

Modelo productivo

para el cultivo de caucho natural (*Hevea brasiliensis*)

en el Bajo Cauca antioqueño y en el sur de Córdoba

Autores

Albert Julesmar Gutiérrez Vanegas
Diana Elisa Correa Pinilla
Juan Pablo Gil Restrepo
Danilo Augusto Monsalve García
Judith del Carmen Martínez Atencia
Oscar de Jesús Córdoba Gaona
Mónica Lucía Álvarez Láinez
Juliana Andrea Gómez Valderrama
Anibal Leonidas Tapiero Ortiz
Gina Marcela Amado Saavedra

AGROSAVIA
EDITORIAL



Modelo productivo

para el cultivo de caucho natural (*Hevea brasiliensis*)

en el Bajo Cauca antioqueño y en el sur de Córdoba

Autores

Albert Julesmar Gutiérrez Vanegas

Diana Elisa Correa Pinilla

Juan Pablo Gil Restrepo

Danilo Augusto Monsalve García

Judith del Carmen Martínez Atencia

Oscar de Jesús Córdoba Gaona

Mónica Lucía Álvarez-Láinez

Juliana Andrea Gómez Valderrama

Anibal Leonidas Tapiero Ortiz

Gina Marcela Amado Saavedra

AGROSAVIA
EDITORIAL



Modelo productivo para el cultivo de caucho natural (*Hevea brasiliensis*) en el bajo Cauca antioqueño y en el sur de Córdoba. / Albert Julesmar Gutiérrez Vanegas [y otros nueve] – Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2022.

228 páginas (Colección Transformación del Agro)

Incluye referencias bibliográficas, tablas e ilustraciones.

ISBN e-Book: 978-958-740-582-8

1. *Hevea brasiliensis* 2. Manejo del cultivo 3. Manejo Integrado de Plagas 4. Látex 5 Indicadores económicos 6. Propagación de plantas 7. Antioquia (Colombia) 8. Córdoba (Colombia).

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura-Agrovoc

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA

Centro de Investigación La Libertad. Kilómetro 17, Vía Puerto López, Meta. Código postal 502008, Colombia.

Centro de Investigación El Nus. Corregimiento San José del Nus, municipio de San Roque, Antioquia.

Código postal 053037, Colombia,

Centro de Investigación Turipaná. Kilómetro 13, vía Montería-Cereté, Córdoba. Código postal: 230550, Colombia.

Centro de Investigación Tibaitatá. Kilómetro 14, vía Mosquera-Bogotá, Mosquera. Código postal 250047, Colombia.

Esta publicación es el resultado del proyecto “Sistema de información geográfico para la gestión de plantaciones de caucho natural localizadas en diferentes agroecosistemas de Colombia (SIG) WEB Caucho”. ID 1001210, financiado por transferencia del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Colección: Transformación del Agro

Tipología: Modelo productivo

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA

editorial@agrosavia.co

Edición: Liliana Gaona García

Corrección de estilo: Nathalie De la Cuadra N.

Diseño: Mónica Cabiativa

Diagramación: María Paula Berón Ramírez

Citación sugerida: Gutiérrez Vanegas, A. J., Correa Pinilla, D. E., Gil Restrepo, J. P., Monsalve García, D. A., Martínez Atencia, J. C., Córdoba Gaona, Ó. J., Álvarez-Láinez, M. L., Gómez Valderrama, J. A., Tapiero Ortiz, A. L., & Amado Saavedra, G. M. (2022). *Modelo productivo para el cultivo de caucho natural (Hevea brasiliensis) en el Bajo Cauca antioqueño y en el sur de Córdoba*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7405828>

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

www.agrosavia.co



https://co.creativecommons.org/?page_id=13

CONTENIDO

13	Los autores	
19	Presentación	
Capítulo I.	Área geográfica y entorno ambiental	21
21	Área geográfica	
25	Entorno ambiental	
Capítulo II.	Descripción botánica, biología y fenología	33
33	Taxonomía, clasificación y descripción botánica	
Capítulo III.	Recurso genético, propagación y manejo en vivero	41
41	Recurso genético	
47	Algunos elementos para la producción de plántulas de caucho natural	
50	Viveros y material vegetal	
Capítulo IV.	Exigencias edafoclimáticas para el desarrollo del cultivo	53
53	Requerimientos climáticos y edáficos del caucho	
60	Definición de criterios y variables modelo en zona de escape	

Capítulo v.	Manejo del recurso suelo y agua	63
63	Manejo del recurso suelo para la producción de caucho en la zona de estudio	
Capítulo vi.	Sistemas de siembra	79
79	Densidad de siembra	
83	Sistemas de siembra	
89	Sistemas agroforestales	
96	Siembra	
96	Resiembra	
Capítulo vii.	Prácticas culturales: poda y manejo de plantas arvenses	97
97	Poda	
113	Arvenses	
Capítulo viii.	Manejo integrado de plagas	119
119	Gusano cachón	
125	Chinche de encaje	
132	Ácaros	
137	Comején o termitas	
140	Hormiga arriera	
142	Gusano peludo	
Capítulo ix.	Enfermedades y su control	145
145	Generalidades	
147	Zona de escape	
151	Patógenos asociados a las semillas	
153	Enfermedades foliares	

Capítulo x. Una mirada al látex de caucho natural desde la ciencia y la ingeniería de materiales ————— 163

- 163 ¿Qué es el látex de caucho natural?
- 168 El látex de caucho natural como materia prima
- 169 Principales características del látex de caucho natural colombiano

Capítulo xi. Contexto sectorial ————— 177

- 177 Cadena productiva
- 180 Fondo de Fomento Cauchero y cuota de fomento
- 181 Principales indicadores económicos
- 190 Área establecida, producción, rendimiento y consumo nacional
- 191 Costos de establecimiento y mantenimiento
- 192 Certificado de Incentivo Forestal
- 192 Línea especial de crédito
- 193 Precios nacionales
- 193 Generación de empleo
- 195 Agenda Dinámica Nacional de I+D+i
- 201 Referencias

Lista de figuras

Figura 1	Núcleos productivos de caucho	22
Figura 2	Localización geográfica de los municipios productores de caucho (<i>H. brasiliensis</i>) del Bajo Cauca antioqueño y del sur de Córdoba	23
Figura 3	Distribución altitudinal (m s. n. m) de las plantaciones de caucho en la región objetivo	26
Figura 4	Temperatura (°C) media multianual en las zonas productoras de <i>H. brasiliensis</i> del Bajo Cauca antioqueño y del sur de Córdoba	27
Figura 5	Precipitación media multianual en las zonas productoras de <i>H. brasiliensis</i> del Bajo Cauca antioqueño y del sur de Córdoba	28
Figura 6	Unidades de paisaje en las zonas productoras de <i>H. brasiliensis</i> del Bajo Cauca antioqueño y del sur de Córdoba	30
Figura 7	Piso foliar de caucho	35
Figura 8	Detalle de árbol adulto de <i>H. brasiliensis</i>	35
Figura 9	Inflorescencias de caucho (<i>H. brasiliensis</i>)	36
Figura 10	Semillas de caucho (<i>H. brasiliensis</i>)	37
Figura 11	Estados foliares de caucho (<i>H. brasiliensis</i>)	38
Figura 12	Proceso de defoliación-refoliación de árboles de caucho (<i>H. brasiliensis</i>)	39
Figura 13	Calendario fenológico, defoliación, refoliación y fases reproductivas del caucho (<i>H. brasiliensis</i>), en la subregión del Bajo Cauca y el sur de Córdoba	40
Figura 14	Frecuencia de la presencia de clones en el Bajo Cauca de Antioquia y en el sur de Córdoba	46
Figura 15	Frecuencia de la presencia de clones en el sur de Córdoba	46
Figura 16	Frecuencia de la presencia de clones en el Bajo Cauca de Antioquia	47

Figura 17	Injertación	49
Figura 18	Aptitud biofísica para el cultivo de caucho natural en el Bajo Cauca antioqueño y en el sur de Córdoba	60
Figura 19	Zonas de escape al SALB para el cultivo de caucho natural en el Bajo Cauca antioqueño y en el sur de Córdoba	62
Figura 20	Descripción del perfil modal de suelo de la finca La Fortuna, en Planeta Rica, Córdoba	65
Figura 21	Ahoyado y aplicación de enmiendas para la siembra de injertos de caucho en sitio definitivo	68
Figura 22	Sistemas de trazado para el cultivo de caucho en el departamento de Antioquia, Colombia	85
Figura 23	Arreglos espaciales de los sistemas de siembra para el establecimiento del cultivo de caucho en el Bajo Cauca antioqueño	87
Figura 24	Sistemas de trazado en surco sencillo para el establecimiento del cultivo de caucho	88
Figura 25	Sistemas de trazado en surco doble para el establecimiento del cultivo de caucho en el departamento de Antioquia, Colombia	88
Figura 26	Sistemas de trazado en rectángulo para el establecimiento del cultivo de caucho en el departamento de Antioquia, Colombia	89
Figura 27	Diseño modelo agroforestal caucho-maíz para el departamento de Antioquia, Colombia	91
Figura 28	Diseño modelo agroforestal caucho-frijol para el departamento de Antioquia, Colombia	92
Figura 29	Diseño modelo agroforestal para el departamento de Antioquia, Colombia	93
Figura 30	Diseño modelo agroforestal caucho-maracuyá para el departamento de Antioquia, Colombia	94
Figura 31	Diseño modelo agroforestal caucho-pasto de corte para el departamento de Antioquia, Colombia	95
Figura 32	Patrón del crecimiento del árbol de caucho	98
Figura 33	Poda de brotes laterales en los momentos 1 y 2 del desarrollo de la planta de caucho	101

Figura 34	Poda de brotes laterales en el momento 2 del desarrollo de la planta de caucho	102
Figura 35	Poda de brotes laterales en los momentos 3, 4 y 5 del desarrollo de la planta de caucho	103
Figura 36	Representación del despunte de hojas	105
Figura 37	Representación del anillado	106
Figura 38	Representación del confinamiento del ápice (cobertura)	108
Figura 39	Daño causado por el viento debido a la formación de una copa frágil	109
Figura 40	Representación gráfica del libre crecimiento	111
Figura 41	Etapas del cultivo de caucho que requieren atención para el manejo de la vegetación arvense	112
Figura 42	Plateo a un metro de distancia del árbol de caucho	116
Figura 43	Uso de coberturas para el manejo de plantas arvenses en el cultivo de caucho	117
Figura 44	Ciclo de vida de <i>E. ello</i> (Lepidoptera: Sphingidae)	120
Figura 45	Formas de monitoreo del gusano cachón <i>E. ello</i>	122
Figura 46	Chinche de encaje <i>Leptopharsa heveae</i>	126
Figura 47	Daño en las hojas de caucho causado por la succión de adultos y ninfas de la chinche de encaje <i>Leptopharsa heveae</i>	127
Figura 48	Adulto del ácaro <i>Tenuipalpus heveae</i> .	134
Figura 49	Adulto de la termita <i>Heterotermes tenuis</i>	138
Figura 50	Adulto de la hormiga <i>Atta cephalotes</i>	140
Figura 51	Larva del gusano peludo <i>Premolis semirufa</i>	143
Figura 52	Síntomas del mal suramericano de las hojas en árboles de caucho	146
Figura 53	Síntomas de antracnosis en hojas de árboles de caucho	150
Figura 54	Signos de infección por mustia hilachosa (<i>Thanatephorus cucumeris</i>) en vivero de caucho	152
Figura 55	Síntomas del mal suramericano de las hojas (<i>Pseudocercospora ulei</i> [Henn.]). Folios afectados en estado temprano de desarrollo	154

Figura 56	Síntomas del mal suramericano de las hojas (<i>Pseudocercospora ulei</i> [Henn.]). Foliolos en estado adulto afectados	155
Figura 57	Síntomas de mancha aerolada	159
Figura 58	Escaldado de la tapa del injerto en plantas de caucho con signos de infección por <i>Lasiodiplodia theobromae</i>	161
Figura 59	Estructura molecular del cis-1,4-poliisopreno indicando sus grupos terminales tipo α y ω	165
Figura 60	Propuesta de una partícula de látex de caucho natural y su manera de distribuirse los fosfolípidos (terminaciones rosadas), las proteínas (verdes) y los grupos terminales α (terminaciones cafés) y ω (terminaciones amarillas)	167
Figura 61	Análisis térmico de látex proveniente de los clones FX 3864, IAN 710 e IAN 873	172
Figura 62	Morfología de las partículas de caucho para los clones FX 3864, IAN 710 y IAN 873, respectivamente, en las diferentes etapas fenológicas	173
Figura 63	Imágenes de AFM en modo fase de FX 3864, IAN 710 e IAN 873, respectivamente	174
Figura 64	Análisis del comportamiento del flujo del látex proveniente de los clones FX 3864, IAN 710 e IAN 873, respectivamente, mediante la curva viscosidad vs. velocidad de cizalla	175
Figura 65	Estructura de la cadena productiva de caucho natural y su industria	180
Figura 66	Caucho. Importaciones 2007-2021 en miles de dólares CIF	186
Figura 67	Exportaciones de caucho y sus manufacturas, 2008-2020 en miles de dólares FOB	187
Figura 68	Balanza comercial del caucho y sus manufacturas, 2008-2020	189
Figura 69	Participación de organizaciones en la revisión de la agenda de I+D+i de la Cadena de Caucho Natural y su Industria	196
Figura 70	Número de demandas por área temática y departamento	197

Lista de tablas

Tabla 1	Plantaciones de caucho, lotes y área establecida (ha) de caucho por municipios	24
Tabla 2	Distribución por rangos de tamaño en hectáreas de las plantaciones por departamento	25
Tabla 3	Distribución de las unidades de paisaje por municipios en área (ha) y porcentaje (%) y número de lotes con caucho identificados por unidad de paisaje	32
Tabla 4	Requisitos para la importación de material vegetal	51
Tabla 5	Requerimientos climáticos y edáficos	55
Tabla 6	Criterios y variables biofísicas	57
Tabla 7	Aptitud biofísica para el cultivo de caucho natural en el Bajo Cauca antioqueño y en el sur de Córdoba	59
Tabla 8	Requerimientos climáticos para zonas de escape al SALB	61
Tabla 9	Descripción del perfil de suelo, finca La Fortuna, en Planeta Rica, Córdoba	66
Tabla 10	Rangos de disponibilidad de nutrientes para interpretación de análisis de suelos para el cultivo de caucho natural	73
Tabla 11	Cantidad (kg/ha/año) de N, P, K, CA y Mg acumulada en la biomasa del caucho	74
Tabla 12	Niveles de referencia de concentración de N, P, K y Mg en hojas de árboles de caucho	75
Tabla 13	Plan de fertilización para una plantación de caucho de una hectárea desde el primer año después de la siembra	77
Tabla 14	Síntomas de deficiencias nutricionales	78
Tabla 15	Sistemas de siembra y densidades de plantas por hectárea para el establecimiento del cultivo de caucho en el Bajo Cauca antioqueño	86

Tabla 16	Distancia y densidad de siembra para el modelo agroforestal caucho-maíz	91
Tabla 17	Distancia y densidad de siembra para el modelo agroforestal caucho-frijol Caupí o frijol común	92
Tabla 18	Distancia y densidad de siembra para el modelo agroforestal caucho-piña o arroz	93
Tabla 19	Distancia y densidad de siembra para el modelo agroforestal caucho-maracuyá	94
Tabla 20	Distancia y densidad de siembra para el modelo agroforestal caucho-pasto de corte	95
Tabla 21	Niveles de población de <i>E. ello</i> y umbrales de acción	123
Tabla 22	Niveles de población de <i>Leptopharsa heveae</i> en plantaciones de caucho	130
Tabla 23	Especies de ácaros prevalentes en algunas zonas del país	133
Tabla 24	Áreas y producción de caucho natural a nivel global	146
Tabla 25	Diferencias en el peso molecular con diversos marcadores de alelos del clon FX 3864 original con los del popularizado en Colombia	149
Tabla 26	Enfermedades de plántulas causadas por hongos patógenos en semilla	153
Tabla 27	Fungicidas para el control químico de enfermedades en viveros y en jardín clonal	157
Tabla 28	Incidencia relativa de patógenos foliares del caucho, observados en las principales regiones de cultivo del Estado de São Paulo, Brasil (SP), Orinoquia, Amazonia, Antioquia y Córdoba	160
Tabla 29	Principales clones de caucho natural propagados en Colombia	169
Tabla 30	Partidas arancelarias registradas en importaciones	186
Tabla 31	Partidas arancelarias registradas en exportaciones	188
Tabla 32	Balanza comercial	189
Tabla 33	Área nacional establecida en caucho a 2019	190
Tabla 34	Costos de establecimiento, mantenimiento y preparación para aprovechamiento por hectárea	191
Tabla 35	Incentivo CIF para plantaciones nuevas de caucho por hectárea	192

Tabla 36	Condiciones financieras de LEC	193
Tabla 37	Condiciones para descuento	194
Tabla 38	Condiciones financieras si se cumplen las condiciones del descuento	194
Tabla 39	Precios nacionales (en cop), 2008-2018	194
Tabla 40	Generación de empleo	195
Tabla 41	Criterios de priorización definidos por el Consejo Nacional de la Cadena	195

Los autores

Albert Julesmar Gutiérrez Vanegas

Correo electrónico: agutierrez@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3700-7321>

Ingeniero agrícola de la Universidad Nacional de Colombia y magíster en Agroforestería Tropical de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA). Actualmente está vinculado como investigador máster a la Red de Innovación de Cultivos Permanentes de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Ha participado en la elaboración y posterior ejecución de proyectos de investigación que buscan la evaluación de tierras para la definición de áreas óptimas, para el emprendimiento de proyectos productivos forestales y de caucho, la valoración de servicios ambientales y la caracterización y tipificación de sistemas de producción.

Diana Elisa Correa Pinilla

Correo electrónico: dcorrea@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2334-3941>

Ecóloga de la Pontificia Universidad Javeriana, especialista en Sistemas de Información Geográfica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y magíster en Science Geographical Information Science & Systems-MSc (GISc) de la Universität Salzburg, Austria. Actualmente se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en la Red de Innovación de Cultivos Permanentes de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Ha participado en proyectos de investigación relacionados con los sistemas productivos de caucho y forestales, en las áreas de sistemas de información geográfica y modelamiento espacial, sensoramiento remoto, caracterización y tipificación de sistemas de producción y valoración de servicios ecosistémicos.

Juliana Andrea Gómez Valderrama

Correo electrónico: jagomez@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3963-1363>

Microbióloga industrial de la Pontificia Universidad Javeriana y doctora en Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente se desempeña como investigadora PhD asociada de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en el Centro de Investigación Tibaitatá, en la Red de Innovación de Cultivos Permanentes, y hace parte del grupo de Control Biológico de Plagas Agrícolas del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. Su trabajo se encuentra enmarcado en la búsqueda, el aislamiento y la caracterización de microorganismos con interés en control biológico de insectos plaga y en el desarrollo de bioproductos con base en hongos y virus entomopatógenos.

Gina Marcela Amado Saavedra

Correo electrónico: gamado@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9200-912X>

Ingeniera forestal y especialista en Sistemas de Información Geográfica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y magíster en Geografía de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Actualmente está vinculada como investigadora máster a la Red de Innovación de Cultivos Permanentes de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Tiene experiencia en zonificación productiva, planificación territorial y gestión de la innovación, y ha participado en la estructuración y ejecución de proyectos de investigación en especies forestales nativas e introducidas, sistemas silvopastoriles y agroforestales de trópico alto y colinas bajas; asimismo, ha liderado procesos de gestión de conocimiento y vinculación tecnológica.

Judith Martínez Atencia

Correo electrónico: jcmartinez@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0492-2486>

Ingeniera agrícola con maestría y doctorado en Ciencias Agrarias, con énfasis en conservación de suelos, nutrición de plantas y agroforestería de la Universidad Nacional de Colombia. Ha liderado proyectos de investigación sobre manejo y conservación de suelos y estimación de indicadores de servicios ecosistémicos en sistemas silvopastoriles, forestales, agroforestales y agrícolas. Actualmente, es investigadora PhD adscrita a la Red de Cultivos Permanentes del Centro de Investigación Turipaná de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Mónica Lucía Álvarez-Láinez

Correo electrónico: malvar26@eafit.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4031-9089>

Ingeniera química de la Universidad Nacional de Colombia y doctora en Física de Materiales (énfasis Polímeros) de la Universidad de Valladolid, España. Actualmente es profesora titular del Departamento de Ingeniería de Diseño de Producto, de la Escuela de Administración, Finanzas e Instituto Tecnológico de la Universidad Eafit, y miembro del Grupo en Investigación en Ingeniería de Diseño (GRID). Ha sido invitada a presentar diferentes ponencias en el país y desarrollado proyectos de investigación con el apoyo de Colciencias y empresas de la región. De igual manera, interactúa con diferentes grupos de investigaciones nacionales e internacionales.

Oscar de Jesús Córdoba Gaona

Correo electrónico: ojcordobag@unal.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2642-4146>

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia, magíster en Fitotecnia - Manejo de Plantas Arvenses de la Universidad Federal de Lavras (Brasil) y doctor en Ciencias Agrarias - Área Fisiología de la Producción Vegetal de la Universidad Nacional de Colombia. Es profesor asistente del Departamento de Ciencias Agronómicas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, y tiene experiencia en ecofisiología de la fotosíntesis, fisiología del estrés abiótico, herbicidología y manejo de plantas arvenses.

Anibal Leonidas Tapiero Ortiz

Correo electrónico: atapiero@unal.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6764-7552>

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia, magíster en Fitopatología (M. Phil.) de la Universidad de Londres (Imperial College) y doctor (PhD) de la Universidad de Purdue, Estados Unidos. Estuvo vinculado como investigador PhD a la Red de Innovación de Cultivos Permanentes de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Actualmente es consultor independiente en fitopatología y ciencias afines. Ha participado en la elaboración y posterior ejecución de proyectos de investigación en arroz, cacao, caucho, plátano y soya, orientados a la evaluación de áreas con vocación agrícola para la definición de programas de manejo fitosanitario y mejoramiento genético de especies productivas; esto, a partir de la epidemiología clásica y molecular en el contexto de la biología de poblaciones y la ecología del paisaje. También ha acompañado proyectos productivos de especies permanentes (*Plant Disease Epidemiology and Phytosanitary management of the para rubber tree [Hevea brasiliensis] clones in Colombia*) y transitorias, así como de valoración de la oferta ambiental para el desarrollo de proyectos productivos en la Orinoquia colombiana (*Farm level ecological impact analyses to encompass a macro-economic policy from a landscape perspective*).

Danilo Augusto Monsalve García

Correo electrónico: dmonsalveg@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2710-6302>

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia y magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en Genética y Mejoramiento Vegetal de la misma universidad. Se desempeña como investigador máster en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) en proyectos relacionados con las especies caucho, cacao y aguacate, principalmente con la identificación, selección y evaluación de genotipos superiores de caucho y cacao.

Juan Pablo Gil Restrepo

Correo electrónico: jpgilr@unal.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4666-7356>

Ingeniero agrónomo y magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en Fisiología de Plantaciones Tropicales y Manejo de Suelos. Tiene experiencia laboral en docencia (monitor de posgrado), en la asignatura Ciencias del Suelo en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Ha investigado en el manejo de suelos y la fenología de cultivos de cacao en el proyecto “Determinación de requerimientos nutricionales para la apropiada fertilización del cacaotero”, ejecutado por la Universidad Nacional de Colombia y financiado por el Sistema General de Regalías, así como en la caracterización de sistemas agroforestales con cacao, dinámica del Cd en cultivos de cacao, diagnóstico látex y estimulación de cultivos de caucho. Se desempeñó como profesional de apoyo en el Centro de Investigación El Nus de AGROSAVIA y tiene conocimientos en diseño experimental y análisis estadístico de datos con el uso de R Project.



Presentación

El área cultivada con caucho (*Hevea brasiliensis* [Willd. ex A. Juss. Müll. Arg]) en Colombia alcanzó las 55.660 ha en 2014 (Gutiérrez-Vanegas et al., 2017), las cuales están distribuidas por núcleos ubicados en 17 departamentos. La mayor concentración de área está en el departamento del Meta, con 19.849 ha, que representan 35,7% del total; le siguen los departamentos de Santander (15,7%), Vichada (15,3%), Caquetá (10,4%), Antioquia (7,6%) y Córdoba (4,8%). Estas 55.660 ha están conformadas por 6.127 plantaciones en predios de diferente extensión y asociados a personas naturales o empresas; el 32% de estas plantaciones se encuentran en la Orinoquía (Meta, Vichada), 20,5% en Santander, 19,8% en Caquetá, 14,8% en Antioquia y 12,6% en Córdoba.

En el núcleo denominado “Cinturón cacaotero-cauchero de Antioquia-Córdoba”, hay 6.051 ha sembradas, distribuidas en 1.498 predios que están ubicados en siete municipios de Antioquia y tres de Córdoba; sin embargo, la zona cuenta con 1.726.137 ha en Antioquia y 1.259.144 ha en Córdoba, con aptitud edafoclimática para la producción de caucho natural (Flórez et al., 2018). El manejo del área sembrada, además de la prospectiva que se vaya a intervenir, debe contar con elementos que permitan usar los recursos naturales de forma eficiente. A partir de las características identificadas para este núcleo, en este libro se presenta información sobre cada uno de los elementos, factores y tecnologías adaptados a la producción sostenible del sistema productivo del caucho, los cuales han sido generados a partir del análisis de las condiciones del sistema, con base en la experticia técnica o agronómica. Con su aplicación se mejoraría sustancialmente la productividad y competitividad del cultivo en general, con énfasis en las condiciones del núcleo cauchero localizado en predios de Antioquia y Córdoba.

Este texto está organizado en once capítulos que abarcan temáticas específicas, con el propósito de que el productor cuente con información suficiente para mejorar la sostenibilidad de su predio. Se incluyen análisis de las condiciones del entorno de la zona objetivo, características fenológicas de la especie, sistemas de propagación y manejo en vivero, requerimientos edafoclimáticos, sistemas de siembra, prácticas culturales, manejo integrado de plagas y enfermedades, características del látex y particularidades de la cadena productiva del caucho en la zona de estudio.



Capítulo I.

Área geográfica y entorno ambiental

Albert Julesmar Gutiérrez Vanegas
Diana Elisa Correa Pinilla

Área geográfica

De acuerdo con los datos reportados por el Censo Nacional Cauchero (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica] & Confederación Cauchera Colombiana [ccc], 2014), en 2014, Colombia registraba 55.660 ha establecidas en caucho natural, concentradas en 17 de los 32 departamentos. Dadas las características ambientales y la distribución geográfica, estos departamentos son agrupados en cinco núcleos productivos: 1) cordón cauchero cacaotero, que está localizado al norte del país y agrupa plantaciones en los departamentos de Antioquia y Córdoba; 2) Magdalena Medio santandereano, que tiene plantaciones en Santander, Norte de Santander y sur de Bolívar; 3) zona marginal cafetera, la cual cuenta con plantaciones en los departamentos de Caldas, Cundinamarca y Tolima; 4) Orinoquia, que reúne plantaciones en los departamentos de Casanare, Meta y Vichada, y 5) Amazonia, que agrupa plantaciones en los departamentos de Caquetá, Guaviare y Putumayo (figura 1). El núcleo productivo de Antioquia y Córdoba ocupa el cuarto puesto a nivel nacional en área sembrada, con el 12,5%, que equivale a 6.932 ha, y lo superan en área establecida los núcleos de la Orinoquia con 28.885 ha (51,9%); Magdalena Medio, con 9.325 ha (16,8%), y el núcleo de la Amazonia, con 7.612 ha (13,7%)

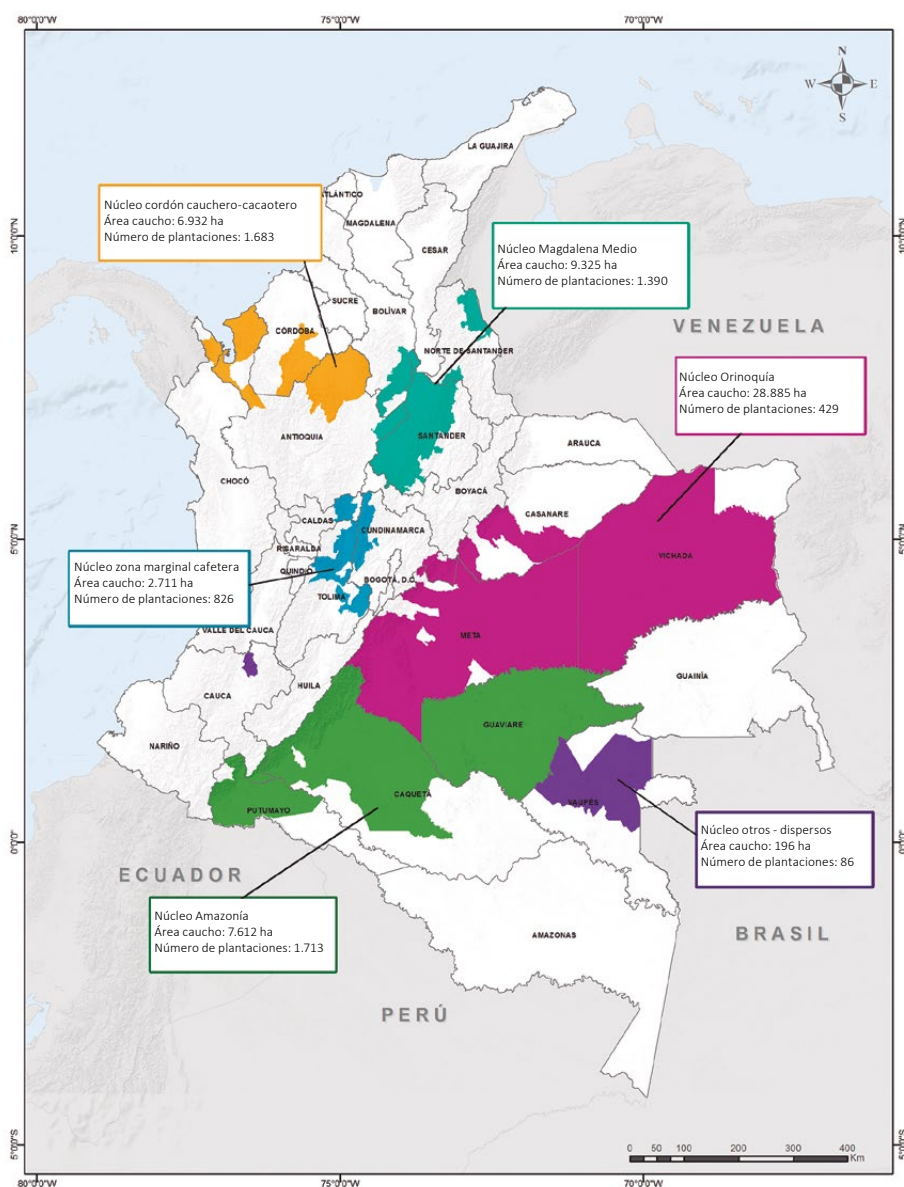


Figura 1.

Núcleos productivos de caucho.

Fuente: Elaboración propia

En el núcleo productivo de Antioquia y Córdoba se encuentra establecido el 27,4% del total de las plantaciones de caucho natural (*H. brasiliensis*) del país, de la cuales 187 están en la subregión del Urabá, 722 en la subregión del Bajo Cauca y 774 en el sur del departamento de Córdoba (Corpoica & ccc, 2014).

La subregión antioqueña del Bajo Cauca y el sur de Córdoba, también conocido como el cordón cauchero cacaotero, agrupa los municipios de Cáceres, Cauca, El Bagre, Nechí, Tarazá, Valdivia y Zaragoza en el nordeste del departamento de Antioquia y los municipios de Montelíbano, Puerto Libertador y San José de Uré, al sur del departamento de Córdoba (figura 2). Geográficamente se encuentra localizada entre las coordenadas 07° 02' 59.2" y 08° 12' 7.4" de latitud Norte y -76° 03' 27.3" y -74° 28' 29.5" de longitud Oeste, y cubre una extensión de aproximadamente 12.408,7 km². En esta región, las principales actividades económicas corresponden a la ganadería extensiva y a la explotación minera, pero hay actividades completarias de agricultura de subsistencia, pesca y comercio (Arango Cuartas et al., 2000).

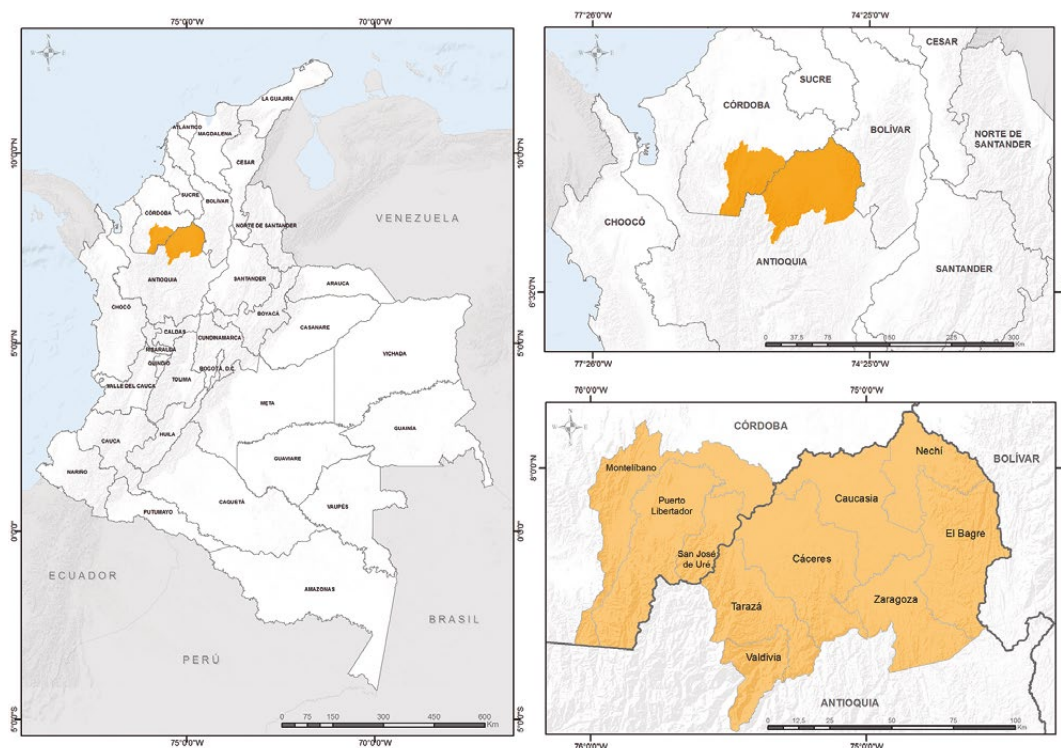


Figura 2.

Localización geográfica de los municipios productores de caucho (*H. brasiliensis*) del Bajo Cauca antioqueño y del sur de Córdoba.

Fuente: Elaboración propia

El cultivo de caucho natural en la subregión del Bajo Cauca y del sur de Córdoba se ha consolidado como una alternativa productiva, a través del fomento al establecimiento de nuevas áreas asociadas a la sustitución de cultivos de uso ilícito, y la capacitación y el fortalecimiento de los diferentes actores de la cadena, a partir de la financiación de programas y proyectos por parte de entidades gubernamentales y de cooperación internacional, por ejemplo, la Fundación Panamericana para el Desarrollo (FUDAP), la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), la International Relief and Development (IRD) y la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC). Una evidencia de este proceso de consolidación durante los últimos 20 años se presenta en el incremento de las áreas establecidas entre 2000 y 2014; para 2000, se reportaron 683,7 ha en los municipios del Bajo Cauca en Antioquia y 3,5 ha en el municipio de Montelíbano en Córdoba (Acuerdo Regional de Competitividad), y para 2014 el área reportada fue de 3.358 ha en el Bajo Cauca y de 2.693 ha en el sur de Córdoba, siendo Tarazá, San José de Uré, Montelíbano y Puerto Libertador los municipios con más área establecida (tabla 1).

