

Ampliación de la base genética de caucho natural con proyección para la Amazonia colombiana: fase de evaluación en periodo improductivo a gran escala



EDITORES

Armando Sterling Cuéllar
Carlos Hernando Rodríguez León



MINISTERIO DE AMBIENTE,
Y DESARROLLO SOSTENIBLE
República de Colombia



Instituto
amazónico de
investigaciones científicas
SINCHI



ASOHECA



MINISTERIO DE AGRICULTURA Y
DESARROLLO RURAL
República de Colombia

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

Ampliación de la base genética de caucho natural con proyección para la Amazonia colombiana: fase de evaluación en periodo improductivo a gran escala. Armando Sterling Cuéllar, Carlos Hernando Rodríguez León (Eds.). Bogotá, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas- Sinchi, 2012.

1. CAUCHO 2. CLONES 3. FITOMEJORAMIENTO 4. RESISTENCIA GENÉTICA
5. DESEMPEÑO DE CULTIVOS 6. AMAZONIA COLOMBIANA

ISBN 978-958-8317-72-4

© Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – Sinchi
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Primera edición: Enero de 2012

Revisión técnica: Juan Fernán Hayer Sierra

Coordinación de la producción editorial: Diana Patricia Mora
Rodríguez

Producción editorial
Diagramación, fotomecánica, impresión
y encuadernación: Editorial Scripto S.A.S.

Reservados todos los derechos

Disponible en: Instituto Sinchi, Calle 20 No. 5-44 Tel.: 4442077
www.sinchi.org.co

Impreso en Colombia
Printed in Colombia



Instituto
amazónico de
investigaciones científicas
SINCHI

LUZ MARINA MANTILLA CÁRDENAS
Directora General

ROSARIO PIÑERES VERGARA
Subdirectora Administrativa y Financiera

ALBERTO GUEVARA VALENCIA
Subdirector Científico y Tecnológico

MARÍA SOLEDAD HERNÁNDEZ
Coordinadora Programa Sostenibilidad e Intervención

CARLOS HERNANDO RODRÍGUEZ LEÓN
Coordinador Sede Florencia



**Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del
Caquetá**

PABLO EMILIO PINEDA GONZÁLEZ
Director Ejecutivo

**AMPLIACIÓN DE LA BASE GENÉTICA DE CAUCHO
NATURAL CON PROYECCIÓN PARA LA AMAZONIA
COLOMBIANA: FASE DE EVALUACIÓN
EN PERIODO IMPRODUCTIVO
A GRAN ESCALA**

EQUIPO TÉCNICO

Carlos Hernando Rodríguez León
Líder del proyecto

Armando Sterling Cuéllar
Bernardo Betancurt Parra
Augusto Mazorra Valderrama
Diego Ferney Caicedo Rodríguez
Lorena Quintero Barrera
Olga Lucía Rodríguez Acuña
Ismael Dussán Huaca
Jarlinson Correa Díaz
Maolenmarx Tatiana Garzón Gómez
Julieth Andrea Zapata Ortiz
Lyda Yasmín Jara Jiménez
Pedro Nel Ruiz Torres
José Orlando Castillo Ospina
María Alejandra Vargas Losada
Alexis Centeno Cuéllar
David Camilo Bolaños
Rocío Sánchez Losada
Alexis Fernando Rodríguez Moreno
Diego Castro Gaviria
Cristian David Plaza Pérez
Yasodhara Marieth Salas Tobón
Edna Oriana Ossa Muñoz
Gildardo Trujillo Mahecha
Aldemar González Pérez
Ancízar Marín Muñoz



El caucho natural [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex Adr. de Juss.) Muell.-Arg.] es una especie de origen suramericano, árbol originario de las planicies de la Amazonia y Orinoquía en América del Sur con amplia distribución en países como Bolivia, Brasil, Colombia, Guyana Francesa, Perú, Surinam y Venezuela. Su principal importancia radica en la producción de látex destinado a la industria llantera (Compagnon, 1998).

El cultivo del caucho en Colombia ha cobrado importancia en los últimos años debido a las iniciativas adelantadas por las entidades regionales que han encontrado en la actividad heveícola un apoyo fundamental para el desarrollo económico del sector agropecuario e industrial (Castellanos et al., 2009). Según la CCC (2011) el último censo realizado en el año 2010 reportó que en el país existen 29.917 ha cultivadas de caucho natural de las cuales sólo el 17% está en producción. Se reportó además que el 80% del área total sembrada se encuentra localizada en cuatro núcleos productores: Meta, el Magdalena Medio, el Departamento del Caquetá y la zona de Antioquia-Córdoba. Según ASOHECA (2010) en el Departamento del Caquetá existen aproximadamente 7670 ha, las cuales benefician a cerca de 1704 familias en los 16 municipios del Departamento.

De acuerdo con lo anterior, esta situación obliga al sector heveícola nacional a ampliar las áreas de siembra mediante el establecimiento y

selección de clones de alto desempeño, producción y tolerantes a los principales limitantes fitosanitarios del cultivo, especialmente al mal suramericano de la hoja, por sus siglas en inglés SALB (South American Leaf Blight), enfermedad producida por el hongo fitopatógeno *Microcyclus ulei* (P. Henn.) v. Arx,, el principal problema fitosanitario del cultivo de caucho natural en América (Gasparotto et al., 1997).

En Colombia, todas las plantaciones comerciales se han establecido con clones introducidos desde Tailandia, Indonesia, Malasia y Brasil, y se reduce a uno ó dos materiales. En el contexto regional, el departamento del Caquetá (Amazonia colombiana) en los últimos 46 años ha aumentado el número de hectáreas de caucho natural a partir de una reducida base genética representada por los clones brasileiros IAN 873, IAN 710 y FX 3864. Sin embargo, estos clones han reducido el desempeño en periodo improductivo, el potencial productivo y la tolerancia a los principales limitantes fitosanitarios del cultivo (Ziebell, 2000). Esta situación implica la necesidad de seleccionar, evaluar y finalmente recomendar nuevos clones con características sobresalientes bajo las condiciones locales (Sterling et al., 2009; Sterling y Correa, 2010).

Es así que para el Departamento del Caquetá con proyección para la región amazónica colombiana, se presenta la alternativa de ampliar la base genética de caucho a partir de la evaluación y selección a gran escala de nuevos clones introducidos recientemente al país (que han superado las etapas iniciales en el país de origen), que viene de condiciones edafoclimáticas diferentes a las de la región. El presente documento presenta resultados sobre la evaluación y selección preliminar en periodo improductivo de 9 nuevos clones de caucho natural para la Amazonia colombiana.

Esta publicación se deriva del proyecto de investigación denominado: “Ampliación de la base genética de *Hevea brasiliensis* en la región amazónica mediante la evaluación a gran escala de nuevos clones

promisorios para la región”. Contrato No. 200717736-264 - 977/2007 IICA – FNFC, FEDECAUCHO - SINCHI derivado del convenio No. 057/07 IICA-MADR, el cual fue ejecutado por la alianza Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI y la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá, ASOHECA.

La presente publicación se dividió en cuatro capítulos que reseñan las diferentes etapas del proceso investigativo a partir del cual se realizó la selección preliminar de los mejores clones de caucho natural en fase improductiva para el Departamento del Caquetá con proyección para la región amazónica colombiana.

El capítulo 1 presenta los resultados de las evaluaciones agronómicas realizadas sobre los 10 clones establecidos en Campo Clonal a Gran Escala CCGE. Se reportaron variables de supervivencia, altura, vigor y arquitectura de copas. Se presentaron los mejores clones de acuerdo con los parámetros de desempeño evaluados.

El capítulo 2 muestra los resultados de las evaluaciones del estado nutricional (deficiencias nutricionales visuales y contenido nutricional foliar) realizadas sobre los 10 clones de caucho natural establecidos en CCGE. Se reportaron los mejores clones de acuerdo con el estado óptimo nutricional observado en CCGE bajo un plan de fertilización uniforme.

El capítulo 3 reporta los resultados de las evaluaciones fitosanitarias (plagas y enfermedades foliares) con énfasis en la resistencia al SALB en CCGE. Se registraron los mejores clones de acuerdo con la tolerancia a plagas y enfermedades y la resistencia a *M. ulei*.

El capítulo 4 presenta la selección preliminar en etapa improductiva de los mejores clones de caucho establecidos en CCGE para el departamento

del Caquetá, con proyección para la región Amazónica colombiana. Se reportó también la caracterización morfológica y molecular basada en descriptores morfológicos y marcadores moleculares tipo microsatélites de los 10 clones evaluados. Es importante resaltar que la evaluación completa no se logra en este tiempo. Falta por evaluar un aspecto primordial de selección que es el de la producción, antes de ofrecer una recomendación técnica final al productor.

AGRADECIMIENTOS



Agradecemos a las directivas del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi, quienes apoyaron la realización del proyecto y acompañaron permanentemente este proceso, en especial a la doctora Luz Marina Mantilla Cárdenas, Directora General, a la doctora Rosario Piñeres Vergara, Subdirectora Administrativa y Financiera, al doctor Daniel Fonseca, Ex -Subdirector Científico y Tecnológico, al doctor Alberto Guevara Valencia, Subdirector Científico y Tecnológico, y a la doctora María Soledad Hernández Coordinadora del Programa Sostenibilidad e Intervención.

Al doctor Pablo Emilio Pineda, Director Ejecutivo de la Asociación de Reforestadores y Cultivadores del Caquetá (ASOHECA) y a todo el personal directivo y administrativo por su apoyo y contribución al proyecto.

Expresamos nuestro especial agradecimiento a los señores: Lisandro Muñoz, Francisco Gallego y Jesús Arsenio Rojas propietarios de los predios en los cuales se establecieron los CCGE de caucho natural localizados en las veredas Balcanes (Florencia), Agua Dulce (Belén de los Andaquíes) y Buenos Aires (San Vicente del Caguán) respectivamente, por facilitar sus terrenos y apoyar la logística requerida para el desarrollo de la presente investigación. Extendemos igualmente un sincero agradecimiento a las familias residentes en los predios antes mencionados por la calurosa acogida que le brindaron a

todo el equipo técnico del proyecto, especialmente a la señora Marta Perdomo en San Vicente del Caguán, a Luis Herney Muñoz, Henry Muñoz y su esposa Inés en Florencia y a la señora Ofelia Malambo en Belén de los Andaquíes.

De igual forma extendemos nuestros agradecimientos al equipo técnico de ASOHECA que realizó el acompañamiento técnico y logístico requerido para el desarrollo de ésta investigación, especialmente a los ingenieros Heberth Góngora Ocampo y Héctor Llanos y al señor Aldemar Perdomo del Comité de Caucheros de San Vicente. Un agradecimiento especial del mismo modo al ingeniero Julio Vanegas y Omar Henao por su constante colaboración en toda la fase de propagación del material vegetal en los viveros de ASOHECA.

A Luisa Castro Gaviria, por su apoyo en la edición de los ajustes de forma del presente documento.

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural MADR por la cofinanciación e interventoría de la presente investigación.

Al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA por su participación administrativa en el marco convenio celebrado con el MADR y contrato celebrado con el Instituto SINCHI para la ejecución del proyecto de investigación.

Finalmente expresamos nuestros agradecimientos a **Juan Fernán Hayer Sierra** por las observaciones y aportes planteados como resultado de la revisión técnica que hizo al documento y que han contribuido de manera significativa para mejorar la publicación.

1.	Capítulo 1: Evaluación del desempeño y arquitectura de copas de diez clones de caucho natural (<i>Hevea brasiliensis</i>) en tres Campos Clónales a Gran Escala CCGE	
1.1.	Introducción	16
1.2.	Descripción del área de estudio	18
1.3.	Material vegetal	26
1.4.	Diseño experimental	27
1.5.	Análisis de la información	29
1.6.	Evaluaciones de desempeño	30
1.6.1.	Supervivencia (%).....	30
1.6.2.	Altura (m)	32
1.6.3.	Circunferencia (Vigor) (cm)	35
1.7.	Evaluación de la arquitectura de copas.....	38
1.7.1.	Calidad de copas (cc)	38
1.7.2.	Posición de copas (pc)	42
1.7.3.	Ángulo de inserción de la ramas (air).....	43
1.8.	Análisis multivariado de desempeño agronómico	44
1.8.1.	Análisis de componentes principales	44
1.8.2.	Análisis multidimensional	44
1.9.	Análisis multivariado de arquitecturas de copas	45
1.10.	Selección de los mejores clones de <i>H. brasiliensis</i>	46
1.11.	Referencias bibliográficas.....	47

2.	Capítulo 2: Evaluación del estado nutricional de diez clones de caucho natural (<i>Hevea brasiliensis</i>) en tres Campos Clonales a Gran Escala CCGE	
2.1.	Introducción	56
2.2.	Contenido nutricional edáfico y foliar en tres CCGE de caucho natural.....	58
2.1.1.	Plan de fertilización utilizado en los CCGE	58
2.2.2.	Contenido nutricional edáfico	59
2.2.3.	Contenido nutricional foliar	59
2.2.4.	Componentes principales para el contenido nutricional foliar	63
2.2.5.	Escalamiento multidimensional no métrico para el contenido nutricional foliar	63
2.3.	Principales deficiencias nutricionales visuales.....	64
2.3.1.	Caracterización de las deficiencias nutricionales visuales	64
2.3.2.	Componentes principales para las deficiencias nutricionales visuales	71
2.3.3.	Escalamiento multidimensional no métrico para las deficiencias nutricionales visuales.....	71
2.4.	Referencias bibliográficas	74
3.	Capítulo 3: Evaluación fitosanitaria con énfasis en la resistencia a <i>Microcyclus ulei</i> de diez clones de caucho natural (<i>Hevea brasiliensis</i>) en Campo Clonal a Gran Escala CCGE	
3.1.	Introducción	80
3.2.	Principales enfermedades foliares y plagas del caucho	82
3.2.1.	Mal suramericano de las hojas (<i>microcyclus ulei</i> (p. Henn) v. Arx)	82
3.2.2.	Antracnosis (<i>Colletotrichum gloesporioides</i> (penz.) Sacc. y <i>Colletotrichum acutatum</i> Simmonds).....	83
3.2.3.	Costra negra (<i>Phyllachora huberi</i> Henn y <i>Rosenscheldiella</i> sp.)	83

3.2.4.	Mancha aerolada (<i>Rhizoctonia solani</i> Kuhn)	84
3.2.5.	Mancha de corinespora(<i>Corynespora cassiicola</i> (Berk. & M.A. Curtis) C. T. Wei)	84
3.2.6.	Mancha de perdigón (<i>Drechslera heveae</i> Petch).....	85
3.2.7.	Gusano cachón (<i>Erinnyis ello</i> L.)	85
3.2.8.	Hormiga arriera (<i>Atta</i> spp.)	85
3.2.9.	Chinche de encaje (<i>Leptopharsa heveae</i> Drake y Poor).....	86
3.2.10.	Mosca blanca (<i>Aleurodicus</i> spp. Maskel)	86
3.2.11.	Termitas (Isóptera: TERMITIDAE).....	86
3.2.12.	Gusano peludo (<i>Premolis semirufa</i> Walker)	86
3.3.	Incidencia y severidad de enfermedades.....	87
3.3.1.	Incidencia de las principales enfermedades foliares	87
3.3.2.	Severidad de las principales enfermedades foliares	91
3.4.	Incidencia de las principales plagas.....	95
3.5.	Análisis de correlación canónica: plagas y enfermedades	97
3.5.1.	Correlación canónica: incidencia de plagas vs. Incidencia de enfermedades	9
3.5.2.	Correlación canónica: incidencia de enfermedades vs. severidad.....	98
3.6.	Análisis de componentes principales y escalamiento multidimensional no métrico de plagas y enfermedades.....	98
3.6.1.	Componente principales para la incidencia de plagas y enfermedades.....	98
3.6.2.	Escalamiento multidimensional no métrico de incidencias de plagas y enfermedades.....	99
3.6.3.	Componente principales para severidad (LFI y IIFC) de enfermedades.....	100
3.6.4.	Escalamiento multidimensional no métrico severidad de enfermedades	100
3.7.	Parámetros de resistencia parcial al hongo <i>Microcyclus ulei</i>	101
3.7.1.	Evaluación de los componentes de resistencia a <i>Microcyclus ulei</i>	102

3.7.2.	Escala de resistencia clonal.....	103
3.7.3.	Análisis de componentes principales para la resistencia a <i>M. Ulei</i>	111
3.7.4.	Análisis de conglomerados jerárquico de los 10 clones de <i>H. brasiliensis</i>	112
3.7.5.	Análisis de escalamiento multidimensional no métrico.....	113
3.8.	Selección de los mejores clones de <i>H. brasiliensis</i> por su comportamiento fitosanitario.....	114
3.9.	Referencias bibliográficas.....	115

4. Capítulo 4: Caracterización morfológica y molecular de diez clones de caucho natural (*Hevea brasiliensis*) promisorios para la Amazonia colombiana

4.1.	Selección de los mejores clones de <i>H. brasiliensis</i>	124
4.2.	Descriptores morfológicos y marcadores moleculares en <i>H. brasiliensis</i>	125
4.3.	Estimación de la variabilidad genética de 10 clones promisorios de <i>H. brasiliensis</i>	128
4.3.1.	Aplicación de descriptores morfológicos.	128
4.3.2.	Material vegetal y extracción de ADN.....	129
4.3.3.	Desarrollo de la técnica SSR	131
4.4.	Variabilidad genética de diez clones promisorios de <i>H. brasiliensis</i>	134
4.4.1.	Análisis de variabilidad a partir de descriptores morfológicos.....	134
4.4.2.	Polimorfismos encontrados a partir de los marcadores moleculares.....	137
4.5.	Caracterización morfológica y molecular de diez clones de caucho promisorios para la Amazonia colombiana.....	141
4.6.	Referencias bibliográficas.....	141

CAPÍTULO 1

Evaluación del desempeño y arquitectura de copas de diez clones de caucho natural (*Hevea brasiliensis*) en tres Campos Clonales a Gran Escala CCGE

Armando Sterling Cuéllar¹, Carlos Hernando Rodríguez León¹, Diego Caicedo Rodríguez¹, Bernardo Betancurt Parra¹, Augusto Mazorra Valderrama¹, Ismael Dussan Huaca², Jose Orlando Castillo Ospina³, Pedro Nel Ruiz Torres³, Maolenmarx Tatiana Garzón Gómez⁴, Lyda Yasmin Jara Jiménez⁴



1. Investigadores Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI Sede Florencia.
2. Funcionario Asociación de Reforestadores y cultivadores de Caucho del Caquetá ASOHECA.
3. Pasante de pregrado del proyecto. Contrato No. 200717736-264 - 977/2007 IICA – FNFC, FEDECAUCHO - SINCHI - Convenio No. 057/07 IICA-MADR.
4. Contratista del proyecto. Contrato No. 200717736-264 - 977/2007 IICA – FNFC, FEDECAUCHO - SINCHI - Convenio No. 057/07 IICA-MADR.

1.1. INTRODUCCIÓN

El Caucho natural [*Hevea brasiliensis* (Willd. Ex ADR. de Juss.) Muell.-Arg.], es una especie de amplio interés para la región amazónica, cuyos orígenes se remontan las llanuras de la región Amazónica y la Orinoquia en América del Sur con una amplia distribución en países como Bolivia, Brasil, Colombia, Guyana Francesa, Perú, Surinam y Venezuela (Gonçalves *et al.*, 1997). Su importancia, se debe a que a nivel mundial tres tercios de la producción de látex se destina a la industria llantera y automotriz (Compagnon, 1998).

A nivel mundial, diferentes centros de investigación como el Instituto de Investigaciones de Caucho de Malasia [Rubber Research Institute of Malasia (RRIM)], Investigación de la India Rubber Research Institute India (RRII), Instituto de Investigación del Caucho de Sri Lanka [Rubber Research Institute of Sri Lanka (RRISL)] y el Centro para la Cooperación Internacional en la Investigación Agrícola para el Desarrollo CIRAD de Francia, han realizado programas de mejoramiento genético para la selección de clones con alta producción, resistencia a enfermedades y buena adaptación a la diversidad de suelos y climas (Priyadarsham y Gonçalves, 2003).

En América del Sur, países como Brasil, han promovido diversos programas de mejoramiento genético orientados principalmente a la obtención de cultivos productivos y vigorosos (Gonçalves *et al.*, 1997), así como la búsqueda de genotipos con tolerancia a problemas fitosanitarios.

En el país las plantaciones comerciales de caucho natural se han establecido con clones introducidos principalmente de origen asiático, africano y suramericano (Castellanos *et al.*, 2009). En la Amazonia colombiana el mal suramericano de las hojas por sus siglas en inglés SALB (South American Leaf Blight) causado por el hongo *Microcyclus ulei*, constituye la principal amenaza para el establecimiento de nuevas

plantaciones de *H. brasiliensis* a escala comercial, por lo que en los últimos años se ha intensificado la evaluación de materiales de alto desempeño, precoces y de arquitecturas de copas radiales con el fin de aprovechar la oferta lumínica de la zona y mejorar la resistencia eólica (Sterling y Correa, 2010). Se ha priorizado también la búsqueda de nuevas fuentes de resistencia genética a *M. ulei* a través de la evaluación en parcelas experimentales de clones de origen americano promisorios para la región (Sterling *et al.*, 2009).

En el departamento del Caquetá desde la década del 60, se eligieron los clones IAN 873, IAN 710 y FX 3864 para ser sembrados a escalas comerciales como los de mejor comportamiento, buena producción y tolerancia a plagas y enfermedades. Actualmente éstos clones se siembran masivamente en toda la región amazónica, lo cual es riesgoso para el desarrollo de las nuevas plantaciones de caucho, debido a la poca variabilidad de ésta base genética y la pérdida de resistencia al SALB producida por el hongo *M. ulei*.

El Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, y la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá ASOHECA iniciaron en el año 2008, el primer programa de mejoramiento genético de caucho natural para la Amazonia colombiana a partir de la evaluación a gran escala de materiales promisorios provenientes de países como Brasil, Guatemal y Perú. Estos materiales se establecieron en tres campos clonales a gran escala en tres municipios del Departamento del Caquetá, con el fin de realizar una selección preliminar en periodo improductivo, a partir de parámetros de desempeño, estado nutricional, comportamiento fitosanitario y variabilidad genética.

En este capítulo se presentan los resultados de la evaluación del desempeño agronómico (supervivencia, altura, vigor y arquitectura

de copa) de 9 clones promisorios de *H. brasiliensis* en tres CCGE en relación con el clon testigo IAN 873 en tres zonas edafoclimáticas del Departamento del Caquetá.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto está ubicado en el departamento de Caquetá, en los municipios de Belén de los Andaquíes (vereda Agua Dulce localizada entre los $1^{\circ}25'28''$ N y $75^{\circ}52'11''$ W), Florencia (vereda Balcanes localizada entre los $01^{\circ}37'03''$ N y $75^{\circ}37'03''$ W) y San Vicente del Caguán (vereda Buenos Aires, localizada entre los $02^{\circ}02'40.8''$ N y $74^{\circ}55'11.7''$ W). El Caquetá se localiza al Sur de Colombia, sobre la margen izquierda del río Caquetá, el cual sirve de límite Sur, para separarlo de los departamentos de Putumayo y Amazonas. Al Norte limita con los departamentos de Meta y Guaviare, al Oriente con los departamentos de Vaupés y Amazonas y por el Occidente limita con los departamentos de Cauca y Huila (Díazgranados, 1993).

El clima, está determinado por la ubicación geográfica del departamento respecto a la zona ecuatorial, con área en los dos hemisferios y la incidencia casi vertical de la radiación solar durante todo el año, estimulan una zona de mayor calentamiento, de un alto potencial de recepción de energía solar, que es interceptada por los sistemas convectivos locales, asociados al régimen de precipitación, biomas, zonobiomas, orobiomas y principalmente a los sistemas de circulación atmosférica intertropical (Alisios del NE y del SE) y regional (Zona de Convergencia Intertropical – ZCIT- en la Llanura Oriental Colombiana).

La distribución de las lluvias es de manera monomodal y bimodal, pero la mayor parte del departamento mantiene un régimen de lluvia monomodal, con precipitaciones entre marzo y noviembre y picos

de lluvias en algunos casos en los meses de junio y julio, y en otros, entre los meses de abril y mayo. La temporada seca es igual en todo el departamento.

La temporada seca comprende los meses de diciembre, enero y febrero, siendo enero el mes más seco. Aún así, el área central del departamento que comprende la cuenca del río Caguán presenta la temporada seca más corta pero más severa de todo el departamento. El comportamiento de la precipitación en los tres municipios donde se encuentran las parcelas se observan (ver Figura 1).

En la zona de estudio el aire cálido y húmedo tiende a ascender, especialmente con la insolación del día. Al ir subiendo se enfría por lo que se forman grandes nubes que, prácticamente todos los días al atardecer, descargan lluvia. La abundancia de lluvias y las elevadas temperaturas favorecen el desarrollo de la vegetación y es en esta zona en la que se desarrollan los grandes bosques selváticos. Esta zona climática no se sitúa a lo largo de todo el año en el mismo sitio, sino que sufre desplazamientos hacia el norte o hacia el sur, dependiendo de las estaciones o empujada por los vientos monzones (Rangel y Luengas, 1997; SINCHI-INADE, 1998; IGAC, 1999, IGAC 2010), que dan como resultado las características climáticas propias de esta vasta región colombiana (Murcia-García, 2007).

Por el mismo factor geográfico, en el departamento se presenta durante los primeros meses del año la influencia de los vientos alisios del norte, mientras que a mediados del año se tiene mayor influencia de los vientos alisios del sur. Estos vientos junto con las masas de aire que provienen de los sistemas sinópticos de la Amazonia, viajan hasta encontrarse y chocar con la cordillera oriental allí ascienden y se enfrían hasta que se condensan y al saturarse por la humedad, producen fuertes

precipitaciones sobre el flanco oriental de esta cordillera entre los 700 y los 1000 msnm.

Entre los meses mayo y noviembre se presentan precipitaciones producto de la migración de las masas frías del polo sur hacia el norte. En general, el departamento del Caquetá es una de las áreas más lluviosas de Colombia con una precipitación de 4290 msnm.

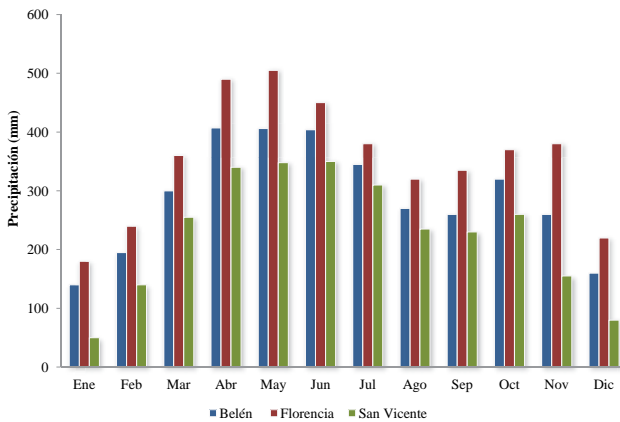


Figura 1. Comportamiento multianual de precipitación, Fuente: IGAC (2010).

Según los reportes del IDEAM, las precipitaciones en el departamento del Caquetá muestran totales anuales entre los 3000 y los 4000 mm para una franja debajo de los 300 m. La temperatura media anual es de 25.2°C, con una tendencia monomodal a lo largo del año, es decir que la mayor parte del departamento presenta un clima cálido, en la figura 2 se observa el mapa de clima para la zona nororiental del departamento del Caquetá.

Respecto a la temperatura del departamento, hay que precisar que ésta se encuentra directamente relacionada con la altura. En este sentido, en el departamento se presentan alturas que varían entre los 110 msnm en la desembocadura del Yarí al Caquetá y los 3500 msnm en la cuchilla de los

Picachos al norte del departamento, lo cual indica que en el departamento la temperatura varía ente el clima cálido y el muy frío, con un gradiente térmico vertical (GTV) de $-0.78^{\circ}\text{C}/100\text{m}$; así el piso cálido va hasta los 800 msnm, el piso medio hasta los 1700 m, el piso frío hasta los 2800 y el muy frío a partir de esta cota. Según IGAC (2010), con base en información suministrada por IDEAM (2006), propuso una clasificación climática de los municipios del departamento del Caquetá de acuerdo a Caldas – Lang (ver Tabla 1 y Figura 2).

Tabla 1. Clasificación climática para los municipios donde se encuentran las parcelas.

Estación	Municipio	Latitud	Longitud	Altura msnm	Precipitación Anual (mm)	T °C	Índice de lang	Clasificación de Caldas Lang
Santa Rosa	San Vicente del Caguán	02°09′	74°48′	300	2503	25,4	98,6	Cálido semihúmedo a húmedo
La Mono	Belén de los Andaquíes	01°20′	75°48′	300	3471	25	138,7	Cálido Húmedo
Macagual	Florencia	01°37′	75°36′	270	3669	25	146,7	Cálido Húmedo

Fuente: IGAC (2010).

La temperatura media anual es de 25.2°C , con una tendencia monomodal a lo largo del año, es decir que la mayor parte del departamento presenta un clima cálido, siendo el municipio de solano el que presenta la temperatura media anual más elevada (25.7°C) y San José del Fragua el más fresco (24.7°C), teniendo en cuenta que el mes más cálido es enero en todo el departamento y el más frío es julio.

En el departamento, el aire tiene un contenido promedio anual de humedad relativa por encima del 85%, presentándose un régimen monomodal no muy marcado, con valores mayores en el primer semestre del año que coinciden con el periodo de lluvias. En cuanto al brillo solar, el departamento recibe un promedio de 1490 horas de luz

anualmente, lo que significa que alrededor de cuatro horas de luz diarias son entregadas por el sol en el departamento.

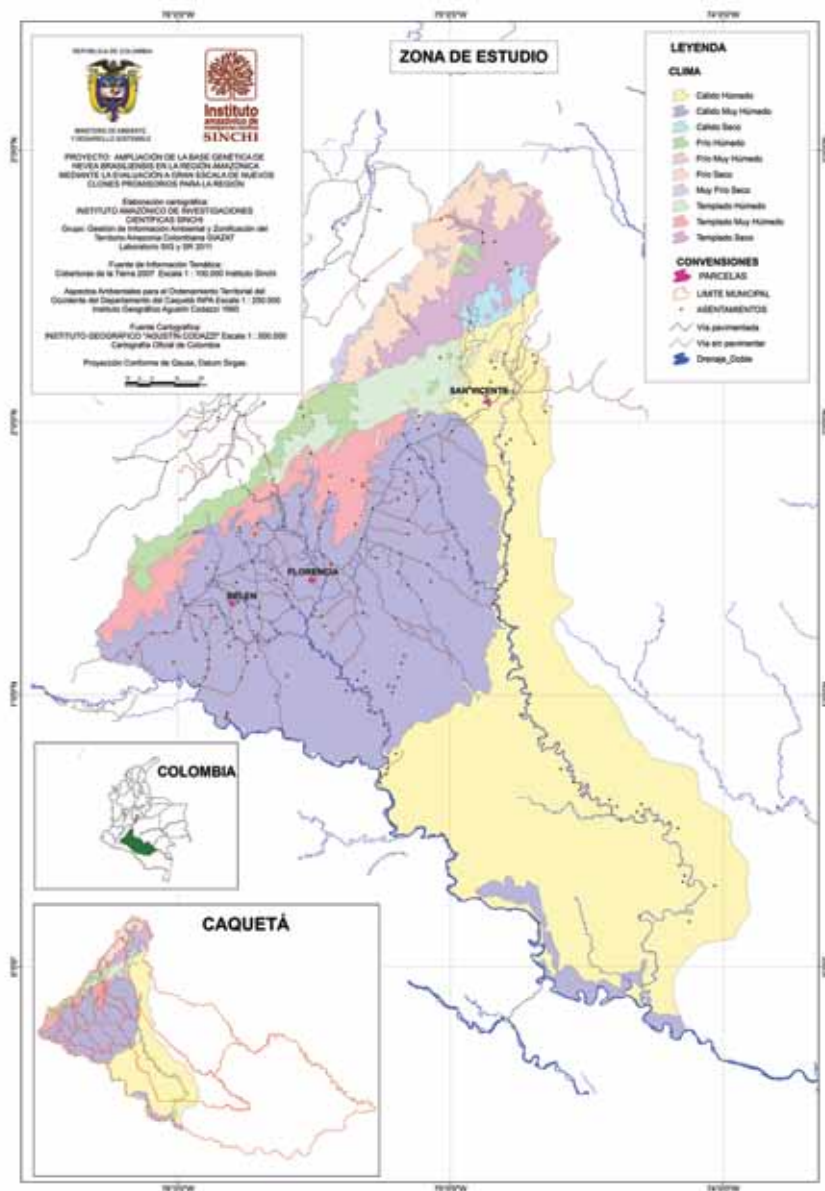


Figura 2. Mapa de clima de la zona nororiental del departamento del Caquetá, Fuente: SINCHI (2011).

Fisiográficamente, el departamento de Caquetá incluye la vertiente oriental de la cordillera Oriental, el piedemonte amazónico, la planicie amazónica y las serranías, sierras, mesetas, colinas y cerros aislados (inselbergs) (Hurtado, 1992) como se observa en la figura 3.

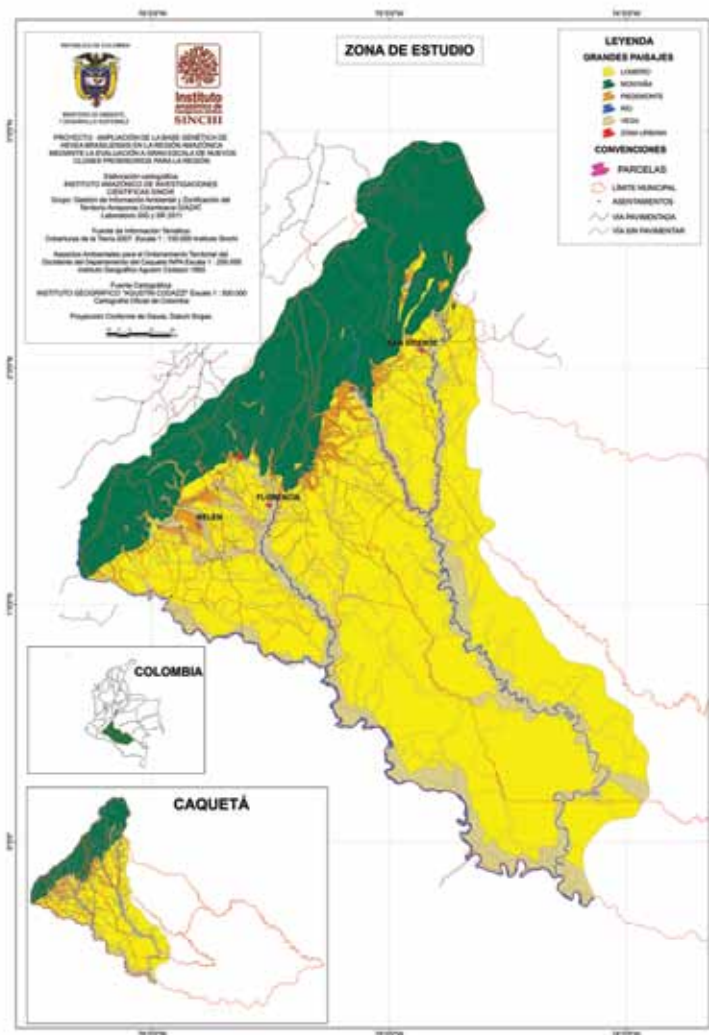


Figura 3. Mapa de fisiografía de la zona nororiental del departamento del Caquetá, Fuente: SINCHI (2011).

