,57	0,45	0,60	1,06	0,59	2,08	0,87	20,83	0,88	3,15	0,68	0,34	0,95	0,00	1,00	0,00	1,00	0,62	50
ECC109	1,48	0,63	0,98	0,54	0,23	0,82	1,28	0,53	0,08	0,86	0,80	0,60	0,18	0,84	1,06	0,59	4,17	0,74	62,50	0,30	6,22	0,37	5,60	0,11	0,65	0,78	0,00	1,00	0,62	51
ECC182	1,51	0,60	1,41	0,30	0,46	0,40	1,42	0,39	0,16	0,71	0,83	0,58	0,40	0,65	1,07	0,59	0,00	1,00	29,17	0,77	4,34	0,56	1,76	0,72	0,51	0,83	0,00	1,00	0,61	52
ECC116	1,70	0,41	0,91	0,58	0,33	0,64	1,34	0,46	0,05	0,91	0,91	0,54	0,13	0,89	1,24	0,52	0,00	1,00	70,83	0,19	7,03	0,29	4,01	0,36	0,17	0,94	0,00	1,00	0,61	53
ECC167	1,57	0,54	1,60	0,19	0,60	0,14	1,29	0,51	0,20	0,64	0,77	0,61	0,50	0,56	0,93	0,64	0,00	1,00	37,50	0,65	3,20	0,68	1,11	0,82	0,40	0,87	0,00	1,00	0,60	54
ECC166	1,39	0,72	1,49	0,25	0,37	0,57	1,40	0,41	0,21	0,62	0,75	0,62	0,51	0,55	0,98	0,62	8,33	0,49	29,17	0,77	2,98	0,70	2,90	0,54	0,50	0,83	0,00	1,00	0,59	55
ECC114	1,68	0,43	1,31	0,35	0,24	0,79	1,21	0,59	0,08	0,86	0,89	0,55	0,19	0,84	1,20	0,54	0,00	1,00	75,00	0,13	8,00	0,19	3,00	0,52	0,00	1,00	0,00	1,00	0,59	56
ECC124	1,67	0,44	1,37	0,32	0,31	0,67	1,55	0,27	0,03	0,94	1,11	0,44	0,06	0,94	1,55	0,40	0,00	1,00	22,92	0,85	8,93	0,10	1,16	0,82	1,53	0,48	0,00	1,00	0,59	57
ECC125	1,77	0,33	1,34	0,33	0,49	0,35	1,38	0,43	0,10	0,82	1,05	0,47	0,22	0,80	1,35	0,48	6,25	0,61	22,92	0,85	3,57	0,64	2,28	0,64	0,20	0,93	0,00	1,00	0,59	58
ECC157	1,56	0,55	1,27	0,38	0,34	0,62	1,46	0,35	0,21	0,61	0,87	0,56	0,48	0,57	1,15	0,56	0,00	1,00	45,83	0,54	2,96	0,70	2,49	0,60	0,60	0,80	0,00	1,00	0,59	59
ECC151	1,58	0,53	1,08	0,48	0,31	0,68	1,35	0,46	0,23	0,58	0,92	0,54	0,56	0,51	1,21	0,54	0,00	1,00	41,67	0,59	1,08	0,89	2,83	0,55	1,42	0,52	0,00	1,00	0,59	60
ECC179	1,51	0,60	1,62	0,18	0,40	0,51	1,47	0,34	0,23	0,58	1,14	0,43	0,55	0,51	1,42	0,45	0,00	1,00	16,67	0,94	1,62	0,84	0,20	0,97	0,00	1,00	0,00	1,00	0,58	61
ECC105	1,67	0,44	1,26	0,38	0,39	0,53	1,26	0,54	0,11	0,81	1,40	0,30	0,25	0,78	1,80	0,31	4,17	0,74	43,75	0,56	1,59	0,84	2,04	0,68	0,00	1,00	0,00	1,00	0,58	62
ECC164	1,63	0,48	1,45	0,28	0,40	0,51	1,49	0,33	0,16	0,71	1,06	0,47	0,41	0,64	1,45	0,44	0,00	1,00	18,75	0,91	2,98	0,70	1,40	0,78	1,33	0,55	0,00	1,00	0,58	63
ECC122	1,76	0,35	1,27	0,38	0,18	0,91	1,64	0,19	0,04	0,92	1,48	0,26	0,09	0,92	1,94	0,25	4,17	0,74	18,75	0,91	7,99	0,19	0,00	1,00	0,17	0,94	0,00	1,00	0,57	64

Genotipo	SA ^a	N ^a SA	SGN	N _{SGN}	SMA	N _{SMA}	SMP	N _{SMP}	SMSHJ	N _{SMSHJ}	SMSHM	N _{SMSHM}	TR	N _{TR}	DE	N _{DE}	IAP	N _{IAP}	IRN	N _{IRN}	ICE	N _{ICE}	IGC	N _{IGC}	IGP	N _{IGP}	IHA	N _{IHA}	Calificación ^c	Escala ^b
ECC 178	1,63	0,48	1,57	0,21	0,35	0,59	1,42	0,39	0,23	0,58	1,12	0,44	0,56	0,51	1,47	0,43	0,00	1,00	18,75	0,91	1,13	0,89	0,40	0,94	0,00	1,00	0,00	1,00	0,57	65
IAN 873	1,48	0,64	1,65	0,16	0,37	0,56	1,50	0,31	0,08	0,85	1,29	0,35	0,20	0,82	1,70	0,35	12,50	0,23	45,83	0,54	4,37	0,56	0,60	0,91	0,69	0,76	0,00	1,00	0,57	66
ECC 185	1,75	0,36	1,76	0,10	0,30	0,69	1,42	0,39	0,12	0,78	1,29	0,35	0,29	0,74	1,67	0,36	4,17	0,74	27,08	0,80	2,38	0,76	0,00	1,00	0,37	0,87	0,00	1,00	0,57	67
ECC 191	1,63	0,48	1,27	0,37	0,44	0,43	1,36	0,45	0,23	0,57	1,20	0,40	0,51	0,55	1,54	0,40	2,08	0,87	14,58	0,97	2,58	0,74	0,40	0,94	0,20	0,93	0,00	1,00	0,57	68
ECC 134	1,74	0,37	1,25	0,39	0,34	0,62	1,50	0,32	0,08	0,86	1,37	0,31	0,15	0,86	1,86	0,28	4,17	0,74	12,50	1,00	7,58	0,24	1,67	0,73	0,17	0,94	0,00	1,00	0,55	69
ECC 142	1,78	0,33	1,31	0,35	0,39	0,52	1,38	0,43	0,12	0,79	1,46	0,27	0,27	0,76	1,89	0,27	0,00	1,00	45,83	0,54	3,03	0,69	0,66	0,89	0,58	0,80	0,17	0,85	0,55	70
ECC 181	1,65	0,46	1,47	0,26	0,35	0,59	1,57	0,26	0,11	0,80	1,56	0,22	0,26	0,77	2,06	0,21	0,00	1,00	20,83	0,88	1,88	0,81	1,86	0,70	0,51	0,83	0,00	1,00	0,55	71
ECC 112	1,85	0,25	1,31	0,35	0,30	0,69	1,39	0,42	0,09	0,84	1,36	0,32	0,19	0,83	1,82	0,30	10,42	0,36	66,67	0,25	4,66	0,53	0,74	0,88	0,00	1,00	0,00	1,00	0,55	72
ECC 184	1,59	0,52	1,39	0,31	0,31	0,68	1,38	0,43	0,18	0,68	1,27	0,36	0,41	0,64	1,65	0,37	0,00	1,00	22,92	0,85	4,76	0,52	2,48	0,61	0,84	0,71	0,00	1,00	0,54	73
ECC 149	1,61	0,50	1,28	0,37	0,18	0,90	1,26	0,54	0,19	0,65	1,21	0,39	0,42	0,63	1,62	0,38	0,00	1,00	41,67	0,59	7,24	0,27	2,57	0,59	0,00	1,00	0,00	1,00	0,53	74
ECC 176	1,60	0,51	1,54	0,23	0,62	0,10	1,34	0,47	0,23	0,59	1,17	0,41	0,53	0,53	1,49	0,43	4,17	0,74	14,58	0,97	2,61	0,74	1,76	0,72	0,57	0,81	0,00	1,00	0,53	75
ECC 162	1,55	0,56	1,67	0,15	0,39	0,52	1,36	0,44	0,21	0,62	1,40	0,30	0,47	0,58	1,92	0,26	2,08	0,87	29,17	0,77	3,17	0,68	1,23	0,80	0,17	0,94	0,00	1,00	0,52	76
ECC 144	2,00	0,10	1,21	0,41	0,25	0,78	1,45	0,37	0,13	0,77	1,79	0,10	0,28	0,75	2,33	0,10	4,17	0,74	50,00	0,48	2,68	0,73	0,57	0,91	0,00	1,00	0,00	1,00	0,50	77
ECC 141	1,79	0,31	1,17	0,43	0,26	0,77	1,34	0,47	0,27	0,50	1,62	0,19	0,54	0,52	2,20	0,15	0,00	1,00	43,75	0,56	1,50	0,85	1,43	0,77	0,17	0,94	0,00	1,00	0,48	78
ECC 111	1,68	0,43	1,14	0,45	0,42	0,47	1,35	0,46	0,18	0,66	1,57	0,21	0,32	0,72	2,04	0,21	8,33	0,49	72,92	0,16	8,28	0,17	0,94	0,85	0,71	0,76	0,00	1,00	0,47	79

^a Nota media

^b Nota media normalizada (N) [0,1 - 1]. 0:1: cion menos deseable. 1: cion más deseable

^c Nota media ponderada

Clave: Severidad (S) de: antracosis (SA), costra negra (SGN), mancha aerolada (SMA), mancha de perdigón (SMP), mancha de perdigón (SMP), mancha de perdigón (SMP), Componentes de resistencia al mal suramericano de las hojas (MSH); severidad del MSH en hojas jóvenes (SMSHJ), severidad del MSH en hojas maduras (SMSHM); tipo de reacción (TR), densidad estromática (DE); Incidencia (I) de: antracosis del panel de sangría (IAP), chinchite de encaje (ICE), gusano cación (IGC), gusano peludo (IGP), hormiga arriera (IHA).

10.4. Consideraciones finales

Se identificaron diez genotipos (ECC 196, ECC 194, ECC 168, ECC 161, ECC 147, ECC 171, ECC 195, ECC 197, ECC 133 y ECC 150) con una tolerancia a enfermedades foliares (notas < 2) mayor que el clon IAN 873, cinco genotipos (ECC 169, ECC 177, ECC 130, ECC 138 y ECC 178) con mayor tolerancia a plagas (incidencia < 1,5%) que el clon IAN 873, y diez genotipos (ECC, 150, ECC 147, ECC 136, ECC 158, ECC 196, ECC 121, ECC 140, ECC 133, ECC 174 y ECC 168) que evidenciaron resistencia parcial a los parámetros de evaluación al mal suramericano de las hojas (notas < 1), en contraste con el clon IAN 873.

Respecto a la evaluación fitosanitaria de enfermedades del panel de microsangría, se identificaron seis genotipos (ECC 123, ECC 134, ECC 126, ECC 191, ECC 176 y ECC 135), los cuales evidenciaron los niveles más bajos de IRN (< 15%), en contraste con el clon IAN 873, y en el caso de la antracnosis del panel hubo ausencia de la enfermedad en el 62% de los genotipos caquetenses.

La matriz de selección de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho en campo clonal a pequeña escala en el Caquetá (tabla 10.2), permitió identificar 65 genotipos con mejor calificación superior (deseables), comparados con el clon IAN 873 (testigo), de los cuales se listan los diez primeros en su orden: ECC 196, ECC 168, ECC 147, ECC 150, ECC 174, ECC 158, ECC 136, ECC 138, ECC 140 y ECC 133, a partir de la clasificación ponderada de su comportamiento fitosanitario.

10.5. Referencias bibliográficas

- Alarcón, J., Arevalo, E., Díaz, A., Alberto, A. y Galindo, R. (2012). *Manejo integrado de plagas enfermedades en el cultivo del caucho*. Bogotá: Inst. Colomb. Agropecu. Procaucho.
- Belloti, A. C., Smith, L. y Lapointe, S. (1999). Recent advances in cassava pest management. *Anual Review of Entomology.*, 44, 343-370.
- Chee, K. y Holliday, P. (1986). South american leaf blight of rubber. *IRRDB.*, 13, 50. [MRRDB Monographs].
- Chee, K. y Wastie, R. L. (1976). South American leaf blight of *Hevea brasiliensis*: spore dispersal of *Microcyclus ulei*. *Annals of Applied Biology*, 84(2), 147-152.
- Chee, K. y Wastie, R. L. (1980). The status and future prospects of rubber diseases in tropical America. *Review of plant pathology.*, 59(12), 541-548.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarine, M., Gonzales, L., Tablada, M. y Robledo, C. (2018). *InfoStat versión 2018*. [Grupo InfoStat]. Córdoba, Argentina: FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Recuperado de <http://www.infostat.com.ar>
- Garzón, C. (2000). Principales enfermedades y plagas en el cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*) con énfasis en la Amazonia colombiana. [Plan nacional de desarrollo alternativo – Plante]. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI; Ministerio del Medio Ambiente.
- Gasparotto, L., Ferreira, F. A., Lima, M., Pereira, J. y Santos, A. F. (1990). Enfermidades da seringueira no Brasil. [Circular Técnica N. 3]. Manaus: Embrapa – CPAAC.

- Gasparotto, L., Dos Santos, A., Pereira, J. y Ferreira, F. (1997). *Doenças da seringueira no Brasil*. Manaus: Embrapa.
- Gasparotto, L., Ferreira, F., Dos Santos, A. F., Rezende, P. y Furtado, E. L. (2012). Doenças das folhas. [Capítulo 3]. En Gasparotto, L. y Pereira, J. (Eds.), *Doenças da seringueira no Brasil*, pp. 39-176. Brasília: Embrapa Amazônia Occidental.
- Gasparotto, L., Rezende, P., Moreira, A., Furtado, E. L., Figueredo, C. y Dos Santos, A. (2016). *Manual de identificação de doenças da cultura da seringueira*, 1a ed. Brasília.
- Gonçalves, P. D., Ortolani, A. y Cardoso, M. (1997). *Melhoramento genético da seringueira: uma revisão*. Campinas, Brasil: Instituto Agronômico.
- Hallé, F., Oldeman, R. y Tomlinson, P.B. (1978). *Tropical trees and forest*. Springer, Berlin, DE.
- Junior, E., Gonçalves, P., Aguiar, A. y Arantes, F. (2007). Seleção de progênies de seringueira a partir de caracteres de produção e vigor. [Memórias I Congresso Brasileiro de Heveicultura]. Borracha Natural. Guarapari, Brasil: INCAPER.
- Junqueira, N., Zambolim, L., Chaves, G. y Gasparotto, L. (1986). Sporulation "in vitro", variability of conidia and pathogenicity of *Microcyclus ulei*. *Fitopatologia Brasileira*, 11, 667-682.
- Mattos, C. R., García, D., Pinard, F. y Le Guen, V. (2003). Variabilidade de isolados de *Microcyclus ulei* no sudeste da Bahia. *Fitopatologia Brasileira*, 28(5), 502-507.
- Ogbebor, O. N. (2010). The status of three common leaf disease of Para rubber in Nigeria. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 6(1), 567-570.
- Pizzeta, M., Porcena, A. S., Silva, L. y Furtado, E. L. (2008). Elaboração de escala diagramática de antracnose (*Colletotrichum gloesporioides* (Penz.) Sacc.) para avaliação de clones de seringueira (*Hevea brasiliensis* (Wild ex. A.Juss.) Mull.Arg.). [Congresso Nacional de Iniciação Científica].
- Rincon, S. O. (2012). Adopción de medidas para el manejo fitosanitario del cultivo de caucho natural. Convenio 00095-2012-SENA-SAC.
- Rivano, F., Martínez, M., Cevallos, V. y Cilas, C. (2010). Assessing resistance of rubber tree clones to *Microcyclus ulei* in largescale clone trials in Ecuador: a less time-consuming field method. *Plant Pathol.*, 126, 541-552.
- Silva, L., Moraes, W., Jesus Junior, W. y Souza, A. (2009). Efeito das condições climáticas no desenvolvimento do Mal-das-Folhas da seringueira na região sul do Espírito Santo. [Resumo do VI CBA e II CLAA]. *Rev. Bras. De Agroecologia*, 4(2), 2034-2037.
- Sterling, A., Galindo, L., Rodríguez, L., Martínez, K. y Bonilla, M. (2011). Evaluación de la resistencia a *M. ulei* de los mejores genotipos élitos de *H. brasiliensis* de origen franco bajo condiciones naturales y controladas. En Sterling, C. A. y Rodríguez, C. H. (Ed.), *Nuevos clones de caucho natural para la Amazonia Colombiana: Énfasis en la resistencia al Mal Suramericano de las Hojas (Microcyclus ulei)*, pp. 139-171. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A. y Rodríguez, C. (2011). *Nuevos clones de caucho natural para la amazonia colombiana: énfasis en la resistencia al mal suramericano de las hojas (Microcyclus ulei)*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A., Rodríguez, C., Dussan, H., Correa, D., Vargas, M., Centeno, C., Sánchez, L., Rodríguez, A., Plaza, C., Gaviria, D., Salas, Y., Ossa, E., Ruiz, P. y Castillo, J. (2012). Evaluación fitosanitaria con énfasis en la resistencia a *Microcyclus ulei* de diez clones de caucho natural (*Hevea brasiliensis*) en Campo Clonal a Gran Escala CCGE. En Sterling, A., y Rodríguez, C. (Ed.), *Ampliación de la base genética de caucho natural con proyección para la Amazonia colombiana: fase de evaluación en periodo improductivo a gran escala*, pp. 79-148. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.

- Sterling, A. y Rodríguez, C. (2012). *Ampliación de la base genética de caucho natural con proyección para la Amazonia colombiana: fase de evaluación en periodo improductivo a gran escala*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A. y Melgarejo, L. (2014). Variación temporal a *Microcyclus ulei* en los clones de caucho FX 3864 y FX 4098 en condiciones controladas. *Rev. Colomb. Biotecnol*, 16(2). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v16n2.47249>
- Sterling, A., Salas, T., Virgüez, D., Vargas, L. y Obando, G. (2014). Evaluación fitosanitaria con énfasis en la reacción a *Microcyclus ulei* de tres clones de caucho (*Hevea brasiliensis*) en sistema agroforestal con copoazú (*Theobroma grandiflorum*) y plátano hartón (*Musa AAB*). En Sterling, A. y Rodríguez, L. (Ed.), *Agroforestería en el Caquetá: Clones promisorios de caucho en asocio con copoazú y plátano hartón con potencial para la Amazonia*, pp. 107-191. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling A., Salas, Y. y Virguez, Y. (2016). *Erinnyis ello* (Lepidoptera: Sphingidae) y *Leptopharsa heveae* (Hemiptera: Tingidae) en *Hevea brasiliensis*. *Sistema agroforestal*, 42(2), 124-132.
- Sterling, A., Gómez-Torres, A., Suárez-Córdoba, Y., Loaiza-Molina, L. y Sierra-Hayer, J. (2019). Standard área diagrams to assess black crust (*Phyllachora huberi*) severity on rubber tree leaflets. Caquetá, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI; Universidad de la Amazonía.
- Velásquez, E., Lavelle, P. y Andrade, M. (2007). GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biol. Biochem.*, 39, 3066-3080. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.06.013>

Evaluación del rendimiento en microsangría y rasgos relacionados de genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*Hevea brasiliensis*) en campo clonal a pequeña escala en el Caquetá



Armando Sterling Cuellar^{1,2*}, Edwin Andrés Clavijo Arias², Tatiana Karolina Andrade Ramírez², Ariel Antonio Agudelo², Camilo Hernando Suárez Pacheco², Hébert Góngora Ocampo² y Carlos Hernando Rodríguez León¹

¹ Investigador del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, sede Florencia.

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

² Co-investigador del proyecto. Convenio 59-2013, Gobernación del Caquetá – Instituto SINCHI.

11.1. Introducción

En los programas de mejoramiento genético de caucho *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg, resultan fundamentales las evaluaciones en plantas juveniles a través de métodos de selección temprana en progenies sobresalientes, toda vez que estos experimentos permiten estimar la variabilidad genética y la ganancia en la selección de la población estudiada, lo cual sirve como base para futuros programas de reproducción de la especie y permiten la reducción del ciclo de reproducción (Furlani *et al.*, 2005; Khusala, 2010). El uso adecuado de las pruebas sobre progenies de caucho requiere el conocimiento de la heredabilidad y la precisión, asociadas con las unidades de selección y progreso genético (Adams, Rousseau y Adams, 2007; Costa, Resende, Araujo, Gonçalves y Higa, 2000).

En el mejoramiento genético convencional, el objetivo principal es la identificación de individuos con alto potencial productivo, seguido de otros caracteres deseables que contribuyen a la mejorar el desempeño de los materiales (Gonçalves *et al.*, 1999; Sopharat *et al.*, 2015). Estos estudios sugieren que la selección fenotípica de los padres puede ser efectiva, pero la selección basada en valores genotípicos es más precisa y confiable (Costa, Vilela, Gonçalves y Silva, 2002; Furlani *et al.*, 2005).

En la selección temprana los caracteres fenotípicos se evalúan a edades anteriores a la rotación y se utilizan como predictores de caracteres económicamente importantes en la edad de rotación (Neto, Castro y Bianchetti, 2003). Reducir el ciclo de reproducción de un árbol mediante la selección temprana puede producir más ganancias genéticas por unidad de tiempo (año), si existe una fuerte correlación genética entre los rasgos tempranos y maduros (Gonçalves, Cardinal, Costa, Bortoletto y Gouvêa, 2005).

De acuerdo con lo anterior, la selección de parámetros asociados con el vigor y el rendimiento son muy importantes para valorar la producción del látex (Gonçalves *et al.*, 2006). En este sentido, valorar la naturaleza y la magnitud de la relación entre estos rasgos resultará fundamental en el proceso de identificación, selección y promoción de progenies superiores, antes de llevarlas a ensayos de pequeña o gran escala y fomentar su uso a escala comercial (Priyadarshan, 2017; Souza *et al.*, 2017).

En el presente capítulo, se presentan los resultados de la evaluación del rendimiento en micro-sangría y rasgos relacionados con el látex de 78 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en la fase de crecimiento en un campo clonal a pequeña escala en el departamento del Caquetá (Colombia).

11.2. Metodología

11.2.1. Área de estudio

El estudio se realizó en un campo clonal a pequeña escala (CCPE) localizado en el municipio de El Paujil en el departamento del Caquetá (Colombia) (figura 9.1).

11.2.2. Material vegetal

Se estudiaron 78 de los 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) (capítulo 9), los cuales alcanzaron el vigor requerido para las pruebas de microsangría en el año 2 después de la siembra.

11.2.3. Diseño experimental

El CCPE correspondió a un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, 100 tratamientos (99 genotipos caquetenses y el clon testigo IAN 873) y 12 árboles (unidad experimental) por tratamiento (figura 9.2).

11.2.4. Preparación y desarrollo de las actividades de microsangría

• Inventario de los árboles

Se realizó un inventario de todos los árboles y se midió el perímetro del fuste a 1 m del suelo con el fin de determinar la circunferencia del tronco en la apertura del panel de microsangría CTa (cm). Los individuos de dos años 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, Mattos y Cavaloc, 2007). Luego, los árboles se marcaron a una altura de 1,8 m del suelo con una línea roja, formando un anillo en la circunferencia del fuste, y se identificaron con el número correspondiente a la posición de siembra para evitar confusiones al momento de la recolecta del coágulo fresco.

• Trazado de los paneles de microsangría

En cada árbol seleccionado para la microsangría se trazaron dos directrices. La primera se trazó a un metro de la base del suelo con ayuda de un punzón direccionado hacia la calle-siembra en donde se colocó la taza recolectora (figura 11.1a). La línea trazada se marcó con la cuchilla de sangría sin profundizar en el cambium para evitar daños mecánicos (figura 11.1b) que puedan provocar atrofiamiento y deformación sobre la corteza donde se encuentran ubicados los vasos laticíferos (ASOHECA, 2009; Sena, 2006).



Figura 11.1. 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 directriz, (d-e) Posicionamiento de la banderola sobre el tronco y marcado de líneas con el punzón, (f) Apertura del panel de sangría, (g) Equipamiento de los árboles (canaleta y recipiente de recolección de látex), (h-i) Recolección de coágulo húmedo.

Luego, se tomó una cuerda de 1,50 m de longitud que contenía un nudo en cada extremo y uno en el centro, este quedó sobre la directriz ya marcada, abrazando el árbol con los extremos de la cuerda y quedando opuesto a la primera directriz (figura 11.1c). A continuación, se marcó con el punzón el punto de unión de los extremos de la cuerda, procedimiento que también se realizó en la zona de la base del injerto para obtener un segundo punto y marcar la segunda directriz. Finalmente, se colocó la banderola sobre el tronco de derecha a izquierda y se marcaron las líneas con el punzón en dirección a la inclinación de esta, se retiró la banderola y se unieron los puntos hasta formar las líneas (figuras 11.1d y 11.1e) (ASOHECA, 2009).

- **Apertura del panel de microsangría**

Para la apertura del panel de microsangría se pasó varias veces la cuchilla (previamente desinfectada) por encima de la línea marcada con la banderola con 35° de inclinación, desgastando la corteza suavemente hasta llegar a los vasos laticíferos que se encuentran entre los tejidos inferiores y el cambium (figura 11.1f). Luego, se realizó una pequeña incisión al final del corte inicial en forma de canal de entre 15 y 20 cm de longitud para facilitar el escurrimiento del látex hacia la canaleta (García *et al.*, 2013).

- **Equipamiento de los árboles**

En cada árbol se colocó una canaleta entre 10 cm y 20 cm abajo del corte, al final del canal de escurrimiento, se adaptó un 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 del individuo (figuras 11.1g y 11.1h).

- **Aplicación del sistema de microsangría**

El proceso de sangría se realizó durante un año en árboles de dos años de edad (figura 11.1i). Se empleó un sistema de microsangría 1/2S ↓ d/4 6d/7 (sangría en media espiral), cada cuatro días con un día de descanso en la semana sin estimulación. 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).

11.2.5. Evaluación de los parámetros asociados a la producción en microsangría

- **Vigor en las fases de pre y post-sangría**

El vigor de los árboles se midió en función de la circunferencia del tronco (CT) a 1 m del suelo en la apertura del panel de sangría (CTa) (cm) (vigor-pre-sangría) y al final del primer año de la microsangría CTms (cm) (vigor pos-sangría) a los dos y tres años después de la siembra, respectivamente.