Tabla 1. Plantaciones de caucho, lotes y área establecida (ha) de caucho por municipios

Departamento	Municipio	Plantaciones		Lotes		Área	
		N.º	(%)	N.º	(%)	(ha)	(%)
Antioquia	Cáceres	67	9,3	88	10,1	483	14,4
	Caucasia	23	3,2	30	3,4	448	13,3
	El Bagre	198	27,4	214	24,5	330	9,8
	Nechí	94	13,0	100	11,5	439	13,1
	Tarazá	260	36,0	332	38,0	1.302	38,8
	Valdivia	5	0,7	5	0,6	5	0,1
	Zaragoza	75	10,4	104	11,9	351	10,5
Córdoba	Montelíbano	330	42,6	360	42,3	992	36,8
	Puerto Libertador	234	30,2	256	30,1	670	24,9
	San José de Uré	210	27,1	235	27,6	1.031	38,3
Total	10	1.496		1.724		6.051	

Fuente: Corpoica & ccc (2014)

Debido a que la explotación del caucho natural en la subregión es una actividad complementaria a las principales actividades productivas, sus plantaciones se caracterizan por ser de pequeños productores; de estas plantaciones, 1.410 (94,5 %) tienen áreas entre 0,1 y 10 ha, y agrupan 3.805 ha, 80 (5,3%) cuentan con áreas entre 10,0 y 50 ha, y solo dos plantaciones (0,06%), de los municipios de Nechí y Tarazá, tienen más de 50 ha (tabla 2).

Tabla 2. Distribución por rangos de tamaño en hectáreas de las plantaciones por departamento

Departamento	Municipio	De 0 a 10 (ha)		De 10 a 50 (ha)		Más de 50 (ha)	
		N.º de plantaciones	%	N.º de plantaciones	%	N.º de plantaciones	%
Antioquia	Cáceres	59	3,9	8	0,53		0,00
	Caucasia	14	0,9	9	0,60		0,00
	El Bagre	196	13,1	2	0,13		0,00
	Nechí	92	6,1	1	0,07	1	0,03
	Tarazá	240	16,0	20	1,34	1	0,03
	Valdivia	5	0,3	0	0,00		0,00
	Zaragoza	70	4,7	5	0,33		0,00
Córdoba	Montelíbano	319	21,3	11	0,73		0,00
	Puerto Libertador	233	15,6	2	0,13		0,00
	San José de Uré	188	12,6	22	1,47		0,00

Fuente: Corpoica & ccc (2014)

Entorno ambiental

De acuerdo con la amplia distribución de las plantaciones de caucho natural en la subregión del Bajo Cauca y en el sur de Córdoba, se observa que estas se ubican en zonas con diferentes características climáticas y biofísicas, definidas por condiciones de altitud (m s. n. m.), precipitación (mm), temperatura mínima (°C), temperatura media (°C) y temperatura máxima (°C).

Altitud

En la subregión del Bajo Cauca y en el sur de Córdoba, se presentan altitudes entre los 0 m s. n. m. en las zonas planas de las planicies y valles de los ríos San Jorge, Cauca, Cáceri, Man y Nechí, y sus principales afluentes, y los 2.700 m s. n. m. al sur del área de estudio, en las estribaciones de las serranías de San Jerónimo, Ayapel y San Lucas. A pesar del amplio rango altitudinal que hay en la zona de estudio, el 97 % de las plantaciones de caucho natural (1.436) se localizan entre los 0 y 500 m s. n. m., el 2,8% (42 plantaciones) en altitudes entre los 500 y 1.000 m s. n. m. y solo el 0,1%, que corresponde a dos plantaciones en el municipio de Puerto Libertador, se encuentran establecidas por encima de los 1.000 m s. n. m. (figura 3).

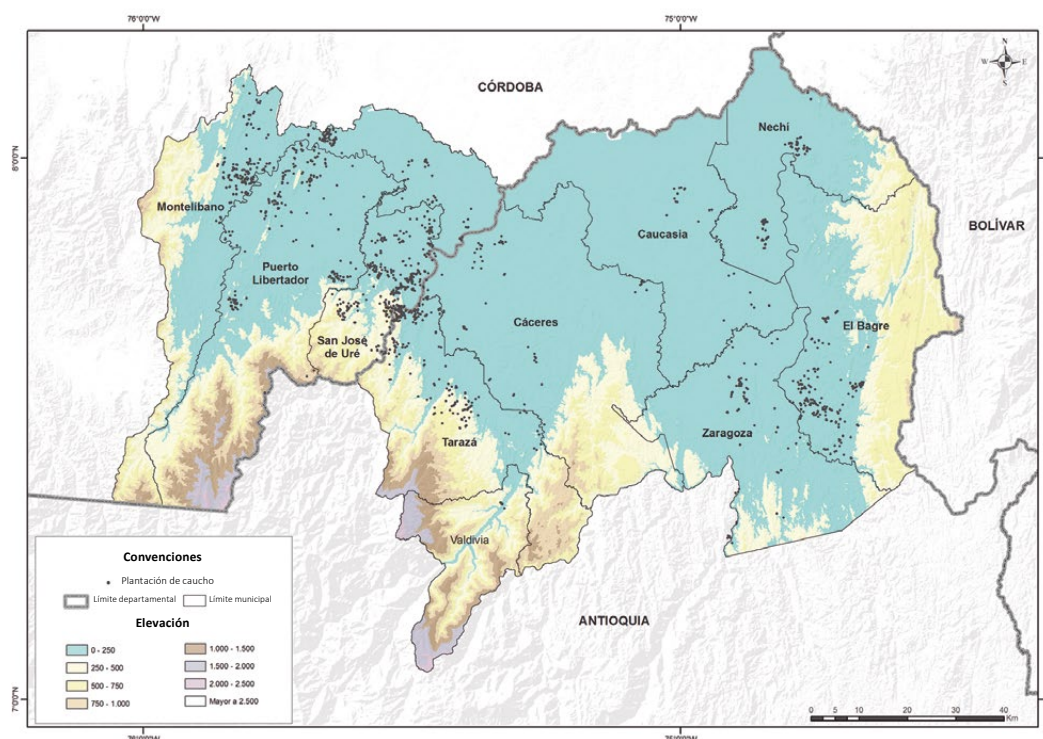


Figura 3.

Distribución altitudinal (m s. n. m) de las plantaciones de caucho en la región objetivo.

Fuente: Elaboración propia

Temperatura

La distribución espacial de la temperatura en la subregión del Bajo Cauca y en el sur de Córdoba, al igual que en el resto del país, está influenciada por la fisiografía y los factores adicionales como la altitud, la exposición de la vertiente y el régimen de precipitación (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam], 2017). La mayor parte del área registra temperaturas medias entre los 26 y 28 °C, y disminuye gradualmente hasta llegar a temperaturas medias entre 12 y 16 °C al sur del área de estudio, en las zonas altas de las serranías de San Jerónimo, Ayapel y San Lucas, de los municipios de Puerto Libertador, Tarazá y Valdivia (figura 4). El 89,3% de las plantaciones (1.322) se encuentra en áreas bajas donde las temperaturas medias oscilan en el rango de 26 a 28 °C, y el 10,5% de las plantaciones (156) están en zonas de los municipios de Tarazá, San José de Uré, Montelíbano y Puerto Libertador, donde la temperatura media varía entre los 24 y 26 °C.

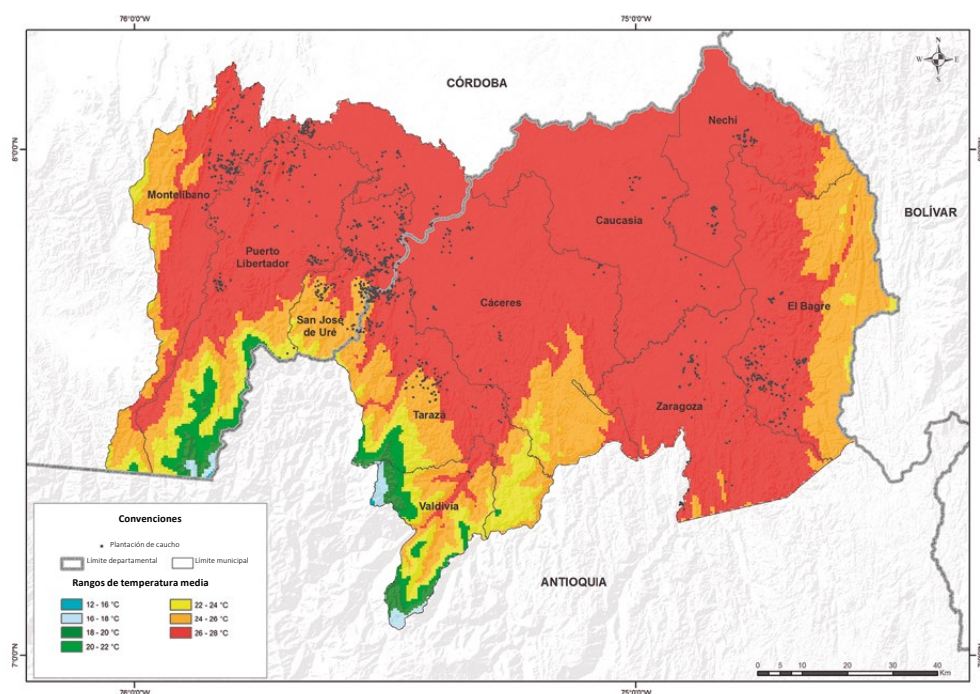


Figura 4.

Temperatura (°C) media multianual en las zonas productoras de *H. brasiliensis* del Bajo Cauca antioqueño y del sur de Córdoba.

Fuente: Elaboración propia

Precipitación

La distribución espacial media anual de precipitación en la subregión del Bajo Cauca y del sur de Córdoba varía entre 1.500 y más de 4.000 mm/año (figura 5). Las menores precipitaciones se presentan al norte del municipio de Montelíbano, donde varían entre los 1.500 y 2.000 mm/año; seguidas por una franja entre los 2.000 y 4.000 mm/año, en los municipios de Montelíbano, Puerto Libertador, San José de Uré y las zona norte de Tarazá, Cáceres, Caucasia y Nechí. Finalmente, las precipitaciones anuales mayores a los 4.000 mm/año, se dan en la zona sur de la subregión, y abarcan los municipios de Valdivia, Tarazá, Cáceres, Zaragoza, Caucasia, El Bagra y Nechí.

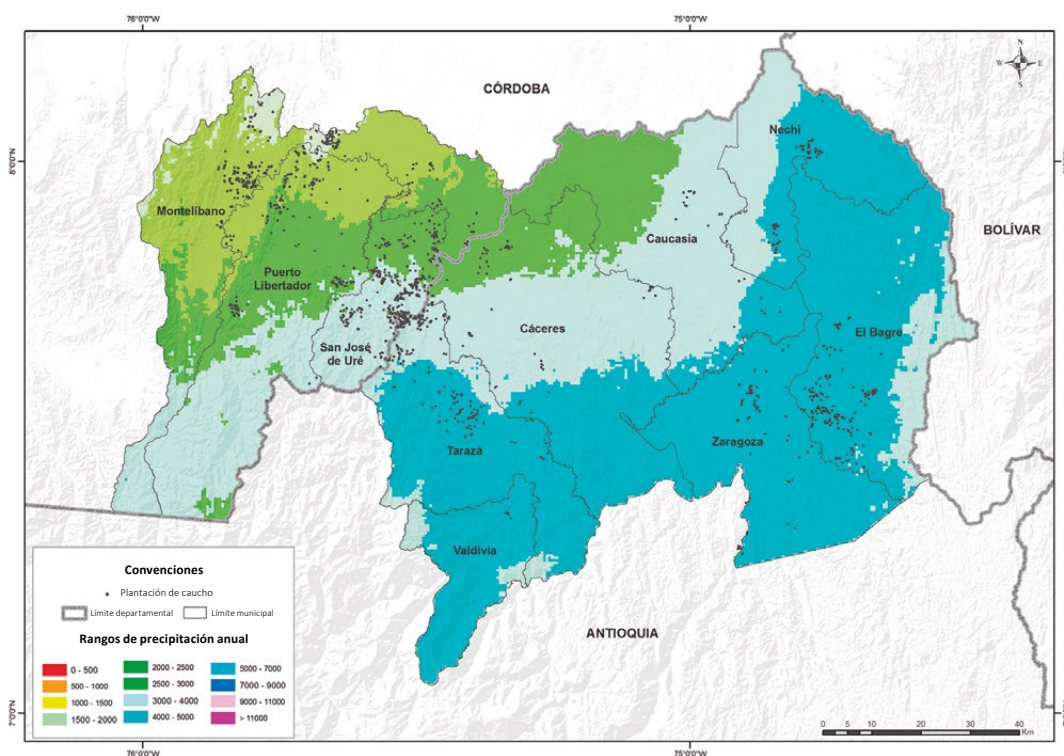


Figura 5.

Precipitación media multianual en las zonas productoras de *H. brasiliensis* del Bajo Cauca antioqueño y del sur de Córdoba.

Fuente: Elaboración propia

El 64,9%, que equivale a 960 plantaciones de caucho natural (*H. brasiliensis*) del Bajo Cauca y de sur de Córdoba, se localiza en zonas donde las precipitaciones varían entre los 2.000 y 4.000 mm/año, y están concentradas principalmente en los municipios de Cáceres, Caucasia, Montelíbano, Puerto Libertador, San José de Uré y norte de Tarazá; seguidas por el 30,6% (450 plantaciones) en zonas cuya precipitación supera los 4.000 mm/año, en los municipios de El Bagre, Nechí, Zaragoza y zona centro de Tarazá, y el 4,4% (65 plantaciones) en la zona norte de los municipios de Montelíbano y Puerto Libertador, donde la precipitación varía entre los 1.500 y 2.000 mm/año.

La distribución de la precipitación a lo largo del año en la subregión obedece a un régimen monomodal, donde la época lluviosa se presenta entre abril y noviembre, las mayores precipitaciones se dan entre mayo y junio, y la temporada seca marcada es de diciembre a marzo (Ideam, 2017).

Paisajes

Dada la localización geográfica de la subregión del Bajo Cauca y del sur de Córdoba, donde se presenta la transición de las cordilleras Occidental y Central hacia las planicies de los ríos San Jorge, Cauca, Nechí y Man, predominan los paisajes de montaña con un 44,0 %, seguidos de lomeríos (43,2%), planicies (12,6 %) y valles (0,2 %) (tabla 3, figura 6).

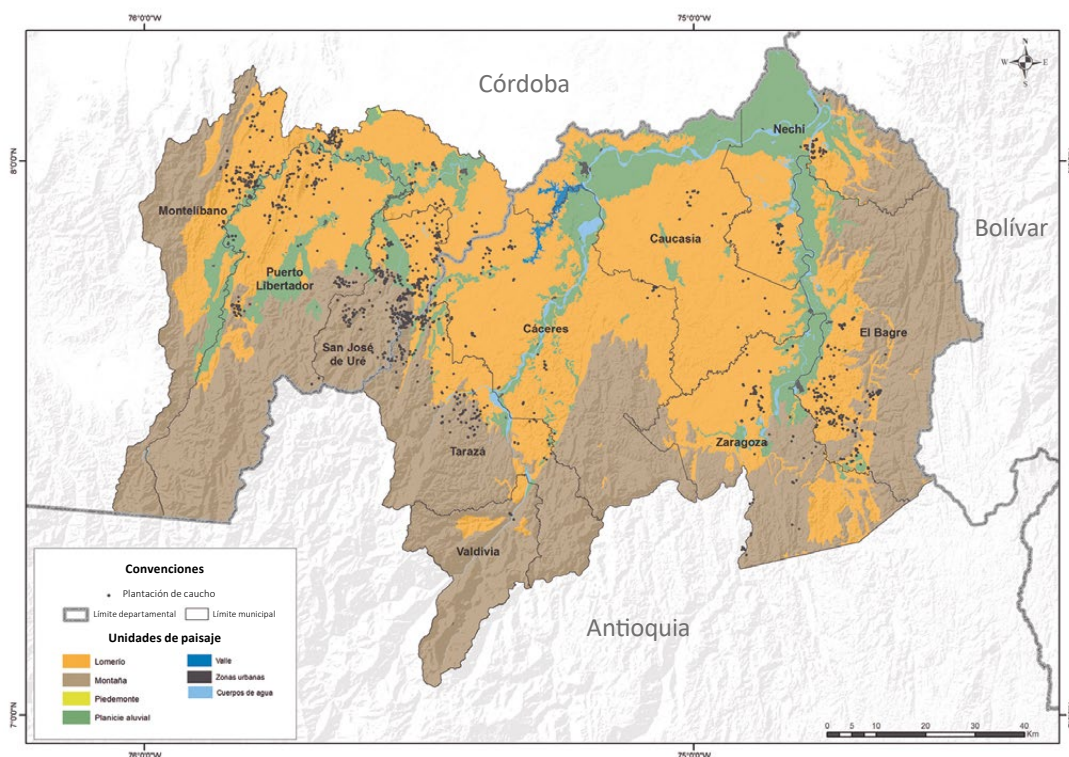


Figura 6.

Unidades de paisaje en las zonas productoras de *H. brasiliensis* del Bajo Cauca antioqueño y del sur de Córdoba.

Fuente: Elaboración propia

El paisaje de montaña comprende los complejos de las cordilleras Occidental y Central entre los 400 m s. n. m. y los 2.700 m s. n. m., y se localiza al sur de los municipios de Montelíbano y Puerto Libertador en las estribaciones de la serranía de San Jerónimo; San José de Uré, Tarazá, Cáceres, Zaragoza en las serranías de Ayapel, y al oriente de los municipios de El Bagre y Nechí en estribaciones de la serranía de San Lucas. Se caracteriza por presentar una topografía abrupta, con vertientes largas de pendientes fuertes e inclinaciones hasta del 75%, que están separadas en algunos sectores por valles con forma de V (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2009). En el interior de esta unidad de paisaje se distinguen cinco tipos de relieve, en los cuales predominan sectores de filas y vigas, espinazos, crestones y vallecitos dispersos.

El paisaje de lomeríos está conformado por una franja localizada entre los paisajes de montaña y las planicies aluviales; se caracteriza por ser un conjunto de lomas y colinas, las cuales son elevaciones del terreno que varían entre los 100 y 250 m s. n. m., con cimas amplias, redondeadas y alargadas, gradientes de pendiente que varían entre el 7% y el 25%, y una red hídrica de tipo dendrítica a subdendrítica de los principales afluentes de la región (IGAC, 2007a, 2009). Los principales tipos de relieves corresponden a lomas y colinas con un 80,3%, seguidos de los vallecitos coluvio-aluviales con un 11,5%, espinazos con el 5,8% y vallecitos con un 2,2%.

Las planicies se localizan al norte de los municipios que conforman el área de estudio, limitan con los paisajes de lomeríos y los valles de los ríos Cauca, Nechí y Cacerí en Antioquia y San Jorge en Córdoba y se caracterizan por ser zonas planas y ligeramente planas, con pendientes inferiores al 3% (IGAC, 2009). En esta clase de paisaje se distinguen tres tipos de relieve donde predominan la zona de terraza con diferentes grados de evolución (49,9%), seguida de los planos de inundación (46,5%) y los vallecitos (4%).

Según la distribución espacial de los lotes de caucho natural (*H. brasiliensis*), en la subregión del Bajo Cauca y del sur de Córdoba, el 61,1% se encuentran localizados en paisajes de lomerío, sobre los relieves de espinazos, lomas y colinas, y vallecitos; seguidos del paisaje de montaña con el 30,3%, en los relieves de crestones, espinazos, filas, vigas y vallecitos, y el 8,6% restante se ubica en los paisajes de planicie aluvial en los relieves de terrazas y planos de inundación de los ríos Cauca, Nechí, Cacerí y San Jorge. Es importante resaltar que en la unidad de valle no hay establecidas plantaciones de caucho (tabla 3).

Según la metodología de clasificación de las tierras por su capacidad de uso¹, el 66,3% de las plantaciones de caucho en el área de estudio (1.133 lotes) está ubicado en suelos con clases (VI, V y VII), cuya capacidad de uso es la de cultivos específicos semiperennes o perennes, semidensos y densos, y sistemas agroforestales y forestales. El 33,7% de las plantaciones (576 lotes) está establecido en suelos clasificados como III y IV; dichas plantaciones, aunque están destinadas a actividades agropecuarias, presentan diferentes grados de limitación, por lo que es necesario implementar y fortalecer las prácticas de manejo y conservación de los suelos.

Tabla 3. Distribución de las unidades de paisaje por municipios en área (ha) y porcentaje (%) y número de lotes con caucho identificados por unidad de paisaje

Municipios	Lomerío			Montaña			Planicie			Valle	
	Área (ha)	Área (%)	N.º de lotes	Área (ha)	Área (%)	N.º de lotes	Área (ha)	Área (%)	N.º de lotes	Área (ha)	Área (%)
Cáceres	108.807	20,6	86	55.851	10,4	-	17.713	11,5	2	1.534	50,2
Caucasia	111.151	21,0	30	-	-	-	27.383	17,8	-	1.425	46,6
El Bagre	38.071	7,2	185	101.788	18,9	23	14.278	9,3	6	98	3,2
Montelíbano	79.730	15,1	287	55.252	10,3	43	19.073	12,4	30	-	-
Nechí	39.298	7,4	73	18.715	3,5	2	32.036	20,9	25	-	-
Puerto Libertador	57.516	10,9	160	85.359	15,8	69	21.278	13,9	27	-	-
San José de Uré	15.762	3,0	75	30.408	5,6	144	6.171	4,0	16	-	-
Tarazá	22.356	4,2	90	87.208	16,2	205	3.864	2,5	37	-	-
Valdivia	4.275	0,8	-	51.940	9,6	5	144	0,1	-	-	-
Zaragoza	51.111	9,7	68	52.221	9,7	31	11.672	7,6	5	-	-
Total	528.077	100	1054	538.742	100	522	153.612	100	148	3.057	100

Fuente: Elaboración propia

1 La clasificación de las tierras por su capacidad de uso es una interpretación basada en los efectos combinados del clima y de las características permanentes de los suelos, en cuanto a las limitaciones en su uso, capacidad de producción, riesgo de dañar el suelo y requerimientos de manejo. Esta clasificación se hace primordialmente para fines agropecuarios, y en ella se conjugan todos los aspectos que determinan el uso más indicado. Las clases de tierras son grupos de suelos que presentan el mismo grado relativo de limitaciones y riesgos; son ocho y se designan con números romanos de I a VIII. El número e intensidad de los limitantes de uso que presentan las tierras aumenta paulatinamente, de manera que al llegar a la clase VIII las tierras tienen tantas y tan severas limitaciones que no permiten actividad agropecuaria y solo se recomienda la conservación natural o la recreación (IGAC, 2014).



Capítulo II.

Descripción botánica, biología y fenología

Juan Pablo Gil Restrepo
Diana Elisa Correa Pinilla

Taxonomía, clasificación y descripción botánica

Taxonomía y clasificación

Familia: Euphorbiaceae

Género: *Hevea*

Especie: *Hevea brasiliensis* (Willd. EX A. Juss.) Müll. Arg.

Sinónimos: *Hevea brasiliensis* var. *janeirensis* (Müll. Arg.) Pax; *Hevea brasiliensis* var. *acreana* Ule; *Hevea brasiliensis* var. *angustifolia* Ule ex Huber; *Hevea brasiliensis* var. *cuneata* (Huber) Pax; *Hevea brasiliensis* var. *latifolia* Ule ex Huber; *Hevea brasiliensis* var. *randiana* (Huber) Pax; *Hevea brasiliensis* var. *stylosa* Huber; *Hevea brasiliensis* var. *subcondor* Ducke (The Plant List, 2013); *Siphonia brasiliensis* Willd. Ex A. Juss.; *Siphonia brasiliensis* Kunth; *Hevea granthamii* Barlett, *Hevea paludosa* Ule, *Hevea randiana* Huber, *Hevea sieberi* Warb (International Tropical Timber Organization [ITTO], 2020).

Nombres comunes: caucho (Colombia, América Central y el Caribe); árbol del caucho (Venezuela); capi, jeve, shiringa (Perú); seringueira, seringa, sau-chu, árvore da borracha, caucho, hule, jebe, hevea (Brasil); sibi-sibi (Guyana), mapalapa (Surinam) (ITTO, 2020).

Descripción

Los árboles de caucho miden de 20 a 30 m y presentan fuste cilíndrico y recto de 30 a 60 cm de diámetro; ocasionalmente los individuos silvestres alcanzan hasta 40 m de alto y cerca de 3 m de diámetro. Las hojas son alternas, trifoliadas; los folíolos son acuminados de 8 a 22 cm de largo por 3 a 10 cm de ancho, de elípticos a obovados; tienen ápice acuminado, base aguda, pecíolos de 9 a 38 cm de largo, glandulares en el ápice, estípulas pequeñas y deciduas (Delprete & Cortés, 2015). Según el modelo de Rauh, la arquitectura de los árboles de caucho se describe como troncos monopódicos, con un crecimiento rítmico (alternancia entre crecimiento y dormancia de yemas apicales) que desarrolla grupos de ramas con una estructura morfogenética idéntica a la del tallo. Las flores se desarrollan en yemas laterales, sin efecto alguno sobre el sistema de crecimiento (Hallé et al., 1978). El crecimiento de las ramas es de tipo ortotrópico, con hojas alternas espiraladas.

El crecimiento vegetativo ocurre por “lanzamientos” o “pisos foliares”, que consisten en una serie de estípulas separadas por entrenudos largos, seguidas por hojas trifoliadas que presentan una reducción progresiva en la longitud de sus pecíolos (figura 7). Una yema apical envuelta por estípulas marca la terminación de un “lanzamiento”. Las plantas jóvenes pueden producir alrededor de seis “pisos foliares” en un año; por lo general, la ramificación comienza después del noveno “ piso foliar” en las axilas de las hojas trifoliadas, lo que genera grupos de ramas (Hallé et al., 1978). En árboles adultos, las inflorescencias surgen en las axilas de las estípulas y de algunas hojas trifoliadas (figura 8).



Figura 7.

Piso foliar de caucho. a. Hojas trifoliadas (estado A); b. Inflorescencia en formación; c. Yema apical.

Foto: Juan Pablo Gil Restrepo



Figura 8.

Detalle de árbol adulto de *H. brasiliensis*. a. Piso foliar de caucho; b. Hojas trifoliadas.

Ilustración: Sara Isabel Bedoya Ramírez

Las inflorescencias terminales o en panículas axilares miden de 8 a 20 cm de largo, y tienen flores femeninas y masculinas separadas por 3-4 mm de largo (figura 9). Las flores son de color amarillo verdoso, con un cáliz formado por cinco sépalos, y no hay pétalos. Las flores femeninas son más grandes y se ubican en el ápice del eje central y de las ramas de la inflorescencia; además, cuentan con tres carpelos o celdas y tres estigmas cortos. Las flores masculinas son pequeñas, están a los lados de cada eje y tienen diez anteras ubicadas en una columna estaminal. Se ha reportado la existencia de clones androestériles como el GT1. La polinización es altamente dependiente de insectos (Delprete & Cortés, 2015; Priyadarshan, 2017).



Figura 9.

Inflorescencias de caucho (*H. brasiliensis*).

Los frutos son cápsulas que miden 4 cm de largo por 4 a 6 cm de ancho; son trilobulados, lisos y glabros, y están sobre pedúnculos de hasta 12 cm de largo, con tres semillas moteadas (figura 10). Las cápsulas sufren dehiscencia tras la deshidratación del endospermo, y lanzan las semillas a una distancia de hasta 15 m (Delprete & Cortés, 2015; Priyadarshan, 2017).

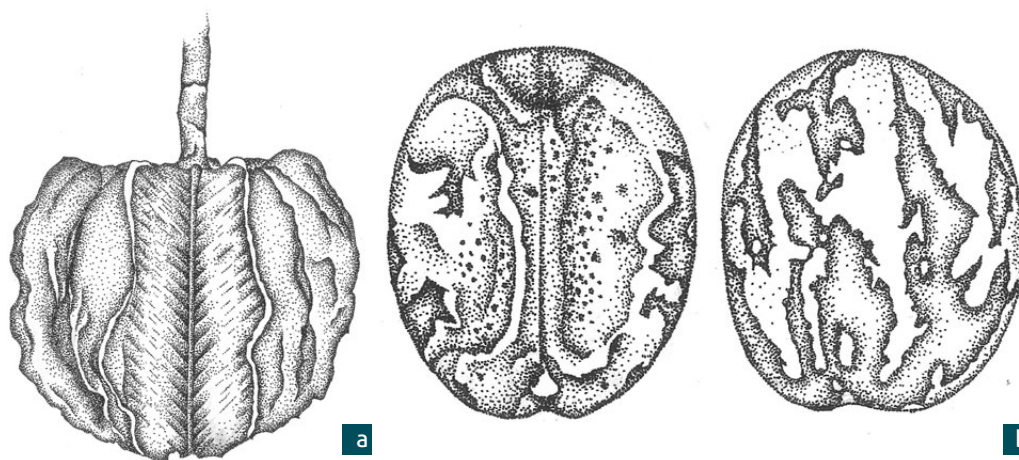


Figura 10.

Semillas de caucho (*H. brasiliensis*). a. Fruto; b. semillas.

Ilustración: Sara Isabel Bedoya Ramírez

Fenología

La fenología se define como el estudio de la estacionalidad en el desarrollo de los árboles (Borchert et al., 2015). En la mayoría de los cultivos comerciales, los estudios fenológicos se enfocan en los procesos de floración y fructificación, ya que los productos de valor comercial son de origen reproductivo. En el caso del caucho, el producto de valor comercial (látex) es de origen vegetativo; por tanto, los estudios fenológicos se centran en la estacionalidad del follaje (Quarteroli Silva et al., 2012). La fenología foliar del caucho ha despertado mucho interés por su relación con el mal suramericano de las hojas (*Pseudocercospora ulei*), considerado como la mayor limitante para la producción de caucho en el neotrópico (Da Hora et al., 2014), ya que los estados foliares A, B1, B2 y C (figura 11) (Lieberei, 2008) son los más susceptibles a esta enfermedad (Guyot & Le Guen, 2018).

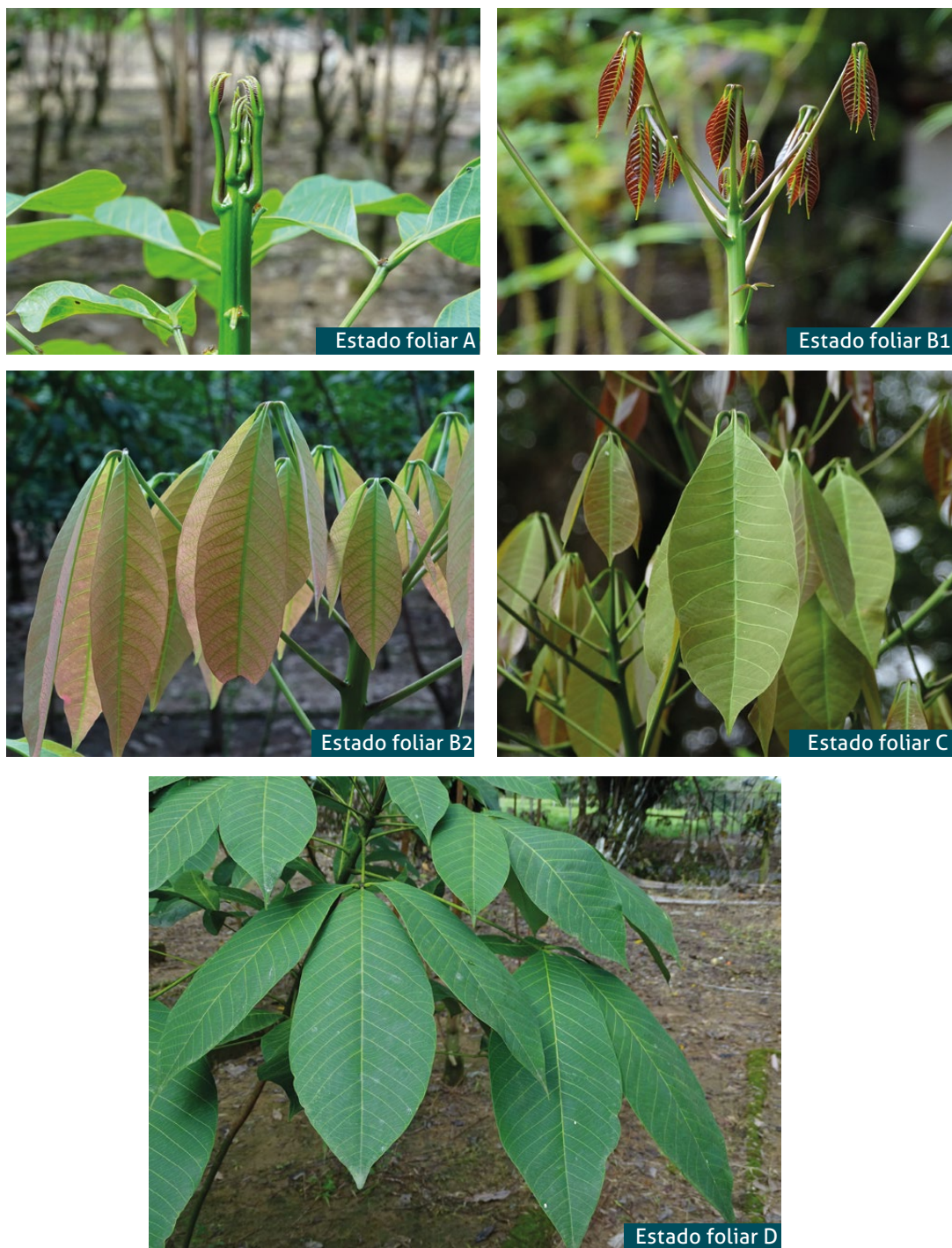


Figura 11.

Estados foliares de caucho (*H. brasiliensis*).

La fenología foliar del caucho se caracteriza por la alternancia de periodos de crecimiento y dormancia de las yemas vegetativas con una estacionalidad marcada. Los árboles adultos (>4 años) presentan un tiempo de defoliación (figura 12) durante el cual pueden permanecer sin hojas por 15 días, seguido por un periodo de refoliación (Priyadarshan, 2017). En el hemisferio norte, la defoliación-refoliación ocurre entre diciembre y marzo, mientras que en el hemisferio sur se presenta entre julio y octubre (Yeang, 2007).



Figura 12.

Proceso de defoliación-refoliación de árboles de caucho (*H. brasiliensis*).

Fotos: Diana Elisa Correa P.

El proceso de defoliación en la subregión del Bajo Cauca y en el sur de Córdoba, según Guerra-Hincapié et al. (2020), inicia hacia finales de enero y presenta su punto máximo a mediados de febrero. La refoliación ocurre entre febrero y marzo, cuando se presenta la formación de los foliolos y la transición de las hojas en estados A, B, C y D. La floración ocurre simultáneamente con la refoliación (Priyadarshan, 2017) durante febrero y marzo, comenzando con la expansión de inflorescencias cuando las hojas se encuentran en estado A, hasta la apertura de flores y antesis cuando las hojas alcanzan el estado D, y hacia finales de marzo y comienzos de abril se presenta la caída de flores. El llenado de frutos en el Bajo Cauca y en el sur de Córdoba ocurre entre abril y agosto, con la mayor caída de frutos en septiembre. Esto concuerda con lo planteado por Priyadarshan (2017), quien afirma que este proceso dura aproximadamente 140 días, periodo durante el cual se presentan las siguientes fases: 1) entre los 80-90 días se da la formación del fruto hasta alcanzar su tamaño máximo; 2) el endocarpio se vuelve leñoso aproximadamente a los 110 días; 3) la maduración del endospermo es a los 130 días, y 4) la caída del fruto ocurre cerca del día 140, cuando el contenido de humedad de la pared de la cápsula disminuye y se presenta la dehiscencia del fruto (figura 13).

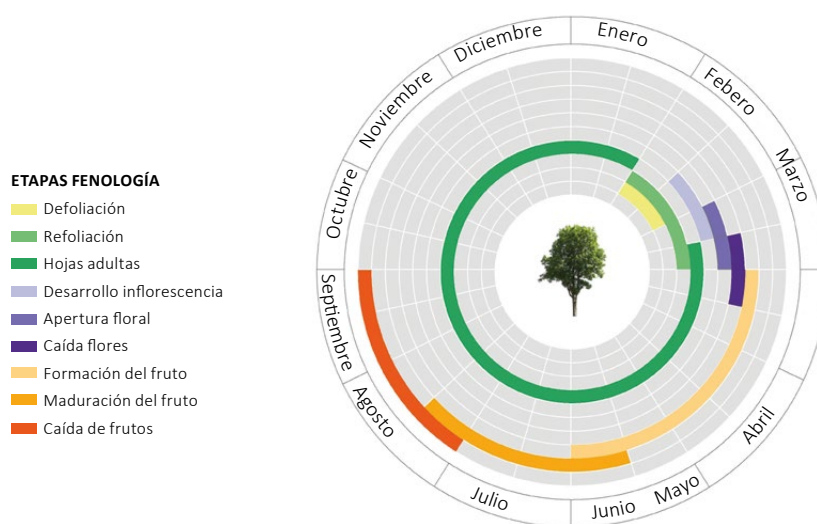


Figura 13.