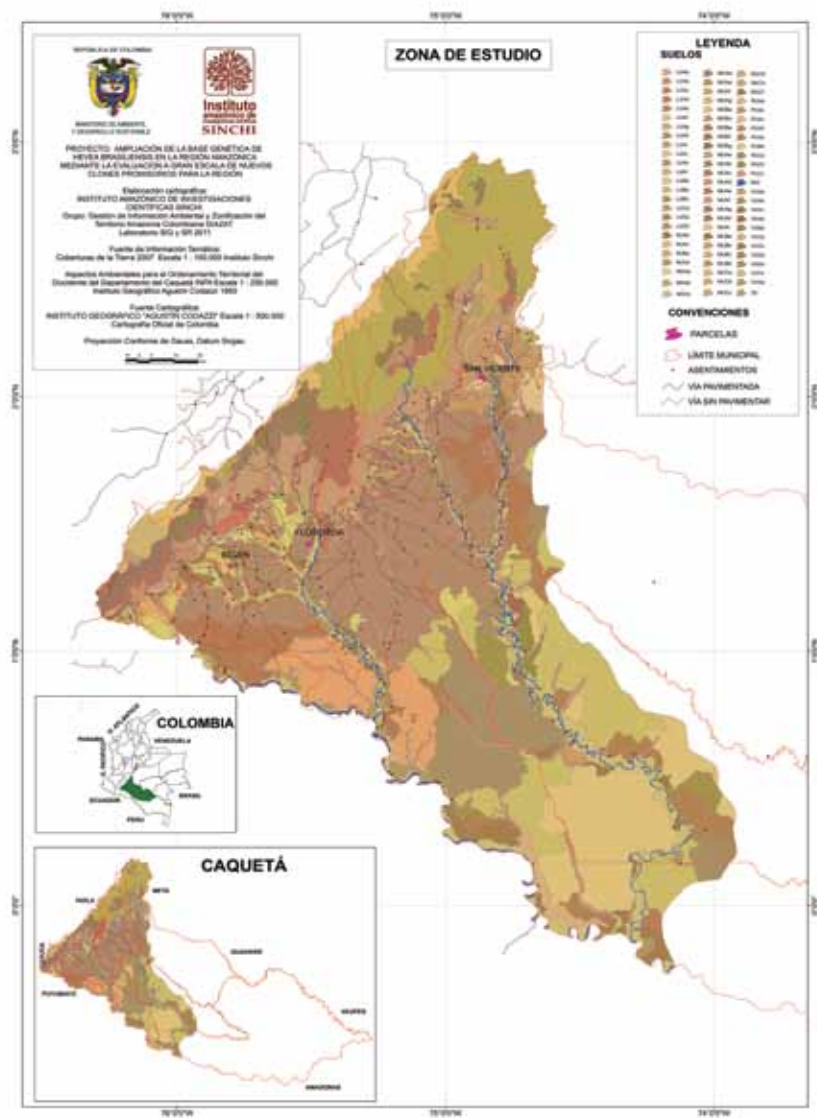


Figura 4. Mapa de suelo de la zona nororiental del departamento del Caquetá. Fuente: SINCHI (2011).

Los suelos amazónicos son conocidos como pobres desde el punto de vista de aportes minerales. Según el programa PRORADAM (1979) en la región se presenta suelos formados por depósitos aluviales y fluviotorrenciales, la figura 4 presenta el mapa de suelo para la zona nororiental del departamento del Caquetá.

Existen también suelos originados por la denudación de la superficie sedimentaria terciaria, que cubren la mayor extensión en la región y que son, en términos generales, ácidos a muy ácidos, con un alto contenido de aluminio que los hace tóxicos y con un bajo contenido nutritivo, lo cual limita el desarrollo de actividades agrícolas por largos periodos de tiempo y por lo cual se introdujeron prácticas de manejo como las chagras. Finalmente se pueden encontrar suelos asociados a las estructuras geológicas, entre los que se presentan los de la formación Araracuara y las secuencias ígneo-metamórficas en los extremos occidental y oriental de la región.

Los suelos del departamento en términos generales, presentan una textura principalmente fina, con diferentes grados de drenaje interno, con un pH que fluctúa entre 4,5 y 5,8 (IGAC, 1993); con una capacidad catiónica de cambio de baja a media y saturación de bases baja; presentan alto contenido o saturación de aluminio, elemento tóxico para muchos cultivos; en los horizontes minerales se presenta bajo contenido de carbón, fósforo, potasio y magnesio. Mineralógicamente predominan el cuarzo y la caolinita, elementos que no aportan nutrientes a las plantas, dando lugar a una fertilidad muy baja a ligeramente moderada. Se distinguen los siguientes suelos:

De montaña. Su drenaje interno varía de imperfectamente a excesivamente drenados, moderadamente profundos, en ciertos lugares limitados por el nivel freático; ácidos a muy ácidos, con alto contenido de aluminio y baja fertilidad.

De piedemonte. Formados especialmente sobre los depósitos de conos aluviales, con una profundidad efectiva variable debido al contenido de piedras; así mismo el drenaje interno es moderado a alto. Ácidos a muy ácidos, con alto contenido de aluminio, que los hace tóxicos y una baja fertilidad.

De lomerío. Formados a partir de sedimentos arcilloso-arenosos principalmente, con un nivel freático fluctuante que en algunos sectores genera encharcamiento. Son ácidos a muy ácidos, con un alto contenido de aluminio que los hace tóxicos y con una baja fertilidad.

De las terrazas aluviales. Formados por la acumulación de sedimentos aluviales, depositados en el Holoceno por los ríos Caquetá, Caguán y Ortegua principalmente, con el nivel freático fluctuante, de textura fina a gruesa, con una profundidad efectiva variable; son ácidos a muy ácidos, con alto contenido de aluminio, con una fertilidad de baja moderada.

De los valles aluviales. Asociados a los ríos Caquetá, Caguán y Ortegua presentan pedregosidad variable, al igual que la profundidad efectiva. Los que están integrados por sedimentos finos son los que presentan las mejores condiciones para el desarrollo de actividades agrícolas.

1.3. MATERIAL VEGETAL

El material vegetal evaluado corresponde a 10 clones de *H. brasiliensis* de origen americano identificados como aparece en la tabla 2, los cuales se llevaron a campo para evaluar el desempeño y arquitectura de copas. Estos materiales se compararon con el clon testigo IAN 873, genotipo desarrollado en 1957 por el antiguo Instituto Agronómico

del Norte en Brasil y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) (Gonçalves, 1983). Según Gonçalves (1986) éste clon puede alcanzar alturas de 20 a 30 m y son vigorosos con diámetro en los primeros 5 m de 30 cm promedio. Se ha reportado también resistencia moderada al hongo *M. ulei* bajo condiciones de la Amazonia colombiana (Sterling et al., 2009), pero su principal cualidad es la producción anual de caucho seco que puede alcanzar 3.9 Kg/árbol/año (Gonçalves, 1986).

Tabla 2. Listado de clones de caucho natural *Hevea brasiliensis* evaluados en tres campos clonales a gran escala en el departamento del Caquetá.

Clon	Progenitores	Especie de Hevea	Origen
CDC 56	MDX 91 x MDX 17.	<i>H. brasiliensis</i> x <i>H. brasiliensis</i>	Guatemala
CDC 312	AVROS 308 x MDX 40	<i>H. brasiliensis</i> x <i>H. brasiliensis</i>	Guatemala
GU 198	GT 711 x FX 1	<i>H. brasiliensis</i> x <i>H. brasiliensis</i>	Guatemala
IAN 873	F 1717 x PB 86	<i>H. brasiliensis</i> x <i>H. brasiliensis</i>	Brasil
FX 4098	PB 86 x FB 110	<i>H. brasiliensis</i> x <i>H. brasiliensis</i>	Brasil
FX 3899	AVROS 363	[<i>H. bentamiana</i> x <i>H. brasiliensis</i>	
MDF 180	Clon primario	<i>H. brasiliensis</i>	Perú
FDR 4575	HARB 8 x FDR 18	<i>H. brasiliensis</i> x <i>H. brasiliensis</i>	Liberia
FDR 5597	Harbel 68 x TU 42-525	<i>H. brasiliensis</i> x <i>H. brasiliensis</i>	Liberia
FDR 5788	HARB 8 x MDF 180	<i>H. brasiliensis</i> x <i>H. brasiliensis</i>	Liberia

Tomado de: Junqueira et al. (1986); Mattos et al. (2003); García et al. (2004).

1.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

En cada localidad, se estableció un experimento denominado Campo Clonal a Gran Escala CCGE, el cual siguió un diseño de bloques completos al azar. Cada CCGE está compuesto de 5.04 ha, el cual se dividió en cuatro bloques, siendo cada uno de 1.26 hectareas, con 10 clones (tratamientos) y 60 plantas por clon para un total de 600 plantas por bloque.

Cada tratamiento por bloque de 60 plantas, se estableció en surcos sencillos con una distancia de siembra de 7.0 x 3.0 m, de las cuales se escogieron al

azar 18 plantas útiles para llevar a cabo las evaluaciones de campo. Con el fin de analizar el efecto del clon y de la localidad, se realizó un análisis combinado de varianza mediante parcelas divididas *sensu lato*, en el cual las parcelas fueron las tres localidades y las subparcelas los 10 clones.

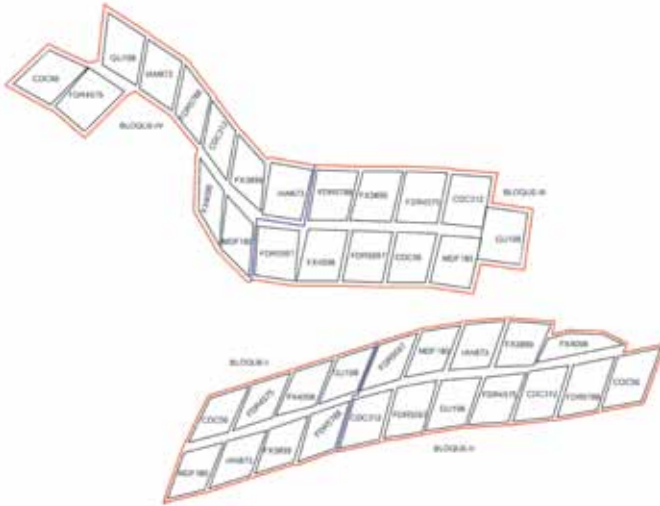


Figura 5. Campo clonal a gran escala CCGE de caucho natural en el municipio de Florencia en el departamento de Caquetá.

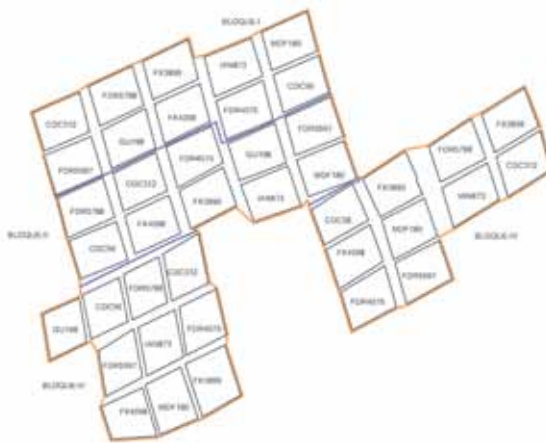


Figura 6. Campo clonal a gran escala CCGE de caucho natural en el municipio de Belén de los Andaquíes en el departamento de Caquetá.

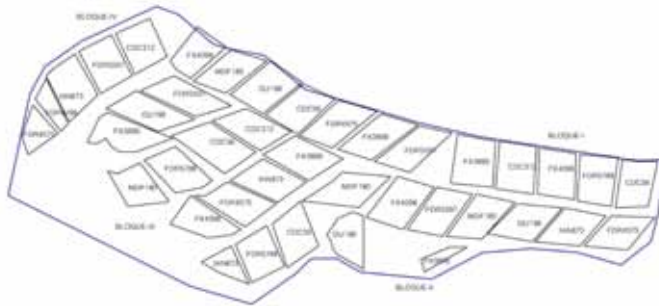


Figura 7. Campo clonal a gran escala CCGE de caucho natural en el municipio de San Vicente del Caguan departamento de Caquetá.

Los CCGE se establecieron entre los meses de julio y agosto de 2009. Los genotipos se propagaron mediante tocón a raíz desnuda (stump) en surcos sencillos con una distancia de siembra de 7.0 m x 3.0 m. Para delimitar las parcelas clonales, éstas se identificaron con postes de madera (20 cm x 80 cm) a razón de 10 postes por bloque.

1.5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Los resultados obtenidos se analizaron mediante análisis de varianza “split-plot” con pruebas de comparaciones múltiples Tukey HSD al 5% de significancia. Se utilizaron pruebas estadísticas multivariadas para seleccionar las variables con máxima varianza (componentes principales) y análisis multidimensional para estudiar las relaciones de similitud de los 10 clones de caucho natural. Las pruebas univariadas se realizaron en el programa Statistix 9.0. Las pruebas multivariadas se corrieron en el programa Statistica 7.0.

1.6. EVALUACIONES DE DESEMPEÑO

1.6.1. Supervivencia (%)

Se realizó el conteo total de plantas en pie a los 3 meses de establecido el material vegetal de cada una de las sesenta plantas por parcela en los CCGE con el fin de observar la viabilidad de cada uno de los clones de *H. brasiliensis* en los diferentes sitios de establecimiento (Gonçalves *et al.*, 1997).

La supervivencia de los 10 clones en evaluación, en los tres Campos Clonales, se presentaron diferencias significativas entre clones y entre los municipios donde se establecieron los CCGE (ambos $P > 0.05$), con un valor medio que osciló entre 100% y 80%. En el municipio de San Vicente del Caguán se presentó el porcentaje más alto de supervivencia del material con un 99.5% y el municipio de Florencia fue el más bajo con el 88.6%. Los clones FX 3899 y FDR 5597 presentaron diferencias significativas entre sí y entre los demás materiales evaluados (ver Tabla 3). Los porcentajes de supervivencia oscilaron entre 96.2% para el clon FX 4098 hasta 82.4% para el Clon FX 3899 con un porcentaje medio general del 99.4% (ver Figura 8).

Los resultados de supervivencia mostraron diferencias posiblemente atribuidas a factores inherentes a la injertación, explicados por Ferwerda (1969) y Sagay y Omakhafe (1997) quienes sostienen que la compatibilidad entre injerto y porta-injerto varía de 55 a 90% y se debe al estrés causado por el proceso de propagación vegetativa y la respuesta a la situación de simbiosis forzada con un porta-injerto extraño. Según estos autores, la compatibilidad está influenciada por la edad de los porta-injertos, por el tiempo de injertación, por la habilidad de los injertadores y por el estado nutricional del vivero.

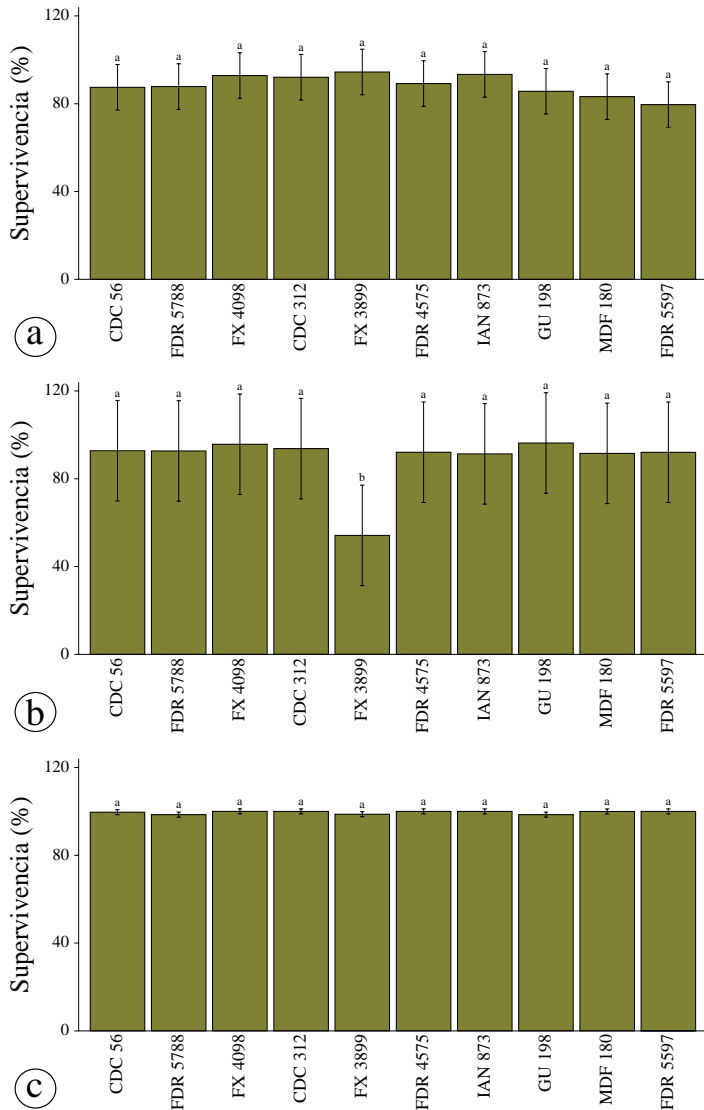


Figura 8. Supervivencia (%) con intervalos de error que muestran la media y los intervalos de confianza al 95% en los 10 clones en evaluación frente al clon testigo IAN 873 en los CCGE, en los Municipios de Florencia (a), Belén de los Andaquíes (b), San Vicente del Caguán (c), en el departamento del Caquetá (Colombia).

El CCGE de San Vicente del Caguán presentó diferencias significativas frente a los otros dos CCGE ($P < 0.05$), atribuidas a las condiciones agroecológicas de la zona para el cultivo del caucho. De acuerdo con

ASOHECA (2010), las plantaciones de caucho ubicadas en San Vicente del Caguán evidencian bajas pérdidas de plantas en sitio definitivo, buenos crecimientos, desarrollo y producción, parámetros que se ven favorecidos por la oferta ecológica de la región, la cual corresponde a una zona de transición entre amazonia y Orinoquía, con un periodo seco claramente diferenciado que contribuye a romper el ciclo de vida del hongo *M. ulei*.

Tabla 3. Media de la supervivencia de 10 clones de *Hevea brasiliensis* establecidos en Campo Clonal a Gran Escala CCGE en tres municipios de Caquetá (Colombia).

Factor	Nivel	Supervivencia (%)
Clon	CDC 56	93.33 ± 1.67a ^{ab}
	FDR 5788	92.91 ± 1.60 ab
	FX 4098	96.25 ± 1.25 a
	CDC 312	95.27 ± 1.32 a
	FX 3899	82.49 ± 8.72 b
	FDR 4575	93.75 ± 1.50 ab
	IAN 873	94.86 ± 1.62 a
	GU 198	93.47 ± 1.99 ab
	MDF 180	91.66 ± 3.43 ab
	FDR 5597	90.55 ± 3.48 ab
	Media ^c	92,45
CCGE	Florencia	88.62 ± 1.36 b
	Belén	89.24 ± 2.68 b
	San Vicente	99.49 ± 0.14 a
	Media ^c	92,45
^a Error estándar. ^b Valores en cada columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba Tukey HSD, $P < 0.05$). ^c Medias de los valores en esta fila seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba Tukey HSD, $P < 0.05$).		

1.6.2. Altura (m)

La altura de los árboles de caucho se determinó anualmente a partir de la distancia comprendida desde el suelo hasta el ápice de la copa, mediante el uso de una vara centimétrica de 4 m de longitud.

De acuerdo con la tabla 3 las medias en las alturas de los 10 clones de *H. brasiliensis* evaluados no presentaron diferencias significativas entre los materiales clonales y entre las localidades ($P > 0.05$), con una media de 3.18 m en el rango de las alturas de los clones osciló entre 2.74 m en el Clon CDC 312 hasta 3.71 m alcanzado por el Clon FX 4098. La mayor altura en las evaluaciones fue alcanzada en el CCGE del municipio de Belén de los Andaquíes, con una media general de 3.45 ± 0.13 m. (ver Figura 9).

La circunferencia de los arboles mostro una diferencia significativa entre clones y localidades ($P < 0.05$). El rango de crecimiento circunferencial oscilo entre los 6.43 cm en el clon CDC 312 y los 9.14 cm en el clon FX 4098 (ver Tabla 4). La localidad de Belén de los Andaquíes presento el valor más alto de circunferencia en los clones con una medida de 8.59 ± 0.36 cm y en San Vicente del Caguán la menor circunferencia con una media de 5.47 ± 0.45 cm.

Tabla 4. Media de la altura (m) y la circunferencia (cm) de 10 clones de *Hevea brasiliensis* establecidos en tres Campos Clonales a Gran Escala CCGE localizados en tres municipios del Caquetá (Colombia).

Factor	Nivel	Altura (m)	Circunferencia (cm)
Clon	CDC 56	$3.28 \pm 0.31^{a,b}$	6.99 ± 0.67 a
	FDR 5788	3.50 ± 0.31 a	7.82 ± 0.66 ab
	FX 4098	3.71 ± 0.30 a	9.14 ± 0.66 ab
	CDC 312	2.74 ± 0.28 a	6.43 ± 0.77 b
	FX 3899	3.16 ± 0.31 a	7.25 ± 0.59 ab
	FDR 4575	3.24 ± 0.32 a	7.96 ± 0.81 ab
	IAN 873	3.14 ± 0.25 a	7.31 ± 0.74 ab
	GU 198	3.07 ± 0.23 a	7.17 ± 0.69 ab
	MDF 180	3.12 ± 0.35 a	6.87 ± 0.95 ab
	FDR 5597	2.81 ± 0.29 a	6.84 ± 0.78 ab
	Media ^c	3,18	7,38
CCGE	Florencia	3.25 ± 0.09 a	8.07 ± 0.15 a
	Belén	3.45 ± 0.13 a	8.59 ± 0.36 a
	San Vicente	2.83 ± 0.23 a	5.47 ± 0.45 b
	Media ^c	3,18	7,38

^a Error estándar.

^b Valores en cada columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba Tukey HSD, $P < 0.05$).

^c Medias de los valores en esta fila seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba Tukey HSD, $P < 0.05$).

De los tres CCGE el que favoreció más el crecimiento de materiales fue el Municipio de Belén de los Andaquíes reflejándose en los FX 4098, MDF 180, FDR 4575 y el IAN 873. En el CCGE del municipio de San Vicente se observó el menor crecimiento de los materiales, dentro del cual se distinguen los clones CDC 312 y FDR 5597.

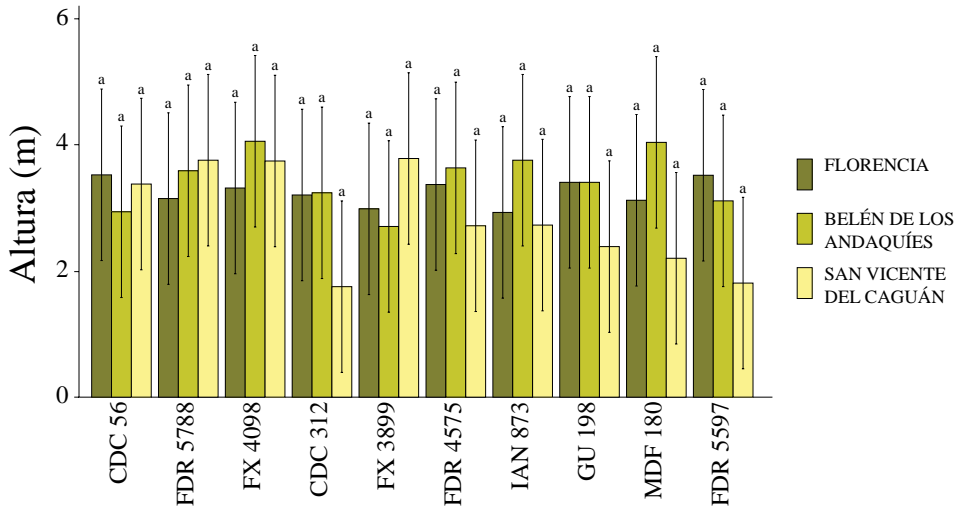


Figura 9. Altura media (m) de los 10 clones de caucho natural *Hevea brasiliensis* (9 clones introducidos y el testigo IAN 873), en tres CCGE, ubicados en tres zonas edafoclimáticas del departamento del Caquetá. Los intervalos de error muestran la media y los intervalos de confianza al 95%.

La diferenciación de las alturas en los CCGE puede relacionarse con atributos de los genotipos o con las características de suelos y climas de las zonas de ubicación de los CCGE. Resultados afines se encontraron en evaluaciones con una variedad familiar de patrones de injertos en el cual se comprobaron inconsistencias como gran variabilidad interclonal respecto a la altura (Combe y Gerner, 1997; Ng *et al.*, 1982; Ramos *et al.*, 2001; Premakumari *et al.*, 2002.).

Gonçalves *et al.*, (1994) afirman que las semillas originadas de árboles francos poseen características superiores comparadas como porta

injertos, de ahí que el resultado de la enjertación (injerto-patrón) genere respuestas diferentes en el desempeño del material clonado.

1.6.3. Circunferencia (Vigor) (cm)

Se midió en cm con una cinta métrica la circunferencia del tronco a 1 m del suelo, como el estimado del vigor de los individuos establecidos en CCGE. Los clones que mostraron mayor crecimiento radial fueron FX 4098, MDF 180, IAN 873 y FDR 4575 establecidos en el CCGE del municipio de Belén. En contraste los materiales que tuvieron menor crecimiento circunferencial fueron los clones que se establecieron en el municipio de San Vicente, CDC 312, MDF 180, FDR 5597 y GU 198 (Ver Figura 10).

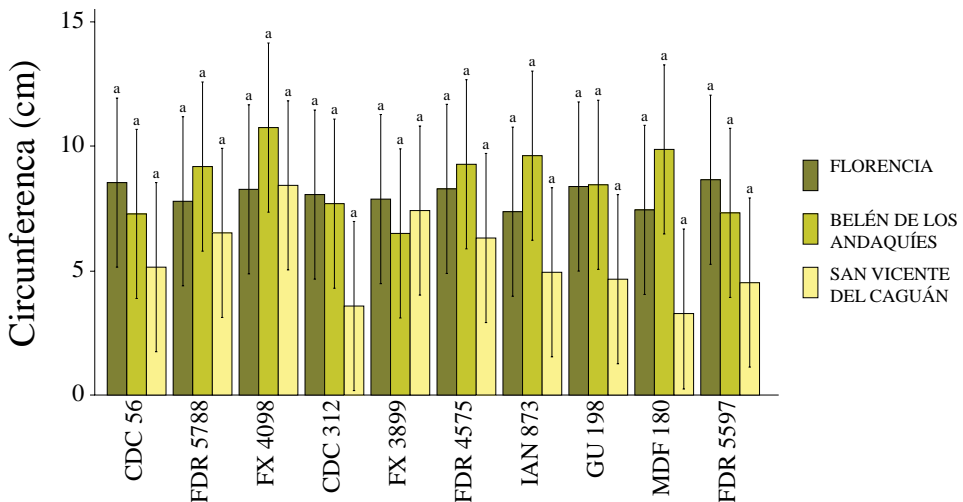


Figura 10. Vigor expresado por el crecimiento en circunferencia (cm) del tronco (CT) a 1 m del suelo en 10 clones de *H. brasiliensis* (9 clones en evaluación y el testigo IAN 873) al cabo de 24 meses de establecidos en los CCGE bajo las condiciones de la Amazonia colombiana. Los intervalos de error muestran la media y los intervalos de confianza al 95%.

Estos resultados son similares a proyecciones hechas por Pereira (2007) y Pereira *et al.* (2007) en clones de orígenes suramericanos y asiáticos evaluados en zonas de escape al mal suramericano de la hoja. Oliveira

y Cruz (2007) encontraron que en zonas con alta presencia *M. ulei*, los mayores crecimientos circunferenciales se evidenciaron en los clones de las serie FDR, seguidos por la serie FX.

La variabilidad del vigor expresado por los clones se puede derivar de la interacción injerto-portainjerto, considerando que en la región no existen campos semilleros seleccionados, lo que conlleva a la mezcla de la semilla sexual. Al respecto, Gonçalves y Martins (2002), determinaron que hay un efecto significativo sobre el vigor de los injertos.

Al evaluar clones nuevos introducidos es de gran importancia las procedencias y los orígenes genéticos de las yemas y del patrón porta-injertos ya que no se ha enfatizado en el papel del material vegetal, ni en los beneficios que tiene los cuales influyen significativamente en el comportamiento del crecimiento de la circunferencia del *Hevea*.

Goncalves *et al.* (1999), plantea la necesidad de generar nuevos cultivares de *H. brasiliensis*, adaptables a diferentes regiones ecológicas. Cultivares tenidos como productivos en algunas regiones pueden comportarse de diferente manera en otras áreas de la misma región, principalmente en aquellas sujetas a variaciones edafoclimaticos.

Según Pushparajah (1980) y Orlani (1996), citados por Goncalves *et al.* (1999), afirman que elementos climáticos tales como las precipitaciones, el déficit hídrico, y la temperatura, afectan varios componentes de crecimiento, desarrollo y producción, contribuyen con una gran suma de variabilidades en el comportamiento de los cultivares.

En esta investigación se determinó la altura (H), la tasa de crecimiento vertical (rH), el vigor (C), y la tasa de crecimiento circunferencial (rC) durante un año. Se encontró evidencia estadística que demostró que H,

rH, C y rC presentan diferencias estadísticas altamente significativas entre clones, entre periodos hidrológicos, y en la interacción entre los factores.

Los clones con mejor desempeño durante el año de evaluación fueron en su orden FX 4098, FDR 4575 y CDC 56; encontrándose que bajo las condiciones de la amazonia colombiana está influenciada no solo por el genotipo sino también por el régimen hidrológico de la zona (Sterling y Correa 2010).

Sterling y Correa (2010), evaluaron crecimientos circunferenciales anuales (Vigor) en 12 clones evaluados de *Hevea sp*, los cuales oscilaron entre 6,9 cm para el clon asiático PB 260 y 12,6 cm para el clon americano FX 4098. Los clones más vigorosos, con una circunferencia de fuste mayor a 10 cm fueron en orden ascendente: CDC56, FX 3864, FDR 4575 y FX 4098.

La tendencia observada en los 12 clones evaluados fue contraria al crecimiento vertical, en el sentido en que el incremento de la circunferencia del fuste fue mayor en los primeros meses de desarrollo y menor en el ciclo final de las evaluaciones de campo. El vigor (circunferencia del tallo) es uno de los parámetros más importantes en caucho por cuanto se relaciona con el inicio de la sangría y la producción del cultivo (precocidad).

En general se tiene como concepto generalizado que una vez que el tronco del árbol alcanza 45 cm de CAP a 1,2 m de altura se encuentra listo para iniciar el periodo productivo, la edad en que esto ocurre está íntimamente relacionada con las condiciones ecológicas de la zona y entre genotipos (Calvacante *et al.*, 2002). Un rápido incremento en el vigor significa reducción del periodo de inmadurez lo que posibilita la apertura de panel a menores edades de la plantación. Las correlaciones muestran asociación entre caracteres, los cuales pueden ser de origen genético o fenotípico (resultado de la influencia ambiental sobre el comportamiento genotípico), siendo las de origen genético los más importantes en el

mejoramiento, porque al utilizarlos se puede predecir una mejor respuesta en la selección de clones. Al respecto Goncalves *et al.* (1984), encontró correlaciones altamente significativas entre la producción, la altura de planta, grosor de corteza, y diámetro de vasos laticíferos.

La alta correlación fenotípica y genética entre producción y altura de planta; y entre producción y vigor, evidencia la posibilidad de obtener clones jóvenes (dos años) de una buena capacidad productiva y vigor. La baja correlación entre altura de planta y vigor muestra que en la selección de clones, aplicada para obtener plantas de diámetro mayor, será menos eficiente para aumentar la altura de la planta.

La producción se presenta interrelacionada con las variables de altura de planta, espesor de la corteza y con el diámetro de los vasos laticíferos, tanto fenotípica como genéticamente. Este resultado, sumado a un alto valor de coeficiente de determinación genotípica de carácter, muestra la posibilidad de aumentar la producción del caucho con la selección de los nuevos clones teniendo en cuenta tales caracteres. La circunferencia del tronco y espesura de la corteza se correlacionaron positivamente tanto genética como fenotípicamente, indicando que las plantas que presentan mayor vigor tienden a presentar mayor grosor o espesura de corteza (Goncalves *et al.*, 1980).

1.7. EVALUACIÓN DE LA ARQUITECTURA DE COPAS

1.7.1. Calidad de Copas (CC)

Para evaluar la calidad de la copa (CC) se calificó de uno a tres en las 18 plantas evaluadas, adoptando una simplificación de las cinco categorías

propuestas por Dawkins (1958), donde 1: Deficiente (Copa pobre y poco vigorosa), 2: Regular (Intermedia en densidad de follaje), 3: Buena (Copa simétrica y vigorosa).