- **Proporción de caucho seco en coágulo y rendimiento de caucho seco**

El seguimiento de la producción en microsangría se realizó durante un año (descartando las primeras seis microsangrías, que correspondían a la etapa de “ruptura de panel” (Costa, Resende, Araújo, Gonçalves y Bortoletto, 2000) . La determinación del rendimiento de caucho se realizó usando el principio de la prueba Hamaker-Morris-Man (HMM) (Tan y Subramanian, 1976), modificada para plántulas de dos a tres años. El coágulo de las tazas se recolectó seis horas después de cada tercer microsangría. El coágulo de cada individuo debidamente empacado y rotulado se pesó en una balanza digital (peso de caucho fresco) (figuras 11.2a y 11.2e).

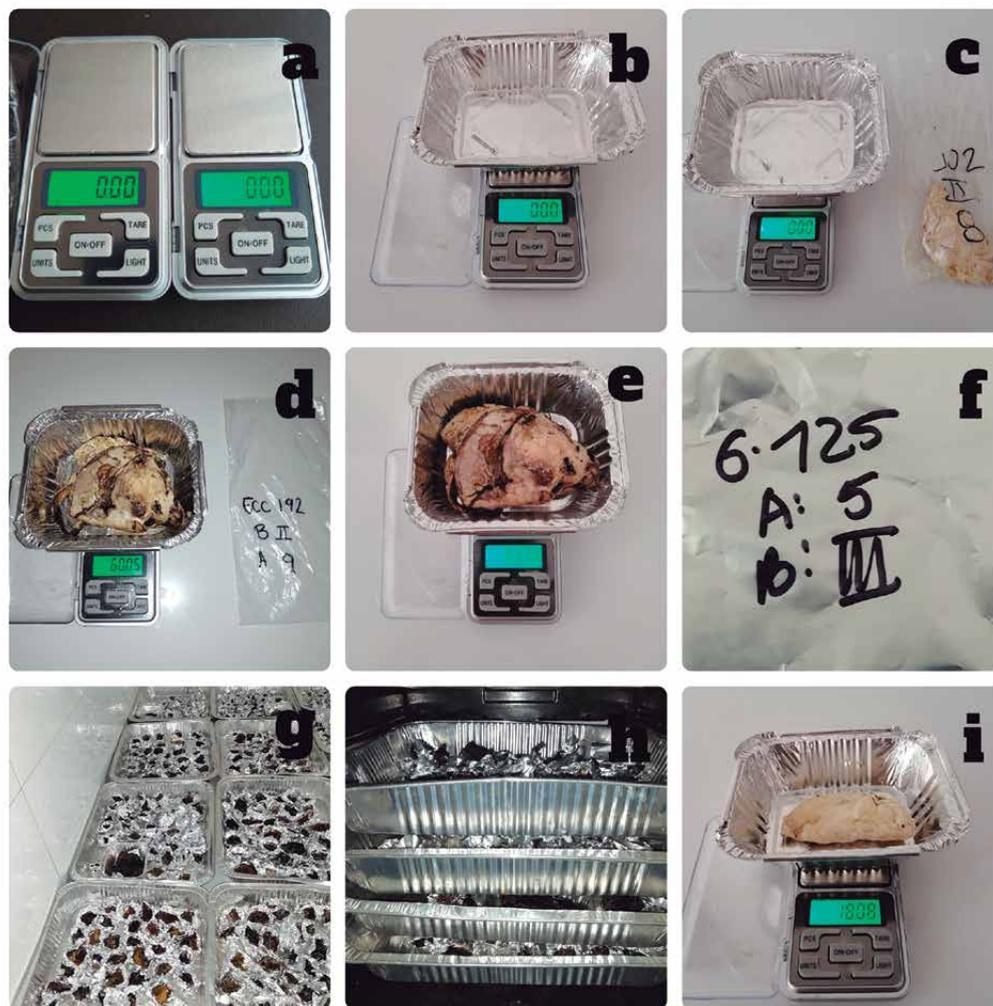


Figura 11.2. Evaluación inicial de la producción en microsangría. (a) Balanzas digitales, (b-c) Estandarización de balanza digital, (d-e) Determinación de PCF, (f) Rotulación de muestras para su debida identificación, (g) Disposición de muestras previo al ingreso al horno, (h) Secado en una atmosfera de aire a 120 °C, (i) Determinación de PCS.

Las muestras de coágulo recolectadas luego de seis microsangrías (ciclo mensual) se llevaron al laboratorio. En el laboratorio se homogenizaron las muestras y se dispusieron en moldes de aluminio debidamente rotulados (figura 11.2f). Luego, las muestras se sometieron a secado en una atmosfera de aire a 120 °C en un horno durante 4 horas (figura 11.2h). Las muestras se retiraron del horno y se repitió el proceso de secado, enfriamiento en desecador y pesado hasta que la pérdida de masa fue constante e inferior a 1 mg (figura 11.2i) (ISO 126, 2005; Mendoza y Jiménez, 2018).

Para estimar las variables: proporción de caucho seco en coágulo PCSC (%), rendimiento de caucho seco RCS ($\text{g.árbol}^{-1}.\text{microsangría}^{-1}$) y rendimiento de caucho seco acumulado RCSA ($\text{g.árbol}^{-1}.\text{año}$), se emplearon las siguientes ecuaciones:

El cálculo de PCSC se realizó con la ecuación:

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

Ecuación (11.1)

Donde:

PCSC: Proporción de caucho seco en coágulo (%)

A: Peso de la muestra inicial fresca (g)

B: Peso de la muestra final seca (g)

El cálculo del RCS se realizó con la siguiente ecuación:

$$RCS = PCF * PCSC$$

Ecuación (11.2)

Donde:

RCS: Rendimiento de caucho seco ($\text{g.árbol}^{-1}.\text{microsangría}^{-1}$)

PCF: Peso de caucho fresco ($\text{g.árbol}^{-1}.\text{microsangría}^{-1}$)

PCSC: Proporción de caucho seco en coágulo (%)

El cálculo del RCSa se realizó con la ecuación 3:

$$RCSa = RCS * TMA$$

Ecuación (11.3)

Donde:

RCS: Rendimiento de caucho seco ($\text{g.árbol}^{-1}.\text{microsangría}^{-1}$)

TMSA: Total de microsangrías al año (72)

11.2.6. Análisis de la información

Las variables estudiadas se analizaron mediante un ANOVA con el fin de determinar la variación entre localidades, genotipos y su interacción. Una prueba LSD de Fisher al 5% de significancia permitió contrastar la diferencia entre las medias de estas variables. A partir de los datos de producción en microsangría, se realizó una proyección del rendimiento e ingresos económicos potenciales a escala comercial de los diez materiales genéticos con mayor rendimiento comparados con el clon IAN 873 (testigo).

Las medias de las variables estudiadas por genotipo fueron normalizadas en el intervalo [0,1 - 1] al igual que Velásquez *et al.* (2007), utilizando la fórmula:

$$Y = 0,1 + (x-b)/(a-b)*0,9$$

Ecuación (11.4)

Donde:

- x = Variable a transformar
- a = Valor máximo de la variable
- b = Valor mínimo de la variable

Luego, se calculó la media ponderada de todas las variables que fueron priorizadas y transformadas, usando la siguiente ponderación: RCS (95%), CTms (3%) y CTa (2%). Esta media fue ordenada de mayor a menor con el fin de obtener el escalafón de los mejores genotipos por su vigor y desempeño productivo en microsangría. Las pruebas estadísticas se realizaron con el programa InfoStat versión 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).

11.3. Resultados y discusión

11.3.1. Parámetros asociados a la producción en microsangría

• Circunferencia del tronco en la fase de apertura del panel (CTa)

No se encontraron diferencias estadísticas significativas en CTa entre los 79 genotipos evaluados ($P > 0,05$) (figura 11.3). La media de CTa varió entre 15,0 cm en los genotipos ECC 191, ECC 139, ECC 109 y ECC 107, y 16,98 cm en el genotipo ECC 129. El 78,21% de los genotipos caquetenses tuvieron una CTa mayor al clon IAN 873 (CTa = 15,2 cm), entre los cuales se destacó el genotipo ECC 129 que presentó un vigor superior (figura 11.3). Los valores de crecimiento encontrados en este estudio son superiores a los reportados por Sterling y Hernández (2012) y Sterling y Rodríguez (2011) en genotipos caquetenses de la serie ECC 100, en un campo clonal a pequeña escala en la zona sur del Caquetá. Estos genotipos selección ECC 2 también expresaron un vigor mayor de lo reportado por Gonçalves, Bortoletto, y Furtado (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 en el Vichada (Colombia).

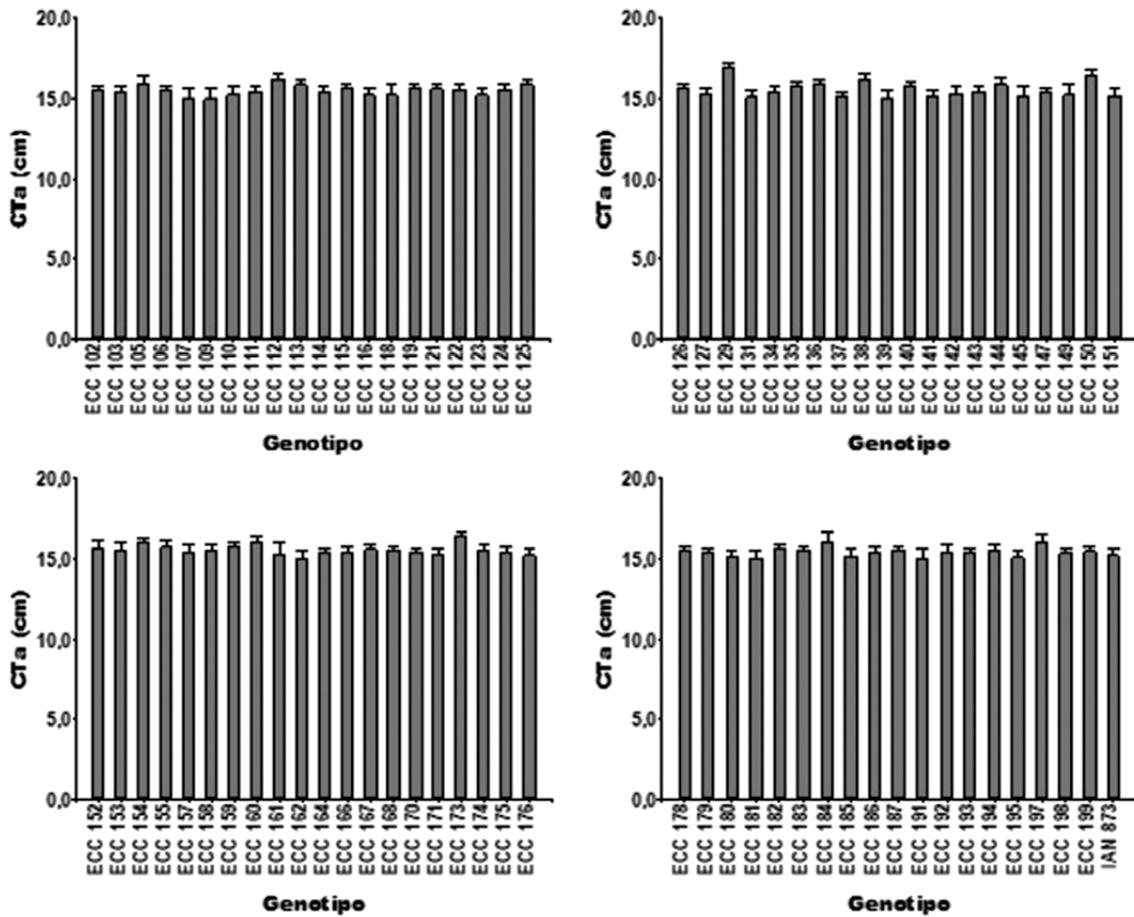


Figura 11.3. Medias de la circunferencia del tronco en la apertura del panel de microsangría (CTa) (cm) de 78 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en el inicio de la fase de microsangría (año 2 después de la siembra) en El Paujil, Caquetá. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes, prueba LSD ($P > 0,05$).

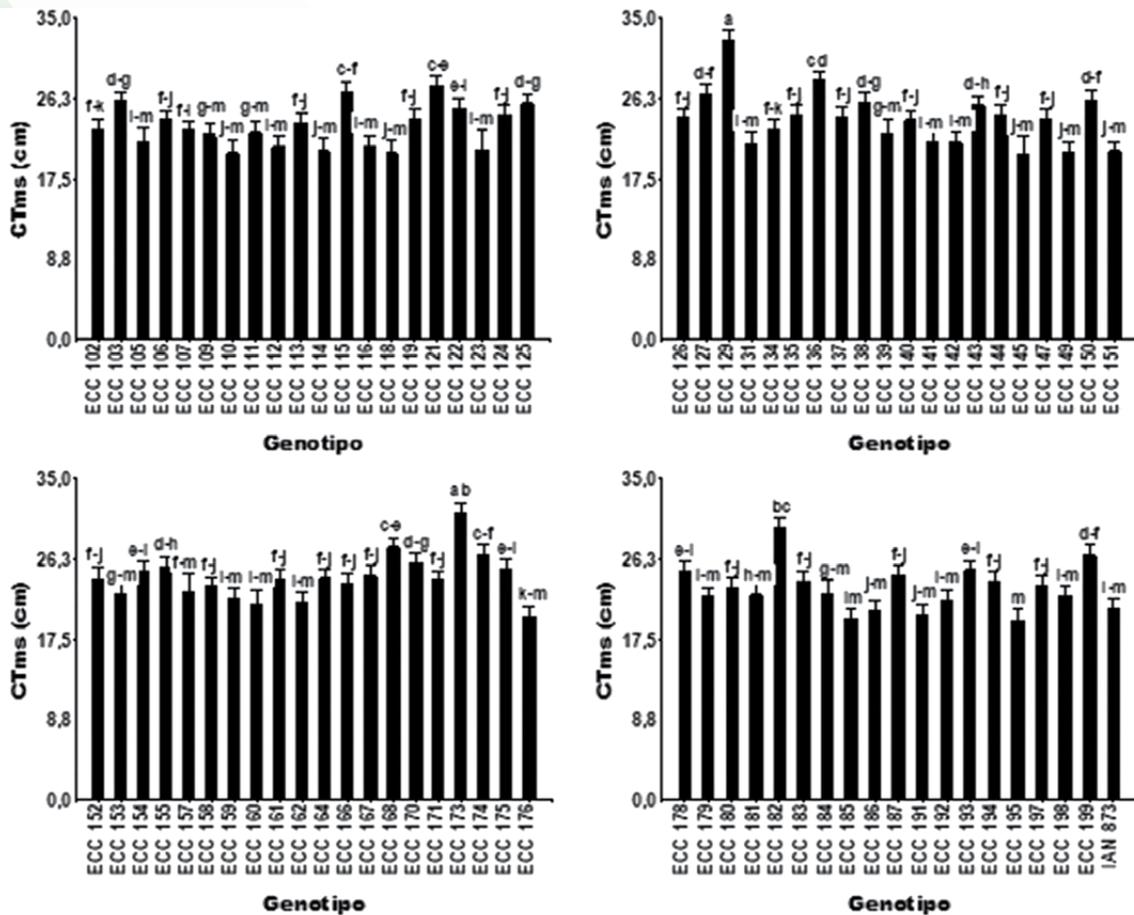


Figura 11.4 Medias de la circunferencia del tronco en la fase post-microsangría (CTMs) (cm) de 78 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en el año 3 después de la siembra en El Paujil, Caquetá. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes, prueba LSD ($P > 0,05$).

En estudios con progenies de polinización abierta, concluyeron que el incremento anual de la circunferencia del tronco y el grosor de la corteza virgen son variables genéticamente correlacionadas (Silva *et al.*, 2013). En este sentido, la herencia basada en la media de la heredabilidad para el aumento anual de la circunferencia del tronco así como el rendimiento, son superiores a las plantas individuales y dentro de la progenie esta puede ser una estrategia para aumentar la ganancia genética (Gonçalves *et al.*, 2011).

Normalmente, se observa una fuerte reducción en el crecimiento del tronco y en la altura del árbol, unas pocas semanas después del comienzo de la sangría como efecto de la partición de asimilados que la planta demanda para recuperación, se reanuda el crecimiento más rápido cuando se detiene de la sangría (Priyadarshan y Clément-Demange, 2004), una situación que

se presentó en este estudio en donde la proporción de genotipos superiores en vigor al testigo, disminuyeron luego de la microsangría.

El vigor post-sangría en este estudio tuvo una CTms promedio de 23,61 cm, el cual es similar a lo reportado por Gonçalves, Moraes, Bortoletto, Costa y Gonçalves (2005) en las localidades de Votuporanga (25,9 cm), Pindorama (22 cm), y superior a lo registrado en Jaú (17,8 cm) en el Estado brasileño de São Paulo. Los genotipos ECC 129 (32,67 cm) y ECC 195 (19,57 cm) expresaron el valor máximo y mínimo de CTms, respectivamente. El genotipo ECC 129 tuvo un vigor superior a los clones PB 235 (25,63 cm) (Gonçalves *et al.*, 1993), IAC 312 (22,80 cm) (Gonçalves, Bortoletto, y Furtado, 2001) y FX 4098 (17,26 cm) (Sterling *et al.*, 2019) para esta misma edad.

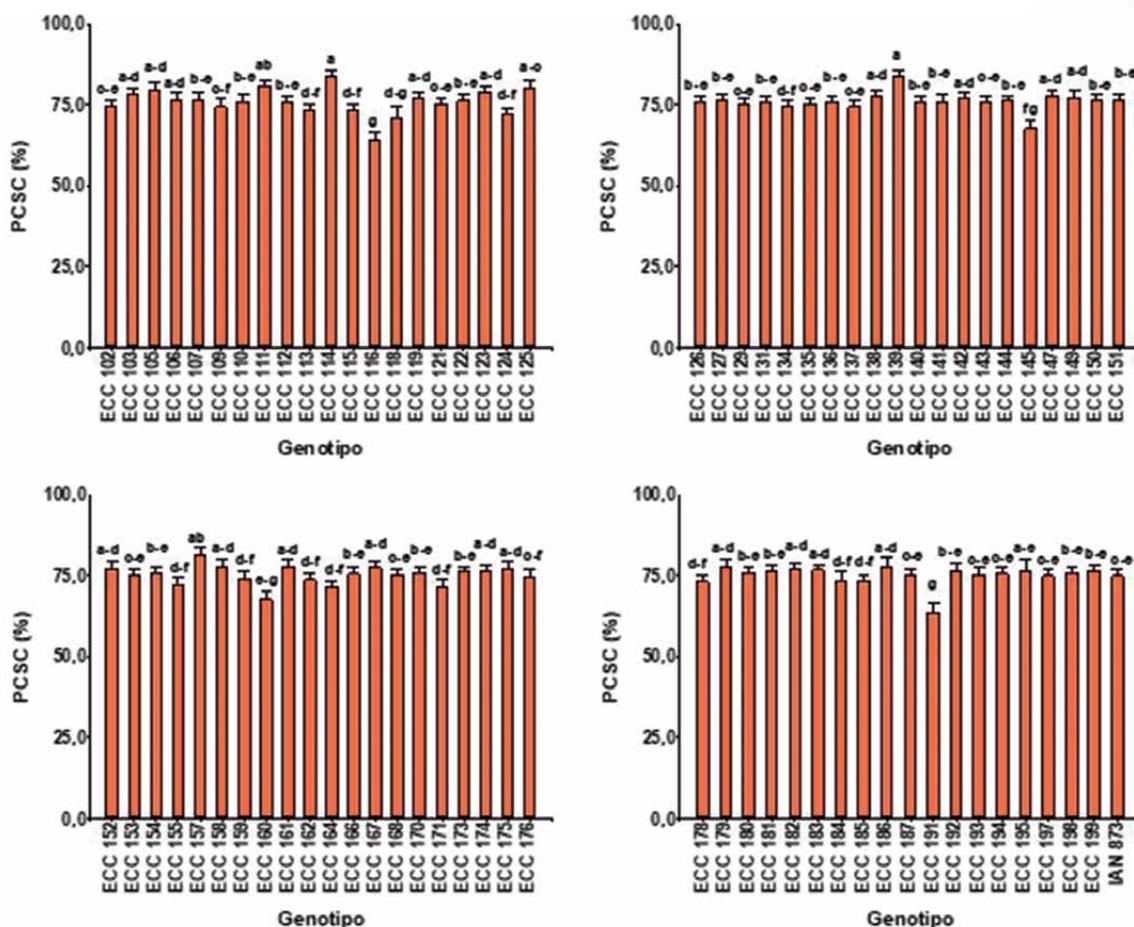


Figura 11.5. Medias de la proporción de caucho seco en coagulo (PCSC) (%) de 78 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) durante la fase de microsangría en El Paujil, Caquetá. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes, prueba LSD ($P > 0,05$).

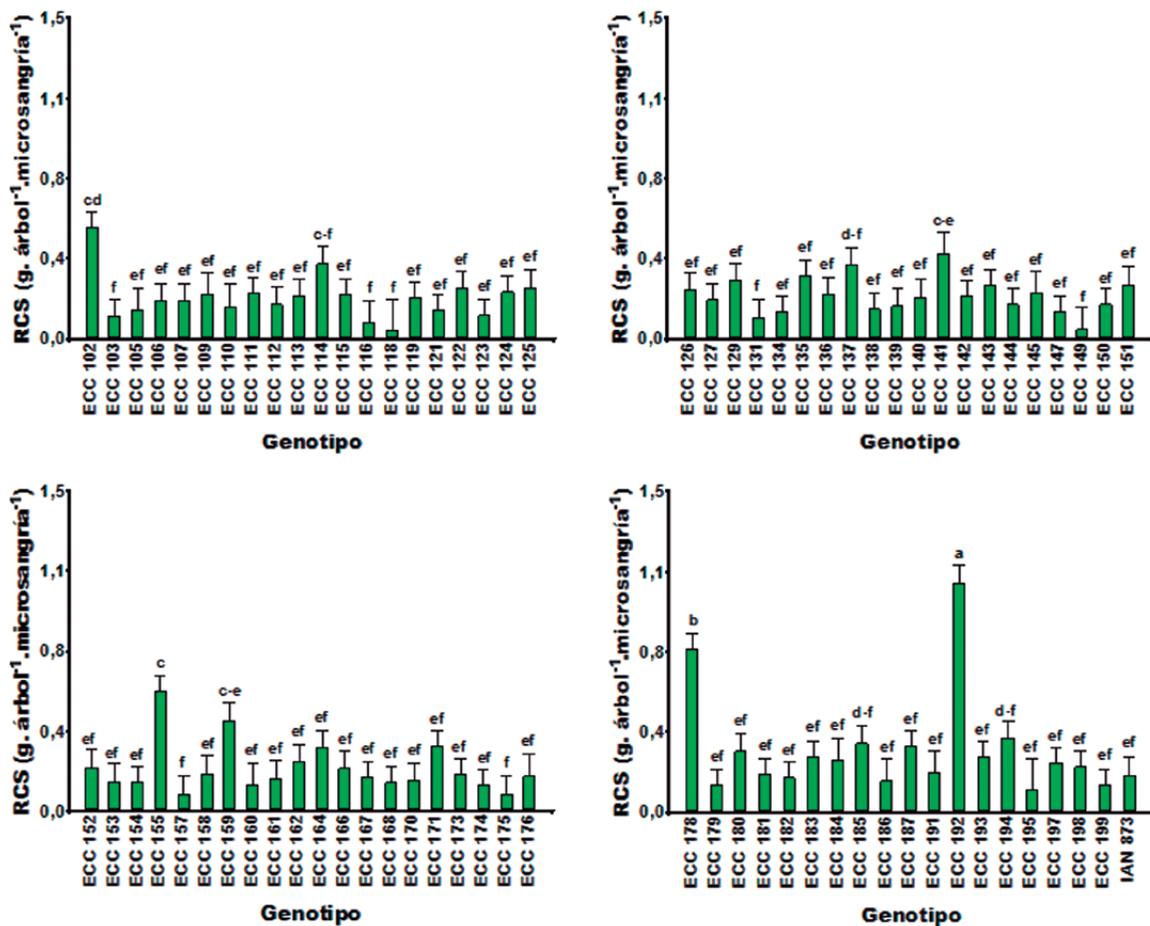


Figura 11.6. Medias del rendimiento de caucho seco RCS (g. árbol⁻¹.microsangría⁻¹) de 78 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) durante la fase de microsangría en El Paujil, Caquetá, Colombia. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes, prueba LSD ($P > 0,05$).

Del mismo modo que con el RCS, su equivalente acumulado (RCSa) mostró la misma tendencia al final de la fase de microsangría (figura 11.7). Los genotipos caquetenses ECC 192, ECC 178, ECC 155, ECC 102 y ECC 159 tuvieron los mayores rendimientos acumulados con medias de RCSa de 77,10, 54,81, 40,33 37,41 y 30,47 g. árbol⁻¹. año⁻¹, respectivamente, a diferencia de los genotipos ECC 118, ECC 149, ECC 116, ECC 157, ECC 175 y ECC 131 que con medias entre 2,61 y 6,78 g. árbol⁻¹. año⁻¹ tuvieron la menor producción al final del ciclo de evaluaciones. El 57,69% de los genotipos caquetenses tuvieron una RCSa mayor al IAN 873 (> 12,28 g. árbol⁻¹. año⁻¹). De estos, el 8,89% tuvieron un RCSa significativamente superior al testigo (> 37,41 g. árbol⁻¹. año⁻¹).