Calendario fenológico, defoliación, refoliación y fases reproductivas del caucho (*H. brasiliensis*), en la subregión del Bajo Cauca y el sur de Córdoba.

Fuente: Elaboración propia

Capítulo III.

Recurso genético, propagación y manejo en vivero

Danilo Augusto Monsalve García

Recurso genético

El caucho natural (*Hevea brasiliensis*) es un recurso genético de importancia estratégica para las naciones. Los países de tradición cauchera conocen esta importancia, razón por la cual tienen programas de mejoramiento genético con una trayectoria de más de 80 años. Colombia debe incluirse de manera imperativa en esta dinámica. Es por esto que conocer el origen y la diversidad (centro de origen y diversidad) de la especie, los genotipos que ha desarrollado el mundo y los que actualmente se aprovechan en el núcleo heveícola del Bajo Cauca de Antioquia y del sur de Córdoba es importante como línea base. Esto servirá como elemento de entendimiento y de planeación prospectiva de cambio, puesto que, en la actualidad, a pesar de la cantidad de clones a nivel mundial (algunos de ellos en proceso de evaluación en Colombia), este núcleo depende, en su mayoría, de plantaciones de solo tres clones desde hace más de 40 años.

Origen y diversidad de *Hevea brasiliensis*

H. brasiliensis es una especie de la familia Euphorbiaceae, originaria de la cuenca amazónica de Suramérica y está ausente en su forma silvestre en otras partes del mundo: por lo anterior, esta región, específicamente el río Negro de la Amazonia, se considera centro de origen y diversidad de la especie e inclusive del género *Hevea* (Schultes, 1945). Sin embargo, Schultes (1945), Wycherley (1992), Sterling Cuéllar & Rodríguez León (2011) y Rodríguez Triana (2012) también reportaron una gran región poblada por las especies del género *Hevea* en la Amazonia brasileña, el oriente colombiano y peruano, el norte de Bolivia, el sur de Venezuela y las Guayanas. La familia Euphorbiaceae se puede reconocer fácilmente por sus flores pentámeras y sus ovarios tricarpelares, mientras que la característica botánica clave de

las plantas del género *Hevea* son sus hojas trifoliadas (Clement-Demange et al., 2007). Este género está conformado por diez especies: *H. brasiliensis*, *H. guianensis*, *H. benthamiana*, *H. pauciflora*, *H. spruceana*, *H. mycrophyla*, *H. rigidifolia*, *H. nítida*, *H. camporum* y *H. camargoana* (Schultes, 1970; Wycherley, 1992). La diferenciación del género se debe a cambios en la composición del bosque amazónico, que son causados por variaciones climáticas; por ejemplo, cambios en la humedad y periodos semisecos que han ocurrido durante 100.000 años, lo que ha permitido la fragmentación del género *Hevea* en unidades de bosque (Clement-Demange et al., 2007; Priyadarshan et al., 2009).

Apartir de numerosas expediciones de la colonización de América, *H. brasiliensis* fue llevada a Europa por Colón en 1493, Cortés en 1528, la Neuville en 1723, la Condamine en 1736, Fresneau en 1751 y Fusée Aublet en 1775 (Clement-Demange et al., 2007); estas coincidencias sugieren el valor potencial que representaba esta especie para los colonos europeos. Sin embargo y a pesar de su origen, existe una paradoja en cuanto a la domesticación de *H. brasiliensis*, debido a que la historia productiva de esta especie en América Latina está limitada por el ataque del hongo Ascomycete *Pseudocercospora ulei*, que causa la enfermedad denominada “mal suramericano de la hoja” (*South American Leaf Blight* [SALB]) (Clement-Demange et al., 2007; Castro Navarro, 2011; Jaimes & Rojas, 2011). Debido a esto, los mayores desarrollos en la domesticación y en el mejoramiento de este cultivo se han dado en Asia (Singapur, Malasia, Indonesia e India), a partir del transporte de semillas desde Brasil hacia los denominados “*kew gardens*” por Wickham en 1876 y la posterior transferencia de plántulas a los países asiáticos (Clement-Demange et al., 2007). No obstante, Clement-Demange et al. (2007) mencionan que en Brasil también se ha realizado mejoramiento genético de la especie con un enfoque productivo, pero con una fuerte tendencia a encontrar genotipos con resistencia al SALB, como se explicará más adelante.

Genética de *Hevea brasiliensis*

Los recursos genéticos de *H. brasiliensis*, que se utilizan para los diferentes programas de mejoramiento en el mundo, provienen de colectas realizadas en la región amazónica, donde se encuentra el sitio de origen y diversidad de esta especie, como se mencionó anteriormente (Clement-Demange

et al., 2007). Pese a esto, el pilar de variabilidad en el cual se fundamentaron los programas de mejoramiento de caucho en Asia proviene de una base genética estrecha a partir de 22 plántulas colectadas por Wickham en una zona también limitada (Clement-Demange et al., 2007; Priyadarshan et al., 2009). Sin embargo, a lo largo de los años, estos programas se han alimentado con nuevas colectas de material silvestre de la Amazonia entre 1876 y 1987, con el fin de introducir variabilidad genética a grupos ya establecidos en Asia (Clement-Demange et al., 2007). Esto en gran medida ha justificado las expediciones a la Amazonia de los investigadores que han participado en estos programas a lo largo del tiempo; incluso, a partir de estas actividades, The International Rubber Research and Development Board (IRRDB) conformó una colección con cerca de 10.000 accesiones entre plántulas, semillas y yemas, de las cuales el 37,5% y el 12,5% fueron trasladados a Malasia y Costa de Marfil, respectivamente, y el 50% restante se mantuvo en Brasil (Tan, 1978; Clement-Demange et al., 2007). Además, en 1995 The Rubber Research Institute of Malasia (RRIM) colectó un número considerable de semillas en Brasil, de las cuales fueron sembradas cerca de 50.000 plantas en Malasia (RRIM, 1997; Adifaiz et al., 2017).

Estos programas de mejoramiento han seguido diferentes enfoques de acuerdo con las necesidades y posibilidades de las regiones donde se establecen. En este sentido, en el mundo se presentan dos grandes tendencias de mejoramiento de caucho: la asiática, en algunos casos con apoyo de instituciones europeas, y la suramericana, principalmente en Brasil, con alianzas entre entes gubernamentales de ese país, instituciones de investigación internacional y la empresa privada (Clement-Demange et al., 2007; Priyadarshan et al., 2009; Rivano et al., 2012; Saha & Priyadarshan, 2012).

En Asia, los programas de mejoramiento han estado direccionados a incrementar el rendimiento del látex y del caucho seco (Clement-Demange et al., 2007; Priyadarshan et al., 2009). Por ejemplo, gracias a la selección de materiales en Asia, en los años veinte del siglo pasado, estos programas consiguieron aumentar el rendimiento de plantaciones de caucho seco de 650 kg/ha a 1.600 kg/ha, y después de 70 años más de mejoramiento han conseguido llegar a los 2.500 kg/ha, con el desarrollo de materiales de las series PB, RRIM (Malasia), RRIL (India), RRIC (Sri Lanka), IRCA (Costa de Marfil),

BPM (Tailandia) y RRIV (Vietnam), donde se destacan los clones RRIM 501, RRIM 600, RRIM 712, PB 260, PB 217, RRII 105, RRIC 100, IRCA 18, IRCA 230, IRCA 331 y BPM 24 (Priyadarshan et al., 2009; Saha & Priyadarshan, 2012). Estos clones fueron generados gracias a la hibridación de los parentales PB 56, Tjir 1, PilB 84, PiID 65, GL 1, PB 6/9, PB 86 (Tan, 1978; Priyadarshan & Goncalves, 2003; Priyadarshan et al., 2009; Saha & Priyadarshan, 2012) GT 1 y Mill 3/2 (Priyadarshan & Goncalves, 2003).

Por otra parte, los programas de mejoramiento suramericanos fueron manejados al comienzo por empresas como Ford y Firestone, los cuales conformaron un *stock* de materiales a partir de hibridaciones entre los grupos “*Wickahm* x Amazónicos”, y con estos se generaron clones de las series: F, FX, MDF, FDR, IAN, IAC (Clement-Demange et al., 2007). En la actualidad, los programas brasileños se llevan a cabo por medio de consorcios de cooperación internacional, como el programa de mejoramiento denominado Cirad-Michelin-Brasil (CMB), que comenzó en 1992 y ha generado un gran número de genotipos con una producción aceptable (más baja que los clones asiáticos), pero principalmente con un enfoque de resistencia al SALB (Rivano et al., 2012; Saha & Priyadarshan, 2012). Esta tendencia se debe al hecho de considerar que el control más eficaz y viable de esta enfermedad es mediante resistencia genética de los materiales al patógeno *P. ulei* (Junqueira et al., 1990; Jaimes & Rojas, 2011; Rivano et al., 2012; Rodríguez Triana, 2012). A partir de este enfoque fueron generados los clones de la serie FDR, los cuales han tenido un comportamiento diferencialmente positivo en cuanto a un rendimiento aceptable y sobre todo de resistencia al SALB (Rivano et al., 2012). Los clones FDR también han sido evaluados con la metodología de campos clonales a gran escala (CCGE) en Ecuador y Colombia, en fase de establecimiento en este último país (Sterling & Correa, 2010; Rivano et al., 2012; Sterling & Rodríguez Triana, 2012).

En Colombia, se han adelantado evaluaciones de adaptabilidad de diferentes materiales introducidos al país y que en su mayoría provienen de programas de mejoramiento brasileños (CDC 56, FDR 5788, FDR 5597, FX 4098, CDC 312, FX 3899, FDR 4575 y IAN 873) y del clon guatemalteco (GU 198) mediante CCGE (Sterling & Rodríguez, 2012). También se adelantan evaluaciones por medio de la metodología de campos clonales a pequeña escala (CCPE) de los clones de uso actual

(FX 3864, IAN 710, IAN 873) introducidos, los cuales presentan un buen desempeño en otros países (FX 4098, GU 198, FDR 4575, FDR 5597, FDR 5788, CDC 312, CDC 56) y clones primarios (MDF 180 y PB 260) (Sterling & Correa, 2010); estos estudios están siendo desarrollados principalmente en el departamento de Caquetá.

Respecto a los materiales denominados franco (copas a partir de semillas), de los cuales se presume variabilidad genética por su origen sexual y su comportamiento diferencial como individuos, están siendo evaluados en CCPE de diferentes localidades del Caquetá por el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (Sinchi), la Universidad de la Amazonia y la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho (Asoheca), con el fin de encontrar genotipos con atributos de producción y resistencia al SALB, que están adaptados a estas regiones y que puedan ser, en un futuro, material para el agricultor (Sterling & Rodríguez, 2011). Con respecto al origen de estos materiales, Sterling & Rodríguez (2011) mencionan que provienen de 48 clones introducidos al país en 1964 por el Instituto de Reforma Agraria (Incora) y por el Instituto de Investigaciones Tecnológicas (ITC), con el apoyo del Instituto de Investigación del Caucho (IRCA) y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). De estos clones, predominaron los clones FX 25, FX 3864, FX 2261, IAN 873, IAN 713, IAN 710, PB 86, HARBEL 1, AVROS 308, RRIM 513 y RRIM 600 (Sterling & Rodríguez, 2011). Sin embargo, la heveicultura del país la soportan principalmente los clones FX 3864, IAN 710 e IAN 873, que se hicieron populares en las zonas caucheras por sus atributos de resistencia al SALB desde hace 46 años (Sterling & Correa, 2010; Sterling & Rodríguez, 2011).

Según el censo cauchero realizado en 2014 por la Confederación Cauchera Colombiana (CCC) y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA, antes Corpoica), el clon con mayor frecuencia de aparición en las subregiones del Bajo Cauca antioqueño y del sur de Córdoba es FX 3864, ya que se encuentra en 1.194 predios del total censado, seguido por los clones IAN 710 e IAN 873, que están en 466 y 441 predios, respectivamente (figura 14). Esto quiere decir que la producción del Bajo Cauca y del sur de Córdoba se sustenta principalmente en clones suramericanos, debido a que estos originalmente tienen el atributo de resistencia al mal suramericano de la hoja; no obstante, Jaimes & Rojas (2011) indican la existencia de reportes sobre la ruptura de la resistencia principalmente para el clon FX 3864.

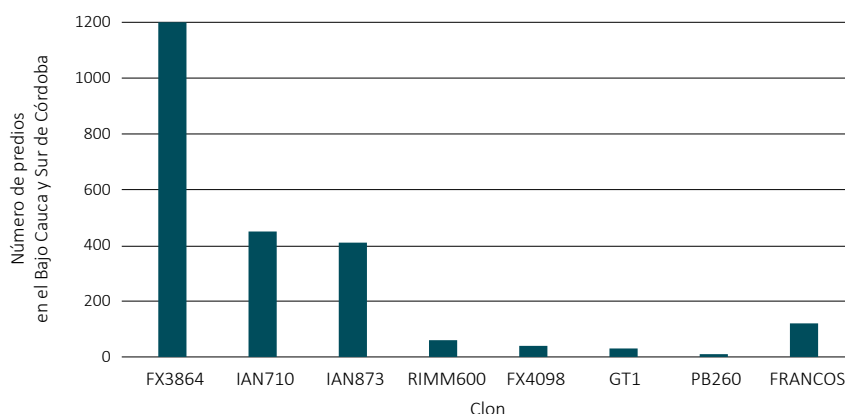


Figura 14.

Frecuencia de la presencia de clones en el Bajo Cauca de Antioquia y en el sur de Córdoba.

Fuente: Corpoica & ccc (2014)

Si se consideran las subregiones de manera independiente, es decir, el Bajo Cauca de Antioquia y el sur de Córdoba, se observa un comportamiento idéntico en cuanto a la frecuencia de clones con respecto al análisis global (figuras 15 y 16). Esto quiere decir que, al menos en el aspecto genético, se trata de un territorio heveícola muy similar, a pesar de que se encuentra dividido en dos departamentos de Colombia.

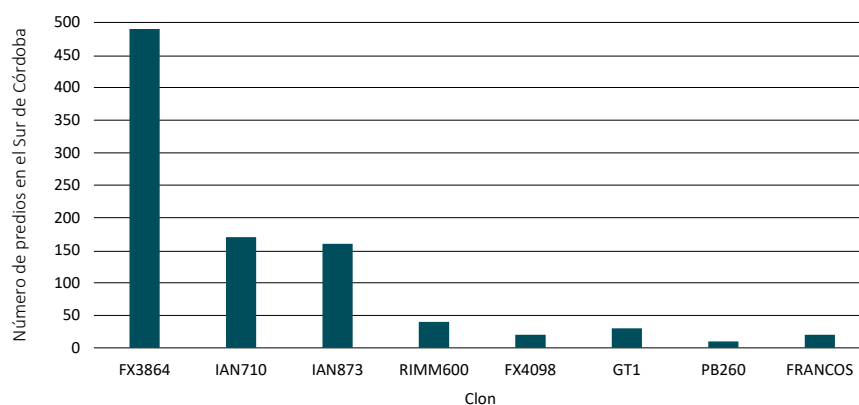


Figura 15.

Frecuencia de la presencia de clones en el sur de Córdoba.

Fuente: Corpoica & ccc (2014)

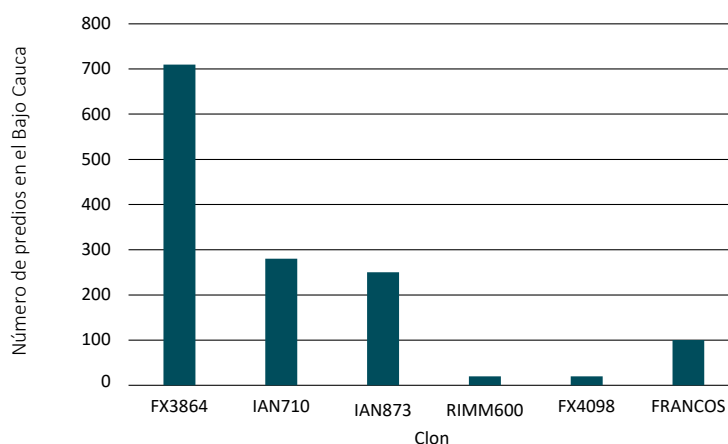


Figura 16.

Frecuencia de la presencia de clones en el Bajo Cauca de Antioquia.

Fuente: Corpoica & CCC (2014)

Algunos elementos para la producción de plántulas de caucho natural

Gran parte del éxito en la producción de caucho natural se debe a un material vegetal de vivero con identidad genética y calidad fisiológica y sanitaria. El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2020e), mediante la Resolución 0780006 de 2020 (que derogó la resolución específica para caucho 4994 de 2012), brinda los lineamientos para tal fin. Vale la pena mencionar la nota aclaratoria del ICA, la cual menciona que los productores de material vegetal, entre otras especies de caucho, que están registrados en la Resolución 4994 de 2012 tendrán un plazo de 12 meses a partir de la entrada en vigor de la resolución para adecuarse a esta.

En dicha normativa, se abordan los requerimientos sanitarios, fisiológicos y de identidad genética con el uso de marcadores moleculares, principalmente útil para el aseguramiento de la identidad genética de los jardines clonales. En este sentido, autores como García et al. (2011) y Ruiz Ávila et al. (2018) mencionan un conjunto de microsatélites con los cuales se

puede garantizar la identidad genética de los clones FX 3864, IAN 873, IAN 710, RIMM 600 y algunos de las series PB, IAC, IRCA, FDR, entre otros. Estos marcadores pueden ser usados por los propios viveros o con el apoyo de terceros (laboratorios certificados).

La producción de plántulas de caucho está basada en el binomio portainjerto-copa; el portainjerto es el que soporta a la copa, brinda el sistema radical y se encarga de la fijación en el suelo y la absorción de nutrientes; además, da señales hormonales para algunos procesos fisiológicos como la defoliación y, sobre todo, interacciona con la copa y le da atributos o no para lograr el vigor de esta (Priyadarshan, 2017; Rasool et al., 2020).

Debido a la naturaleza recalcitrante de la semilla (no puede ser almacenada por mucho tiempo al bajar la temperatura y la humedad, y pierde con rapidez su viabilidad, en particular por sus altos contenidos de aceite) y a que se genera en épocas específicas del año (para el caso de la región de estudio entre agosto y octubre), aspectos como el tamaño de los germinadores, el número de bolsas y la cantidad de sustrato por utilizar se deben planear con antelación, con el fin de no desperdiciar semilla. Lo anterior, teniendo en cuenta que cada kilogramo de semilla cuenta con un aproximado de 200 a 250 semillas (con una viabilidad esperada del 50%), por lo que no se recomienda el almacenamiento por más de 45 días (Asoheca, 2009). No existen portainjertos específicos y con identidad garantizada; por lo tanto, la literatura menciona que, mientras esto ocurre, el uso de semillas a partir de plantaciones policlonales es útil, por considerarse con mayor vigor y suministrar a la copa mejores características de crecimiento (Ng et al., 1981; Priyadarshan, 2017).

Las semillas germinadas se trasplantan a una bolsa, en la cual permanecen durante casi cuatro meses. Cuando el diámetro del tallo es mayor que 2,5 cm, con una altura de 7 cm del suelo (Federación Nacional de Cafeteros [Fedecafe], 1990) y presenta al menos dos pisos foliares, es factible injertar¹. El momento de la injertación debe coincidir con la oferta de varetas con

1 En algunos casos, las semillas para portainjertos se siembran directamente en suelo (práctica frecuente, pero no recomendada, que se usa para la producción de material de siembra denominado “*stump* a raíz desnuda”, puesto que a futuro es muy probable que se dé un maltrato del sistema radical, principalmente de la raíz pivotante.

yemas hidratadas que se desprendan fácilmente del tallo; por esta razón, se riega con al menos una semana de antelación a su cosecha.

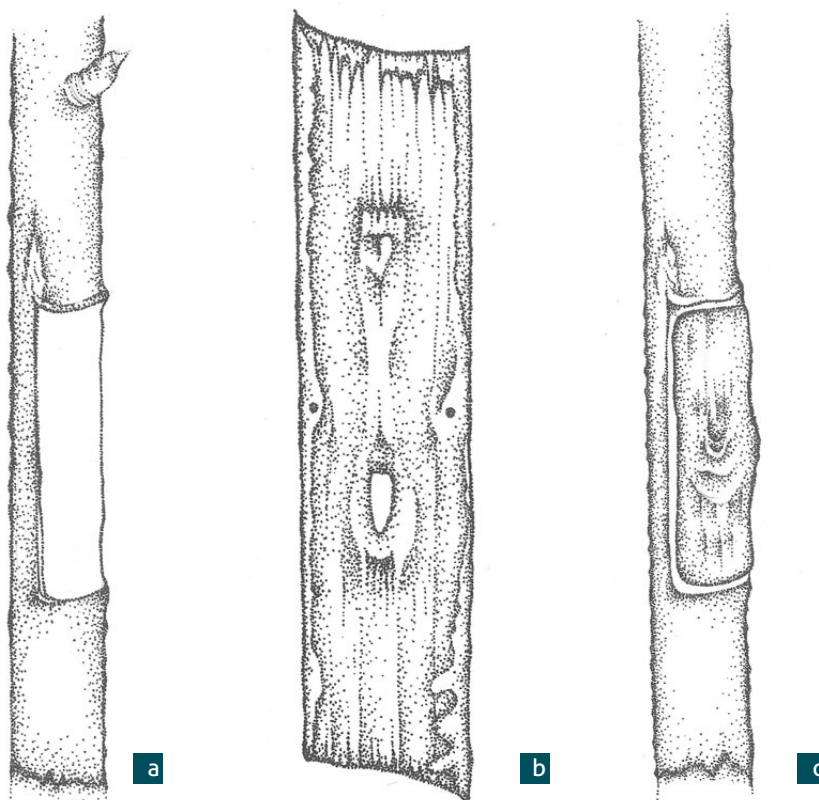


Figura 17.

Injertación. a. Ventana injertación; b. Yema; c. Injerto.

Fuente: Sara Isabel Bedoya Ramírez

A través de la injertación se une la copa al portainjerto. Con la copa se buscan los atributos de producción y resistencia genética a enfermedades, principalmente antracnosis y SALB. Gracias al método de injertación es posible contar con plantaciones de caucho con copas clonadas. El injerto de parche es el más usado (figura 17) y consiste en realizar incisiones con forma de ventana (cerca de 8 cm verticales y 2,5 cm horizontales) a la corteza del portainjerto; luego, se hacen incisiones de longitudes similares a la vareta alrededor de la yema, de modo que al unir la yema con el portainjerto, estas embonen (o empaten) lo más preciso posible.

Seguido de esto, se cubre con una banda elástica (coloquialmente llamada “cintelita”, calibre 6 de 2 cm), con la cual se busca que no haya oxidación de tejidos y deterioro por exceso de agua en el injerto (Fedecafe, 1990). Posteriormente, se verifica la viabilidad del injerto entre 20 y 25 días después de la injertación, asegurándose de que aún haya tejido vivo (verde) en este. El injerto puede permanecer viable y sin desarrollarse por periodos prolongados y la señal para su desarrollo está dada por la poda del portainjerto (o despatronaje).

Con este tipo de injerto se pretende formar una rama viable, que será la base para la formación de copas².

Viveros y material vegetal

Los requisitos para el registro de áreas productoras de material de propagación de caucho se encuentran definidos en la Resolución 0780006 de 2020, la cual indica aspectos que se deben tener en cuenta para la obtención y expedición del registro, la inspección fitosanitaria y física, la infraestructura, las instalaciones necesarias, las modificaciones y las causales de cancelación del registro, obligaciones del titular y del asistente técnico, y condiciones para la movilización de material vegetal, entre otros temas. Además, la resolución indica que aquellos productores de material vegetal certificados con la Resolución 4994 de 2012, tendrán un plazo de 12 meses para acogerse a la nueva resolución (ICA, 2020e). Actualmente en Colombia la importación de material (vareta y semilla) solo está autorizada por el ICA desde Brasil, Guatemala y Ecuador, con las condiciones mencionadas en la tabla 4 (ICA, 2020b). En los departamentos de interés, según lo que indica el ICA (2020c), solo se registra un vivero certificado para la venta de material vegetal de caucho, y está ubicado en Montería. Sin embargo, este mismo instituto señala que existen dos importadores en el departamento de Antioquia, en Necoclí y Medellín (ICA, 2020d).

2 No se recomienda la producción de *stumps* por su baja viabilidad y por el deterioro del sistema radical que estos sufren en el proceso de producción.

Tabla 4. Requisitos para la importación de material vegetal

Producto	País de origen	Requisitos fitosanitarios para importación
Plantas	Guatemala	Destino: investigación. El certificado fitosanitario del país de origen debe incluir la siguiente declaración adicional: el envío procede de plantaciones inspeccionadas durante su periodo vegetativo y se encontraron libres de o estos organismos no ocurren en el área de producción: <i>Ganoderma</i> spp., <i>Sphaeropsis hevea</i> , <i>Ustilina zonata</i> , <i>Meliola</i> spp., <i>Madrophia</i> spp., <i>Botryodiplodia</i> sp., <i>Pestalotia palmarum</i> , <i>Phomopsis hevea</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Nectria diversispora</i> , <i>Periconia hevea</i> , <i>Phytophthora</i> spp., <i>Pythium vexans</i> , <i>Sclerotium rolfsii</i> , <i>Xylaria</i> spp. Inspección fitosanitaria en el lugar de entrada. El importador debe informar que el material no es transgénico. Seguimiento posentrada en los sitios de siembra.
Vareta	Brasil	Destino: siembra - material de propagación. El certificado fitosanitario del país de origen debe incluir la siguiente declaración adicional: el envío procede de plantaciones inspeccionadas durante su periodo vegetativo y se encontraron libres de o estos organismos no ocurren en el área de producción: <i>Ganoderma</i> spp., <i>Sphaeropsis hevea</i> , <i>Ustilina zonata</i> , <i>Meliola</i> spp., <i>Madrophia</i> spp., <i>Botryodiplodia</i> sp., <i>Pestalotia palmarum</i> , <i>Phomopsis hevea</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Nectria diversispora</i> , <i>Periconia hevea</i> , <i>Phytophthora</i> spp., <i>Pythium vexans</i> , <i>Sclerotium rolfsii</i> y <i>Xylaria</i> spp. Inspección fitosanitaria en el lugar de entrada. El importador debe informar que el material no es transgénico.
Vareta	Guatemala	En el caso de Brasil, adicionalmente se solicita que el envío esté libre de suelo o tierra, materia orgánica, moluscos (caracoles y babosas). El envío debe venir libre de semillas de malezas. Seguimiento posentrada en los sitios de siembra.
Semilla	Guatemala	Destino: siembra. El certificado fitosanitario del país de origen debe incluir la siguiente declaración adicional: el envío procede de plantas libres de: <i>Sphaeropsis hevea</i> , <i>Botryodiplodia</i> sp., <i>Pestalotia palmarum</i> y <i>Phomopsis hevea</i> . Inspección fitosanitaria en el lugar de entrada. El importador debe informar que el material no es transgénico. El envío debe venir libre de semillas de malezas. Seguimiento posentrada en los sitios de siembra.
Semilla	Ecuador	

Fuente: ICA (2020b)





Capítulo IV.

Exigencias edafoclimáticas para el desarrollo del cultivo

Albert Julesmar Gutiérrez Vanegas

Diana Elisa Correa Pinilla

Aníbal Leonidas Tapiero Ortiz

En este capítulo, se incluye información acerca de los principales requerimientos climáticos y edáficos que demanda el caucho para que su establecimiento y producción sean exitosos; así, se establecen las condiciones óptimas, aceptables y aquellas que no son adecuadas para esto. El cultivo del caucho necesita condiciones específicas para lograr una producción sostenida, relacionadas, por ejemplo, con el uso (clima, nutrientes), el manejo (prácticas culturales, mantenimiento) y la conservación del medio.

Requerimientos climáticos y edáficos del caucho

El caucho es una planta de origen tropical de rápido crecimiento, con adaptación a variadas condiciones ambientales; se cultiva en la región trópico-ecuatorial entre 10° latitud norte y sur, con mayor productividad desde los 6° latitud norte y sur (Escobar Acevedo et al., 2004). Además, se adapta a temperaturas medias de 18 a 31 °C, con óptimo recomendado de 25 a 28 °C (tabla 5).

Las bajas temperaturas y las heladas están asociadas con limitaciones del crecimiento y afectan el cultivo, particularmente durante los primeros estadios de desarrollo. Por esto, variables como ubicación geográfica y altitud, que infieren en la temperatura media en el área ecuatorial, están vinculadas a la susceptibilidad de la especie a estos factores. En cuanto a la temperatura, esta es un factor determinante para el proceso de fotosíntesis, ya que los cultivos deben estar ubicados en áreas con temperaturas entre los 27 y 30 °C para favorecer la producción de látex (Pilau et al., 2007). Otras variables como precipitación y déficit hídrico también se encuentran

estrechamente relacionadas con el crecimiento y desarrollo de la especie, y con la producción de látex. Priyadarshan (2017) estima que se necesitan entre 2.000 y 4.000 mm/año de precipitación anual distribuidas en 100-150 días para una eficiente producción (tabla 5).

Las propiedades físicas del suelo también son determinantes para el adecuado desarrollo del cultivo, ya que la especie requiere: 1) profundidad efectiva mínima de 1 m sin una capa dura o impenetrable, que permita la expansión de las raíces en el área superficial para facilitar el acceso a la humedad retenida en esta capa del suelo durante la etapa de sequía, así como a un mejor anclaje; 2) nivel freático superior a 1 m, con el fin de que se cuente con buenas condiciones de aireación, esencial para la penetración de las raíces, y 3) suelos con buen drenaje, primordial para el óptimo crecimiento y rendimiento de las plantas (Priyadarshan, 2017). El pH óptimo del suelo para el cultivo de caucho está en el rango de 6,1 a 7,7, pero el cultivo puede tolerar un rango de pH de 4,5 a 8,4. Las plántulas jóvenes tienden a ser más sensibles al pH bajo que los árboles maduros; un pH del suelo por encima de 8,4 causa un retraso en el crecimiento (tabla 5).

Para la elaboración de los requerimientos climáticos y edáficos, se empleó la metodología propuesta por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (Aguilar Corrales et al., 2018), la cual se fundamenta en la metodología de evaluación de tierras desarrollada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y permite abordar de forma integral un conjunto de variables ambientales, con el fin de localizar áreas óptimas para el desarrollo de un cultivo determinado. Estos criterios fueron identificados y establecidos con base en la consulta de diversos estudios de distribución, fisiología y producción de caucho. En este sentido, se fijaron las condiciones óptimas (apta [A1]), las condiciones aceptables (moderadas [A2]), las condiciones que presentan restricciones severas (marginales [A3]) y aquellas que no son adecuadas (no aptas [NA]) para el establecimiento y desarrollo del cultivo de la especie *H. brasiliensis* (tabla 5).

Con las variables seleccionadas de la tabla 5 se identificaron siete criterios biofísicos, un subcomponente representado por las condiciones climáticas y seis subcomponentes relacionados con características edáficas: 1) capacidad de laboreo; 2) condiciones de enraizamiento y tuberización;

3) disponibilidad de humedad; 4) disponibilidad de oxígeno; 5) disponibilidad de nutrientes, y 6) toxicidad por sales, sodio y aluminio (tabla 6).

Tabla 5. Requerimientos climáticos y edáficos

Requisito de uso de la tierra		Calificación por factores			
Componente	Variable	Óptima	Moderada	Marginal	No aptas
		(A1)	(A2)	(A3)	(NA)
Clima	Altitud (m s. n. m)	0 - 800	800 - 1.100	1.100 -1.400	>1.400
Clima	Temperatura media (°C)	28 - 25	25 - 20	20 - 18	<18
			28 - 30	30 - 31	>31
Clima	Precipitación anual (mm)	3.000 - 2.000	2.000 - 1.400	1.400 - 1.200	<1.200
			3.000 - 3.500	3.500 - 3.800	>3.800
Clima	Déficit hídrico (meses)	0 - 2	2 - 4	4 - 8	>8
Edáfico	Pedregosidad (nominal)	Sin fase de pedregosidad		Con fase de pedregosidad	
Edáfico	Profundidad efectiva (cm)	>100 (profundo)	50 a 100 (moderadamente profundo)	50 a 25 (superficial)	<25 (muy superficial)
Edáfico	Textura (nominal)	Medianas (ME) y moderadamente finas (MF)	Finas (FI)	Muy fina, gruesa y moderadamente gruesa (MG)	Gruesa (GR)

continúa

Continúa tabla 5

Requisito de uso de la tierra		Calificación por factores			
Componente	Variable	Óptima	Moderada	Marginal	No aptas
		(A1)	(A2)	(A3)	(NA)
Edáfico	Pendiente (%)	0 a 12	12 a 25	25 a 50	>50
Edáfico	Régimen de humedad (clase)	Údico (UD)	Ústico (US)	Perúdico (PU), ácuico (AQ)	Arídico (AR)
Edáfico	Susceptibilidad a inundaciones (nominal)	Sin inundación		Con inundación	
Edáfico	Drenaje natural (nominal)	Bueno, bueno e imperfecto	Bueno y excesivo, imperfecto y bueno	Bueno y pobre, excesivo y bueno, imperfecto, pobre	Excesivo, excesivo y pobre, imperfecto y pobre, pobre Pobre y excesivo, pobre y bueno
Edáfico	Salinidad (dS/m)	<4		>4	
Edáfico	Sodicidad (%PSI)	<15		>15	
Edáfico	pH (unidad)	Ligeramente ácido (6,1 - 6,5)	Moderadamente ácido (5,6 - 6,0)	Muy fuertemente ácido (4,5 - 5,0) Fuertemente ácido (5,1 - 5,5)	Ultra ácido (< 3,5) Extremadamente ácido (3,5 - 4,4)
		Neutro (6,6 - 7,3)	Ligeramente alcalino (7,4 - 7,8)	Moderadamente alcalino (7,9 - 8,4)	Fuertemente alcalino (8,5 - 9,0) Muy fuertemente alcalino (> 9,0)
Edáfico	Fertilidad (nominal)	Alta Alta media Media Media alta	Alta y baja Baja Baja y alta Baja y media	Media y baja	

Tabla 6. Criterios y variables biofísicas

Criterios	Definición	Variable
Condiciones climáticas.	Conjunto de las condiciones meteorológicas correspondientes a un espacio geográfico específico, caracterizado por las estadísticas basadas en un periodo cronológico extenso de las variables o de los elementos climáticos referentes al estado de la atmosfera en dicho espacio.	Altitud: altura sobre el nivel del mar. Temperatura: la temperatura del aire hace referencia a la medida del estado térmico del aire con respecto a su habilidad de comunicar calor a su alrededor. Precipitación: cantidad de agua que cae sobre la superficie terrestre en forma líquida o sólida. Déficit hídrico: precipitaciones mensuales inferiores a 50 mm.
Capacidad de laboreo.	Facilidad o dificultad que un terreno presenta en su preparación o adecuación para establecer un cultivo.	Pendiente: inclinación de un terreno respecto a un plano horizontal que pasa por su base. Textura: proporción relativa en la que se encuentran, en una masa de suelo de las partículas o fracciones de arena, limo y arcilla en la fracción fina del suelo. Pedregosidad: partes de fragmentos mayores a las gravas (0,045 m de diámetro) sobre la superficie del suelo y dentro del perfil.
Condiciones de enraizamiento y tuberización.	Características físicas del suelo que permiten el desarrollo óptimo de las raíces de las plantas.	Profundidad efectiva: es el total de la profundidad del perfil del suelo favorable para desarrollo de las raíces. Pedregosidad: partes de fragmentos mayores a las gravas (0,045 m de diámetro) sobre la superficie del suelo y dentro del perfil.
Disponibilidad de humedad.	Capacidad que tienen los suelos para aportar a las plantas agua aprovechable, en cantidades suficientes para su desarrollo.	Régimen de humedad: se refiere a la presencia o ausencia de un manto freático o del agua retenida a una tensión menor de 1.500 kPa en el suelo o en horizontes específicos, durante periodos del año. Textura: proporción relativa en la que se encuentran, en una masa de suelo de las partículas o fracciones de arena, limo y arcilla en la fracción fina del suelo.

continúa

Continúa tabla 6

Criterios	Definición	Variable
Disponibilidad de oxígeno.	Cualidad del suelo que indica las condiciones de aireación del suelo. Cuando el suelo está libre de saturación de agua, los poros del suelo permiten la libre circulación de CO ₂ hacia la atmósfera y la entrada del oxígeno del exterior para ser absorbido por las plantas.	Susceptibilidad a inundaciones: la inundación es causada por el ascenso del nivel de las aguas, ya sea de una corriente hídrica o de aguas confinadas a sectores que normalmente están secos. El encharcamiento se da cuando el nivel de las aguas causantes se retira y el agua no drena, sino que permanece en el lugar. Drenaje natural: rapidez o lentitud con la que se evacúa el agua sobrante en el suelo.
Disponibilidad de nutrientes.	Es la capacidad o potencialidad que tienen los suelos de aportar a las plantas los nutrientes necesarios para su óptimo desarrollo.	pH: indica el grado de acidez o alcalinidad que tienen los suelos. Fertilidad: contiene las variables que inciden en el aporte y almacenamiento de los nutrientes, y está relacionada directamente con los contenidos en el suelo de los elementos mayores y menores, esenciales para el desarrollo de las plantas.
Toxicidad por sales, sodio y aluminio.	Cuando los elementos que son necesarios para el desarrollo de la mayoría de las plantas se encuentran en concentraciones mayores que las requeridas, pueden llegar a ser tóxicos, como es el caso de los micronutrientes (hierro, manganeso, cloro, zinc y níquel), las sales (cloruros, sulfatos, bicarbonatos, carbonatos, nitratos), la saturación del catión sodio y la de aluminio.	Salinidad o sodicidad: contenido de sales solubles o sodio intercambiable en zona radicular.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Aguilar Corrales et al. (2018)

A partir del modelamiento espacial de los subcomponentes climáticos y edáficos en el área de estudio (Antioquia y Córdoba), se obtuvo el mapa de aptitud biofísica para el establecimiento del cultivo de caucho a escala 1:100.000 (figura 18). Se identificaron 117.370 ha (9,5%) correspondientes a zonas óptimas (A1), 253.921 ha (20,5%) a zonas moderadas (A2), 170.717 ha (13,8%) a zonas marginales (A3), 69.737 ha (5,6%) a zonas no aptas (NA) y 628.488 ha (50,7%) a zonas de exclusión (EX) (tabla 7).