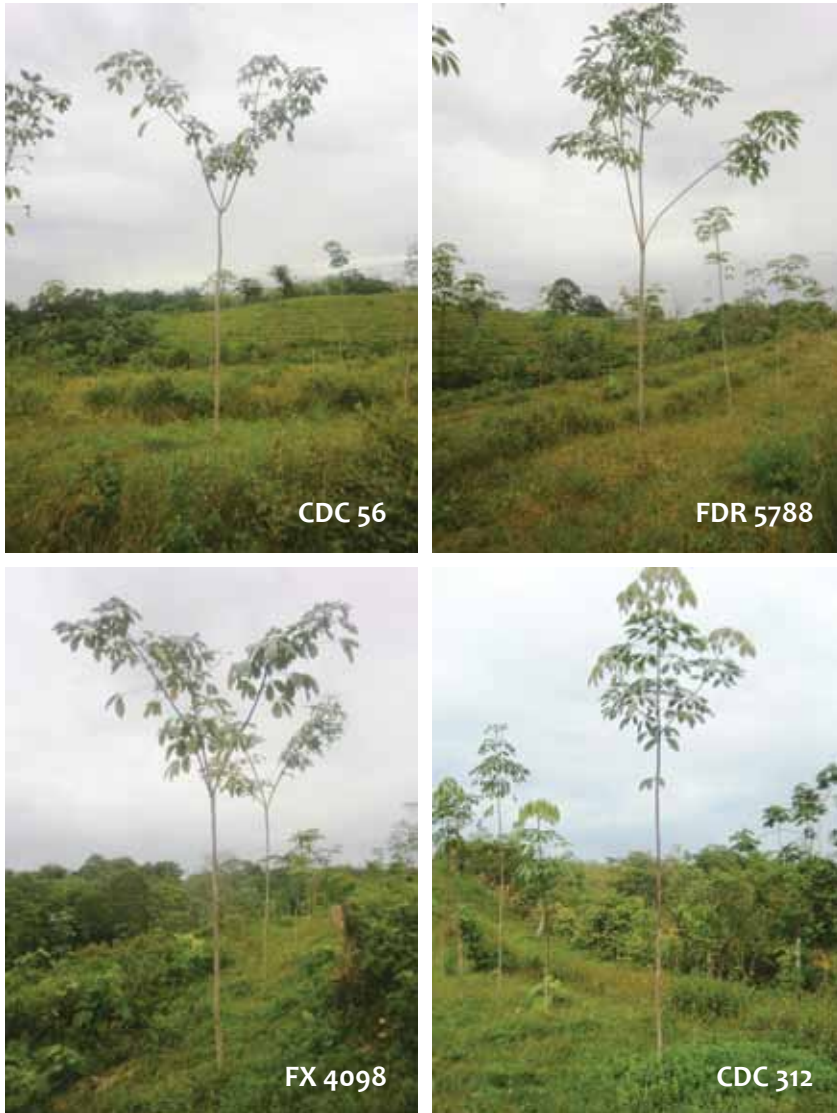


Figura 11. Perfiles de copa de 10 clones de caucho natural (*H. brasiliensis*) establecidos en tres Campos a Gran Escala CCGE localizados en los municipios de Belén de los Andaquíes, Florencia y San Vicente del Caguán.



Figura 11 (Cont.).

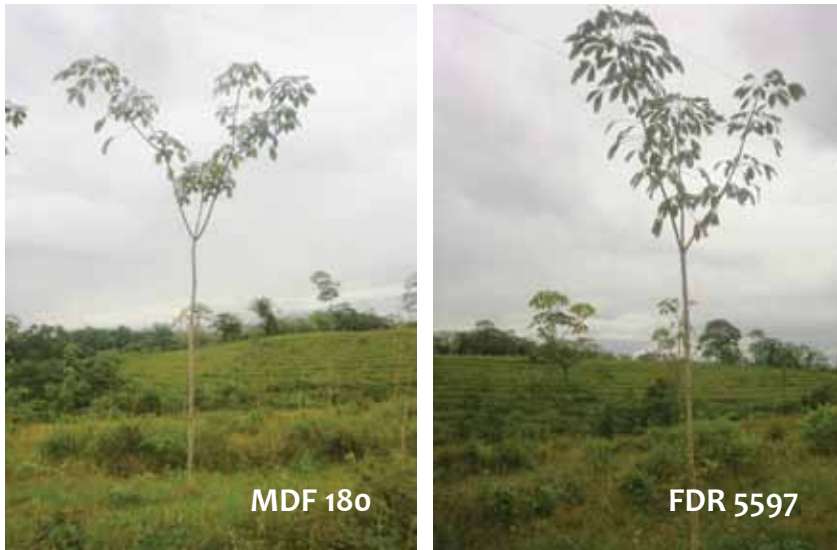


Figura 11 (Cont.).

La calidad de copas de los clones en los tres CCGE presentó variaciones significativas entre clones y entre CCGE (ambos, $P < 0.05$) (ver Tabla 5).

Tabla 5. Media de la Calidad de Copa en 10 clones de *Hevea brasiliensis* establecidos en Campos Clonales a Gran Escala CCGE en tres municipios del Departamento del Caquetá (Colombia).

Clones	CCGE			
	Florencia	Belén	San Vicente	Promedio
CDC 56	1.88 ± 0.04 ^a bc ^b	1.40 ± 0.07 d	2.41 ± 0.06 abc	1.90 ± 0.06
FDR 5788	2.09 ± 0.05 ab	1.93 ± 0.08 a	2.33 ± 0.06 abc	2.12 ± 0.06
FX 4098	2.06 ± 0.04 ab	1.81 ± 0.07 ab	2.48 ± 0.06 ab	2.48 ± 0.06
CDC 312	2.22 ± 0.05 a	1.48 ± 0.06 cd	2.47 ± 0.05 ab	2.06 ± 0.05
FX 3899	1.85 ± 0.07 bc	1.43 ± 0.07 cd	2.19 ± 0.04 c	1.82 ± 0.06
FDR 4575	1.91 ± 0.04 bc	1.40 ± 0.06 d	2.26 ± 0.05 bc	1.86 ± 0.05
IAN 873	1.76 ± 0.06 c	1.66 ± 0.07 abcd	2.40 ± 0.06 abc	1.94 ± 0.06
GU 198	2.04 ± 0.03 ab	1.73 ± 0.07 abc	2.58 ± 0.05 a	2.12 ± 0.05
MDF 180	1.73 ± 0.07 c	1.58 ± 0.09 bcd	2.36 ± 0.06 abc	1.89 ± 0.07
FDR 5597	2.06 ± 0.06 ab	1.52 ± 0.08 bcd	2.54 ± 0.05 a	2.04 ± 0.06
Media ^c	1.96 ± 0.05	1.59 ± 0.07	2.40 ± 0.05	1,99

^a Error estándar.
^b Valores en cada columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba Tukey HSD, $P < 0.05$).
^c Medias de los valores en esta fila seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba Tukey HSD, $P < 0.05$).

El municipio de San Vicente presentó la media más alta (2.58) y en el municipio de Belén se presentó la más baja (1.40). Los clones FDR 4575 y FX 3899 (ver Figura 11) presentaron diferencias significativas entre sí y entre el resto de material evaluado. Los valores oscilaron entre 1.83 para el clon FX 3899 hasta 2.12 para el clon FX 4098 con una media general de 1.99.

1.7.2. Posición de Copas (PC)

Para la evaluación de la posición de la copa (PC) se calificó de uno a tres en las 18 plantas útiles por clon, adoptando una simplificación de las cinco categorías propuestas por Dawkins, donde 1: Deficiente (totalmente descubierta), 2: Regular (Parcialmente expuesta) y 3: Buena (Copa completamente expuesta). La posición de copas de los materiales presentó diferencias significativas entre los clones y los CCGE (ambos, $P < 0.05$) (ver Tabla 6).

Tabla 6. Media de la Posición de Copas en 10 clones de *Hevea brasiliensis* establecidos en los Campos Clones a Gran Escala CCGE en tres municipios del Departamento del Caquetá (Colombia).

Clones	CCGE			
	Florencia	Belén	San Vicente	Promedio
CDC 56	1.90 ± 0.03 ^a bc ^b	1.75 ± 0.09 bcd	2.13 ± 0.08 a	1.93 ± 0.07
FDR 5788	1.90 ± 0.04 bc	2.11 ± 0.09 ab	1.97 ± 0.08 ab	1.90 ± 0.07
FX 4098	1.97 ± 0.02 ab	2.16 ± 0.09 a	2.01 ± 0.09 ab	2.05 ± 0.07
CDC 312	2.15 ± 0.04 a	1.73 ± 0.07 bcd	2.01 ± 0.09 ab	1.96 ± 0.07
FX 3899	1.72 ± 0.05 c	1.62 ± 0.09 d	1.54 ± 0.06 c	1.63 ± 0.07
FDR 4575	1.91 ± 0.04 bc	1.61 ± 0.08 d	1.72 ± 0.09 bc	1.75 ± 0.07
IAN 873	1.72 ± 0.05 c	2.11 ± 0.08 ab	2.00 ± 0.08 ab	1.94 ± 0.07
GU 198	1.98 ± 0.04 ab	2.01 ± 0.08 abc	2.03 ± 0.09 a	2.01 ± 0.07
MDF 180	1.75 ± 0.07 c	1.76 ± 0.09 bcd	2.02 ± 0.09 ab	1.84 ± 0.08
FDR 5597	1.98 ± 0.05 ab	1.70 ± 0.09 cd	2.13 ± 0.09 a	1.94 ± 0.08
Media ^c	1.90 ± 0.04	1.86 ± 0.09	1.96 ± 0.08	1,91

^a Error estándar.

^b Valores en cada columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba Tukey HSD, $P < 0.05$).

^c Medias de los valores en esta fila seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba Tukey HSD, $P < 0.05$).

En el municipio de Belén se presentó la nota más alta (2.16), seguido por Florencia (2.15) y San Vicente (2.13). En relación con los promedios, la variación entre clones tuvo un rango de 1.90 en el clon FX 3899 tuvo la calificación más baja 1.63, la calificación que fue compartida por los clones FX 4098, GU 198, FDR 5788 con una media general fue de 1.92.

1.7.3. Ángulo de inserción de la ramas (AIR)

Para medir en grados el ángulo de inserción de las ramas (AIR), se utilizó un transportador angular, el cual se localizó en el punto axial de la rama sobre una transversal horizontal imaginaria. Esta medida se realizó en cada uno de los 18 individuos seleccionados por clon. El ángulo medio (28.31°) de inserción en los 10 clones de *H. brasiliensis* presentó diferencias significativas entre los clones y entre los campos clonales ($P < 0.05$) (ver Tabla 7). El rango entre clones osciló de 21.51° en el clon FX 3899, hasta 35,38° obtenido en el clon FX4098.

Tabla 7. Angulo promedio de inserción de ramas basales en 10 clones de *Hevea brasiliensis* establecidos en tres CCGE en tres municipios de Caquetá (Colombia).

Clones	CCGE				Promedio
	Florencia	Belén	San Vicente		
CDC 56	23.88 ± 1.53 ^a bc ^b	29.93 ± 1.29 c	32.47 ± 1.35 ab	28.76 ± 1.39	
FDR 5788	31.40 ± 1.96 a	36.41 ± 1.36 ab	29.09 ± 0.06 bcd	32.30 ± 1.13	
FX 4098	32.37 ± 1.94 a	38.90 ± 1.78 a	34.88 ± 1.27 a	35.38 ± 1.66	
CDC 312	23.39 ± 2.23 bc	38.90 ± 1.78 abc	29.05 ± 1.27 bcd	30.45 ± 1.76	
FX 3899	15.21 ± 1.43 d	20.94 ± 1.37 d	28.37 ± 0.87 bcde	21.51 ± 1.22	
FDR 4575	21.20 ± 1.51 bcd	29.75 ± 1.60 c	26.47 ± 1.08 de	25.81 ± 1.40	
IAN 873	22.79 ± 1.62 bc	31.73 ± 1.07 bc	27.18 ± 0.71 cde	27.23 ± 1.13	
GU 198	27.58 ± 1.78 ab	34.02 ± 1.74 abc	24.59 ± 0.99 e	28.73 ± 1.50	
MDF 180	22.08 ± 1.26 bcd	29.31 ± 1.26 c	31.61 ± 1.06 abc	27.67 ± 1.19	
FDR 5597	19.98 ± 1.21 cd	29.97 ± 1.46 c	31.94 ± 0.74 ab	27.30 ± 1.14	
Media ^c	23.99 ± 1.65	31.99 ± 1.47	29.57 ± 0.94	28,31	

^a Error estándar.
^b Valores en cada columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba Tukey HSD, $P < 0.05$).
^c Medias de los valores en esta fila seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba Tukey HSD, $P < 0.05$).

El mayor ángulo de inserción fue alcanzado por los materiales establecidos en el CCGE del municipio de Belén (31.99°), seguido por San Vicente (29.57°) y Florencia (23.99°).

1.8. ANALISIS MULTIVARIADO DE DESEMPEÑO AGRONÓMICO

1.8.1. Análisis de componentes principales

De acuerdo con el análisis de componentes principales (ACP) realizado sobre la matriz de correlación, los tres primeros componentes aportaron el 83.64 % de la variación total, y estos mismos tuvieron raíces características mayores a la unidad.

Cuando se analizaron los coeficientes de los vectores características asociados a estos últimos componentes, se encontró que el desempeño agronómico más importantes en su orden fueron la supervivencia del CCGE de Florencia las alturas y circunferencia de los CCGE de Belén de lo Andaquíes y San Vicente del Caguán.

1.8.2. Análisis Multidimensional

Con el fin de observar las relaciones de similitud y diferenciación entre los 10 clones de *H. brasiliensis* estudiados, se realizó un análisis de escalamiento no métrico (ver Figura 12). En él se alcanzó un stress de $S=0.080$. Este valor fue muy bueno lo que permitió interpretar la variabilidad de los clones.

En la figura 12 se logra distinguir un agrupamiento pequeño entre los clones FDR 5788, FDR 4575 y IAN 873. La mayor diferenciación se observó entre los clones FX 3899 y CDC 56 debido a que presentaron las medias

más bajas de todas las variables evaluadas, a diferencia del clon FX 4098, el cual presentó las mejores rendimientos en cuanto a supervivencia, altura y vigor en todo el experimento.

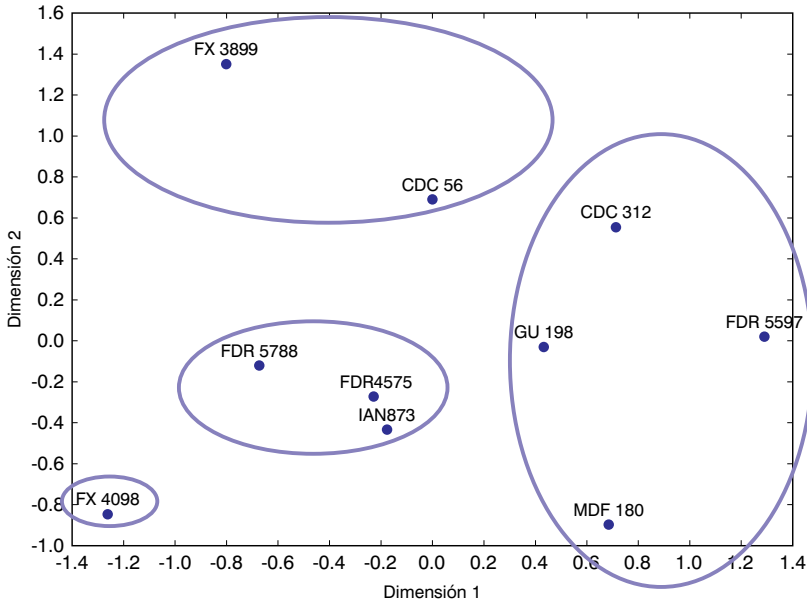


Figura 12. Representación gráfica del análisis de escalamiento no métrico en dos dimensiones de los 10 clones de *H. brasiliensis*, evaluados a partir de la distancia Euclidiana al cuadrado sobre las variables de desempeño (matriz reducida).

1.9. ANÁLISIS MULTIVARIADO DE ARQUITECTURAS DE COPAS

Con el agrupamiento por el método de UPGMA (Unweighted pair-group arithmetic mean) y Jaccard permite observar 4 grupos de clones en relación a la arquitectura de copas en los CCGE (ver Figura 13). Un primer grupo (A) conformado por los clones CDC 56, FDR 5788, FDR 4575 Y GU 198 con una disimilitud de 0.68 los cuales presentaron notas regulares, con respecto a las variables de calidad y la posición de las copas de acuerdo a la escala de calificación en los CCGE. Se observó un grupo (B) con una disimilitud de 0.68 conformados por los clones,

4098 y IAN 873 los cuales presentaron similitud en sus calificaciones de calidad y posición de las copas presentando un buen comportamiento en cuanto sus arquitecturas en el CCGE de Belén de los Andaquies con una variación en el CCGE de San Vicente del Caguan.

El tercer grupo (C) con una disimilitud de 0.68 agrupó los clones FX 3899, FDR 5597, los cuales presentaron un comportamiento similar en sus arquitecturas, notas bajas y rendimientos con respecto a las variables evaluadas. Se observó un grupo (D) con disimilitud de 0.92 conformado por los clones MDF 180 el cual presentó el más bajo rendimiento de todos en las variables de calidad y posición de copas en los CCGE.

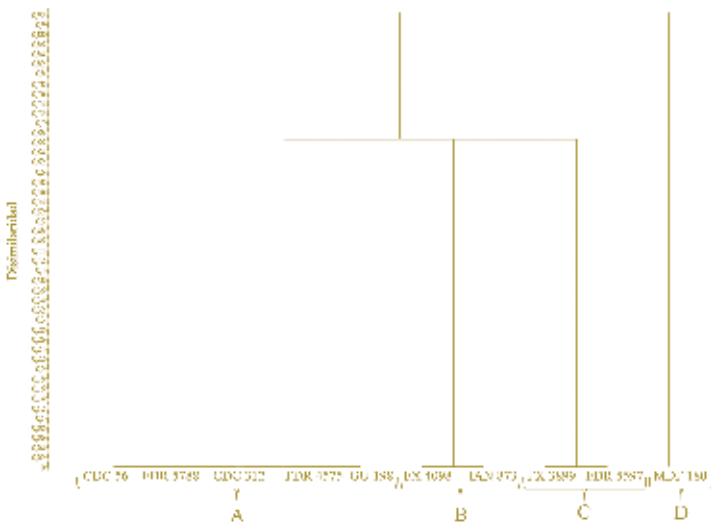


Figura 13. Análisis de conglomerado jerárquico producido mediante el algoritmo UPGMA sobre la matriz de binaria obtenida a partir del análisis de 5 variables de arquitecturas de copas (matriz reducida) en 10 clones de *H. brasiliensis*.

1.10. SELECCIÓN DE LOS MEJORES CLONES DE *H. brasiliensis*

Según la tabla 8 los clones *H. brasiliensis* que presentaron mejor desempeño agronómico y arquitectura de copas en su orden fueron: FX

4098, FDR 4575, FDR5788, IAN 873, CDC 56, GU 198, FX 3899, CDC 312, MDF 180 y FDR 5597.

Tabla 8. Matriz de selección de los mejores clones de *H. brasiliensis* según el desempeño agronómico y la arquitectura de copas promisorios para la Amazonia Colombiana.

Clon	Supervivencia		Altura		Circunferencia		Calidad de Copa		Posición de Copa		Total
	Media	Calificación	Media	Calificación	Media	Calificación	Media	Calificación	Media	Calificación	
FX 4098	96,25	1	3,71	1	9,14	1	2	1	3	1	5
FDR 4575	93,75	4	3,24	4	7,96	2	2	1	2	2	13
FDR 5788	92,91	7	3,5	2	7,82	3	2	1	2	2	15
IAN 873	94,86	3	3,14	6	7,31	4	2	1	3	1	15
CDC 56	93,33	6	3,28	3	6,99	7	2	1	2	2	19
GU 198	93,47	5	3,07	8	7,17	6	2	1	2	2	22
FX 3899	82,49	10	3,16	5	7,25	5	2	1	1	3	24
CDC 312	95,27	2	2,74	10	6,43	10	2	1	2	2	25
MDF 180	91,66	8	3,12	7	6,87	8	1	2	1	3	28
FDR 5597	90,55	9	2,81	9	6,84	9	2	1	1	3	31

1.11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASOHECA. 2010. Informe Final de Coordinación de Proyectos. Florencia: Documento Interno de Trabajo. 47 p.

CASTELLANOS D. O; FONSECA R. S; BARÓN N. M. 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. Universidad Nacional De Colombia. Grupo de investigación y desarrollo en gestión, productividad y competitividad. Bogotá. Colombia.

CAVALCANTE J.R.; CONFORTO C.E. 2002. Desempenho de cinco clones jovens de seringueira na região do Planalto ocidental paulista. IN: Fitotecnia, Bragantia, Campinas, V(61), n. 3, pp.237-245.

COMBE J. C.; GERNER P. 1977. Effect of the Stock Family on the Growth and Production of Grafted *Heveas*. Journal of the Rubber Research Institute of Sri Lanka, v. 54, 83-92 p.

COMPAGNON, P. 1998. El Caucho Natural. Biología - Cultivo y Producción. CIRAD C.P. Concejo Mexicano de hule México. 840 p.

DÍAZGRANADOS, D.A. 1993. Caracterización socioambiental de la zona de estudio. En: MALAGÓN-CASTRO, D., D. A. DÍAZGRANADOS, J. G. SALDARRIAGA, U. RINAUD (eds.). Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del Occidente del Departamento de Caquetá. Instituto Geográfico Agustín Codazzi —IGAC—. Tercer Mundo Editores. Bogotá, D. C. pp: 11-58. Programa Investigaciones para la Amazonia —INPA—. Serie Estudios en la Amazonia Colombiana VI.

DAWKINS, H. C. 1958. The management of natural tropical high forest with special reference to Uganda. Oxford University Press, Oxford. (Imperial Forestry Institute Paper No. 3).

FERWERDA F. P. 1969. Rubber. In: FERWERDA F. P. y WIT, F. Outlines of Perennial Crop Breeding in the Tropics. Wageningen, H. Veenan y Zonenn, 236 p.

GONCALVES, P de S; VASCONCELLOS, M.E da C., SILVA, E.B. 1980. Heredabilidade, correlacoes genéticas e fenotípicas do alguns características de clones da siringueira. Pesq. Agrop. Bras. 15:129-136.

GONCALVES DE SOUZA, P.; ROSETTI A.G.; CANDEREIRA V. A.; VIEGAS I. de J. 1984. Estimativas de correlacoes genéticas e fenotípicas de alguns caracteres cuantitativos em clones jovens de siringueira. IN: Rev. Brasil. Genet. VII (1): 95-105.

GONÇALVES, P. 1986. Melhoramento genético da seringueira (*Hevea* sp.). In: SIMPÓSIO SOBRE A CULTURA DA SERINGUEIRA NO ESTADO DE SÃO PAULO. Piracicaba-SP Anais. Campinas: Fundação Cargilí. pp 95-123.

GONÇALVES, P.de S.; ORTOLANI, A.A.; CARDOSO M. 1997. Melhoramento Genético da seringueira: uma revisão. Campinas: Instituto Agrônômico, (Instituto Agrônômico. Documentos IAC, 54). 55p.

GONÇALVES, P. DE S. CARDOSO, M. C. M.; FURTADO, E. L; TANZINI, M. R. 1994. Desempenho de Novos Clones de Seringueira da Série IAC: II. Seleções Promissoras Para a Região do Planalto do Estado de São Paulo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.29, n.8 ,1215-1224.

GONÇALVES, P. DE S.; MARTINS, A. L. M. 2002. Combining Ability Effects of Clonal Rootstocks and Scions in Rubber Trees (*Hevea*). Crop Breeding and Applied Biotechnology, v. 2, n. 3, 445-452.

GONÇALVES DE SOUZA, P.; TOSONI DA EIRA A.; LIMA G.L.R. 2006. Expressão fenotípica da clones de seringueira na região noroeste do estado do São Paulo. IN: Bragantia: Revista de ciencias agronómicas, V.65 (003), 389-398.

HURTADO A. 1992. Amazonia colombiana: una puesta en lugar. pp. 13-24. En: Andrade G., Hurtado A.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI-IGAC. 1993. Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial Occidente del departamento de Caquetá. 3 Tomos. Tercer Mundo Editores. Santafé de Bogotá, D.C. (Proyecto Investigaciones para la Amazonia –INPA: Estudios en la Amazonia Colombian VI).

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI –IGAC. 1999. Paisajes Fisiográficos de Orinoquie-Amazonia (ORAM) Colombia. *Análisis Geográficos* Nos 27-28. Bogota, D.C., Colombia.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI – IGAC. 2010. Caquetá, características geográficas. Imprenta nacional de Colombia. Bogotá, 373 p.

JIMÉNEZ-ROJAS E.M., LONDOÑO-VEGA A.C.; VESTER H.F.M. 2002. Descripción de la arquitectura de *iryantthera tricornis*, *Osteophloeum platyspermum* y *Virola pavonis* (Myristicaceae). *Caldasia* 24: 65-94.

MURCIA GARCIA, U. y otros 30 autores. 2007. Balance anual sobre el estado de los ecosistemas y el ambiente de la Amazonia colombiana, 2006. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas —SINCHI—. Bogotá, D. C.

NARAYANAN, R.; HO, C. Y.; CHEN, K. T. 1974. Clonal nursery studies in *Hevea*. III. Correlations between yield, structural characters, latex constituents and plugging index. *Rubber Research Institute of Malaysia Journal*, Kuala Lumpur, v. 24, n. 1, 1-14.

NG, A. P. HO, C.Y.; SULTAN, M. O.; OOI, C. B.; LEW, H. L.; YOON, P. K. 1982. Influence of Six Rootstocks on Growth and Yield of Six Scion Clones of *Hevea brasiliensis*. In: RRIM planters's conference, 1981. London, 134-151.

OLIVEIRA, A.B.; CRUZ, B. R. 2007. Competição de clones de seringueira (*Hevea brasiliensis*) em condições de restrições à ocorrência do mal-das-folhas (*Microcyclus ulei*) no estado do rio de janeiro En: Memórias I Congresso Brasileiro de Heveicultura. Borracha Natural. INCAPER/ CEDAGRO. Guaraparí-Es. 2.

ORTOLANI, A.A.; SENTELHAS, P.C.; CAMARGO, M.B.P. de; PEZZOPANE, J.E.M.; GONÇALVES, P. de S. 1996. Modelos agrometeorológicos para estimativa da produção anual e sazonal de látex em seringueira. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.4, n.1,147-150.

ORTOLANI A.A. 1998. Fatores climáticos condicionantes da produção de latex de seringueira. Barretos-Sao Pablo, Trabajo presentado en el I Ciclo de Palestras sobre Heveicultura Paulista, 10-11.

PAIVA, J.R. de; ROSETTI, A. G.; GONÇALVES, P. de SOUSA. 1982. Uso de coeficiente de caminhamento no melhoramento da seringueira. Pesq. Agrop. Bras. 17: 433-440.

PEREIRA, A.V. 2007. Desenvolvimento de novos clones de seringueira. En: Memórias I Congresso Brasileiro de Heveicultura. Borracha Natural. INCAPER/CEDAGRO. Guarapari-Es. 32.

PEREIRA, E.B C., PEREIRA A.V. Y TIRABOSCHI, G.M.N. 2007. Desempenho De Clones De Seringueira Na Região De Goiânia. En: Memórias I Congresso Brasileiro de Heveicultura. Borracha Natural. INCAPER. Guarapari-Es.

PRIYADARSHAM P.M., A. P. S. GONÇALVES. 2003. *Hevea* gene pool. For breeding. Genetic resources and Crop Evolution, 50: 101-114.

PREMAKUMARI D. RAMESH B. N. SOMAN T. A. JOHN A. y NAZEER M. A. 2002. Genetic Influence for Intraclonal Variations and Associations of Juvenile Yield and Girth in Thirteen *Hevea* clones in Kanyakumari Region of South India. Indian Journal of Natural Rubber Research, v. 15, n. 1, 28-32.

PRORADAM (Proyecto Radargramétrico del Amazonas). 1979. La Amazonia colombiana y sus recursos. Bogotá. s.p.

PUSHPARAJAH, E. 1980. Problems and potentials for establishing *Hevea* under difficult environmental conditions. Planter, Kuala Lumpur, v.50, pp.242-251.

RAMOS N. P. GONÇALVES P. de S. MARTINS A. L. M.; GODOY JÚNIOR G. 2001. Avaliação Genética em Diferentes Combinações de Enxerto e porta-enxerto de Seringueira. Científica, v. 29, n. 1 e 2, 103-115.

RANGEL, E.; LUENGUAS B. 1997. Clima-Aguas. En Zonificación ambiental para el Plan Modelo Colombo-Brasileño (Eje Apaporis-Tabatinga: PAT. pp. 47-68. Bogotá: IGAC.

RIBEIRO, S.I. 1983. Comportamiento de clones de siringueira (*Hevea spp.*) em Porto Velho, Masters Thesis, UFV. 83 p.

RODRIGUEZ, DOS SANTOS W.1999. Desempenho de novos clones de siringueira. III selecoes promissoras para a regio de Votuporanga, estado de Sao Pablo. IN: Pesquisa agropecuaria, Brasilia, V. 34, n. 6. pp. 971-980.

SAGAY G. A.; OMAKHAFE K. O. 1997. Evaluation of Rootstock and Scion Compatibility in *Hevea brasiliensis*. Symposium on Agronomy Aspects of the Cultivation of Natural Rubber (*Hevea brasiliensis*), 1996, Beruwela. Hertford, UK, IRRBD. pp. 15-19.

SANTOS P. M. 1982. Efeito da Interação Enxerto x porta-enxerto em Seringueira (*Hevea spp.*). Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba. 68 p. Bogotá. 128 p.

SINCHI – INADE. 1998. Macrozonificación ambiental de la Cuenca del río Putumayo, Área Colombiana. Plan Colombo - Peruano para el Desarrollo integral de la cuenca del río Putumayo. OEA. sp.

STERLING, A. C., RODRIGUEZ, O. L., QUINTERO, L., CORREA, J. 2009. Evaluación fitosanitaria y resistencia en campo a *Microcyclus ulei* de *Hevea brasiliensis* en la Amazonia Colombiana. Revista Colombia Amazónica, n.2, 80-90.

STERLING, C. A.; CORREA, D. J. 2010. Desempeño de una colección clonal de caucho en periodo de inmadurez en la amazonia colombiana. In: Revista Ingeniería & Amazonia 3(1): 1-12.

CAPÍTULO 2

Evaluación del estado nutricional de diez clones de caucho natural (*Hevea brasiliensis*) en tres Campos Clonales a Gran Escala CCGE

Armando Sterling Cuéllar¹, Carlos Hernando Rodríguez León¹, Diego Ferney Caicedo Rodríguez¹, Augusto Mazorra Valderrama¹, Ismael Dussán Huaca², Pedro Nel Ruiz Torres³, José Orlando Castillo Ospina³, María Alejandra Vargas Losada⁴, Alexis Centeno Cuéllar⁴, Rocío Sánchez Losada⁴, Alexis Fernando Rodríguez Moreno⁴



- 1 Investigadores Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI Sede Florencia
- 2 Funcionario Asociación de Reforestadores y cultivadores de Caucho del Caquetá ASOHECA
- 3 Pasante de pregrado del proyecto. Contrato No. 200717736-264 - 977/2007 IICA – FNFC, FEDECAUCHO - SINCHI - Convenio No. 057/07 IICA-MADR.
- 4 Tesista del proyecto. Contrato No. 200717736-264 - 977/2007 IICA – FNFC, FEDECAUCHO - SINCHI - Convenio No. 057/07 IICA-MADR.

2.1. INTRODUCCIÓN

La nutrición mineral es un proceso mediante el cual las plantas absorben las sustancias necesarias para fabricar los alimentos que necesitan para la vida mediante su sistema radicular. Estas sustancias son transportados por los vasos del floema y del xilema donde contribuyen al funcionamiento de las células que elaboran, mediante la fotosíntesis los diferentes componentes indispensables para las diversas funciones de la planta (Viegass *et al.*, 1992).

La fertilización es una práctica importante que asegura la máxima expresión del potencial genético de las plantas (Vargas *et al.*, 2009). El agricultor suministra cantidades adecuadas de macro y micronutrientes para garantizar el cumplimiento de procesos fisiológicos esenciales que permiten el desarrollo del cultivo, que permite mitigar los factores limitantes del suelo, algunos antagonismos y efectos osmóticos negativos (Gómez, 2005).

Según Gutiérrez (1997) los nutrientes esenciales poseen las siguientes características: a) son necesarios para la ocurrencia de un ciclo de vida completa, b) participan en funciones metabólicas en las cuales no puede ser sustituidos, y c) su ausencia se asocia a síntomas específicos. Estos nutrientes incluyen: a) C, H, O, N (principales constituyentes de la materia orgánica), b) P y B (esterificados con alcoholes en las plantas), c) K, Na, Mg, Ca, Mn y Cl (absorbidos como iones de la solución del suelo), y d) Fe, Cu, Zn y Mo (absorbidos como iones o quelatos). Según Welch, (1995) el níquel es otro mineral esencial para las plantas, está involucrado en el metabolismo de la urea y de los ureidos, la absorción de Fe, la viabilidad de las semillas, la fijación de N y el crecimiento reproductivo.

El caucho natural es una planta originaria de la región Amazónica, crece en suelos químicamente pobres, con limitantes físicas como

profundidad, porosidad y permeabilidad; presentando crecimiento lento baja producción y causando pérdidas económicas para los heveicultores (Bataglia, 1988). El desequilibrio nutricional en las plantas puede incrementar las probabilidades de infección por patógenos y por tanto la aparición de enfermedades con diferentes niveles de severidad (Agrios, 2005). Las deficiencias de nutrientes en el suelo se observan en las hojas de las plantas y en la producción primaria bruta; sin embargo, no siempre existe relación directa entre niveles disponibles de nutrientes en el suelo y factores como la humedad, luz, temperatura, compactación, pH y enfermedades de las raíces en las plantas que afectan a la absorción de nutrientes (Raij, 1981).

Rincón (1985) demostró que cuanto mayor es la producción, mayor es la cantidad de elementos N, P, K y Mg extraídos del suelo. Por lo que se deduce que las cantidades de nutrientes absorbidos se incrementan tanto con la edad de la planta como con la producción de látex, justificándose de esta manera la reposición de los nutrientes exportados. Cuando se corrigen las limitaciones o deficiencias nutricionales, mediante la aplicación de fertilizantes, se logra un mejor desarrollo y una mejor producción (Bataglia, 1988).

Un conocimiento profundo de las necesidades nutricionales de *H. brasiliensis* es el sistema de absorción y transporte de diferentes nutrientes y el efecto de las limitaciones nutricionales de cada elemento en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Este conocimiento permitirá formular planes de manejo nutricional acordes con las necesidades específicas de la especie, lo que contribuye con la disminución de carencias nutricionales o aplicaciones fertilizantes innecesarias. En contraste, los excesos nutricionales generalmente se traducen en procesos fisiológicos fitotóxicos y en contaminantes ambientales que conllevan a pérdidas económicas sustanciales para el agricultor (Van Reuler y Prins, 1993).

La naturaleza edafológica de la región Amazónica es uno de los principales limitantes para la producción agrícola, debido a la reducida capa orgánica presente en el horizonte A, la alta concentración de arcillas, elevada acidez, baja capacidad de intercambio catiónico y alta proporción de aluminio (Martínez, 1998). No obstante el caucho natural se ha adaptado a estas condiciones particulares, por lo que la especie crece bien en condiciones oligotróficas. Sin embargo, esta respuesta está muy relacionada con el tipo de clon y está influenciada por las características edafológicas particulares del sitio de establecimiento (Pereira y Pereira, 1986).