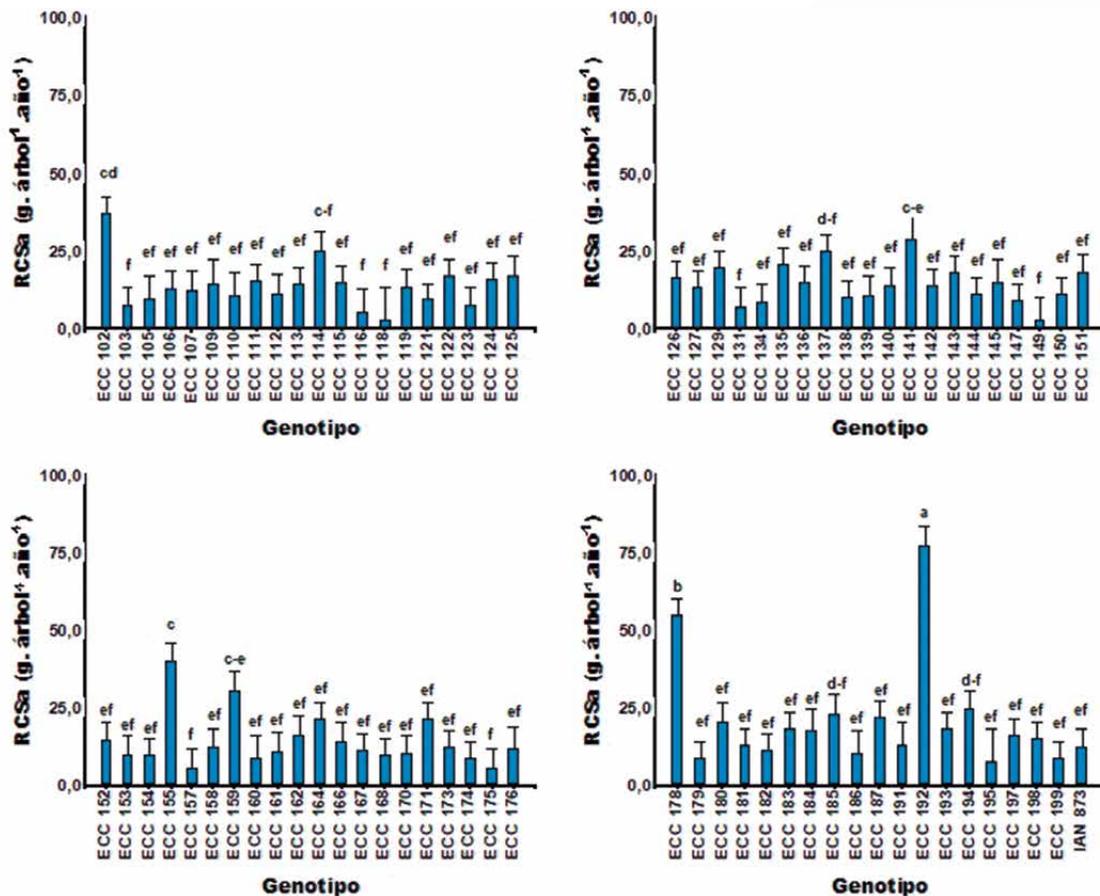


Figura 11.7. Medias del rendimiento de caucho seco acumulado RCSa (g. árbol⁻¹.año⁻¹) de 78 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) al final de la fase de microsangría en El Paujil, Caquetá. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes, prueba LSD ($P > 0,05$).

La selección de materiales de caucho de alto desempeño requiere de programas de investigación de largo plazo que pueden durar de 20 a 30 años (Gonçalves, Ortolani y Cardoso, 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). En este sentido, las evaluaciones iniciales de producción como la microsangría en experimentos a pequeña escala, permiten identificar nuevos clones con potencial productivo en regiones específicas (Souza, 2016).

En este estudio, se destacó en gran medida el genotipo ECC 192 el cual alcanzó un RCS de 1,07 g. árbol⁻¹. microsangría⁻¹, valor que superó el máximo reportado por Sterling y Rodríguez (2011), en un campo clonal a pequeña escala en la zona sur del Caquetá, particularmente

con el genotipo ECC 87, que arrojó 0,37 g. árbol⁻¹. microsangría⁻¹. Asimismo, tuvo rendimiento superior a los 0,99 g. árbol⁻¹.sangría⁻¹ reportados por Gonçalves, Cardinal, Costa, Bortoletto y Gouvêa (2005) durante la evaluación de 22 progenies a los 36 meses de edad en zona tropical del estado de Sao Paulo en Brasil. En este estudio también se destacaron los genotipos ECC 178, ECC 155, ECC 102, ECC 159 y ECC 141 que tuvieron un RCS > 0,37 g. árbol⁻¹. microsangría⁻¹, un rendimiento superior al reportado en genotipos de la serie ECC 100 en el Caquetá.

Los resultados de rendimiento reportado en la presente investigación constituyen un indicador importante del potencial de producción de estos genotipos, el cual deberá ser validado en la fase adulta del cultivo (7-8 años) antes de ofrecer una recomendación final al nivel del productor (Quesada, Aristizábal y Montoya, 2012).

11.3.2. Proyección del rendimiento e ingresos económicos potenciales

En El Paujil, los genotipos ECC 192, ECC 178 y ECC 155 tuvieron un rendimiento entre 2,28 y 5,2 veces superior al IAN 873 en el primer año de microsangría, lo que implicaría con este rendimiento temprano un ingreso económico potencial bruto mayor a \$8 200 000 COP ha.año⁻¹.

Tabla 11.1. Proyección del rendimiento e ingresos económicos potenciales a escala comercial de los nueve mejores genotipos de caucho (*H. brasiliensis*) para la localidad de El Paujil en el Caquetá

Genotipo	RCS (g.árbol ⁻¹ . sangría ⁻¹)	RCSA (g.árbol ⁻¹ . año ⁻¹)	Proporción de RCS (%) ^a	RCSEC (Ton.ha ⁻¹ .año ⁻¹) ^b	Ingresos estimados (\$.ha ⁻¹ .año ⁻¹) ^c
ECC 192	1,07	77,10	527,85	5,65	15.821.824
ECC 178	0,76	54,81	346,34	4,02	11.247.655
ECC 155	0,56	40,33	228,42	2,96	8.276.189
ECC 102	0,52	37,41	204,64	2,74	7.676.971
ECC 159	0,42	30,47	148,13	2,23	6.252.801
ECC 141	0,39	28,39	131,19	2,08	5.825.961
ECC 114	0,35	25,04	103,91	1,84	5.138.502
ECC 137	0,35	24,88	102,61	1,82	5.105.668
ECC 194	0,34	24,82	102,12	1,82	5.093.355
IAN 873	0,17	12,28	-	0,90	2.520.000

^a Cálculo realizado con respecto al clon IAN 873 (datos del presente estudio).

^b Proyección realizada sobre 400 árboles explotados por 10 meses al año con un total de 60 sangrías comparado con el rendimiento comercial promedio del clon IAN 873 (0,9 t.ha⁻¹.año⁻¹).

^c Valor del 1 kg de caucho seco: \$2.800 COP (ASOHECA, 2020).

Clave: RCS, rendimiento de caucho seco (promedio en el primer año de microsangría); RCSA, rendimiento de caucho seco acumulado (sumatoria del primer año de microsangría); RCSEC, rendimiento de caucho seco a escala comercial (proyección estimada).

11.3.3. Identificación de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 2

En la tabla 11.2 se presentan los mejores genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho por su vigor y desempeño productivo en microsangría en un campo clonal a pequeña escala, a partir de la calificación ponderada de las variables priorizadas por su importancia agronómica para el cultivo del caucho.

Tabla 11.2. Matriz de identificación de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho comparados con el clon IAN 873 (testigo), basada en las variables de rendimiento en microsangría en campo clonal a pequeña escala en el Caquetá

Genotipo	CTa ^a	N ^b _{CTa}	CTms	N _{CTms}	RCS	N _{RCS}	Calificación ^c	Escalafón
ECC 192	15,47	0,31	21,81	0,25	1,07	1,00	0,964	1
ECC 178	15,53	0,34	24,94	0,47	0,76	0,73	0,714	2
ECC 155	15,73	0,43	25,38	0,50	0,56	0,55	0,550	3
ECC 102	15,52	0,34	22,92	0,33	0,52	0,52	0,510	4
ECC 159	15,80	0,46	21,91	0,26	0,42	0,43	0,428	5
ECC 141	15,15	0,17	21,52	0,23	0,39	0,41	0,396	6
ECC 137	15,13	0,16	24,28	0,42	0,35	0,37	0,368	7
ECC 194	15,54	0,35	23,85	0,39	0,34	0,36	0,363	8
ECC 114	15,35	0,26	20,43	0,16	0,35	0,37	0,362	9
ECC 129	16,98	1,00	32,67	1,00	0,28	0,31	0,344	10
ECC 185	15,15	0,17	19,69	0,11	0,32	0,34	0,334	11
ECC 187	15,53	0,34	24,49	0,44	0,30	0,33	0,331	12
ECC 164	15,35	0,26	24,15	0,41	0,30	0,33	0,328	13
ECC 171	15,20	0,19	23,88	0,40	0,30	0,33	0,327	14
ECC 135	15,82	0,47	24,57	0,44	0,29	0,32	0,325	15
ECC 180	15,18	0,18	23,13	0,34	0,28	0,31	0,308	16
ECC 193	15,43	0,30	25,08	0,48	0,26	0,29	0,298	17
ECC 183	15,55	0,35	23,83	0,39	0,26	0,29	0,296	18
ECC 143	15,40	0,28	25,51	0,51	0,25	0,28	0,290	19
ECC 125	15,90	0,51	25,75	0,52	0,24	0,27	0,287	20
ECC 122	15,53	0,34	25,21	0,49	0,24	0,27	0,282	21
ECC 184	16,00	0,55	22,43	0,30	0,24	0,27	0,281	22
ECC 151	15,15	0,17	20,50	0,16	0,25	0,28	0,278	23
ECC 197	16,10	0,60	23,44	0,37	0,23	0,27	0,276	24
ECC 126	15,60	0,37	24,08	0,41	0,23	0,27	0,272	25
ECC 136	15,94	0,53	28,28	0,70	0,21	0,25	0,268	26
ECC 124	15,51	0,33	24,49	0,44	0,22	0,26	0,264	27
ECC 115	15,68	0,41	27,06	0,61	0,21	0,25	0,263	28
ECC 162	15,05	0,12	21,48	0,23	0,23	0,27	0,262	29
ECC 111	15,43	0,30	22,52	0,30	0,21	0,25	0,251	30

Genotipo	CTa ^a	N ^b _{CTa}	CTms	N _{CTms}	RCS	N _{RCS}	Calificación ^c	Escalafón
ECC 198	15,35	0,26	22,21	0,28	0,21	0,25	0,250	31
ECC 113	15,86	0,49	23,53	0,37	0,20	0,24	0,249	32
ECC 152	15,65	0,40	23,99	0,40	0,20	0,24	0,248	33
ECC 166	15,46	0,31	23,63	0,38	0,20	0,24	0,245	34
ECC 173	16,37	0,72	31,24	0,90	0,17	0,21	0,244	35
ECC 145	15,10	0,15	20,06	0,13	0,21	0,25	0,243	36
ECC 140	15,80	0,46	23,92	0,40	0,19	0,23	0,241	37
ECC 119	15,67	0,40	24,00	0,40	0,19	0,23	0,240	38
ECC 109	15,00	0,10	22,41	0,30	0,20	0,24	0,239	39
ECC 127	15,34	0,25	26,71	0,59	0,18	0,22	0,234	40
ECC 142	15,33	0,25	21,50	0,23	0,19	0,23	0,231	41
ECC 150	16,48	0,77	26,12	0,55	0,16	0,20	0,227	42
ECC 182	15,64	0,39	29,67	0,79	0,16	0,20	0,226	43
ECC 181	15,05	0,12	22,35	0,29	0,18	0,22	0,222	44
ECC 106	15,52	0,34	23,88	0,40	0,17	0,21	0,222	45
ECC 158	15,53	0,34	23,25	0,35	0,17	0,21	0,220	46
ECC 144	15,90	0,51	24,55	0,44	0,16	0,20	0,218	47
ECC 191	15,00	0,10	20,10	0,14	0,18	0,22	0,217	48
ECC 167	15,60	0,37	24,43	0,43	0,16	0,20	0,215	49
ECC 107	15,00	0,10	22,75	0,32	0,17	0,21	0,214	50
ECC 112	16,20	0,65	20,99	0,20	0,16	0,20	0,213	51
IAN 873	15,20	0,19	20,79	0,18	0,17	0,21	0,212	52
ECC 138	16,20	0,65	25,83	0,53	0,14	0,19	0,207	53
ECC 161	15,30	0,24	24,04	0,41	0,15	0,20	0,203	54
ECC 176	15,20	0,19	20,02	0,13	0,16	0,20	0,202	55
ECC 170	15,40	0,28	25,89	0,53	0,14	0,19	0,200	56
ECC 121	15,63	0,39	27,67	0,66	0,13	0,18	0,197	57
ECC 139	15,00	0,10	22,38	0,29	0,15	0,20	0,197	58
ECC 168	15,55	0,35	27,53	0,65	0,13	0,18	0,196	59
ECC 110	15,25	0,21	20,26	0,15	0,15	0,20	0,195	60
ECC 154	16,00	0,55	24,88	0,46	0,13	0,18	0,195	61
ECC 153	15,50	0,33	22,50	0,30	0,14	0,19	0,194	62
ECC 186	15,35	0,26	20,67	0,18	0,14	0,19	0,188	63
ECC 147	15,36	0,26	23,98	0,40	0,13	0,18	0,187	64
ECC 105	15,90	0,51	21,54	0,24	0,13	0,18	0,187	65
ECC 174	15,50	0,33	26,83	0,60	0,12	0,17	0,186	66
ECC 199	15,48	0,32	26,65	0,59	0,12	0,17	0,185	67
ECC 160	16,00	0,55	21,41	0,23	0,12	0,17	0,179	68
ECC 134	15,38	0,27	22,90	0,33	0,12	0,17	0,177	69
ECC 179	15,42	0,29	22,15	0,28	0,12	0,17	0,176	70

Genotipo	CTa ^a	N ^b _{CTa}	CTms	N _{CTms}	RCS	N _{RCS}	Calificación ^c	Escalafón
ECC 103	15,45	0,30	25,94	0,54	0,10	0,15	0,167	71
ECC 123	15,20	0,19	20,68	0,18	0,11	0,16	0,162	72
ECC 195	15,10	0,15	19,57	0,10	0,10	0,15	0,151	73
ECC 175	15,43	0,30	25,19	0,49	0,08	0,13	0,149	74
ECC 131	15,10	0,15	21,37	0,22	0,09	0,14	0,146	75
ECC 157	15,45	0,30	22,57	0,31	0,08	0,13	0,143	76
ECC 116	15,20	0,19	21,07	0,20	0,07	0,13	0,130	77
ECC 149	15,20	0,19	20,33	0,15	0,04	0,10	0,103	78
ECC 118	15,20	0,19	20,26	0,15	0,04	0,10	0,103	79

^a Nota media

^b Nota media normalizada (N) [0,1 - 1]. 0,1: clon menos deseable. 1: clon más deseable

^c Nota media ponderada

Clave: circunferencia del tronco en la fase de apertura del panel (CTa), circunferencia del tronco en la fase post-microsangría (CTms), rendimiento de caucho seco (RCS).

11.4. Consideraciones finales

El presente estudio evaluó por 12 meses el potencial productivo de 78 genotipos caquetenses selección ECC 2 y el clon testigo IAN 873 en árboles de 24 meses de edad mediante la técnica de microsangría en un campo clonal a pequeña escala en el municipio de El Paujil, Caquetá (Colombia). Se identificaron 61 genotipos con circunferencia del tronco en la fase de apertura del panel (CTa) mayor (CTa > 15,20 cm) al clon testigo y 66 genotipos con una circunferencia en microsangría (CTms) superior (CTms > 20,80 cm) al clon IAN 873.

Se encontraron 45 genotipos con un rendimiento de caucho seco mayor al IAN 873 (RCS > 0,17 g. árbol⁻¹. microsangría⁻¹) y 55 genotipos con una proporción superior de caucho seco en coágulo (PCSC >74,85%) comparados con el IAN 873.

Este estudio permite concluir a partir de la matriz de identificación (Tabla 11.2) que los genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) más sobresalientes comparados con el clon IAN 873 (testigo) de acuerdo con su vigor pre y post-sangría y rendimiento en microsangría en El Paujil, fueron: ECC 192, ECC 178, ECC 155, ECC 102, ECC 159, ECC 141, ECC 137, ECC 194, ECC 114, ECC 129, ECC 185, ECC 187, ECC 164, ECC 171, ECC 135, ECC 180, ECC 193, ECC 183, ECC 143, ECC 125, ECC 122, ECC 184, ECC 151, ECC 197, ECC 126, ECC 136, ECC 124, ECC 115, ECC 162, ECC 111, ECC 198, ECC 113, ECC 152, ECC 166, ECC 173, ECC 145, ECC 140, ECC 119, ECC 109, ECC 127, ECC 142, ECC 150, ECC 182, ECC 181, ECC 106, ECC 158, ECC 144, ECC 191, ECC 167, ECC 107 y ECC 112.

11.5. Referencias bibliográficas

- Adams, J. P., Rousseau, R., Adams, J. C. (2007). Genetic performance and maximizing genetic gain through direct and indirect selection in cherrybark oak. *Silvae Genet.* 56, 80-87. DOI: <https://doi.org/10.1515/sg-2007-0012>
- Asociación de Reforestadores y Cultivadores del Caucho en el Caquetá – ASOHECA. (2009). Ficha técnica de sangría y recolección de caucho natural. Recuperado de: <http://www.asoheca.org/imagenes/Fichastecnicas/FICHATECNICADESANGRIAYRECOLECCIONDELLATEX.pdf>
- Bombonato, A. L. (2014). Correlação entre o desempenho dos indivíduos (Ortetes) de seringueira nos testes de progênes e dos seus respectivos clones (Rametes). Instituto Agronômico.
- Costa, R. (1999). Métodos de seleção, interação genótipo x ambiente e ganho genético para o melhoramento da seringueira no estado de São Paulo. Brasil: Universidade Federal do Paraná.
- Costa, R., Resende, M. D., Araujo, A., Gonçalves, P. S. y Higa, A. (2000). Selection and genetic gain in rubber tree (*Hevea*) populations using a mixed mating system. *Genet. Mol. Biol.*, 23, 671-679. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-47572000000300028>
- Costa, R., Resende, M. D., Araújo, A., Gonçalves, P. S. y Bortoletto, N. (2000). Seleção combinada univariada e multivariada. *Pesqui. Agropecuária Bras.*, 35, 381-388.
- Costa, R., Vilela, M. D., Gonçalves, P. S. y Silva, M. (2002). Individual multivariate REML/BLUP in the presence of genotype x environment interaction in rubber tree (*Hevea*) breeding. *Crop. Breed. Appl. Biotechnol.*, 2, 131-140. DOI: <https://doi.org/10.12702/1984-7033.v02n01a17>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarine, M. G., Gonzales, L., Tablada, M. y Robledo, C.W. (2018). InfoStat versión 2018.
- Souza, M. A. (2016). Variabilidade genética em progênes de seringueira e associações entre variáveis secundárias e produção de borracha. Instituto Agronômico.
- Furlani, R. C. M., De Moraes, M. L. T., De Resende, M. D. V., Furlani-Junior, E., Gonçalves, P. S., Valério Filho, W. V., De Paiva, J. R. (2005). Estimation of variance components and prediction of breeding values in rubber tree breeding using the REML / BLUP procedure. *Genet. Mol. Biol.*, 28, 271-276. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-47572005000200017>
- García, I., Peraza, R., Pinzón, Y. y Santacruz, O. (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. Cenicaucho y Corpoica. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/270510200_Modelo_Productivo_para_el_cultivo_del_arbol_de_caucho_natural_en_la_Orinoquia_Zonas_de_escape_y_no_escape_al_Mal_Suramericano_de_las_Hojas_del_Caucho/citation/download
- Gonçalves, P. S., Cardoso, M., Mente, E. M., Mello, A., Cecchetti, M. y Ortolani, A. (1993). Desempenho preliminar de clones de seringueira na região de São José do Rio Preto, Planalto do Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas 2, 119-130.
- Gonçalves, P. S., Bortoletto, N., Ortolani, A. A., Olmos, G. y Rodrigues, W. (1999). Desempenho de novos clones de seringueira. III. seleções promissoras para a região de Votuporanga, Estado de São Paulo. *Pesqui. Agropecuária Bras.*, 34, 971-980.
- Gonçalves, P. S., Cardinal, Á., Costa, R., Bortoletto, N. y Gouvêa, L. (2005). Genetic variability and selection for laticiferous system characters in *Hevea brasiliensis*. *Genet. Mol. Biol.*, 28, 414-422. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-47572005000300014>

- Gonçalves, P. S., Moraes, M. L. T., Bortoletto, N., Costa, R. y Gonçalves, E. (2005). Genetic variation in growth traits and yield of rubber trees (*Hevea brasiliensis*) growing in the Brazilian state of São Paulo. *Genet. Mol. Biol.* 28, 765-772. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-47572005000500019>
- Gonçalves, P. S., Silva, M. A., Gouvêa, L. R. L. y Scaloppi-Junior, E. J. (2006). Genetic variability for girth growth and rubber yield in *Hevea brasiliensis*. *Sci. Agric.*, 63, 246-254. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-90162006000300006>
- Gonçalves, P. S., Ortolani, A. y Cardoso, M. (1997). Melhoramento genético da seringueira: uma revisão. [Documentos IAC, 54]. Campinas: Instituto Agrônômico.
- Gonçalves, P. S., Bortoletto, N., Cardinal, Á., Gouvêa, L., Costa, R. y Moraes, L. (2005). Age-age correlation for early selection of rubber tree genotypes in São Paulo State, Brazil. *Genet. Mol. Biol.*, 28, 758-764. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-47572005000500018>
- Gonçalves, P. S., Bortoletto, N. y Furtado, E. L. (2001). Desempenho de clones de seringueira da série IAC 300 selecionados para a região noroeste do Estado de São Paulo. *Material e Métodos*, 1, 589-599.
- Gonçalves, P. S., Júnior, E., Martins, M., Moreno, R., Branco, R. y Gonçalves, E. (2011). Assessment of growth and yield performance of rubber tree clones of the IAC 500 series. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, 46, 1643-1649. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001200009>
- ISO 126 (2005). Standard 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 (*Hevea spp.*). Brasil: Instituto Agrônômico.
- Mendoza, L. P. y 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.
- Neto, J., Castro, A. y Bianchetti, A. (2003). Aplicação da seleção precoce em famílias de meios irmãos de taxi-branco. *Acta Amaz.*, 33, 85-91. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/1809-4392200331091>
- Neto, J. F., Mattos, C. y Cavaloc, E. (2007). *Nota técnica para microsangria do campo de avaliação de sementes*. Brasil: Plantacoes Michelin da Bahia Ltda.
- Priyadarshan, P. M. (2017). *Biology of Hevea Rubber*. Springer International Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-54506-6>
- Priyadarshan, P. M. y Clément-Demange, A. (2004). Breeding *Hevea* rubber: formal and molecular genetics. *Adv. Genet.*, 52, 51-115. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0065-2660\(04\)52003-5](https://doi.org/10.1016/s0065-2660(04)52003-5)
- Quesada, I., Aristizábal, F. y Montoya, 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. DOI: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2012.1.a06>
- Servicio Nacional de Aprendizaje – Sena. (2006). El caucho natural: caracterización ocupacional. (S. N. de A. (SENA), Ed.). Bogotá, Colombia. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/11404/2101>
- Silva, G. A. P., Gouvêa, L. R. L., Verardi, C. K., De Resende, M. D. V., Scaloppi, E. y Gonçalves, P. S. (2013). Genetic parameters and correlation in early measurement cycles in rubber trees. *Euphytica*, 189, 343-350. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-012-0751-8>
- Sopharat, J., Gay, F., Thaler, P., Sdoodee, S., Na Ayutthaya, S.I., Tanavud, C., Hammecker, C. y Do, F.C. (2015). A simple framework to analyze water constraints on seasonal transpiration in rubber tree (*Hevea brasiliensis*) plantations. *Front. Plant Sci.* 5, 1-11. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00753>
- Souza, A. M. D., Gouvêa, L. R. L., De Oliveira, A. L. B., Silva, G. A. P. y De Souza Gonçalves, P. (2017). Associations among rubber yield and secondary traits in juvenile rubber trees progeny. *Euphytica*, 213. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-016-1804-1>

- Sterling, A. y Hernández, J. 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, 111-125.
- Sterling, A., Martínez-Viuche, E. J., Pimentel-Parra, G. A., Suárez-Córdoba, Y. D., Fonseca-Restrepo, J. A. y 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. DOI: 111811. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111811>
- Sterling, A. y Rodríguez, C. H. (Eds.). (2011). Nuevos clones de caucho natural para la Amazonia colombiana: énfasis en la resistencia al mal suramericano de las hojas (*Microcyclus ulei*). Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Tan, H., y Subramaniam, S. (1976). A five-parent diallel cross analysis for certain characters of young *Hevea* seedlings. In *Proceedings of International Rubber Conference, 1975, Kuala Lumpur: Research Institute of Malaysia* (pp. 13-26).
- Velásquez, E., Lavelle, P. y Andrade, M. (2007). GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biol. Biochem.*, 39, 3066-3080. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.06.013>
- Vélez, D. F. y Nieto, V. M. (2013). Desempeño inicial de clones de caucho en el municipio de Puerto Carreño, Vichada, Colombia. *Colomb. For.*, 16, 186-199.

Evaluación de la resistencia al hongo *Pseudocercospora ulei* de genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*Hevea brasiliensis*) en condiciones de inoculación controlada en el Caquetá



Armando Sterling Cuéllar^{1*}, Jesica Andrea Fonseca-Restrepo², Juan Diego Hoyos Duarte² y Deicy Lorena Losada Coronado²

¹ Investigador del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, sede Florencia.

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

² Co-investigador del proyecto. Convenio 59-2013, Gobernación del Caquetá – Instituto SINCHI.

12.1. Introducción

El mal suramericano de las hojas (MSH) o SALB (*South American Leaf Blight*) es una enfermedad foliar ocasionada por el hongo ascomiceto *Pseudocercospora ulei* (Hora-Júnior *et al.*, 2014). Esta enfermedad se ha convertido en una de las más agresivas del cultivo de caucho específicamente para el género *Hevea* (Guyot y Le Guen, 2018). La infección sucesiva de *P. ulei* produce daños irreparables en la planta, genera reducción en el crecimiento y caída prematura de las hojas jóvenes, afectando directamente la producción de látex (Gasparotto *et al.*, 2012).

Aunque el árbol de caucho es originario de la región amazónica, el éxito de las plantaciones heveícolas se encuentra en el continente asiático, con una producción del 93% (Castellanos *et al.*, 2009; Sterling y Rodríguez, 2011); América Latina aporta tan solo el 3% de la producción a nivel mundial (Sterling y Rodríguez, 2014) debido, principalmente, a las limitaciones fitosanitarias generadas por *P. ulei* (Gasparotto *et al.*, 1997; Sterling y Rodríguez, 2014).

Los esfuerzos científicos han direccionado los estudios en la búsqueda de estrategias para el control de la enfermedad, debido a que las medidas de control químico y el manejo fúngico, entre otros, no son ecológica ni económicamente viables (Suárez y Furtado, 2015). Entre las estrategias más prometedoras se encuentra el mejoramiento genético para la resistencia a *P. ulei*, empleando clones con diferentes niveles de resistencia a la enfermedad, especialmente en condiciones de alta presión del inóculo del hongo (Cardoso *et al.*, 2014; Le Guen *et al.*, 2008; Sterling *et al.*, 2019).