Del área caracterizada con potencial para el establecimiento del cultivo en la zona de estudio (A1 y A2), el 58,0% (215.500 ha) se encuentran en el departamento de Antioquia, mientras el 42,0% (155.791 ha) se localizan en departamento de Córdoba.

Tabla 7. Aptitud biofísica para el cultivo de caucho natural en el Bajo Cauca antioqueño y en el sur de Córdoba

Departamento	Aptitud	Tipo	Área (ha)
Antioquia	A1	Clima y suelos	75.745
	A2	Clima	97.941
	A2	Clima y suelos	20.242
	A2	Suelos	21.572
	A3	Clima	54.321
	A3	Clima y suelos	19.493
	A3	Suelos	52.554
	NA	Clima	16.791
	NA	Clima y suelos	1.581
	NA	Suelos	28.279
	EX	Exclusiones	479.361
Subtotal Antioquia			867.880
Córdoba	A1	Clima y suelos	41.625
	A2	Clima	2.743
	A2	Clima y suelos	13.753
	A2	Suelos	97.670
	A3	Suelos	44.350
	NA	Suelos	23.085
	EX	Exclusiones	149.127
Subtotal Córdoba			372.353
Total			1.240.232

Fuente: Elaboración propia

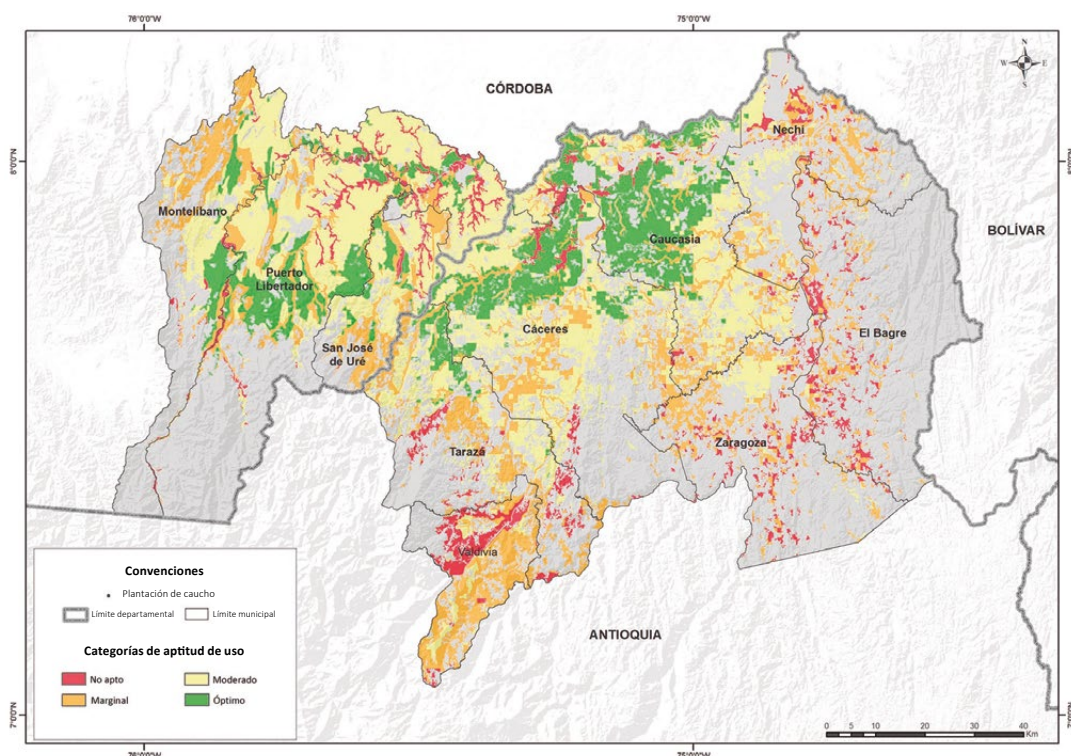


Figura 18.

Aptitud biofísica para el cultivo de caucho natural en el Bajo Cauca antioqueño y en el sur de Córdoba.

Fuente: Elaboración propia

Definición de criterios y variables modelo en zona de escape

A partir de la información recabada sobre la presencia de SALB Y su afectación ocasionada por la infección del hongo *P. ulei* en plantaciones localizadas en los diferentes núcleos productivos en Colombia, se procedió a identificar las zonas de escape al SALB, según los criterios climáticos propuestos por Ortolani et al. (1983) (tabla 8).

Tabla 8. Requerimientos climáticos para zonas de escape al SALB

Variable	Unidad	Zona de escape	Zona de escape restricciones menores	Zona de escape restricciones mayores	Zona de no escape
Evapotranspiración potencial (anual).	mm	>900		<900	
Humedad relativa (mes más seco - enero).	%	< 65	65-75	75-85	>85
Déficit hídrico (anual).	mm	> 200	200-100	100-0	< 0
Temperatura media mínima (mes más frío).	°C	< 20		>20	
Temperatura media (anual).	°C	< 20		>20	

Fuente: Elaboración propia, a partir de Ortolani et al. (1983)

El modelamiento espacial de las variables climáticas y de las condiciones ambientales indica que, para el total del área de estudio, el 50,1% (equivalente a 621.891 ha) corresponde a zonas de no escape al SALB y el 0,2% (2.350 ha), a zonas de escape con restricciones mayores. En estas áreas, las condiciones climáticas favorecen la infección y el desarrollo del hongo *P. ulei* durante las etapas de receptividad de la planta. Entre los factores que se destacan predominan: el déficit hídrico (0 mm), la humedad relativa en enero, que está por encima del 65%, y temperaturas mínimas superiores a 20 °C (figura 19). Mediante la interpolación del mapa de aptitud biofísica para el cultivo de caucho y el mapa de zonas de escape al SALB, se evidencia que en el área de estudio no hay áreas óptimas para el cultivo de caucho (con condiciones de zona de escape al SALB).

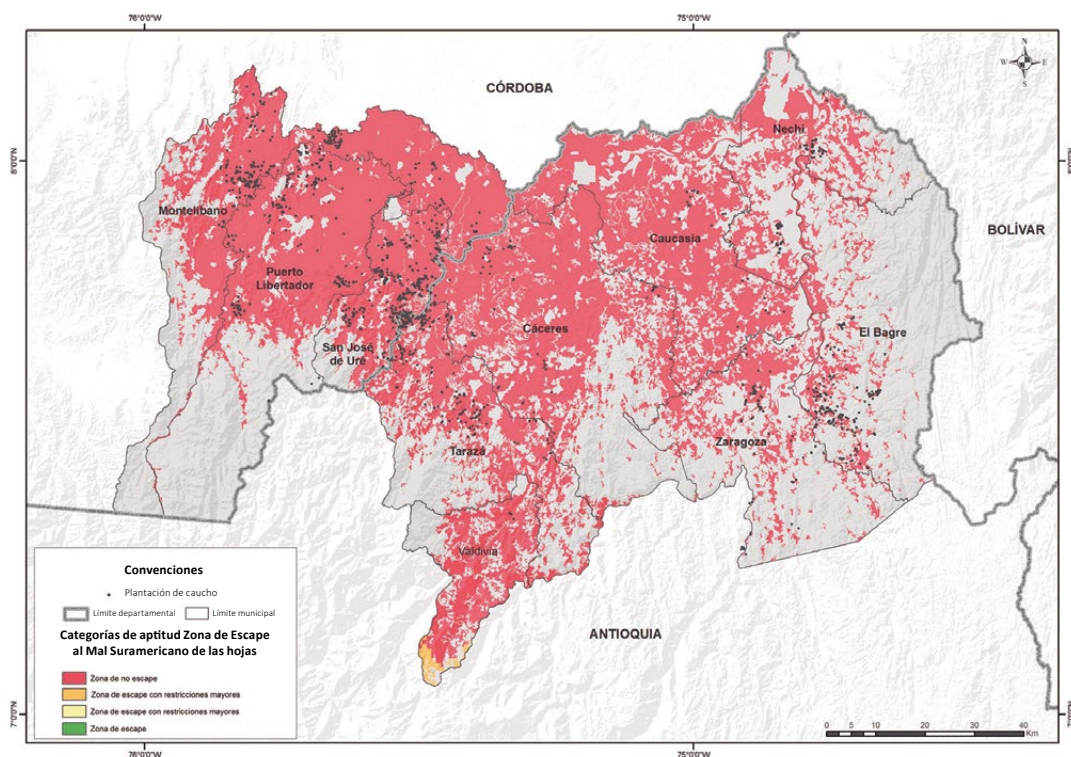


Figura 19.

Zonas de escape al SALB para el cultivo de caucho natural en el Bajo Cauca antioqueño y en el sur de Córdoba.

Fuente: Elaboración propia



Capítulo v.

Manejo del recurso suelo y agua

Judith del Carmen Martínez Atencia

Juan Pablo Gil Restrepo

Manejo del recurso suelo para la producción de caucho en la zona de estudio

Caracterización de suelos en áreas potenciales para el cultivo de caucho en el Bajo Cauca antioqueño y en el sur de Córdoba

Según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2007a), los suelos potencialmente agrícolas del Bajo Cauca antioqueño se encuentran en la planicie aluvial del río Cauca y en el valle aluvial del río Man, que corresponden principalmente a los órdenes entisoles e inceptisoles. En general, en esta región se presentan drenajes lentos en los planos de inundación, con restricción de la profundidad efectiva debido al nivel freático y a los suelos profundos con buen drenaje en las terrazas; además, predominan las texturas finas y medias, el pH varía de extremadamente ácido a neutro y la fertilidad de moderada a media. El 46% de esta zona tiene vocación agrícola y el 50% requiere construcción de drenajes para su adecuación.

Villa et al. (2017) caracterizaron las propiedades físicas del suelo en tres plantaciones de caucho del Bajo Cauca, en los municipios de Tarazá, Nechí y Caucasia, de Antioquia, y encontraron ultisoles bien drenados, con pH ácido y bajo contenido de nutrientes. En la plantación de Nechí, hallaron una alta proporción de gravas, escombros y cuarzo (50%-60% del volumen) cerca de la superficie, asociados posiblemente a actividades mineras. Esta condición, que puede presentarse en las orillas de algunos

ríos del Bajo Cauca como Pescado, Rayo, Tarazá, Man y Nechí por la importancia de la minería en la economía regional (Gobernación de Antioquia, 2006), representa una limitante para el cultivo de caucho. Rao y Jessy (2007) evidencian que hay una disminución del volumen efectivo del primer horizonte del suelo por la presencia de gravas (partículas con 2 a 75 mm de diámetro), lo que afecta la capacidad de retención de humedad del suelo, el crecimiento y la producción de látex de árboles de caucho.

Combatt Caballero et al. (2005) describieron los suelos del municipio de Montelíbano, en Córdoba, con base en 32 muestras, y encontraron que el 65% presenta valores de pH menores que 5,5 y el 78% tiene menos del 2% de materia orgánica. En general, son suelos con niveles adecuados de Ca (6,7 cmol(+)/kg suelo) y Mg (4,6 cmol(+)/kg suelo), pero deficientes en K (0,04 cmol(+)/kg suelo).

En un estudio de manejo de suelos para el cultivo de caucho realizado por Martínez-Atencia et al. (2000), en el municipio de Planeta Rica, Córdoba, se evidenciaron seis horizontes (tabla 9). La descripción del suelo permitió evidenciar que este se forma a partir de capas arenosas y arcillosas con abundante material cuarzoso (cantos rodados, material fragmentado y gravas de diferentes tamaños), y que su principal limitante es el alto contenido de gravilla en algunos horizontes (figura 20).

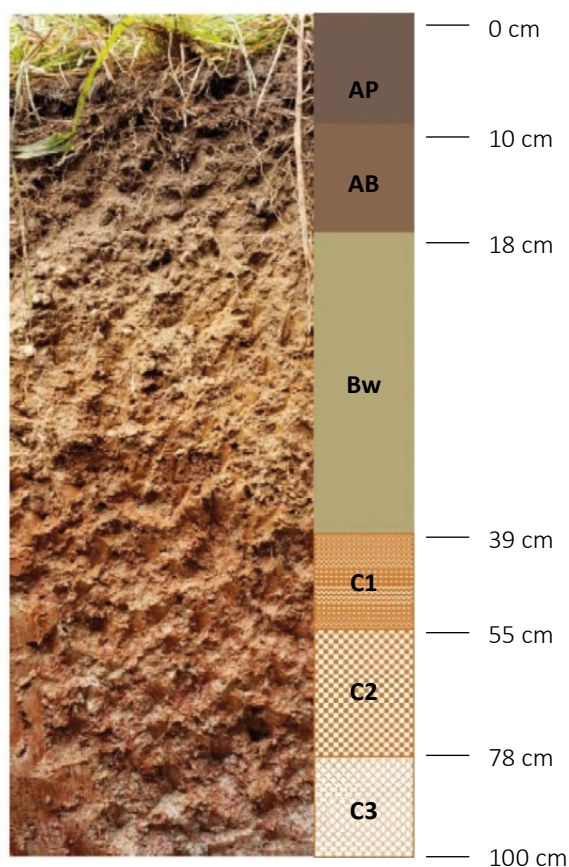


Figura 20.

Descripción del perfil modal de suelo de la finca La Fortuna, en Planeta Rica, Córdoba.

Foto: José Luis Contreras Santos

Según el análisis químico, la fertilidad es baja y tiene reacción extremadamente ácida, capacidad de intercambio catiónico y bases de intercambio de bajo a muy bajo, contenido de materia orgánica y fósforo intercambiable bajo, y saturación de aluminio del 27%. El suelo en estudio es de incipiente desarrollo asociado al orden inceptisol, con epipedón ócrico y endopedón cámbico, relieve ondulado, con tendencia a procesos de erosión. Esta descripción coincide con lo reportado por el IGAC (2009).

Tabla 9. Descripción del perfil de suelo, finca La Fortuna, en Planeta Rica, Córdoba

Sitio	La Fortuna
Municipio	Planeta Rica
Vereda o corregimiento	La Fortuna
Taxonomía	<i>Oxic Dystrudepts</i>
Posición fisiográfica o geoforma	Planicie fluvio-lacustre, relieve de terraza
Litología/sedimentos	Sedimentos aluviales finos y medios
Relieve	Ligeramente plano a onduladas, pendiente de 3%-25%
Clima ambiental	Cálido seco
Clima edáfico	Údico, isohipertérmico
Vegetación natural	Sabana de pastos y rastrojo
Uso actual	Ganadería intensiva
Limitantes de uso	Compactación, gravas, concreciones de hierro y pendientes
Frecuencia y duración de las inundaciones o encharcamientos	Frecuentes de corta duración
Nivel freático	> 100 cm
Drenaje natura	Imperfecto a bien drenado
Profundidad efectiva	Superficial
Horizontes diagnósticos	Ócrico - Cámbico
Límite de horizontes	Difuso
Horizonte	Descripción
Ap (0-10 cm)	Color en húmedo pardo oscuro (7.5YR3/) y textura media a fina (franco arenosa); alta presencia de material fíbrico compuesto por raíces procedentes de la gramínea; estructura granular de clase muy fina a fina con grado débil; consistencia en seco dura, en húmedo suelta y en mojado ligeramente pegajoso, ligeramente plástico; distribución de poros en pocas cantidades de tamaños finos a medios, con alta presencia de raíces de tamaño fino localizadas a lo largo del perfil, frecuente actividad de macroinvertebrados (lombrices, hormigas, etcétera), reacción fuerte al H_2O_2 , sin presencia de carbonatos, y con límite de horizonte gradual.
AB (10-18 cm)	Horizonte transicional color en húmedo pardo (7.5YR5/4); textura arenosa, con presencia de gravas con alteración de media a alta, de tamaños finos a medios; estructura granular de clases muy finas-finas a medias, de grado débil; consistencia en seco muy dura, húmedo muy firme, en mojado no pegajosa, no plástica; frecuentes poros de tamaños finos, con poca presencia de macroorganismos, con presencia de raíces de tamaños finos a muy finas, reacción al H_2O_2 fuerte, limitada presencia de gravas y límite de horizonte gradual.

continúa

Continúa tabla 9

Horizonte	Descripción
Bw (18-39 cm)	Color en húmedo amarillo pardusco (10YR6/6); textura arenosa modificada por presencia de gravas, estructura en granular de clase fina a media con grado débil; consistencia en seco muy dura, en húmedo muy firme, en mojado no pegajosa no plástica; poca presencia de poros; principalmente se evidencian poros de tamaño finos a muy finos, poca presencia de raíces, escasa o poca presencia de macroorganismos, reacción ligera al H_2O_2 , límite de horizonte difuso.
C1 (39-55 cm)	Color en húmedo amarillo rojizo (5YR6/8); textura arcillosa con presencia de material particulado de diferentes tamaños de origen sedimentario con alteración de media a fuerte; sin estructura (masiva), consistencia en seco muy dura, en húmedo muy firme, en mojado muy pegajosa y muy plástica; nula presencia de raíces, límite de horizonte difuso, principal limitante exceso de humedad y pobre drenaje.
C2 (55-78 cm)	Color en húmedo rojo amarillento (5YR5/6) con presencia de moteados en un 50% de la matriz de suelo de color gris claro (5YR7/1), lo que indica procesos de óxido-reducción; textura arcillosa; sin estructura (masiva), consistencia en seco muy dura, en húmedo muy firme, en mojado muy pegajosa y muy plástica; nula presencia de raíces, límite de horizonte difuso, principal limitante exceso de humedad y pobre drenaje.
C3 (78-100/x cm)	Color en húmedo rojo claro (2.5YR6/8) con presencia de moteados en un 60% de la matriz de suelo de color gris claro (2.5YR5/1), lo que indica procesos de anoxia o falta de oxígeno; textura arcillosa; sin estructura (masiva), consistencia en seco muy dura, en húmedo muy firme, en mojado muy pegajosa y muy plástica; nula presencia de raíces, límite de horizonte difuso, principal limitante exceso de humedad y pobre drenaje.

Fuente: Elaboración propia

Adecuación del terreno

Antes del establecimiento del cultivo, es recomendable realizar algunas pruebas de diagnóstico físico de suelo para identificar limitantes y definir las estrategias de adecuación del terreno. En todos los casos, es necesario hacer una cajuela de observación de 0,5 m x 0,5 m x 1m por cada 5 ha para definir si hay limitantes en el desarrollo de las raíces, como capas de gravas u horizontes endurecidos. Un valor de resistencia a la penetración mayor de 2,5 MPa indica una restricción para el crecimiento de la raíz (Martínez et al., 2010).

Si se presenta alguna limitante de tipo físico en terrenos con pendientes menores que el 12%, es necesario el uso de la labranza vertical con implementos como cinceles o subsoladores para romper capas endurecidas a profundidades de 0,3 a 1 m, o arado de discos o rastras pesadas para solucionar problemas de compactación superficial. Si no hay limitantes de tipo físico no se requiere el uso de labranza mecanizada. Es importante implementar un adecuado sistema de siembra como el ahoyado, que debe ser lo suficientemente profundo (50 cm) y amplio (20 x 20 cm) para contener el volumen de suelo que viene con la plántula del vivero. El suelo extraído del hueco debe mezclarse con el fertilizante y las enmiendas recomendadas, según el análisis de suelos (figura 21).



Figura 21.

Ahoyado y aplicación de enmiendas para la siembra de injertos de caucho en sitio definitivo.

Si la pendiente del terreno es mayor que un 12%, es necesario el establecimiento de la plantación en curvas a nivel, realizando un ahoyado con las características descritas anteriormente y que esté acompañado de nivelación del terreno en el área de plateo para disminuir el grado de pendiente en la zona de proyección de la copa del árbol.

Cultivos de cobertura

El establecimiento de coberturas vivas brinda beneficios al suelo, como el incremento y la conservación de la porosidad, el aumento de la capacidad de retención de humedad, la disminución de la erosión, el reciclaje de nutrientes como el nitrógeno con la incorporación de los residuos de las coberturas y la disminución de costos del control de arvenses en las calles del cultivo. Se recomienda el uso de coberturas vivas o cultivos intercalados, como leguminosas arbustivas (por ejemplo, *Desmodium* arbustivo), frutales de ciclo medio (piña, plátano, papaya, sandía) o plantas de ciclo corto (maíz, batata, ñame) en las calles del cultivo.

Otra alternativa es el uso de sistemas agroforestales, los cuales permiten generar ingresos para los productores, tanto en la etapa improductiva del caucho, como en las épocas de precios bajos; además, mejoraran algunas propiedades físicas y químicas del suelo. Zuluaga y Escobar (2001) encontraron que al enriquecer un monocultivo de caucho con frutales (borojó, arazá, copoazú, uva caimaron, chontaduro, carambolo, cacao maraco) y leguminosas arbustivas (guamos, *Flemingia* sp., cámbulo), se obtienen beneficios como el incremento de materia orgánica, nitrógeno, boro y fósforo, y la reducción de la resistencia a la penetración, en un periodo de tres años, con respecto al monocultivo de caucho. En el sistema agroforestal, se presentó una disminución del pH y la concentración de calcio, mientras que la concentración de aluminio intercambiable se incrementó.

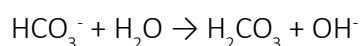
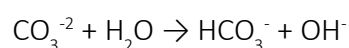
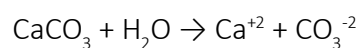
Clermont-Dauphin et al. (2016) encontraron que *Pueraria phaseoloides* (Kutsú), sembrado como cultivo de cobertura en una plantación de caucho, acumula 250 kg/ha de N, 10 kg/ha de P y 170 kg/ha de K por año; estos nutrientes son liberados al suelo en un 70%, 60% y 99%, respectivamente, 75 días después de cortar y utilizar como *mulch* esta leguminosa. La cantidad de N aportada es incluso mayor que la cantidad generalmente recomendada en plantaciones comerciales.

Aplicación de enmiendas y materia orgánica

La recomendación de enmiendas se puede realizar con tres posibles objetivos: modificar el pH del suelo, para lo cual hay que contar con pruebas de incubación con cal realizadas por un laboratorio especializado; neutralizar el aluminio intercambiable hasta un nivel de saturación que sea tolerado por el caucho, o aportar calcio y magnesio para alcanzar niveles de suficiencia en el suelo. En los dos últimos casos, que corresponden al enfoque que se usa generalmente para suelos tropicales altamente meteorizados (como oxisoles y ultisoles), los cálculos se pueden hacer a partir de un análisis químico de fertilidad del suelo.

La acidez del suelo está determinada por la concentración de iones de hidrógeno (H^+) y la acidez intercambiable del suelo se refiere a la cantidad de hidrógeno y aluminio (H^+ , Al^{+3}) retenidos por los coloides del suelo (arcillas y materia orgánica), a través de fuerzas electrostáticas. El encalado es una práctica agrícola que permite modificar las condiciones de acidez del suelo y, además del aporte de nutrientes como Ca^{+2} y Mg^{+2} , puede ayudar a disminuir la toxicidad por aluminio, incrementar la disponibilidad de fósforo, favorecer la actividad microbiana, mejorar las propiedades físicas del suelo e incrementar la eficiencia en la aplicación de fertilizantes. Los materiales de encalado más utilizados son cal agrícola, cal dolomita, óxido de calcio (cal viva), óxido de magnesio e hidróxido de calcio (cal apagada) (Espinosa & Molina, 1999).

Las reacciones químicas que explican el comportamiento de la cal agrícola ($CaCO_3$) en el suelo se muestran a continuación:



Los iones OH^- resultantes pueden reaccionar con el H^+ para formar H_2O o con el Al^{+3} para formar $Al(OH)_3$, lo que disminuye la acidez intercambiable del suelo. El Ca^{+2} no interviene en el control de la acidez intercambiable, pero puede quedar disponible como nutriente para las plantas. Cuando el pH

del suelo es mayor que 5,5, la forma dominante del aluminio se encuentra principalmente como $\text{Al}(\text{OH})_3$, que es una forma insoluble y no genera riesgo de toxicidad para las plantas (Espinosa & Molina, 1999).

La cal agrícola (CaCO_3) y la cal dolomita ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$) son las que más se usan, pero una desventaja es su baja solubilidad ($<0,013 \text{ g/L}$), que les confiere una movilidad limitada (Osorio, 2014). Por esto, la acción de neutralización del aluminio o modificación del pH de estos productos se restringe a la superficie del suelo si se aplican al voleo o al volumen de suelo arado si son incorporados. En suelos donde no sea viable la incorporación de las enmiendas, ya sea por condiciones de pendiente o porque el cultivo de caucho ya se encuentra establecido, la aplicación de yeso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) puede ser una opción para neutralizar el aluminio intercambiable (lo precipita como AlSO_4^+) a una mayor profundidad que la que se podría alcanzar con cal agrícola o con cal dolomita, ya que el yeso agrícola tiene una solubilidad casi 200 veces mayor ($2,5 \text{ g/L}$) (Espinosa & Molina, 1999). Es importante tener en cuenta que el yeso agrícola tiene un efecto insignificante sobre el pH del suelo, pero además de ayudar a neutralizar el aluminio intercambiable es fuente de azufre y calcio.

La aplicación de materia orgánica al suelo trae beneficios como el incremento de la porosidad, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad microbiana, y el aporte de nutrientes. La materia orgánica aplicada al suelo puede descomponerse rápidamente si la relación C/N es baja (<30) o descomponerse lentamente si la relación es alta (>30). En el primer caso, la liberación de los nutrientes contenidos en la materia orgánica mejora la fertilidad química del suelo; en el segundo caso, la acumulación de la materia orgánica optimiza las propiedades físicas del suelo (Jaramillo, 2011). En general, los residuos vegetales lignificados o leñosos tienden a descomponerse lentamente, mientras que los estiércoles animales son de rápida mineralización o descomposición. Teniendo en cuenta las dificultades que implica la manipulación de residuos orgánicos frescos y los problemas sanitarios que pueden traer, se recomienda aplicar siempre compost o lombricompost, que se pueden fabricar con materiales orgánicos de la misma finca. Según Jaramillo (2011), a partir del proceso de compostaje se obtiene una relación C/N que permite aportar buena cantidad de humus al suelo, lo cual mejora sus

propiedades físicas; por su parte, el lombricompostaje suele presentar una baja relación C/N, y esto reduce su efecto sobre las propiedades físicas del suelo, pero aumenta su capacidad para suministrar nutrientes a las plantas.

Fertilización

Es posible que el cultivo de caucho afecte algunas propiedades físicas y químicas de los suelos al disminuir los contenidos de bases intercambiables (Aweto, 1987), el ciclaje de nitrógeno, la biomasa microbiana (Zhang et al., 2007; Allen et al., 2015), el pH y la biomasa de macroinvertebrados (Gilot et al., 1995). Sin embargo, los efectos adversos del cultivo sobre el suelo podrían mitigarse con prácticas como la fertilización balanceada, la siembra de leguminosas como cobertura y la aplicación de enmiendas con CaCO_3 , por ejemplo, cal agrícola o cal dolomita (Cheng et al., 2007).

Para un adecuado manejo de la fertilización en el cultivo del caucho, es necesario tener en cuenta los diferentes estados de desarrollo de la plantación, desde vivero hasta plantación madura o en producción, pasando por las primeras fases vegetativas y el inicio de la producción, ya que, dependiendo de su estado fenológico, sus requerimientos nutricionales pueden variar de acuerdo con el tipo de clon (Bataglia et al., 1999). El diagnóstico del estado nutricional de cultivos se evalúa a través de la determinación de concentración de nutrientes presentes en sus hojas jóvenes, completamente desarrolladas, libres de plagas y enfermedades, y sin residuo de pesticidas o fertilizantes foliares (Osorio, 2014). La concentración foliar de nutrientes dentro del rango crítico se asocia a un rendimiento alto (85 %-90 % de potencial productivo); por debajo de este rango se tiene el rango de deficiencia y es necesario aplicar los nutrientes a través de la fertilización.

El caucho se adapta a suelos relativamente pobres en términos nutricionales; sin embargo, evidencia buena respuesta a la fertilización y extrae grandes cantidades de nutrientes del suelo. La tabla 10 presenta los rangos para la interpretación de resultados de análisis de suelos.

Tabla 10. Rangos de disponibilidad de nutrientes para interpretación de análisis de suelos para el cultivo de caucho natural

Nutriente		Unidad	Nivel de suficiencia
Potasio	K	cmol(+)/kg	0,15 - 0,30
Calcio	Ca	cmol(+)/kg	3 - 6
Magnesio	Mg	cmol(+)/kg	1,5 - 2,5
Fósforo	P	ppm	20 - 30
Azufre	S	ppm	6 - 12
Zinc	Zn	ppm	1,1 - 5
Manganeso	Mn	ppm	1 - 10
Hierro	Fe	ppm	5 - 50
Boro	B	ppm	0,6 - 1
Cobre	Cu	ppm	0,3 - 3

Fuente: Elaboración propia, a partir de Osorio (2014) y Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA, 2014)

Aweto (1987) encontró que los niveles de Ca, Mg y K disminuyen en un 40%, 18% y 41%, respectivamente, entre el año 1 y el año 18 después de la siembra en un cultivo de caucho, a pesar de la aplicación de fertilizantes compuestos de K y Mg durante los tres primeros años, en un oxisol de Nigeria; esto se da junto con una reducción leve en el pH. Sin embargo, la concentración de N y el contenido de carbono orgánico no presentan cambios significativos. Por su parte, Murbach et al. (2003) encontraron que el clon RRIM 600 el K, seguido por el P, presenta las mayores tasas de translocación de nutrientes de las hojas al tallo antes de la defoliación, mientras el Ca es considerado inmóvil. El Ca y el N son los nutrientes que regresan en mayor cantidad al suelo con la caída de hojas. El K es el nutriente más extraído en el látex (5 g/kg), en una cantidad superior a la que regresa al suelo en las hojas caídas. Estos autores estimaron que una dosis de 135 kg de K₂O/ha-año puede evitar el agotamiento del K en el suelo. Bataglia et al. (1999) hallaron un efecto lineal de la fertilización con K sobre la circunferencia del tallo en árboles del clon RRIM 600, lo cual disminuye la duración de la etapa improductiva de los árboles de 86 a 78 meses, y pasa de 0 a 120 kg/ha de K₂O; esto, teniendo en cuenta que la plantación entra en etapa productiva cuando más del 50% de los árboles superan un perímetro de 45 cm a 1,20 de altura. Samarappuli (2003) señala

que la aplicación de K en plantas jóvenes de caucho puede incrementar el crecimiento en un 15% y reducir el periodo improductivo en 12 meses, además de aumentar la producción de látex en 17%-33%. Cheng et al. (2007) estimaron que si no se aplican fertilizantes en una plantación de caucho, los contenidos de P, N, K y Mg se agotarían completamente en 825, 329, 94 y 65 años, respectivamente. Según Murbach et al. (2003), el agotamiento de los nutrientes se debe a la inmovilización en el tallo y la extracción en el látex. La cantidad de nutrientes acumulada (kg/ha/año) en la biomasa del caucho se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Cantidad (kg/ha/año) de N, P, K, CA y Mg acumulada en la biomasa del caucho

Nutriente	kg/ha/año
N	120
P	10
K	50
Ca	60
Mg	20

Fuente: Vrignon-Brenas et al. (2019)

A partir de lo anterior, en suelos con baja saturación de bases y bajo contenido de potasio —como puede presentarse en las zonas productoras de caucho de Antioquia— hay una alta probabilidad de mejorar el crecimiento y el rendimiento de caucho seco con la aplicación de planes de fertilización, formulados a partir de los resultados de análisis de suelos y los niveles de extracción del cultivo, donde el potasio es un elemento clave. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2004), en Malasia las dosis recomendadas de NPK por año, con una población de 450 plantas/ha, son de 110 kg de N/ha, 164 kg P_2O_5 y 281 kg de K_2O /ha.

George et al. (2008) encontraron que el 55% de la actividad de absorción de fósforo de las raíces del caucho se restringe a los primeros 10 cm de suelo, con una disminución gradual de la actividad y un incremento de la profundidad, y tan solo el 6% de la actividad a 90 cm de profundidad. No se observaron cambios significativos en la absorción de fósforo desde la base del tallo hasta 250 cm de este. La concentración de raíces fisiológicas

-gicamente activas en la superficie del suelo sugiere la posibilidad de que ocurra competencia por agua y nutrientes con los cultivos intercalados en sistemas agroforestales con caucho. Por esto, es recomendable definir planes de fertilización que tengan en cuenta al caucho y a las demás especies que componen el sistema de siembra establecido. Además, la aplicación de los fertilizantes debe realizarse de forma superficial, es decir, que la práctica de fertilización “a chuzo” no supere una profundidad de 10 cm. De igual forma, la distribución horizontal uniforme de las raíces activas del caucho en la superficie del suelo sugiere el riesgo potencial de afectar la absorción de agua y nutrientes en plantaciones adultas si se lleva a cabo alguna actividad de arado o pastoreo en las calles del cultivo.

Como parte del diagnóstico del estado nutricional de las plantas, los análisis foliares pueden ser una herramienta útil para determinar el requerimiento de fertilizantes en plantaciones de caucho. La tabla 12 presenta niveles de referencia para la concentración de N, P, K y Mg en hojas de árboles de caucho, con base en la información reportada por Krishnakumar & Potty (1992) y Murbach (1997).

Tabla 12. Niveles de referencia de concentración de N, P, K y Mg en hojas de árboles de caucho

Nutriente	Bajo	Medio	Alto
%N*	<3,00	3,00-3,50	> 3,50
%P*	<0,20	0,20-0,25	>0,25
%K*	<1,00	1,00-1,50	>1,50
%Mg*	<0,20	0,20-0,25	>0,25
%Ca**		0,75-1,10	
%S**		0,12-0,24	
Fe (ppm)**		73-441	
Mn (ppm)**		45-1.034	
Cu (ppm)**		9-19	
Zn (ppm)**		15-51	
B (ppm)**		20-52	

*Krishnakumar y Potty (1992); **Murbach (1997).