En este capítulo se presentan los resultados de la evaluación del estado nutricional (contenido nutricional foliar y deficiencias nutricionales visuales) de 9 clones promisorios de *H. brasiliensis* en tres CCGE en relación con el clon testigo IAN 873 en tres zonas edafoclimáticas del Departamento del Caquetá.

2.2. CONTENIDO NUTRICIONAL EDÁFICO Y FOLIAR EN TRES CCGE DE CAUCHO NATURAL

2.1.1. Plan de fertilización utilizado en los CCGE

En cada uno de los CCGE de caucho natural, las prácticas culturales de fertilización consistieron en una aplicación uniforme de compost mezclado con suplementos inorgánicos en la siguiente proporción: 1.89% de cal dolomita, 2.84% de roca fosfórica (Fosforita Huila®), 0.47% de elementos menores (Agriminis®), 0.01% de Boro, 37.91% de barrido de camión (estiércol semi-seco de ganado vacuno, aserrín y suelo limoso), 37.91% de tierra de vega y 18.96% de bovinaza. Se utilizó una dosificación

de 1Kg de la mezcla fertilizante por planta con una frecuencia de aplicación semestral.

2.2.2. Contenido nutricional edáfico

Con el fin de reconocer las principales propiedades fisicoquímicas de los suelos asociados a cada uno de los CCGE, se tomaron dos muestras aleatorias a dos profundidades: 0 a 25cm y 25 a 50cm. Una muestra másica de 1 Kg por cada profundidad fue enviada al Laboratorio Nacional de Suelos del IGAC para el análisis tipo Q-02 (elementos mayores y menores, pH, textura, % de aluminio y saturación de bases). En cada CCGE el nivel de cada elemento ó compuesto se calificó cualitativamente así: Deficiente (D), bajos (B), óptimo (O), alto (A) ó exceso (E).

2.2.3. Contenido nutricional foliar

Se realizaron anualmente muestreos foliares en los 10 clones de *H. brasiliensis* establecidos en los tres CCGE con el fin de coleccionar y posteriormente determinar el contenido de nutrientes presentes en el tejido vegetal mediante el análisis tipo P-01 del Laboratorio Nacional de Suelos del IGAC. Mediante este análisis se determinó el contenido de nitrógeno, magnesio, calcio, fósforo, potasio, zinc, hierro, manganeso, boro y cobre.

El muestreo foliar por cada clon consistió en una muestra másica representativa de 500 g obtenida a partir de los cuatro bloques, y constituida por folíolos en estadio C ó D fotosintéticamente activos y libres de síntomas de enfermedades o daños por plagas. Para el desarrollo de los muestreos foliares en cada CCGE se tuvieron en cuenta las siguientes recomendaciones:

- a. Representatividad de la muestra
- b. Estado de desarrollo y edad del árbol
- c. Tipo de hoja a muestrear
- d. Posición de la hoja en la planta o en la rama.
- e. Edad de la hoja y época de las muestras
- f. Carga genética de los clones
- g. Tipo de suelo, textura y fertilización

En las Figuras 14a y 14b, se ilustra la manera en que se efectuaron los muestreos foliares y el procesamiento final de las muestras para su posterior análisis en laboratorio.



Figura. 14. a. Colecta de folíolos en estadio C del último piso foliar. b. Muestra final en bolsas sello-pack con sílica gel.

Las muestras foliares por clon se colocaron en bolsas herméticas con sílica gel, se rotularon y finalmente se enviaron refrigeradas en nevera de icopor para el análisis de laboratorio. Los resultados del análisis químico foliar se analizaron mediante una anova de dos vías para determinar la variación del contenido nutricional foliar (10 elementos) entre los 10 clones de caucho natural y entre los tres CCGE. Se utilizó una prueba de Tukey al 5% de significancia con el fin de identificar la diferencia entre las medias del contenido nutricional. Se realizó un análisis de componentes principales y un análisis multidimensional no

métrico con el fin de identificar las variables de mayor importancia y determinar el grado de ordenamiento y similitud entre los 10 clones evaluados de acuerdo con el contenido nutricional exhibido al final del experimento.

En la tabla 9 se presenta la variación del contenido nutricional foliar de 10 clones de *H. brasiliensis* establecidos en tres CCGE. Los elementos químicos se presentan de forma descendente: el Mn, se presentó en mayor concentración en todos los clones, el mayor contenido se presentó en el clon FDR 5597 (181.00 mg/Kg), seguido del clon IAN 873. El clon FX 3899 fue el que presentó el menor contenido de manganeso (122.00 mg/Kg). El mayor contenido de Fe se presentó en el clon FDR 5788 (101.87 mg/Kg), seguido del IAN 873 (90.83 mg/Kg) y el de menor contenido de Fe fue el FDR 4575 (54.2 mg/Kg).

El Zn presentó el mayor contenido en los clones IAN 873 y GU 198 (ambos 39.57 mg/Kg), seguido del clon FX 4098 (33.57 mg/Kg). El menor contenido de Zn se encontró en el FDR 4575 (23.57 mg/Kg). El B se presentó en mayor proporción en el clon FDR 5788 (34.43 mg/Kg) comparada con la menor concentración encontrada en el clon MDF 180. El mayor contenido de Cu se registró en el clon FDR 5597 (27.77 mg/Kg), seguido del FDR 5788 (24.00 mg/Kg) y el de menor concentración fue el FX 4098 (19.7 mg/Kg).

No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los macro y micro nutrientes presentes en los tejidos foliares de los 10 clones evaluados en CCGE ($P > 0.05$). Hubo diferencias significativas en el contenido de Nitrógeno, Zinc, Manganeso, Boro y Cobre en los tres CCGE ($P < 0.05$). Los demás nutrientes no estuvieron influenciados por el CCGE (ver Tabla 9).

Tabla 9. Principales elementos químicos foliares presentes en 10 clones de *H. brasiliensis* en tres CCCE localizados en tres municipios del departamento del Caquetá (Colombia).

ACTOR	NIVEL	N(%)	Mn(mg/kg)	K(%)	Zn(mg/kg)	B(mg/kg)	Ca(%)	P(%)	Mg(%)	Fe(mg/kg)	Cu(mg/kg)
CLON	CDC 56	1,88±0,71 ^a	132±46a	1,40±0,10a	27,23±5,89a	30,17±9,38a	0,55±0,07a	0,20±0,00a	0,22±0,03a	56,83±12,44a	21,63±12,633a
	FDR 5788	2,27±0,70a	147±45a	1,33±0,07a	30,90±8,69a	34,43±8,14a	0,61±0,07a	0,22±0,010a	0,23±0,00a	101,87±42,37a	24±14,56a
	FX 4098	1,62±5,23a	134±30a	1,43±0,09a	33,57±5,23a	26±7,60a	0,40±0,05a	0,23±0,03a	0,23±0,00a	66,50±7,00a	19,70±9,4193a
	CDC 312	1,90±0,76a	149±26a	1,27±0,07a	28,57±9,25a	22,80±6,38a	0,44±0,03a	0,21±0,00a	0,23±0,02a	74,67±18,14a	21,80±14,203a
	FX 3899	1,83±0,79a	122±59a	1,53±0,12a	29,23±2,91a	24,43±6,98a	0,34±0,06a	0,21±0,03a	0,22±0,01a	55,83±6,33a	21,50±11,500a
	FDR 4575	0,55±0,04a	132±53a	1,23±0,15a	23,57±6,29a	27,30±8,92a	0,55±0,04a	0,16±0,02a	0,23±0,04a	54,2±5,24a	20,90±13,912a
	IAN 873	0,60±0,04a	172±41a	1,19±0,16a	39,57±7,61a	28,87±8,68a	0,60±0,04a	0,16±0,01a	0,26±0,01a	90,8±11,67a	21,57±11,101a
	CU 198	1,77±0,82a	165±42a	1,20±0,10a	39,57±7,47a	28,53±8,99a	0,54±0,06a	0,20±0,02a	0,25±0,01a	72,2±3,95a	20,70±8,7191a
	MDF 180	1,81±0,80a	132±75a	1,06±0,29a	30,23±13,72a	21,57±9,48a	0,40±0,16a	0,14±0,05a	0,19±0,07a	65±5,190a	23,20±16,822a
	FDR 5597	2,79±1,03a	181±42a	1,33±0,03a	32,57±6,67a	28,50±7,82a	0,56±0,10a	0,19±0,02a	0,23±0,03a	73,2±10,35a	27,77±12,266a
MEDIA ^c	1,70	147,00	1,30	31,50	27,26	0,49	0,19	0,23	60,9	22,23	
CAMPO	FLORENCIA	1,30±0,31b	226,70±8,44a	1,29±0,05a	40,30±1,91a	12,30±0,45b	0,52±0,0315a	0,19±8,327E-03a	0,22±0,0133a	89,85±11,83a	47,13±1,93a
	BELEN	3,00±0,23a	131,83±10,61b	1,27±0,07a	33,10±4,41a	34,72±1,68a	0,44±0,0391a	0,21±0,0101a	0,23±0,0101a	65,86±6,53ab	11,60±1,34b
	SAN VICENTE	1,41±0,19b	81,61±10,92b	1,34±0,11a	21,10±2,21b	34,76±4,18a	0,53±0,0606a	0,18±0,0203a	0,23±0,0207a	57,60±7,88b	8,10±0,73b
MEDIA ^c	19,046	146,710	1,29	31,5 0	27,26	0,50	0,19	0,23	71,1	9,27	

^a Error estándar (individual).^b Los valores que muestran la misma letra en cada columna no presentan diferencias estadísticamente significativas (test Tukey HSD, $P < 0,05$).^c Medias seguidas por letras iguales en cada columna no difieren entre sí según el (test Tukey HSD, $P < 0,05$).

Deficiencia: Nitrogeno: N; Manganeso: Mn; Potasio: K; Zinc: Zn; Boro: B; Calcio: Ca; Fósforo: P; Magnesio: Mg; Hierro: Fe; Cobre: Cu.

2.2.4. Componentes principales para el contenido nutricional foliar

Se realizó un análisis de componentes principales sobre la matriz de correlación, en donde los tres primeros componentes aportaron el 80.26 % de la variación total, y estos mismos tuvieron raíces características mayores a la unidad.

Cuando se analizaron los coeficientes de los vectores característicos asociados a estos últimos componentes, se encontró que el contenido foliar más importantes en su orden fueron: Nitrógeno (N), Magnesio (Mg), Zinc (Zn), Fósforo (P) y Hierro (Fe). Por lo que se considera que estos elementos químicos acumulados a nivel foliar son buenos indicadores de los requerimientos nutricionales en los diferentes clones evaluados en CCGE.

Shorrocks (1979) afirma que en la función estructural, varios de éstos el elementos hacen parte de la molécula de uno o más compuestos orgánicos; N en aminoácidos y proteínas, Mg como parte de la molécula de la clorofila. Como constituyente de enzimas son esenciales para la actividad de las mismas, tales como, Fe y Zn.

2.2.5. Escalamiento multidimensional no métrico para el contenido nutricional foliar

Con el fin de observar las relaciones de similitud o preferencia y diferenciación entre los 10 clones de *H. brasiliensis* estudiados, se realizó un análisis de escalamiento no métrico (ver Figura 15). En éste análisis se alcanzó un stress de $S=0.2287$. Este valor regular permite una interpretación bastante aproximada a la variabilidad observada en el contenido nutricional de los 10 clones evaluados.

En la figura 15 se observa un agrupamiento relativo en los 10 clones de caucho natural. La mayor diferenciación se observó entre los clones MDF 180 y IAN 873, en comparación con el resto de clones, principalmente en relación con el contenido de N, P, Fe y Mn (grupos A al D). El grupo E presentó una mínima similaridad, destacándose particularmente en el agrupamiento, el efecto debido a los nutrientes N, Mn y Zn.

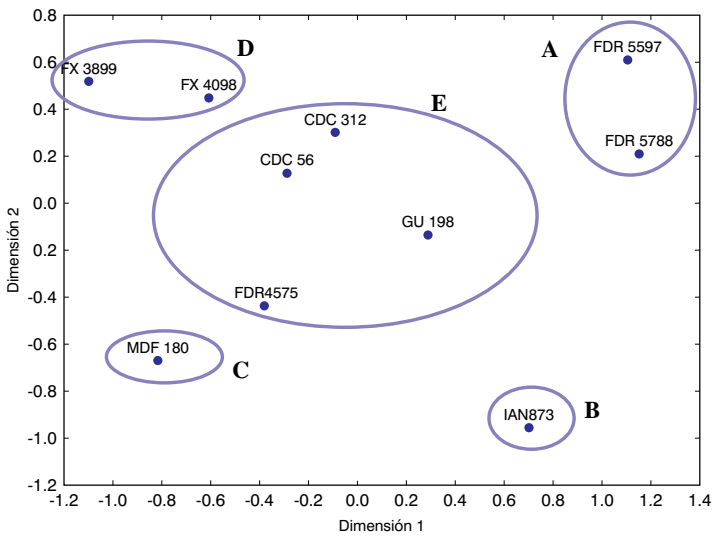


Figura 15 Representación gráfica del análisis de escalamiento no métrico en dos dimensiones de los 10 clones de *H. brasiliensis*, evaluados a partir de la distancia euclidiana al cuadrado sobre cinco elementos químicos nutricionales (matriz reducida). A: FDR5788, FDR5597; B: IAN 873; C: MDF180; D: FX3899, FX4098; E: CDC312, CDC56, FDR4575, GU198.

2.3. PRINCIPALES DEFICIENCIAS NUTRICIONALES VISUALES

2.3.1. Caracterización de las deficiencias nutricionales visuales

Los niveles de concentración de cada uno de los elementos químicos esenciales para la planta, por debajo de los cuales se manifiestan los

síntomas de deficiencia, ya se conoce para la mayor parte de cultivos. Teniendo en cuenta que estos niveles varían en función de la edad de la planta, la variedad y el tipo órgano analizado.

El diagnóstico visual consiste en comparar el aspecto de la muestra o de la planta con un estándar o patrón; en la mayor parte los casos se compara un órgano, generalmente la hoja. Antes de hacer un diagnóstico de deficiencia o toxicidad, es importante descartar la incidencia de plagas y enfermedades, ya que estas pueden inducir síntomas foliares muy parecidos.

Las principales manifestaciones sobre carencia de elemento nutricional a nivel foliar son: clorosis o amarillamiento, el cual puede ser uniforme o en los bordes de hojas; clorosis intervenal, necrosis, enanismo y coloración anormal.

Las principales deficiencias nutricionales encontradas en este estudio se relacionaron con los siguientes elementos: N, Fe, B, Mn, Cu, Mg, Zn, Ca, K, P, los cuales son fundamentales para el buen desarrollo y crecimiento del caucho natural (Shorrocks, 1979) (Ver Figura 16). A continuación se describen los síntomas más característicos de éstas deficiencias:

- **Deficiencia de Magnesio**

El síntoma característico de la deficiencia de magnesio es la presencia de clorosis intervenal. Generalmente, esta clorosis parece presentarse de afuera hacia adentro, a partir de los bordes de la hoja, con una forma típica de “peine o espina”. En caso de deficiencia aguda la clorosis, conlleva a la necrosis de tejido, reducción en el tamaño y caída de las hojas.

- **Deficiencia de Potasio**

El síntoma característico de la deficiencia de potasio, es el desarrollo de una clorosis en los bordes y en el ápice de la hoja, seguida de una necrosis marginal. En hojas adultas, la clorosis generalmente comienza en la punta a lo largo de los bordes de

la hoja; Frecuentemente quedan zonas verdes en la base de la hoja.

- **Deficiencia de Calcio**

La deficiencia de calcio, al contrario de la deficiencia del magnesio y potasio no presentan amarillamiento pronunciado en las hojas. El primer síntoma es un chamuscado apical o marginal de la hoja seguido de una coloración blanca o castaña clara, muchas veces en gran parte de la hoja.

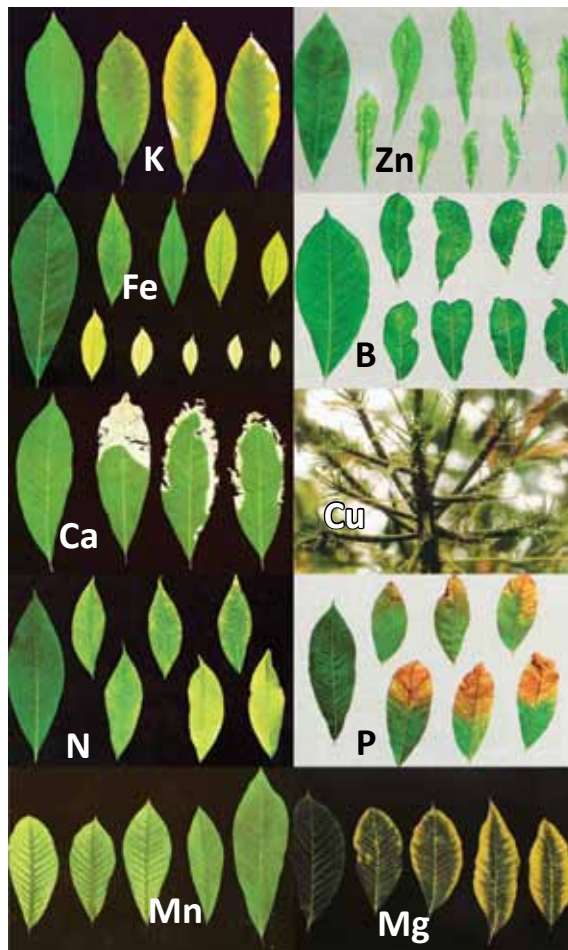


Figura 16. Clave pictórica de las 10 deficiencias nutricionales visuales evaluadas en 10 clones de caucho natural localizados en tres CCGE en el Departamento del Caquetá (Colombia). Tomado de Shorrocks (1964).

- **Deficiencia de Nitrógeno**

La falta de nitrógeno reduce el crecimiento de todo el árbol; esto se refleja en la disminución, en el tamaño y el número de hojas y reducción en la circunferencia. El árbol se torna muy raquítico. El principal indicio de la deficiencia de nitrógeno es una coloración verde amarillenta pálida en las hojas, los síntomas se presenta primero en la hojas más viejas y luego en las más jóvenes.

- **Deficiencia de Fósforo**

El síntoma inicial de la deficiencia de fósforo es un bronceamiento de la parte apical de la hoja, bronceado y necrosis que avanza a la parte media de la hoja. En este estado se desprende del árbol, se evidencia más en las hojas expuestas al sol que las están en la sombra.

- **Deficiencia de Manganeso**

El síntoma típico de la deficiencia es, el amarillamiento global de la hoja, permaneciendo de color verde intenso las nervaduras centrales y laterales, no ocurre necrosis en ninguna de las partes de la hoja, se evidencia más en las hojas grandes y adulta.

- **Deficiencia de Hierro.**

El primer síntoma en la hoja de la deficiencia de hierro es un amarillamiento generalizado semejante a la del manganeso. Con el aumento de severidad de la deficiencia la hoja torna un color amarillo pálido a blanco. Ocurre una reducción en el tamaño de la hoja.

- **Deficiencia de Boro**

Las hojas deficientes en boro, son retorcidas, reducidas de tamaño y algo quebradizas. No hay cambio de color y la malformación no sigue ningún modelo (ver Figura 17). No se deben confundir las malformaciones ocasionadas por la falta de boro con los síntomas de ataque de ácaros en cuyo caso solo afectan los brotes más jóvenes.

- **Deficiencia de Zinc**

El aspecto característico de la deficiencia de zinc es el alargamiento de la lámina foliar y el retorcimiento de esta, con los bordes ondulados. Ocurre un amarillamiento general de la hoja, similar a casos agudos de deficiencia de manganeso, permaneciendo color verde en las nervaduras medias y principal.

- **Deficiencia de Cobre**

La primera señal de la deficiencia de cobre es el marchitamiento de los bordes de las hojas, estos tienden a enrollarse y se chamuscan con un color castaño muy pálido y finalmente caen (ver Figura 17). Frecuentemente un gran número de hojas se desprenden dejando las ramas sin hoja; el punto de crecimiento apical muere y vienen nuevos brotes que desarrollan los meristemas axilares produciendo ramificaciones múltiples. Para la determinación de síntomas visuales de deficiencias, en los 10 clones de *H. brasiliensis*, se realizaron muestreos visuales cada mes, durante un periodo de 24 meses, donde se utilizó la clave pictórica propuesta por Shorrocks (1964).

Según la tabla 10, la deficiencia de nitrógeno fue la mayor entre los clones, especialmente en el MDF 180 (24,86%) y el FX 3899 (23,72%). En cuanto a los elementos Mn, K, Zn, Ca, Mg, Fe y Cu no hubo diferencias significativas entre clones. Las deficiencias de B y P presentaron diferencias significativas en la mayoría de los clones de caucho. La máxima deficiencia de B se registró en el clon FX 4098 con 11.94% y el menor valor se encontró en el clon MDF 180 con 3,58%. La mayor deficiencia de P se presentó entre los FDR 5788 (21.78%) y CDC 312 (9.99%). En el CCGE de Balcanes (Florencia) se presentaron las menores deficiencias nutricionales. En comparación con el CCGE de Agua Dulce (Belén de los Andaquíes) en donde se presentaron las mayores deficiencias nutricionales (ver tabla10).

Tabla 10. Porcentaje de deficiencias nutricionales visuales presentes en 10 clones de *Hevea brasiliensis* establecidos en Campo Clonal a Gran Escala CCGE en tres municipios de Caquetá (Colombia).

FACTOR	NIVEL	N	Mn	K	Zn	B	Ca	P	Mg	Fe	Cu
CLON	CD C 56	19,4±3,29 ^a ab ^b	0,60±0,256 a	2,80±1,07 a	2,82±1,23 a	7,51±1,81 ab	0,04±0,04 a	13,86±2,78 ab	0,47±0,29 a	0,91±0,36 a	0,00±0,00 a
	FDR 5788	11,18±2,70 b	0,50±0,35 a	2,00±0,57 a	0,69±0,45 a	4,36±1,02 b	0,30±0,20 a	21,78±3,90 a	0,38±0,39 a	0,04±0,04 a	0,08±0,08 a
	FX 4098	18,89±3,21 ab	0,49±0,23 a	4,58±1,15 a	1,62±0,58 a	11,94±2,21 a	0,00±0,00 a	14,22±3,46 ab	0,73±0,70 a	0,46±0,33 a	0,00±0,00 a
	CD C 312	16,34±2,22 ab	0,77±0,62 a	2,68±1,06 a	2,55±1,30 a	4,63±0,59 b	0,00±0,00 a	9,99±1,72 b	0,46±0,47 a	0,81±0,62 a	0,00±0,00 a
	FX 3899	23,72±4,70 a	1,08±0,78 a	4,23±1,21 a	0,68±0,23 a	6,32±0,94 ab	0,00±0,00 a	11,51±3,18 ab	2,63±1,70 a	0,50±0,46 a	0,00±0,00 a
	FDR 4575	18,74±3,47 ab	0,00±0,00 a	3,00±1,31 a	0,88±0,28 a	5,87±2,36 ab	0,00±0,00 a	12,09±2,25 ab	0,43±0,38 a	0,04±0,04 a	0,00±0,00 a
	IAN 873	19,78±4,23 ab	0,97±0,78 a	2,75±1,05 a	2,54±1,47 a	5,00±1,16 b	0,20±0,16 a	18,82±3,77 ab	1,00±0,82 a	0,78±0,78 a	0,00±0,00 a
	GU 198	18,78±2,56 ab	0,04±0,04 a	6,90±2,14 a	0,34±0,20 a	6,24±1,13 ab	0,19±0,15 a	10,32±1,96 ab	1,08±0,77 a	0,53±0,33 a	0,00±0,00 a
	MDF 180	24,86±3,12 a	1,83±1,06 a	5,75±1,71 a	1,03±0,52 a	3,58±1,04 b	0,04±0,04 a	10,74±2,87 ab	0,80±0,42 a	0,34±0,23 a	0,00±0,00 a
	FDR 5597	15,38±3,58 ab	0,46±0,33 a	4,49±1,59 a	1,41±0,43	3,73±0,86 b	0,08±0,06 a	13,63±2,63 ab	1,23±0,59 a	0,15±0,15 a	0,00±0,00 a
MEDIA ^c	18,71	0,67	3,94	1,46	5,92	0,09	13,7	0,92	0,46	0,01	
CAMPO	BALCANES	14,46 ± 1,57 a	0,98 ± 0,39 a	3,67 ± 0,78 a	0,47 ± 0,16 b	6,27 ± 0,99 a	0,13 ± 0,07 a	14,08 ± 1,25 ab	2,35 ± 0,64 a	0,23 ± 0,12 b	0,00 ± 0,00 a
	BELÉN	20,60 ± 1,84 a	0,76 ± 0,32 a	4,94 ± 0,87 a	0,49 ± 0,10 b	4,61 ± 0,45 a	0,08 ± 0,05 a	19,91 ± 1,90 a	0,28 ± 0,13 a	0,04 ± 0,02 b	0,02 ± 0,02 a
	SAN VICENTE	21,05 ± 2,04 a	0,27 ± 0,12 a	3,20 ± 0,55 a	3,40 ± 0,65 a	6,87 ± 0,95 a	0,04 ± 0,04 a	7,11 ± 1,02 b	0,13 ± 0,07 a	1,10 ± 0,34 a	0,00 ± 0,00 a
	MEDIA ^c	18,71	0,67	3,94	1,46	5,92	0,09	13,70	0,92	0,46	0,01

^a Error estándar (individual).^b Los valores que muestran la misma letra en cada columna no presentan diferencias estadísticamente significativas (test Tukey HSD, $P < 0,05$).^c Medias seguidas por letras iguales en cada columna no difieren entre sí según el (test Tukey HSD, $P < 0,05$).

Deficiencia: Nitrógeno: N; Manganeso: Mn; Potasio: K; Zinc: Zn; Boro: B; Calcio: Ca; Fósforo: P; Magnesio: Mg; Hierro: Fe; Cobre: Cu.



BORO (B)

HIERRO (Fe)

CALCIO (Ca)



ZINC (Zn)

MAGNESIO (Mg)

POTASIO (K)



NITRÓGENO (N)

FÓSFORO (P)

Figura 17. Síntomas visibles de las principales deficiencias nutricionales presentes en los 10 clones de *H. brasiliensis* evaluados en los tres CCGE

2.3.2. Componentes principales para las deficiencias nutricionales visuales

Se realizó un análisis de componentes principales sobre la matriz de correlación. Los 4 primeros componentes aportaron el 83.73% de la variación total (componente 1: 36.9%, componente 2: 23.3%, componente 3: 15.26%), ellos tuvieron raíces características mayores a la unidad y el aporte de estos a la variación total fue del 75.59%.

Cuando se analizaron los coeficientes de los vectores característicos asociados a estos últimos componentes, se encontró que las deficiencias nutricionales más importantes en su orden fueron: Nitrógeno (N), Manganeso (Mn), Zinc (Zn), Fosforo (P) y Cobre (Cu).

2.3.3. Escalamiento multidimensional no métrico para las deficiencias nutricionales visuales

Con el fin de observar las relaciones de similitud y diferenciación entre los 10 clones de *H. brasiliensis* estudiados, se realizó un análisis de escalamiento no métrico (ver Figura 18). En él se alcanzó un stress de $S=0.0132$. Este valor fue muy bueno lo que permitió interpretar la variabilidad de los clones.

En la figura 18 se observa un agrupamiento importante entre los clones de *H. brasiliensis*. La mayor diferenciación se observó entre clon FDR 5788, frente a los demás clones debido a la presencia de deficiencias nutricionales, especialmente en cobre (Cu).

Se observa una buena proximidad entre los grupos B a E, sin embargo, se observa un agrupamiento particular entre el clon IAN 873 (testigo) y los clones de la serie CDC. Se observa un mejor comportamiento nutricional en los clones de serie FDR. Malavolta *et al.* (1997) afirman que la velocidad de absorción de determinado elemento puede ser aumentada, disminuida o no ser influenciada por la presencia de otro elemento y difiere de la capacidad de absorción por parte de la planta.

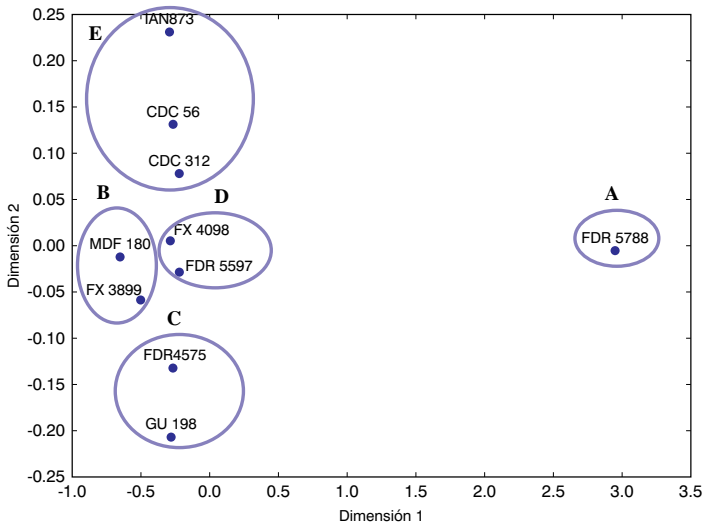


Figura 18: Representación gráfica del análisis de escalamiento no métrico en dos dimensiones de los 10 clones de *H. brasiliensis*, evaluados a partir de la distancia euclidiana al cuadrado sobre las 5 deficiencias nutricionales (matriz reducida).

La deficiencia de K fue la más común en el CCGE de Belén y en los clones GU 198, MDF 180 y FDR 5597 (ver Figura 18). Estos resultados coinciden con lo reportado en el análisis químico foliar. Según Syvanadian *et al.* (1975) estos clones varían su desempeño y crecimiento debido a la falta de este nutriente. El síntoma de K es un amarillamiento marginal de la hoja y en estado avanzado manifiesta necrosis marginal o apical, el cual retarda el desarrollo y reduce de la productividad (Falcão, 1996; Murbach, 1997).

Se confirma que la concentración de algunos elementos encontrados en el análisis foliar, aumenta o disminuye, según el clon y lugar. En el CCGE localizado en Florencia, se refleja mayor deficiencia de Manganeso. Este micronutriente es importante en funciones directas de las plantas sobre el desarrollo de enfermedades (Graham y Webb, 1991). El calcio es requerido para mantener estabilidad de la membrana y la división celular; el fosforo es esencial para el metabolismo, su deficiencia inhibe el crecimiento de la planta (Valois *et al.*, 1980). La deficiencia de Magnesio restringe la clorofila y a la vez reduce la fotosíntesis (Shorrocks, 1979; Embrater, 1980; Valois *et al.*, 1980; Sumner, 1990).

En el CCGE de Belén el elemento con mayor presencia fue el Nitrógeno, elemento esencial para el crecimiento de la planta y forma parte de toda la proteína y la clorofila de la planta de caucho (Valois *et al.*, 1980). El N es el elemento requerido en mayor cantidad por la planta de caucho, actúa en la formación del área foliar para la fotosíntesis y el volumen del árbol (Shorrocks, 1964).

La deficiencia de N se expresó principalmente en los clones FX 3899 en Belén; FX 4098 y el IAN 873 en San Vicente; siendo el CCGE de San Vicente el más afectado. Según Shorrocks (1964) los síntomas visuales de esta deficiencia se caracterizan por presentar una coloración verde pálida y amarillenta.

En San Vicente, el segundo elemento más notable fue fosforo P. A pesar de que el caucho es una planta originaria de regiones de suelo químicamente pobres, pero de buenas características físicas como profundidad, porosidad y permeabilidad. Sin embargo cuando se corrigen las propiedades químicas, se logra un mejor desarrollo y una mejor producción (Bataglia, 1988).

Los nutrientes mayormente absorbidos por las plantas de *Hevea* reportados por Shorrocks (1965) son Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Calcio, Magnesio y azufre, estos datos concuerdan con los registros obtenidos específicamente en el N, K, P en los tres campos de CCGE y Ca, Mg en el CCGE de Florencia. Do Carmo *et al.* (2003), reporta menor producción de caucho seco en plantaciones de *Hevea* cuando los niveles de N y K son bajos tanto en suelo como en las hojas.

2.4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIOS, G.N. 2005. Fitopatología. Edit. LIMUSA S.A. México.

BATAGLIA, O. C.; CARDOSO, M.; CARRETERO, M. V. 1988. Situação nutricional de seringais produtivos no estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, v. 47, n.1, p. 109-123.

DO CARMO, C. A.; MENEGUELLI, N. A.; JARAÚJO, J.; DA EIRA, P. A. 2003. diagnóstico do estado nutricional de seringais da região da zona da mata de minas gerais. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Rio de Janeiro, RJ. ISSN 1517-5146.

EMBRATER, 1980. Objetivos e directrices para o sistema brasileiro de assistência técnica e extensão rural- período programativo 1980/1985. Brasília, Empresa brasileira de assistência técnica e extensão Rural.

FALCÃO, N.P.S. 1996. Adubação NPK afetando o desenvolvimento do caule da seringueira e parâmetros fisiológicos do látex. Piracicaba, 1996. 134p. Tese (Doutorado) -Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

GÓMEZ, M.I. 2005. Análisis de suelos como herramienta de diagnóstico en la evaluación de la fertilidad en el cultivo de papa. En: *Fisiología*

y Nutrición Vegetal en el cultivo de papa. Presente y futuro de la investigación en la Cadena agroalimentaria de la papa en Colombia. Cevipapa. Bogotá. 99 p.

GRAHAM, R.D.; M.J. WEBB. 1991. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. Pp. 329-370. In J.J. Mortvedt, F.R. Cox, L.M. Shuman, and R.M. Welch eds.) Micronutrients in Agriculture. 2nd edition. Soil Science Society of America.

MALAVOLTA, E., VITTI, G.; S. DE OLIVEIRA. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas, princípios e aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba, Brasil. 319 p.

MARTINEZ M. L. Joel. 1998. Suelos de la amazonia. Serie escuela y amazonia, N° 1. Bogotá. 135p.

MURBACH, M.R. 1997. Efeitos de níveis de nitrogênio, fósforo e potássio no desenvolvimento, produtividade de borracha seca e exportação de nutrientes pela seringueira. Piracicaba, 1997. 94p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

PEREIRA, A. V.; PEREIRA, E. B. C. 1986. Adubação de seringais de cultivo na Amazônia: primeira aproximação. Manaus: Embrapa-CNPDS (Circular Técnica, 8). 32 p.

RAIJ, B. VAN. 1981. Técnicas de avaliação da fertilidade do solo e estabelecimento de níveis de adubação. In: Avaliação da Fertilidade do solo. Piracicaba: Potafos. p.49-74.