En este sentido, el uso del mejoramiento genético para la resistencia a *P. ulei* en regiones de no escape a la enfermedad como la Amazonia, son fundamentales para realizar un fomento exitoso del cultivo del caucho (Gasparotto *et al.*, 2012; Sterling y Rodríguez, 2018). En la Amazonia colombiana, y en particular en el departamento del Caquetá, se han realizado diversos estudios para ampliar la base genética del caucho en la región, y se ha promovido el rescate de materiales genéticos regionales de origen sexual, conocidos como árboles élite francos, procedentes de fincas de productores de caucho del Caquetá (Sterling y Rodríguez, 2011, 2017).

De acuerdo con lo anterior, en el presente capítulo se presentan los resultados de la evaluación de la resistencia al hongo *P. ulei* de 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) comparados con el clon IAN 873 (testigo) en condiciones de inoculación controlada en el Caquetá, Colombia.

12.2. Metodología

12.2.1. Condiciones experimentales

El estudio se realizó en el cuarto climatizado del Laboratorio de Fitopatología del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI en Florencia, Caquetá (Colombia). El ambiente

controlado tuvo una temperatura de 23 °C, una humedad relativa 90-95% y un fotoperiodo de 12/12 h (capítulo 4).

12.2.2. Fuente de inóculo

Se emplearon cuatro aislamientos virulentos de *P. ulei*: 1BI, 2FI, 3SI y 4PI, pertenecientes al banco de aislamientos del Laboratorio de Fitopatología del Instituto SINCHI (capítulo 4). Estos aislamientos se conservaron en medio de crecimiento (MC) (Junqueira *et al.*, 1986) y esporulados en medio M4 (papa dextrosa agar - PDA) (Mattos, 1999). En laboratorio, fue posible identificar las estructuras macro y micro-morfológicas de los aislamientos obtenidos *in vitro*. Se observaron aislamientos con estructuras estromáticas y micelio de color café y gris oscuro, con apariencia aterciopelada característico de *P. ulei* (Figura 12.1a).

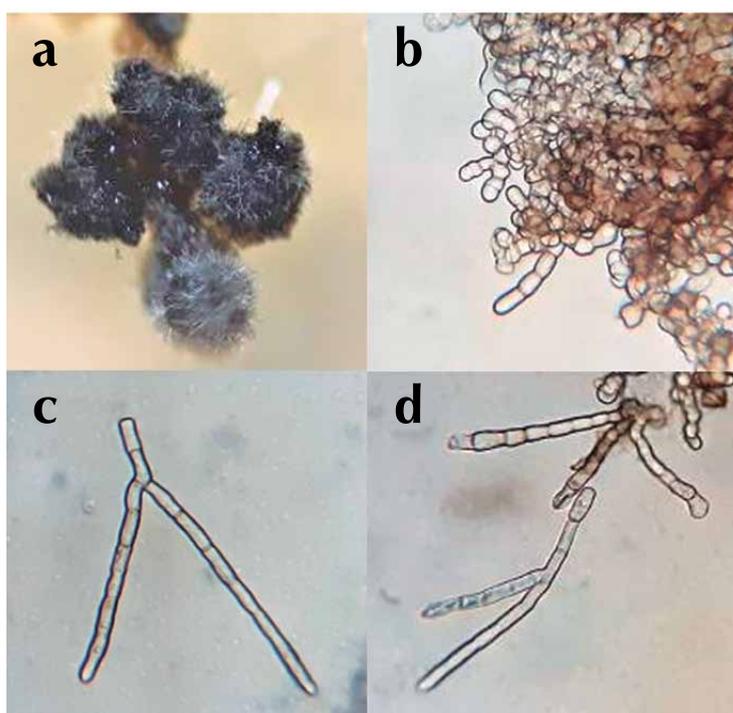


Figura 12.1. Estructuras macroscópicas y microscópicas de aislamientos de *P. ulei*. (a) Crecimiento *in vitro* de *P. ulei* en estado estromático con formación de micelio; (b) Estroma de *P. ulei* (aumento de 40x); (c) Hifas septadas (aumento de 40x); y (d) Micelio de *P. ulei* y formación de conidióforos (aumento de 40x).

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se observó un micelio dematiaceo con septos y presencia de conidióforos (figuras 12.1b y 12.1c). Los conidióforos son ligeramente verdosos y se forman a partir del tejido estromal (figura 12.1d).

Se identificaron también esporas asexuales (conidios) libres y con formación de tubos germinativos e hifas septadas a partir de la formación de tubos germinativos (figura 12.2). Del mismo modo, se observaron esporas sexuales (ascosporas) irregulares elipsoidales a fusoides, bicelulares y septadas, formando montículos (figura 12.2).

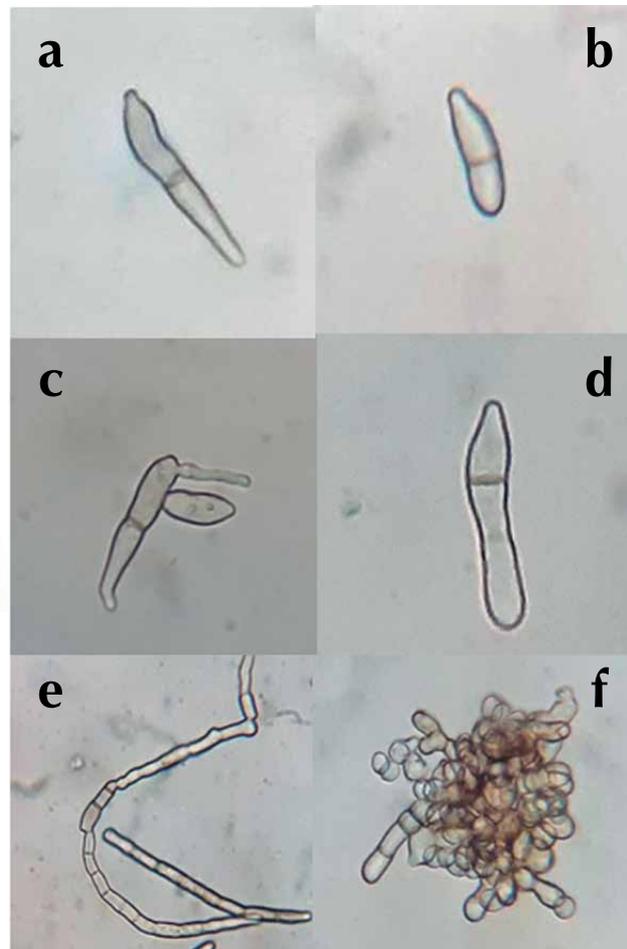


Figura 12.2. Estructuras microscópicas de *P. uliei*. (a) Conidio característico de la fase anamórfica de *P. uliei*; (b) Ascospora característica de la fase telomórfica de *P. uliei*; (c) Conidio con formación de tubos germinativos; (d) Ascospora bicelular fusóide; (e) Hifas septadas a partir de la formación de tubos germinativos; y (f) Ascosporas formando montículos.

Fuente: Elaboración propia.

12.2.3. Material vegetal

Se estudiaron 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) (tabla 9.1).

12.2.4. Inoculaciones controladas y diseño experimental

Para las inoculaciones se empleó una suspensión de inóculo con una concentración de 2×10^5 conidios/ml, la cual se asperjó en el envés de 12 folíolos jóvenes en estadio B₂, empleando un aerógrafo acondicionado a un compresor eléctrico a 4.5 Pa de presión. Se inocularon cinco plantas (unidad experimental) por genotipo y cuatro aislamientos por cada planta de cada genotipo (capítulo 4).

Se empleó un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 100×4 (100 genotipos y cuatro aislamientos) con cinco repeticiones, para un total de 400 tratamientos y 2000 plantas evaluadas.

12.2.5. Seguimiento del periodo de post-inoculación

Los folíolos inoculados se monitorearon desde las 24 horas y en adelante diariamente hasta el día 12 después de la inoculación, a partir del cual se registraron las lesiones producidas por la fase asexual conidial de *P. ulei* en folíolos jóvenes en estadio C. Las lesiones en folíolos maduros en estadio C, producidas por la fase sexual ascospórica de *P. ulei*, se registraron entre los 45 y 60 días después de la inoculación en un vivero con polisombra al 50% (Sambugaro y Furtado, 2007).

12.2.6. Evaluación de los componentes de resistencia a *P. ulei*

La severidad del mal suramericano de las hojas (*P. ulei*) en hojas jóvenes (estadio C) (SMSHJ) y en hojas maduras (estadio D) (SMSHM) se evaluó con la escala de Chee y Holliday (1986) adaptada por Rivano *et al.* (2010), basada en el porcentaje de área foliar con síntomas o signos del patógeno, con nota de 0 a 4, así: 0 = < 0% (ataque nulo o resistencia); 1 = 1 - 5% (ataque leve); 2 = 6 - 15% (ataque moderado); 3 = 16 - 30% (ataque severo); y 4 = > 30% (ataque muy severo).

El tipo de reacción (TR) basado en la intensidad de esporulación asexual (conidial) sobre folíolos jóvenes (estadio C) se realizó con la escala de Junqueira *et al.* (1986), adaptada por Mattos *et al.* (2003), con notas que van de 1 a 6, donde: 1 = lesiones necróticas sin esporas; 2 = lesiones no necróticas sin esporas; 3 = esporulación muy débil sobre la cara inferior de la lesión; 4 = esporulación fuerte cubriendo parcialmente la cara inferior de la lesión; 5 = esporulación fuerte cubriendo toda la cara inferior de la lesión; y 6 = esporulación muy fuerte cubriendo toda la cara inferior de la lesión y fuerte en la cara superior.

La densidad estromática (DE), basada en la intensidad de la esporulación sexual (ascospórica) sobre folíolos con madurez fisiológica (estadio D), se realizó con la escala de 0 a 4 propuesta por Rivano *et al.* (2010) y adaptada pictóricamente para mayor comprensión, donde: 0 = ausencia de estromas; 1 = menos de 5 lesiones con estromas por folíolo; 2 = entre 5 y 10 lesiones con estroma por folíolo; 3 = entre 11 y 30 lesiones con estromas por folíolo; y 4 = más de 30 lesiones con estromas por folíolo.

12.2.7. Análisis de la información

Las variables de resistencia a *P. ulei* se analizaron mediante un ANOVA con el fin de determinar la variación entre genotipos y aislamientos. Una prueba LSD de Fisher al 5% de significancia permitió contrastar la diferencia entre los valores promedios de estas variables. Adicionalmente, se realizó un análisis de conglomerados, empleando el método de Ward y la distancia Euclídea, lo cual permitió agrupar los genotipos por su resistencia a *P. ulei* y un análisis de componentes principales permitió ordenar los grupos de genotipos de acuerdo a su reacción a los distintos aislamientos de *P. ulei*. Un ANOVA con una prueba LSD de Fisher ($\alpha = 0,05$) permitió contrastar las medias de las variables entre los grupos de genotipos.

Las medias de todas las variables estimadas por genotipo fueron normalizadas en el intervalo [0,1 – 1], al igual que Velásquez *et al.* (2007), utilizando la fórmula:

$$Y = 1,1 - (0,1 + (x-b)/(a-b)*0,9)$$

Ecuación (12.1)

Donde:

- x = Variable a transformar
- a = Valor máximo de la variable
- b = Valor mínimo de la variable

Luego, se calculó la media ponderada de todas las variables transformadas, usando la siguiente ponderación: DE (35%), TR (30%), SMSHM (25%) y SMSHJ (10%). Esta media fue ordenada de mayor a menor con el fin de obtener el escalafón de los mejores genotipos por resistencia a *P. ulei*. Las pruebas estadísticas se realizaron con el programa InfoStat versión 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).

12.3. Resultados y discusión

12.3.1. Análisis de la resistencia a *P. ulei* por genotipos

Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre genotipos y entre aislamientos para las cuatro variables estudiadas ($P < 0,05$). El clon testigo IAN 873 presentó la menor resistencia a *P. ulei*, obteniendo las notas más altas para SMSHJ, SMSHM, TR y DE. Los 99 genotipos caquetenses exhibieron mayores niveles de resistencia a *P. ulei*, comparados con el clon IAN 873 (tabla 12.1).

El clon IAN 873 presentó la mayor severidad en hojas jóvenes (SMSHJ) con una nota media máxima de 1,85, seguido de los genotipos ECC 143 y ECC 120 (ambos, SMSHJ = 1,25 (tabla 12.1). El genotipo ECC 158 tuvo la menor media de SMSHJ (0,25) (tabla 12.1). Entre los aislamientos el 1BI fue el más virulento con una nota media de 0,97.

Para la variable TR se encontraron diferencias significativas entre el clon IAN 873 y los genotipos caquetenses (tabla 12.1). El clon IAN 873 presentó la mayor TR (3,05), seguido de los genotipos

ECC 118 y ECC 144 (ambos, TR = 2,88). Los genotipos ECC 158 y ECC 171 tuvieron las menores notas medias (TR = 0,50).

Las mayores notas medias de SMSHM y DE se presentaron en el clon IAN 873 con 1,30 y 1,45, respectivamente (tabla 12.1). Le siguieron los genotipos ECC 118 (SMSHM = 0,88 y DE = 1,25) y ECC 144 (SMSHM = 0,87 y DE = 1,12). En contraste, 21 genotipos no tuvieron síntomas ni signos en hojas maduras (SMSHM = 0,00 y DE 0,00), entre los que se destacan ECC 158 y ECC 171. El aislamiento 1BI produjo las mayores medias para ambas variables (tabla 12.1).

Estos resultados coinciden con los datos obtenidos por Sterling y Dussán (2012), Sterling *et al.* (2012) y Pimentel-Parra (2020), quienes reportan las notas más altas para severidad, tipo de reacción y densidad estromática en el clon IAN 873, evidenciando su alta susceptibilidad a *P. ulei* en el Caquetá.

Tabla 12.1. Medias de los componentes de resistencia al mal suramericano de las hojas para 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo), y los cuatro aislamientos de *P. ulei* probados en condiciones de inoculación controlada.

Factor		Variables			
		SMSHJ	SMSHM	TR	DE
Genotipo	IAN 873	1,85 ± 0,08a	1,30 ± 0,09a	3,05 ± 0,19a	1,45 ± 0,11a
	ECC 143	1,25 ± 0,11b	0,58 ± 0,12c-f	2,50 ± 0,24a-e	0,58 ± 0,14e-j
	ECC 120	1,25 ± 0,11b	0,83 ± 0,12bc	2,50 ± 0,24a-e	1,00 ± 0,14b-e
	ECC 141	1,17 ± 0,11bc	0,67 ± 0,12b-d	2,33 ± 0,24a-f	0,67 ± 0,14d-h
	ECC 134	1,17 ± 0,11bc	0,33 ± 0,12d-h	1,92 ± 0,24b-k	0,33 ± 0,14h-m
	ECC 102	1,17 ± 0,11bc	0,75 ± 0,12bc	2,58 ± 0,24a-d	0,75 ± 0,14c-g
	ECC 113	1,12 ± 0,13b-d	0,63 ± 0,15b-e	2,50 ± 0,30a-e	0,62 ± 0,18d-i
	ECC 142	1,05 ± 0,08b-d	0,55 ± 0,09b-e	2,65 ± 0,19a-c	0,65 ± 0,11d-h
	ECC 156	1,00 ± 0,13b-h	0,63 ± 0,15b-e	1,88 ± 0,30d-l	0,63 ± 0,18d-j
	ECC 148	1,00 ± 0,13b-f	0,37 ± 0,15d-h	2,25 ± 0,30a-g	0,62 ± 0,18e-j
	ECC 131	1,00 ± 0,13b-f	0,50 ± 0,15b-f	2,50 ± 0,30a-e	0,75 ± 0,18c-h
	ECC 167	1,00 ± 0,13b-g	0,38 ± 0,15c-g	2,00 ± 0,30b-k	0,63 ± 0,18d-j
	ECC 128	1,00 ± 0,09b-e	0,25 ± 0,11d-i	2,44 ± 0,21a-e	0,50 ± 0,12f-k
	ECC 145	1,00 ± 0,13b-f	0,50 ± 0,15b-f	2,50 ± 0,30a-e	0,75 ± 0,18c-h
	ECC 110	1,00 ± 0,11b-e	0,33 ± 0,12d-h	2,00 ± 0,24b-j	0,50 ± 0,14f-k
	ECC 109	1,00 ± 0,13b-f	0,12 ± 0,15f-i	1,50 ± 0,30f-n	0,25 ± 0,18i-m
	ECC 111	1,00 ± 0,13b-f	0,37 ± 0,15c-g	2,00 ± 0,30b-k	0,62 ± 0,18d-j
	ECC 165	1,00 ± 0,13b-f	0,25 ± 0,15d-i	2,13 ± 0,30a-i	0,38 ± 0,18g-m
	ECC 132	1,00 ± 0,11b-f	0,17 ± 0,12f-i	1,92 ± 0,24b-k	0,17 ± 0,14j-m
	ECC 180	1,00 ± 0,13b-f	0,25 ± 0,15d-i	2,25 ± 0,30a-g	0,25 ± 0,18h-m
	ECC 161	1,00 ± 0,13b-f	0,75 ± 0,15bc	2,75 ± 0,30a-c	1,00 ± 0,18a-d
ECC 169	1,00 ± 0,13b-f	0,00 ± 0,15g-i	2,00 ± 0,30b-j	0,00 ± 0,18lm	
ECC 181	1,00 ± 0,09b-f	0,38 ± 0,11d-g	2,13 ± 0,21b-i	0,38 ± 0,12g-l	
ECC 146	1,00 ± 0,13b-f	0,38 ± 0,15c-g	2,38 ± 0,30a-f	0,63 ± 0,18d-j	
ECC 118	1,00 ± 0,13b-f	0,88 ± 0,15ab	2,88 ± 0,30ab	1,25 ± 0,18ab	

Factor		Variables			
		SMSHJ	SMSHM	TR	DE
Genotipo	ECC 192	1,00 ± 0,13b-f	0,13 ± 0,15f-i	2,13 ± 0,30a-i	0,13 ± 0,18j-m
	ECC 197	1,00 ± 0,13b-f	0,25 ± 0,15d-i	1,88 ± 0,30c-l	0,25 ± 0,18h-m
	ECC 196	1,00 ± 0,13b-f	0,50 ± 0,15c-f	2,38 ± 0,30a-f	0,63 ± 0,18d-j
	ECC 185	1,00 ± 0,13b-f	0,38 ± 0,15c-g	2,00 ± 0,30b-k	0,63 ± 0,18d-j
	ECC 193	1,00 ± 0,11b-f	0,08 ± 0,12g-i	1,42 ± 0,24h-o	0,08 ± 0,14k-m
	ECC 162	1,00 ± 0,08b-f	0,00 ± 0,09g-i	1,75 ± 0,19d-l	0,00 ± 0,11m
	ECC 191	1,00 ± 0,09b-f	0,13 ± 0,11f-i	2,00 ± 0,21b-i	0,13 ± 0,12j-m
	ECC 182	1,00 ± 0,13b-f	0,25 ± 0,15d-i	2,25 ± 0,30a-g	0,25 ± 0,18h-m
	ECC 121	1,00 ± 0,08b-f	0,00 ± 0,09h-i	1,25 ± 0,19i-p	0,00 ± 0,11lm
	ECC 103	1,00 ± 0,08b-f	0,50 ± 0,09c-f	2,10 ± 0,19b-i	0,60 ± 0,11d-i
	ECC 149	1,00 ± 0,13b-f	0,50 ± 0,15b-f	2,25 ± 0,30a-h	0,75 ± 0,18c-h
	ECC 157	1,00 ± 0,13b-f	0,38 ± 0,15c-g	2,00 ± 0,30b-k	0,50 ± 0,18e-k
	ECC 125	1,00 ± 0,13b-f	0,50 ± 0,15b-f	2,25 ± 0,30a-h	0,75 ± 0,18c-h
	ECC 159	1,00 ± 0,13b-f	0,50 ± 0,15b-f	2,50 ± 0,30a-e	0,75 ± 0,18c-h
	ECC 144	1,00 ± 0,13b-f	0,87 ± 0,15ab	2,88 ± 0,30ab	1,12 ± 0,18a-c
	ECC 139	1,00 ± 0,09b-f	0,56 ± 0,11b-e	2,38 ± 0,21a-f	0,75 ± 0,12c-g
	ECC 155	1,00 ± 0,13b-f	0,50 ± 0,15c-f	2,25 ± 0,30a-g	0,50 ± 0,18e-k
	ECC 112	1,00 ± 0,11b-g	0,50 ± 0,12c-f	2,08 ± 0,24b-j	0,50 ± 0,14f-k
	ECC 105	0,95 ± 0,08b-g	0,05 ± 0,09g-i	1,95 ± 0,19b-k	0,05 ± 0,11lm
	ECC 135	0,95 ± 0,08b-g	0,10 ± 0,09g-i	2,20 ± 0,19a-h	0,10 ± 0,11k-m
	ECC 122	0,94 ± 0,09b-g	0,37 ± 0,11c-f	2,19 ± 0,21a-h	0,44 ± 0,12g-k
	ECC 136	0,92 ± 0,11b-h	0,00 ± 0,12h-i	1,58 ± 0,24e-m	0,00 ± 0,14lm
	ECC 177	0,92 ± 0,11b-h	0,00 ± 0,12g-i	1,17 ± 0,24j-q	0,00 ± 0,14lm
	ECC 106	0,92 ± 0,11b-h	0,08 ± 0,12g-i	1,67 ± 0,24e-l	0,17 ± 0,14j-m
	ECC 104	0,92 ± 0,11b-h	0,08 ± 0,12g-i	1,75 ± 0,24e-l	0,08 ± 0,14k-m
	ECC 183	0,92 ± 0,11b-h	0,08 ± 0,12g-i	1,75 ± 0,24e-l	0,08 ± 0,14k-m
	ECC 123	0,92 ± 0,11b-h	0,17 ± 0,12f-i	2,00 ± 0,24b-k	0,17 ± 0,14j-m
	ECC 124	0,92 ± 0,11b-h	0,08 ± 0,12g-i	2,67 ± 0,24a-d	0,08 ± 0,14k-m
	ECC 114	0,92 ± 0,11b-h	0,08 ± 0,12g-i	1,75 ± 0,24d-l	0,08 ± 0,14k-m
	ECC 101	0,90 ± 0,08b-h	0,20 ± 0,09f-i	1,80 ± 0,19d-l	0,30 ± 0,11h-m
	ECC 130	0,90 ± 0,08b-h	0,00 ± 0,09i	1,70 ± 0,19e-l	0,00 ± 0,11m
	ECC 178	0,90 ± 0,08b-h	0,10 ± 0,09g-i	1,65 ± 0,19e-l	0,15 ± 0,11j-m
	ECC 151	0,90 ± 0,08b-h	0,40 ± 0,09d-g	2,20 ± 0,19a-h	0,45 ± 0,11g-k
ECC 184	0,87 ± 0,13b-i	0,25 ± 0,15e-i	2,00 ± 0,30b-k	0,25 ± 0,18i-m	
ECC 195	0,87 ± 0,13b-i	0,25 ± 0,15d-i	1,88 ± 0,30c-l	0,25 ± 0,18h-m	
ECC 108	0,87 ± 0,13c-i	0,12 ± 0,15f-i	1,63 ± 0,30f-n	0,12 ± 0,18j-m	
ECC 116	0,87 ± 0,13b-i	0,25 ± 0,15d-i	1,63 ± 0,30e-n	0,25 ± 0,18h-m	
ECC 115	0,87 ± 0,13b-i	0,63 ± 0,15b-e	2,00 ± 0,30b-k	0,63 ± 0,18d-i	
ECC 117	0,87 ± 0,13b-i	0,00 ± 0,15g-i	1,13 ± 0,30j-q	0,00 ± 0,18lm	
ECC 176	0,85 ± 0,08d-i	0,10 ± 0,09g-i	1,30 ± 0,19j-p	0,10 ± 0,11k-m	
ECC 199	0,83 ± 0,11d-i	0,00 ± 0,12g-i	1,08 ± 0,24l-q	0,00 ± 0,14lm	
ECC 168	0,83 ± 0,11d-i	0,00 ± 0,12g-i	1,83 ± 0,24d-l	0,00 ± 0,14lm	
ECC 129	0,83 ± 0,11d-i	0,33 ± 0,12d-h	2,50 ± 0,24a-e	0,50 ± 0,14f-k	

Factor		Variables			
		SMSHJ	SMSHM	TR	DE
Genotipo	ECC 133	0,83 ± 0,11d-i	0,08 ± 0,12g-i	1,67 ± 0,24e-m	0,17 ± 0,14j-m
	ECC 163	0,83 ± 0,11d-i	0,00 ± 0,12g-i	1,75 ± 0,24e-l	0,00 ± 0,14lm
	ECC 150	0,83 ± 0,11d-i	0,00 ± 0,12g-i	1,08 ± 0,24l-q	0,00 ± 0,14lm
	ECC 107	0,83 ± 0,11d-i	0,08 ± 0,12g-i	1,50 ± 0,24g-n	0,08 ± 0,14k-m
	ECC 126	0,83 ± 0,11d-i	0,00 ± 0,12g-i	1,50 ± 0,24g-n	0,00 ± 0,14lm
	ECC 194	0,80 ± 0,08e-i	0,25 ± 0,09e-i	1,65 ± 0,19f-n	0,30 ± 0,11h-m
	ECC 179	0,80 ± 0,08e-i	0,10 ± 0,09g-i	1,85 ± 0,19d-l	0,10 ± 0,11k-m
	ECC 188	0,75 ± 0,11e-i	0,08 ± 0,12g-i	1,42 ± 0,24i-p	0,08 ± 0,14k-m
	ECC 153	0,75 ± 0,13e-i	0,25 ± 0,15d-i	1,88 ± 0,30d-l	0,25 ± 0,18h-m
	ECC 190	0,75 ± 0,13e-i	0,25 ± 0,15d-i	1,63 ± 0,30f-n	0,25 ± 0,18h-m
	ECC 198	0,75 ± 0,13e-i	0,63 ± 0,15b-d	2,13 ± 0,30b-k	0,87 ± 0,18b-f
	ECC 186	0,75 ± 0,13e-i	0,50 ± 0,15c-f	2,00 ± 0,30c-l	0,63 ± 0,18d-j
	ECC 160	0,75 ± 0,13e-i	0,25 ± 0,15d-i	1,88 ± 0,30d-l	0,25 ± 0,18h-m
	ECC 138	0,75 ± 0,11e-i	0,00 ± 0,12g-i	0,92 ± 0,24n-r	0,00 ± 0,14lm
	ECC 189	0,75 ± 0,11e-i	0,00 ± 0,12g-i	0,92 ± 0,24n-r	0,00 ± 0,14lm
	ECC 147	0,75 ± 0,13e-i	0,63 ± 0,15b-d	2,13 ± 0,30b-k	0,87 ± 0,18b-f
	ECC 127	0,75 ± 0,13e-i	0,13 ± 0,15f-i	1,38 ± 0,30i-p	0,25 ± 0,18i-m
	ECC 170	0,75 ± 0,08f-i	0,15 ± 0,09f-i	1,60 ± 0,19g-n	0,15 ± 0,11j-m
	ECC 187	0,69 ± 0,09g-i	0,06 ± 0,11g-i	1,25 ± 0,21j-q	0,06 ± 0,12lm
	ECC 164	0,67 ± 0,11g-j	0,33 ± 0,12d-h	1,50 ± 0,24i-p	0,33 ± 0,14h-m
	ECC 137	0,67 ± 0,11g-j	0,00 ± 0,12hi	1,00 ± 0,24m-r	0,00 ± 0,14lm
	ECC 166	0,65 ± 0,08h-j	0,20 ± 0,09f-i	1,25 ± 0,19l-q	0,20 ± 0,11j-m
	ECC 152	0,62 ± 0,13h-j	0,13 ± 0,15f-i	1,25 ± 0,30k-q	0,25 ± 0,18i-m
	ECC 175	0,62 ± 0,13h-j	0,13 ± 0,15f-i	1,38 ± 0,30j-q	0,25 ± 0,18i-m
	ECC 173	0,62 ± 0,13h-j	0,00 ± 0,15g-i	0,88 ± 0,30n-r	0,00 ± 0,18lm
	ECC 119	0,62 ± 0,09h-j	0,19 ± 0,11f-i	1,44 ± 0,21j-p	0,19 ± 0,12j-m
	ECC 140	0,58 ± 0,11ij	0,00 ± 0,12g-i	0,75 ± 0,24p-r	0,00 ± 0,14m
	ECC 171	0,42 ± 0,11jk	0,00 ± 0,12g-i	0,50 ± 0,24r	0,00 ± 0,14m
ECC 174	0,37 ± 0,13jk	0,00 ± 0,15g-i	0,63 ± 0,30qr	0,00 ± 0,18lm	
ECC 154	0,37 ± 0,13jk	0,00 ± 0,15g-i	0,88 ± 0,30o-r	0,00 ± 0,18lm	
ECC 172	0,37 ± 0,13jk	0,25 ± 0,15d-i	1,00 ± 0,30n-r	0,25 ± 0,18h-m	
ECC 158	0,25 ± 0,13k	0,00 ± 0,15g-i	0,50 ± 0,30r	0,00 ± 0,18lm	
Aislamiento	1BI	0,97 ± 0,02a	0,58 ± 0,03a	2,25 ± 0,05a	0,79 ± 0,04a
	4PI	0,90 ± 0,03b	0,27 ± 0,03b	1,87 ± 0,05b	0,28 ± 0,03b
	3SI	0,86 ± 0,02b	0,12 ± 0,02c	1,62 ± 0,05c	0,14 ± 0,02c
	2FI	0,83 ± 0,02b	0,12 ± 0,02c	1,59 ± 0,05c	0,14 ± 0,02c

^a Error estándar

^b Valores en cada columna con ausencia de letra o seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba LSD, P < 0,05) Clave: SMSHJ: Severidad al mal suramericano de las hojas jóvenes; SMSHM: Severidad al mal suramericano de las hojas maduras; TR: Tipo de reacción; DE: Densidad estromática.