Fuente: Elaboración propia

Recomendaciones de nutrición

La fertilización del caucho varía en función de la edad del cultivo. En la tabla 13, se presenta una propuesta de fertilización para cultivos de caucho desde el primer año, con base en los resultados del análisis de suelos. Se recomienda realizar un diagnóstico del contenido de nutrientes en el suelo por lo menos cada dos años.

Las cantidades de fertilizante contenidas en la tabla 13 se tienen que dividir en el total de árboles sembrados por hectárea y aplicarse dentro del área de plateo que se especifica para cada edad. Los fertilizantes DAP, Urea y KCl deben aplicarse incorporados (chuzo) a 30 cm del eje central de la planta y la dosis recomendada puede fraccionarse (dividir la dosis) en dos y cuatro aplicaciones por año, según la disponibilidad de mano de obra y la textura del suelo. Para suelos muy arenosos, es preferible fraccionar la dosis en cuatro aplicaciones, para suelos francos o arcillosos se pueden hacer dos aplicaciones. La cal dolomita se distribuye uniformemente en el área del plato de cada árbol con una aplicación por año al comienzo de la época lluviosa.

En caso de encontrarse desbalances marcados de calcio y magnesio por fuera de los rangos que se muestran en la tabla 13, estos deben corregirse con aplicaciones de fuentes simples de Ca o de Mg, como sulfatos de calcio o sulfatos de magnesio, respectivamente.

Tabla 13. Plan de fertilización para una plantación de caucho de una hectárea desde el primer año después de la siembra

Edad	P (ppm)		Materia orgánica (%)			K (cmol (+)/kg)		Ca; Mg (cmol (+)/kg suelo)		Diámetro de la copa	Área de la copa proyectada al suelo
	<10	>10	<1	1 a 2,5	>2,5	<0,15	>0,15	Ca<2,5 Mg<1,5	Ca>2,5 Mg>1,5		
Año	DAP (18-46-0) (kg/año)*		Urea (46-0-0) (kg/año)*			KCl (0-0-60) (kg/año)*		Cal dolomita (kg/año)*		m	m ² /árbol
1	12	8	26	19	12	18	12	347	156	1,0	0,78
2	26	18	59	43	28	41	28	780	350	1,5	1,76
3	47	31	105	77	50	75	50	1.390	625	2,0	3,14
4	73	49	163	121	78	115	77	2.000	1.000	2,5	4,90
5	105	70	235	174	112	165	110	2.000	1.000	3,0	4,07
6	105	70	235	174	112	165	110	2.000	1.000	3,0	7,07
7	113	75	250	185	120	177	118	2.000	1.000	3,1	7,55
>8	135	90	300	222	143	212	141	2.000	1.000	3,4	9,08

*Las cantidades de fertilizante fueron calculadas por los autores para llevar el nivel del nutriente hasta el rango de suficiencia (tabla 10). Si el nutriente se encuentra dentro del rango de suficiencia, la cantidad de fertilizante por aplicar dependerá del nivel de extracción en el látex e inmovilización en el tallo (tabla 11).

Fuente: Elaboración propia

Síntomas de deficiencias nutricionales

La aparición de síntomas visuales de deficiencias nutricionales es resultado de un desbalance metabólico dentro de la planta. Así, a través de estos síntomas (tabla 14) se puede evaluar la disponibilidad de un nutriente dado y de esta manera evaluar la fertilidad del suelo.

Tabla 14. Síntomas de deficiencias nutricionales

Deficiencia	Síntoma
Nitrógeno	Color verde pálido en hojas y hojas amarillentas. Acentuada reducción del crecimiento. En plantas jóvenes, no ramificadas, color verde pálido en hojas maduras de la base.
Fósforo*	Bronceamiento en el borde las hojas, acentuado en la parte media. Reducción del número de hojas y desarrollo en plantas jóvenes. Disminución de la producción en plantas adultas.
Potasio	Amarillamiento que inicia en la extremidad de la hoja. En plantas jóvenes no ramificadas, los síntomas aparecen en hojas maduras de la base de la ramificación principal.
Magnesio	Clorosis o amarillamiento entre las nervaduras de la hoja. En plantas jóvenes, los síntomas se observan en hojas maduras de la base de la ramificación principal y en plantas adultas, en hojas expuestas totalmente a la luz.
Zinc	Falta de crecimiento de los internudos. Reducción del largo de las hojas con relación al ancho, lámina de la hoja retorcida. Amarillamiento entre las nervaduras secundarias de la hoja. Las yemas detienen su crecimiento formando rosetas de hojas deformadas, con clorosis en las puntas. Poco desarrollo de las plantas
Cobre	Secamiento y deformación de la extremidad superior del margen de la hoja. Defoliación y muerte del punto de crecimiento apical.
Boro	Hojas retorcidas, pequeñas y algunas veces quebradizas. En plantas jóvenes, no ramificadas, los primeros síntomas se observan en la parte superior de estas.

*En plantas adultas ramificadas, los síntomas de deficiencia se deben detectar a través de análisis foliar.

Fuente: Valois et al. (1980)



Capítulo vi.

Sistemas de siembra

Oscar de Jesús Córdoba Gaona

La densidad de plantación es el parámetro más importante para decidir el alcance de la competencia que afecta el crecimiento y el rendimiento en los árboles, dado que la competencia entre árboles de caucho es un efecto del tamaño, el número, la proximidad y la disposición espacial de estos (Wei et al., 2005; Hein et al., 2008; Naji & Sahri, 2012). La densidad estándar para sembrar caucho en Colombia ha sido de 500 árboles por hectárea, independientemente del genotipo o clon de caucho, su crecimiento y características morfológicas, o de los factores ambientales en las regiones productoras. Se supone que esta densidad proporciona el espacio óptimo requerido por el árbol de caucho maduro para toda la vida útil y se espera que la competencia dentro de la especie esté en su nivel más favorable, para así producir el mayor rendimiento de caucho seco por hectárea (Pathriratna, 2006). Sin embargo, hay que considerar que, además de la densidad de siembra, los sistemas de siembra modifican la competencia dentro de la especie, debido a la disposición o distribución de los árboles en campo. Esto puede tener un efecto en el crecimiento y en el rendimiento del cultivo, particularmente después del comienzo de la etapa productiva, en el inicio de la extracción de látex.

Densidad de siembra

El espacio juega un papel importante en el desarrollo óptimo del árbol; el tamaño y la distribución espacial del dosel están relacionados con la cantidad de luz capturada por las hojas, y esa relación se utiliza para medir la productividad en las plantaciones respecto a la proporción de energía luminosa convertida en biomasa vegetal. Por lo tanto, es importante estudiar las densidades de plantación para lograr un crecimiento óptimo de los árboles y utilizar un sitio para la producción máxima de biomasa

de madera (Naji & Sahri, 2012). Por lo anterior, la eficiencia espacial y temporal del crecimiento de las plantas determina la productividad general de las plantaciones de caucho; el crecimiento y el rendimiento están fuertemente influenciados por la densidad de plantación, por lo que comprender sus efectos en las características individuales de los árboles es un paso importante para optimizar la densidad de siembra, adoptar combinaciones de cultivos adecuadas y aumentar el valor y la utilización de productos forestales (látex) de los bosques de plantación (caucho) (Rodrigo, 2007; Hein et al., 2008; Dey & Datta, 2013).

La densidad óptima de siembra varía con el tipo de clon, la oferta ambiental (clima) y las condiciones del terreno (edáficas y topográficas) en cada región específica; no obstante, el rendimiento del cultivo de caucho por lo general no varía mucho y se mantiene en un rango bastante amplio de densidades, por lo que se recomienda entre 500 y 600 árboles por hectárea (Heng & Joo, 2017). A continuación, se presentan algunas consideraciones con relación al empleo de altas (> 600 plantas/ha) o bajas (<500 plantas/ha) densidades de siembra:

- El aumento en el potencial de rendimiento del cultivo de caucho proviene principalmente de la habilidad del cultivo para resistir el aumento en la densidad de siembra (Evans & Fischer, 1999).
- En general, el crecimiento en la circunferencia, el grosor de la corteza, el tiempo requerido para la entrada a sangría, así como la producción individual de látex, están directamente relacionados con la distancia entre las plantas (Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural [Embrater], 1983).
- Durante la etapa inicial de los árboles, la densidad de siembra no tiene ningún efecto marcado en la circunferencia del tallo; sin embargo, a medida que se incrementa la competencia entre las plantas, las altas densidades afectan el desarrollo de los árboles (Dey & Datta, 2013).
- Es importante tener en cuenta el costo del material de siembra (*stumps*), la siembra, el mantenimiento durante la fase inmadura y madura, y el costo de aprovechamiento del cultivo (materiales, sangría y procesamiento), los cuales varían en función del número de árboles por hectárea (Pathirratna, 2006).

Altura

Las altas densidades hacen que los árboles crezcan más altos en proporción al diámetro, lo que lleva un periodo de inmadurez más largo y un retraso en el inicio de la producción (Sethuraj & Raghavendra, 1992). Después de ocho años de cultivo y densidades superiores, 600 árboles por hectárea generan un menor porcentaje de árboles listos para la extracción por unidad de área, mientras que en bajas densidades se incrementa el número de árboles aprovechables (Dey & Datta, 2013).

Copa

La densidad de siembra que exceda los 600 árboles/ha afecta de manera negativa la arquitectura del dosel y puede afectar la tasa de crecimiento de los árboles maduros (Sethuraj & Raghavendra, 1992). La plantación en altas densidades induce la formación de una copa (dosel) más estrecha y las plantas desarrollan una corona más compacta y pequeña, en comparación con las plantas en parcelas de menor densidad, debido a la autopoda que afecta la interceptación de la luz (Pathriratna, 2006; Dey & Datta, 2013). Bajo altas densidades, la copa del árbol puede tener una distribución superpuesta del área foliar, lo que está asociado a una menor producción de ramas principales, que en la mayoría de los casos reduce el tamaño del dosel (Sethuraj & Raghavendra, 1992).

Perímetro del tallo

El crecimiento de los árboles después del inicio de la sangría se reduce considerablemente y el crecimiento durante la fase inmadura desempeña el papel más importante en la determinación de sus rendimientos futuros (Webster & Paardekooper, 1989). El crecimiento deficiente de los árboles retrasa el momento de aprovechamiento; en otras palabras, el periodo inmaduro se extiende (Pathriratna, 2006). En bajas densidades, los árboles de caucho crecen más rápido, alcanzan una circunferencia aprovechable temprana y producen más por árbol individual. Por el contrario, el aumento de la densidad de siembra reduce la circunferencia del árbol a lo largo de los años, a tal punto que en altas densidades se presentan árboles no aptos para sangría, por no haber desarrollado una

circunferencia mínima de 50 cm; dichas densidades pueden llegar al 10% de la plantación (Rodrigo et al., 1995; Dey & Datta, 2013).

Asimismo, árboles con menores perímetros o tallos más delgados dan como resultado paneles de sangría más pequeños, una reducción en el grosor de la corteza virgen y renovada, y el número de anillos de látex en la corteza, lo que finalmente reduce el rendimiento (Webster & Paardekooper, 1989). Todos estos son factores determinantes e importantes en el rendimiento, que afectan la producción de gramos por árbol en cada sangría. Debido a estos efectos, el rendimiento por árbol tiende a ser menor, con un mayor número de árboles por unidad de área (Naji & Sahri, 2012).

Rendimiento

El rendimiento por hectárea aumenta con el incremento de la densidad de las plantas durante los años iniciales. Sin embargo, en los años siguientes, el rendimiento disminuye por la competencia entre árboles y la reducción del dosel, que afecta la capacidad de fotosíntesis, la fijación de carbono y la producción de azúcares. Por esto, el rendimiento por árbol en cada sangría se relaciona negativamente con el aumento de la densidad de las plantas, a tal punto que en densidades de siembra superiores a 600 árboles por hectárea, el rendimiento de caucho por área no se incrementa, razón por la cual un mayor número de árboles no está asociado a un mayor rendimiento por área (Brummer, 1992; Rodrigo et al., 1995; Obouayeba et al., 2005; Naji & Sahri, 2012; Dey & Datta, 2013). En cuanto a los aspectos económicos de la siembra de caucho en diferentes densidades, algunos estudios han concluido que el rendimiento acumulado por área aumenta a medida que la densidad de siembra pasa de 200 a 600 árboles ha^{-1} ; sin embargo, por encima de los 600 árboles por hectárea el rendimiento acumulado disminuye y los costos de producción son superiores a los ingresos, por lo que el beneficio económico es negativo (Sethuraj & Raghavendra, 1992).

Sistemas de siembra

La selección del sistema de siembra depende de las condiciones climáticas, la topografía y los recursos disponibles para el establecimiento del cultivo. En el caso del cultivo de caucho, se puede emplear la siembra en monocultivo o en sistemas agroforestales.

Monocultivo

En la mayoría de las plantaciones del sector privado y en algunas de pequeños productores, el caucho generalmente se cultiva como monocultivo. Aquí se utilizan prácticas de manejo sensibles, ya que el objetivo principal es obtener el máximo rendimiento económico de las plantaciones al reducir la fase improductiva y maximizar el rendimiento durante la fase productiva (Prabhakaran Nair, 2010).

Cultivos asociados - sistemas agroforestales

La agroforestería es un sistema dinámico que se basa en el concepto de asociar árboles con cultivos en el mismo terreno, simultánea o secuencialmente, para obtener mayores beneficios, diversidad de ingresos y sostenibilidad para la preservación del medio ambiente (Atangana et al., 2014). En la sección “Sistemas agroforestales” se detallará este tipo de cultivo.

Distribución sobre terreno y arreglos espaciales

Para el establecimiento del cultivo del caucho existen varios sistemas de trazado, siendo el de cuadrado y el de triángulo (tres-bolillo) los más convencionales (Sethuraj & Raghavendra, 1992; Eraso Rosero & Toro Delgado, 2006). Sin embargo, para elegir el sistema de siembra y el arreglo o disposición de los árboles de caucho en el terreno, se recomienda tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El cultivo de caucho requiere un área útil de 19 a 25 m² por cada árbol y el distanciamiento entre plantas no deberá ser menor que 2,5 m (Embrater, 1983; Aguirre & Santoyo, 2013).

- El sistema en triángulo permite establecer un 15% más de árboles por unidad de área, en comparación con el sistema en rectángulo (Dagoon, 2005).
- La siembra en rectángulo difiere de la del triángulo no solo por el número de plantas que pueden ser ubicadas por unidad de área, sino también por la orientación de los árboles. En el sistema en triángulo, la distribución de los árboles es más equidistante, lo que permite un mejor desarrollo de la parte aérea y del sistema radical, así como un menor cruzamiento entre ramas y una menor competencia por luz, agua y nutrientes (figura 22 a-d) (Dagoon, 2005).
- Una de las ventajas de la siembra en rectángulo es que es más simple para implementar y tiene un mayor espacio entre los surcos (calles), lo cual puede permitir la realización de operaciones interculturales con mayor facilidad; sin embargo, en el sistema en triángulo del cultivo de caucho, los espacios entre surcos son lo suficientemente favorables para llevar a cabo las distintas prácticas culturales.
- Para terrenos planos o levemente ondulados, tanto el rectangular como el triangular son sistemas recomendados; mientras que si el terreno es inclinado, se sugiere la siembra en curvas a nivel o en contorno (figura 22 e-f).

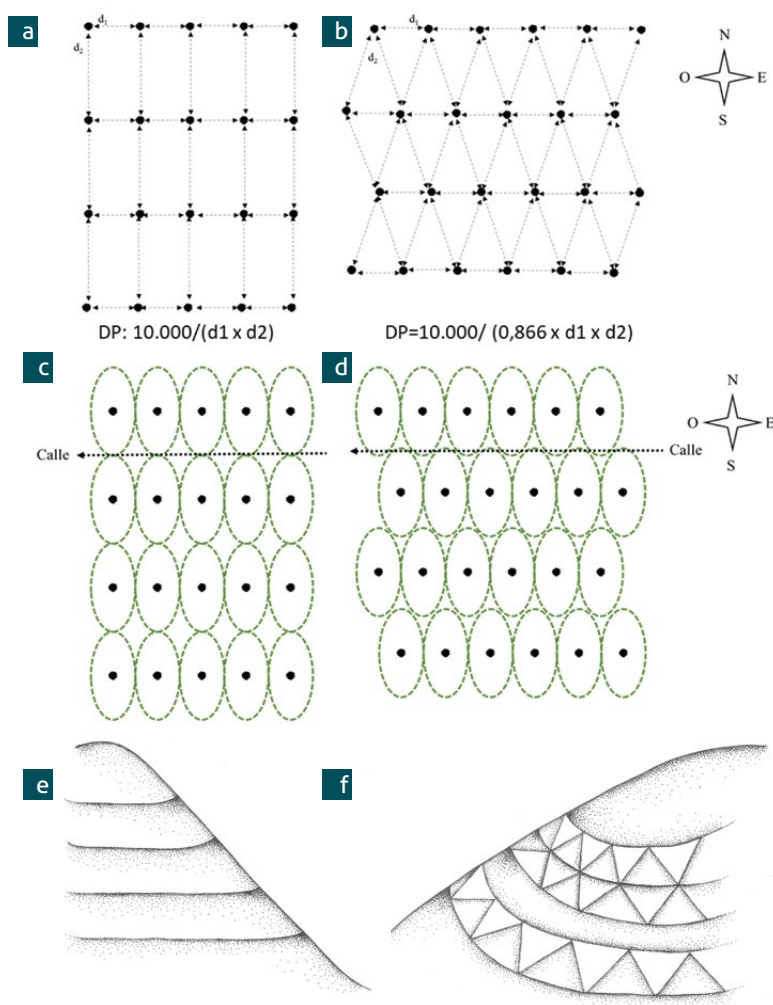


Figura 22.

Sistemas de trazado para el cultivo de caucho en el departamento de Antioquia, Colombia. a. Rectángulo; b. Triángulo; c. Rectángulo; d. Triángulo; e. Curvas a nivel; f. En contorno.

Nota: DP: densidad de plantas; d1 y d2: distancia entre plantas.

Ilustración: Sara Isabel bedoya Ramírez, Oscar de Jesús Córdoba

Arreglos espaciales

El arreglo espacial tiene como objetivo la distribución ordenada de las plantas en el terreno para permitir el mejor aprovechamiento del suelo y de la radiación incidente por el cultivo. Cuando se utilizan distancias superiores a los siete metros entre surcos, se recomienda orientar las líneas

de siembra en el sentido de los vientos dominantes (Golçalves et al., 2011). El sistema de siembra y el arreglo espacial de plantas varía dependiendo del sistema adoptado por el productor; sin embargo, se recomienda que la densidad de siembra esté entre los 500 y 600 árboles por hectárea, lo cual se puede obtener con diferentes arreglos espaciales como los indicados en la tabla 15 y en las figuras 23, 24, 25 y 26.

Tabla 15. Sistemas de siembra y densidades de plantas por hectárea para el establecimiento del cultivo de caucho en el Bajo Cauca antioqueño

Sistema de siembra	Distancia entre surcos (m)	Distancia entre plantas (m)	Densidad en triángulo (plantas/ha)	Densidad en rectángulo (plantas/ha)	Fuente
Surco sencillo					
SS1	6	3	638	555	Aguirre y Santoyo (2013)
SS2	7	2,8	586	510	Candelo Cárdenas et al., (1997); Zuleta et al. (2004); Confederación Cauchera Colombiana (ccc, 2010); Cristancho y Silva (2011); Vásquez Silva y Arroyabe Tobón (2014)
SS3	7	2,5	656	571	Pereira et al. (2001); ccc (2010)
SS4	7	3	547	476	Embrater (1983); Pereira (1992); Pereira et al. (2001); Zuleta et al. (2004)
SS5	8	3	478	416	Pereira (1992); Pereira et al. (2001)
SS6	8	2,5	575	500	Pereira (1992); Pereira et al. (2001)
Surco doble					
SD1	10	4 x 3	486	475	Pereira et al. (2001)
SD2	12	4 x 2,5	580	500	Pereira et al. (2001)
SD3	9	3 x 3	570	550	Escobar-Acevedo et al.(2004)
SD4	10	3 x 3	526	512	Zuleta et al. (2004)
SD5	12	3 x 3	454	444	ccc (2010)
SD6	13	3 x 2,8	460	450	Cristancho y Silva (2011)
SD7	13	3 x 2,5	510	500	Córdoba (2007); Zuleta et al. (2004)
Surco triple					
ST1	20	2,5 x 2,5	350	320	Rodrigo et al. (2004)

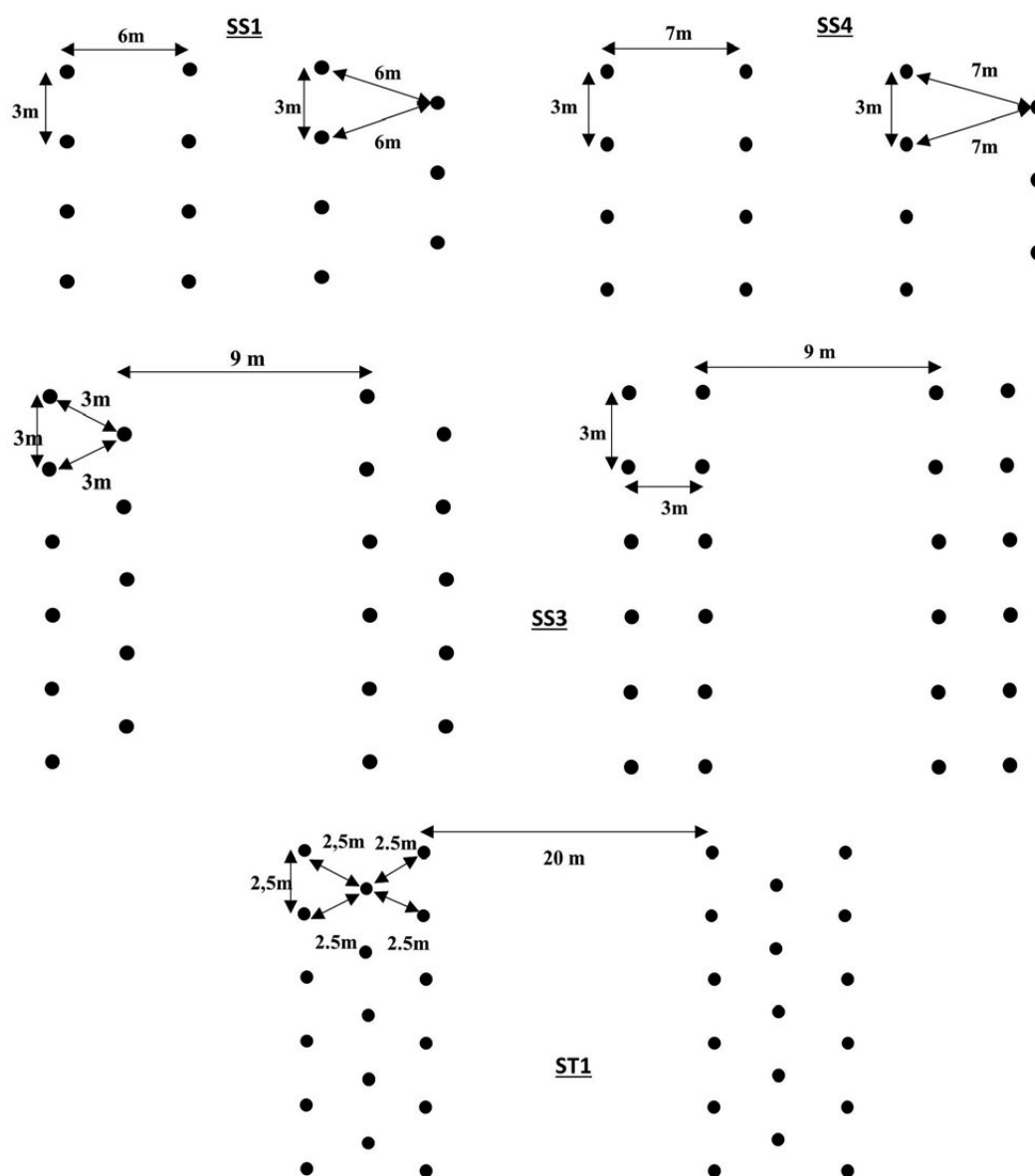


Figura 23.

Arreglos espaciales de los sistemas de siembra para el establecimiento del cultivo de caucho en el Bajo Cauca antioqueño.

Nota: ss: surco sencillo; sd: surco doble; st: surco triple.

Fuente: Elaboración propia



Figura 24.

Sistemas de trazado en surco sencillo para el establecimiento del cultivo de caucho.

Fotos: Oscar de Jesús Córdoba



Figura 25.

Sistemas de trazado en surco doble para el establecimiento del cultivo de caucho en el departamento de Antioquia, Colombia.

Fotos: Oscar de Jesús Córdoba



Figura 26.

Sistemas de trazado en rectángulo para el establecimiento del cultivo de caucho en el departamento de Antioquia, Colombia.

Fotos: Oscar de Jesús Córdoba

Sistemas agroforestales

La agroforestería es un sistema dinámico que se basa en la idea de asociar árboles con cultivos en el mismo terreno simultánea o secuencialmente para obtener mayores beneficios, diversidad de ingresos y sostenibilidad para la preservación del medio ambiente (Atangana et al., 2014). En los primeros años después de la plantación, antes de que se cierre la copa de los árboles, es posible plantar una variedad de cultivos adecuados en los espacios intermedios disponibles en las plantaciones jóvenes, lo que genera ingresos para el productor durante el periodo de inmadurez (de seis a siete años) de los árboles de caucho. Cuando se hace correctamente, los cultivos intercalados mejoran el crecimiento del caucho (Prabhakaran Nair, 2010).

Los sistemas agroforestales deben diseñarse para minimizar la competencia entre cultivos específicos, por lo que el uso de arreglos espaciales facilita una competencia menos específica y mantiene un uso eficiente de los recursos del sistema. Por ser el caucho más alto que la mayoría de los

otros cultivos económicos que se siembran en condiciones similares, el éxito de los cultivos intercalados con caucho de otras especies anuales o bianuales que necesitan del sol depende principalmente de la cantidad de radiación que penetra a través del dosel de los árboles de caucho, el cual es bastante denso por lo general, lo que permite el paso de poca radiación mientras los árboles se desarrollan (Rodrigo et al., 2004). Por lo anterior, las prácticas de cultivos intercalados con caucho se han limitado a la fase inmadura, cuando las plantas de caucho no son lo suficientemente grandes como para capturar todos los recursos disponibles (Rodrigo et al., 2004). Entre las prácticas más importantes del manejo agronómico para considerar durante esta fase, se incluyen el control de las plantas arvenses, el uso de coberturas, la inducción de ramificación, la poda de formación y el adecuado distanciamiento de los cultivos intercalados (Prabhakaran Nair, 2010). Ante esto, la distancia entre los árboles de caucho y los cultivos intercalados debe ser como mínimo de 1,5 a 2m durante los tres primeros años y de 2,5 a 3 m del cuarto año en adelante (Pereira et al., 2001; Prabhakaran Nair, 2010).

La densidad de 500 árboles/ha en un arreglo espacial de surcos sencillos es el sistema que mejor desempeño permite a los árboles de caucho; sin embargo, el cierre del dosel es rápido, lo que resulta en una pobre penetración de la luz después del cuarto año de plantación. Por lo anterior, aunque los sistemas de doble o triple surco proporcionan una mayor área con la adecuada penetración de la luz (sin sombra), el sistema de doble surco es el mejor para cultivos intercalados a largo plazo, pues permite el aprovechamiento de cultivos intercalados, con ciclos anuales o bianuales, y su establecimiento en las calles del cultivo de caucho por un mayor tiempo (Rodrigo et al., 2004; Prabhakaran Nair, 2010). Además, aunque el sistema de surco sencillo presenta un cierre rápido de las calles por el crecimiento del dosel del caucho, estas se pueden aprovechar durante los tres y cuatro primeros años después de establecerse el caucho, para la siembra de cultivos anuales de rápido crecimiento y aprovechamiento, que permitan reducir los costos que genera mantener la plantación de caucho.

A continuación, se presentan algunos sistemas agroforestales (cultivos intercalares) que pueden ser implementados en el cultivo de caucho durante los primeros años del desarrollo en su fase improductiva (Zuleta et al., 2004; Córdoba, 2007; Prabhakaran Nair, 2010).

Modelo agroforestal caucho-maíz

Para este modelo, se muestran los datos de distancias y densidad de siembra en la tabla 16 y un perfil horizontal con diseño en campo en la figura 27.

Tabla 16. Distancia y densidad de siembra para el modelo agroforestal caucho-maíz

Especie	Distancia (m) surco sencillo	Densidad (plantas/ha)	Distancia (m) Surco doble	Densidad (plantas/ha)
Caucho	7 x 2,8	586	13 x 3 x 2,5	510
Maíz	1 x 0,25	22.800	1 x 0,25	23.300

Fuente: Elaboración propia

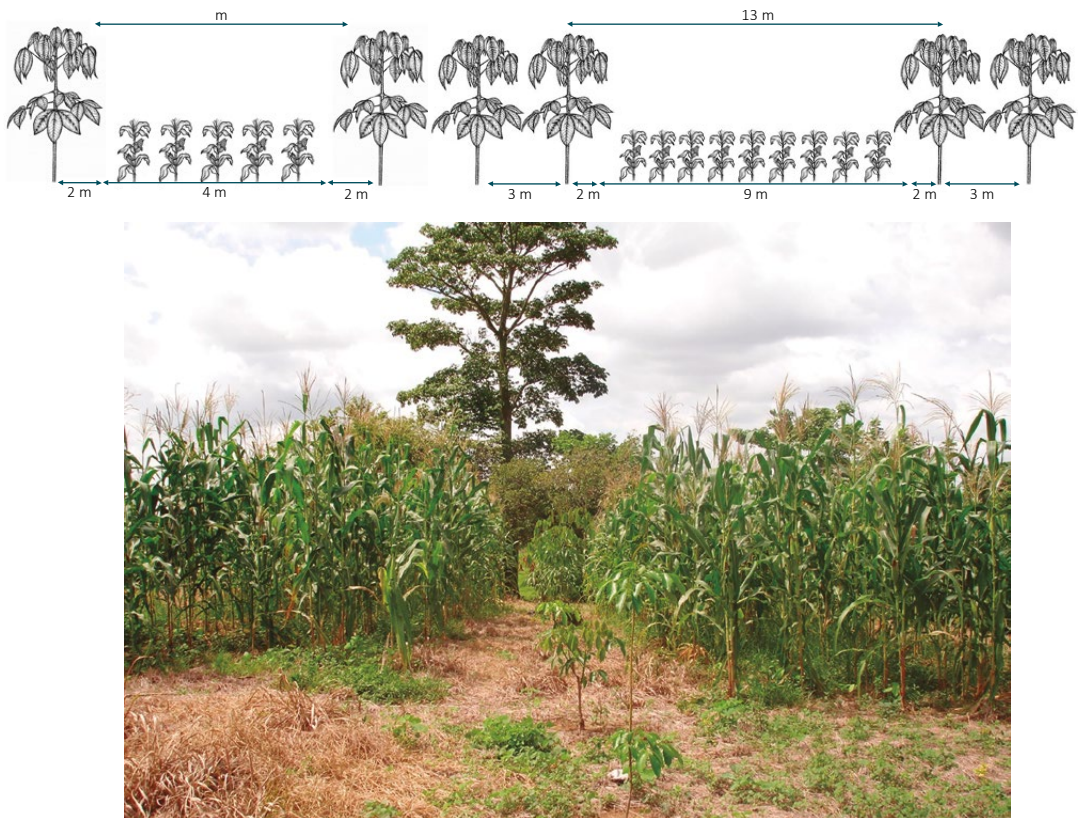


Figura 27.

Diseño modelo agroforestal caucho-maíz para el departamento de Antioquia, Colombia.

Foto: Oscar de Jesús Córdoba
Ilustración: Sara Isabel Bedoya Ramírez

Modelo agroforestal caucho-fríjol Caupí o fríjol común

Para este modelo, se muestran los datos de distancias y densidad de siembra en la tabla 17 y un perfil horizontal con diseño en campo en la figura 28.

Tabla 17. Distancia y densidad de siembra para el modelo agroforestal caucho-fríjol Caupí o fríjol común

Especie	Distancia (m) Surco sencillo	Densidad (plantas/ha)	Distancia (m) surco doble	Densidad (plantas/ha)
Caucho	7 x 2,8	586	13 x 3 x 2,5	510
Fríjol	0,8 x 0,15	48.600	0,8 x 0,15	47.600

Fuente: Elaboración propia

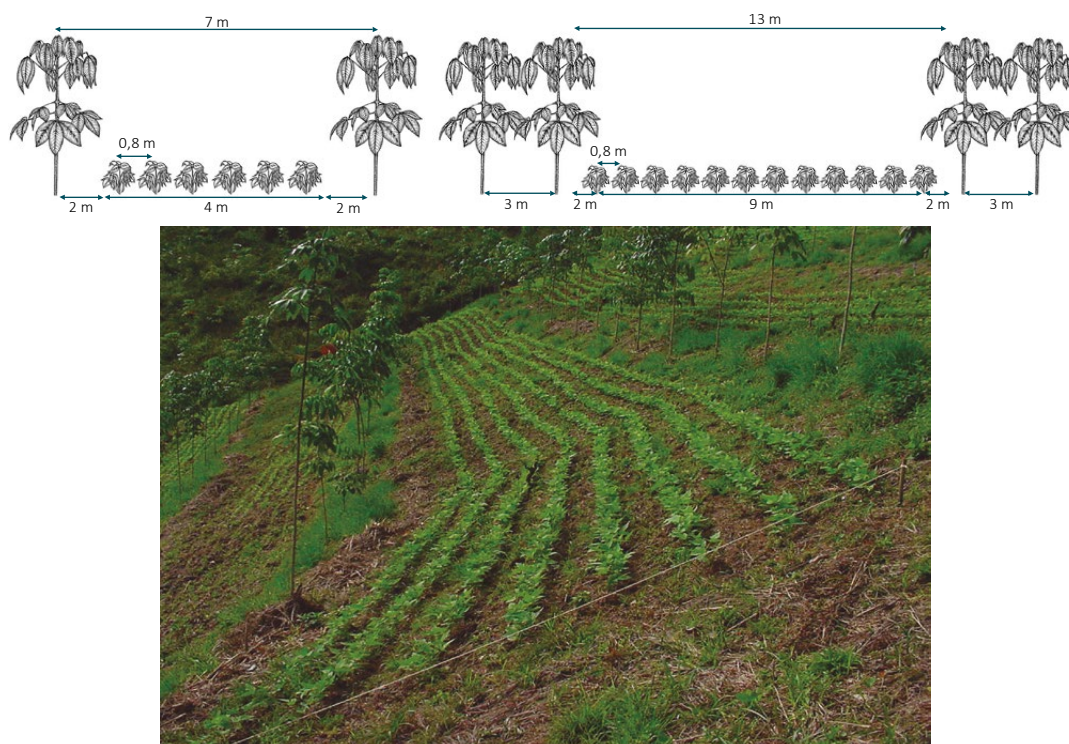


Figura 28.

Diseño modelo agroforestal caucho-fríjol para el departamento de Antioquia, Colombia.

Modelo agroforestal caucho-piña o arroz

Para este modelo, se muestran los datos de distancias y densidad de siembra en la tabla 18, y distancia y densidad de siembra para el modelo agroforestal caucho-piña o arroz y un perfil horizontal con diseño en campo en la figura 29.