RINCÓN, S. 1985. Informe del Programa de Capacitación sobre la Agronomía del Hevea y la Tecnología del Caucho en Costa de Marfil.

INCORA. Instituto Colombiano para la Reforma Agraria. Bogotá, Colombia. 173 p.

SHORROCKS, V. M. 1964. Mineral deficiencias in Hevea and associated cover plants. Rubber Research Institute. Kuala Lumpur, Malasia. 120 p.

SHORROCKS, V. M. 1965. Mineral nutrition, growth and nutrient cycle of cycle of *Hevea brasiliensis*. I. Growth and nutrition content. Journal of Rubber Research Institute of Malaya, Kuala Lumpur, v. 19 p. 32-47.

SHORROCKS, V.M., 1979. Deficiências minerais em *Hevea* e plantas de coberturas associadas. Trad, por Super. Borracha. Brasília. 75 p.

SUMNER, M. 1990. Advances in the Use and Application in Plant Analysis. Commun. in Soil. Sci. Plant. Anal. 21 (13-16): 1409-1430.

SYVANADIAN, K.; HARIDAS, G.; PUSHPARAJAH, E. 1975. Reduced immaturity period of *Hevea brasiliensis*. In: rubber research institute of malaysia planters Conference, Kuala Lumpur, 1975. *Proceedings*. Kuala Lumpur, R.R.I.M., p.147-157.

VALOIS, A. C. C. *et al.* 1980. Cultura da seringueira. Brasilia s.n., 218 p. (Manual Técnico, 9).

VAN REULER, H, PRINS WH. 1993. The role of plant nutrients for sustainable food production in sub-Saharan Africa. Leidschendam, The Netherlands, VKP, 232p.

VARGAS, M. I.; CALDERÓN, L. A.; PÉREZ, M. M. 2009. Efecto de las deficiencias de algunos nutrientes en plantas de lulo (*solanum quitoense*

var. quitoense) en etapa de vivero. Área de Ecología Aplicada. Universidad Militar Nueva Granada. ISSN 1900-4699. Volumen 5. Número 1. Pág 64-8.

VIÉGAS, J. M.; HAAG, M.; BUENO, N; PEREIRA, J.D.A. 1992. Nutricao mineral de seringueira. XII. Absorção de macro e micronutrientes nos primeiros 240 dias. Scientia Agricola, 49 (1): 41-52.

WELCH, R.M. 1995. Micronutrient nutrition of plants. Crit. Rev. Plant Sci. 14:49-82.

CAPÍTULO 3

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

Armando Sterling Cuéllar¹, Carlos Hernando Rodríguez León¹, Ismael Dussan Huaca², Jarlinson Correa Díaz³, María Alejandra Vargas Losada⁴, Alexis Centeno Cuéllar⁴, Rocío Sánchez Losada⁴, Alexis Fernando Rodríguez Moreno⁴, Cristian David Plaza Pérez⁵, Diego Castro Gaviria⁵, Yasodhara Marieth Salas Tobón⁵, Edna Oriana Ossa Muñoz⁴, Pedro Nel Ruiz Torres⁶, José Orlando Castillo Ospina⁶



- 1 Investigadores Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI Sede Florencia.
- 2 Funcionario Asociación de Reforestadores y cultivadores de Caucho del Caquetá ASOHECA.
- 3 Contratista del proyecto. Contrato No. 200717736-264 - 977/2007 IICA – FNFC, FEDECAUCHO - SINCHI - Convenio No. 057/07 IICA-MADR.
- 4 Tesista del proyecto. Contrato No. 200717736-264 - 977/2007 IICA – FNFC, FEDECAUCHO - SINCHI - Convenio No. 057/07 IICA-MADR.
- 5 Auxiliar de investigación.
- 6 Pasante de pregrado del proyecto. Contrato No. 200717736-264 - 977/2007 IICA – FNFC, FEDECAUCHO - SINCHI - Convenio No. 057/07 IICA-MADR.

3.1. INTRODUCCIÓN

El gobierno colombiano estableció como una estrategia de desarrollo agroindustrial al cultivo de caucho natural dentro de sus programas de fomento para el sector agrícola en el año 2001. Actualmente las proyecciones que se tienen estiman que para los próximos años el país tendrá 150.000 hectáreas sembradas.

Con el aumento de áreas sembradas en caucho se favorecerá el incremento de las enfermedades y plagas, que constituyen el principal limitante fitosanitario para el establecimiento de nuevas plantaciones. En consecuencia el desarrollo del cultivo requiere de información básica que garantice la sostenibilidad de los nuevos agrosistemas, para lo cual se hace necesario el reconocimiento de las principales especies dañinas.

La región amazónica cuenta con las condiciones ambientales ideales para que proliferen plagas y se desarrollen enfermedades, que afectan las plantaciones caucheras del departamento del Caquetá. Según García *et al.* (2006) el desarrollo de las enfermedad requiere de temperaturas superiores a 25°C y humedad relativa por encima del 85% con precipitaciones de 3800 mm/año, condiciones similares a las que se presentan en la amazonia, simultáneamente debe coincidir la defoliación de los árboles y la presencia de fuentes de inóculo primario.

En relación con las patologías foliares de origen fúngico presentes en el cultivo de caucho natural, Gasparotto *et al.* (1997) y Garzón (2000) registran al mal suramericano de la hoja (*Microcyclus ulei*), la mancha aerolada (*Rizhoocthonía solani*), la costra negra (*Phyllacora huberi* P. Henn y *Rosenscheldiella* sp), antracnosis (*Colletotrium gloesporioides* y *Colletotrichum acutatum*) (Sierra y Furtado, 2010), la mancha de

corinespora (*Corynespora cassicola*), entre otras. Respecto a plagas, las más comunes son el gusano cachón (*Erynnis ello*), el chinche de encaje (*Leptopharsa heveae*), el gusano peludo (*Premolis semirufa*), entre otros.

En particular, la enfermedad del SALB como se conoce por sus siglas en inglés al mal suramericano de las hojas es considerada una de las cinco enfermedades más devastadoras de cultivos en el mundo y la más importante del cultivo del caucho natural en América Latina. El agente causal de la enfermedad es un hongo que pertenece a la clase de los ascomicetos, *M. ulei* (P. Henn) v. Arx, sin. *Dothiella ulei* P. Henn. Su fase asexual o estado anamorfo se clasifica en los deuteromicetos, *Fusicladium macrosporium* Kuyper y *Aposphaeria ulei* P. Henn; en su estado conidial el hongo presenta conidióforos simples, formados a partir de estromas (Furtado y Trindade, 2005).

Como respuesta a la problemática presentada, el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI formuló el proyecto Ampliación de la Base Genética de *Hevea brasiliensis* en la Región Amazónica mediante la Evaluación a Gran Escala de Nuevos Clones Promisorios para la Región.

El objetivo del proyecto fue ampliar la base genética de *H. brasiliensis* en la región mediante la evaluación y selección de clones de caucho natural de alto potencial de producción y vigor, resistentes a las principales enfermedades, haciendo énfasis en *M. ulei*, mediante la siembra a gran escala, en la Amazonia colombiana.

Se evaluó durante 24 meses las incidencias de las principales plagas y enfermedades foliares, la severidad de las enfermedades y los componentes de resistencia (Intensidad de ataque (IA), Intensidad de

esporulación (IE); Densidad estromática (DE). Los datos se analizaron mediante análisis de varianza, y se validaron los supuestos de normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk y la homocedasticidad a través de la prueba de Levene a partir de la matriz de datos originales, con un nivel de significancia del 5%. Se realizaron pruebas de comparación múltiple *a posteriori* mediante prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

Con el fin de realizar un ordenamiento bidimensional de los clones evaluados se utilizó la técnica de componentes principales para las variables de incidencia y severidad (índice de infección de copas -IIFC, y número de lesiones en el foliolo más infectado -LFI). Se culminaron los análisis con una correlación canónica entre las variables de incidencia de plagas e incidencias de enfermedades, otra correlación entre para incidencia y severidad de enfermedades.

3.2. PRINCIPALES ENFERMEDADES FOLIARES Y PLAGAS DEL CAUCHO

3.2.1. Mal suramericano de las hojas (*Microcyclus ulei* (P. Henn) v. Arx)

Esta enfermedad es producida por el hongo ascomicete *M ulei* (ver Figura 19a). Es considerada como una de las patologías más dañinas del cultivo de caucho natural en el centro y sur del continente americano. Esta enfermedad conocida por sus siglas en inglés como SALB (South American Leaf Blight) causa la caída prematura de las hojas o en algunos casos defoliación total del árbol (Gasparotto *et al.*, 1984), lo cual afecta directamente la tasa fotosintética. Se considera al SALB como uno de los principales limitantes para el establecimiento de cultivos en América.

3.2.2. Antracnosis (*Colletotrichum gloesporioides* (Penz.) Sacc. y *Colletotrichum acutatum* Simmonds)

Este patógeno se presenta, además, en diferentes especies de plantas cultivadas en las regiones tropicales. La enfermedad es ocasionada por *C. gloesporioides* *Colletotrichum acutatum*, ha sido reportada en Colombia, Brasil, Sri Lanka Jayasinghe (1997) y en India, Saha (2002) y algunas otras regiones productoras de caucho en el mundo. *C. gloesporioides* tiene sus primeras manifestaciones en hojas jóvenes, su característica principal como agente causal de la antracnosis es la aparición de pequeñas manchas de color rojizo de apariencia hendida con halo amarillo en el haz (ver Figura 19b) y un ligero relieve o engrosamiento en el envés (Leal, 1999). En hojas, ramas y peciolo, los síntomas se manifiestan en las brotaciones nuevas, en plantas de varias edades, causando pequeñas lesiones arredondeadas de coloración marrón-rojiza que pueden unirse. En los peciolo y ramos, provocan lesiones oscuras, necróticas y deprimidas. Sobre ataques severos, ocurre defoliación, muerte de la yema apical y seca descendente de las ramas. En todos los órganos afectados hay una gran cantidad de esporos, envueltos en masa de coloración naranja, bastante característica (Furtado y Trindade, 2005).

3.2.3. Costra Negra (*Phyllachora huberi* Henn y *Rosenscheldiella* sp.)

Esta enfermedad es producida por *P. huberi* y *Rosenscheldiella* sp. Se trata de una enfermedad común en las plantaciones de caucho de la Amazonia. La caída de las hojas maduras, amarillas y con síntomas de costra negra, durante los meses después o durante la refoliación era atribuida más a la senescencia natural que a la acción del patógeno

(Gasparotto *et al.*, 1997). Aunque esta enfermedad es considerada de poca importancia sus lesiones pueden afectar a más del 50% de la superficie foliar. Los síntomas de la costra negra se caracterizan por la formación de costras redondeadas de color negro lo que le da apariencia de carbón (ver Figura 19c) que termina en resecamiento, rompimiento y abscisión de los foliolos (Garzón, 2000).

3.2.4. Mancha Aerolada (*Rhizoctonia solani* Kuhn)

Esta enfermedad se presenta en hojas jóvenes en las cuales induce la formación de manchas que crecen hasta destruirlas por completo (Gasparotto *et al.*, 1990). Inicialmente las lesiones son aceitosas y a medida que la hoja madura se muestran lesiones necróticas, en forma de areolas con alternancia de zonas verdes (ver Figura 19d). Del mismo modo provoca la caída prematura de las hojas del caucho, a pesar de ser conocida desde hace varias décadas, es una de las enfermedades que causa daños considerables en las plantaciones de la Amazonia del Caquetá y Putumayo (Garzón, 2000).

3.2.5. Mancha de Corinespora (*Corynespora cassiicola* (Berk. & M.A Curtis) C. T. Wei)

Este hongo ha sido reportado como agente patógeno de las plantaciones de caucho en países como India, Nigeria, Malasia y con amplia distribución en países de la Amazonia (Gasparotto *et al.*, 1997). Es uno de los principales parásitos de plantas jóvenes. Las hojas muestran síntomas en forma de manchas amarillas pasando a marrón u oscuras irregularmente redondeadas (ver Figura 19e).

3.2.6. Mancha de Perdigón (*Drechslera heveae* Petch)

Ojo de pájaro (perdigón en el limbo foliar) (ver Figura 19f), como también se conoce a la enfermedad producida por *D. heveae* ocasiona crecimiento retardado en los árboles, caída de hojas secundarias y en algunos casos muerte regresiva de los árboles tanto en vivero como en campo, así como la reducción de la producción de látex de árboles adultos (Gasparotto *et al.*, 1990). Normalmente es una enfermedad que no produce grandes daños, aunque a veces puede causar la defoliación en viveros en suelos pobres y mal abonados (Garzón, 2000).

3.2.7. Gusano Cachón (*Erinnyis ello* L.)

Se observa en viveros, jardines clonales, plantaciones jóvenes y adultas del caucho (ver Figura 20a). La larva puede consumir 1000 cm² de superficie foliar, 75% de los cuales son consumidos durante el último instar (Garzón, 2000). Esta plaga puede afectar el 64 % del área cultivada y ocasionar reducciones hasta de 70%, según la edad del cultivo, el número de ataques y las condiciones agroecológicas.

3.2.8. Hormiga Arriera (*Atta* spp.)

Esta plaga es especialmente dañina en plántulas jóvenes; cortan las hojas en forma de medialuna (Proforest, 2005). En viveros y en plantaciones de caucho recién establecidas se presentan en forma ocasional sobre las hojas jóvenes de los cogollos (ver Figura 20b), ubicándose en las hojas maduras cuando los ataques son severos.

3.2.9. Chinche de Encaje (*Leptopharsa heveae* Drake y Poor)

El chinche de encaje es de origen amazónico, donde vive endémicamente en cauchales nativos (Junqueira *et al.*, 1989). Los daños causados por el ataque de este insecto se estiman entre 27% y 43% (Garzón, 2000). El principal síntoma se caracteriza por la presencia de puntos claros en la cara axial (superior) de las hojas causando clorosis en las hojas (ver Figura 20c).

3.2.10. Mosca Blanca (*Aleurodicus* spp. Maskel)

Las moscas blancas o aleuródidos son insectos chupadores (ver Figura 20d). Se distribuyen ampliamente subtropicales y tropicales del mundo (Laprade y Cerda, 1997). Es una plaga menor de diversos cultivos (plátano, aguacate, cítricos, etc). Se considera que las poblaciones de mosca blanca que afectan al caucho y el mango son morfológicamente diferentes al resto de las poblaciones (Lambkin, 1996).

3.2.11. Termitas (Isóptera: TERMITIDAE)

Son insectos pequeños y sociales (ver Figura 20e). Se considera que entre las plantas más severamente afectadas se encuentra el caucho. Los ataques severos en las raíces pueden ocasionar volcamiento del árbol (Garzón, 2000).

3.2.12. Gusano peludo (*Premolis semirufa* Walker)

La larva alcanza 4cm de largo, posee una densa cobertura de pelos cortos de color café-anaranjado que son urticantes; presenta además

cuatro áreas de pelos más largos, que sobresalen y se desprenden fácilmente (ver Figura 20f). Los capullos también están cubiertos de pelos. Se sitúa generalmente en el envés de la hoja y se alimenta haciendo cortes de forma angular en las nervaduras de hojas adultas (Garzón, 2000).

3.3. INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE ENFERMEDADES

Para evaluar la incidencia (I) de las enfermedades foliares en los diferentes genotipos de *H. brasiliensis* establecidos en el CCPE se empleó la ecuación:

$$I (\%) = (Ni_j/Nt_j) \times 100$$

En donde, Ni_j corresponde al número de individuos del genotipo j con síntomas de determinada enfermedad (infectados) y Nt_j representa el número total de individuos evaluados pertenecientes al genotipo j .

3.3.1. Incidencia de las principales enfermedades foliares

La media de incidencia encontrada a nivel de clon no presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) el rango general encontrado para todas las enfermedades osciló entre 0.45% y 58.88%. Todas las enfermedades estuvieron presentes en los diez clones; Se encontró una de incidencia mayor en la variable (ICg): *C. gloesporoides* con un rango 35.7 a 58.88% y (IPh): *P. huberi* con 17.20 a 34.89. Por el contrario se observó en (IICc): *C. cassicola* y (IDh): *D. hevea* una media inferior (1.40 a 9.38%) y (0.46 a 7.00%) respectivamente (Tabla 11).

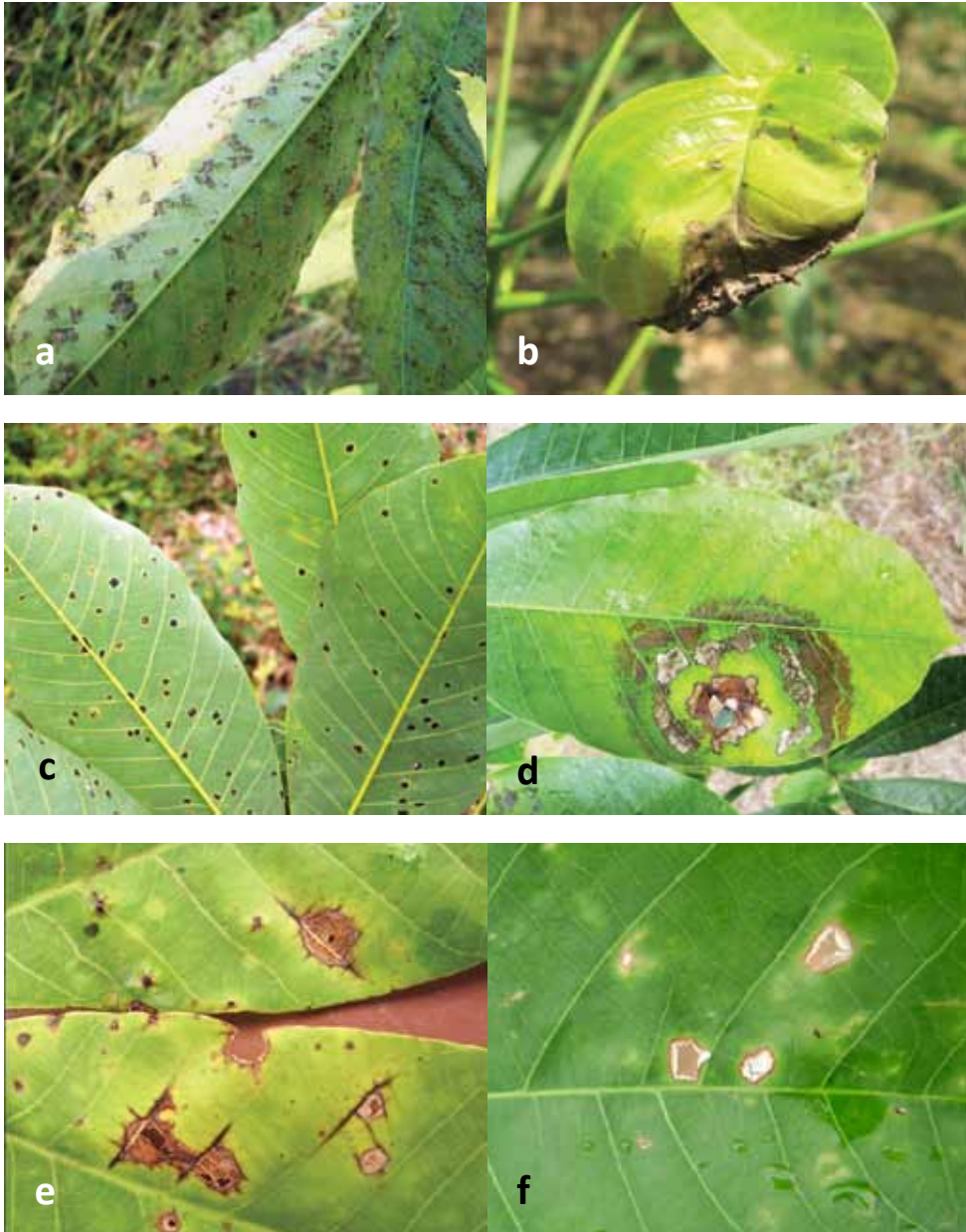


Figura 19. Principales enfermedades foliares presentes en 10 clones de *H. brasiliensis*
a. Mal Suramericano de la Hoja. b. Antracnosis. c. Costra negra. d. Mancha aerolada.
e. Mancha de corinespora. f. Mancha de perdigón.

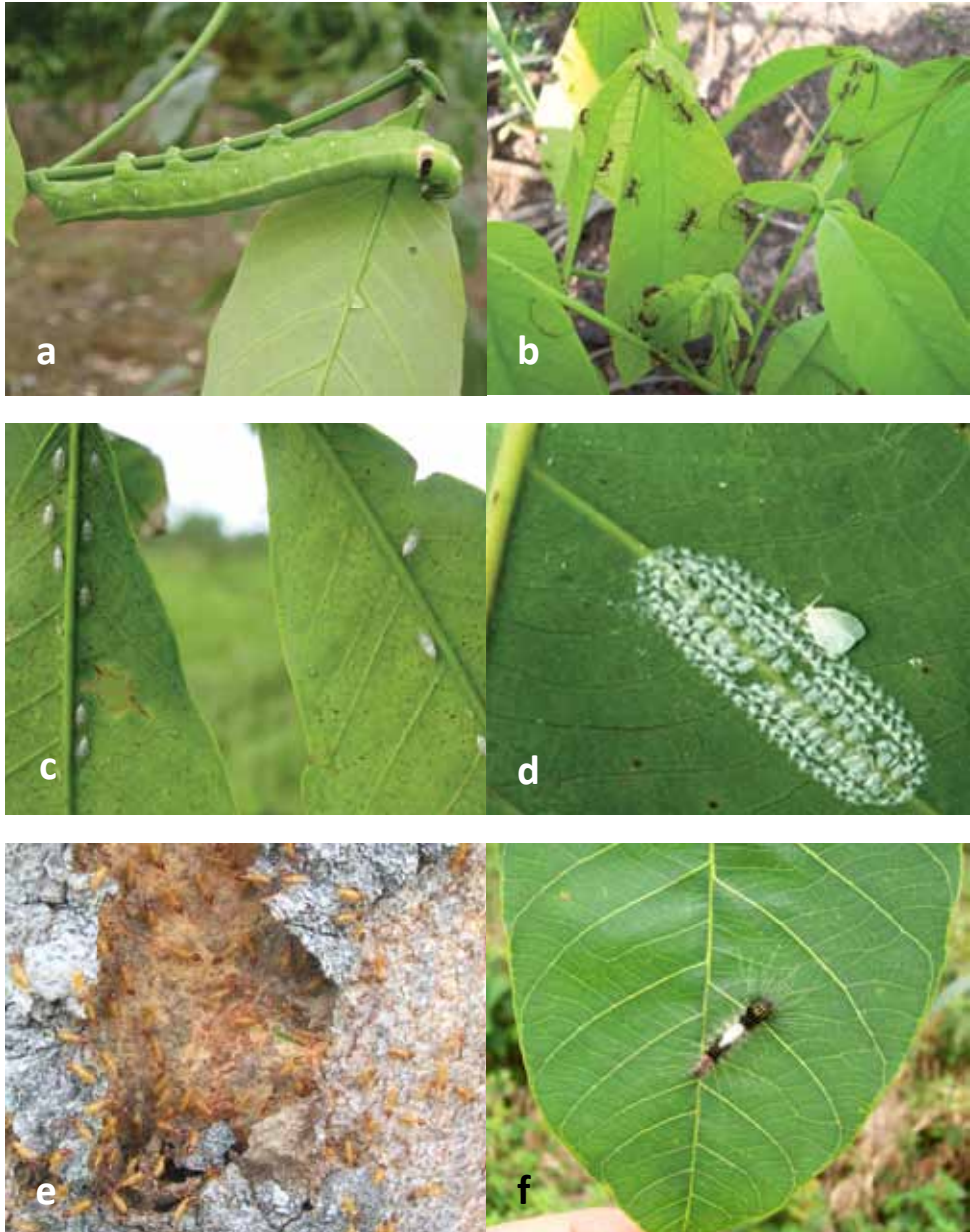


Figura 20. Principales insectos-plaga presentes en 10 clones de *H. brasiliensis*. **a.** Gusano Cachón. **b.** Hormiga arriera **c.** Chinche de encaje **d.** Mosca blanca **e.** Termitas **f.** Gusano peludo.

Para el factor campo se encontraron diferencias significativas en cinco variables (IMu) *M. ulei* (ICg) *C. gloesporoides* (IPh) *P. huberi* y (IRs) *R. solani*; el rango encontrado para estas enfermedades se estableció entre 4.72% y 62.84% (Tabla 11). En (ICc) *C. cassicola*; (IDh) y *D. hevea* no se encontraron diferencias significativas. El rango de incidencia osciló entre 1.56% y 7.13%.

Según Castro (2011) la incidencia de antracnosis fue reportada como la de mayor crecimiento y riesgo de ocasionar pérdidas, después del SALB en Brasil. Las mismas han sido identificadas en Colombia, bien sea en plantas adultas de clones asiáticos o americanos, pero con especial severidad cuando afecta brotes nuevos en los viveros. Otro estudio realizado por Alvarado y Najera (1997) también reporta la incidencia de antracnosis (*C. gloesporoides*) en varias regiones de Guatemala, afectado principalmente los brotes tiernos del follaje de cultivos en fase inmadura.

Tabla 11. Incidencia (%) media de seis enfermedades foliares en 10 clones de *H. brasiliensis* evaluados en tres municipios del Caquetá Colombia.

Factor	Nivel	INCIDENCIA DE ENFERMEDADES FOLIARES					
		IMu	ICg	IPh	IRs	ICc	IDh
Clon	CDC 56	22.56 ± 5.22a	40.925 ± 7.35a	28.42 ± 3.31a	18.21 ± 3.41a	2.80 ± 2.30a	1.43 ± 0.72a
	FDR 5788	13.31 ± 3.03a	35.37 ± 10.10 a	28.47 ± 4.30a	12.35 ± 6.09a	2.35 ± 1.06a	0.99 ± 0.60a
	FX 4098	11.19 ± 4.35a	58.88 ± 7.19a	34.89 ± 5.19a	11.22 ± 3.82a	1.40 ± 0.99a	0.52 ± 0.45a
	CDC312	12.77 ± 4.00a	41.42 ± 11.50 a	17.20 ± 4.81a	14.05 ± 4.60a	2.35 ± 0.81a	1.87 ± 1.04a
	FX3899	12.23 ± 4.01a	41.44 ± 6.46a	22.79 ± 6.03a	14.99 ± 4.90a	3.74 ± 1.97a	3.69 ± 1.57a
	FDR 4575	18.02 ± 5.84a	36.35 ± 6.83a	30.41 ± 7.91a	20.55 ± 6.73a	9.38 ± 3.35a	5.16 ± 3.44a
	IAN 873	16.99 ± 5.32 a	38.20 ± 7.24a	25.66 ± 5.06a	15.87 ± 3.72a	6.65 ± 2.27a	7.00 ± 2.91a
	GU 198	5.92 ± 1.70a	49.02 ± 10.86a	20.51 ± 6.11a	13.62 ± 6.35a	7.92 ± 3.52a	2.78 ± 1.87a
	MDF 180	17.89 ± 5.49a	39.18 ± 7.78a	30.49 ± 6.01a	16.00 ± 5.52a	7.00 ± 2.99a	5.14 ± 2.85a
	FDR 5597	12.65 ± 2.98a	36.88 ± 8.31a	28.55 ± 6.30a	7.02 ± 2.80a	4.20 ± 2.08a	0.46 ± 0.45a
Campo	Florencia	20.52 ± 2.85a	44.32 ± 3.93a	32.54 ± 2.65a	12.61 ± 1.66a	7.13 ± 1.56a	4.77 ± 1.49a
	Belén	11.10 ± 1.85b	62.84 ± 4.12a	36.25 ± 2.68a	25.84 ± 3.33b	3.69 ± 1.25a	1.56 ± 0.66a
	San Vicente	11.44 ± 2.16b	18.15 ± 2.62b	11.43 ± 2.30b	4.72 ± 1.46b	3.52 ± 0.92a	2.38 ± 0.81a

Nota. Medias en cada columna seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente. Prueba Tukey ($P < 0.05$). Mu: *M. ulei*; Cg: *C. gloesporoides*; Ph: *Phyllachora huberi*; Rs: *R. solani*; Cc: *Corinespora cassicola*; Dh: *Dreslera hevea*.

Silveria y Cardozo (1987), demostraron en un estudio realizado en la región norte de Brasil, que la alta incidencia de antracnosis se encuentra influenciada directamente por las condiciones climáticas propias de la región amazónica, lo cual favoreció la proliferación del hongo *C. gloesporoides* de forma esporádica en viveros, jardines clonales y plantíos definitivos.

En relación a la enfermedad de la costra negra se encontró que en estudios realizados por Gasparotto *et al.* (1997) la clasifican como una enfermedad que se presenta en varias regiones de Brasil en condiciones propias de la amazonia. Según Gasparotto la expansión de los cultivos de caucho en grandes áreas y en diferentes condiciones ecológicas, produjo la diseminación del patógeno lo que aumentó la frecuencia de la enfermedad.

Los resultados encontrados en este estudio coinciden con investigaciones realizadas por Sterling *et al.* (2009) en la que se estableció que patologías como mancha de corinespora (*C. cassicola*) y mancha de perdigón (*D. heveae*) presentaron los menores porcentajes de incidencia en una colección de doce clones establecidos en un jardín clonal en el municipio de La Montañita (Caquetá), sur de Colombia.

3.3.2. Severidad de las principales enfermedades foliares

Para evaluar la severidad producida en campo por las diferentes enfermedades en los 10 clones de *H. brasiliensis*, se utilizaron dos variables: (i) Índice de infección de copa (IIFC), para lo cual se adaptó la escala ordinal de Sena *et al.* (1982) que inicia en 0 y culmina en 5, así: 0: Sin infección; 2: Hasta el 25% de copa afectada; 3: Del 26% al 50% de copa afectada; 4:

Del 51% al 75% de copa afectada y 5: más del 75% de copa afectada; y (ii) Número de lesiones en el foliolo más infectado (LFI) (Trindade, 1987).

- **Índice de Infección de Copa (IIFC)**

El mal suramericano de la hoja (IIFCMu) y la costra negra (IIFCPh) presentaron diferencias significativas entre clones y campos ($P < 0.01$) con rangos que oscilaron desde 0.18 a 0.46 y 0.45 a 0.86 respectivamente. La antracnosis (IIFCCg), mancha aerolada (IIFCRs), mancha de corinespora (IIFCCc) y mancha de perdigón (IIFCDh) no mostraron diferencias entre clones ($P > 0.05$), pero si con respecto a los campos ($P < 0.01$) con valores que oscilaron entre 0.00 y 0.28. (ver Tabla 12).

La nota más alta de infección de copa fue presentada por costra negra con una media de IIFC igual a 0.6, la cual osciló entre 0.46 y 0.86, en los clones CDC312 y MDF180, respectivamente.

En los campos establecidos en los municipios de Belén y Florencia se presentaron los índices de infección de copa más altos registrados en este estudio para antracnosis y costra negra respectivamente, cuyos valores estuvieron cercanos o iguales a 1. Según la escala adaptada de Sena-Gomes *et al.* (1982) el rango de infección de las enfermedades no superó en ningún caso el 25% de la copa de los árboles, lo cual indica que los clones utilizados para este estudio fueron tolerantes a todas las enfermedades.

Durante el período de defoliación el agente causal de la costra negra, (*P. huberi*), sobrevive en forma de estromas y peritecios de modo que las ascosporas producidas se convierten en la principal fuente de inóculo para que el microorganismo inicie nuevos ciclos de la enfermedad sobre las hojas que se van formando (Garzón, 2000). Este proceso acompañado de condiciones ambientales favorables para la proliferación del patógeno

conlleva a un aumento en relación con el grado de infección del mismo sobre las plantaciones de caucho natural.

Tabla 12. Índice medio de Infección de Copa (IIFC) en 10 clones de *H. brasiliensis* evaluados en tres municipios del departamento de Caquetá (Colombia).

FACTOR	NIVEL	Índice de Infección de Copa (IIFC)					
		IIFCMu	IIFCCg	IIFCPh	IIFCTc	IIFCCc	IIFCDh
Clon	CDC 56	0.46 ± 0.05a	0.66 ± 0.04a	0.53 ± 0.04ab	0.13 ± 0.02a	0.03 ± 0.01a	0.02 ± 0.01a
	FDR 5788	0.28 ± 0.03ab	0.75 ± 0.05a	0.55 ± 0.05ab	0.22 ± 0.04a	0.02 ± 0.01a	0.08 ± 0.01a
	FDX 4098	0.18 ± 0.03b	0.69 ± 0.05a	0.52 ± 0.04ab	0.12 ± 0.02a	0.03 ± 0.01a	0.07 ± 0.01a
	CDC 312	0.20 ± 0.03b	0.58 ± 0.05a	0.45 ± 0.04b	0.09 ± 0.02a	0.08 ± 0.02a	0.04 ± 0.01a
	FX 3899	0.20 ± 0.03b	0.56 ± 0.05a	0.49 ± 0.05ab	0.12 ± 0.02a	0.06 ± 0.01a	0.04 ± 0.01a
	FDR 4575	0.31 ± 0.04ab	0.64 ± 0.05a	0.64 ± 0.05ab	0.12 ± 0.02a	0.09 ± 0.02a	0.09 ± 0.04a
	IAN 873	0.26 ± 0.04ab	0.47 ± 0.04a	0.79 ± 0.06ab	0.10 ± 0.02a	0.08 ± 0.01a	0.07 ± 0.02a
	GU 198	0.18 ± 0.03b	0.68 ± 0.06a	0.61 ± 0.05ab	0.10 ± 0.02a	0.04 ± 0.01a	0.02 ± 0.01a
	MDF 180	0.23 ± 0.03ab	0.43 ± 0.04a	0.86 ± 0.07a	0.13 ± 0.02a	0.06 ± 0.01a	0.04 ± 0.01a
	FDR 5597	0.17 ± 0.02b	0.61 ± 0.05a	0.65 ± 0.06ab	0.06 ± 0.01a	0.05 ± 0.01a	0.05 ± 0.01a
Campo	Florencia	0.31 ± 0.02a	0.41 ± 0.02b	1.00 ± 0.03a	0.01 ± 0.00c	0.05 ± 0.00b	0.10 ± 0.01a
	Belén	0.13 ± 0.01b	0.99 ± 0.03a	0.41 ± 0.2b	0.28 ± 0.02a	0.04 ± 0.00b	0.02 ± 0.00b
	San Vicente	0.30 ± 0.02a	0.42 ± 0.02b	0.41 ± 0.02b	0.06 ± 0.00b	0.08 ± 0.01a	0.04 ± 0.00b

Nota: Medias en cada columna seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente. Prueba Tukey ($P < 0.05$).
 Mu: *M. ulei*; Cg: *C. gloesporoides*; Ph: *Phyllachora huberi*; Tc: *T. cocumeris*; Pssp: *Phytophthora spp*; Cc: *Cori-nespora cassicola*;
 Dh: *Drechslera heveae*.