12.3.2. Análisis de la resistencia a *P. ulei* por grupos de genotipos

El análisis de conglomerados permitió separar los 100 genotipos en tres grupos (figura 12.3) y el análisis de componentes principales los ordenó en relación con su reacción frente a los cuatro aislamientos ensayados (figura 12.4). El grupo 1, conformado por el clon IAN 873 y 25 genotipos caquetenses, agrupó aquellos materiales con las mayores medias del MSH (SMSHJ, SMSHM, TR y DE) atribuidas a los aislamientos 2FI y 4PI, así como genotipos más afectados por el aislamiento 3SI (figuras 12.3 y 12.4).

El grupo 2, conformado por 28 genotipos, agrupó los materiales con las medias más altas para las cuatro variables asociadas al aislamiento 1BI, así como los genotipos con las mayores notas de SMSHJ debidas al aislamiento 3SI (figuras 12.3 y 12.4).

En el grupo 3, se ubicaron 46 genotipos con las mayores notas de la enfermedad atribuidas a los cuatro aislamientos evaluados (figuras 12.3 y 12.4).

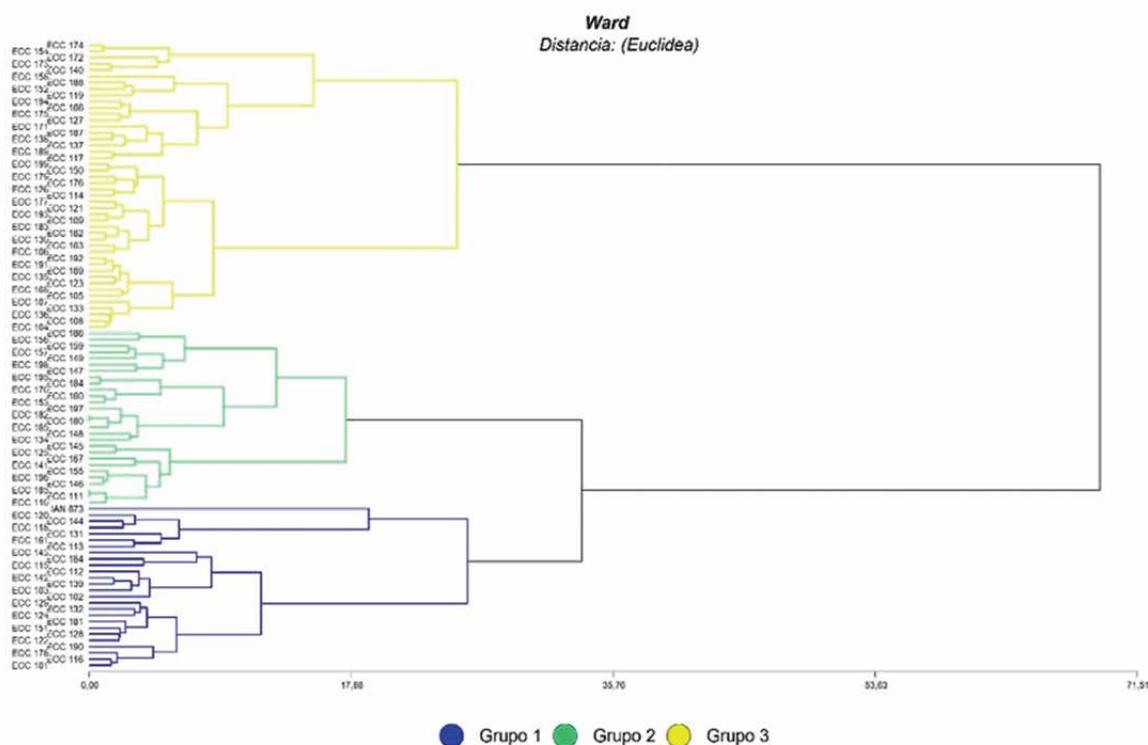


Figura 12.3. Árbol de agrupamiento de 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) a partir de la resistencia a *P. ulei* en condiciones controladas en el Caquetá.

Fuente: Elaboración propia.

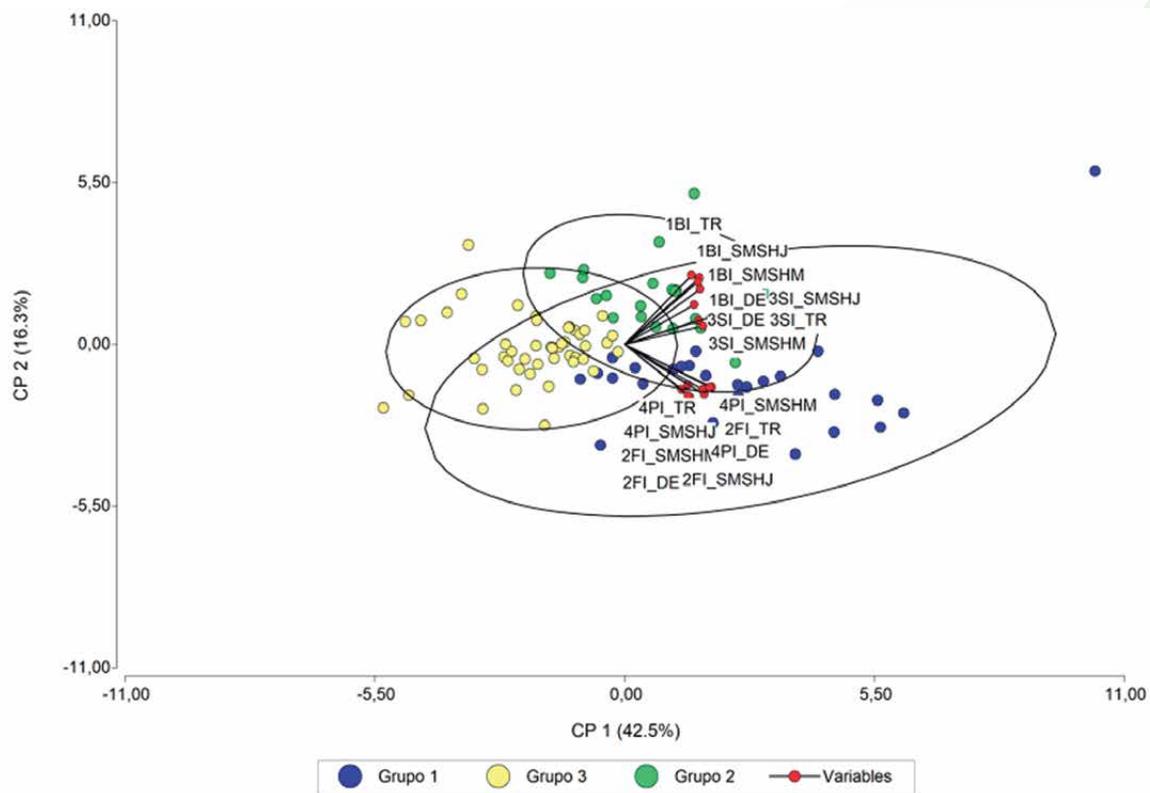


Figura 12.4. Análisis de componentes principales (gráfico biplot) de la representación de los componentes de resistencia asociados a los cuatro aislamientos de *P. ulei* (1B1, 2F1, 3S1 y 4P1) en 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en el Caquetá (Colombia). Clave: Severidad del mal suramericano de las hojas, en hojas jóvenes (SMSHJ) y maduras (SMSHM); tipo de reacción (TR); densidad estromática (DE).

Fuente: Elaboración propia.

Las variaciones observadas en los niveles de susceptibilidad reportados en el presente estudio, probablemente están relacionadas con la variación fisiológica del *P. ulei* (razas) en el Caquetá (Sterling *et al.*, 2010), lo puede evidenciarse por la variación en los niveles de virulencia caracterizada en diversos estudios en la interacción *Hevea* x *P. ulei*, en el sentido en que un genotipo puede ser resistente a una raza, pero susceptible a otra (Bevenuto *et al.*, 2017; Mattos *et al.*, 2003).

12.3.3. Análisis de los componentes de resistencia por grupos de genotipos

• Severidad en hojas jóvenes

Se encontraron diferencias estadísticas significativas en SMSHJ entre grupos de genotipos ($P < 0,05$) (figura 12.5). En general, los grupos 1 y 2 fueron los más afectados por los distintos

aislamientos de *P. ulei* con medias de SMSHJ > 1,0. El grupo 3 agrupó, por tanto, los genotipos más resistentes.

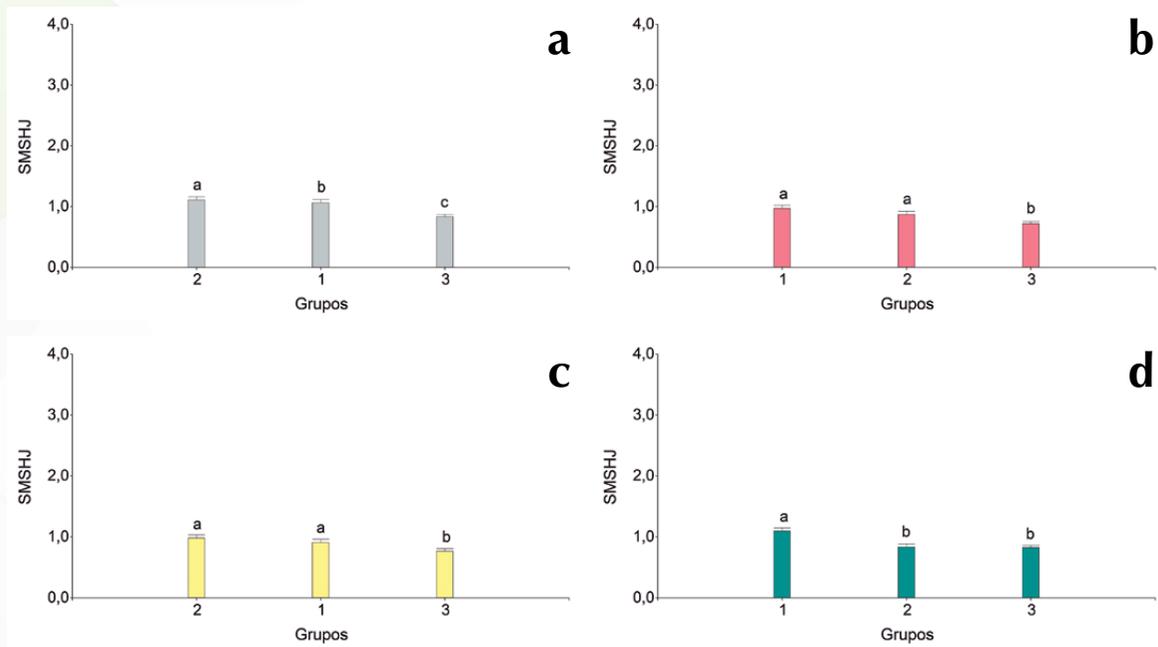


Figura 12.5. Medias de las notas de la severidad del mal suramericano de las hojas en hojas jóvenes (SMSHJ) producida por cuatro aislamientos de *P. ulei* en tres grupos de genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en condiciones de inoculación controlada en Caquetá (Colombia). (a) Aislamiento 1BI; (b) Aislamiento 2FI; (c) Aislamiento 3SI; y (d) Aislamiento 4PI. Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

Según Junqueira *et al.* (1988), en su estudio identificaron perfiles de virulencia entre los aislamientos fúngicos, los rangos de hospedadores y los rangos cuantitativos de agresividad de los aislamientos variaron entre los grupos de genotipos, estas variaciones pudieron atribuirse a las variaciones en la edad de la hoja, la heterogeneidad genética de la porta injerto, la estandarización exacta de la edad y tamaño de los folíolos al momento de llevar a cabo la inoculación.

• Tipo de reacción (Esporulación conidial)

Del mismo modo que ocurrió con la SMSHJ, en los grupos 1 y 2 se ubicaron los genotipos con los mayores niveles de esporulación conidial de *P. ulei* (figura 12.6). El grupo 2 tuvo la mayor media de TR con el aislamiento 1BI (2,97) seguido del grupo 1 que presentó medias de TR > 2,3 para los aislamientos 2FI y 4PI. El grupo fue el más resistente a los cuatro aislamientos de *P. ulei* con medias de TR que oscilaron entre 1,20 y 1,71.

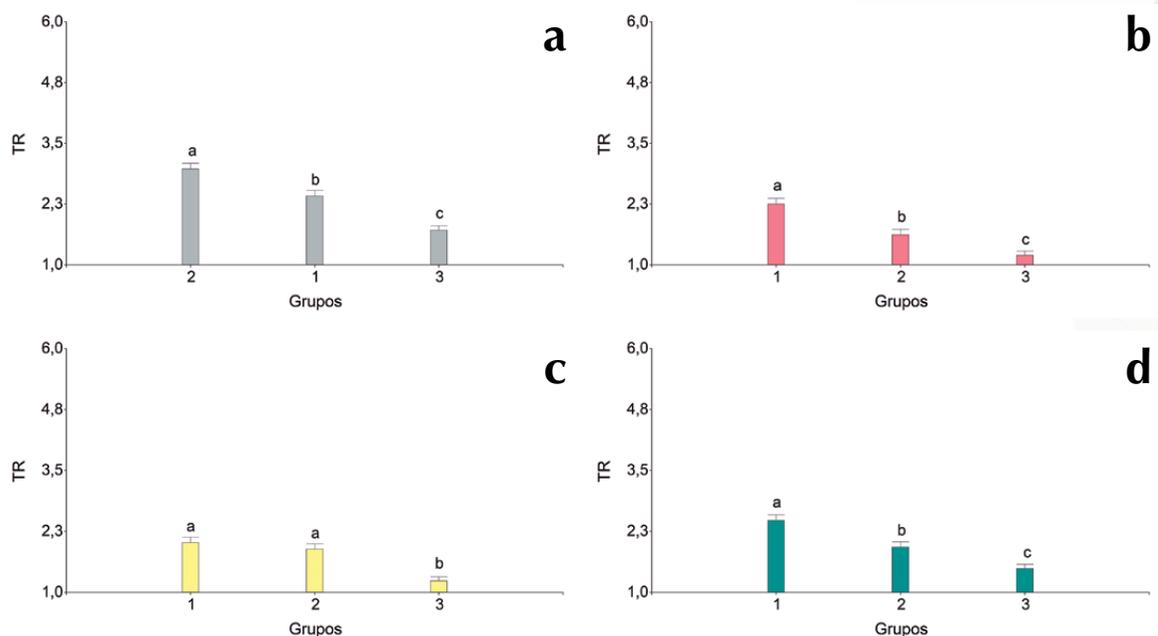


Figura 12.6. Medias de las notas del tipo de reacción (TR) (intensidad de esporulación conidial) producida por cuatro aislamientos de *P. ulmi* en tres grupos de genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en condiciones de inoculación controlada en Caquetá (Colombia). (a) Aislamiento 1BI; (b) Aislamiento 2FI; (c) Aislamiento 3SI, (d) Aislamiento 4PI. Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

La esporulación conidial se expresó de manera diferencial en los tres grupos de genotipos. Algunos grupos expresaron lesiones débiles sobre el envés de la hoja, circulares, poco visibles, y en otros casos las hojas presentaron inicialmente clorosis, lesiones irregulares, luego arrugamiento, deformación, rompimiento de los tejidos sobre la zona marginal y apical y esporulación leve ($TR < 4,0$). Según Sterling y Rodríguez (2011), existen diversos factores, como la reacción de hipersensibilidad y otros mecanismos de resistencia a la muerte celular programada que se genere alrededor de la infección, con el fin de detenerla que evitan la formación de los signos del patógeno (García *et al.*, 1999; Koop *et al.*, 2016; Lieberei, 2007).

• Severidad en hojas maduras

Similar a lo observado en hojas jóvenes, en las hojas maduras los distintos aislamientos de *P. ulmi* produjeron síntomas más intensos en los grupos 1 y 2 (figura 12.7). El aislamiento 1BI produjo la mayor SMSHM (1.13) en el grupo 2, y los otros aislamientos generaron severidades con medias de SMSHM $< 1,0$. El grupo 3 fue el más resistente para todos los aislamientos con notas medias de SMSH $< 0,22$.

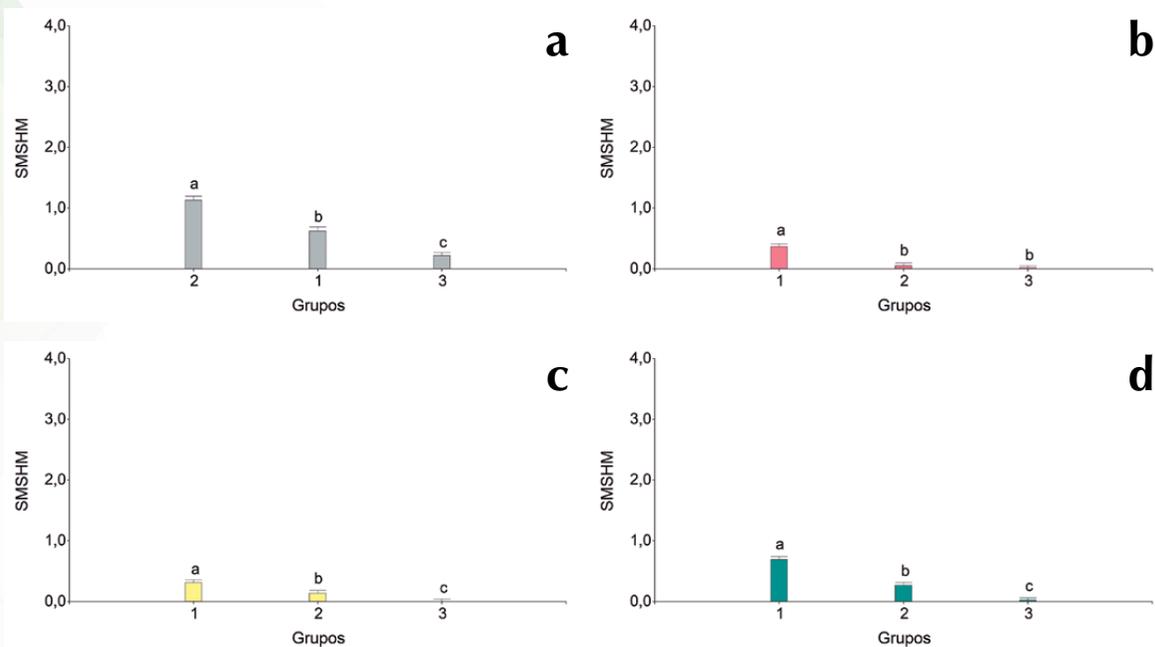


Figura 12.7. Medias de las notas de la severidad del mal suramericano de las hojas en hojas maduras (SMSHM) producida por cuatro aislamientos de *P. ulei* en tres grupos de genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en condiciones de inoculación controlada en Caquetá (Colombia). (a) Aislamiento 1BI; (b) Aislamiento 2FI; (c) Aislamiento 3SI; y (d) Aislamiento 4PI. Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

En hojas maduras se evidenció una menor severidad de *P. ulei*, lo que puede indicar que estos genotipos poseen mecanismos de resistencia más efectivos para atenuar o detener el desarrollo del hongo y sus síntomas asociados en estadios foliares con madurez fisiológica, de modo similar a como ha sido reportado en otros clones como el MDF 180 (Le Guen *et al.*, 2008; Rivano *et al.*, 2013).

• Densidad estromática (esporulación ascospórica)

El grupo 2 presentó las mayores medias de DE con el aislamiento 1BI (1,60) (figura 12.8). Los otros aislamientos produjeron lesiones estromáticas con medias de DE $< 1,0$. El grupo 3 fue el más resistente para todas las variables estudiadas, con medias de DE entre 0,28, 0,45, 0,02 y 0,00, con los aislamientos 1BI, 2FI, 4PI y 3SI, respectivamente.

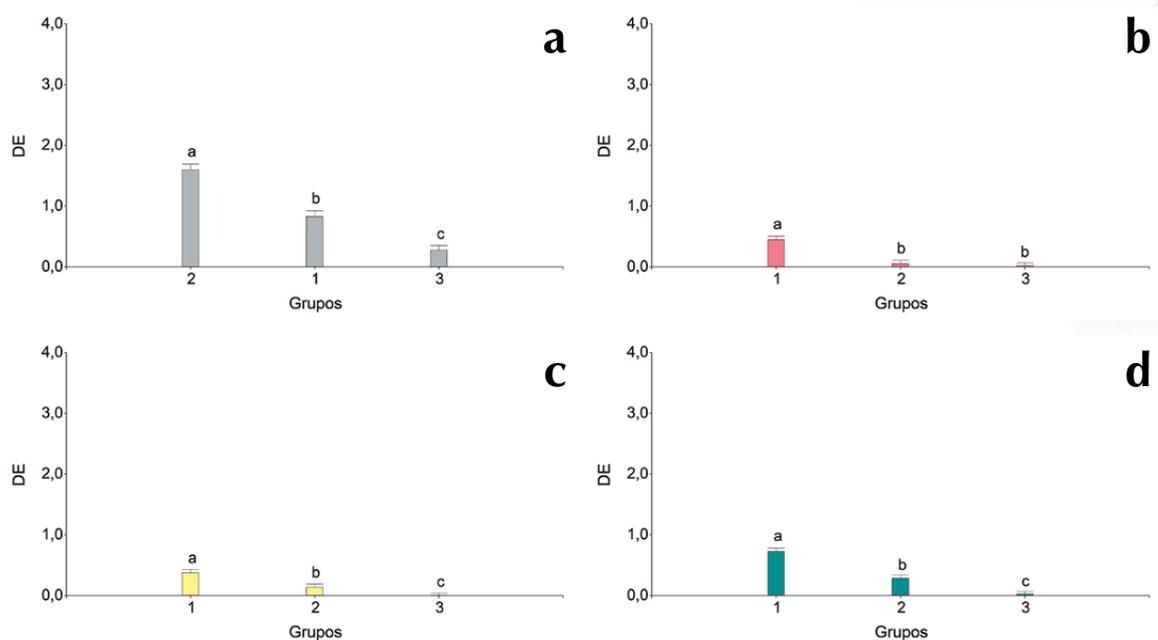


Figura 12.8. Medias de las notas de densidad estromática (DE) producida por cuatro aislamientos de *P. ulei* en tres grupos de genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) y el clon IAN 873 (testigo) en condiciones de inoculación controlada en Caquetá (Colombia). (a) Aislamiento 1BI; (b) Aislamiento 2FI; (c) Aislamiento 3SI; y (d) Aislamiento 4PI. Valores en cada barra seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, prueba LSD ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

Del mismo modo que se explicó para SMSHM, en el presente estudio los tres grupos de genotipos presentaron lesiones leves y en grupos como el grupo 3 hubo ausencia de estromas, es decir, en cerca del 50% de los genotipos evaluados (figura 12.3). Esto, según Le Guen *et al.* (2008), representa una barrera genética fundamental en la interacción patógeno-hospedero para detener la fase telomorfa de *P. ulei*, causa principal de la variabilidad genética del hongo, y por tanto, representa una oportunidad valiosa para identificar nuevas fuentes de resistencia a *P. ulei* que permita contrarrestar la presión del hongo en las condiciones de no escape al mal suramericano de las hojas en la Amazonia colombiana.

12.3.4. Identificación de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 2

En la tabla 12.2 se presentan los mejores genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho por su resistencia al hongo *P. ulei* (SMSHJ, TR, SMSHM y DE) en condiciones de inoculación controlada.