Tabla 18. Distancia y densidad de siembra para el modelo agroforestal caucho-piña o arroz

Especie	Distancia (m) surco sencillo	Densidad (plantas/ha)	Distancia (m) surco doble	Densidad (plantas/ha)
Caucho	7 x 2,8	586	13 x 3 x 2,5	510
Arroz	0,8 x 0,15	18.200	0,8 x 0,15	17.890
Piña	0,8 x 0,15	18.200	0,8 x 0,15	17.890

Fuente: Elaboración propia

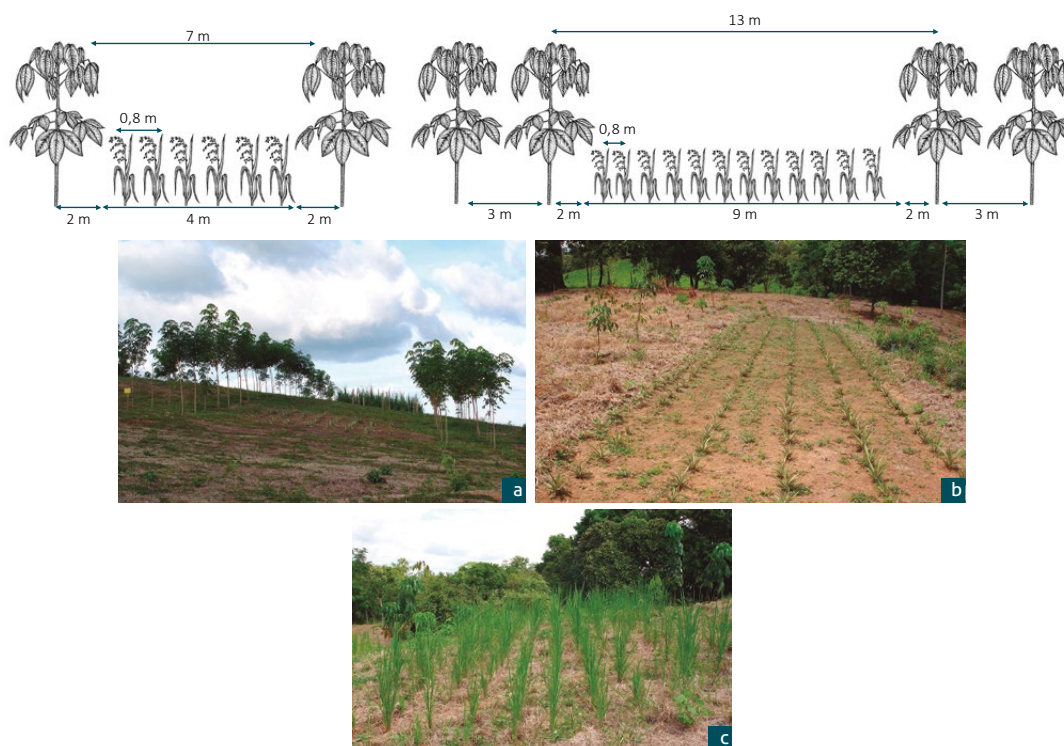


Figura 29.

Diseño modelo agroforestal para el departamento de Antioquia, Colombia.
a. y b. Caucho-piña; c. arroz.

Foto: Oscar de Jesús Córdoba
Ilustración: Sara Isabel Bedoya Ramírez

Modelo agroforestal caucho-maracuyá

Para este modelo, se muestran los datos de distancias y densidad de siembra en la tabla 19 y un perfil horizontal con diseño en campo en la figura 30.

Tabla 19. Distancia y densidad de siembra para el modelo agroforestal caucho-maracuyá

Especie	Distancia (m) surco doble	Densidad (plantas/ha)
Caucho	13 x 3 x 2,5	510
Maracuyá	4 x 3	48

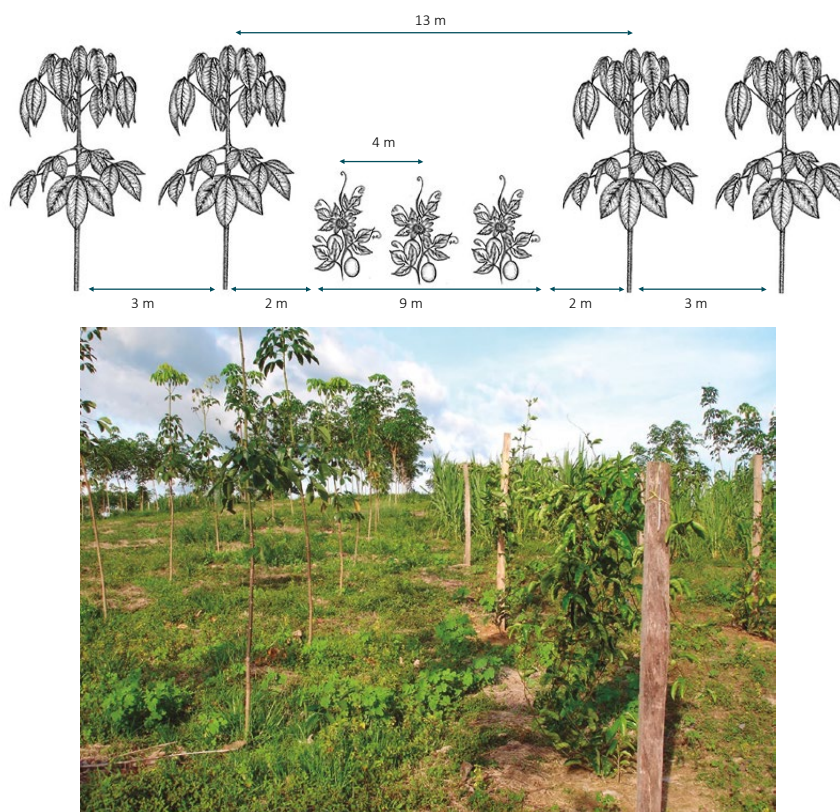


Figura 30.

Diseño modelo agroforestal caucho-maracuyá para el departamento de Antioquia, Colombia.

Modelo agroforestal caucho-pasto de corte

Para este modelo, se muestran los datos de distancias y densidad de siembra en la tabla 20 y un perfil horizontal con diseño en campo en la figura 31.

Tabla 20. Distancia y densidad de siembra para el modelo agroforestal caucho-pasto de corte

Especie	Distancia (m) surco sencillo	Densidad (plantas/ha)	Distancia (m) surco doble	Densidad (plantas/ha)
Caucho	7 x 2,8	586	13 x 3 x 2,5	510
Pasto de corte	Surcos a 0,8 m	0,57 ha	Surcos a 0,8 m	0,58 ha

Fuente: Elaboración Propia

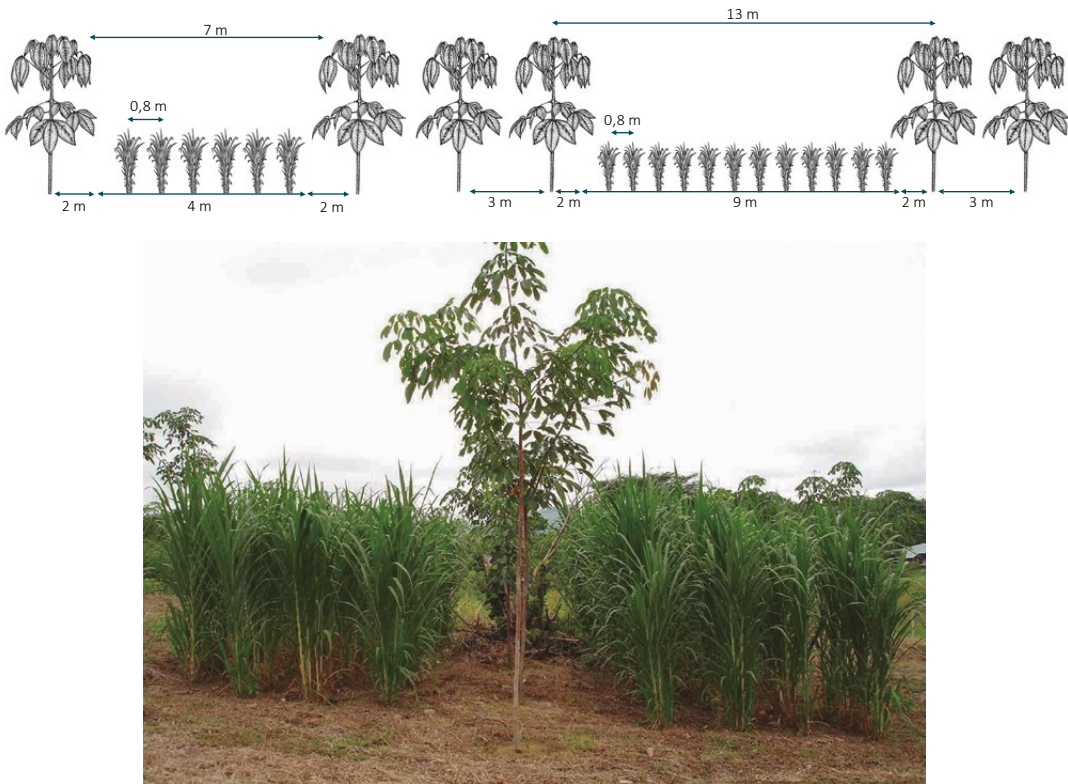


Figura 31.

Diseño modelo agroforestal caucho-pasto de corte para el departamento de Antioquia, Colombia.

Foto: Oscar de Jesús Córdoba
Ilustración: Sara Isabel Bedoya Ramírez

Siembra

La siembra de las plantas (*stumps*) de caucho se realiza en el inicio de la época de lluvias (abril-mayo), con el fin de garantizar una adecuada disponibilidad hídrica que asegure el rápido establecimiento y un adecuado desarrollo del sistema radical de las plántulas en campo. Para lograr el máximo prendimiento en campo cuando se utilizan plántulas en bolsa y con el injerto desarrollado, se recomienda que las plantas sean trasplantadas cuando el último flujo de crecimiento foliar esté en estado maduro (D). Es importante evitar el trasplante de plantas con flujos de hojas en estados inmaduros (A, B y C) (Pereira et al., 2001).

Resiembra

La resiembra es una práctica de gran importancia que tiene como finalidad garantizar una plantación uniforme y una densidad de árboles ideal (Embrater, 1983; Golçalves et al., 2011). Consiste en el reemplazo de plántulas muertas, con crecimiento irregular y con poco desarrollo, debido a problemas fisiológicos de incompatibilidad entre la copa y el patrón, así como limitantes de orden biótico (plagas y enfermedades) y abióticos (agua, temperatura, suelo, entre otros). La resiembra se debe realizar en la época lluviosa siguiente a la época de siembra, sin que haya transcurrido más de un año desde el establecimiento, y se recomienda cuando el mínimo de plantas por sustituir o reemplazar es mayor que el 10% del total de árboles establecidos (Embrater, 1983; Eraso & Toro, 2006). Por lo anterior, es importante que en el momento de la siembra se tenga en cuenta un excedente del 10% del material de siembra adicional como material de reserva, para una posible resiembra (Pereira & Carmo, 1985). Para esto, el tipo de material más recomendado es el *stump* en bolsa, por su fácil manipulación, que permite seleccionar plántulas en estados de desarrollo similares a las que se encuentran en campo, y así garantizar la uniformidad de la plantación.



Capítulo VII.

Prácticas culturales: poda y manejo de plantas arvenses

Oscar de Jesús Córdoba Gaona

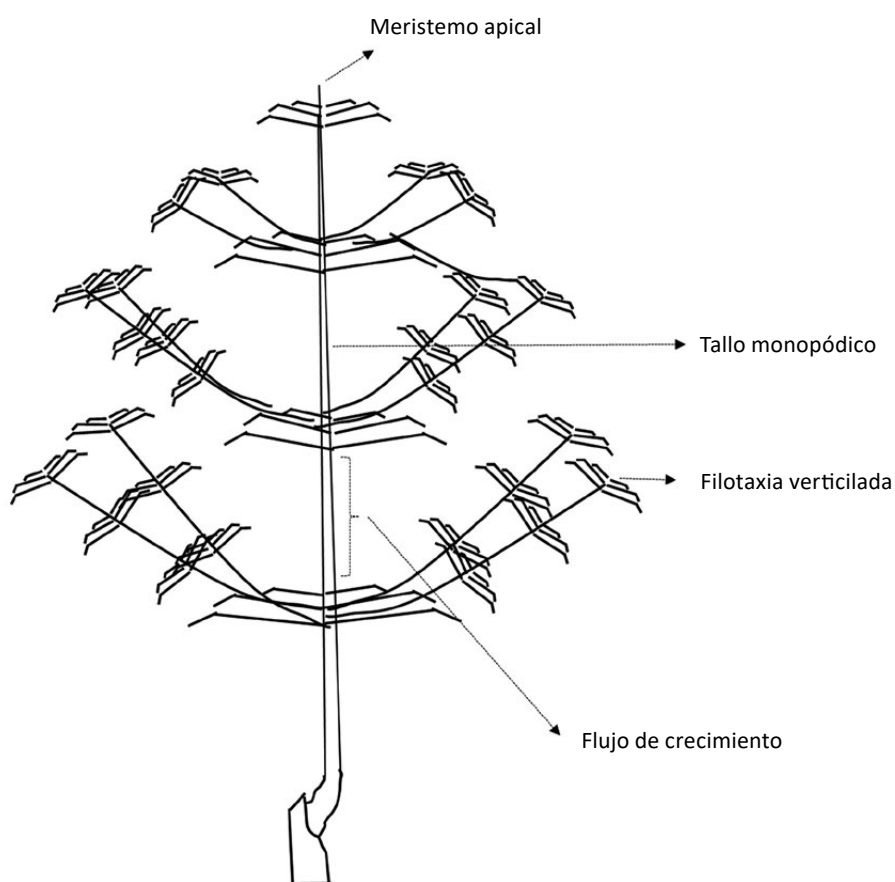
Poda

El interés en la poda de árboles de caucho ha aumentado considerablemente en los últimos años, debido a la necesidad de buscar alternativas que reduzcan el periodo improductivo del cultivo. Entre los factores principales del sistema aéreo del árbol, que tienen importancia en la producción, está el crecimiento del perímetro del tallo y la estructura de su ramificación, la cual tiene una relación directa con la resistencia que ofrezca la copa a la ruptura por el viento. La poda se define como el conjunto de prácticas que conducen a la intervención del dosel para alterar el desarrollo vegetativo natural, controlar la producción, el vigor y la sanidad del árbol (Casagrande Pereira et al., 2019). La poda busca balancear el crecimiento vegetativo con la producción, en la búsqueda de un equilibrio fisiológico, lo que resulta en un mayor y prolongado rendimiento. Es por esto que el potencial de un árbol está determinado por su arquitectura particular (forma), y se destacan aquellos árboles que forman un solo tallo o los que desarrollan ramificaciones (Fischer, 2005). En el caso del caucho, dependiendo del enfoque del manejo, se pueden encontrar árboles de libre crecimiento, donde se induce la formación de un fuste principal o, en otros casos, árboles con inducción de ramificaciones (poda); sin embargo, lo importante radica en encontrar un balance entre el crecimiento vegetativo y el productivo.

Crecimiento del árbol de caucho

El árbol de caucho presenta un tronco monopódico con un crecimiento rítmico que da origen a flujos de emisión vegetativos y una filotaxia que da a las ramas una disposición verticilada; estas últimas son ortotrópicas y morfológicamente idénticas al tronco (figura 32). El crecimiento

rítmico de los árboles de caucho se caracteriza por alargamientos periódicos rápidos, en promedio de 40 días en plantas jóvenes, seguidos de un periodo de inactividad. Cada porción de tallo entre dos fases de descanso se llama unidad o flujo de crecimiento (FC), y cada FC puede identificarse con la existencia de marcadores morfológicos, como cicatrices asimétricas de hojas distribuidas alternativamente a lo largo de los ejes aéreos (Hallé et al., 1978). En plantas adultas, la parte aérea crece de forma similar a través de un crecimiento rítmico; sin embargo, a diferencia de las plantas en estados iniciales del desarrollo, producen entre cuatro o cinco flujos de hojas por año (Kositsup et al., 2010).

**Figura 32.**

Patrón del crecimiento del árbol de caucho.

Fisiología de la poda

La poda de los árboles produce, entre otros efectos, cambios en la distribución y cantidad de las reservas, debido a la reducción en el volumen de la copa, la remoción del área foliar y la formación de nuevos vertederos. Estos efectos, dependiendo de la frecuencia e intensidad de la poda, pueden permanecer incluso por varios años. La poda, como cualquier otro tipo de estrés, induce la hidrólisis de reservas y la acumulación de ciertos metabolitos. Lo que está claro es que podar significa manejar las reservas de los árboles (Clair-Maczulaitys et al., 1999). El patrón de visualización de las hojas a lo largo del tiempo y el espacio también impulsa las reglas de asignación de biomasa entre las hojas fotosintéticas y los componentes estructurales para soportarlas mecánicamente y en términos de transporte de agua y nutrientes; por esto, una mejor comprensión de la respuesta fisiológica de los árboles de caucho a dichos cambios en el medio ambiente ayudaría a predecir la producción potencial y el riesgo que enfrentan los agricultores en estas nuevas áreas. Entre los rasgos fisiológicos relevantes, la capacidad fotosintética de las hojas es de gran importancia, ya que determina la asimilación de carbono y, por lo tanto, la productividad primaria (Kositsup et al., 2010).

Factores que afectan las características del dosel del árbol de caucho

Dentro de las respuestas conocidas de los árboles al entorno, que implican cambios en los patrones de crecimiento, se incluye la modificación de la relación altura-diámetro y la modificación del radio y la altura relativas del dosel (Harja et al., 2012). Se han identificado varios factores que afectan la variación de la relación altura-diámetro del tallo dentro de las especies, las cuales se resumen a continuación: 1) diferencias genéticas entre cultivares: algunos clones ramifican de forma más temprana que otros; 2) competencia por luz: el vecino-fisiológico tiene un efecto directo, ya que la luz emitida por este proporciona una alerta temprana de sombreado y desencadena el cambio en el patrón de crecimiento (respuesta característica para evitar la sombra), lo que lleva a un incremento en altura; 3) la estabilidad del crecimiento en altura para un rango de densidad de siembra afecta el crecimiento en diámetro más

que el crecimiento en altura. A mayores densidades la altura de la planta se incrementa y el perímetro del tallo disminuye; 4) la fertilidad del sitio (altura/edad), la cual tiene una correlación positiva con la esbeltez (relación altura-diámetro de tallo); 5) exposición al viento, donde la relación altura-diámetro de tallo también se ha relacionado con los regímenes de vientos locales, y 6) topografía, variaciones en la altura y forma debido al anclaje más exigente o la tensión desarrollada por el árbol para compensar diferentes grados de inclinación.

Tipos de poda

En el cultivo de caucho se realizan diversos tipos de poda, con el fin de permitir un mejor crecimiento y desarrollo de los árboles. Estos se detallan a continuación.

Poda de chupones y ramas laterales

Los brotes o las ramificaciones laterales pueden desarrollarse a partir del tocón del patrón o del tallo del injerto, durante los dos primeros años de la plantación o hasta que la planta adquiera una altura entre 1,7 m y 2 m. Estos brotes no son deseados y compiten por reservas con el injerto, lo que retrasa el desarrollo del árbol de caucho en altura y crecimiento radial (diámetro). La poda de ramas laterales busca garantizar que el tallo principal sea recto, como resultado de la poda oportuna de brotes, y así obtener un único tallo de longitud deseable para el aprovechamiento (sangría) en la etapa productiva (Delabarre & Benigno, 1994; Pereira & Calvalho Pereira, 2001; Heng & Joo, 2017).

La poda de chupones y ramas laterales se tiene que hacer en cinco momentos o estadios del desarrollo de las plantas de caucho, de acuerdo con la edad, el clon, el tipo de material de siembra usado (*stump* en bolsa, a raíz desnuda, entre otras) y el manejo de la plantación (Da Paes Pereira & Carmo, 1985; Da Paes Pereira, 1992). Esta práctica se puede hacer gradualmente en intervalos de 2 a 3 meses, pero dado que esta es una labor rápida, también se ha recomendado a intervalos de 6 meses, sin un efecto sobre el crecimiento del árbol. Esta práctica se debe realizar en la época lluviosa y evitar que se lleve a cabo en las épocas secas, ya que puede incrementar el estrés de las plántulas y reducir la sobrevivencia (Heng & Joo, 2017).

Momento 1. Aproximadamente un mes después de la siembra en sitio definitivo (campo) se remueven todos los brotes originados a partir del portainjerto (patrón) y en el caso de que se presente la formación de múltiples brotes en el injerto (parche), hay que dejar solamente el brote más vigoroso de este (figura 33).

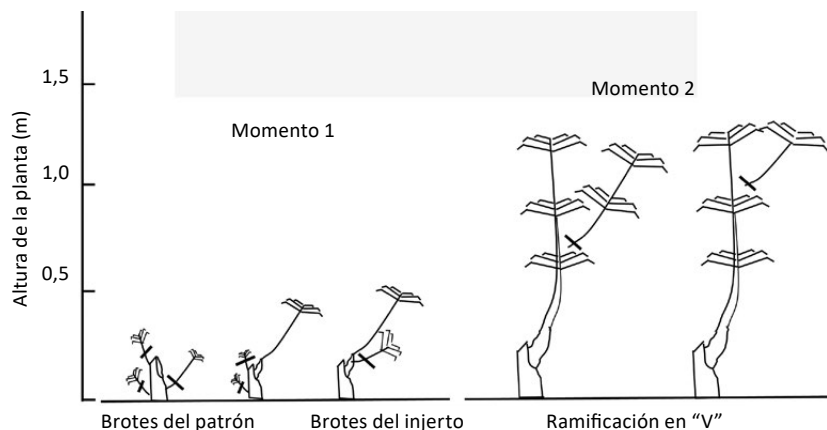


Figura 33.

Poda de brotes laterales en los momentos 1 y 2 del desarrollo de la planta de caucho.

Ilustración: Oscar de Jesús Córdoba

Fuente: Elaboración propia, a partir de Da Paes Pereira & Carmo (1985)

Momento 2. En plantas con dos o tres flujos de crecimiento o lanzamientos (de 3 a 4 meses de edad), se eliminan los brotes laterales, los cuales se producen entre el primer y segundo flujo de crecimiento. En este estadio del desarrollo, se pueden presentar tres situaciones:

- Ramificación en V (figura 33) y ramas laterales opuestas (figura 34a) con un desarrollo superior al eje principal (ápice). En este caso, se recomienda podar las ramas o brotes emitidos por debajo del ápice de crecimiento.
- Muerte del brote terminal con el desarrollo de múltiples brotes. En esta situación se recomienda dejar el brote más vigoroso para garantizar el crecimiento vertical del tallo, y eliminar el resto de las ramificaciones laterales (figura 34b).

- Formación de múltiples brotes con inhibición del crecimiento del brote apical. Se recomienda dejar el brote más vigoroso en reemplazo del brote principal. En caso de que se decida eliminar todos los brotes laterales y conservar el ápice primario, el crecimiento del árbol se puede ver afectado (figura 34c).

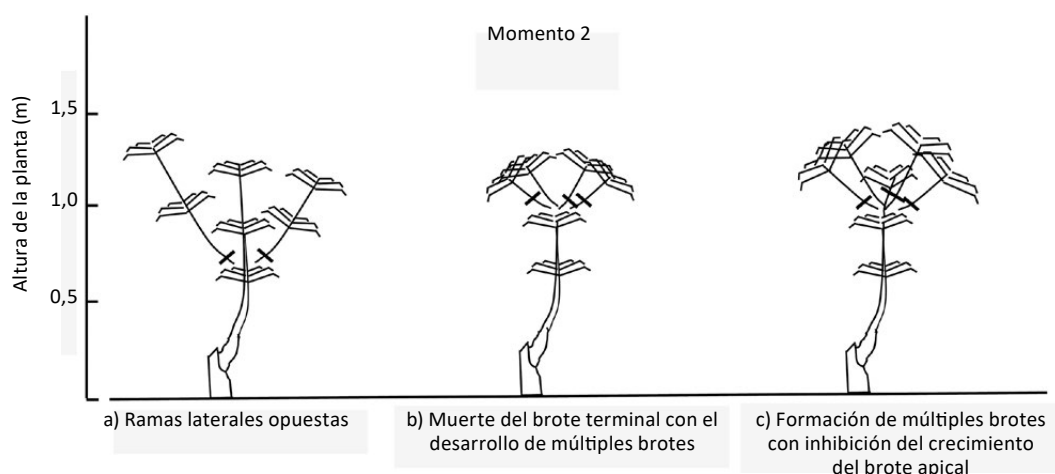


Figura 34.

Poda de brotes laterales en el momento 2 del desarrollo de la planta de caucho. a. Ramas laterales; b. Muerte del brote terminal con el desarrollo de múltiples brotes; c. Formación de múltiples brotes con inhibición del crecimiento del brote apical

Ilustración: Oscar de Jesús Córdoba

Fuente: Elaboración propia, a partir de Da Paes Pereira & Carmo (1985)

Momento 3. Plantas con cuatro flujos o lanzamientos (de 5 a 6 meses de edad). Los brotes laterales que se presenten entre 0,5 y 1,0 m se podan cuando cada rebrote haya alcanzado un desarrollo correspondiente a la emisión de tres flujos de crecimiento (figura 35a).

Momento 4. Plantas entre 7 y 8 meses de edad (5 flujos de crecimiento).

Momento 5. Plantas entre 9 y 10 meses (> 5 flujos). Se recomienda eliminar las ramificaciones laterales cuando estas hayan alcanzado al menos tres flujos de crecimiento, siempre garantizando que en el ápice de la planta se conserven al menos los tres últimos lanzamientos con hojas completamente desarrolladas (de color verde y oscuro) (figura 35 [b y c]).

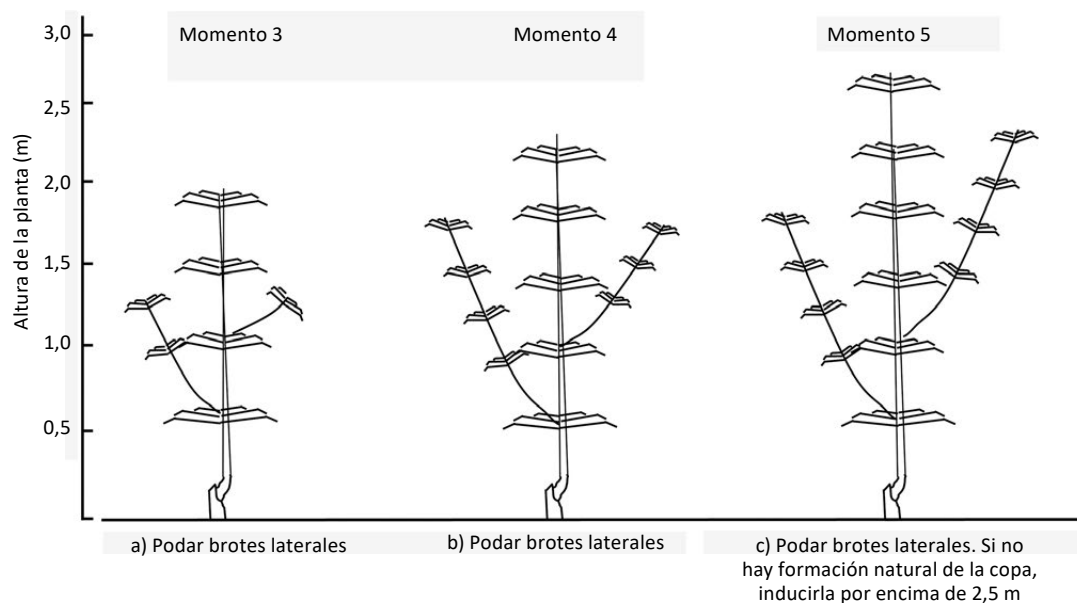


Figura 35.

Poda de brotes laterales en los momentos 3, 4 y 5 del desarrollo de la planta de caucho.

Ilustración: Oscar de Jesús Córdoba

Fuente: Elaboración propia, a partir de Da Paes Pereira & Carmo (1985)

Tanto la poda de chupones basales como la de brotes laterales también son recomendadas en la etapa de vivero, en la cual se deben eliminar todas las ramificaciones laterales que compitan por reservas con el eje principal. Aunque en la fase de vivero la poda apical de las plantas no disminuye el tiempo de formación de los patrones, de acuerdo con Casagrande Pereira et al. (2019), esta práctica es recomendable, ya que la menor altura de las plantas facilita la ejecución de las diferentes prácticas culturales en esta etapa del cultivo.

Poda de inducción (ramificación) para la formación de la copa

La copa en las plantas es importante para el crecimiento y la producción, su eficiencia depende de la actividad fotosintética por unidad de área y de la forma como la radiación es interceptada. En el cultivo de caucho, las características de la copa que están asociadas de forma positiva

con el incremento del perímetro del tallo son el diámetro medio y el ancho, mientras que la altura del suelo a la base de la copa presenta correlación de forma negativa; es decir, copas formadas a mayor altura retrasan el crecimiento radial del tallo. Por ello, en el cultivo de caucho y en los primeros años de la plantación, es importante garantizar un rápido desarrollo del área foliar para maximizar la absorción de luz e incrementar la actividad fotosintética. Esto, con el fin de incrementar la disponibilidad de fotoasimilados y el incremento en el perímetro del tallo (Embrater, 1983; Bernardes, 1989). Por lo anterior, ciertos clones como IAN 873 y RRIM 600 tardan en ramificarse y tienden a crecer muy alto, lo que representa una menor área foliar durante los primeros años (Embrater, 1983; Bernardes, 1989). En este caso, si el árbol ha alcanzado más de 2,8 m de altura y no ha ramificado, se puede forzar la formación de la copa mediante la inducción de ramas en el ápice de crecimiento por varios métodos.

Despunte de hojas

Esta técnica consiste en eliminar de forma parcial las hojas emitidas por el meristemo apical en el último flujo de crecimiento del árbol de caucho. Para ello, según Delabarre & Benigno (1994), es importante tener en cuenta lo siguiente: las hojas del último grupo deben estar maduras (de color verde y oscuro) y la yema apical (meristemo) latente. Si esta condición se presenta, hay que sujetar de 6 a 10 hojas en una mano y cortarlas con una herramienta afilada, dejando los pecíolos unidos al tallo (figura 36). Se dejan entre 5 y 8 hojas maduras para proporcionar los fotoasimilados requeridos por el punto de crecimiento. Aproximadamente dos semanas después de cortar las hojas, nuevos brotes comenzarán a desarrollarse, mientras que los pecíolos restantes se secarán y se volverán amarillos. Cuatro semanas después de cortar las hojas, se podrá observar un rápido desarrollo de los brotes y casi la totalidad de los pétalos de las hojas cortadas se habrán caído. Finalmente, los nuevos brotes estarán bien formados y el brote terminal comenzará a generar un nuevo flujo de crecimiento.



Figura 36.

Representación del despunte de hojas.

Fotos: Albert Gutiérrez Vanegas

Anillado del tallo (simple o doble)

El anillamiento consiste en hacer un corte circular sobre el tallo, el cual puede incluir la remoción o no de parte de la corteza. Esta práctica previene el movimiento basipétalo (descendente) de sustancias endógenas (fotoasimilados), lo que induce un aumento en el crecimiento de las yemas axilares por debajo del sitio de la lesión; de esta manera, es más efectiva en tallos defoliados que en aquellos con hojas (Thomas, 1983).

En el cultivo del caucho, y con el fin de inducir la ramificación y formación de la copa de los árboles, esta técnica se puede aplicar con una navaja de

injertación o con una tijera de anillado, haciendo dos pequeños anillos o cortes circulares de la corteza, para así forzar el brote de ramas laterales (figura 37). El anillado se debe hacer en tallos maduros (color marrón) a una altura de 2,5 m desde la unión con el patrón, lo que incrementa hasta en un 83% de eficiencia en la inducción; mientras que en tallos jóvenes (color verde) la brotación es baja (23%) y puede presentarse la quiebra del tallo principal, lo cual genera un efecto similar a la poda del ápice (Da Paes Pereira & Carmo, 1985). El anillamiento puede ser simple o doble, y este último es más ventajoso, ya que al realizar dos cortes circulares separados a 20 cm se incrementa el número de brotes emitidos y estos tendrán una mejor distribución sobre el tallo, lo que permite una mejor disposición de las ramas y la conformación final de la copa (Da Paes Pereira, 1992).



Figura 37.

Representación del anillado.

Fotos: Albert Gutiérrez Vanegas

Confinamiento del ápice (cobertura)

Junto con la técnica de anillamiento, el confinamiento del ápice es uno de los mejores procedimientos para la inducción de la copa, ya que el ápice principal continúa su crecimiento normal y se genera una arquitectura ideal, es decir, cónica. Esta práctica consiste en cubrir el meristemo apical con las hojas del último flujo de crecimiento para generar una condición de oscuridad y alta humedad en la cercanía de la yema apical, lo que induce el crecimiento de las yemas axilares y la formación de nuevas ramas (Da Paes Pereira & Carmo, 1985).

Dependiendo del estado de desarrollo del meristemo apical, el proceso de confinamiento se realiza de la siguiente manera: 1) si en el último lanzamiento las hojas están maduras (color marrón) y la yema apical presenta un crecimiento inferior a dos centímetros, el confinamiento se debe hacer solamente con las hojas maduras del último lanzamiento; para ello, los peciolo se juntan hacia arriba y las láminas foliares se doblan hacia abajo, amarrándose con bandas elásticas a dos vueltas (figura 38a); 2) si la yema apical presenta un crecimiento superior a los dos centímetros y los folíolos son pequeños, el confinamiento se realiza con tres hojas maduras de otro flujo de crecimiento, las cuales se doblan sobre la yema apical y se amarran con bandas elásticas a dos vueltas (figura 38b). Es importante anotar que el desconfinamiento de las yemas apicales se debe hacer entre los 20 y 30 días luego del amarre, ya que un tiempo superior puede hacer que los brotes laterales emitidos sean más vigorosos en desarrollo que el brote principal, y esto provoca la muerte o el atrofiamiento de este último (Da Paes Pereira & Carmo, 1985; Bernardes, 1989).



Figura 38.

Representación del confinamiento del ápice (cobertura).

Fotos: Oscar de Jesús Córdoba

Poda del ápice

Esta técnica consiste en la eliminación del brote y meristemo apical a través de una herramienta afilada con un corte en bisel, lo que genera la formación de un sinnúmero de ramas laterales debido a la supresión de la dominancia apical, formadas en una misma región del tallo con una débil adherencia. Para garantizar una mejor distribución de las ramas en el tallo, se recomienda realizar el corte por debajo del último conglomerado de hojas del ápice, con el fin de estimular la emisión de las ramas en el transecto del tallo, entre los dos últimos flujos de crecimiento. Esta técnica es bastante efectiva y puede inducir la ramificación hasta en un 94% de los árboles podados; sin embargo, tiene como desventaja la pérdida del crecimiento apical y la formación de una copa con un excesivo número de ramas laterales originadas en un mismo punto, lo cual las vuelve frágiles; esto, además de aumentar el riesgo de daños por el viento (fractura del tronco, caída de ramas y volcamiento de los

árboles; figura 39), hace que requieran podas adicionales para ajustar el número de ramas que finalmente confirmarán el cuerpo del dosel del árbol (Da Paes Pereira, 1992). Cuando un número excesivo de ramas laterales se produce, se recomienda la reorientación de la copa, a través de la eliminación de los brotes superpuestos menos vigorosos, y se dejan solo entre cuatro y cinco ramas, pero bien distribuidas en diferentes posiciones del tallo (Da Paes Pereira, 1992).



Figura 39.

Daño causado por el viento debido a la formación de una copa frágil.

Fotos: Oscar de Jesús Córdoba

Libre crecimiento

Otro punto clave en la conducción de la planta y formación de la arquitectura del dosel es no realizar la inducción de la copa y dejar a libre crecimiento el tallo principal del caucho; esto, de acuerdo con Fischer (2005), influye notablemente en la arquitectura de la planta, lo cual afecta la interceptación de la luz y la inserción de las ramas laterales (figura 40). Autores como Guishui y Yuanfang (2000) o Sterling y Rodríguez (2012) consideran el libre crecimiento como una alternativa de manejo de la plantación, e indican que la inducción de la copa no es adecuada para usarse en árboles de caucho jóvenes, ya que tiene más desventajas que ventajas. En primer lugar, la intención principal de esta medida es mejorar su capacidad contra el viento y promover el crecimiento del tallo, lo que no siempre se logra al aumentar el daño del viento al árbol de caucho por la estructura irracional de las ramas, y acelerar el envejecimiento de la madera; en segundo lugar, se reduce la acumulación de madera y se disminuye el área utilizable para el aprovechamiento del tallo (sangría).