En este estudio se presenta el primer reporte de la severidad a nivel de copa en materiales promisorios de caucho natural (*H. brasiliensis*) establecidos en tres municipios del departamento del Caquetá. De acuerdo al conocimiento que se tiene sobre investigaciones realizadas en plantaciones de caucho, esta es hasta el momento, la primera investigación para Colombia en donde se evalúan clones de caucho en tres localidades bajo condiciones ambientales distintas.

- **Número de lesiones del foliolo más infectado (LFI)**

La antracnosis (LFICg), costra negra (LFIPh), mancha aerolada (LFITc) y mancha de perdigón (LFIDh) presentaron diferencias

significativas entre clones y campos ($P < 0.01$). La mancha de corinespora y el mal suramericano difirieron estadísticamente entre clones ($P < 0.01$), pero no entre campos ($P > 0.05$). El mayor LFI medio estuvo asociado a la costra negra (LFI_{Ph}=12.4 lesiones/foliolo), cuya severidad osciló entre 9.14 y 14.6 para el clon FDR 5597 y MDF 180, respectivamente.

Los LFI de antracnosis y mal suramericano de la hoja siguieron en orden de importancia. El menor número de lesiones por foliolo (LFI) fue ocasionado por mancha de corinespora, igual a 0.68. (ver Tabla 13) Con relación a los campos, las medias de LFI para costra negra mostraron ser diferentes en cada uno, por lo cual en el CCGE Belén se presentó el mayor número de lesiones por foliolo (16.60) en los clones difiriendo con el CCGE San Vicente (8.43).

Estudios realizados por Sterling *et al.* (2009) coinciden en encontrar una alta incidencia de costra negra (*P. huberi*) en los clones evaluados, los resultados de esta investigación determinaron un 24% de infección por parte de este patógeno en los materiales utilizados. La diferencia encontrada a nivel de campo con respecto a costra negra supone una variación de las condiciones climáticas en estos tres sitios, encontrándose en Belén el mejor microclima para su proliferación. Los resultados de esta investigación confirman lo encontrado por Garzón, (2000) el cual reporta en la mayoría de los casos una infección del 50% de esta enfermedad en la lamina foliar, reduciendo la capacidad fotosintética de la planta.

La media encontrada en el campo clonal de San Vicente para costra negra y en general para las demás enfermedades fue baja, lo que confirma lo planteado por Rivera *et al.* (2003) quien establece que zonas edafoclimáticas con un régimen de lluvias con bajas y altas temperaturas limitan la proliferación de diferentes patógenos. De acuerdo con cifras

del IGAC 2010 San Vicente cuenta con una temperatura promedio de 25.4°C, una precipitación de 2753 mm y una humedad promedio de 65%.

Tabla 13. Número medio de lesiones en el foliolo más infectado (LFI) de siete enfermedades foliares en 10 clones de *H. brasiliensis* evaluados durante dos años en tres municipios ubicados en el departamento del Caquetá, Colombia.

FACTOR	NIVEL	NÚMERO DE LESIONES EN EL FOLIOLO MÁS INFECTADO (LFI)					
		LFIMu	LFICg	LFIPh	LFIRs	LFICc	LFIDh
Clon	CDC 56	13.23 ± 1.20a	9.42 ± 0.72ab	13.3 ± 1.06abc	1.0.9 ± 0.22b	0.26 ± 0.10c	0.63 ± 0.16abc
	FDR 5788	3.01 ± 0.43c	11.18 ± 1.09a	12.60 ± 1.05abc	3.30 ± 0.80a	0.30 ± 0.10bc	0.80 ± 0.18abc
	FDX 4098	2.82 ± 0.58c	7.78 ± 0.64bc	13.27 ± 1.23abc	0.46 ± 0.11b	0.27 ± 0.08c	0.62 ± 0.16bc
	CDC 312	3.17 ± 0.46c	7.62 ± 0.78bc	9.84 ± 0.96bc	0.80 ± 0.17b	0.87 ± 0.17abc	1.46 ± 0.35a
	FX 3899	5.52 ± 0.81bc	6.82 ± 0.67bc	13.28 ± 1.12abc	0.75 ± 0.19b	0.60 ± 0.15abc	0.52 ± 0.13bc
	FDR 4575	6.65 ± 1.02b	8.10 ± 0.82abc	14.62 ± 1.16a	1.26 ± 0.34b	1.06 ± 0.22ab	1.08 ± 0.25ab
	IAN 873	6.93 ± 1.00b	6.31 ± 0.67bc	13.97 ± 1.10ab	0.95 ± 0.22b	1.00 ± 0.22abc	0.85 ± 0.15abc
	GU 198	3.72 ± 0.53bc	8.45 ± 0.76abc	10.10 ± 0.86bc	1.28 ± 0.27b	1.13 ± 0.25a	0.17 ± 0.06c
	MDF 180	3.12 ± 0.46c	5.48 ± 0.57c	14.65 ± 1.00a	1.12 ± 0.20b	0.82 ± 0.19abc	0.54 ± 0.13bc
	FDR 5597	2.47 ± 0.38c	9.23 ± 1.01ab	9.14 ± 0.81c	0.72 ± 0.21b	0.51 ± 0.12abc	0.49 ± 0.13bc
Campo	Florencia	6.60 ± 0.52a	5.53 ± 0.26b	12.43 ± 0.53b	0.90 ± 0.12ab	0.98 ± 0.11a	0.61 ± 0.07b
	Belén	4.10 ± 0.31a	14.09 ± 0.60a	16.60 ± 0.68a	2.45 ± 0.28a	0.64 ± 0.10a	1.27 ± 0.15a
	San Vicente	4.50 ± 0.40a	4.50 ± 0.25b	8.43 ± 0.44c	0.18 ± 0.03b	0.43 ± 0.06a	0.26 ± 0.05c

Nota: Medias en cada columna seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente. Prueba Tukey ($P < 0.05$).
Mu: *M. ulei*; Cg: *C. gloeosporoides*; Ph: *P. huberi*; Rs: *R. solani*; Cc: *C. cassicola*; Dh: *D. heveae*.

3.4. INCIDENCIA DE LAS PRINCIPALES PLAGAS

Para evaluar la incidencia (I) de los insectos plagas en los diferentes genotipos de *H. brasiliensis* establecidos en el CCPE se empleó la ecuación:

$$I (\%) = (Ni_j / Nt_j) \times 100$$

En donde, Ni_j corresponde al número de individuos del genotipo j con presencia de la plaga (infestados) y Nt_j representa el número

total de individuos evaluados pertenecientes al genotipo *j*. El gusano cachón, hormiga arriera, chinche de encaje, mosca blanca, termitas y gusano peludo no presentaron diferencias significativas entre los clones ($P > 0.05$). Se encontró que gusano cachón, termitas y gusano peludo presentaron diferencias entre los campos ($P < 0.01$). El gusano cachón presentó la incidencia más alta la cual osciló entre 0.54% y 4.22% (ver Tabla 14).

Tabla 14. Incidencia (%) media de cinco insectos-plagas en 10 clones de *H. brasiliensis*; evaluados durante dos años en tres municipios del departamento de Caquetá-Colombia.

FACTOR	Nivel	IEe	IAspp	ILh	IAsp	ITspp	IPs
Clon	CDC 56	3.35 ± 0.83a	0.04 ± 0.03a	0.21 ± 0.10a	0.00 ± 0.00a	0.92 ± 0.92a	0.26 ± 0.06a
	FDR 5788	1.95 ± 0.77a	0.03 ± 0.01a	0.11 ± 0.55a	0.02 ± 0.01a	0.94 ± 0.92a	0.30 ± 0.06a
	FX 4098	2.05 ± 1.30a	0.06 ± 0.03a	0.11 ± 0.06a	0.02 ± 0.02a	0.92 ± 0.92a	0.57 ± 0.10a
	CDC312	1.03 ± 0.95a	1.01 ± 0.91a	0.05 ± 0.03a	0.01 ± 0.01a	0.92 ± 0.92a	0.41 ± 0.10a
	FX3899	1.88 ± 1.04a	0.01 ± 0.01a	0.12 ± 0.01a	0.01 ± 0.01a	0.00 ± 0.00a	0.25 ± 0.09a
	FDR 4575	4.22 ± 1.96a	0.50 ± 0.46a	0.12 ± 0.07a	0.01 ± 0.01a	0.00 ± 0.00a	0.36 ± 0.10a
	IAN 873	2.85 ± 1.86a	0.04 ± 0.03a	0.09 ± 0.04a	0.01 ± 0.01a	0.92 ± 0.92a	0.35 ± 0.12a
	GU 198	2.48 ± 1.26a	0.03 ± 0.02a	0.18 ± 0.07a	0.02 ± 0.01a	0.00 ± 0.00a	0.24 ± 0.09a
	MDF 180	0.54 ± 0.45a	0.06 ± 0.03a	0.06 ± 0.03a	0.01 ± 0.01a	0.00 ± 0.00a	0.22 ± 0.07a
	FDR 5597	0.56 ± 0.44a	0.01 ± 0.01a	0.08 ± 0.03a	0.02 ± 0.01a	0.00 ± 0.00a	0.34 ± 0.08a
Campo	Florencia	3.38 ± 0.90a	0.29 ± 0.27a	0.11 ± 0.02a	0.00 ± 0.00a	1.38 ± 0.58a	0.25 ± 0.03a
	Belén	1.90 ± 0.52b	0.08 ± 0.01a	0.21 ± 0.04a	0.02 ± 0.04a	0.00 ± 0.00b	0.18 ± 0.03b
	San Vicente	1.00 ± 0.39c	0.17 ± 0.14a	0.00 ± 0.00a	0.00 ± 0.00a	0.00 ± 0.00b	0.18 ± 0.03b

Nota. Medias en cada columna seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente. Prueba Tukey ($P < 0.05$).
Ee: *E. ello*; Aspp: *Atta spp*; Lh: *L. hevea*; Asp: *Aleurodicus sp.*; Tspp: *Termitas*; Ps: *P. semirufa*.

La mayor incidencia de gusano cachón se presentó en el CCGE del municipio de Florencia (3.38%), en contraste con el municipio de San Vicente donde la incidencia fue la más baja (1.0%). La plaga de termitas se presentó únicamente en el municipio de Florencia, en los demás campos no hubo presencia de este insecto.

En general el gusano cachón (*E. ello*) fue la plaga más incidente en los tres campos a lo largo del período de evaluación. De acuerdo con Leal (1999), *E. ello* posee alto rango de distribución, cuenta con fácil adaptación climática y de hospederos, por lo que es frecuente encontrarla en cultivos de yuca, papaya y en mayor medida es agente hospedante de plantas de la familia Euphobiaceae (productoras de látex). El gusano cachón es la plaga de mayor importancia en la región amazónica, de acuerdo con Garzón (2000) la voracidad de las larvas puede llegar a afectar a más del 50% de una plantación. Es común encontrarlo en viveros, jardines clonales, plantaciones jóvenes y adultas del caucho (Garzón, 2000).

La presencia de otras plagas como las termitas, gusano peludo o chinche de encaje fueron menores en comparación con el gusano cachón. Sin embargo, las lesiones producidas por estos insectos pueden conllevar a posteriores infecciones por parte de hongos patógenos, lo que podría aumentar la incidencia de algunas enfermedades.

3.5. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN CANÓNICA: PLAGAS Y ENFERMEDADES

3.5.1. Correlación canónica: Incidencia de plagas vs. Incidencia de enfermedades

Este análisis se realizó para determinar la existencia de una correlación entre la incidencias de plagas y enfermedades en el que se encontró que: Existe una mediana correlación significativa entre la incidencia de las plagas y la incidencia de las enfermedades en los 10 clones de *H. brasiliensis* evaluados en los tres CCGE ($r = 0.58$; $\chi^2(40) = 67.84$; $P < 0.01$). Esta correlación se debió principalmente a la incidencia de *P. semirrufa* frente a la incidencia de *C. gloesporioides* ($r = 0.43$).

3.5.2. Correlación canónica: Incidencia de enfermedades vs. Severidad

Se realizó un análisis de correlación canónica para determinar la existencia de correlación entre la incidencia de enfermedades y la severidad en la cual se determinó que: Existe una alta correlación significativa entre la incidencia de las enfermedades y la severidad de éstas en los 10 clones de *H. brasiliensis* evaluados en los tres CCGE ($r = 0.82$; $\chi^2(72) = 333.79$; $P < 0.001$). Esta correlación canónica se debió principalmente a las siguientes correlaciones de Pearson: Incidencia de mancha de corynespora (MC) vs. LFIMC ($r = 0.71$), mancha areolada (MAE) vs. LFIMAE ($r = 0.59$) y antracnosis (AN) vs. LFIAN ($r = 0.55$).

3.6. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES Y ESCALAMIENTO MULTIDIMENSIONAL NO MÉTRICO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

3.6.1. Componente principales para la incidencia de plagas y enfermedades

De acuerdo con el análisis de componentes principales realizado sobre la matriz de correlación, los cinco primeros componentes aportaron el 88.96 % de la variación total, y estos mismos tuvieron raíces características mayores a la unidad. Cuando se analizaron los coeficientes de los vectores característicos asociados a estos últimos componentes, se encontró que las incidencias de las enfermedades más importantes en su orden fueron: Mancha aerolada (MAE), Termitas *heterotermes* sp (TER). Hormiga arriera (HAR), Gusano cachón (GCH),

M. ulei (MHS), Antracnosis (AN) y Costra negra (CN). Por lo que se considera que estas enfermedades tienen gran participación en el estado fitosanitario mostrado en los clones. En consecuencia con estas variables se estimaron distancias euclidianas al cuadrado y con ellas se construyó un dendrograma que ordena grupos de clones similares de acuerdo con la incidencia de plagas y enfermedades.

3.6.2. Escalamiento multidimensional no métrico de incidencias de plagas y enfermedades

Con el fin de observar las relaciones de similitud y diferenciación entre los 10 clones de *H. brasiliensis* estudiados, se realizó un análisis de escalamiento no métrico (Figura 21). En él se alcanzó un stress de $S=0.1217$. Este valor fue bueno lo que permitió interpretar la variabilidad de los clones. En la figura 21 se logra distinguir un agrupamiento entre los clones de FX 3899, FDR 5788 y IAN 873..

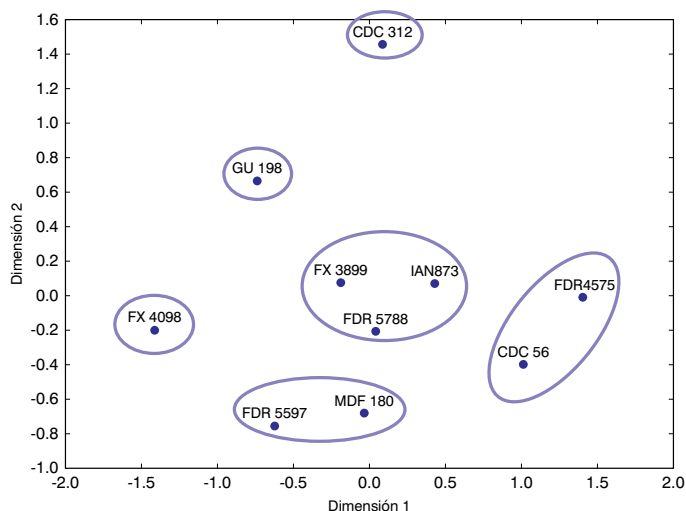


Figura 21. Representación gráfica del análisis de escalamiento no métrico en dos dimensiones de los 10 clones de *H. brasiliensis*, evaluados a partir de la distancia euclidiana al cuadrado sobre 7 incidencias (matriz reducida).

La mayor diferenciación se observó entre clones CDC 312 y FX4098 debido a bajas incidencias, especialmente en Mancha de corynespora (MC). En este estudio, las incidencias seleccionadas para los análisis de similitudes y diferencias fueron de tipo insectos plaga (3) y enfermedades foliares (4)

3.6.3. Componente principales para severidad (LFI y IIFC) de enfermedades

El análisis de componente principales sobre la matriz de correlación mostró que los cuatro primeros componentes aportaron el 81.71% de la variación total, y presentaron raíces características mayores a la unidad. Al analizar los coeficientes de los vectores característicos asociados a estos últimos componentes, se concluyó que las variables más importantes en su orden fueron, Mancha de perdigón (IIFCMP), Mal suramericano de las hojas (IIFCMSH), Costra negra (LFICN), Antracnosis (IIFCAN), Mancha aerolada (LFIMAE), Costra negra (IIFCCN) y Mancha de perdigón (LFIMP).

Por lo tanto estas incidencias tienen gran intervención en el estado fitosanitario de los clones. En consecuencia con estos caracteres se estimaron distancias euclidianas al cuadrado estandarizadas y con ellas se construyó un dendograma que ordena grupos de clones similares de acuerdo con la incidencia de plagas y enfermedades.

3.6.4. Escalamiento multidimensional no métrico severidad de enfermedades

Con el fin de observar las relaciones de similitud y diferenciación entre los 10 clones de *H. brasiliensis* estudiadas, se realizó un análisis de

escalamiento no métricas (Figura 22). En él se alcanzó un stress de $S=0.0577$, el cual es muy bueno, para interpretar con este análisis la variabilidad de los clones.

En la figura 22 entre los clones de *H. brasiliensis*, la mayor diferenciación se observó entre clones CDC 312 y FDR 5788 debido a que presentaron bajo IIFC de mancha de perdigon, además el clon CDC 312 presentó un alto IIFC de antracnosis y el FDR 5788 el mayor LFI de mancha aerolada. En este estudio, las severidades seleccionadas para los análisis de similitudes y diferencias fueron de tipo LFI (3) y IIFC (4).

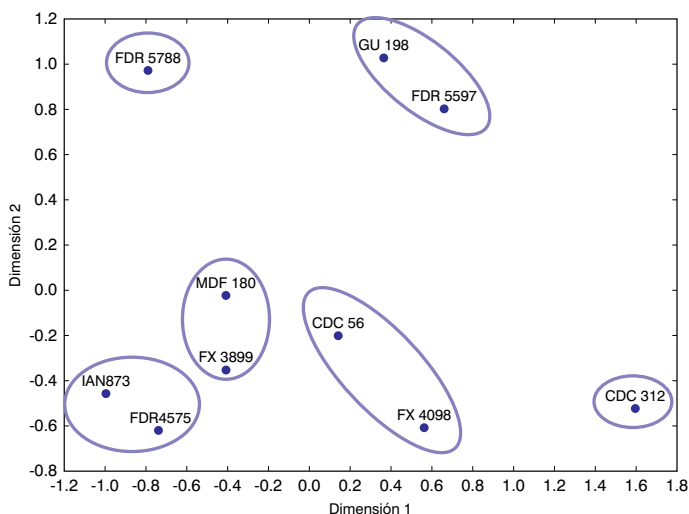


Figura 22. Representación gráfica del análisis de escalamiento no métrico en dos dimensiones de los 10 clones de *H. brasiliensis*, evaluados a partir de la distancia euclidiana al cuadrado sobre 7 incidencias (matriz reducida).

3.7. PARÁMETROS DE RESISTENCIA PARCIAL AL HONGO *Microcyclus ulei*

Para identificar el tipo de reacción Clonal (resistencia parcial) se aplicaron los componentes fundamentales de resistencia: IE (0-6) y DE

(0-4) considerados como los más importantes al momento de clasificar la resistencia del género *Hevea* a *M. ulei*, para lo cual se utilizó la escala de Le Guen *et al.* (2002) & Mattos (2007), modificada por Sterling (2009) donde **CR**: Completamente resistente = $IE = < 3$ y $DE = 0$; **PR**: Parcialmente Resistente = $IE \leq 5$ y $DE \leq 2$ y **AS**: Altamente Susceptible = $IE > 5$ ó $DE > 2$.

3.7.1. Evaluación de los componentes de resistencia a *Microcyclus ulei*

Para la evaluación de la incidencia y resistencia parcial a *M. ulei* se tuvo en cuenta los parámetros Intensidad de Ataque (IA), Intensidad de Esporulación (IE), Densidad Estromática (DE) los cuales fueron aplicados para determinar la escala de Resistencia Clonal.

- **Intensidad de ataque (IA)**

Según (Chee, 1976), la IA fue definida como el porcentaje de lesiones en los folíolos valorados en cinco niveles: 1= < 1% (ataque nulo o resistencia); 2= 1 - 5% (ataque leve); 3= 6 – 15% (ataque moderado); 4 = 16 – 30% (ataque severo) y 5 = > 30% (ataque muy severo)

- **Intensidad de esporulación (IE)**

Se observaron los estados foliares B y C de los individuos evaluados, los registros se realizaron de acuerdo a la escala propuesta por Mattos *et al.* (2003): 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 muy fuerte cubriendo toda la cara inferior de la lesión; 6 = esporulación muy fuerte cubriendo toda la cara inferior de la lesión y fuerte en la cara superior.

- **Densidad estromática (DE)**

Según Mattos *et al.* (2005) en este componente se observa el estado foliar D de los individuos, los registros se realizaron de acuerdo a la escala propuesta por Halle *et al.* (1978) que va de 0 a 4 donde 0 = ausencia de estromas; 1 = < de 5 lesiones con estromas por foliolo; 2 = entre 5 y 10 lesiones con estromas por foliolo; 3 = entre 11 y 30 lesiones con estromas por foliolo; 4 = más de 30 lesiones con estromas por foliolo.

3.7.2. Escala de resistencia clonal

Para identificar el tipo de reacción Clonal (resistencia parcial) se aplicaron componentes fundamentales de resistencia: Intensidad de esporulación (0-6) y densidad estromática (0-4). Posteriormente se utilizó la escala de Le Guen *et al.* (2002); Mattos (2007), modificada por Sterling (2009), (Tabla 15) para evaluar la resistencia en los clones.

Tabla 15. Escala de Resistencia Clonal ERC

Clave	Categoría	IE	y/ó	DE
CR	Completamente resistente	<3	Y	0
PR	Parcialmente resistente	≤5	Y	≤2
AS	Altamente susceptible	>5	Ó	>2

Clave: IE: Intensidad de esporulación (1 – 6). DE: Densidad estromática (0- 4)

Se encontró que la IA del hongo patógeno *M. ulei* divergió de acuerdo a los diferentes genotipos evaluados y en relación a los campos donde fueron establecidos dichos clones (Tabla 16). Se encontraron diferencias significativas en el grado de ataque de *M. ulei* en el municipio de Belén, Florencia y San Vicente ($P < 0.05$). Donde el clon CDC 56 presentó mayor intensidad de ataque respecto al IAN 873 en Belén y Florencia. En el Municipio de San Vicente el clon testigo IAN 873 resultó ser el más

afectado por la presencia del patógeno diferenciándose de los demás clones en los cuales el ataque no tuvo significancia ($P > 0.05$).

Tabla 16. Intensidad media de Ataque (IA) de *Microcyclus ulei* en 10 clones de *Hevea brasiliensis* establecidos en Campo Clonal a Gran Escala (CCGE) en tres municipios del Caquetá - Colombia

Clones	CCGE			
	Belén	Florencia	San Vicente	Promedio
CDC 56	2.54 ± 0.13 ^a ab	2.94 ± 0.16 a	1.00 ± 0.00 b	2.16 ± 0.09 a
FDR 5788	1.26 ± 0.07 de	1.17 ± 0.06 c	1.00 ± 0.00 b	1.14 ± 0.03 de
FX 4098	1.15 ± 0.06 de	1.08 ± 0.04 c	1.00 ± 0.00 b	1.08 ± 0.03 de
CDC 312	1.07 ± 0.03 e	1.13 ± 0.05 c	1.01 ± 0.01 b	1.07 ± 0.02 de
FX 3899	1.72 ± 0.12 b	1.36 ± 0.09 bc	1.00 ± 0.00 b	1.36 ± 0.05 bc
FDR 4575	1.47 ± 0.08 bcd	1.24 ± 0.06 c	1.00 ± 0.00 b	1.24 ± 0.04 cd
IAN 873	1.64 ± 0.11 bc	1.68 ± 0.13 b	1.15 ± 0.05 a	1.49 ± 0.06 b
GU 198	1.32 ± 0.06 cde	1.11 ± 0.05 c	1.00 ± 0.00 b	1.14 ± 0.03 de
MDF 180	1.04 ± 0.03 e	1.04 ± 0.02 c	1.00 ± 0.00 b	1.03 ± 0.01 e
FDR 5597	1.25 ± 0.07 de	1.03 ± 0.02 c	1.00 ± 0.00 b	1.09 ± 0.02 de
Media ^c	1.45 ± 0.03 a	1.38 ± 0.03 a	1.02 ± 0.01 b	1,28

^a Error estándar.
^b Valores en cada columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba Tukey HSD, $P < 0.05$).
^c Medias de los valores en esta fila seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba Tukey HSD, $P < 0.05$).

De acuerdo a la media general en el municipio de Belén fue donde se presentó el mayor ataque del patógeno a los clones, alcanzando un valor de 1.45 según la escala de Chee (1976) seguido del municipio Florencia con una valor de 1.38. Estos difirieron estadísticamente con el municipio de San Vicente. (ver Figura 17).

San Vicente fue el municipio de menor afectación por parte del *M.ulei*. El promedio de los tres campos mostró una media en la intensidad de ataque de 1.28, cuyo rango osciló entre 1.03 presentado por el clon

MDF180 quien mostró ser el más tolerante, hasta 2,16 presentado por CDC 56, clon más sensible. Lo anterior demuestra que la incidencia de *M. ulei* se reflejó más en el campo clonal de Belén de los Andaquies, que en el campo clonal de Florencia.

Se consideró que la mayor incidencia del hongo en Belén y Florencia pudo deberse a los continuos periodos de lluvia, mientras que en el CCGE de San Vicente las condiciones climáticas caracterizan el área como zona de escape y la severidad del hongo es menor. Los resultados obtenidos coinciden con los de Gasparoto *et al.* (1991) y Rivera *et al.* (2003), quienes afirman que la agresión del hongo *M. ulei* es mayor en los meses de menor precipitación y en periodos de lluvia intermitente.

Según (Chee 1976) en los periodos de humedad aumenta la producción y dispersión de conidias, y la temperatura óptima para la germinación de conidias es aproximadamente 24°C (Holliday 1970; Chee, 1976a; Kajornchaiyakul *et al.*, 1984; Gasparotto *et al.*, 1989). Del mismo modo, Langford (1945), reporta que el tiempo seco no es un impedimento para la incidencia de *M. ulei*, lo cual fue confirmado por Gasparotto (1988), quien observó 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. De acuerdo con lo anterior es posible que deducir que la alta incidencia de *M. ulei* presente en los clones CDC 56, FX 3899, IAN 873 y FDR 4575 en Belén y Florencia y el clon testigo en San Vicente estuvo relacionada con las condiciones ambientales propias de estas regiones.

El grado de esporulación de *M. ulei* difirió significativamente entre clones y entre campos clonales (ambos, $P < 0.05$). El clon más afectado en esta fase de crecimiento del hongo fue el CDC 56 (2.2), mientras que MDF 180 presentó la nota más baja (0.39). En relación con los campos

clónales, en Belén prevalecieron las notas más altas de intensidad de esporulación (1.39) a diferencia del CCGE de San Vicente donde las notas fueron las más bajas, con una media de 0,39.

Este componente al igual que el anterior, se ve afectado por la humedad del ambiente. Según Gasporotto *et al.* (1990), *M. ulei* se manifiesta cuando la humedad relativa supera los 95% durante unas doce noches continuas con temperaturas de 24°C y con rangos entre 21°C a 28°C que favorecen el desarrollo del hongo. Pedro Gasparotto *et al.* (1991) mostraron que la condición favorable para el desarrollo del hongo es de diez horas de humedad relativa igual o superior al 90%.

Tabla 17. Intensidad media de Esporulación (IE) de *Microcyclus ulei* en 10 clones de *Hevea brasiliensis* establecidos en Campo Clonal a Gran Escala CCGE en tres municipios de Caquetá (Colombia)

Clones	CCGE			
	Belén	Florencia	San Vicente	Promedio
CDC 56	3.78 ± 0.25 ^a ab	2.68 ± 0.29 a	0.19 ± 0.06 c	2.22 ± 0.16 a
FDR 5788	0.97 ± 0.16 bc	0.93 ± 0.16 bcde	0.68 ± 0.13 ab	0.86 ± 0.09 bcd
FX 4098	0.98 ± 0.16 bc	0.26 ± 0.11 de	0.46 ± 0.10 abc	0.57 ± 0.07 de
CDC 312	0.99 ± 0.17 bc	0.62 ± 0.15 cde	0.26 ± 0.07 c	0.62 ± 0.08 cde
FX 3899	1.62 ± 0.26 b	1.11 ± 0.20 bc	0.18 ± 0.05 c	0.97 ± 0.12 bc
FDR 4575	1.28 ± 0.17 bc	1.01 ± 0.18 bcd	0.78 ± 0.15 a	1.02 ± 0.10 bc
IAN 873	1.54 ± 0.19 b	1.69 ± 0.25 b	0.50 ± 0.09 abc	1.24 ± 0.12 b
GU 198	1.29 ± 0.19 bc	0.47 ± 0.10 cde	0.36 ± 0.08 bc	0.70 ± 0.08 cde
MDF 180	0.61 ± 0.14 c	0.44 ± 0.11 cde	0.11 ± 0.05 c	0.39 ± 0.06 e
FDR 5597	0.92 ± 0.16 bc	0.22 ± 0.09 e	0.35 ± 0.08 bc	0.49 ± 0.07 de
Media ^c	1.39 ± 0.07 a	0.95 ± 0.06 ab	0.39 ± 0.03 b	0,91

^a Error estándar
^b Valores en cada columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba Tukey HSD, P < 0.05)
^c Medias de los valores en esta fila seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba Tukey HSD, P < 0.05)

Los clones que sufrieron mayor intensidad de esporulación fueron CDC 56, IAN 873, FX 3899, FDR 4575 en los CCGE de Belén y Florencia,

en contraste con el CCGE de San Vicente donde el clon con mayor esporulación fue el FDR 4575 seguido por el FDR 5788. Los resultados de los dos CCGE coinciden con los de Sterling *et al.* (2009) quienes reportaron un ataque muy severo (>30%) en el clon CDC 56 bajo las mismas condiciones (Amazonia colombiana). Por el contrario, los resultados de esta investigación no concuerdan con Mattos *et al.* (2003) los cuales registraron una esporulación casi nula en el clon CDC 56 bajo ambientes controlados. Lo que indica que este clon bajo las condiciones de la amazonia colombiana pierde resistencia al agente causante del mal de las hojas, *M. ulei*.

Silva *et al.* (2009), en el ensayo “El efecto de las Condiciones Climáticas en el Desarrollo del Mal de la hoja del árbol de caucho en la región del estado de Espírito Santo” reportaron que el genotipo IAN 873 se comportó como un clon resistente a la presencia de *M. ulei*. HOLLIDAY (1970); Chee y Holliday (1986); Gasparotto *et al.* (1989), afirman que tal resistencia depende del material utilizado y el tipo de periodo climático al que se enfrente, relación que concuerda con los datos obtenidos en los tres CCGE de estudio.

La fase sexuada de *M. ulei* (Densidad estromática) se caracterizó por presentar diferencias significativas entre clones y campos clónales (ambos, $P < 0.05$). De acuerdo a la media general el clon que presentó mayor nota estromática fue CDC 56 (1,97) siendo el más sensible ante la presencia de este patógeno, mientras que el clon MDF 180 nunca presentó signos ni síntomas aparentes de lesiones producidas por el hongo en estado sexual. En general, la densidad estromática fue baja en los tres campos clónales, sin embargo la mayor nota se presentó en CCGE del municipio de Belén (0,73) y la menor en San Vicente (0,01) (tabla 18).

La presencia de estromas en los clones evaluados demuestra la susceptibilidad a la incidencia de *M. ulei* en los tres campos, donde CDC 56 es el que presentó mayor formación de estroma en los campos de Belén y Florencia, característica que lo convierte en un genotipo susceptible; así mismo el clon FX 3899 resultó afectado con una densidad de 1.42 en Belén, mientras que en Florencia se vio menos afectado (0.62).

El clon GU 198 no presentó estromas en los CCGE de Florencia y San Vicente, en Belén fue mínimo (0.46). El clon CDC 312 es un clon que obtuvo un mínimo desarrollo de estromas en Belén y Florencia; en San Vicente se registró ausencia de estromas. Los resultados anteriores presentaron disimilitud en la formación de estromas en los tres campos puede deberse al crecimiento de los clones y la resistencia que estos presentan en las etapas de su desarrollo.

Tabla 18. Densidad media de Estromas (DE) de *Microcyclus ulei* en 10 clones de *Hevea brasiliensis* establecidos en Campo Clonal a Gran Escala CCGE en tres municipios de Caquetá (Colombia)

Clones	CCGE			
	Belén	Florencia	San Vicente	Promedio
CDC 56	2.94 ± 0.16 ^a ab	2.97 ± 0.18 a	0.00 ± 0.00 b	1.97 ± 0.13 a
FDR 5788	0.47 ± 0.08 cde	0.22 ± 0.06 d	0.01 ± 0.01 b	0.24 ± 0.04 c
FX 4098	0.19 ± 0.06 de	0.06 ± 0.03 d	0.00 ± 0.00 b	0.08 ± 0.02 cd
CDC 312	0.12 ± 0.04 de	0.06 ± 0.03 d	0.00 ± 0.00 b	0.06 ± 0.02cd
FX 3899	1.42 ± 0.19 b	0.62 ± 0.10 c	0.00 ± 0.00 b	0.68 ± 0.08 b
FDR 4575	0.58 ± 0.10 cd	0.10 ± 0.03 d	0.00 ± 0.00 b	0.23 ± 0.04 c
IAN 873	0.94 ± 0.16 bc	1.07 ± 0.18 b	0.10 ± 0.04 a	0.70 ± 0.09 b
GU 198	0.46 ± 0.08 cde	0.00 ± 0.00 d	0.00 ± 0.00 b	0.15 ± 0.03 cd
MDF 180	0.00 ± 0.00 e	0.00 ± 0.00 d	0.00 ± 0.00 b	0.00 ± 0.00 d
FDR 5597	0.21 ± 0.07 de	0.07 ± 0.03 d	0.00 ± 0.00 b	0.09 ± 0.03 cd
Media ^c	0.73 ± 0.05 a	0.52 ± 0.043a	0.01 ± 0.01 b	0,42

^a Error estándar
^b Valores en cada columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba Tukey HSD, $P < 0.05$)
^c Medias de los valores en esta fila seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente (Prueba Tukey HSD, $P < 0.05$)

Los clones evaluados fueron clasificados en su mayoría como parcialmente resistentes (PR) ante la presencia y ataque del hongo *M. ulei*, en un 40%, 70% y 80% para San Vicente, Florencia y Belén, respectivamente. Sólo se encontró un clon completamente resistente (CR), el GU 198 establecido en el municipio de Florencia. En la clasificación general se catalogó a los clones CDC 56, FX 3899 y IAN 873 como altamente susceptibles (AS) los cuales conformaron un 30% del total de materiales evaluados. El 70% restante perteneció a los clones FDR 5788, FX 4098, CDC 312, FDR 4575, GU 198, MDF 180 y FDR 5597 considerados como parcialmente resistentes (PR).