Tabla 12.2. Matriz de identificación de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) comparados con el clon IAN 873 (testigo), basada en los componentes de resistencia a *P. ulei* en condiciones de inoculación controlada

Genotipo	SMSHJ ^a	N ^b _{SMSHJ}	SMSHM	N _{SMSHM}	TR	N _{TR}	DE	N _{DE}	Calificación	Escalafón
ECC 158	0,25	1,000	0,00	1,00	0,50	1,000	0,00	1,00	1,00	1
ECC 171	0,42	0,901	0,00	1,00	0,50	1,000	0,00	1,00	0,99	2
ECC 174	0,37	0,937	0,00	1,00	0,63	0,955	0,00	1,00	0,98	3
ECC 140	0,58	0,811	0,00	1,00	0,75	0,910	0,00	1,00	0,95	4
ECC 154	0,37	0,937	0,00	1,00	0,88	0,865	0,00	1,00	0,95	5
ECC 173	0,62	0,793	0,00	1,00	0,88	0,865	0,00	1,00	0,94	6
ECC 138	0,75	0,721	0,00	1,00	0,92	0,856	0,00	1,00	0,93	7
ECC 189	0,75	0,721	0,00	1,00	0,92	0,856	0,00	1,00	0,93	8
ECC 137	0,67	0,766	0,00	1,00	1,00	0,820	0,00	1,00	0,92	9
ECC 199	0,83	0,676	0,00	1,00	1,08	0,793	0,00	1,00	0,91	10
ECC 150	0,83	0,676	0,00	1,00	1,08	0,793	0,00	1,00	0,91	11
ECC 117	0,87	0,649	0,00	1,00	1,13	0,775	0,00	1,00	0,90	12
ECC 177	0,92	0,622	0,00	1,00	1,17	0,766	0,00	1,00	0,89	13
ECC 121	1,00	0,577	0,00	1,00	1,25	0,739	0,00	1,00	0,88	14
ECC 187	0,69	0,748	0,06	0,96	1,25	0,739	0,06	0,96	0,87	15
ECC 126	0,83	0,676	0,00	1,00	1,50	0,649	0,00	1,00	0,86	16
ECC 136	0,92	0,622	0,00	1,00	1,58	0,622	0,00	1,00	0,85	17
ECC 172	0,37	0,937	0,25	0,83	1,00	0,820	0,25	0,85	0,84	18
ECC 188	0,75	0,721	0,08	0,95	1,42	0,676	0,08	0,95	0,84	19
ECC 176	0,85	0,658	0,10	0,93	1,30	0,721	0,10	0,94	0,84	20
ECC 130	0,90	0,631	0,00	1,00	1,70	0,577	0,00	1,00	0,84	21
ECC 163	0,83	0,676	0,00	1,00	1,75	0,559	0,00	1,00	0,84	22
ECC 107	0,83	0,676	0,08	0,95	1,50	0,649	0,08	0,95	0,83	23
ECC 193	1,00	0,577	0,08	0,95	1,42	0,676	0,08	0,95	0,83	24
ECC 168	0,83	0,676	0,00	1,00	1,83	0,532	0,00	1,00	0,83	25
ECC 162	1,00	0,577	0,00	1,00	1,75	0,559	0,00	1,00	0,83	26
ECC 152	0,62	0,793	0,13	0,91	1,25	0,739	0,25	0,85	0,82	27
ECC 166	0,65	0,775	0,20	0,87	1,25	0,739	0,20	0,87	0,82	28
ECC 175	0,62	0,793	0,13	0,91	1,38	0,685	0,25	0,85	0,81	29
ECC 119	0,62	0,793	0,19	0,87	1,44	0,667	0,19	0,88	0,80	30
ECC 127	0,75	0,721	0,13	0,91	1,38	0,685	0,25	0,85	0,80	31
ECC 108	0,87	0,649	0,12	0,92	1,63	0,604	0,12	0,93	0,80	32
ECC 169	1,00	0,577	0,00	1,00	2,00	0,469	0,00	1,00	0,80	33
ECC 170	0,75	0,721	0,15	0,89	1,60	0,613	0,15	0,91	0,80	34
ECC 104	0,92	0,622	0,08	0,95	1,75	0,559	0,08	0,95	0,80	35
ECC 183	0,92	0,622	0,08	0,95	1,75	0,559	0,08	0,95	0,80	36
ECC 114	0,92	0,622	0,08	0,95	1,75	0,559	0,08	0,95	0,80	37
ECC 133	0,83	0,676	0,08	0,95	1,67	0,586	0,17	0,89	0,79	38
ECC 178	0,90	0,631	0,10	0,93	1,65	0,595	0,15	0,91	0,79	39
ECC 105	0,95	0,604	0,05	0,96	1,95	0,487	0,05	0,97	0,79	40
ECC 106	0,92	0,622	0,08	0,95	1,67	0,586	0,17	0,89	0,79	41
ECC 179	0,80	0,694	0,10	0,93	1,85	0,523	0,10	0,94	0,79	42
ECC 109	1,00	0,577	0,12	0,92	1,50	0,649	0,25	0,85	0,78	43
ECC 190	0,75	0,721	0,25	0,83	1,63	0,604	0,25	0,85	0,76	44
ECC 116	0,87	0,649	0,25	0,83	1,63	0,604	0,25	0,85	0,75	45
ECC 191	1,00	0,577	0,13	0,91	2,00	0,469	0,13	0,92	0,75	46
ECC 164	0,67	0,766	0,33	0,78	1,50	0,649	0,33	0,79	0,74	47
ECC 135	0,95	0,604	0,10	0,93	2,20	0,397	0,10	0,94	0,74	48
ECC 132	1,00	0,577	0,17	0,88	1,92	0,496	0,17	0,89	0,74	49
ECC 194	0,80	0,694	0,25	0,83	1,65	0,595	0,30	0,81	0,74	50

Genotipo	SMSHJ ^a	N ^b _{SMSHJ}	SMSHM	N _{SMSHM}	TR	N _{TR}	DE	N _{DE}	Calificación	Escalafón
ECC 123	0,92	0,622	0,17	0,88	2,00	0,469	0,17	0,89	0,74	51
ECC 192	1,00	0,577	0,13	0,91	2,13	0,424	0,13	0,92	0,73	52
ECC 153	0,75	0,721	0,25	0,83	1,88	0,514	0,25	0,85	0,73	53
ECC 160	0,75	0,721	0,25	0,83	1,88	0,514	0,25	0,85	0,73	54
ECC 101	0,90	0,631	0,20	0,87	1,80	0,541	0,30	0,81	0,73	55
ECC 195	0,87	0,649	0,25	0,83	1,88	0,514	0,25	0,85	0,72	56
ECC 197	1,00	0,577	0,25	0,83	1,88	0,514	0,25	0,85	0,72	57
ECC 184	0,87	0,649	0,25	0,83	2,00	0,469	0,25	0,85	0,71	58
ECC 124	0,92	0,622	0,08	0,95	2,67	0,235	0,08	0,95	0,70	59
ECC 180	1,00	0,577	0,25	0,83	2,25	0,379	0,25	0,85	0,68	60
ECC 182	1,00	0,577	0,25	0,83	2,25	0,379	0,25	0,85	0,68	61
ECC 134	1,17	0,487	0,33	0,78	1,92	0,496	0,33	0,79	0,67	62
ECC 165	1,00	0,577	0,25	0,83	2,13	0,424	0,38	0,77	0,66	63
ECC 181	1,00	0,577	0,38	0,74	2,13	0,424	0,38	0,77	0,64	64
ECC 110	1,00	0,577	0,33	0,78	2,00	0,469	0,50	0,69	0,64	65
ECC 157	1,00	0,577	0,38	0,74	2,00	0,469	0,50	0,69	0,63	66
ECC 122	0,94	0,613	0,37	0,75	2,19	0,406	0,44	0,73	0,63	67
ECC 151	0,90	0,631	0,40	0,72	2,20	0,397	0,45	0,72	0,61	68
ECC 128	1,00	0,577	0,25	0,83	2,44	0,316	0,50	0,69	0,60	69
ECC 111	1,00	0,577	0,37	0,75	2,00	0,469	0,62	0,61	0,60	70
ECC 167	1,00	0,577	0,38	0,74	2,00	0,469	0,63	0,61	0,60	71
ECC 185	1,00	0,577	0,38	0,74	2,00	0,469	0,63	0,61	0,60	72
ECC 112	1,00	0,577	0,50	0,66	2,08	0,442	0,50	0,69	0,60	73
ECC 129	0,83	0,676	0,33	0,78	2,50	0,298	0,50	0,69	0,59	74
ECC 186	0,75	0,721	0,50	0,66	2,00	0,469	0,63	0,61	0,59	75
ECC 155	1,00	0,577	0,50	0,66	2,25	0,379	0,50	0,69	0,58	76
ECC 148	1,00	0,577	0,37	0,75	2,25	0,379	0,62	0,61	0,57	77
ECC 103	1,00	0,577	0,50	0,66	2,10	0,433	0,60	0,63	0,57	78
ECC 156	1,00	0,577	0,63	0,57	1,88	0,514	0,63	0,61	0,57	79
ECC 115	0,87	0,649	0,63	0,57	2,00	0,469	0,63	0,61	0,56	80
ECC 146	1,00	0,577	0,38	0,74	2,38	0,334	0,63	0,61	0,56	81
ECC 196	1,00	0,577	0,50	0,66	2,38	0,334	0,63	0,61	0,54	82
ECC 149	1,00	0,577	0,50	0,66	2,25	0,379	0,75	0,53	0,52	83
ECC 125	1,00	0,577	0,50	0,66	2,25	0,379	0,75	0,53	0,52	84
ECC 143	1,25	0,433	0,58	0,60	2,50	0,298	0,58	0,64	0,51	85
ECC 198	0,75	0,721	0,63	0,57	2,13	0,424	0,87	0,46	0,50	86
ECC 147	0,75	0,721	0,63	0,57	2,13	0,424	0,87	0,46	0,50	87
ECC 131	1,00	0,577	0,50	0,66	2,50	0,298	0,75	0,53	0,50	88
ECC 145	1,00	0,577	0,50	0,66	2,50	0,298	0,75	0,53	0,50	89
ECC 159	1,00	0,577	0,50	0,66	2,50	0,298	0,75	0,53	0,50	90
ECC 139	1,00	0,577	0,56	0,61	2,38	0,334	0,75	0,53	0,50	91
ECC 113	1,12	0,514	0,63	0,57	2,50	0,298	0,62	0,61	0,50	92
ECC 141	1,17	0,487	0,67	0,53	2,33	0,352	0,67	0,59	0,49	93
ECC 142	1,05	0,550	0,55	0,62	2,65	0,244	0,65	0,60	0,49	94
ECC 102	1,17	0,487	0,75	0,48	2,58	0,262	0,75	0,53	0,43	95
ECC 161	1,00	0,577	0,75	0,48	2,75	0,208	1,00	0,38	0,37	96
ECC 120	1,25	0,433	0,83	0,42	2,50	0,298	1,00	0,38	0,37	97
ECC 144	1,00	0,577	0,87	0,40	2,88	0,163	1,12	0,31	0,31	98
ECC 118	1,00	0,577	0,88	0,39	2,88	0,163	1,25	0,23	0,28	99
IAN 873	1,85	0,100	1,30	0,10	3,05	0,100	1,45	0,10	0,10	100

^a Nota media

^b Nota media normalizada [0,1 - 1]. 0,1: genotipo menos deseable; 1: genotipo más deseable

^c Nota media ponderada

Clave: SMSHJ: Severidad al mal suramericano de las hojas jóvenes; SMSHM: Severidad al mal suramericano de las hojas maduras; TR: Tipo de reacción; DE: Densidad estromática.

12.4. Consideraciones finales

Se identificaron 46 genotipos con resistencia completa o parcial a *P. ulei*, de los cuales 20 no presentaron lesiones estromáticas. Asimismo, se confirmó la mayor susceptibilidad del clon IAN 873 frente a los cuatro aislamientos de *P. ulei* probados.

El aislamiento 1BI (procedente de Belén de los Andaquíes) fue el más virulento con las notas más altas para las cuatro variables estudiadas. En contraste, el aislamiento 2FI fue el menos virulento.

Se concluye que los 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho fueron más resistentes a *P. ulei* que el clon IAN 873 (testigo) (tabla 12.2), siendo considerados los más deseables en esta investigación, ya que obtuvieron las mayores calificaciones.

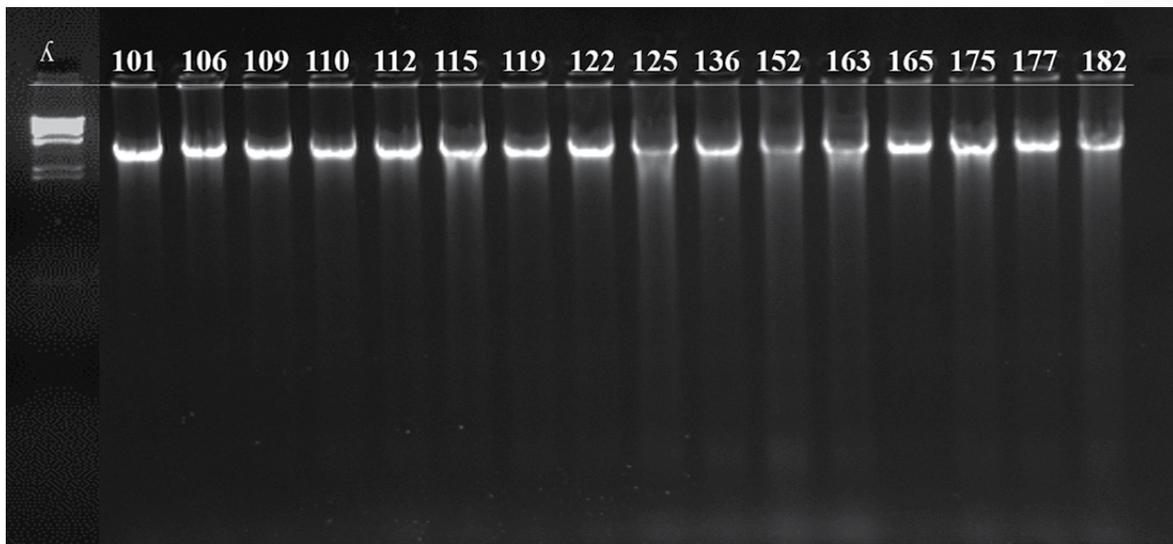
12.5. Referencias bibliográficas

- Cardoso, S. E. A., Freitas, T. A., Silva, D., Gouvêa, L. R. L., Gonçalves, P. S., Mattos, C. R. R. y García, 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.12.033>
- Castellanos, O. F., Fonseca, S. L. y Barón, M. R. (2009). Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de caucho natural y su industria en Colombia. [Proyecto Transición de la Agricultura]. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Chee, K. H. y Holliday, P. (1986). South American leaf blight of *Hevea* rubber. *Malaysian Rubber Res. Dev. Board Monogr.*, 13, 50.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarine, M. G., Gonzales, L., Tablada, M. y Robledo, C. W. (2018). InfoStat versión 2018.
- García, D., Troispoux, V., Grange, N., Rivano, F. y D'Auzac, J. (1999). Evaluation of the resistance of 36 *Hevea* clones to *Microcyclus ulei* and relation to their capacity to accumulate scopoletin and lignins. *For. Pathol.*, 29, 323-338. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1439-0329.1999.00161.x>
- Gasparotto, L., Dos Santos, A., Pereira, J. y Ferreira, F. (1997). Doenças da seringueira no Brasil. Brasil: Embrapa-CPPA.
- Gasparotto, L., Pereira, J. C. R. y Furtado, E. L. (2012). Doenças da seringueira no Brasil. *Empres. Bras. Pesqui. Agropecuária*, 4, 39-176.
- Gonçalves, P. S. (1986). Novos clones de seringueira para o estado de São Paulo. En, *Simpósio Sobre a Cultura da Seringueira no Estado de São Paulo*, pp. 95-123. Piracicaba, Campinas, Brasil: Fundação Cargilí. Recuperado de <https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/www/gdsv/conteudoPalestras/III-Encontro-2013/01-RecomendacaoNovosClonesSeringueiraEstSP-Paulo-de-Souza-Goncalves.pdf>
- Guyot, J. y Le Guen, V. (2018). A review of a century of studies on south american leaf blight of the rubber tree. *Plant Dis.*, 1-14. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-17-0592-FE>
- Hora-Júnior, B. T., De Macedo, D. M., Barreto, R. W., Evans, H. C., Raimundo, C., Mattos, R., Maffia, L. A., y Mizubuti, E. S. G. (2014). En Erasing the Past : A new identity for the damoclean pathogen causing south american leaf blight of rubber. *PLoS One*, 9, e104750. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104750>

- Junqueira, N. T., Chaves, G., Zambolim, L., Gasparotto, L., y Alfenas, A. (1986). Variabilidade fisiológica de *Microcyclus ulei*. *Fitopatol. Bras.*, 11, 823-833.
- Junqueira, N. T. V., Chaves, G. M., Zambolim, L., Alfenas, A., y Gasparotto, L. (1988). Reação de clones de seringueira a varios isolados de *Microcyclus ulei*. *Pesqui. Agropecuária Bras.*, 23, 877-893.
- Koop, D. M., Rio, M., Sabau, X., Almeida, S. E., Cazeveille, C., Leclercq, J., y Garcia, D. (2016). Expression analysis of ROS producing and scavenging enzyme-encoding genes in rubber tree infected by *Pseudocercospora ulei*. *Plant Physiol. Biochem.*, 104, 188-199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.03.022>
- Le Guen, V., Guyot, J., Mattos, C. R. R., Seguin, M., y Garcia, D. (2008). Long lasting rubber tree resistance to *Microcyclus ulei* characterized by reduced conidial emission and absence of teleomorph. *Crop Prot.*, 27, 1498-1503. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.07.012>
- Lieberei, R. (2007). South american leaf blight of the rubber tree (*Heveas*): New Steps in Plant Domestication using Physiological Features and Molecular Markers. *Ann. Bot.*, 100, 1125-1142. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcm133>
- Mattos, C. R. (1999). Meios de cultura com água de coco verde para esporulação de *Microcyclus ulei*. *Fitopatol. Bras.*
- Mattos, C. R. R., Garcia, D., Pinard, F., y Le Guen, V. (2003). Variabilidade de isolados de *Microcyclus ulei* no sudeste da bahia. *Fitopatol. Bras.* 28, 502-507. <https://doi.org/10.1590/s0100-41582003000500006>
- Pimentel-Parra, G. A. (2020). Resistencia a *Pseudocercospora ulei* de diez clones de caucho (*Hevea brasiliensis*) bajo condiciones controladas y naturales de infección en Caquetá, Colombia. Universidad de la Amazonía.
- Rivano, F., Martínez, M., Cevallos, V., y 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. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9563-7>
- Rivano, F., Mattos, C. R. R., Cardoso, S. E. A., Martínez, M., Cevallos, V., Le Guen, V., y García, D. (2013). Breeding *Hevea brasiliensis* for yield, growth and SALB resistance for high disease environments. *Ind. Crops Prod.*, 44, 659-670. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.09.005>
- Sambugaro, R., y Furtado, E. L. (2007). Estágios foliares, fenologia da seringueira (*Hevea* spp.) e interação com *Microcyclus ulei* (Mal das folhas). [Tesis]. Brasil: Campus de Botucatu.
- Sterling, A., y Dussán, I. (2012). Resistencia a *Microcyclus ulei* (P. Henn.) v. Arx y desempeño de clones promisorios de caucho [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.] en el suroccidente del departamento del Caquetá. *Ing. Amaz.*, 5, 5-16.
- Sterling, A., Martínez-Viuche, E. J., Pimentel-Parra, G. A., Suárez-Córdoba, Y. D., Fonseca-Restrepo, J. A., y Virguez-Díaz, Y. R. (2019). Dynamics of adaptive responses in growth and resistance of rubber tree clones under south merican leaf blight non-escape conditions in the colombian Amazon. *Ind. Crops Prod.*, 141, 111811. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111811>
- Sterling, A., y Melgarejo, L. M. (2014). Variación temporal a *Microcyclus ulei* en los clones de caucho FX 3864 y FX 4098 en condiciones controladas. *Rev. Colomb. Biotecnol.*, 16, 158-168. DOI: <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v16n2.47249>
- Sterling, A., y Rodriguez, C. (2018). Estrategias de Manejo para las principales enfermedades y plagas del cultivo del caucho con énfasis en la amazonia colombiana. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A., y Rodriguez, C. (Eds.) (2017). Bases técnicas para la selección, propagación y establecimiento de materiales regionales elite de caucho en Caquetá. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.

- Sterling, A., y Rodríguez, C. H. (2014). Agroforestería en el Caquetá : clones promisorios de caucho en asocio con copoazú y plátano hartón con potencial para la Amazonia colombiana. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI .
- Sterling, A., Rodríguez, C. H. (2011). Nuevos clones de caucho natural para la Amazonia Colombiana: énfasis en la resistencia al mal suramericano de las hojas (*Microcyclus ulei*). Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A., Rodríguez, C. H., Dussan, I., Correa, J., Vargas, M. A., Centeno, A., Sánchez, R., Rodríguez, A. F., Plaza, C. D., Castro, D., Salas, Y. M., Ossa, E. O., Ruiz, P. N., Castillo, J. O. (2012). Evaluación fitosanitaria con énfasis en la resistencia a *Microcyclus ulei* de diez clones de caucho natural (*Hevea brasiliensis*) en Campo Clonal a Gran Escala CCGE. En *Ampliación de la base genética de caucho natural con proyección para la Amazonia colombiana: fase de evaluación en periodo improductivo a gran escala*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, 79-121.
- Sterling, A., y 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*). Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A., Rodríguez, O., y Quintero, L. (2010). Variabilidad fisiológica de aislamientos de *Microcyclus ulei* de la Amazonia colombiana. *Momentos Cienc.*, 7, 30-35.
- Suárez, E., y Furtado, J. (2015). Clones de *Hevea brasiliensis* de alta productividad caracterizados por resistencia a *Microcyclus ulei* en jardín clonal en el Magdalena Medio colombiano. *Summa Phytopathol.*, 41, 115-120.
- Velásquez, E., Lavelle, P., y Andrade, M. (2007). GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biol. Biochem.*, 39, 3066-3080. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.06.013>

Caracterización de la variabilidad genética de genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*Hevea brasiliensis*) mediante el uso de descriptores morfológicos y marcadores moleculares microsatélites (SSRs) en el Caquetá



Ginna Patricia Velasco Anacona¹, Ana Lucía Noguera Bolaños¹, Girley Collazos Álvarez¹, Gladys Inés Cardona Vanegas² y Armando Sterling Cuéllar³

13.1. Introducción

La creciente importancia del caucho natural ha motivado a muchos investigadores a desentrañar la biología, la fisiología y la regulación de sus productos clave (Kanlaya *et al.*, 2016). El cultivo de caucho natural [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg] se ha establecido en grandes áreas de cultivo en Colombia (con 53.223 ha) y el departamento del Caquetá no es la excepción (con 5.600 ha) (CCC, 2015).

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

1 Co-investigador del proyecto. Convenio 59-2013, Gobernación del Caquetá – Instituto SINCHI.

2 Investigador Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, sede Bogotá

3 Investigador Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, sede Florencia

Su naturaleza heterocigota y ciclos de crecimiento largo han disminuido el desarrollo de cultivos de alto rendimiento (Kanlaya *et al.*, 2016). A nivel local, la variabilidad genética de materiales de origen asiático y americano introducidos como los clones IAN 873, IAN 710 y FX 3864 han presentado reducciones en su desempeño en etapa improductiva e incrementado la susceptibilidad a los principales limitantes fitosanitarios del cultivo (Sterling y Correa, 2010).

En la actualidad, los programas de mejoramiento genético han permitido ampliar la disponibilidad de germoplasma de caucho y fomentar la siembra de nuevos materiales promisorios con características deseables para determinadas regiones, mediante la incorporación de poblaciones genéticamente variables (Gonçalves *et al.*, 1997). En este sentido, se hace necesario el conocimiento básico de las características genéticas de las poblaciones de plantas de caucho para llevar a cabo una reproducción y selección efectiva (Gonçalves *et al.*, 2006).

La capacidad adaptativa de los materiales de caucho se ha estimado mediante la caracterización morfológica a partir de descriptores que permiten estimar la variabilidad genética de cultivos, empleando características como forma, color y textura del foliolo y forma del tallo, que se pueden usar en todas las edades de los árboles (Quesada, Quintero, Aristizábal y Rodríguez, 2011; Sterling *et al.*, 2011).

El uso de nuevas tecnologías se ha convertido en herramienta esencial para aumentar la eficiencia en el cultivo de caucho. De este modo, los marcadores moleculares son ampliamente utilizados para rastrear loci y regiones del genoma (Gouvea *et al.*, 2010). Entre las clases de marcadores existentes, se encuentran los microsatélites o repeticiones de secuencia simple (SSR), son secuencias simples, codominantes y cortas que se repiten (de 1 a 6 nucleótidos) dentro del genoma con una alta tasa de variación en el número de copias de los organismos eucariontes (González, 2003).

Con la combinación de técnicas convencionales de reproducción y moleculares se pretende desarrollar genotipos de caucho con efectos positivos sobre el medio ambiente (Saha y Priyadarshan, 2012), así como mejorar la eficiencia del cultivo al permitir la selección directa de genotipos específicos (Kanlaya *et al.*, 2016), y ahorrar tiempo y recursos cuando se realizan los procesos de selección.

En Colombia, específicamente en el departamento del Caquetá, el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, la Universidad de la Amazonía y la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá – ASOHECA, realizaron en el año 2016 un nuevo rescate de germoplasma local de *H. brasiliensis* a partir de la identificación, selección y caracterización inicial de árboles elite franco (progenies) originados por polinización cruzada natural en fincas de productores de caucho en los dieciséis municipios del Caquetá (Sterling y Rodríguez, 2017), de los cuales se seleccionaron y evaluaron de manera preliminar 99 genotipos caquetenses denominados selección ECC 2 (Sterling y Rodríguez, 2018, 2019).

En el presente capítulo, se presentan los resultados inherentes a la caracterización de la variabilidad genética mediante el uso de 18 descriptores morfológicos vegetativos y 10 loci de micro-

satélite (SSR) en 99 genotipos caquetenses de la selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) y en cultivares de referencia tradicionales en Colombia.

13.2. Metodología

13.2.1. Caracterización morfológica

La caracterización morfológica se realizó sobre los 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 y el clon IAN 873 (testigo), que fueron establecidos en un campo clonal a pequeña escala CCPE en El Paujil, Caquetá (Colombia) (Sterling y Rodríguez, 2017) (capítulo 9). Se aplicaron 18 descriptores morfológicos cualitativos y cuantitativos propuestos por Mercykutty *et al.* (2002) y la UPOV (*Unión for the Protection of New Varieties of Plant*) (2007) los cuales se tomaron como variables categóricas con calificaciones de 1, 3, 5, 7 y 9 (tabla 13.1) en 4 individuos por cada ECC, que presentaron hojas en estadio foliar D según la escala propuesta por Halle *et al.* (1978), sin presencia de lesiones causadas por enfermedades ni deficiencias nutricionales.