Aunque estos autores indican que la formación libre y espontánea de la copa del árbol de caucho a través el libre crecimiento es lo más recomendado, en la literatura no se evidencian las ventajas de esta práctica; por el contrario, el enfoque es indicar las desventajas de la inducción de copa como menor resistencia al viento, reducción del área efectiva del panel de sangría y menor cantidad de madera aprovechable. Es importante considerar que todo lo expuesto anteriormente puede ser mitigado por una adecuada inducción de la ramificación, al garantizar una longitud adecuada del tronco para el aprovechamiento y la mejor distribución de las ramas que conformarán la nueva arquitectura del dosel.



Figura 40.

Representación gráfica del libre crecimiento.

Fotos: Oscar de Jesús Córdoba

Manejo de plantas arvenses

El establecimiento de plantaciones perennes se considera un proceso de sucesión vegetal, que favorecerá el desarrollo de arvenses, ya que el número casi ilimitado de estas especies puede utilizar recursos considerables, en comparación con alrededor de 500 árboles de caucho por hectárea; por lo tanto, en el manejo de la vegetación, la sucesión se debe orientar hacia el dominio vegetativo de una buena plantación perenne (caucho). Para ello, el requisito condicional para que el caucho se produzca en el menor tiempo posible implica un conjunto de actividades que se deben programar y ejecutar, con el fin de orientar el proceso de sucesión hacia la dominancia de la plantación de caucho. Los problemas de arvenses existen en todas las etapas del cultivo, desde los lotes previos a la siembra, vivero, hasta plantaciones en las etapas improductivas y productivas (Tjitrosernito, 1996). De esta manera, es imperativo abordar este problema y que las estrategias empleadas partan desde el conocimiento de la vegetación asociada, su biología, atributos, etcétera, ya que en algunas ocasiones el manejo se puede dirigir solo a ciertas especies, y así se permite que otras crezcan para ser manipuladas en beneficio de la plantación.

Manejo integrado

El manejo integrado de arvenses (MIA) es una parte de la protección de cultivos y una estrategia basada en la evaluación del proceso de toma de decisiones, con la cual se identifica y evalúa cualquier acción necesaria. El MIA no es un conjunto de reglas rígidas y rápidas, sino de pautas para seguir en las circunstancias particulares y únicas de cualquier lote, predio o finca en particular (Naylor & Drummond, 2002). Además, integra varias prácticas para el manejo de la vegetación asociada al cultivo de caucho, y su implementación se debe basar en tres grandes momentos del cultivo: 1) presembrado; 2) vivero, y 3) plantación (figura 41) (Dilipkumar et al., 2017).

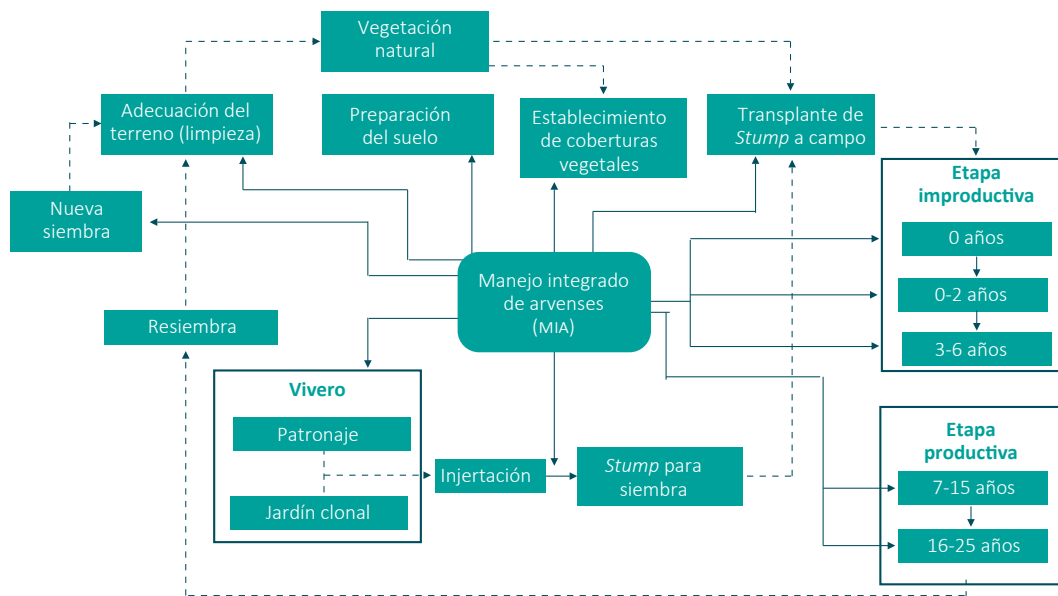


Figura 41.

Etapas del cultivo de caucho que requieren atención para el manejo de la vegetación arvense.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Tjitrosernito (1996)

Para la producción sostenible de caucho, el MIA se puede lograr a través de varios enfoques, entre ellos el químico, el cultural, el mecánico y el biológico, que incluyen herbicidas, desmalezado manual, *mulch*, densidad de siembra, cultivo de especies de cobertura y corte mecánico, dependiendo de la etapa de crecimiento del cultivo. Es importante resaltar que estas medidas de control dependen de factores intrínsecos, como la biología, fisiología, ecología y genética de las arvenses, y extrínsecos, como las condiciones ambientales, socioeconómicas y el sistema de producción del cultivo de caucho (Joseph & Jessy, 2013; Dilipkumar et al., 2017).

Arvenses

El concepto más básico de la ciencia de las malezas está incorporado en la palabra *malezas*; sin embargo, aunque las definiciones son claras, existe un desacuerdo generalizado sobre si una planta en particular y en un lugar específico es una maleza, pues esta es una decisión subjetiva, no objetiva. Es el hombre el que determina cuándo una planta en particular está creciendo en un lugar donde no se desea o cuándo interfiere con sus actividades (cultivo) (Zimdahl, 2018). Hoy en día se emplea el término arvenses o planta arvense (latín *arvensis*) para agrupar a las plantas silvestres que crecen en las áreas de producción agrarias. No obstante, esta palabra ha estado orientada únicamente a evaluar el aspecto nocivo que algunas de estas tienen sobre los cultivos. En consecuencia, la necesidad de recursos que implica el manejo, el control o la erradicación de algunas de ellas ha hecho que el término maleza se aplique indiscriminadamente a la vegetación arvense o a todas las especies silvestres que crecen en las diferentes áreas de producción agraria en el país (Alemán Zeledón et al., 2012).

Competencia

La importancia de las plantas arvenses generalmente es ignorada por los agricultores, debido al limitado apoyo institucional, técnico o financiero, y al conocimiento insuficiente sobre las mejores prácticas, ya que los efectos que estas causan al caucho son difíciles de cuantificar por su larga vida económica (20 a 30 años); además, en muchas ocasiones, los productores no están preocupados por manejar integradamente sus plantaciones (Dilipkumar et al., 2017). Las plantas arvenses se consideran

una de las principales limitaciones biológicas para la producción en los sistemas agrícolas de pequeños productores. Los costos de manejo de plantas arvenses en el caucho pueden representar entre el 24% y el 70% de los costos de mantenimiento del cultivo durante los primeros dos años de plantación, y dependen del tipo de sistema de producción (Joseph & Jessy, 2013; Dilipkumar et al., 2017).

Vivero: en la fase de vivero, las plantas arvenses afectan el desarrollo de los patrones, atrasan el proceso de injertación y comprometen el cronograma de producción de plántulas (*stumps*), lo que tiene como resultado una menor eficiencia en el proceso, plántulas de menor calidad y mayores costos de producción. Además, en el jardín clonal esta vegetación puede afectar el número y la longitud de varetas portayemas, así como el número y la calidad de yemas empleadas en la injertación, lo que puede comprometer el porcentaje de prendimiento de los injertos (Pereira et al., 1999).

Plantación-etapa improductiva: el manejo de la vegetación arvense es más difícil, pero es esencial durante la etapa inmadura de las plantaciones de caucho, ya que hay menos sombra y más espacio en las calles, lo que permite un mayor crecimiento de plantas arvenses (Jayawardana et al., 2019). En condiciones de campo, las plantas arvenses afectan el desarrollo de las plántulas en formación, incluso causan la pérdida de muchas de ellas; esto lleva a realizar resiembras, y además retrasa la entrada a producción e incrementa sus costos. En esta fase del cultivo, la competencia disminuye la eficiencia de la fertilización, aumenta la incidencia de plagas y enfermedades en el tallo, debido al microclima favorable en la zona cercana a la unión patrón/injerto, e incrementa el riesgo de daño mecánico por el control manual cerca de los árboles (Pereira et al., 1999).

El control cultural contempla el empleo de clones de caucho de rápido crecimiento y alto rendimiento, características que inhiben el desarrollo de las arvenses al reducir la penetración de luz por el cierre temprano del dosel entre las plantas individuales. Por lo anterior, el esfuerzo continuo para identificar los mejores materiales de siembra para cada localidad es imperativo y se convierte en una oportunidad significativa de investigación en la región (Dilipkumar et al., 2017).

Sistemas agroforestales: en general, se encuentra una amplia variedad de especies —dependiendo de las condiciones y tradiciones locales— que se pueden implementar con éxito como cultivos intercalados, sin ningún efecto adverso sobre el crecimiento y el rendimiento del caucho (Singh et al., 2014). Entre ellos se tienen los cultivos de maracuyá, piña, arroz seco y maíz, entre otros. Este tipo de cultivos intercalados en la fase inicial tiene efectos beneficiosos sobre el cultivo de caucho, debido a que su manejo agronómico no solo estimula su crecimiento y el rendimiento, sino que también reduce el costo del manejo de arvenses en el cultivo de caucho (Langenberger et al., 2017).

Control mecánico

Se requieren alrededor de 4 a 5 deshierbas manuales durante los dos primeros años del cultivo. El desmalezado manual generalmente se realiza en franjas de 1,5 a 2 m; no obstante, de acuerdo con Guzzo et al. (2014), el ancho de la franja de control influye en el crecimiento inicial de los árboles de caucho, al reducir la altura de la planta, el diámetro del tallo, el área de la hoja y la acumulación de masa seca sobre el suelo. En consecuencia, el ancho crítico de la franja de control de malezas para el establecimiento de una plantación de árboles de caucho debe ser de un metro alrededor de cada árbol (figura 42). Uno de los aspectos para considerar en el control mecánico, bien sea manual o con equipos, es la eficiencia de la práctica. El método manual es laborioso y lento, y dura hasta 160 horas (20 jornales) para el deshierbe de una hectárea, comparado con el control con equipos (guadaña), que requiere aproximadamente 16 horas (2 jornales) por hectárea. Por esto, la eficiencia de tiempo para el control de plantas arvenses con guadaña es 12,5 veces mayor que el método manual (Joseph & Jessy, 2013).



Figura 42.

Plateo a un metro de distancia del árbol de caucho.

Foto: Oscar de Jesús Córdoba

Coberturas

El uso de *mulch*, o residuos de cosecha alrededor de la base del árbol de caucho, es una práctica agronómica efectiva que ha sido recomendada tanto para el control de malezas, como para la conservación del suelo, dado que evita la germinación de semillas, suprime la aparición de plántulas de arvenses, reduce las pérdidas por evaporación y facilita una mayor retención de la humedad del suelo; por lo tanto, ayuda a controlar las fluctuaciones de temperatura del suelo y mejora sus propiedades físicas, químicas y biológicas (figura 43). También reduce la escorrentía, la erosión y la pérdida de nutrientes por lixiviación, particularmente en suelos arenosos (Jayawardana et al., 2019).

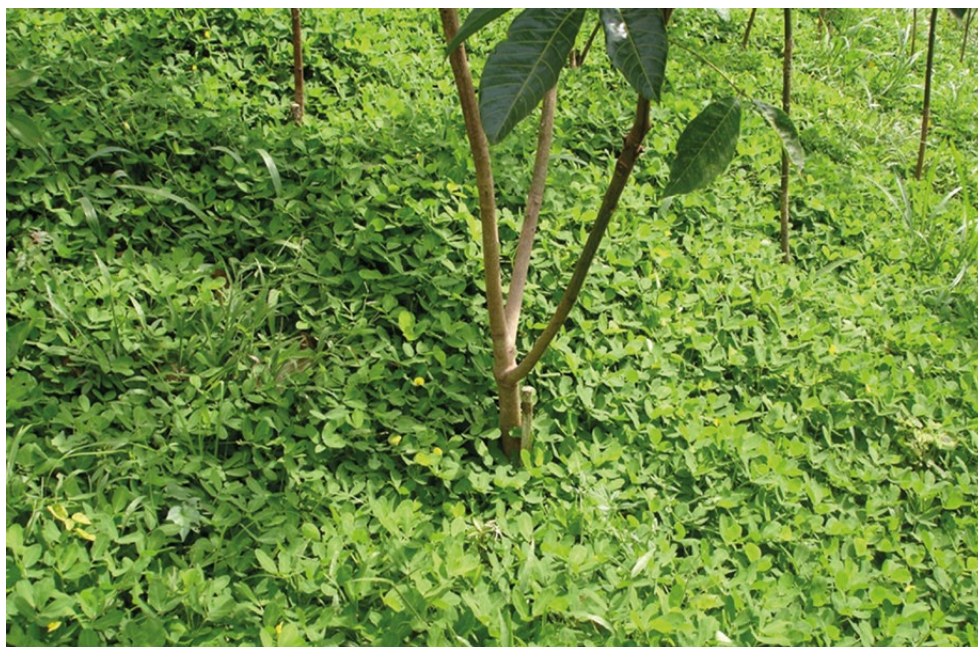


Figura 43.

Uso de coberturas para el manejo de plantas arvenses en el cultivo de caucho.

Foto: Oscar de Jesús Córdoba

Se recomienda el uso de coberturas vivas durante los primeros cinco o seis años de cultivo del caucho, o hasta el periodo de cierre del dosel del árbol, ya que, además de reducir la competencia de la vegetación arvense, las coberturas reducen la erosión, en especial en terrenos montañosos; además, actúan como abonos verdes que proporcionan nutrientes, principalmente nitrógeno. Esto ayuda a aumentar la fertilidad del suelo (Abraham & Joseph, 2015; Langenberger et al., 2017). Asimismo, los residuos de los cultivos de cobertura que se acumulan en la etapa posterior durante la madurez del cultivo contribuyen al incremento de materia orgánica en el suelo o actúan como una medida selectiva de control de arvenses al liberar sustancias aleloquímicas (Jabran et al., 2015; Ismail et al., 2016). Esta práctica permite reducir los efectos nocivos del monocultivo continuo y tener un control total de la biodiversidad floral. Según Abraham & Joseph (2015), al permitir el crecimiento de la flora inferior en las plantaciones de caucho (cinco años después de la siembra), se mejora la calidad del suelo, el estado de la materia orgánica, el nitrógeno total y los nutrientes disponibles como K, Ca y Mg.

Control químico

Con frecuencia, los herbicidas se consideran una forma relativamente directa de garantizar un manejo rápido y rentable de la vegetación arvense en el caucho; sin embargo, no todos los problemas de malezas se resuelven usando herbicidas. La alta dependencia de los herbicidas provoca una intensa presión de selección, lo que conduce a la evolución de la resistencia a los herbicidas en muchas especies. Por esto, se recomienda la rotación de herbicidas y mezclas en tanque para disminuir su probabilidad de ocurrencia, puesto que una mezcla puede ser efectiva para retrasar la resistencia si los herbicidas combinados: 1) afectan la misma hierba objetivo; 2) tienen diferentes sitios de acción objetivo; 3) tienen la misma persistencia, y 4) se degradan de diferente manera. No obstante, no se recomienda mezclar dos herbicidas sin conocer su compatibilidad, ya que pueden actuar de forma aditiva, sinérgica o antagónica (Dilipkumar et al., 2017).

En Colombia, para el control químico de arvenses en el cultivo del caucho y según el Registro Nacional de Plaguicidas Químicos de uso Agrícola, solo existe un herbicida (glifosato) registrado para este cultivo, por lo que antes del uso de cualquier producto químico se recomienda consultar con el personal técnico que tenga conocimiento del tema (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2020a).

Capítulo VIII.

Manejo integrado de plagas



Juliana Andrea Gómez Valderrama

En este capítulo, se suministra información sobre los principales insectos plaga que afectan el cultivo de caucho.

Gusano cachón

Clasificación

- **Nombre científico:** *Erinnyis ello*.
- **Orden:** Lepidoptera.
- **Familia:** Sphingidae.
- **Otros nombres:** gusano cachón, gusano cacho, gusano de la yuca.

Características generales

El gusano cachón *E. ello* es un insecto plaga polífago que se encuentra distribuido en zonas tropicales y subtropicales de América (Bellotti et al., 1999). Puede estar presente en gran variedad de hospederos, los cuales incluyen cultivos de importancia económica como papaya, tabaco, algodón y tomate, aunque sus ataques son frecuentes únicamente en plantaciones de yuca y caucho (Winder, 1976; Arias & Bellotti, 1984; Pratisoli et al., 2002). El ciclo de vida de este insecto comprende los estadios de huevo, larva o gusano, pupa y adulto, y tiene una duración de 32 a 49 días, que depende de las condiciones ambientales como temperatura y humedad (Bellotti & Arias, 1978).

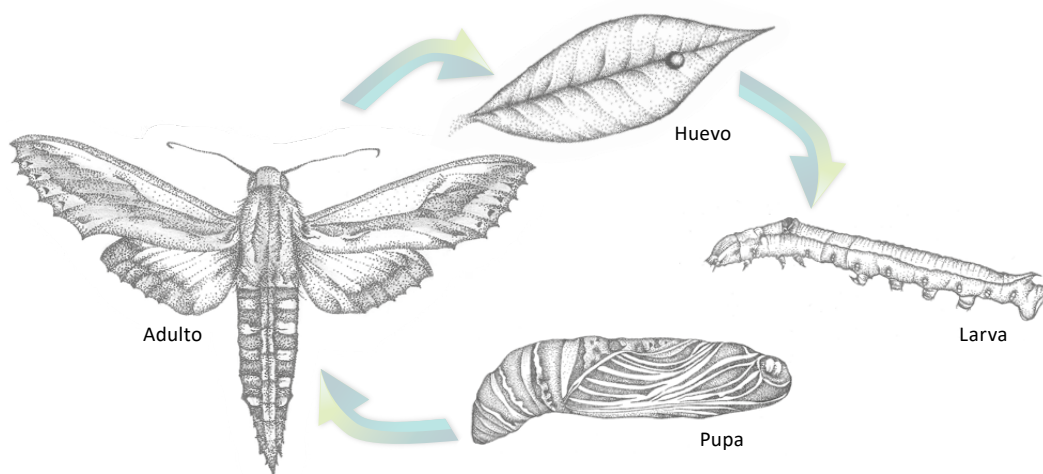


Figura 44.

Ciclo de vida de *E. ello* (Lepidoptera: Sphingidae).

Ilustración: Sara Isabel Bedoya Ramírez

Huevo: la hembra deposita los huevos de manera individual en el haz de las hojas. Son de forma esférica y fácilmente visibles gracias a su gran tamaño (1,0 a 1,5 mm de diámetro). Pueden ser de color blanco-amarillo y se tornan verdosos cuando están próximos a eclosionar, lo cual se da aproximadamente tres días después de la oviposición.

Larva: es el estado del insecto que causa daños económicos en los cultivos debido a su consumo voraz de hojas. Atraviesan cinco ínstares o estados de desarrollo, y se caracterizan por tener una estructura con forma de cuerno o cacho en el último segmento abdominal (de ahí su nombre) (Bellotti & Arias, 1978). Durante su desarrollo pueden tener diferentes coloraciones y alcanzar un tamaño de hasta 10 cm de largo. Esta fase puede durar de 10 a 15 días.

Pupa: es el estado intermedio entre la larva y el adulto del insecto. Cuando la larva finaliza el quinto ínstar se dirige al suelo para formar la pupa de color marrón. El estado de pupa puede durar hasta 15 días (Bellotti & Arias, 1978).

Adulto: son polillas fácilmente visibles por su gran tamaño (hasta 90 mm). Son de color gris con manchas marrones y una franja naranja en la parte posterior de las alas. Gracias a sus hábitos nocturnos, son atraídas por la luz. La fase de adulto dura generalmente de seis a siete días.

Importancia económica

En Colombia, el gusano cachón es considerado la plaga más importante del cultivo del caucho, debido a su alta voracidad, que puede alcanzar hasta 1.000 cm² de superficie foliar; un 75% del consumo ocurre durante el último estadio (Bellotti & Arias, 1978). Las larvas de *E. ello* por lo general buscan como sustrato alimenticio el follaje más joven y en casos de ataques fuertes llegan a consumir hojas de mayor edad, lo que causa defoliaciones totales a los árboles que pueden disminuir la producción de látex en un 30-50% (León M. et al., 2010). La plaga puede generar un impacto económico negativo de gran relevancia en el cultivo de caucho en Colombia, teniendo en cuenta que afecta viveros, jardines clonales y plantaciones (León Martínez et al., 2010). La presencia de la plaga en el cultivo de caucho se da principalmente en época seca y en el momento de refoliación de los árboles.

Origen y situación en Colombia

El género *Erinnyis* sp. se encuentra presente principalmente en la región neotropical y se distribuye en toda América (región sur, centro y norte). Esta amplia distribución geográfica puede ser atribuida a su fuerte capacidad de vuelo, su posibilidad de adaptación a una amplia gama de climas y a los hábitos alimenticios de polifagia de la larva (Winder, 1976). En Colombia, se describió por primera vez en 1950 (Gallego, 1950) y desde ese momento se ha detectado en todas las regiones productoras de yuca y caucho, incluyendo el Bajo Cauca antioqueño, aunque se ha estudiado principalmente en la altillanura y en el Caribe colombiano.

Monitoreo

Una práctica esencial en el momento de tomar decisiones para el manejo del gusano cachón es el monitoreo de la presencia del insecto. Para estimar su población en el cultivo, existen tres metodologías:

- Monitoreo de adultos: aprovechando sus hábitos nocturnos y su atracción por la luz, es posible capturar adultos en vuelo en trampas de luz negra (tipo BL o BLB) (figura 45a). Se recomienda su uso entre las 6:00 p. m. y las 6:00 a. m. (Bellotti & Arias, 1978). Este monitoreo

sirve para realizar de manera oportuna los primeros controles enfocados en los estados inmaduros del insecto (huevos), como es el uso de la avispa *Trichogramma* spp. Cuando se encuentran cinco individuos adultos por trampa se debe iniciar el uso de controladores de estados inmaduros.

- Monitoreo de larvas: diferentes autores proponen estimar la densidad de la plaga mediante conteo de larvas en parcelas que permitan extrapolar al resto de la plantación. En ese sentido, se realiza la revisión del número de larvas presentes en 100 hojas o en 10 a 30 árboles por ha, dependiendo del área de la plantación (figura 45b). Sin embargo, este sistema puede considerarse muy demandante en cuanto a mano de obra y poco práctico dado el tamaño de los árboles, sobre todo en plantaciones con grandes extensiones.
- Monitoreo por daño o porcentaje de defoliación: este se determina observando los árboles y clasificando en una escala de porcentaje de defoliación de 0 %, 20 %, 30 %, 50 % y mayor.



Figura 45.

Formas de monitoreo del gusano cachón *E. ello*. a. Trampas de luz negra para la captura de adultos en campo; b. Conteo de larvas de *E. ello* en plantaciones de caucho.

Una vez realizados los monitoreos, se enfoca el control de la plaga dependiendo de los valores encontrados (tabla 21).

Tabla 21. Niveles de población de *E. ello* y umbrales de acción

Variable medida	Umbral normal	Umbral control biológico	Umbral control químico
N.º de adultos/trampa	≤ 5	5 a 50	≥50
N.º de larvas/100 hojas	≤ 1	2 a 4	≥5
Defoliación (%)	≤ 4	5 a 30	≥30

Fuente: Elaboración propia, a partir de Tapiero et al. (2018)

Medidas de control

Control cultural: este método de control está enfocado en la eliminación de las malezas presentes en todas las áreas de la plantación o sus alrededores, en especial si los árboles coexisten con plantas de la familia *Euphorbiaceae* (como yuca, higuerilla, entre otras) que pueden ser hospederos alternativos del insecto (Alarcón Restrepo et al., 2012).

Como control cultural, también puede establecerse la colecta manual de los diferentes estadios de la plaga a los cuales se tenga acceso, como huevos, larvas o pupas (Bellotti et al., 1999; Martínez G. et al., 2013).

Control químico: se utilizan insecticidas cuyos ingredientes activos corresponden a piretroides, carbamatos, diazoles, organofosforados, benzoylureas, entre otros, que pertenecen a categorías toxicológicas que van desde moderadamente tóxicos (III) hasta extremadamente tóxicos (I) (Martínez G. et al., 2013). Sin embargo, en Colombia, ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) solo existe un insecticida registrado para el control de *E. ello* (principio activo: imidacloprid), según el Registro Nacional de Plaguicidas Químicos de uso Agrícola, actualizado en enero de 2022. En este sentido, es necesario consultar periódicamente este listado, con el fin de conocer nuevos insumos disponibles.

Aunque no se ha reportado resistencia de la plaga a insecticidas químicos, su uso indiscriminado genera impactos ambientales y en la salud humana, por lo que debe restringirse únicamente a situaciones en las cuales no

se logre mantener la plaga por debajo del umbral económico de daño (Bellotti et al., 1989; Martínez G. et al., 2013).

Control biológico: se han identificado más de 40 enemigos naturales que atacan diferentes estadios de la plaga, incluyendo insectos parasitoides y depredadores, y microorganismos entomopatógenos como bacterias, virus y hongos (Bellotti et al., 1992; León et al., 2010).

Dentro de los insectos parasitoides más empleados está la avispa *Trichogramma* spp. que parasita los huevos de la plaga colocando sus huevecillos dentro; de esta manera, se desarrollan nuevas avispas benéficas dentro de los huevos de la plaga, lo cual evita la formación de larvas de *E. ello* (León et al., 2010). Las avispas *Trichogramma* spp. se encuentran fácilmente disponibles a nivel comercial en Colombia en papeletas por pulgadas cuadradas (in²). Se recomienda realizar liberaciones de *Trichogramma* spp. de 50 a 100 pulgadas por hectárea para el control de huevos, con los cuales se logran altos porcentajes de parasitismo de la plaga (León et al., 2010; Tapiero et al., 2018).

Respecto a los microorganismos, aunque a nivel mundial los bioplaguicidas a base de la bacteria entomopatógena *Bacillus thuringiensis* son los únicos productos recomendados, en el mercado colombiano no existe ningún bioinsumo con base en esta bacteria registrado para el control del gusano cachón en el cultivo del caucho. Por el contrario, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) en 2018 registró ante el ICA el primer bioplaguicida a base de un virus entomopatógeno para el control de larvas de este insecto. Su nombre es ERYTEC® y es un polvo mojable (WP) para aplicación foliar, cuyo principio activo corresponde a un granulovirus de *E. ello*, aislamiento VG010 proveniente del departamento del Meta, Colombia (Barrera Cubillos et al., 2014). El producto tiene una concentración mínima de 1×10^9 cuerpos de inclusión*g⁻¹.

ERYTEC® se aplica a una dosis de 100g/ha en el momento de refoliación de los árboles o cuando se manifieste la presencia de larvas o adultos del insecto. Se recomienda hacer seguimiento a la población y repetir la aplicación, si es necesario, cuando los niveles poblacionales sobrepasen el umbral de impacto económico para el cultivo (umbral normal, tabla 21). Debido a que ERYTEC® actúa por ingestión, se debe asegurar el cubrimiento

del follaje para un control eficaz de la plaga. Este producto es compatible con la mayoría de insecticidas, fungicidas, herbicidas y fertilizantes empleados en el cultivo del caucho, y debe ser aplicado en horas de la mañana o en horas de la tarde, evitando la radiación solar intensa.

Se han realizado evaluaciones del bioplaguicida en diferentes condiciones agroecológicas, y se ha obtenido una eficacia para el control de la plaga superior al 80% (Cuartas et al., 2018), siendo un nivel de control adecuado para larvas de este insecto, que por sus hábitos deben ser controladas de manera rápida y con un alto nivel de mortalidad.

Chinche de encaje

Clasificación

- **Nombre científico:** *Leptopharsa hevea* Drake and Poor, 1935.
- **Orden:** Hemiptera.
- **Familia:** Tingidae.
- **Otros nombres:** chinche de encaje.

Características generales

Leptopharsa heveae, conocido como chinche de encaje, es un insecto plaga endémico del cultivo de caucho que se desarrolla en el envés de las hojas y que en grandes infestaciones causa defoliación prematura (Santos et al., 2012).

El ciclo de vida de *L. heveae* es de aproximadamente 40 ± 4 días, dependiendo de la temperatura, y atraviesa por los estadios de huevo, ninfa (con cinco estadios ninfales) y adulto (Cividanes, Fonseca et al., 2004; Cividanes, Fonseca da Silva et al., 2004). La duración de su ciclo hace que se presenten varias generaciones por año (Peraza Arias, 2016).

Huevo: son endófitos, es decir, son colocados en el interior de las hojas de manera longitudinal. Las hembras ponen los huevos individualmente, pero cerca uno del otro, dejando el opérculo (estructura con forma de “tapón”) en la parte inferior de la hoja, el cual a menudo se preserva con

una sustancia protectora. Son prácticamente imposibles de observar a simple vista (Tanzini, 1996).

Ninfas (figura 46a): son la etapa inmadura de los adultos y se diferencian de estos por los órganos sexuales que aún no han alcanzado su madurez, por su menor tamaño y por presentar rudimentos alares mas no alas verdaderas. La chinche de encaje tiene cinco estadios ninfales, y se alimenta del floema de las hojas por succión (Cividanes, Fonseca et al., 2004).

Adultos (figura 46b): individuos alados blanquecinos de 1,35 a 1,50 mm de longitud, que se ubican en el envés de las hojas, donde se alimentan succionando la savia y desintegrando el parénquima. Las alas son membranosas y se caracterizan por la forma de encaje blanco. Las antenas son más largas que el cuerpo (Cividanes, Fonseca et al., 2004).

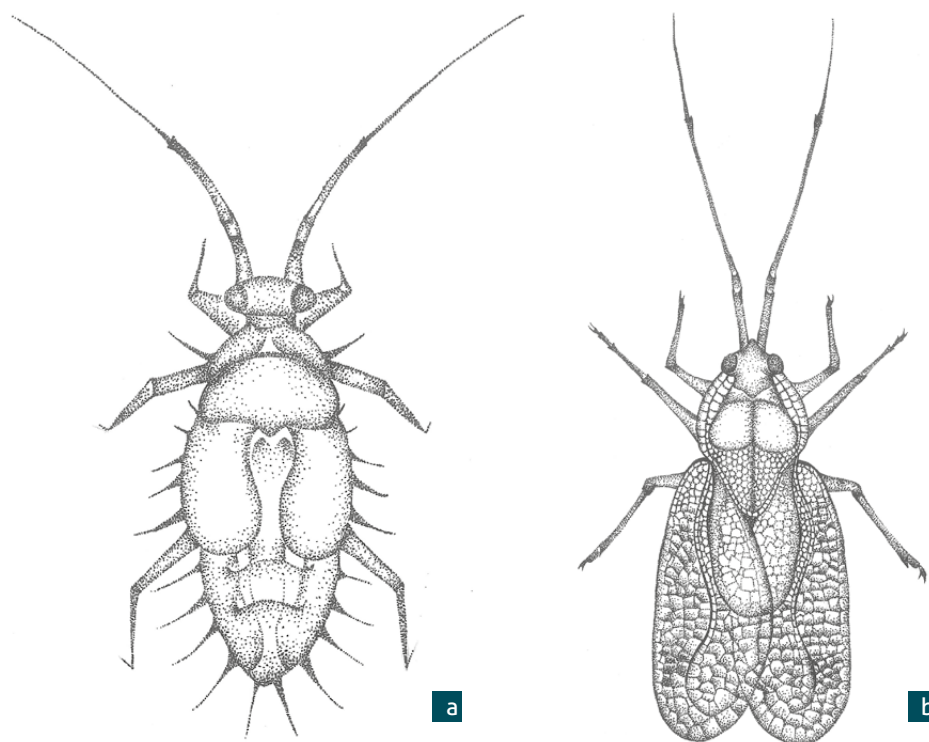


Figura 46.

Chinche de encaje *Leptopharsa heveae*. a. Ninfa de tercer ínstar; b. Adulto.

Ilustración: Sara Isabel Bedoya Ramírez

Importancia económica

Los adultos y ninfas de *L. heveae* viven en colonias, en la cara inferior de las hojas jóvenes y adultas de caucho; succionan la savia y destruyen el tejido foliar, lo que causa problemas en la producción de clorofila y en el metabolismo de la planta (Teixeira Alves et al., 2003). De acuerdo con Naretto Rangel (2000), cuando las hojas son atacadas intensamente, la cara superior queda blanquecina y la cara inferior presenta manchas marrones oscuras (figura 47).



Figura 47.

Daño en las hojas de caucho causado por la succión de adultos y ninfas de la chinche de encaje *Leptopharsa heveae*.

Foto: Juliana Gómez Valderrama

En Brasil se ha logrado estudiar el daño que causa esta especie, y está relacionado con sus hábitos alimenticios, en los cuales desde el estado de ninfa consume el floema y genera defoliaciones tempranas en presencia de altos niveles de la población (Teixeira Alves et al., 2003). También se genera una reducción de la altura de los árboles de caucho en un 27,7% y una disminución del diámetro en un 43,5%, en comparación con árboles sin presencia del insecto. Esta afectación general lleva a una reducción del 30% en la producción de látex y dificulta los procesos de injertación y rayado (Cividanes, Fonseca da Silva et al., 2004; Cividanes, Fonseca et al., 2004). En las regiones donde el caucho renueva el follaje en el periodo más seco y frío del año, la chinche provoca la caída anormal de las hojas, y de esta manera fuerza a la planta a la renovación del follaje en tiempos calientes y húmedos, lo que favorece el ataque epidémico de hongos patógenos que inciden solamente en hojas jóvenes, como el caso de *Pseudocercospora ulei* (Teixeira Alves et al., 2003).

Origen y situación en Colombia

L. heveae fue descrita en 1953 como un insecto endémico de los árboles de caucho nativos de la Amazonia, el cual se dispersó a otras regiones de Brasil, probablemente a través de plántulas infestadas que eran exportadas a todo el país (Val, 1994). En Colombia, también se considera una especie de origen amazónico, donde se mantiene de manera endémica en cauchales nativos (Garzón Cala, 2000); esto la convierte en una amenaza permanente para los nuevos cultivos de caucho. Sterling et al. (2016) determinaron la incidencia y abundancia de *L. heveae* en tres clones de caucho (FDR 5788, FX 4098 e IAN 873), en sistemas de siembra con plátano hartón y copoazú en dos zonas de la Amazonia colombiana (departamento del Caquetá). Los autores establecieron que la presencia de este insecto en el departamento está influenciada por la variación temporal y espacial, así como por el tipo de sistema de siembra.

En 2012, la Confederación Cauchera Colombiana (ccc) emitió la alerta de la posible presencia de poblaciones de la chinche de encaje en el departamento de Guaviare, en una plantación de caucho de cuatro años, la cual fue confirmada posteriormente.

Según el estudio realizado por Peraza Arias (2016) en el departamento del Guaviare, mediante el modelo generado con variables de temperatura y precipitación se considera que la chinche en Colombia tiene como limitante la diferencia entre temperatura en el día y en la noche. Las poblaciones de *L. heveae* se reducen hacia la época seca, lo cual coincide con la época de la defoliación natural de las plantas de noviembre a enero. Asimismo, la mayor densidad de insectos ocurre entre marzo-mayo y agosto-octubre. Estos meses presentan una precipitación entre 200 y 400 mm, una temperatura promedio de $25^{\circ}\text{C} \pm 1$ y un $85\% \pm 2$ de humedad relativa promedio.

De acuerdo con el modelo de distribución en la región del Magdalena Medio, la especie *L. heveae* tiene una probabilidad menor que el 50% de encontrar nichos adecuados para su establecimiento, mientras que en el Bajo Cauca puede alcanzar el 60 % (Peraza Arias, 2016). Aunque no se han reportado poblaciones del chinche de encaje en estas regiones es importante entender sus características ambientales y buscar la forma de controlarlo, ya que existe la posibilidad de migración.