En la tabla 19 Se muestran los resultados del conjunto de las notas máximas encontradas durante el periodo de evaluación de los 10 clones en los tres campos; donde el clon CDC 56 y el IAN 873 del campo de Florencia se mostraron AS, los demás fueron PR a excepción del GU 198 que presentó completa resistencia a *M. ulei*. En el campo de Belén, los clones CDC 56 y FX 3899 fueron AS, el resto registraron notas para una evaluación de PR y en el campo de San Vicente los clones FDR 5788, FX 4098, FDR 4575 y el IAN 873 se comportaron PR y los genotipos CDC 56, CDC 312, FX 3899, GU 198, MDF 180 y FDR 5597 resistieron el ataque a *M. ulei*, área en donde la humedad es la mayor responsable del desarrollo completo del hongo.

Tabla 19. Escala de resistencia parcial de 10 clones de *H. brasiliensis* establecidos en campo clona a gran escala CCGE en tres municipios del Caquetá (Colombia)

CLON	FLORENCIA			BELÉN			RESISTENCIA			SAN VICENTE			RESISTENCIA			M. ulei 3 Campos			
	IA	IE	DE	IA	IE	DE	RESISTENCIA	IA	IE	DE	RESISTENCIA	IA	IE	DE	RESISTENCIA	IA	IE	DE	
CDC 56	5	6	4	AS	4	6	4	AS	1	2	0	CR	5	6	4	AS			
FDR 5788	3	3	1	PR	3	3	2	PR	1	3	1	PR	3	3	2	PR			
FX 4098	3	4	2	PR	4	3	2	PR	1	3	0	PR	4	4	2	PR			
CDC 312	3	4	1	PR	2	3	1	PR	2	2	0	CR	3	4	1	PR			
FX 3899	4	4	1	PR	4	6	4	AS	1	2	0	CR	4	6	4	AS			
FDR 4575	3	4	1	PR	3	3	2	PR	1	3	0	PR	3	4	2	PR			
IAN 873	5	6	4	AS	4	4	4	PR	3	2	2	PR	5	6	4	AS			
GU 198	4	2	0	CR	2	4	2	PR	1	2	0	CR	4	4	2	PR			
MDF 180	2	3	0	PR	3	3	0	PR	1	2	0	CR	3	3	0	PR			
FDR 5597	2	3	1	PR	3	4	1	PR	1	2	0	CR	3	4	1	PR			

CR: Completamente Resistente.
PR: Parcialmente Resistente.
AS: Altamente Susceptible.

La resistencia al SALB de especies de *Hevea* se asocia con el tamaño de las lesiones, el periodo de latencia y la esporulación reducida del hongo en las hojas. La esporulación también ha sido considerada como un test sensible para la diferenciación de razas del patógeno. En la evaluación de clones de *Hevea* con diferentes razas de *M. ulei*, el tamaño de la lesión no fue significativo en tanto que la esporulación sí. Hasim, *et al.*, (1989), igual que Langford, sugieren tener en cuenta este último parámetro para evaluar la resistencia horizontal en clones de *Hevea* y su utilidad en la selección.

Otro parámetro importante relacionado a la resistencia de *Hevea* a *M. ulei*, es la producción de escopoletina que puede actuar como una barrera química que impide la evolución del patógeno. Para Sambugaro *et al.* (2004). el genotipo MDF 180, parece estar totalmente relacionado con el impedimento de la fase sexuada, se observa la presencia de células estromáticas mal formadas que no se desarrollan en estromas. Este clon puede ser considerado de gran importancia para la heveicultura, porque impide la principal fuente de inóculo primario concepto que explica el comportamiento de este clon en los diferentes lugares en que ha sido.

La resistencia de este grupo de genotipos: FDR 5597, FX 4098, CDC 312, FDR 4575 y MDF 180 concuerda con los datos obtenidos por Rivano *et al.* (2010) quien probó la resistencia a *M. ulei* en clones de *H. brasiliensis* en el Ecuador. Por su parte, Le Guen *et al.* (2008) mostró un nivel alto de resistencia parcial en clones como MDF 180, CDC 56, CDC 312, FDR 4575, FDR 5597 y FDR 5788 en Brasil.

3.7.3. Análisis de componentes principales para la resistencia a *M. ulei*

Sobre la matriz de correlación se realizó un análisis de componentes principales en el cual los tres primeros componentes aportaron

el 83.93% de la variación total, y estos mismos tuvieron raíces características mayores a la unidad. Cuando se analizaron los coeficientes de los vectores característicos asociados a estos últimos componentes, se encontró que los índices de resistencias parcial más importantes en su orden fueron: Densidad estromatica (DE1 y DE2), índice de esporulación (IE1 y IE2), Densidad estromatica (DE3) e Índice de esporulación (IE3).

Por lo que se considera que estas incidencias y resistencias parciales tienen gran participación. En consecuencias con estas variables se estimaron distancias euclidianas al cuadrado y con ellas se construyó un dendograma que ordena grupos de clones similares de acuerdo con la incidencia de plagas y enfermedades.

3.7.4. Análisis de conglomerados jerárquico de los 10 clones de *H. brasiliensis*

El agrupamiento por el método UPGMA (Unweighted pair-group arithmetic mean) y la distancia euclidiana al cuadrado permitió evidenciar 4 grupos de clones en relación a los índices de resistencia parcial de los clones (Figura 1). El primer grupo (A) con una disimilitud de 3.02, conformado por los clones GU 198, MDF 180, FDR 5597 y CDC 312.

Presentaron baja densidad estromatica (DE1 y DE2) y no presentaron DE3. El grupo (B) caracterizado por los clones FDR 4575, FX 4098 y FDR 5788 presentaron una disimilitud de 3.04 caracterizados por mostrar altos índices de esporulación (IE1 y IE2) y los mayores IE3.

El grupo (C) fue el clon IAN 873 con una disimilitud de 14.96 caracterizado por presentar los mayores índices de esporulación (IE1 y IE2) y densidad

estromática (DE1 y DE2) y el último grupo (D) con una disimilitud de 6.79 conformado por los clones CDC 56 y FX 3899 los cuales presentaron alto índice de esporulación (IE1 y IE2) y densidad estromática (DE2).

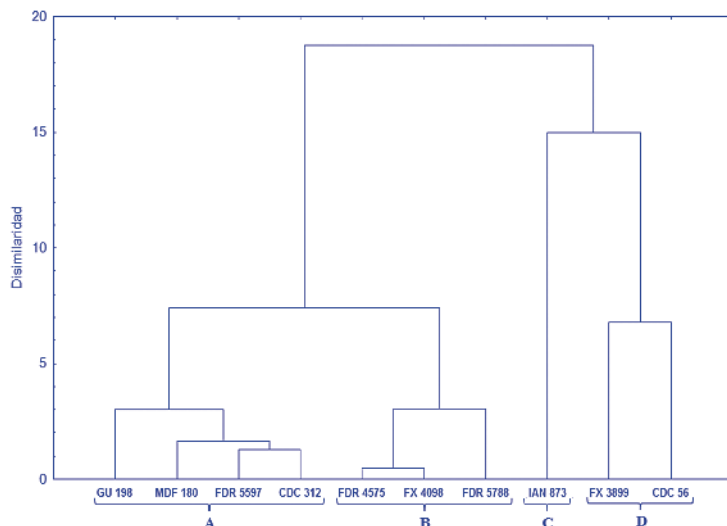


Figura 23. Conglomerado jerárquico producido mediante el algoritmo UPGMA sobre la matriz de distancia euclidiana al cuadrado obtenida a partir del análisis de 6 índices de resistencia parcial a *M. ulei* (matriz reducida) en 10 clones de *H. brasiliensis*.

3.7.5. Análisis de escalamiento multidimensional no métrico

Con el fin de observar las relaciones de similitud y diferenciación entre los 10 clones de *H. brasiliensis* estudiados, se realizó un análisis de escalamiento no métrico (Figura 24). En él se alcanzó un stress de $S=0.0399$. Este valor fue muy bueno lo que permitió interpretar la variabilidad de los clones.

En la figura 24 se logra distinguir dos agrupamientos pequeños entre los clones de GU 198, MDF 180, FDR 5597, CDC 312 y FDR 4575, FX 4098, FDR 5788. La mayor diferenciación se observó en dos grupos, el primero conformado por FX 3899 y CDC 56 y el segundo por el IAN 873,

estos. En este estudio, los índices de resistencia parcial seleccionados para los análisis de similitudes y diferencias fueron de tipo índice (3) y densidad (3).

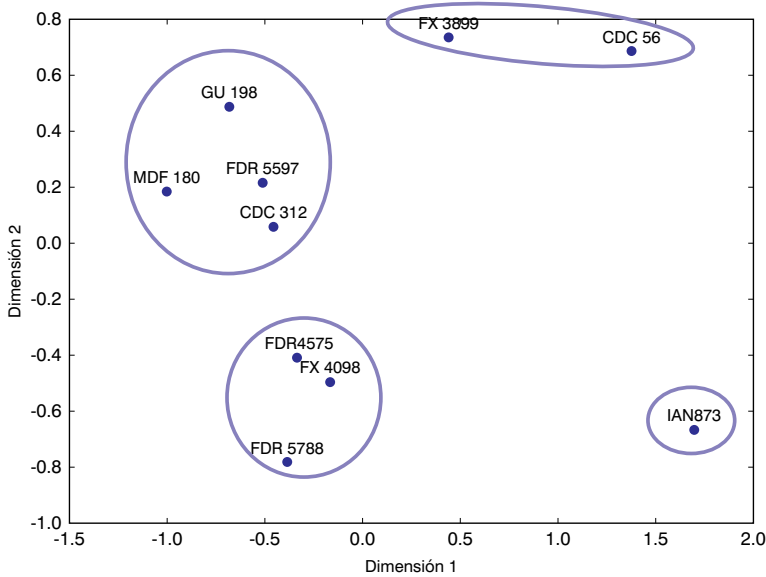


Figura 24. Representación gráfica del análisis de escalamiento no métrico en dos dimensiones de los 10 clones de *H. brasiliensis*, evaluados a partir de la distancia euclidiana al cuadrado sobre 6 índices de resistencia parcial a *M. ulei* (matriz reducida).

3.8. SELECCIÓN DE LOS MEJORES CLONES DE *H. brasiliensis* POR SU COMPORTAMIENTO FITOSANITARIO

Según la tabla 20, los clones más tolerantes en su orden fueron: FDR 5577, CDC312, MDF180, GU 198, FDR 5588, FX 3899, FX 4898, IAN 873, CDC 56, FDR 4575. Estos genotipos presentaron incidencias a enfermedades que oscilaron entre (13.68% a 18.80%), incidencias a insectos plaga que oscilaron entre (0.15% a 0.87%). Las notas máximas de severidad oscilaron de 4 a 5 para IIFC y 3.35 a 5.58 LFI (Lesiones en el foliolo más infectado).

La mayor intensidad de ataque, intensidad de esporulación y densidad estromática se presentó en los clones FDR 5597 y FX4898.

Tabla 20. Matriz de selección de los mejores clones de *H. brasiliensis* promisorios para la región amazónica, basada en las variables fitosanitarias incidencia (I), severidad (IIFC y LFI) y componentes de resistencia a *M. uley* (IA, IE, DE).

Clon	I Enfermedades		I Plagas		LFI		IIFC		Total
	Media	Calificación	Media	Calificación	Media	Calificación	Máx	Calificación	
FDR 5597	15,16	3	0,17	2	3,35	1	4	1	7
CDC 312	13,68	1	0,74	8	3,45	2	4	1	12
MDF 180	17,40	6	0,15	1	3,72	4	4	1	12
GU 198	15,41	4	0,50	4	3,76	5	5	2	15
FDR 5788	14,14	2	0,56	5	4,50	8	4	1	16
FX 3899	15,48	5	0,38	3	4,07	6	5	2	16
FX 4898	18,55	9	0,63	6	3,71	3	4	1	19
IAN 873	17,71	7	0,71	7	4,44	7	5	2	23
CDC 56	17,96	8	0,80	9	5,58	10	4	1	28
FDR 4575	18,80	10	0,87	10	4,82	9	5	2	31

Nota: I: Incidencia; IIFC: Índice de infección de copa; LFI: Número de lesiones en foliolo más infectado.

3.9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARADO, J.C. & NAJERA, C.A. Las enfermedades del cultivo del hule (*Hevea brasiliensis*) en Guatemala. Gremial de huleros de Guatemala. 54 p.

CASTRO, N.O., 2011. Caracterización de los sistemas patosistemas foliares de importancia económica en caucho (*Hevea brasiliensis* Müll arx) en la altillanura estructural plana del Meta. 74 pag.

CHEE K. A.; HOLLIDAY. 1986. P. Enfermedad Sudamericana de la Hoja del Hule (Caucho). En: Avances Investigativos en Caucho Natural (eds.). V.

M. y L. P. NIETO RODRÍGUEZ. Santa Fe de Bogotá: CONIF, Serie técnica, n 37. 1997. 121-158 p.

CHEE, K.H. 1976. South American Leaf blight of *Hevea brasiliensis*: spore dispersal of *Microcyclus ulei*. *Annals of Applied Biology* 84 (2):147-152.

FURTADO, E, L,; TRINDADE, D, R, 2005, Doenças da Seringueira, In: Kimati, H,; Amorim, L,; Rezende, J,A,M,; Bergamim Filho, A,; Camargo, L,E,A, (Org,), Manual de Fitopatologia, 4ed, São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, v, 2, p, 559-567,

GARCÍA D. TROISPOUX V. GRANCE N. RIVANO F. y AUZAC D. 1999. Evaluation of the Resistance of 36 *Hevea* Clones to *Microcyclus ulei* and Relation to Their Capacity to Accumulate Scopoletin and Lignins. *Eur. J. For. Path.* 29: 323-338

GARZÓN C. F. 2000. Principales enfermedades y plagas en el cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*) con énfasis en la Amazonia Colombiana. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Ministerio del medio ambiente. Plan nacional de desarrollo alternativo – Plante. Bogotá, Colombia.

GARZÓN C. F. 2000. Principales enfermedades y plagas en el cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*) con énfasis en la Amazonia Colombiana. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Ministerio del medio ambiente. Plan nacional de desarrollo alternativo – Plante. Bogotá, Colombia.

GASPAROTTO L., DOS SANTOS A.F., PEREIRA J.C.R. Y FERREIRA F.A. 1997. Doenças na seringueira do Brasil. EMBRAPA Amazônia Occidental. Brasília, 148 p.

GASPAROTTO, L. 1988. Epidemiologia do mal das folhas (*Microcyclus ulei* (P. Hem) v. Arx) da seringueira (*Hevea* spp.). PhD thesis. Universidade Federal. Viçosa, BR, 124 p.

GASPAROTTO, L., LIMA, M.I.P.M., PEREIRA, J.C.R. & DOS SANTOS, A.F. 1990. Enfermidades da seringueira no Brasil. Manaus: Embrapa. Circular técnica n.. 169 p.

GASPAROTTO, L.; LIEBEREI, R. & TRINDADE, D. 1984. *In vitro* conidia germination of *Microcyclus ulei* and its sensitivity to fungicides. *Fitopatologia Brasileira*. 9: 505-511.

GASPAROTTO, L.; ZAMBOLIM, L.; MAFFIA, L.; RIBEIRO, DO VALE F.; JUNQUEIRA, N. 1989. Efeito da temperatura e umidade sobre a infeccao de seringueira (*Hevea* spp.) por *Microcyclus ulei*. *Fitopatol. bras.* 14(1):38-41

GASPAROTTO, L.; ZAMBOLIN, L.; JUNQUEIRA, N.T.V; MAFIA L.; RIBEIRO, F. 1991. Epidemiology of South American leaf blight of rubber tree. Manaus, region. AM. *Fitopatologia Brasileira*.16 (1): 19-21.

HASHIM, I., PEREIRA, J.C.R. 1989. Lesion size, latent period and sporulation of leaf disc as indicators of resistance of *Hevea* to *Microcyclus ulei*. *Journal of Natural Rubber Research* 4: 56–65

HOLLIDAY, P. 1970. South American Leaf Blight (*Microcyclus ulei*) of *Hevea brasiliensis*. *Phytopathology Paper* 12. Kew, England. 21 p.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. 2010. Caquetá, características geográficas. Imprenta nacional de Colombia. Bogotá, 373 p.

JAYASINGHE, C.K., FERNANDO, T.H.P.S. 1997. Priyanka UMS. *Colletotrichum acutatum* is the main cause of *Colletotrichum* leaf disease of rubber in Sri Lanka. *Mycopathologia* 137: 53–56.

JUNQUEIRA, N.T.V.; GASPAROTTO, L.; LIEBEREI, R.; NORMANDO, M.C.S. & LIMA, M.I. 1989. Especialização fisiológica de *Microcyclus ulei* em diferentes especies de seringueira: Identificação de grupos de patotipos *Fitopatologia Brasileira*. 14 (2):147. Resumo.

KAJORNCHAIYAKUL P.; CHEE K. H.; DARMONO T.W. & ALMEIDA L.C.C. 1984. Effect of humidity and temperature on the development of south American leaf blight (*Microcyclus ulei*) of *Hevea brasiliensis*. *J. Rubb. Res. Inst.* 32(3), 217-223.

LAMBKIN, T.A 1996A. Pest status and control of spiraling whitefly *Aleurodicus dispersus* Russell (Homoptera: Aleyrodidae) in Queensland, Australia. Queensland, Australia, Department of Primary Industries. 58 p.

LANGFORD, MH. 1945. South American Leaf Blight of *Hevea* rubber tree. USDA Technical Bulletin no. 882. Washington, US. 31 p.

LAPRADE, S. & CERDAS, V. 1997. Manejo de mosca blanca *Aleurodicus dispersus* Russell (Homoptera: Aleyrodidae) en banano (*Musa AAA*) utilizando insecticidas y aceite. *CORBANA* 22(48):89-94.

LAPRADE, S.; CERDAS, V. 1997. Manejo de mosca blanca *Aleurodicus dispersus* Russell (Homoptera: Aleyrodidae) en banano (*Musa AAA*) utilizando insecticidas y aceite. *CORBANA* 22(48):89-94.

LEAL F. 1999. Impactos actuales y potenciales de las Enfermedades de los cultivos perennes de la amazonia y posibilidades de control para el

desarrollo sostenible de la región. Tratado de cooperación Amazónica. Secretaría *pro tempore*. Caracas, Venezuela.

LEAL F. 1999. Impactos actuales y potenciales de las Enfermedades de los cultivos perennes de la amazonia y posibilidades de control para el desarrollo sostenible de la región. Tratado de cooperación Amazónica. Secretaría *pro tempore*. Caracas, Venezuela.

MATTOS C. R. R. 2007. Programa de Melhoramento Genético de Clones de Seringueira com Resistencia ao Fungo *Microcyclus ulei* . En: Memórias I Congresso Brasileiro de Heveicultura. Borracha Natural. INCAPER. Guarapari-Es, Brasil.

MATTOS C. R. R., GARCIA D, LE GUEN V. 2005. Seleção de Clones de Seringueira com Alta Produção e Resistentes ao Mal-Das-Folhas. CEPLAC. Comunicacao tecnico No 28 1-9.

MATTOS, C.R.; GARCÍA, D.; PINARD, F. & LE GUEN, V. 2003. Variabilidade de isolados de *Microcyclus ulei* no Sudeste de Bahia. Fitopatologia Brasileira. 28 (5): 502-507.

PROFOREST S.A. 2005. Informe final, proyecto familias guardabosques caucho. Programa Colombia forestal. U.S. Agency for International Development Colombia.

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. Plant Pathol 126:541-552

RIVERA, Z J. 2003. Zonas con aptitud edafoclimática para El cultivo de hule (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.) e incidencia de la enfermedad

sudamericana de la hoja en el estado de Tabasco, México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. México, DF. 96 p.

SAHA, T. 2002. Identification of *Colletotrichum acutatum* from rubber using random amplified polymorphic DNAs and ribosomal DNA polymorphisms. *Mycol. Res.* 106: 215-221.

SAMBUGARO, R.; FURTADO, E. L.; RODELLA, R. A.; MATTOS, C. R. R. 2004. Anatomia foliar de seringueira (*Hevea* spp) e desenvolvimento da infecção por *Microcyclus ulei*. *Summa Phytopathologica* 30:51-56.

SENA-GOMES A.R., FILHO A.C.V., MARQUES J.R.B Y SANTOS P.M. 1982. Avaliação de clones de Seringueira (*Hevea* sp.) no sul da Bahia. CEPLAC/EMBRAPA - Centro do pesquisas do cacau. Itabuna (Brasil), 17 p.

SIERRA-HAYER, J.F. ; FURTADO, E. L. 2010. *Colletotrichum acutatum* um novo patógeno da seringueira no Brasil. In: II Congresso Brasileiro de Heveicultura, 2010, Ilhéus (BA). II Congresso Brasileiro de Heveicultura.

SILVA, L.G. MORAES, W.B. MORAES, W.B. JESUS JUNIOR, W. & SOUZA, A.F. 2009. Efeito das Condições Climáticas no Desenvolvimento do Mal-das-Folhas da Seringueira na Região Sul do Espírito Santo. Resumos do VI CBA e II CLAA. *Rev. Bras. De Agroecologia/nov.* 2009 Vol. 4 No. 2. P 2034-2037.

SILVEIRA, A.P. e R.M.G. CARDOSO. 1987. Ocorrência de *Colletotrichum gloeosporioides* em seringueira (*Hevea brasiliensis*) no estado de São Paulo. *Summa Phytopathologica. Resumo.* 3(1/2):19.

STERLING, AC, Rodríguez, OL; Quintero, L; Correa, J. 2009. Evaluación fitosanitaria y resistencia en campo a *Microcyclus ulei*

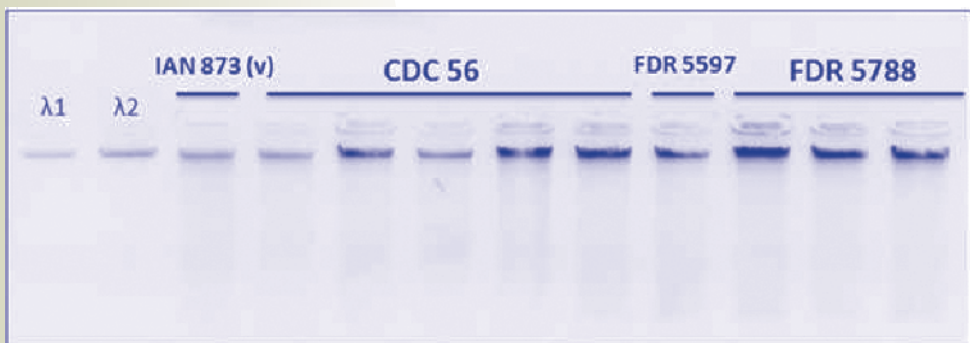
de *Hevea brasiliensis* en la Amazonia Colombiana. Revista Colombia Amazónica n.2: 80-90.

TRINDADE, D.R. 1987. Métodos de avaliação da resistencia em seringueira (*Hevea spp.*) a mancha areolada causada por *Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk. Tese Doutorado. Piracicaba. ESALQ. 101 p.

CAPÍTULO 4

Caracterización morfológica y molecular de diez clones de caucho natural (*Hevea brasiliensis*) promisorios para la Amazonia colombiana

Lorena Quintero Barrera¹, Julieth Andrea Zapata Ortiz², David Camilo Bolaños Mateus³, Armando Sterling Cuéllar¹, Olga Lucía Rodríguez Acuña.



- 1 Investigadores Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- 2 Contratista del proyecto. Contrato No. 200717736-264-977/2007 SINCHI. Convenio No. 057/07 IICA-MADR.
- 3 Tesista del proyecto. Contrato No. 200717736-264-977/2007 SINCHI. Convenio No. 057/07 IICA-MADR.

4.1. SELECCIÓN DE LOS MEJORES CLONES DE *H. brasiliensis*.

A partir de los resultados de las evaluaciones realizadas (desempeño agronómico, calidad de copa, deficiencias nutricionales, análisis foliar, comportamiento fitosanitario y resistencia frente a inóculo natural de *M. ulei*), se seleccionaron mediante una matriz de calificación final los mejores clones de *H. brasiliensis* (ver Tabla 21).

Para realizar cualquier recomendación final al productor según Gonçalves *et al.* (1997) de acuerdo con el ciclo de mejoramiento genético de caucho natural las evaluaciones de estos clones se deberán llevar hasta la etapa de producción.

Tabla 21. Matriz de selección de los mejores clones de *H. brasiliensis* basados en las calificaciones totales de Desempeño Agronómico y calidad de copa (DA), Deficiencias Nutricionales (DN), Análisis Foliar (AN) y variables fitosanitarias y resistencia a *M. ulei* (FS).

Clon	DA	DN	AF	FS	Total
FDR 5788	15	33	34	25	107
FDR 5597	31	41	26	17	115
CDC 312	25	39	44	17	125
GU 198	22	46	49	20	137
FDR 4575	13	30	60	36	139
FX 4098	5	54	54	29	142
IAN 873	15	61	49	30	155
MDF 180	28	50	60	19	157
CDC 56	19	59	49	31	158
FX 3899	24	55	59	22	160

DA: desempeño agronómico; DN: deficiencias nutricionales; AF: análisis foliar; FS: análisis fitosanitario.

4.2. DESCRIPTORES MORFOLÓGICOS Y MARCADORES MOLECULARES EN *H. brasiliensis*

El objetivo del mejoramiento genético del caucho varía de acuerdo a las necesidades específicas de cada zona. Al introducir clones mejorados en una región, es importante determinar el grado de adaptación de las plantas debido a la expresión de nuevos rasgos fenotípicos (Vencovsky y Barriga, 1992). Esta capacidad adaptativa se determina a partir de la interacción genotipo por ambiente, evaluada en campos clonales a gran escala antes de realizar cualquier recomendación final al productor.

Una de las formas de evaluar la capacidad adaptativa de los materiales de caucho en campo, es por medio de la caracterización morfológica a partir de descriptores que permitan estimar la variabilidad genética de cultivares (Chevallier, 1988; Paiva, 1994; Gonçalves *et al.*, 1997; Marques, 2002; Omokhafa y Aliko, 2003). Para ello, la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales, ha estandarizado una lista de descriptores morfoagronómicos para *H. brasiliensis* que permiten la distinción de homogeneidad y estabilidad de los diferentes genotipos. Adicionalmente, Mercycutty *et al.*, (2002) estandarizaron y evaluaron descriptores morfológicos en la fase juvenil (12 meses de edad) los resultados indicaron que los árboles de caucho pueden ser descritos en cualquier edad a partir de caracteres como: forma, color y textura del foliolo, forma del tallo, etc.

Sin embargo, otros caracteres como la altura total de la planta en metros (ATP), diámetro de la planta a 50 cm del suelo (DA 50- cm), forma de la planta (FOP), y la sobrevivencia de las progenies (SOP), deben ser evaluados en árboles de dos a tres años de edad (Arantes, 2010). Este tipo de caracteres se dificultan en el análisis convencional de

la variabilidad genética en cultivos de *H. brasiliensis*, puesto que implican mayor tiempo para evaluación de genotipos e inconvenientes para custodiar progenies F₂ (Saha *et al.*, 2007).

Dadas las limitaciones de las características morfológicas en el análisis de la variabilidad genética, en los años 80's se utilizaron otro tipo de caracteres o marcadores a nivel de proteínas denominados "marcadores bioquímicos" (IRCA, 1981; Soleille, 1984), éstos marcadores son proteínas de almacenamiento de semillas o isoenzimas que comparten un sustrato en común pero difieren en su movilidad electroforética (Azofeifa-Delgado, 2006). Sin embargo, la expresión de éstos marcadores también se ve influenciada por el medio ambiente y por los cambios que ocurren durante los diferentes estados de desarrollo de la planta (de Vicente *et al.*, 2004).

Con el advenimiento y desarrollo de técnicas moleculares en los últimos años, una alternativa para evaluar y caracterizar los recursos genéticos a nivel del ADN son los marcadores moleculares (Lanaud y Lebot, 1995). El ADN es una molécula estable, encontrada en todas las células, en todos los organismos en cualquier estadio (Henríquez y Muñoz, 2003); su análisis es independiente de la edad, el estado de la planta o el medio ambiente (Fendri, 2008).

De acuerdo con Paiva (1994) y Omokhafa y Alike (2003), en los programas de mejoramiento para la estimación de la variabilidad genética de *H. brasiliensis*, además de la caracterización con base a datos fenotípicos, deben utilizarse marcadores moleculares que permitan discernir acerca de la diversidad interespecífica. En el género *Hevea* se ha estimado la variabilidad genotípica mediante los marcadores RFLPs (Besse *et al.*, 1994), AFLPs (Nurhaimi-Haris *et al.*, 2003), RAPDs (Varghese *et al.*, 1997; Marques *et al.*, 2002; Ventakachalan *et al.*, 2002;

Nakkanong *et al.*, 2008), y SSR (Lekawipat *et al.*, 2003; Saha *et al.*, 2007; Souza *et al.*, 2009).

Cada sistema de marcador molecular posee sus propias fortalezas y limitaciones, los microsatélites por ejemplo se encuentran abundantemente distribuidos en el genoma, tienen un mayor potencial para genotipado basado en ADN debido a su elevada reproducibilidad, alto grado de polimorfismo y herencia codominante. Por ello han sido utilizados en estudios de diversidad genética, y en la identificación y distinción de cultivares que a menudo son indistinguibles entre sí a través de características morfológicas, (Thomas *et al.*, 1994; Bowers *et al.*, 1996; Sefc *et al.*, 2000). Adicionalmente, su implementación es fiable, rápida, rentable, y requiere pequeñas cantidades de ADN de la muestra (Lakshmanan *et al.*, 2007), por lo que supera las limitaciones técnicas de los otros marcadores.

Una de las principales desventajas en la aplicación de microsatélites es que requieren un esfuerzo previo de identificación de las secuencias altamente repetitivas, mediante la construcción de bibliotecas genómicas enriquecidas, secuenciación y diseño de cebadores. Sin embargo, en el caso de *H. brasiliensis* varios trabajos han reportado microsatélites polimórficos que pueden ser útiles en trabajos de caracterización genética, entre éstos están Atan *et al.*, 1996; Lespinasse *et al.*, 2000a; Bindu-Roy *et al.*, 2004; Saha *et al.*, 2005; Ze-Wei *et al.*, 2009; Yu *et al.*, 2011. Adicionalmente los microsatélites desarrollados por Lespinasse *et al.*, 2000 fueron utilizados en la construcción del primer mapa de ligamiento del género *Hevea*, y Feng *et al.* (2010) desarrollaron microsatélites génicos mediante secuencias del NCBI.

Los marcadores moleculares SSR generados en *Hevea* han sido reportados en estudios de análisis de diversidad genética en materiales cultivados y/o silvestres (Saha *et al.*, 2005, Saha *et al.*, 2007; Nakkanong

et al., 2008; Gouvêa et al., 2010), y fueron empleados en la identificación de loci genéticos implicados en la expresión de rasgos agronómicos (Lespinasse et al., 2000b, Le Guen et al., 2007).

En este contexto, y con el fin de estimar la variabilidad de clones promisorios en el departamento del Caquetá, se realizó la caracterización de los clones CDC 312, CDC 56, GU 198, FDR 5788, FDR 5597, FDR 4575, FX 3899, FX 4098, MDF 180 y el IAN 873 (v), mediante los descriptores morfológicos propuestos por Mercycutty et al. (2002) y marcadores moleculares tipo microsatélites.

4.3. ESTIMACIÓN DE LA VARIABILIDAD GENÉTICA DE 10 CLONES PROMISORIOS DE *H. brasiliensis*.

4.3.1. Aplicación de descriptores morfológicos.

Los diez clones evaluados en el jardín clonal de Itarca ubicado en el municipio La Montañita-Caquetá, fueron caracterizados a partir de 18 descriptores de acuerdo con Mercycutty et al. (2002), para la evaluación de cada genotipo se seleccionaron diez individuos diferentes.

Las variables utilizadas en el análisis fueron: Longitud del pecíolo, (LP), Forma del pecíolo (FP), Color del foliolo (CF), Lustre del foliolo (LF), Base del foliolo, (BF), Tamaño del foliolo, (TF), Ápice del foliolo (AF), Forma del foliolo central (FFC), Forma de los foliolos laterales (FFL), Grado de separación del foliolo (GSF), Tipo de venación (TV), Color de la venación (CV), Color del látex (CL), Arreglo del piso foliar (APF), Separación del piso

foliar (GPF), Yemas axilares (YA), Posición de las hojas en las ramas (PHR) y Angulo de las ramas (AR) (ver Tabla 22).

Los descriptores morfológicos fueron tomados como variables categóricas con calificaciones entre 1 y 7, los datos obtenidos se convirtieron a una matriz binaria de presencia (1) y ausencia (0), de la cual se calculó el coeficiente de similitud de Jaccard (Jaccard, 1908) y a partir de esta matriz se construyó un dendrograma utilizando el algoritmo de media aritmética no ponderada (por sus siglas en inglés UPGMA); adicionalmente, a partir de la matriz de distancias también se realizó un análisis de coordenadas principales (PCoA) mediante el paquete estadístico Syntax 2000. La tabla 22 muestra la calificación de cada variable.

4.3.2. Material vegetal y extracción de ADN

El material vegetal fue colectado en el Jardín clonal de Itarca ubicado en el municipio La Montañita-Caquetá, a partir de hojas frescas, seleccionando 5 individuos por clon, y dos hojas trifoliales por individuo. Las muestras colectadas se introdujeron en bolsas herméticas con Sílica gel, y luego fueron enviadas al laboratorio de Biotecnología del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas-SINCHI, Sede Bogotá donde se llevo a cabo la extracción del material genómico.