Las variables cualitativas incluyen los siguientes descriptores para hojas: forma del pecíolo (FP), orientación del pecíolo (OP), color del foliolo (CF), lustre del foliolo (LF), base del foliolo (BF), forma del foliolo central (FFC), grado de separación del foliolo (GSF), tipo de venación (TV), ápice del foliolo (AF), forma de los folíolos laterales (FFL), color de venación (CV), arreglo de piso foliar (APF), separación del piso foliar (SPF) y yemas axilares (YA). Los descriptores para fustes y ramas fueron: forma de las cicatrices de las hojas (FCH) y rectitud del fuste (RF) (figura 13.1).

Las variables cuantitativas evaluadas fueron: longitud del pecíolo (LP) y tamaño del foliolo (TF); para estos descriptores se realizaron cinco repeticiones en las mediciones y luego se promedió con el fin de obtener un dato representativo (figura 13.1).

Tabla 13.1 Descriptores morfológicos vegetativos evaluados en 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) y el testigo IAN873 en un campo clonal a pequeña escala en El Paujil, Caquetá

DESCRIPTOR	VARIACIÓN	NOTA
Pecíolo (longitud) (LP)	Corto (16 cm)	1
	Medio (16-18 cm)	3
	Largo (>18 cm)	5
Pecíolo (forma) (FP)	Arqueado	1
	Recto	3
	Cóncavo	5
	Forma de "s"	7
Pecíolo orientación (CP)	Hacia arriba	1
	Horizontal	3
	Hacia abajo	5

DESCRIPTOR	VARIACIÓN	NOTA
Foliolo color (CF)	Verde claro	1
	Verde oscuro	3
	Verde amarillento	5
Foliolo (lustre) (LF)	Opaco	1
	Brillante	3
	Semibrillante	5
Foliolo (base) (BF)	Cuneada	1
	Agudo	3
	obtusa	5
Foliolo (tamaño) (TF)	Pequeño <13 cm	1
	Medio 13 cm- 17 cm	3
	largo>17 cm	5
Foliolo (ápice) (AF)	Aristado	1
	Acuminado	3
	Cuspidado	5
	apiculado	7
Foliolo central (forma) (FFC)	Elíptica	1
	Oblanceolada	3
	Diamantelíptica	5
Foliolos laterales (forma) (FFL)	Lanceolada	1
	Obovoide	3
	Elíptica	5
	Oblanceolada	7
Foliolo (grado de separación) (GSF)	Sobrepuesto	1
	separado	3
Venación (tipo) (TV)	Prominente	1
	No prominente	3
Venación (color) (CV)	Verde	1
	Verde amarillento	3
	Amarillo brillante	5
Piso foliar (arreglo) (APF)	Arco	1
	Globular	3
	Cónica	5
	Truncada	7
Piso foliar (Separación) (SPF)	Separado	1
	No bien separado	3
	Difuso	5
Yemas axilares (AY)	hundidas	1
	normal	3
	prominente	5

DESCRIPTOR	VARIACIÓN	NOTA
Forma de las cicatrices de las hojas (FCH)	Media luna gruesa	1
	Redonda	3
	Escudo	5
	Otra	7
Rectitud del fuste (RF)	Sin curvatura en ningún plano	1
	1 sola curvatura leve en un solo plano	3
	1 curvatura en 2 planos o 2 en un solo plano	5
	Más de 2 curvaturas	7
	Muy irregulares	9



Figura 13.1. Algunos parámetros morfológicos vegetativos evaluados en 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) y el testigo IAN 873, en un campo clonal a pequeña escala en El Paujil, Caquetá. (a) Yema axilar – Prominente de la ECC 103; (b) Foliolo con base aguda y ápice aristado de la ECC 140; (c) Foliolo central oblanceolado, base cuneada y ápice aristado de la ECC 113; (d) Foliolos lanceolados, base cuneada de la ECC 162.

13.2.2. Caracterización molecular

La caracterización molecular se realizó sobre los 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 y cuatro cultivares de referencia: el clon IAN 873 (testigo experimental utilizado en el CCPE) y los clones FX 3864, IAN 710 y RRIM 600.

• Recolecta y preparación del material vegetal

El material vegetal fue recolectado de las parcelas elementales establecidas en el CCPE de El Paujil, a partir de hojas frescas seleccionando dos individuos por genotipo y dos hojas por individuo. Las muestras colectadas se introdujeron en bolsas de papel con Sílica gel y se almacenaron en neveras de poliestireno expandido (icopor), luego fueron enviadas al Laboratorio de Biotecnología y Recursos Genéticos del Instituto SINCHI, sede Bogotá. Para preservar el material, este

fue secado en horno por 48 horas a 37 °C y almacenado nuevamente en sobres de papel con gel de sílice para la posterior extracción del material genómico.

• Extracción ADN

El material genético se obtuvo mediante el protocolo de extracción propuesto por Varghese *et al.* (1997) y modificado por Quintero *et al.* (2012)

Se homogeneizaron 0,035 g (peso seco) de tejido foliar con perlas de zirconio/sílice de 2.3 mm en el equipo FastPrep®-24 (MP Biomedicals) a una velocidad de 4 m/s durante un minuto. Posteriormente, se agregó al tejido macerado un volumen de 750 µL de solución de lisis (CTAB 10%; Tris-HCl (pH 8.0) 1 M; EDTA 0.5 M; NaCl 5 M) y se incubó a 60 °C durante 40 minutos, mezclando continuamente. Luego, se adicionó un volumen de cloroformo: alcohol isoamílico (24:1) y se centrifugó a 11000 g por diez minutos a temperatura ambiente. Se recuperó la fase acuosa y se agregó un volumen de isopropanol (500 µL). Posteriormente, se centrifugó a 11 000 g por ocho minutos. Se descartó el sobrenadante y se lavó el precipitado con 500 µL de etanol al 70%, luego se centrifugó a 13 500 g por ocho minutos. Se descartó el sobrenadante y se dejó secar el *pellet*. El ADN fue re-suspendido en agua tipo Milli-Q y se trató con ARNasa a 37 °C durante toda la noche. El ADN se conservó a -20 °C. La calidad y cantidad de ADN se evaluó mediante visualización en geles de agarosa, 0,8% tinción con SYBr Safe (0,5 X) (figura 13.2), y cuantificado utilizando el kit *Qubit*® de *Invitrogen*, haciendo uso del fluorómetro *Qubit*® 3.0.

• Amplificación mediante SSRs

Se utilizaron diez pares de *primers* para loci de microsatélites (SSRs) marcados con fluorocromos (PET, VIC, FAM), diseñados por Saha, Bindu y Nazeer (2005) (HMAC5 y HMCT5), Lespinasse *et al.* (2000) (M574) y García-Romero *et al.* (2011) (SSRH416, HV15, SSRH510, SSRH516, SSRH403, SSRH102 y SSRH548). La mezcla para la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) se mantuvo en un volumen final de 20 µL utilizando 20 ng de ADN (1µL), 1X de Buffer PCR; 1,5 mM MgCl₂; 0,2 mM de dNTPs; 0,2 µM de cada *primers* (*Forward* y *Reverse*) y 1U de Taq polimerasa. Las condiciones de amplificación fueron: 95 °C durante 2 minutos, seguido por 95 °C durante 30 segundos, temperatura de anillamiento para cada par de *primers*: 51 °C (HV15), 55 °C (HMAC5), 57 °C (SSRH 403, SSRH510, SSRH102, SSRH416, SSRH516 y M574) y 59 °C (HMCT5 y SSRH548), durante 30 min por 35 ciclos, 72 °C por 3 min y una extensión final a 72 °C por 15 min.

La visualización de los fragmentos amplificados se realizó por medio de electroforesis capilar utilizando el equipo ABI3500 *Genetic Analyzer* del servicio de secuenciación del Instituto de Genética de la Universidad Nacional (SSiGMOL), para analizar los datos del secuenciador automático se utilizó el Software GeneMapper (Versión 4.1), obteniendo así, la información del tamaño de los fragmentos en pares de bases (pb).

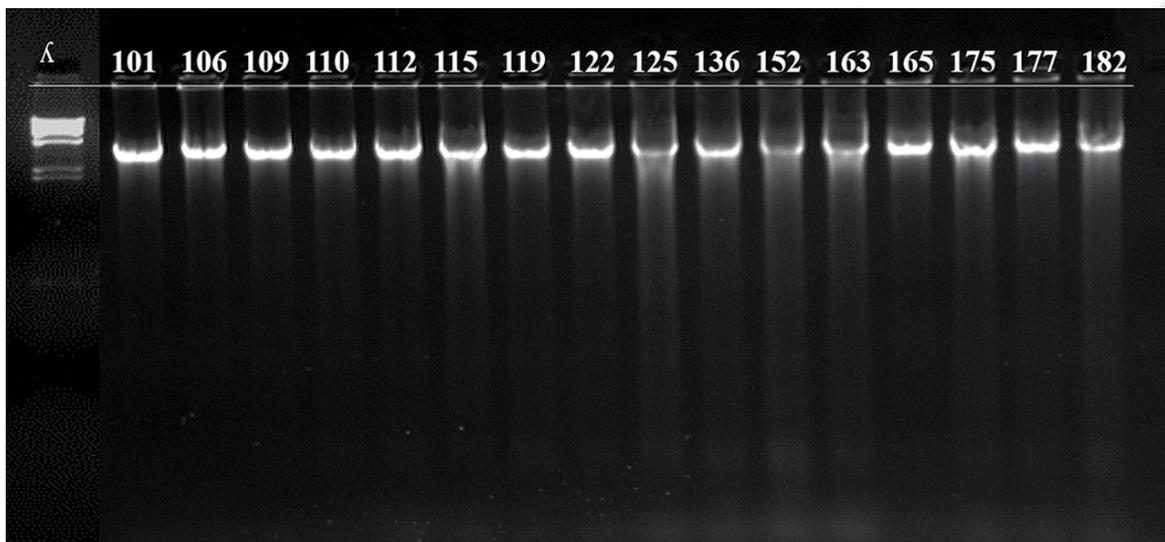


Figura 13.2. Electroforesis de ADN genómico de 19 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*Hevea brasiliensis*).

31.2.3. Análisis estadístico

Se utilizó la moda de cada uno de los descriptores morfológicos en todos los genotipos para luego convertir estos datos en una matriz binaria de presencia (1) y ausencia (0). Se realizó un análisis de agrupamiento, utilizando el algoritmo UPGMA (*Unweighted Pair Group Method using Arithmetic averages*) y la distancia de Jaccard y un análisis de coordenadas principales (PcoA). Los análisis se realizaron en el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2017).

A partir de los tamaños de los fragmentos obtenidos en pares de bases (pb), se construyó una matriz de alelos por locus para cada genotipo con la cual se calcularon los parámetros de diversidad genética para cada locus: contenido de información polimórfica (PIC), índice de diversidad genética medido a través de la Heterocigosis esperada (H) (Nei, 1998), alelos efectivos (Ae) y número total de alelos (NA). Las distancias genéticas entre los genotipos se calcularon utilizando la distancia de Roger y Tanimoto (Goodman y Stuber, 1983). A partir de la matriz de distancias generada, se realizó un análisis de agrupamiento utilizando el algoritmo UPGMA. Los análisis se realizaron en el programa Info-Gen (Balzarini y Di Rienzo, 2012).

13.3. Resultados y discusión

13.3.1. Caracterización morfológica

Debido a la ausencia de variabilidad entre todos los materiales evaluados, se descartaron dos descriptores morfológicos: color de la venación (CV) y forma de los folíolos laterales – obovoide (FFL). En los análisis se incluyó un total de 16 descriptores.

El análisis de agrupamiento mediante el algoritmo UPGMA y la distancia de Jaccard permitió observar que los 99 genotipos caquetenses y el testigo IAN873 evaluados en la caracterización morfológica, se concentraron en 5 grupos (figura 13.3), de la siguiente manera:

- El grupo 1, de color rojo; con una distancia de 0,76, agrupó 22 genotipos y el testigo IAN873, el 100% de estos materiales se caracterizaron por presentar forma del foliolo central oblanceolada y el 95,5% presentaron forma de cicatriz de la hoja – media luna gruesa y grado de separación del foliolo – separado (tabla 13.2).
- El grupo 2, de color verde; presentó una distancia de 0,76, incluyó siete genotipos los cuales se caracterizaron por presentar: color de los foliolos – verde oscuro, lustre de los foliolos – brillante, forma de los foliolos centrales – oblanceolada, tipo de venación – prominente y ápice de los foliolos – acuminado.
- El grupo 3, de color azul; con el mayor número de genotipos (56), presentó una distancia de 0,74, donde el 100% de los materiales se caracterizaron por presentar: grado de separación del foliolo– separado y tipo de venación – prominente y el 98,2% presentó forma del foliolo central oblanceolado. Adicionalmente, los genotipos ECC 108 y ECC 192 procedentes de los municipios de Puerto Rico y Valparaíso, respectivamente, no presentaron variabilidad.
- El grupo 4, de color violeta; obtuvo una distancia de 0,85, representado por el genotipo ECC 147 originado del municipio de Florencia, caracterizado por presentar: ápice del foliolo – aristado, arreglo del piso foliar – arco, yemas axilares – prominente, base del foliolo – aguda, color del foliolo – verde oscuro, forma de cicatriz de la hoja – media luna gruesa, forma del foliolo central – diamante elíptica, forma del pecíolo – arqueado, grado de separación del foliolo – sobrepuesto, lustre del foliolo – brillante, longitud del pecíolo – largo (> 18 cm), orientación del pecíolo – horizontal, rectitud del fuste, sin curvatura en ningún plano, separación del piso foliar – separado y tamaño del foliolo – largo (> 17 cm).
- Finalmente, el grupo 5, de color amarillo; con una distancia de 0,75, agrupó 13 genotipos, donde el 100% de los materiales presentó color del foliolo verde oscuro y el 93,3% presentaron yemas axilares prominentes, forma del pecíolo recto, grado de separación del foliolo –separado y longitud del pecíolo– largo.

No se observó un patrón de agrupación de acuerdo al lugar de origen de cada genotipo, indicando que posiblemente la dispersión geográfica no influye entre las diferencias y similitudes encontradas en las características de los materiales evaluados, lo que podría corresponder a patrones de dispersión antrópica (Paiva, 1981; citado en Sterling *et al.* 2011). No se presenta el PcoA, ya que los dos primeros componentes sólo explican el 19% de la variabilidad.

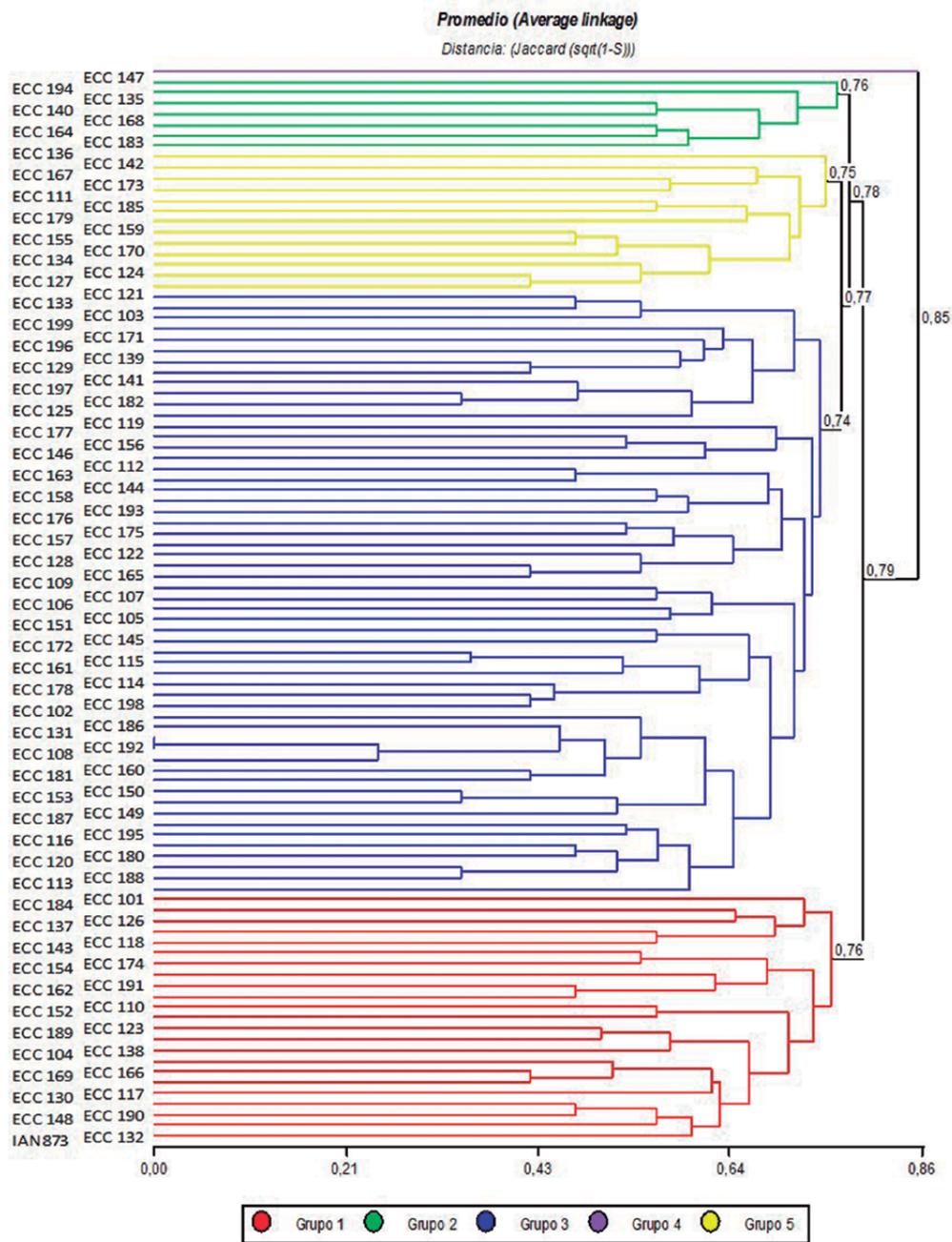


Figura 13.3 Dendrograma obtenido a partir del análisis de agrupamiento (utilizando el algoritmo UPGMA y la distancia de Jaccard) para los 16 descriptores morfológicos vegetativos evaluados en 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*Hevea brasiliensis*) y el testigo IAN 873, en campo clonal a pequeña escala en El Paujil, Caquetá.

Fuente: Elaboración propia.

13.3.2. Caracterización molecular

A partir de los diez SSRs empleados, se obtuvo un total de 189 alelos. El número de alelos por locus varió entre 12 y 30, donde los locus SSRH403 y SSRH102 presentaron los mayores y menores valores, respectivamente (tabla 13.3). Los SSRs que presentaron mayor peso molecular fueron SSRH102 y M574 (con pesos de hasta 272 pb) y los menores pesos se observaron en SSRH516 y HMCT5 (con pesos menores a 180 pb) (figura 13.4). El número de SSRs utilizados y la cantidad de alelos encontrados es mayor con respecto a los utilizados por Saha, Bindu y Nazeer (2005) y Quintero *et al.* (2012) los cuales estudiaron 4 y 5 SSRs, reportando 19 y 43 alelos respectivamente.

Se presentaron altos valores de diversidad genética entre los SSRs, cuyo rango estuvo entre 0,79 y 0,90. Estos valores son similares a los encontrados por García *et al.* (2011) quienes reportaron rangos de H de 0,66 a 0,82 evaluando 11 clones de caucho y, mayores que los observados por Saha, Bindu y Nazeer (2005) quienes evaluaron 27 genotipos de caucho reportando valores de H con un rango de 0,41 a 0,74.

De igual forma, se encontró un alto contenido de información polimórfica, donde los loci SSRH102, SSRH416 y M574 fueron los que más aportaron a la discriminación de genotipos con PIC de 0,88 y alelos efectivos de 9,13, 9,38 y 8,71, respectivamente. Estos resultados coinciden con Lekawipat *et al.* (2003), quienes informaron que el SSR M574 fue altamente polimórfico después de evaluar 108 accesiones de *Hevea* y obtener 21 alelos.

Tabla 13.2 Información genética de diez loci SSRs evaluados en 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) y los cultivares IAN 873 (testigo), IAN 710, FX 3864 y RRIM 600.

Locis SSRs	Secuencias de primers (5´ a 3´)	Fluorocromo	Tamaño de alelos (pb)	H	PIC	Ae	NA
SSRH403	TGCCATCCTGCAGTTATCAG (F)	FAM	228-265	0.84	0.81	6.06	12
	GCACATATGAGGAAGCCACA (R)						
SSRH510	TCAGGGCTTCAGGATGATTC (F)	PET	236-259	0.84	0.81	5.95	15
	GGATGAAGCGCTTATGGAGA (R)						
SSRH102	CCAAGCCAATCATCAGGAAT (F)	VIC	230-294	0.9	0.88	9.13	30
	AGCAGCCCATGATACAACCTG (R)						
SSRH416	GTTCCCAACTACTCGCTTTC (F)	VIC	198-289	0.89	0.88	8.71	22
	GGCATGTGCTACAGCATTGT (R)						
HV15	ACTCGCTGACCATAAAAAAGAAG (F)	FAM	170-265	0.85	0.83	6.37	20
	TATTGGGATCCTATTGAAAAGA (R)						
SSRH516	CCCAATTGTGCAGTAACACG (F)	VIC	170-199	0.81	0.78	5.1	20
	CCCTCCTTGCTGAACTCA (R)						
M574	GCCTTGTGCTCCTACTT (F)	VIC	215-268	0.9	0.88	9.38	23
	GTTTCTTCTGGTTCAAGCCTCTACT (R)						
HMCT5	ATGTATGTGTGCCGAGGAAG (F)	FAM	177-254	0.85	0.83	6.6	18
	CTGTAGTCATGGCAGCAGGA (R)						
HMAC5	TCGGTTGGTTACCATGACA (F)	VIC	177-285	0.81	0.78	5.13	17
	ACATCACATGAGTGTATCTGATCTC (R)						
SSRH548	TGAGCAACGGAGGAGAGAA (F)	PET	142-259	0.79	0.76	4.77	12
	CCAAACACCCAAACCCAATTC (R)						

H: índice de diversidad genética; PIC: contenido de información polimórfica; Ae: Alelos efectivos por locus; NA: número total de alelos.

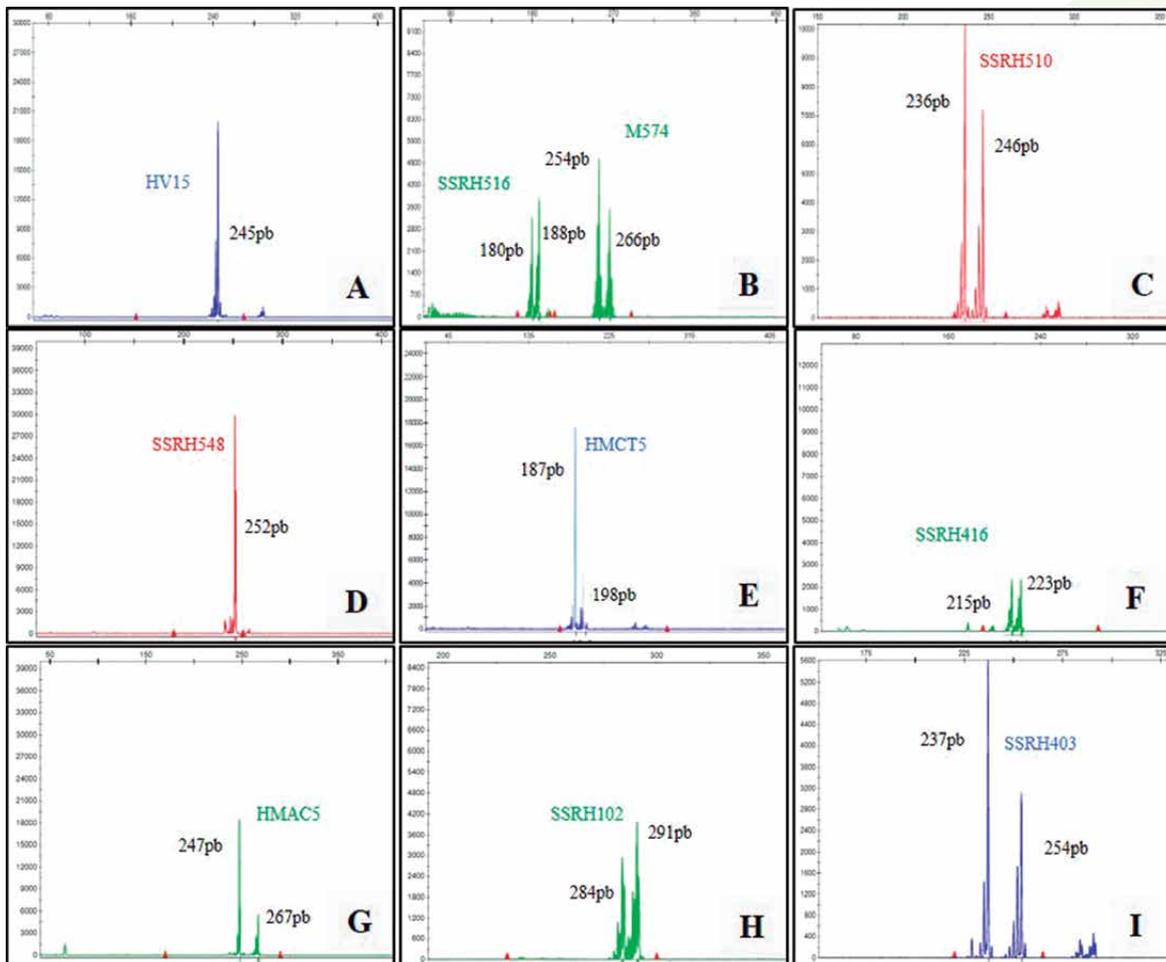


Figura 13.4 Electroferogramas producto de las lecturas de fragmentos marcados con fluorocromos del conjunto de 10 *primers*: (a) HV15; (b) SSRH516 – M574; (c) SSRH510; (d) SSRH548; (e) HMCT5; (f) SSRH416; (g) HMA5; (h) SSRH102 e (i) SSRH403, evaluados en el genotipo ECC 124 de caucho (*H. brasiliensis*) establecido en campo clonal a pequeña escala en El Paujil, Caquetá.