Para la extracción de ADN se utilizó la metodología propuesta por Varguese *et al.* (1997), con algunas modificaciones que permitieran ajustarse a los equipos disponibles y además aumentar la calidad de la extracción de ADN: se homogenizaron 0.035 g de tejido foliar con perlas de zirconio/silica de 2.3 mm en un equipo FastPrep, a una velocidad de 4 m/s por un minuto. Posteriormente, se agregó al tejido macerado un volumen de 750 µL de solución tampón propuesta por Varghese (1997), y se continuó la metodología propuesta por el autor. El ADN extraído, fue evaluado y cuantificado en geles

de agarosa 0.8% (ver Figura 25) para su visualización se utilizó el colorante EZ-Vision (Amresco) de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

Tabla 22. Descriptores morfológicos con variables categóricas utilizados para evaluar la variabilidad en diez genotipos de *H. brasiliensis*

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	2
	Cóncavo	3
	Forma de "S"	4
Foliolo color (CF)	Verde claro	1
	Verde oscuro	3
	Verde amarillento	5
Foliolo (lustre) (LF)	Opaco	1
	Brillante	2
	Semibrillante	3
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	2
	Diamantelíptica	3
Foliolos laterales (foma) (FFL)	Lanceolada	2
	Obovoide	3
	Elíptica	4
	Oblanceolada	5
Foliolo (grado de separación) (GSF)	Sobrepuesto	5
	Separado	1
Venación (tipo) (TV)	Prominente	1
	No prominente	3
Venación (color) (CV)	Verde	1
	Verde amarillento	2
	Amarillo brillante	3
Látex (color) (CL)	Blanco	1
	Ligeramente amarillo	2

Continúa en la página siguiente

Viene de la página anterior

Descriptor	Variación	Nota
Piso foliar (arreglo) (APF)	Arco	4
	Globular	2
	Cónica	1
	Truncada	3
Piso foliar (separación) (SPF)	Separado	5
	No bien separado	3
	Difuso	1
Yemas axilares (YA)	Hundidas	1
	Normal	3
	Prominente	5
Ramas (posición de las hojas) (PHR)	Erecta	1
	Horizontal	3
	Peduncular	4
Ramas (ángulo) (AR)	< 45 °	1
	45 - 70 °	2
	> 70 °	3

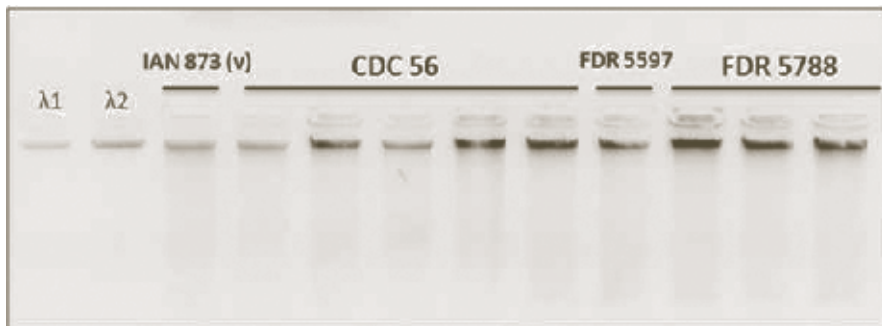


Figura 25. ADN total en cuatro clones de *H. brasiliensis*. Lambda 1: 50 ng/μL; Lambda 2: 100 ng/μL.

4.3.3. Desarrollo de la técnica SSR

Basados en resultados anteriores de los proyectos ["Contribución a la certificación por técnicas moleculares del material comercial de *Hevea brasiliensis* de interés para Colombia"](#), ejecutado por el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi y la Universidad Nacional de Colombia (datos aun no reportados) y la caracterización molecular de Clones élite promisorios presentes en el sistema

productivo del departamento del Caquetá realizada en el Instituto mencionado anteriormente. Fueron seleccionados cinco pares de cebadores microsatélite para la caracterización molecular: *hmac4*, *hmac5*, *hmct1*, *hmct5* (Saha *et al.*, 2005), y M574 (Lespinasse *et al.*, 2000; Lekawipat *et al.*, 2003).

Para visualizar los fragmentos amplificados de ADN, se utilizó un método basado en fluorescencia utilizando cebadores marcados con fluorocromos y equipos automatizados (secuenciadores automáticos de ADN), que permiten visualizar los fragmentos con mayor exactitud (Cárdenas *et al.*, 2008). Fue utilizada una misma concentración de mezcla y ciclo de reacción para todas las amplificaciones de los cebadores, condiciones que pueden ser estandarizadas en futuros ensayos de PCR multiplex, para minimizar costos y duración del análisis.

La mezcla de la reacción de amplificación para cada cebador se mantuvo en un volumen de 15 μ L a partir de 20ng de concentración de ADN; 1X de Buffer PCR; 1,5mM $MgCl_2$; 0,2 mM de dNTP; 0,2 μ M de cada cebador (ver Tabla 23) y 1 μ U de Taq polimerasa, en un volumen final de 20 μ l. Las reacciones de amplificación se realizaron con las siguientes condiciones: 94°C durante 2 minutos, seguido por 35 ciclos de 94°C durante 30 seg, 54°C durante 30 segundos y 72°C por 30 segundos; y una extensión final a 72°C por 30 min.

Los amplificados se corrieron en electroforesis capilar, en el equipo ABI3500 Genetic Analyzer del Servicio de Secuenciación y Análisis Molecular del Instituto de Genética de la Universidad Nacional (SSiGMol). El programa GeneMapper (Versión 4.1), analizó los datos del secuenciador automático y proporcionó información del tamaño de los fragmentos estudiados, a través del marcador interno de peso molecular Gene Scan 600LIZ® Size Standard.

Tabla 23. Cebadores microsatélite empleados en la caracterización de los clones del proyecto.

SSR	Fluor	Secuencia cebadores (5' → 3')	Tamaño producto (pb)
<i>Hmac4</i>	PET	F: GTTTTCTCCGCAGACTCAG R: GTTCTTATCCACCAATAAGGCATGA	224 - 278
<i>Hmac5</i>	6FAM	F: TCGGTTGGTTTACCATGACA R: GGTTCTTACATCACATGAGTGATCTGATCTC	254 - 286
<i>Hmct1</i>	VIC	F: AACCAGAAGGGTGTCATGCT R: GTTCTTGAATCCCATGACAATCCAC	198 - 222
<i>Hmct5</i>	6FAM	F: ATGTATGTGTGCGCAGGAAG R: GTTCTTCTGTAGTCATGGCAGCAGGA	193 - 216
<i>M574</i>	NED	F: GCCTTGTGTCTCTACT R: GTTCTTCTGGTTCAAGCCTCTACT	231 - 267

SSR: cebador microsatélite. Fluor: Fluorocromo.

A partir de la lectura de los fragmentos generados, se construyó una matriz binaria de presencia (1) y ausencia (0), con la cual se calculó el coeficiente de disimilaridad de Jaccard (Jaccard, 1908), para su interpretación se realizó una representación gráfica en un dendrograma utilizando el agrupamiento de pares de media aritmética no ponderada (por sus siglas en inglés UPGMA).

Adicionalmente se realizó la descripción de los cebadores y muestras evaluadas: número de bandas polimórficas, monomórficas, bandas totales; Contenido de Información Polimórfica (PIC) y su error estándar de acuerdo a:

$$PIC = 2 \sum_{i=2}^l \sum_{j=1}^{i-1} [p_i p_j (1 - p_i p_j)]$$

Donde n es el número de alelos, p_i y p_j son las frecuencias de los alelos. Todos los cálculos se realizaron mediante el paquete estadístico InfoGen (Balzarini y Di Rienzo, 2003).

4.4. VARIABILIDAD GENÉTICA DE DIEZ CLONES PROMISORIOS DE *H. brasiliensis*

4.4.1. Análisis de variabilidad a partir de descriptores morfológicos.

En el dendrograma obtenido mediante el algoritmo UPGMA (Ver Figura 26), los 10 genotipos son agrupados en cuatro grupos, con distancias de 0.60, 0.55, 0.66 y 0.43 correspondientes a los grupos A (Rojo), B (Azul), C (Verde) y D (Amarillo) respectivamente. En el grupo **A** está el subgrupo A1 conformado por los genotipos CDC 56, IAN 873 (v) y CDC 312; y A2 por el genotipo FDR 5788, el grupo B se conforma por el subgrupo B1 para los clones MDF 180 y FDR 5597; y B2 clon FDR 4575. El grupo **C** se forma a partir de un solo genotipo y finalmente en el grupo **D** se encuentran los clones FX 4098 y GU 198 (ver Figura 27).

Además del dendrograma se realizó un Análisis de Coordenadas principales (PCoA), en el PCoA se evidencia la formación de 4 grupos; grupo a) conformado por los clones FDR 5597, MDF 180, FDR 4575, grupo b) clones FDR 5788, IAN 873 y CDC 56, grupo c) clones FX 3899 y CDC 312, grupo d) clones GU 198.

Los 10 genotipos de la colección clonal inicialmente fueron evaluados con 19 descriptores morfológicos, sin embargo, un descriptor fue descartado (orientación del peciolo) por no mostrar variabilidad que aportará a la discusión de los resultados. En la figura 27 se observa que los clones que son agrupados con color azul, están más relacionados genéticamente que los genotipos agrupados con color verde, naranja y rojo que muestran mayor discrepancia en cada agrupación.

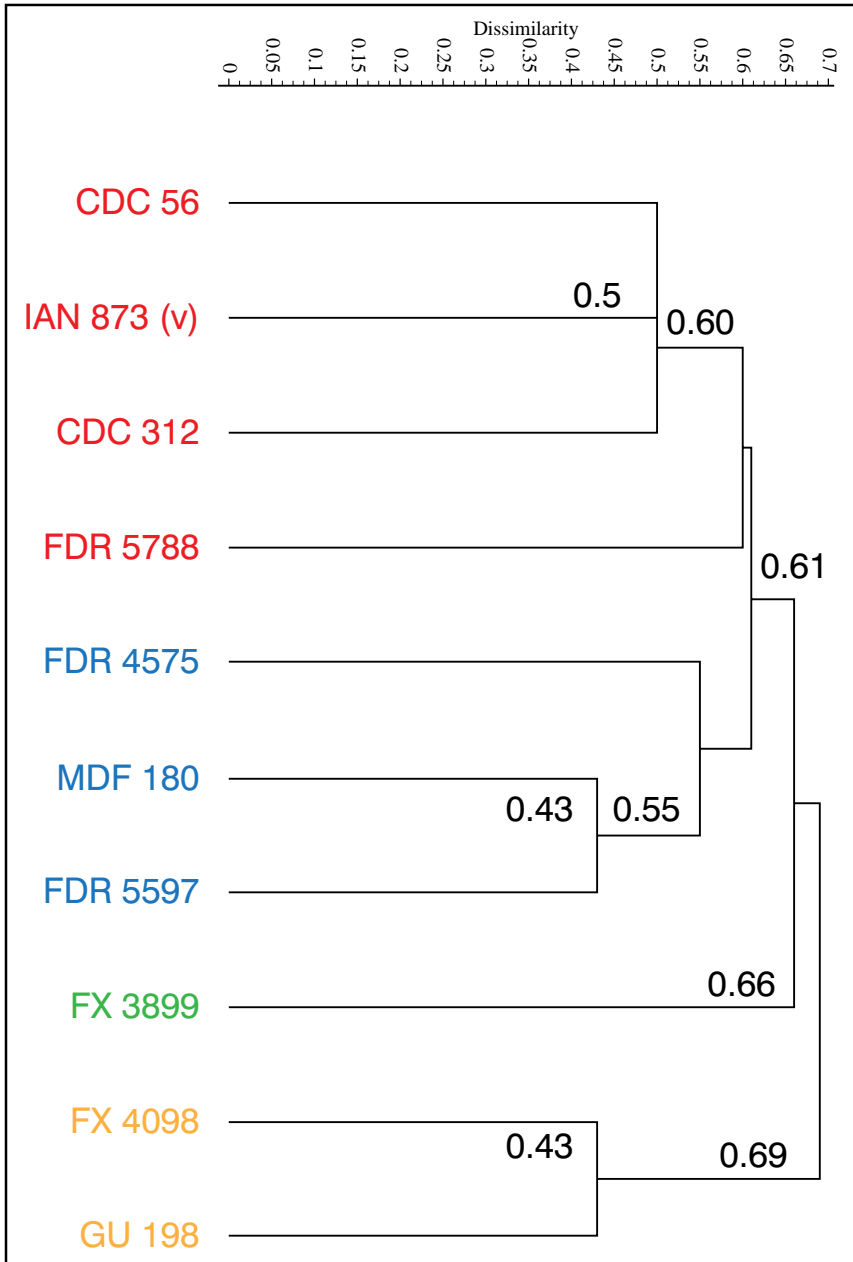


Figura 26. Dendrograma de 10 genotipos de caucho natural (*H. brasiliensis*) promisorios para el Departamento del Caquetá a partir de 18 descriptores morfológicos.

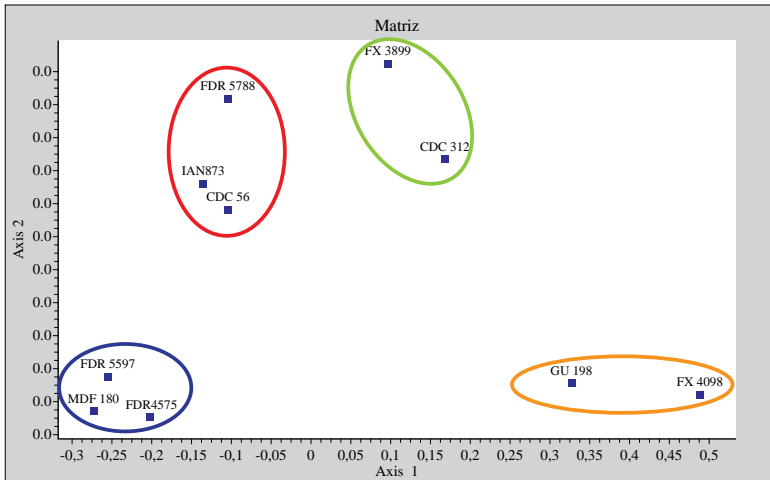


Figura 27. Análisis de coordenadas principales (ACP) para 10 genotipos de *H. brasiliensis*. Grupo A: FDR 5597, MDF 180 y FDR 4575 (color azul); grupo B: FDR 5788, IAN 873 (v), CDC 56 (color rojo); grupo C: FX 3899 y CDC 312 (color verde); grupo D: GU 198 y FX 4098 (color naranja).

La menor distancia observada (0.43) está entre los clones FX 4098 y GU 198 del grupo D y MDF 180 y FDR 5597 del grupo B, los parentales del genotipo FX 4098 son PB 86 (clon primario) x FB 110 (Ford Belém, Brasil); diferentes a los parentales del clon GU 198; GT 711 x FX 1.

Los clones FDR 5597, FDR 4575 y FDR 5788, según Gonçalves y Marques (2008) comparten el mismo punto de origen (Firestone Dothidella Resistent, Brasil), además los tres se forman a partir del mismo parental HAR (Harbel, Liberia) cruzados con los genotipos TU 12-525, FDR 18 y MDF 180 (clon primario) respectivamente. Esta es la razón por la cual los tres genotipos se relacionan medianamente entre sí a distancias de 0.56 (FDR 4575/ FDR 5788) y 0.61 (FDR 4575 ó FDR 5788/ FDR 5597). Resultados similares fueron observados por Varghese *et al.* (1997); Ventakatachalan *et al.* (2002); Marques *et al.*, (2002); Gouvea, (2010) para los genotipos con ancestro en común los cuales se mostraban estrechamente relacionados integrados dentro de los mismos grupos.

Finalmente los clones CDC 56 y CDC 312 se relacionan a una distancia de 0.5. La agrupación de los clones CDC como se discutía anteriormente obedece al ancestro en común que comparten los genotipos (MDX 40, MDX 91 y MDX 17).

4.4.2. Polimorfismos encontrados a partir de los marcadores moleculares

A partir de los cinco microsatélites empleados, se obtuvieron en total 43 alelos (ver Tabla 24) de los cuales el 97,67% presentó polimorfismo, los cebadores que mostraron mayor número de bandas polimórficas fueron Hmct-5 y M574. El contenido de información polimórfica varió entre 0,21 y 0,26, siendo el cebador Hmac4 el que mostro mayor valor del PIC (0,26) a pesar de tener el menor número bandas polimórficas.

Tabla 24. Resumen de los cebadores utilizados en la caracterización molecular de *H. brasiliensis*

Cebador	Bandas Polimórficas	Bandas Monomorfas	Bandas Totales	PIC
Hmct5	10	0	10	0,23 ± 0.02
Hmct1	8	0	8	0,21 ± .02
Hmac5	7	0	7	0,25 ± 0.02
M574	10	0	10	0,25 ± 0.02
Hmac4	7	0	8	0,26 ± 0.03
Total	42	0	42	

El análisis de microsatélites marcados con fluorocromos permitió asignar con mayor fiabilidad los genotipos a las distintas muestras evaluadas. En la figura 28, se observan picos legibles de alelos diferentes con su respectivo peso molecular para cada uno de los cebadores evaluados.

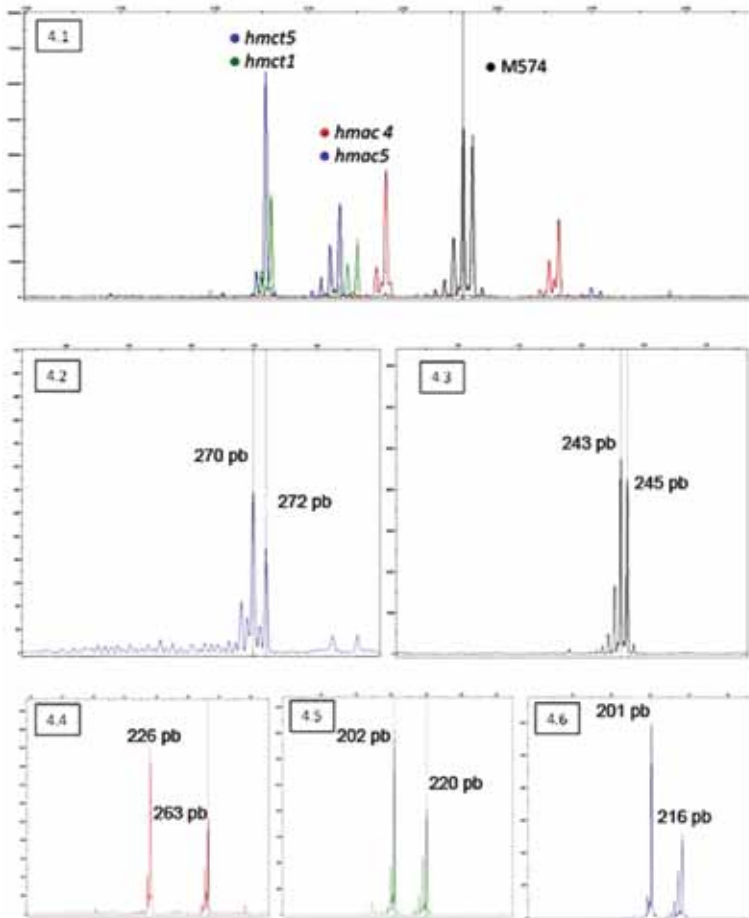


Figura 28. Lectura de fragmentos marcados con fluorocromos, del conjunto de cebadores SSR (4.1), *Hmac5* (4.2), *M574* (4.3), *Hmac4* (4.4), *Hmct1* (4.5) y *Hmct5* (4.6); correspondiente al clon FDR5597 individuo 3.

Los alelos generados por los seis microsatélites variaron entre 7 (*hmac5*) a 11 (*hmct1* y *M574*) alelos por locus (ver Tabla 25). El cebador que presentó alelos con mayor peso molecular fue el *hmac5* (con pesos de 254 a 286 pb) también mostró el menor número de bandas; los menores pesos se observaron con el marcador *Hmct5* (con pesos de 193 a 216 pb). En los restantes microsatélites los alelos se sobrelapan en gran proporción.

Tabla 25. Composiciones alélicas de los diez genotipos promisorios para el departamento del Caquetá analizados a través de seis SSR.

Genotipo	Hmct5		Hmct1		Hmac5			Hmac4			M574				
	Alelo 1	Alelo 2	G	Alelo 1	Alelo 2	G	Alelo 1	Alelo 2	G	Alelo 1	Alelo 2	G			
FDR 4575	196	201	CE	202	222	CI	254	270	AC	239	255	BH	224	224	AA
FDR 5597	201	216	EK	202	220	CH	270	272	CD	243	245	DE	226	263	BF
FDR 5788	201	201	EE	204	204	DD	270	282	CF	245	267	EK	263	268	FG
FX 3899 P1	201	201	EE	202	210	CE	272	278	DE	247	255	FH	226	255	BD
FX 4098	193	214	AB	202	204	CD	272	286	DG	241	247	CF	226	278	BH
MDF 180	194	200	BD	200	216	BF	254	256	AB	255	256	HI	224	224	AA
GU 198	207	209	HI	202	202	CC	256	270	BC	231	239	AB	226	263	BF
CDC 312	202	209	HI	198	202	AC	270	270	CC	241	245	CE	245	263	CF
CDC 56	202	209	FI	198	202	AC	270	270	CC	241	245	CE	245	263	CF
IAN 873 (v)	196	201	CE	198	202	AC	256	270	BC	243	253	DG	224	226	AB

En el dendrograma obtenido sobre la base de agrupamientos UPGMA (ver Figura 29), se observa que los clones empiezan a agruparse a una distancia aproximada de 0.95. De igual forma se pueden observar cinco grupos: Grupo 1: clon MDF 180; grupo 2: clones FX 4098 y FX 3899 P1; grupo 3: clon CDC 312, CDC 56 y GU 198; grupo 4: clon FDR 5597 y FDR 5788; grupo 5: clon IAN 873 (v) y FDR 4575. El material más distante entre los genotipos, es el clon MDF 180, diferente a lo obtenido en el dendrograma realizado a partir de descriptores morfológicos en donde el clon más distante es el GU 198.

La mayoría de agrupaciones mencionadas anteriormente son debidas a los parentales semejantes utilizados en los programas de mejoramiento, de esta forma se podría indicar que la mayor semejanza entre los clones FX 4098 y FX 3899 (grupo 2) se debe a que ambos clones tienen en común como parental el clon PB 86, los clones CDC 12 y CDC 56 (grupo 3) tienen como uno de sus parentales clones MDX, el grupo 4 conformada por los clones FDR 5597 y FDR 5788 derivan de parentales Harbel.

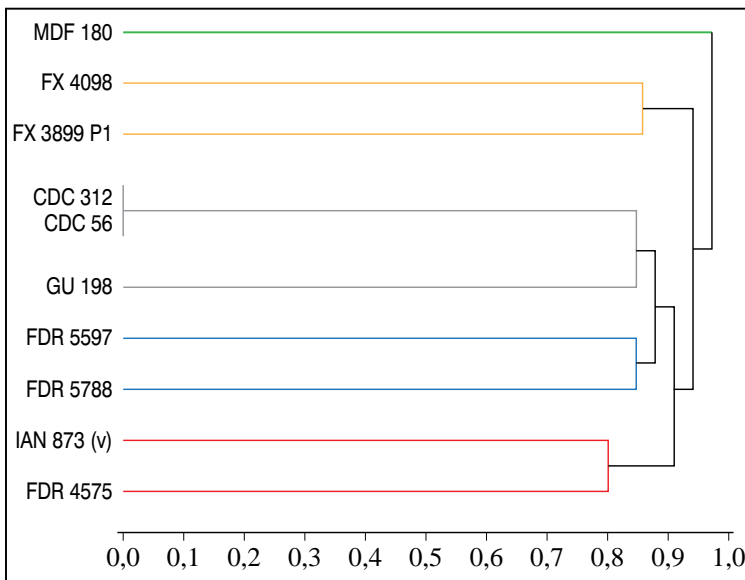


Figura 29. Dendrograma de 10 genotipos de caucho natural promisorios para el Departamento del Caquetá, a partir de cinco marcadores SSRs.

4.5. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y MOLECULAR DE DIEZ CLONES DE CAUCHO PROMISORIOS PARA LA AMAZONIA COLOMBIANA

A través de la aplicación de los descriptores morfológicos propuestos por Mercycutty *et al.* (2002) y los cinco marcadores moleculares tipo SSR utilizados, se realizó la caracterización de 10 clones promisorios para la región, seleccionados con base en su comportamiento en campo.

De los diez clones evaluados en este análisis solo es posible evidenciar correlación entre los clones CDC 312-CDC 56, FX 4098-FX 3899 y FDR 5597- FDR 4575 que comparten ancestros en común. Adicionalmente, se observa que el clon con mayor diferencia es el MDF 180 que corresponde a un clon primario.

4.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARANTES, F. 2010. Adaptabilidad y estabilidad de progenies de *Hevea brasiliensis* (Willd. ex Adr. de Juss.) Muell. Arg. en tres diferentes regiones del estado de Sao Paulo. Departamento de fitotecnia, tecnología de alimentos y socio economía.

ATAN S.; LOW F.C.; SALEH N. M. 1996. Construction of a microsatellite enriched library from *Hevea brasiliensis*. *Journal of Natural Rubber Research* 11: 247-255.

AZOFEIFA-DELGADO, A. 2006. Uso de marcadores moleculares en plantas; Aplicaciones en frutales del trópico. *Agronomía Mesoamericana* 17 (2): 221-242.

BALZARINI M, DI RIENZO J, 2003. Info-Gen: Software para análisis estadístico de datos genéticos. Facultad de Ciencia Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.

BESSE P.; SEGUIN M.; LEBRUN P.; CHEVALLIER M. H.; NICOLAS D.; LANAUD C. 1994. Genetic diversity among wild and cultivated populations of *Hevea brasiliensis* assessed by nuclear RFLP analysis. Theor. Appl. Genet. 88: 199-207.

BINDU ROY C.; NAZEER M.A.; SAHA T. 2004. Identification of simple sequence repeats in rubber (*Hevea brasiliensis*). Current Science 87, 807-811.

BOWERS J.; DANGL G.; VIGNANI R.; MEREDITH C. 1996. Isolation and characterization of new polymorphic simple sequence repeat loci in grape (*Vitis vinifera* L.). Genome 39: 628-633.

CÁRDENAS, W.; CASTILLO, A.; VARGAS, C.; MORENO, O.; INSUASTY, J. 2008. Análisis de la inestabilidad de microsatélites mediante el marcador BAT-26 en una muestra de pacientes del Hospital Universitario de Santander con diagnóstico de cáncer gástrico o colorrectal. Colombia Médica, 39 (Supl 2): 41-51.

CHEVALLIER, M. H. 1988. Genetic variability of *Hevea brasiliensis* germplasm using isozyme markers. Journal Natural Rubber Research, v.3, p.42-53.

DE VICENTE M.C.; LÓPEZ C.; FULTON T. (eds.). 2004. Genetic Diversity Analysis with Molecular Marker Data: Learning Module. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Rome, Italy.

FENDRI, M. 2008. Uso de marcadores Microsatélites (SSRS) para el análisis de la variabilidad molecular y la identificación de las variedades de olivo del banco de germoplasma de “boughrara” (Sfax, Túnez). Tesis de Master. Universidad de Córdoba.

FENG S. P.; LI W.G.; HUANG H.S.; WANG J.Y.; WU Y.T. 2010. Development, characterization and cross-species/genera transferability of ESTSSR markers for rubber tree (*Hevea brasiliensis*). *Molecular Breeding*. 23 (1): 85-97.

GONÇALVES, P. DE. S.; ORTOLANI, A. A. E.; CARDOSO, M. 1997. Melhoramento genético da seringueira: uma revisão. Documentos IAC 54. 55pag. Campinas-SP, Brasil.

GONÇALVES, P. DE S.; MARQUES, J.R.B. 2008. Melhoramento Genético da Seringueira: passado, presente e futuro. In: Alvarenga, A.P.; Carmo, C.A.F.S. (eds). *Seringueira*. Viçosa: Epamig. p.401-407.

GOUVÊA L. 2009. Divergência genética em seringueira estimada a través de técnicas multivariadas e marcadores moleculares microssatélites. Instituto agronómico IAC.

HENRÍQUEZ, M. A.; MUÑOZ, J. E. 2003. Técnicas multivariadas en el análisis de datos sobre caracterización molecular. Universidad Nacional de Colombia. Centro de documentación Laboratorio de Biotecnología. Palmira, Colombia. 62p.

IRCA, Institute des Recherches Sur Le Caoutchouc. 1981. Laboratoire d'Électrophorèse. Rapport Annuel. p. 33-37.

JACCARD, P. 1908. Nouvelles recherches sur la distribution florale. *Bull Soc. vaudoise Sci. Nat.* 44: 223-270.

LAKSHMANAN, V.; VENKATARAMAREDDY, S. R.; NEELWARNE, B. 2007. Molecular analysis of genetic stability in long term micropropagated shoots of banana using RAPD and ISSR markers. *Electron. J. Biotechnol.* 10 (1), 1–8.

LANAUD, C.; LEBOT, V. 1995. Molecular techniques for increased use of genetic resources. In: *Molecular Genetic Techniques for Plant Genetic Resources*. Report of an IPGRI Workshop 9-11 October 1995. Rome, Italy, pp: 92-97.

LE GUEN V. D.; GARCIA C. R.; MATTOS R.; DOARE´ F.; LESPINASSE D.; SEGUIN M. 2007. Bypassing of a polygenic *Microcyclus ulei* resistance in rubber tree, analyzed by QTL detection. *New Phytol.* 173: 335-345.

LEKAWIPAT N., TEERAWATANASUK K., RODIER-GOUD M., SEGUIN M., VANAVICHIT A., TOOJINDA T., TRAGOONRUNG S. 2003. Genetic diversity analysis of wild germplasm and cultivated clones of *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. By using microsatellite markers. *Journal of Rubber Research.* 6(1): 36-47.

LESPINASSE, D.; RODIER-GOUD, M.; GRIVET, L.; LECONTE, A.; LEGNATE, H.; SEGUIN, M. 2000. A saturated genetic linkage map of rubber tree (*Hevea* spp.) based on RFLP, AFLP, microsatellite and isozyme markers. *Theoretical Applied Genetics*, v.100, p.127-138.

LESPINASSE D.; RODIER-GOUD M.; GRIVET L.; LECONTE A.; LEGNATE H.; SEGUIN M. 2000a. A saturated genetic linkage map of rubber tree (*Hevea* spp.) based on RFLP, AFLP, microsatellite, and isozyme markers. *Theor. Appl. Genet.* 100: 127-138.

LESPINASSE D.; GRIVET L.; TROISPOUX V.; RODIER-GOUD M.; PINARD F.; SEGUIN M. 2000b. Identification of QTLs involved in the resistance to

South American leaf blight (*Microcyclus ulei*) in the rubber tree. *Theor. Appl. Genet.* 100: 975-984.

MARQUES, J. R.; FALEIRO, F. G.; ARAÚJO, I. S.; ANHERT, D. 2002. Diversidade genética entre clones de seringueira das séries SIAL e Fx com base em marcadores RAPD. *Agrotrópica*, v.14, p.159-164.

MERCYKUTTY, V. C.; MARATTUKALAM, J. G.; SARASWATHYAMMA, C. K.; MEENAKUMARI, T. 2002. Identification of *Hevea* clones a manual. Rubber Research of India (RRII). 103 pg. Kottayam/ Kerela, India.

NAKKANONG K., NUALSRI C., SDOODEE S. 2008. Analysis of genetic diversity in early introduced clones of rubber tree (*Hevea brasiliensis*) using RAPD and microsatellite markers. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 30 (5): 553-560.

NURHAIMI-HARIS.; ASWIDINNOOR H.; TORUAN M, N.; PURWANTARA A. 2003. Kemiripan genetik klon karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) berdasarkan metode Amplified Fragment Length Polymorphisms (AFLP) Genetic similarity of rubber clones (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg) based on Amplified Fragment Length Polymorphisms (AFLP) method. *Menara Perkebunan*, 71(1): 1-15.

OMOKHAFFE, K.O.; ALIKA, J.E. 2003. Phenetic relationship of rubber tree clones. *BiolPlantarum* 46:217-222.

PAIVA, J.R. 1994. Divergência genética entre clones primários de seringueira. *PesqAgropecu Bras* 29:607-615.

SAHA T.; ROY C. B.; RAVINDRAN M.; BINI K.; NAZEER M. A. 2007. Allelic Diversity Revealed Through SSR Polymorphisms at the Locus

Encoding HMG-CoA Reductase in Rubber (*Hevea brasiliensis*). *Silvae Genetica* 56 (2)

SAHA T. C.; BINDU R.; NAZEER M. A. 2005. Microsatellite variability and its use in the characterization of cultivated clones of *Hevea brasiliensis*. *Plant Breeding*. 124: 86-92.

SEFC K, LOPES M.; LEFORT F.; BOTTA R.; ROUBELAKIS- ANGELAKIS K, IBANEZ J.; PEJIC, I.; WAGNER H.; GLOSSL J.; STEINKELLNER H. 2000. Microsatellite variability in grapevine cultivars from different European regions and evaluation of assignment testing to assess the geographic origin of cultivars. *Theor. Appl. Genet.* 100: 498-505.

SOLEILLE, B. 1984. Étude de la variabilité enzymatique chez *Hevea brasiliensis*. Tese de Doutorado, Université de Paris-Sud Centre D' Orsay, 162p. Citado en: KALIL-FILHO, A.; D. LAMA, M.A.; MESTRINER, M.A. 1998. Aperfeicoamiento da técnica de electroforese para análise isoenzimática de clones de seringueira (*Hevea sp.*). *Acta Amazónica* 28 (1): 31-40.

SOUZA L.; MANTELLO C.; SANTOS M.; DE SOUZA GONÇALVES P.; SOUZA A. 2009. Microsatellites from rubber tree (*Hevea brasiliensis*) for genetic diversity analysis and cross-amplification in six *Hevea* wild species. *Conservation Genet Resour* 1(1):75-79

THOMAS M.; CAIN P.; SCOTT N. 1994. DNA typing of grapevines: a universal methodology and database for describing cultivars and evaluating genetic relatedness. *Plant Mol. Biol.* 25, 939—949.

UPOV (Unión for the Protection of New Varietates of Plant). 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.; SETHURAJ, M. R. 1997. Evaluation of random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers in *Hevea brasiliensis*. *Plant Breeding*, v.116, p.47-52.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. 1992. *Genetica Biometrica no Fitomelhoramento*. Sociedade Brasileira de Genetica, Ribeirão Preto.

VENKATACHLANA, P.; THOMAS, S.; PRIYA, P.; THANSEEM, I.; GIREESH, T.; SARAS, C.K.; THULASEEDHARAN, A. 2002. Identification of DNA Polymorphism among clones of *Hevea brasiliensis* Muell-Arg. using RAPD analysis. *Plant Cell Reports*, v.15, p.172-181.

YU FEI.; BAO-HUA W.; SU-PING F.; JING-YI W.; WEI-GUO L.; YAO-TING W. 2011. Development, characterization, and cross-species/genera transferability of SSR markers for rubber tree (*Hevea brasiliensis*). *Plant Cell Rep* 30:335–344.

ZE-WEI A.; YAN-HONG Z.; HAN C, WEI-GUO L.; HUA-SUN H. 2009. Development and application of EST-SSR markers in *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. *Hereditas (Beijing)*. 31(3):311-319.