El análisis de agrupamiento mediante el algoritmo UPGMA y la distancia de Roger y Tanimoto, permitió observar que los 99 genotipos caquetenses y los cuatro cultivares evaluados en la caracterización molecular, se concentraron en cinco grupos (Figura 5), de la siguiente manera:

- El grupo 1 de color rojo, con una distancia genética de 0,78, agrupó el mayor número de individuos (34), donde se encuentran los genotipos ECC 101, ECC 102, ECC 104, ECC 105, ECC 106, ECC 108, ECC 116, ECC 119 entre otros, incluido el clon de origen

asiático RRIM 600, probablemente individuos de éste clon correspondan a los parentales de dichos genotipos. La menor distancia genética estuvo dada entre ECC 101 y ECC 105 (0,38), ambos genotipos procedentes del municipio de Puerto Rico.

- El grupo 2 de color azul con una distancia de 0,77, estuvo conformado por los genotipos ECC 186, ECC 176, ECC 164, ECC 180, ECC 181, ECC 177, ECC 156, ECC 157, ECC 133, ECC 192, ECC 114 cuyos parentales pueden corresponder a individuos de los clones IAN 873 y IAN 710, los cuales se encontraban dentro del mismo grupo. La menor distancia genética se observó entre los genotipos ECC 157 y ECC 133 (0,49) procedentes de San Vicente del Caguán y Belén de los Andaquíes, respectivamente.
- El grupo 3 de color amarillo con una distancia de 0,79, conformado por 20 genotipos entre las que se encuentra los genotipos ECC 117, ECC 118, ECC 120 y ECC 122 entre otros, cuyos parentales podrían ser individuos del clon FX 3864 el cual se encontraba en el mismo grupo.
- El grupo 4 de color verde con una distancia de 0,77, estuvo conformado por 23 genotipos entre los que se encuentran ECC 103, ECC 107, ECC 109, ECC 110, ECC 111 entre otros. La menor distancia genética estuvo dada entre los genotipos ECC 155 y ECC 142 (0,38) procedentes de los municipios San Vicente del Caguán y Albania, respectivamente.
- Finalmente, el grupo 5 de color gris, con una distancia de 0,77 estuvo conformado por los genotipos ECC 190, ECC 184, ECC 185 y ECC 188 procedentes de Cartagena del Chairá, ECC 141, ECC 143 y ECC 193 procedentes de El Doncello, ECC 159 de San Vicente del Caguán, ECC 144 y ECC 174 de Albania, ECC 152 de Puerto Rico, ECC 198 de Valparaiso y ECC 135 de Belén de los Andaquíes.

Las distancias genéticas con valores de 0,89 permitieron establecer que los pares de genotipos ECC 180 - ECC 106, ECC 188 - ECC 116, ECC 197 - ECC 160 y ECC 176 -ECC 116, son los más divergentes.

A diferencia del agrupamiento a través de descriptores morfológicos, en este análisis, los genotipos ECC 192 y ECC 108 no presentaron similaridad genética, los cuales se distribuyeron en diferentes grupos con una distancia genética aproximada de 0,76. De igual forma, el genotipo ECC 147, procedente de Florencia, presentó similaridad genética con el genotipo ECC 168 de Doncello. A nivel general, no existió un patrón de agrupación concordante entre la diversidad genética y la diversidad morfológica

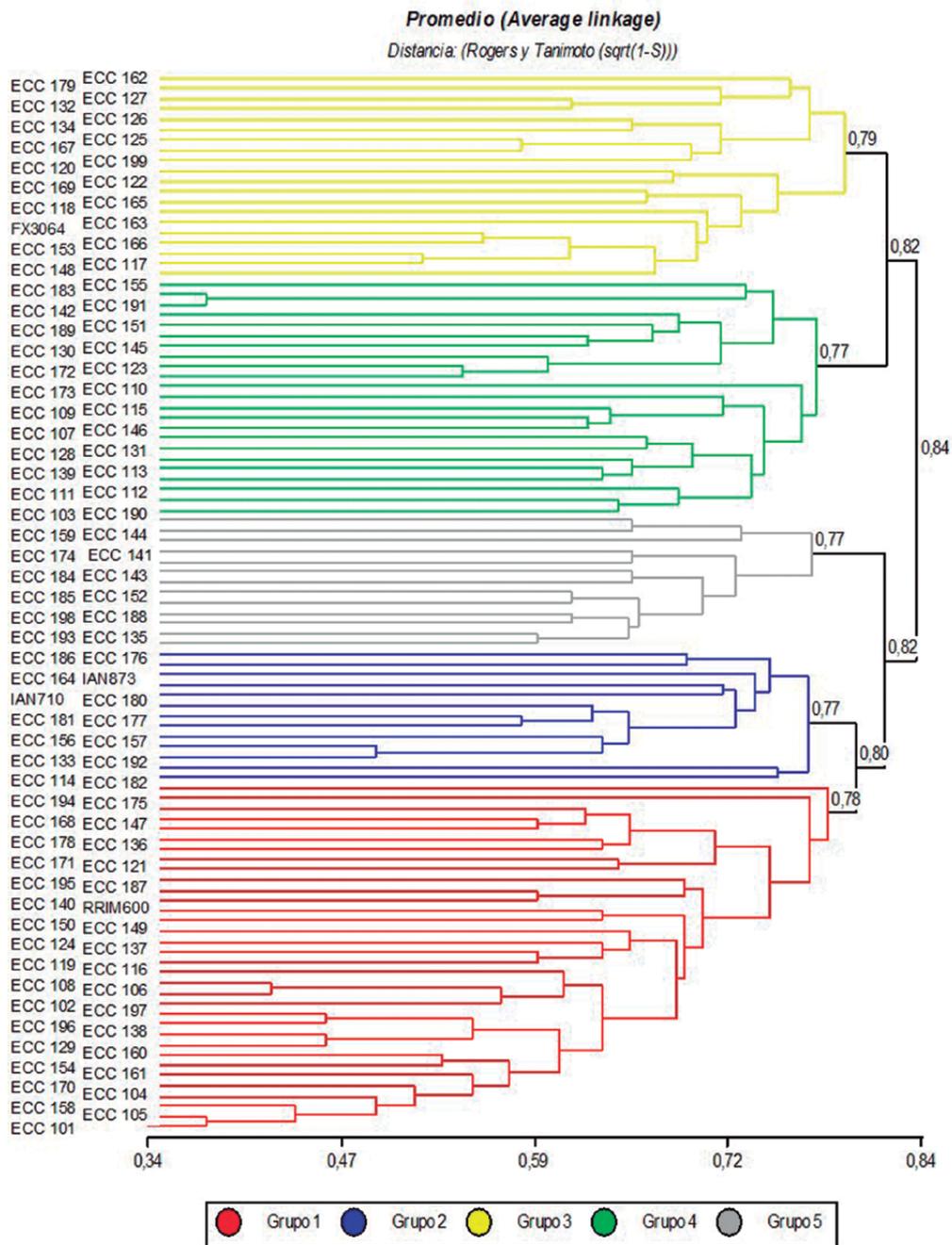


Figura 13.5 Dendrograma obtenido a partir del análisis de agrupamiento (utilizando el algoritmo UPGMA y la distancia de Roger y Tanimoto) para los 10 SSRs evaluados en 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) y los cultivares IAN 873 (testigo), IAN 710, FX 3864 y RRIM 600.

13.4. Consideraciones finales

Mediante el análisis de agrupamiento se pudo concluir que los 99 genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho y el testigo IAN 873, evaluados en la caracterización morfológica, se concentraron en cinco grupos principales, de los cuales la mitad (56 genotipos) se ubicó en un solo grupo y los restantes en los cuatro grupos siguientes, indicando diferencias fenotípicas entre grupos de genotipos.

Del mismo modo, en el análisis de agrupamiento resultante de la caracterización molecular se observó que los 99 genotipos caquetenses y los cuatro cultivares de referencia IAN 873 (testigo), IAN 710, FX 3864 y RRIM 600, se concentraron en cinco grupos, donde se identificó correlación entre un gran número de genotipos con los clones, indicando asociación genética dada la procedencia de los cultivares de referencia y el origen de los genotipos. En contraste, se observó que los genotipos (grupos 4 y 5) se agruparon separadamente respecto a los clones de referencia. La distancia genética determinada en los 99 materiales evaluados permitió discriminar a los siguientes genotipos élite ECC180-ECC106, ECC188-ECC116, ECC197-ECC160, ECC176-ECC116 como los más divergentes respecto al total de la población.

En este sentido, los diez marcadores microsatélites empleados en esta investigación fueron altamente polimórficos, destacándose el Loci microsatélite SSRH 102, con el mayor valor en el contenido de información polimórfica (PIC), por lo que fue considerado como uno de los más informativos al permitir establecer diferencias entre los genotipos de *Hevea*.

13.5. Referencias bibliográficas

- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, y M., Robledo, C. W. (2017). InfoStat. Bogotá: Universidad Nacional de Córdoba.
- Confederación Cauchera De Colombia C. C. C. (2015). Censo de Plantaciones de Caucho Natural (*Hevea brasiliensis*). [Informe]. Bogotá, Colombia.
- García Romero, I., González, S. M. S., Ariztizabal, F., y Castaño, D. M. (2011). Identification in silico of SSR markers for genotyping *Hevea* sp. clone gardens in Colombia. *Agron. Colomb.* 29, 359-366.
- Gonçalves, P. D. S., Silva, M. D. A., Gouvêa, L. R., y Scaloppi, E. J. (2006). Genetic variability for girth growth and rubber yield in *Hevea brasiliensis*. *Sci. Agric.* 63, 246-254. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162006000300006>
- González, E. G. (2003). Microsatélites: sus aplicaciones en la conservación de la biodiversidad. *Graellsia*, 59, 377-388. DOI: <https://doi.org/10.3989/graellsia.2003.v59.i2-3.253>
- Goodman, M. M., y Stuber, C. W. (1983). Races of maize. VI. Isozyme variation among races of maize in Bolivia [*Zea mays*, corn]. *Maydica*, 28, 169-187.
- Gouvea, L. R., Rubiano, L. B., Chioratto, A. F., Zuchi, M. I., y Sousa, G. P., (2010). Genetic divergence of rubber tree estimated by multivariate techniques and microsatellite markers. *Genet. Mol. Biol.*, 33, 308-318. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-47572010005000039>
- Halle, F., Oldeman, R. A. A., y Tomlinson, P. B. (1978). *Tropical trees and forests*. Berlín; Heidelberg; Nueva York. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-81190-6>

- Kanlaya, N., Panida, K., Unchera, V., Kanikar, T., Herve, C., Segiun, M., Clement-Dement, A., y Jarunya, N. (2016). Development and mapping of functional expressed sequence tag-derived simple sequence repeat markers in a rubber tree RRIM600 × PB217 population. *Mol. Breed.*, 36, 9. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11032-016-0461-3>
- Lekawipat, N., Teerawatanasuk, K., Rodier-Goud, M., Seguin, M., Vanavichit, A., Toojinda, T., y Tragoonrung, S. (2003). Cultivated Clones 0 / *Hevea brasiliensis* MuellArg. by Using Microsatellite Markers. *J. Rubber* 6, 36-47.
- Lespinasse, D., Rodier-Goud, M., Grivet, L., Leconte, A., Legnate, H., y Seguin, M., (2000). A saturated genetic linkage map of rubber tree (*Hevea* spp.) based on RFLP, AFLP, microsatellite, and isozyme markers. *Theor. Appl. Genet.*, 100, 127-138. DOI: <https://doi.org/10.1007/s001220050018>
- Mercykutty, V. C., Marattukalam, J. G., Saraswathyamma, C. K., y Meenakumari, T., (2002). Identification of *Hevea* clones. manual. *Rubber Research of India* (RRII). Kottayam/Kerela.
- Quesada-Méndez, I., Quintero-Barrera, L., Aristizábal, F. A., y Rodríguez-Acuña, O., 2011. Evaluación de la variabilidad genética de clones de caucho natural presentes en la colección clonal del Instituto SINCHI, mediante el uso de descriptores morfológicos. *Colomb. For.*, 14, 69. DOI: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2011.1.a06>
- Quintero, L. B., Ortiz, J. A. Z., Mateus, D. C. B., Sterling, A. C., Auña, O. L. R. (2012). Caracterización morfológica y molecular de diez clones de caucho natural (*Hevea brasiliensis*) promisorios para la Amazonia colombiana. En Sterling, C. A., Rodríguez, L. C. H. (Eds.), *Ampliación de la base genética de caucho natural con proyección para la Amazonia colombiana, Fase de Evaluación En Periodo Improductivo a Gran Escala*, 147. Bogotá.
- Saha, T., y Priyadarshan, P. M. (2012). Genomics of *Hevea* rubber. In Schnell, R. J., Priyadarshan, P. M. (Eds.), *Genomics of tree crops*, 271-378Springer, Miami, FL, USA., DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0920-5>
- Saha, T. C., Bindu, R., y Nazeer, M. A., (2005). Microsatellite variability and its use in the characterization of cultivated clones of *Hevea brasiliensis*. *Plant Breed.*, 124, 86-92.
- Sterling, A., y Rodríguez, C. H. (2019). Valoración y análisis de la biodiversidad y servicios ecosistémicos asociados a campos clonales de caucho en Caquetá, Amazonia colombiana. Bogotá, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A., y Rodríguez, C. H. (2018). Estrategias de manejo para las principales enfermedades y plagas del cultivo del caucho con énfasis en la amazonia colombiana. Florencia, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A., y Rodríguez, C. H. (2017). Bases técnicas para la selección, propagación y establecimiento de materiales regionales élite de caucho en Caquetá. Florencia, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Sterling, A., Rodríguez, O. L., Rodríguez, C. H., Martínez, O., Bonilla, N. C., y Dussán, I. (2011). Variabilidad genética de genotipos élites de *Hevea brasiliensis* mediante el uso de descriptores morfológicos. *Rev. Colomb. Amaz.*, 129-142.
- Sterling, A. C., y Correa, J. (2010). Desempeño en periodo de inmadurez de una colección clonal de caucho en la Amazonia. *Ing. Amaz.*, 3, 16-27.
- Union for the Protection of New Varieties of Plant – UPOV. (2007). Árbol de caucho: directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad TG 254/1.
- Varghese, Y. A., Knaak, C., Sethura, M. R., y Ecke, W. (1997). Evaluation of random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers in *Hevea brasiliensis*. *Plant Breed.*, 116, 47-52. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1997.tb00973.x>

Identificación preliminar de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*Hevea brasiliensis*) en el Caquetá (Colombia)

A partir de las conclusiones obtenidas de las evaluaciones realizadas en un campo clonal a pequeña escala, inherentes a los rasgos nutricionales y de crecimiento (capítulo 9), fitosanitarias foliares y del panel de microsangría (capítulo 10), producción en microsangría (capítulo 11) y la resistencia al hongo *Pseudocercospora ulei* en laboratorio (capítulo 12), se presenta la matriz de selección de los mejores genotipos caquetenses selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*), comparados con el clon IAN 873 (testigo) durante los tres primeros años de la fase de crecimiento en el Caquetá (Colombia) (tabla III).

Este estudio permite concluir que: los genotipos ECC 192, ECC 178, ECC 155, ECC 137, ECC 102, ECC 129, ECC 136, ECC 194, ECC 171, ECC 173, ECC 187, ECC 168, ECC 158, ECC 140, ECC 150, ECC 174, ECC 135, ECC 159, ECC 138, ECC 121, ECC 193, ECC 127, ECC 154, ECC 126, ECC 170, ECC 183, ECC 147, ECC 114, ECC 197, ECC 143, ECC 119, ECC 164, ECC 106, ECC 175, ECC 180, ECC 152, ECC 199, ECC 107, ECC 124, ECC 182, ECC 115, ECC 53, ECC 122, ECC 166, ECC 185, ECC 141, ECC 198, ECC 161, ECC 113, ECC 125, ECC 162, ECC 186, ECC 151, ECC 109, ECC 160, ECC 167, ECC 184, ECC 103, ECC 195, ECC 179, ECC 191, ECC 110, ECC 145, ECC 181, ECC 176, ECC 105, ECC 123, ECC 139, ECC 142, ECC 112, ECC 134, ECC 131, ECC 111, ECC 116, ECC 144 y ECC 157, fueron los materiales genéticos más sobresalientes, comparados con el clon IAN 873 (testigo), y por tanto son los más deseables en los tres primeros años de la fase de crecimiento en el departamento del Caquetá (Colombia).

La siguiente fase implicará la selección y promoción temprana y el registro de nuevos genotipos superiores mediante el uso de indicadores de precocidad productiva en un periodo no inferior a 3 o 4 años, antes de ofrecer una recomendación final al nivel de productor para su fomento comercial a pequeña escala en la región.

Tabla III. Matriz de identificación preliminar de los mejores genotipos caquetenses de la selección ECC 2 de caucho (*H. brasiliensis*) comparados con el clon IAN 873 (testigo), basada en los rasgos de crecimiento y nutrición, fitosanitarias foliares y del panel de microsangría y producción en microsangría evaluados en un campo clonal a pequeña escala, y los componentes de resistencia al hongo *Pseudocercospora ulei* en condiciones controladas

Genotipo	Calificación 1 ^a	Calificación 2 ^b	Calificación 3 ^c	Calificación 4 ^d	Calificación final ^e	Escalafón final
ECC 192	0,489	0,745	0,964	0,734	0,828	1
ECC 178	0,612	0,574	0,714	0,792	0,669	2
ECC 155	0,684	0,646	0,550	0,579	0,595	3
ECC 137	0,688	0,790	0,368	0,923	0,582	4
ECC 102	0,558	0,720	0,510	0,433	0,570	5
ECC 129	0,945	0,797	0,344	0,594	0,565	6

Genotipo	Calificación 1 ^a	Calificación 2 ^b	Calificación 3 ^c	Calificación 4 ^d	Calificación final ^e	Escalafón final
ECC 136	0,865	0,833	0,268	0,849	0,555	7
ECC 194	0,588	0,766	0,363	0,739	0,544	8
ECC 171	0,536	0,740	0,327	0,990	0,538	9
ECC 173	0,915	0,736	0,244	0,939	0,528	10
ECC 187	0,698	0,672	0,331	0,873	0,524	11
ECC 168	0,789	0,879	0,196	0,827	0,524	12
ECC 158	0,612	0,820	0,220	1,000	0,517	13
ECC 140	0,628	0,785	0,241	0,954	0,514	14
ECC 150	0,584	0,837	0,227	0,906	0,513	15
ECC 174	0,690	0,838	0,186	0,980	0,511	16
ECC 135	0,634	0,701	0,325	0,739	0,510	17
ECC 159	0,491	0,659	0,428	0,498	0,510	18
ECC 138	0,694	0,799	0,207	0,929	0,505	19
ECC 121	0,792	0,772	0,197	0,879	0,497	20
ECC 193	0,746	0,627	0,298	0,828	0,495	21
ECC 127	0,706	0,744	0,234	0,802	0,491	22
ECC 154	0,623	0,751	0,195	0,953	0,480	23
ECC 126	0,587	0,660	0,272	0,862	0,479	24
ECC 170	0,735	0,752	0,200	0,798	0,479	25
ECC 183	0,614	0,620	0,296	0,798	0,475	26
ECC 147	0,675	0,879	0,187	0,502	0,475	27
ECC 114	0,347	0,593	0,362	0,798	0,473	28
ECC 197	0,472	0,720	0,276	0,716	0,473	29
ECC 143	0,685	0,694	0,290	0,505	0,472	30
ECC 119	0,539	0,726	0,240	0,805	0,472	31
ECC 164	0,568	0,576	0,328	0,743	0,468	32
ECC 106	0,599	0,712	0,222	0,787	0,463	33
ECC 175	0,660	0,799	0,149	0,809	0,461	34
ECC 180	0,458	0,645	0,308	0,675	0,461	35
ECC 152	0,519	0,673	0,248	0,825	0,460	36
ECC 199	0,728	0,642	0,185	0,906	0,449	37
ECC 107	0,517	0,687	0,214	0,830	0,448	38
ECC 124	0,644	0,592	0,264	0,700	0,444	39
ECC 182	0,794	0,611	0,226	0,675	0,443	40
ECC 115	0,683	0,623	0,263	0,562	0,443	41
ECC 153	0,528	0,730	0,194	0,730	0,442	42
ECC 122	0,647	0,574	0,282	0,626	0,441	43
ECC 166	0,546	0,594	0,245	0,821	0,438	44
ECC 185	0,362	0,569	0,334	0,598	0,433	45
ECC 141	0,403	0,485	0,396	0,492	0,433	46
ECC 198	0,601	0,656	0,250	0,502	0,432	47
ECC 161	0,554	0,789	0,203	0,372	0,431	48
ECC 113	0,591	0,650	0,249	0,497	0,428	49
ECC 125	0,538	0,588	0,287	0,522	0,426	50
ECC 162	0,552	0,517	0,262	0,825	0,424	51
ECC 186	0,447	0,745	0,188	0,592	0,422	52
ECC 151	0,410	0,586	0,278	0,615	0,417	53
ECC 109	0,332	0,619	0,239	0,779	0,416	54
ECC 160	0,400	0,687	0,179	0,730	0,409	55
ECC 167	0,609	0,596	0,215	0,598	0,407	56
ECC 184	0,330	0,540	0,281	0,709	0,406	57

Genotipo	Calificación 1 ^a	Calificación 2 ^b	Calificación 3 ^c	Calificación 4 ^d	Calificación final ^e	Escalafón final
ECC 103	0,639	0,668	0,167	0,573	0,405	58
ECC 195	0,458	0,697	0,151	0,723	0,402	59
ECC 179	0,584	0,580	0,176	0,786	0,399	60
ECC 191	0,422	0,568	0,217	0,748	0,396	61
ECC 110	0,436	0,632	0,195	0,635	0,394	62
ECC 145	0,272	0,639	0,243	0,498	0,390	63
ECC 181	0,502	0,549	0,222	0,638	0,390	64
ECC 176	0,416	0,530	0,202	0,842	0,386	65
ECC 105	0,389	0,579	0,187	0,788	0,385	66
ECC 123	0,325	0,646	0,162	0,736	0,381	67
ECC 139	0,206	0,705	0,197	0,497	0,380	68
ECC 142	0,452	0,551	0,231	0,492	0,376	69
ECC 112	0,451	0,545	0,213	0,598	0,375	70
ECC 134	0,532	0,554	0,177	0,669	0,375	71
ECC 131	0,423	0,690	0,146	0,498	0,372	72
ECC 111	0,385	0,473	0,251	0,600	0,366	73
ECC 116	0,360	0,611	0,130	0,750	0,359	74
ECC 144	0,664	0,498	0,218	0,313	0,356	75
ECC 157	0,267	0,586	0,143	0,626	0,337	76
IAN 873	0,485	0,571	0,212	0,100	0,336	77
ECC 118	0,409	0,668	0,103	0,283	0,321	78
ECC 149	0,375	0,533	0,103	0,522	0,301	79

^a calificación basada en parámetros de crecimiento y comportamiento nutricional (ver capítulo 9)

^b calificación basada en parámetros fitosanitarias foliares y del panel de microsangría (ver capítulo 10)

^c calificación basada en parámetros de producción en microsangría (ver capítulo 11)

^d calificación basada en la resistencia al hongo *Pseudocercospora ulei* en laboratorio (ver capítulo 12)

^e Nota media ponderada [calificación 1 (10%), calificación 2 (30%), calificación 3 (50%), calificación 4 (10%)]

Conclusiones finales y recomendaciones

Este estudio recomienda a la Gobernación del Caquetá y a la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá – Asoheca, considerar de manera preliminar los siguientes materiales genéticos de caucho que demostraron en las fases de pre-sangría y sangría temprana, resistencia al mal suramericano de las hojas y un potencial productivo muy superior al clon IAN 873 (testigo comercial) en el departamento del Caquetá, así:

- **Clones introducidos (etapa productiva: circunferencia \geq 45 cm) en el primer año de sangría**
 - En Belén de los Andaquíes, los clones FX 3899 P1, FDR 4575 y GU 198 presentaron rendimientos de caucho seco de 26,7, 23,3 y 18,9 g. árbol⁻¹. sangría⁻¹, que representarían en la actualidad ingresos económicos proyectados superiores al testigo comercial, en una proporción del 111,4, 84,5 y 49,6%, respectivamente.
 - En Florencia, los clones FDR 4575 y GU 198 tuvieron rendimientos de 35,4 y 18,7 g. árbol⁻¹. sangría⁻¹, con una proporción de ingresos del 139,2 y 26,5%, respectivamente.
 - En San Vicente del Caguán los clones FX 3899 P1, FDR 4575 y GU 198 tuvieron rendimientos de 40,64, 26,4 y 18,2 g. árbol⁻¹. sangría⁻¹ con una proporción de ingresos de 178,7, 94,6 y 25,1%, respectivamente.
- **Genotipos caquetenses selección ECC 1 (etapa de crecimiento: circunferencia \geq 25 cm) en el primer semestre de sangría precoz**
 - En El Paujil, los genotipos ECC 35 y ECC 83 tuvieron rendimientos de 3,03 y 3,01 g. árbol⁻¹. sangría⁻¹ que representarían en la actualidad ingresos económicos proyectados superiores al testigo comercial, en una proporción del 75,1y 73,9%, respectivamente.
 - En San Vicente del Caguán los clones ECC 25, ECC 64, ECC 83 y ECC 90 tuvieron rendimientos de 5,5, 3,8, 3,3 y 2,9 g. árbol⁻¹. sangría⁻¹ con una proporción de ingresos de 195,2, 99,5, 75,5 y 56,9%, respectivamente.
- **Genotipos caquetenses selección ECC 2 (etapa de crecimiento: circunferencia \geq 15 cm) en el primer año de microsangría**
 - En El Paujil, los genotipos ECC 192, ECC 178, ECC 155, ECC 102, ECC 137, ECC 194, ECC 171, ECC 129 y ECC 136 tuvieron rendimientos de 1,07 0,76, 0,56, 0,52, 0,35, 0,34, 0,30 y 0,28 g. árbol⁻¹. microsangría⁻¹ que representarían en la actualidad ingresos económicos proyectados superiores al testigo comercial, en una proporción del 527,9, 346,3, 228,4, 204,6, 102,6, 102,1, 76,4 y 61,7%, respectivamente.

Este estudio recomienda a la Gobernación del Caquetá y a la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá – Asoheca, la necesidad de realizar una fase 2 de esta investigación, con el fin de:

- Culminar en un periodo no inferior a 3 o 4 años el ciclo de evaluación productiva de los clones introducidos, y en consecuencia, realizar la selección final, el registro y la liberación de los nuevos clones para su fomento comercial a pequeña escala en la región.
- Realizar en un periodo no inferior a 3 o 4 años mediante indicadores de precocidad productiva, la selección temprana, el registro y la liberación de los nuevos clones caquetenses para su fomento comercial a pequeña escala en la región.

ISBN: 978-958-5427-25-9