Monitoreo

En la actualidad, los principales métodos de muestreo utilizados son el corte de hojas, que favorece la colecta de ninfas y el uso de red entomológica para la captura de adultos. El monitoreo del nivel poblacional del insecto puede ser hecho semanalmente después de la senescencia de las hojas y quincenalmente después del periodo de lluvias. Según estudios realizados en Brasil, se debe hacer un muestreo sistemático estratificado tomando en cada tercio del árbol cinco hojas de la parte externa y cinco de la parte interna (Cividanes, Fonseca da Silva, 2004). Se propone realizar el muestreo en diez árboles por surco, avanzando desde los bordes hasta el centro del cultivo, con el propósito de definir el número de insectos por hoja en cada planta (tabla 22) (Tanzini, 2002; Fonseca, 2009).

Tabla 22. Niveles de población de *Leptopharsa heveae* en plantaciones de caucho

Categoría	Insectos/hoja
Ningún insecto (0)	0
Bajo (B)	1 a 2
Medio (M)	3 a 4
Alto (A)	5 o más

Fuente: Elaboración propia, a partir de Cividanes, Fonseca da Silva (2004); Peraza Arias (2016)

Siguiendo esta metodología se puede establecer la presencia de focos y orientar de manera más efectiva las prácticas de control (Peraza Arias, 2016); sin embargo, el método es dispendioso y no todos los productores cuentan con los equipos necesarios para este monitoreo. Es importante profundizar en el estudio de otros métodos como trampas de color para captura de chinche o el uso de feromonas, temas que vienen siendo estudiados en la actualidad por AGROSAVIA.

Control

Control químico: de acuerdo con trabajos desarrollados por Tanzini (1996) en Plantaciones E. Michelin (Itiquira, MT), el control de la chinche de encaje fue posible con la utilización de productos químicos como monocrotofós, endosulfán y diafentuiran. La mayor eficacia para el control de adultos de la plaga se dio después de 11 días de la aplicación de monocrotofós y endosulfán, y para ninfas se presentó un efecto letal con todos los productos evaluados. Aunque se hayan obtenido resultados satisfactorios con la aplicación de productos químicos, el elevado número de aplicaciones requeridas para el control de la plaga y el alto costo han inducido a los productores a abandonar los cultivos de caucho (Junqueira et al., 1999). Adicionalmente, es muy importante resaltar que algunas de estas moléculas se encuentran prohibidas en nuestro país, como es el caso del endosulfán, que en 2014 provocó intoxicación en menores y adultos en Antioquia, motivo por el cual se canceló su registro de venta. Es necesario un conocimiento de la plaga y el insecticida por parte del productor antes de la aplicación del producto, ya que además de representar peligro de intoxicación para quien lo maneja y para el medio ambiente, causa problemas de residuos. Los agentes químicos pierden su eficacia algunos días después de la aplicación, lo que hace necesaria una reaplicación.

Además, interfieren con otros cultivos, causan problemas como resistencia de insectos y pueden provocar un desequilibrio ecológico, hecho que favorece el aumento de otras plagas (Freire, 2002). Es por esto que surge la necesidad de trabajar alternativas compatibles con el ambiente y los productores para el control de *L. heveae*, que permitan realizar un manejo fitosanitario adecuado y eficiente del cultivo.

Control biológico: las investigaciones en torno al control de *L. heveae* con microorganismos se han adelantado principalmente en Brasil. El hongo *Sporothrix insectorum* (Hoog & Evans) es un patógeno natural de ninfas y adultos de *L. heveae*, que se encontró en el Amazonas en 1986. El hongo se halló en esta región controlando el 93% de ninfas y el 76% de adultos de la chinche de encaje (Celestinho Filho & Magalhaes, 1986). Según Val (1994), los hongos como *S. insectorum* e *Hirsutella verticillioides* son los enemigos naturales más comunes del insecto. *S. insectorum* fue probado en campo por primera vez en 1987 en cultivos de caucho en el Estado de Amazonas, e introducido en el estado de Mato Grosso posteriormente (hacienda Michelin). De esta manera, alcanzó niveles de eficacia del 99% y se extendió su aplicación a diferentes áreas (Junqueira et al., 1999). Entre 1992 y 1993, antes de la introducción del hongo, la empresa Plantaciones E. Michelin gastó 45.000 dólares en insecticidas para el control de la chinche de encaje. En contraste, al emplear el control biológico, el costo disminuyó a 10.000 dólares y el nivel de la población de insectos descendió a niveles que no ocasionan perjuicios económicos (Val, 1994). En 2003, este hongo fue formulado como un concentrado emulsionable y fue aplicado de manera experimental en cultivos de caucho en Embrapa Cerrados (Teixeira Alves et al., 2003). El control del insecto fue bastante eficiente, con una mortalidad del 99%. El hongo se diseminó por todo el cultivo, incluso en las áreas de control (sin aplicación), lo que provocó la aparición de una epizootia. El mayor índice de mortalidad por el efecto del micoinsecticida ocurrió a partir de la sexta semana después de su aplicación, tiempo durante el cual se observaron chinches infectados por el hongo en todo el cultivo (Teixeira Alves et al., 2003).

Gracias a los resultados exitosos de control de la chinche de encaje, desde 2010 se han tratado más de 15.000 ha de caucho anualmente con este hongo entomopatógeno (Moura Mascarín et al., 2018). Recientemente se ha sugerido que el hongo conocido como *S. insectorum* en realidad

consiste en un complejo de especies identificadas en varios géneros fúngicos como *Lecanicillium*, *Calcarisporium* e *Isaria* (= *Evlachovaea*). Debido a la importancia económica de *L. heveae* en las plantaciones de árboles de caucho en Brasil, es necesario determinar la identidad de esta especie (Moura Mascarín et al., 2018).

Respecto al uso de otros hongos entomopatógenos, cepas de *Beauveria bassiana* causaron una mortalidad que osciló entre el 56% y el 84% tres días después de la aplicación, y cepas de *Metarhizium anisopliae* presentaron una eficacia para el control del insecto mayor que el 90% cuatro días después de la aplicación (Tanzini 2002; Silva, 2007), aunque dichos microorganismos no han sido evaluados en aplicaciones masivas en campo para validar su eficacia.

En Colombia, las experiencias en control biológico de *L. heveae* son escasas. El Centro de Investigación en Caucho (Cenicaucho) propuso a los productores del Guaviare iniciar el control de poblaciones del insecto en los meses relacionados con el incremento de la población, realizando aplicaciones de productos a base de *B. bassiana* y *M. anisopliae*. En el municipio de El Retorno (Guaviare), se evaluó un tratamiento a base de *M. anisopliae*, el cual presentó una eficacia total del 77%, pasando de 5,5 a 1,4 adultos/hoja y de 19,9 a 2,6 ninfas/hoja después de ocho días de aplicación (Peraza Arias, 2016). Sin embargo, estos productos no están registrados ante el ICA para el control de *L. heveae* y es necesario continuar con desarrollos encaminados al aislamiento de hongos nativos con capacidad de controlar el insecto y validar su uso en campo.

Ácaros

Clasificación

Se han reportado aproximadamente 118 especies de ácaros de diferentes familias en árboles de caucho en países como Brasil (Deus et al., 2012). Las dos superfamilias de ácaros fitófagos más importantes en el cultivo del caucho son Eriphyidae y Tetranychidae, por el daño económico que causan. En Colombia, hay muy pocos estudios enfocados en la identificación de ácaros; sin embargo, las siguientes especies (tabla 23) se consideran las prevalentes en algunas zonas caucheras del país.

Tabla 23. Especies de ácaros prevalentes en algunas zonas del país

Nombre científico	Orden	Familia	Otros nombres
<i>Oligonychus gossypii</i>	Acariformes	Tetranychidae	Ácaro rojo del algodón
<i>Tenuipalpus heveae</i>	Trombidiformes	Tenuipalpidae	Ácaro del caucho
<i>Calacarus heveae</i>	Trombidiformes	Eriophyidae	----

Fuente: Elaboración propia

Características generales

Los ácaros son un grupo de artrópodos extremadamente diverso que se ha adaptado con éxito a una amplia gama de hábitats. Son sensibles a las condiciones ambientales y a la alteración del hábitat, lo que puede hacerlos útiles como fauna indicadora, ya que son capaces de permanecer activos en suelos secos. La mayoría de los ácaros prefieren ecosistemas estables y hábitats ricos en materia orgánica (N'Dri et al., 2019).

El ciclo de vida de un ácaro se compone de cuatro fases: huevo, larva, ninfa y adulto con una duración aproximada de 30 días, de los cuales el 60% corresponde a la edad adulta (Hernandes et al., 2016).

Huevos: son muy pequeños, blanquecinos recién puestos y translúcidos después de unas pocas horas. Son redondeados y aplanados, miden aproximadamente 75 µm de diámetro y se adhieren al sustrato, lo que los hace muy difíciles de manejar (Juarez Ferla & De Moraes, 2003).

Larva: la emergencia de las larvas ocurre en la mañana, cuando sube la temperatura. La duración de la etapa de larva es de aproximadamente dos días y tienen una longitud de 90 a 110 µm (Juarez Ferla & De Moraes, 2003).

Ninfas y adultos: las ninfas pueden pasar por diferentes estadios, dependiendo de la especie de ácaro, y se reproducen solo en la fase adulta. Las hembras y los machos se diferencian también en esta fase, principalmente por la forma de su cuerpo. El adulto recién emergido es de color gris brillante, y se convierte en gris opaco con el tiempo. Al principio, se mueve intensamente, pero cuando comienza a alimentarse disminuye el desplazamiento y permanece durante mucho tiempo en un área determinada. Los adultos miden menos de 1mm (figura 48) (Juarez Ferla & De Moraes, 2003).

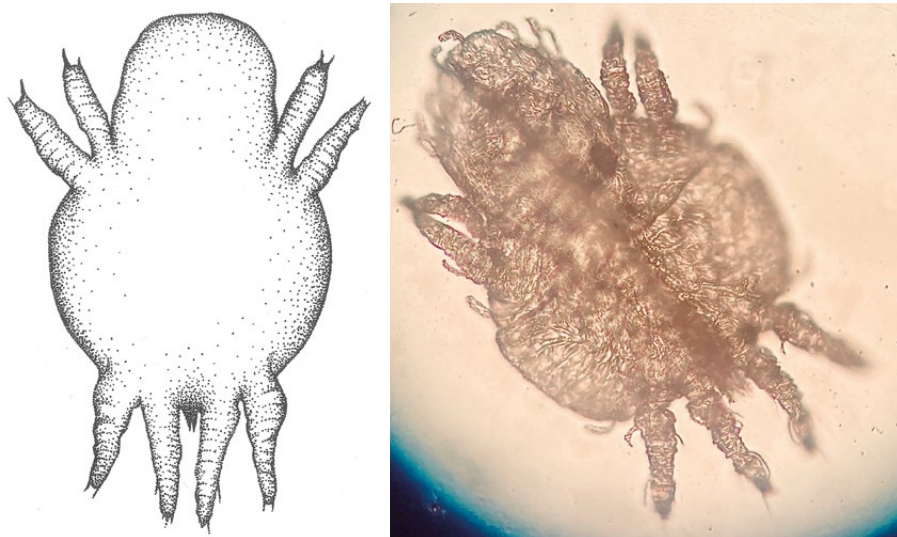


Figura 48.

Adulto del ácaro *Tenuipalpus heveae*.

Ilustración: Sara Isabel Bedoya Ramírez

Foto: Juan Carlos Campos

Importancia económica

El daño ejercido por los ácaros se da en la fase adulta, en la cual con su aparato bucal penetran las hojas y generan una mancha clorótica en cada punto. Incluso cuando se presenta una baja densidad de la población, se produce el cierre de los estomas de la planta; de esta manera, se reduce la fotosíntesis y disminuye la producción (Sierra-Bohórquez, 2015).

En el caso del caucho, los ataques ocurren principalmente en las hojas maduras y por lo general los síntomas aparecen 45 días después de la presencia del pico de población del insecto. Las hojas primero pierden color y brillo, y se vuelven amarillentas. Las altas infestaciones de especies como *C. heveae* pueden causar una caída significativa de las hojas y una consecuente disminución en el rendimiento del látex (Hernandes & Fazzio Feres, 2006; Grosso, 2019). Los síntomas se desarrollan desde el dosel inferior, y ascienden de manera progresiva. La detección de ácaros en el tercio apical indica que posiblemente el árbol tiene afectación en todo el dosel.

Origen y situación en Colombia

Cada especie de ácaro tiene un origen geográfico diferente, aunque se presume que las especies encontradas en Colombia provienen de la zona selvática de la Amazonia. Es posible que *C. heveae* y *T. heveae* hayan alcanzado el estado de plaga después de haber sido introducidas en las regiones del medio oeste y sudeste de Brasil. Alternativamente, podrían haber estado presentes en otras plantas de la familia Euphorbiaceae en esas regiones, desde las cuales se movilizaron árboles de caucho (Zacarias & Moraes, 2002). Aunque no existen muchos estudios en nuestro país, se presume que los ácaros en la actualidad se encuentran distribuidos en casi todos los núcleos productores de caucho, incluyendo el Bajo Cauca antioqueño.

En un estudio realizado por Sierra-Bohórquez (2015), se analizaron las poblaciones de ácaros en cultivos de caucho ubicados en el Vichada. Se pudo concluir que las especies predominantes fueron: familias Tenuipalpidae (*Tenuipalpus heveae*) Baker, Eriophyidae (*Calacarus heveae*) Feres y Tetranychidae (*Oligonychus gossypii*) Zacher. Las especies de las familias Tetranychidae y Eriophyidae se ubican especialmente en el haz de las hojas, mientras que Tenuipalpidae genera el daño en el envés, lo que ocasiona una coloración bronce en el limbo de la hoja. No hubo diferencia en el daño presentado en los clones evaluados, aunque el Clon RRIM 600 exhibió una leve afectación mayor.

Monitoreo

En cuanto al monitoreo, aunque no existe un plan de muestreo definido, se puede sugerir la inspección del 1% de los árboles recolectando seis folíolos en cada uno de ellos. En cada foliolo, se sugiere examinar dos áreas de 1 cm² en la parte superior contando la cantidad de ácaros presentes con la ayuda de una lupa de aumento de 20X. Estudios previos proponen que se puede tolerar un nivel máximo de población de 0,94 ácaros/cm², hasta que se pueda realizar una investigación más detallada para definir los niveles de daño (Vieira, 2019).

Control

Control químico: se han realizado diversos estudios encaminados a generar recomendaciones de control de ácaros en caucho con acaricidas de síntesis química. Se recomiendan especialmente acaricidas como azociclotina, azufre, espiroclorfenol y propargita, los cuales han sido eficientes para el control de *C. heveae*, con una reducción inmediata en los niveles de densidad de población. Entre los acaricidas probados, el espiroclorfenol y la propargita permitieron mantener la población de *C. heveae* por debajo del nivel de daño económico y lograron una reducción de la defoliación (Vieira et al., 2006). Sin embargo, igual que para el caso de los demás insectos estudiados, solo se encuentra un acaricida registrado ante el ICA para su uso en cultivos de caucho, cuyo principio activo es la abamectina.

Resistencia clonal: desde la perspectiva del manejo integrado de plagas, el uso de material resistente debe considerarse una estrategia de control importante, en especial en cultivos donde la disponibilidad de plaguicidas registrados es pequeña, como el caso del caucho. La plantación de variedades resistentes permite el mantenimiento de poblaciones fitófagas en pequeñas densidades sin contaminación ambiental y costos adicionales para el productor (Vieira et al., 2017). Aunque en Colombia no se han realizado estudios al respecto, en Brasil algunos autores han evaluado la presencia de factores de resistencia a *C. heveae* y *T. heveae*, y han registrado clones como GT 1, PB 217, IAC 15, IAC 40, IAC 300, IAN 3156, PB 28/59 e IRCA 111 (Vieira et al., 2017).

El uso de clones resistentes a los ácaros puede reducir el empleo de acaricidas, lo cual favorece los costos de producción y también contribuye a la preservación de la artrópoda benéfica y a la disminución de los riesgos ambientales de contaminación.

Control biológico: dado que no se conoce con certeza un agente de control biológico efectivo para los ácaros plaga del cultivo de caucho, los estudios se han enfocado en la caracterización de ácaros predadores nativos del área de origen de las plagas. Se espera que las plantas hospederas en su entorno natural puedan albergar, además de las especies fitófagas, a sus predadores específicos. El estudio y el conocimiento de las especies asociadas con el

cultivo pueden conducir al descubrimiento de especies factibles de usarse en programas de manejo integrado del cultivo (Rocha et al., 2019).

En Brasil, se han caracterizado arreglos de plantaciones de caucho junto con árboles nativos. Si bien el consorcio puede resultar en una explotación más eficiente de las áreas de cultivo de árboles de caucho en términos de retorno económico directo, también puede darse un mejor desempeño de los agentes de control biológico (Bellini et al., 2005).

En cuanto a los microorganismos, el hongo *Hirsutella thompsonii* se ha referenciado como un agente de control de los ácaros eriófidos. Su aparición se ve favorecida en niveles de humedad elevados, lo que también ayuda al desarrollo de *C. heveae* (Bellini et al., 2005). De igual forma, se han observado especímenes de *T. heveae* infectados por el hongo *Hirsutella* sp.; esto sugiere que el hongo probablemente esté involucrado en el control biológico de esta especie de ácaro (Deus et al., 2012). En Colombia, sin embargo, no hay estudios al respecto, lo cual supone la necesidad de ahondar en la investigación con agentes entomopatógenos para el control del complejo de especies de ácaros del cultivo de caucho.

Comején o termitas

Aunque las termitas (también conocidas como comejenes) son consideradas especies de gran importancia en la dinámica de los ecosistemas tropicales por su rol de descomponedores de materia orgánica, cuando sus poblaciones se salen de control pueden producir daños económicos en el cultivo de caucho. De hecho, cuando los grupos de termitas en el suelo se encuentran en equilibrio, se observan unas mejores condiciones de nutrición para los árboles y también en el control de comunidades de insectos (Peña-Venegas et al., 2019).

Características generales

Las termitas son insectos sociales, que viven en comunidades denominadas termiteros o nidos sólidos. Presentan una metamorfosis incompleta, y atraviesan los estadios de huevo, ninfa y adulto. Los adultos de las castas obrera y soldado son las más implicadas en el proceso de alimentación de la colonia (figura 49).

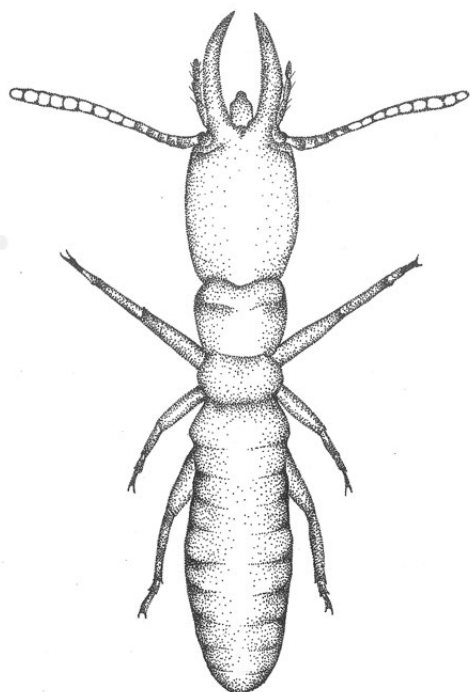


Figura 49.

Adulto de la termita *Heterotermes tenuis*.

Ilustración: Sara Isabel Bedoya Ramírez

Origen y situación en Colombia

En Colombia, se asocian al cultivo de caucho más de 30 especies pertenecientes a las familias Termitidae y Rhinotermitidae (Pinzón et al., 2012; Peña-Venegas et al., 2019). De estas, solo se han identificado algunas especies con potencial para convertirse en plaga cuando se producen desequilibrios en el sistema: en Caquetá *Nasutitermes guyanae*, *Nasutitermes corniger* y *Heterotermes tenuis*, de las familias Rhinotermitidae y Termitidae (Campo et al., 2012; Peña-Venegas et al., 2019), y en la Orinoquía y en Córdoba *Heterotermes* sp. (León Martínez et al., 2010).

Importancia económica

Respecto al daño que causan, aunque es posible que el ataque de termitas constituya una amenaza para el cultivo del caucho, en general no puede vincularse directamente con lesiones que produzcan daños. Algunos autores

plantean que la abundancia de especies asociadas está relacionada con la disponibilidad de alimento en la plantación. De esta manera, las termitas ayudan a la descomposición de los tocones sobrantes de injertos y de las ramas en las plantaciones adultas (Pinzón et al., 2012); sin embargo, pueden colonizar los tocones vivos construyendo túneles en el suelo desde los tocones caídos, donde inicia la alimentación de los tejidos internos y deja intacta la corteza (Campo et al., 2012). En viveros pueden generar pérdidas de un 40% en el material de siembra cuando no se protege adecuadamente (Alarcón Restrepo et al., 2012).

Control

Como se mencionó anteriormente, no es necesario controlar las termitas en el cultivo de caucho, dado que es muy poco probable que se conviertan en un problema económico; es importante encaminar el control al cuidado de la plantación en las etapas jóvenes, para impedir la llegada de estos insectos al interior de los árboles.

Control cultural: se deben eliminar los troncos viejos y las ramas secas que se encuentren en la plantación o sus alrededores (Alarcón Restrepo, 2012). Asimismo, se aconseja evitar un tiempo excesivo de las plántulas en vivero bajo condiciones de humedad, así como el daño mecánico en el momento del trasplante, que impida la descomposición de los tocones y el establecimiento de las termitas (León Martínez et al., 2010).

Control químico: las plantas pequeñas (plantaciones jóvenes, viveros, entre otras) pueden protegerse mediante la aplicación de insecticidas dirigidos al suelo (Sterling Cuéllar & Rodríguez León, 2018); sin embargo, el uso de agroquímicos tiene que ser evaluado con rigurosidad debido a su toxicidad, y es necesario verificar que cuenten con registro y recomendaciones para el cultivo de caucho.

Control biológico: es posible que los hongos *Metarhizium anisopliae* o *Beauveria bassiana* aplicados a los nidos y sitios de siembra tengan potencial para el manejo de termitas en el cultivo de caucho (Sterling C. et al., 2011; Alarcón Restrepo et al., 2012). Es necesario profundizar en las investigaciones al respecto, dado que no existen a la fecha productos registrados para tal fin.

Hormiga arriera

Las hormigas también constituyen un grupo de gran importancia ecológica, gracias a que cumplen diferentes funciones dentro de un ecosistema; esto se relaciona con su abundancia y riqueza, facilidad de muestreo, respuesta a los cambios del ambiente y a su asociación con otras especies. En el caso específico del caucho, la presencia de especies de hormigas en plantaciones se considera indicadora de servicios ecosistémicos del suelo (Chacón de Ulloa & Abadía, 2014); sin embargo, específicamente las hormigas arrieras o cortadoras, cuyas comunidades alcanzan los millones de individuos, pueden acabar en poco tiempo con un cultivo.

Características generales

Son insectos sociales que viven en grandes comunidades establecidas en hormigueros. Pasan por los estados inmaduros de huevo, larva y ninfa, hasta llegar al estado maduro de hormiga adulta, que es la que causa el daño (figura 50).

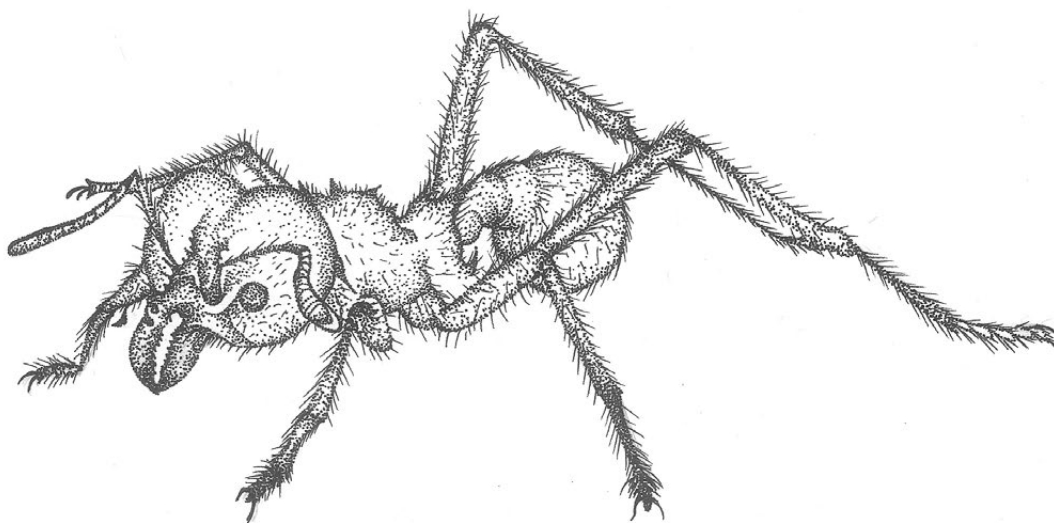


Figura 50.

Adulto de la hormiga *Atta cephalotes*.

Ilustración: Sara Isabel Bedoya Ramírez

Origen y situación en Colombia

En Colombia, el género *Atta* es el de mayor presencia (de 70% a 80%); en contraste, el género *Acromyrmex* representa tan solo entre un 20% y un 30% (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional [USAID], 2006). Estas dos especies se consideran unas de las cinco plagas con mayor capacidad destructiva, dado que realizan cortes semicirculares en las hojas hasta defoliar completamente las plantas (Peña-Venegas et al., 2019). En un estudio realizado en clones de caucho en la amazonia, se pudo identificar que en Colombia la hormiga arriera, aunque no fue la plaga más común, sí fue la más agresiva, con una incidencia superior al 50% (Sterling Cuéllar & Rodríguez León, 2011).

Importancia económica

En plantas de caucho, las hormigas se encuentran sobre el haz de las hojas, en las ramas, en los órganos cercanos a las flores y en los cogollos de las plantas, y pueden causar daño especialmente en plantas o árboles jóvenes. Las hormigas realizan en las hojas cortes con forma circular, y también llegan a cortar las yemas en ataques severos (Peña-Venegas et al., 2019). La hormiga traslada a los hormigueros los trozos de hojas, los cuales se convierten en el sustrato para la reproducción del hongo *Rhizites gongylophoral*, del cual se alimentan (Alarcón Restrepo et al., 2012; Peña-Venegas et al., 2019).

El ataque de una alta población de hormigas obreras termina en la defoliación de las plantas, y afecta principalmente viveros y plantaciones recién establecidas; así, logran remover cerca del 25% de la producción de las hojas (Sterling Cuéllar & Rodríguez León, 2018).

Control

Control cultural: el manejo de la hormiga arriera se enfoca en la prevención, para así evitar que se formen nuevos hormigueros. En los hormigueros ya formados, es posible lograr la erradicación de manera mecánica empleando palas, picas, sondas, entre otros. Otro método es la utilización de cultivos trampa como la higuera, la batata, el ajonjolí, entre otros, ya que sus hojas son tóxicas para las hormigas cuando son transportadas al hormiguero (USAID, 2006).

Control biológico: es una herramienta poco utilizada para atacar hormigas, pero es posible emplear cebos que contengan hongos entomopatógenos de eficacia demostrada, por ejemplo, *Beauveria* sp. y *Metarhizium* sp., aunque son recomendables únicamente en hormigueros pequeños. Algunas plantas también pueden ejercer efecto repelente como el ajeno, la ortiga, la caléndula, la artemisa, la ruda, la salvia, entre otras (USAID, 2006; Sterling Cuéllar & Rodríguez León, 2018).

Control químico: se pueden emplear cebos químicos. Para su utilización, se deben seguir al pie de la letra las recomendaciones del fabricante. En hormigueros pequeños, se aplican de 5-10 cm de la boca o el camino, y en hormigueros medianos o grandes se emplea una insufladora o termonebulizadora.

Gusano peludo

La oruga brasileña *Premolis semirufa* (Walker, 1856; Lepidoptera: Arctiidae), normalmente llamada pararama o gusano peludo, vive en la selva amazónica, casi exclusivamente en el árbol del caucho *H. brasiliensis*, y se alimenta de sus hojas. Puede producir una enfermedad profesional que suele afectar específicamente a los caucheros, y de ahí deriva su importancia en el cultivo (Villas-Boas et al., 2012).

Características generales

El gusano peludo *Premolis semirufa* (Lepidoptera: Arctiidae), generalmente llamado pararama, se alimenta de árboles de caucho amazónicos (Villas-Boas et al., 2012). La larva puede medir hasta 4 cm y se caracteriza por presentar una cobertura de pelos cortos y densos que pueden ser de color naranja-café y que son urticantes. También presentan cuatro áreas de pelos de mayor longitud que pueden desprenderse del cuerpo de la larva fácilmente (figura 51) (Sterling Cuéllar & Rodríguez León, 2012).

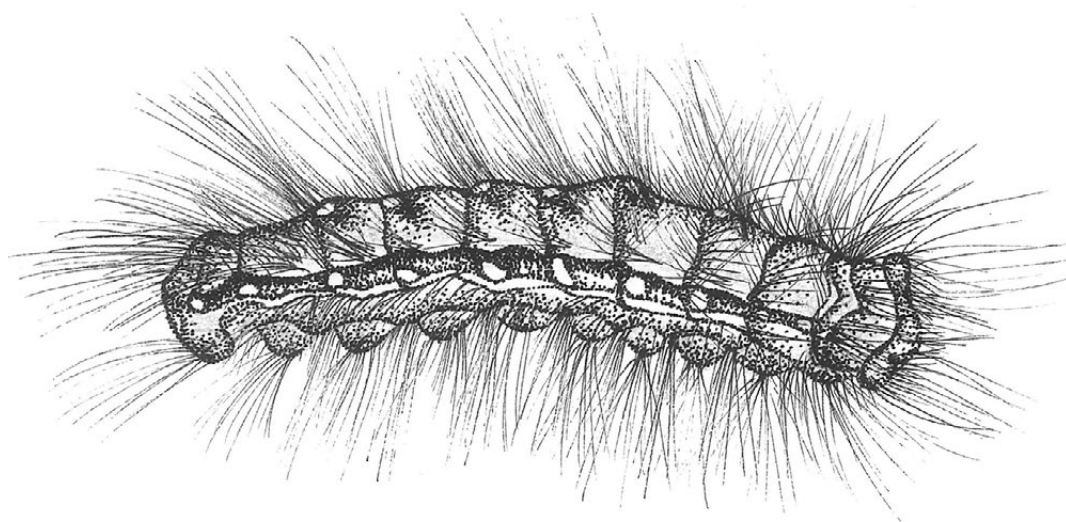


Figura 51.

Larva del gusano peludo *Premolis semirufa*.

Ilustración: Sara Isabel Bedoya Ramírez

Los recolectores de látex pueden introducir los dedos en el tronco de los árboles de caucho para facilitar la cosecha y, en ese momento, entran en contacto con los pelos de la larva, lo que provoca instantáneamente una picazón intensa y, en algunos casos, dolor, enrojecimiento y calor, con una duración de hasta una semana después del contacto (Villas-Boas et al., 2012).

Origen y situación en Colombia

No existen estudios que indiquen de manera precisa la distribución de este insecto en nuestro país.

Importancia económica

El gusano peludo se encuentra en plantaciones de caucho, en especial en la región amazónica, donde es considerada una plaga importante que ocasiona daños en plantaciones en crecimiento, principalmente. Por lo general, realiza cortes en las nervaduras en el envés de las hojas adultas (Tapiero et al., 2018), y se ubican en la región del panel de sangría o en las tazas de recolección del látex, lo que aumenta la posibilidad de contacto

del personal con esta plaga. En cuanto a sus daños, algunos autores determinaron que puede afectar el 45 % del área cultivada, dependiendo de condiciones como la edad del cultivo, el número de ataques y las condiciones agroecológicas (Sterling Cuéllar & Rodríguez León, 2018).

Control

Control cultural: se hace control mecánico de las larvas y se destruyen las larvas o pupas (sin tocarlas) de las hojas, ramas, panel, etcétera (Sterling Cuéllar & Rodríguez león, 2018).

Control biológico: especies de aves como el cuco se alimentan de estas larvas, por lo cual es importante conservar sus hábitats (Peña-Venegas et al., 2019).



Capítulo IX.

Enfermedades y su control

Anibal Leonidas Tapiero Ortiz

En la producción de caucho natural, la selección de la región y el área por intervenir están íntimamente relacionadas con la estrategia que se adopta para el manejo de enfermedades y, a su vez, con la del material genético (clon) que se va a sembrar. Estas están determinadas, fundamentalmente, por el análisis favorable de la coincidencia de factores bióticos y abióticos, particularmente en relación con la presencia de inóculo, la estacionalidad de las lluvias, la periodicidad de la humedad relativa (en particular durante las horas tempranas de la mañana) en la zona, las propiedades y la composición del paisaje. A partir de estas consideraciones se determina el arreglo que se adoptará en el interior del cultivo (distancias desde áreas naturales protegidas, orientación de surcos, distancias de siembra), junto con otros aspectos de logística, como áreas de resguardo para el personal, vías de circulación y acceso, que faciliten el manejo fitosanitario y agronómico, como también la proyectada extracción de látex; asimismo, la evaluación de la necesidad de implementar y establecer barreras rompevientos o drenajes, o la orientación del cultivo en relación con la topografía.

Generalidades

El cultivo del caucho tiene limitantes económicas generadas por la incidencia de enfermedades, dentro de las que se destaca el mal suramericano de las hojas (*South American Leaf Blight* [SALB]), enfermedad endémica en América (figura 52) y cuya incidencia ha sido responsable de descomunales descalabros de proyectos productivos con inversiones millonarias durante el siglo xx, en la región del Amazonas (Money, 2007). Esto explica el incremento de la producción fuera de su centro de origen,

como en el sudeste asiático, donde la ausencia del organismo causal permite la producción de más de 9,5 billones de toneladas¹, cifra muy alta en comparación con los apenas 205 millones de toneladas producidas en América (2% de la producción mundial) (tabla 24); adicionalmente, teniendo en cuenta que el prolongado periodo de establecimiento y duración de la etapa productiva obliga a determinar con la planeación de la siembra los riesgos derivados por limitantes fitosanitarios y en particular el SALB.

Tabla 24. Áreas y producción de caucho natural a nivel global

	ha	Proporción	t	Proporción	Productividad
América	347.393	0,027%	682.694	0,044%	1,97 kg/ha
Global	13.102.160		15.451.422		

Fuente: <http://www.fao.org/faostat> (2019)



Figura 52.

Síntomas del mal suramericano de las hojas en árboles de caucho.

Foto: Aníbal Leonidas Tapiero Ortiz

¹ Véase: <http://www.fao.org/faostat>

La falta de previsión respecto a la probabilidad de ocurrencia de esta enfermedad condujo a desastres históricos; por ejemplo, el ocurrido en Fordlandia, Brasil, donde la enfermedad arrasó cerca de 3.400 hectáreas de caucho en 1934 (Infante, 2006), así como en varios otros lugares y eventos. En este sentido, en América es fundamental conocer si el área presenta o no características de “escape”². En consecuencia, productores e inversionistas del sector deben evaluar estrategias antes de tomar la decisión de ubicar las plantaciones en el campo (Tapiero, 2011), tales como la escogencia del clon que se va a sembrar, la orientación del cultivo e, incluso, la conveniencia de establecerlo.

Zona de escape

Adicionalmente, comprender el concepto de *zona de escape* en toda su dimensión es fundamental para la toma de decisiones por parte del productor de caucho natural. Dicho concepto se originó en Brasil (Ortolani, 1998) como una estrategia de zonificación climática para el establecimiento del cultivo.

A partir de la observación de áreas en la cuenca del río Amazonas con caucho nativo que tuvieran la menor incidencia y severidad de SALB, se proyectó la estimación y evaluación de parámetros como el balance hídrico, la humedad relativa y la temperatura ambiente, información que se ingresó como pilares del modelo. Su adopción constituyó la estrategia nacional para el establecimiento y el manejo de plantaciones de caucho en zonas de bajo riesgo, con condiciones edáficas adecuadas. La delimitación de zonas de escape consiste en la identificación de áreas con una estación seca bien definida, entre uno y tres o cuatro meses, que coincida con el periodo de renovación estacional (anual) de las hojas del árbol; esto, a partir de valores históricos de precipitación, humedad relativa y evapotranspiración mensuales (Tapiero, 2011). El modelo sugiere que durante estos periodos el patógeno no encuentra condiciones favorables para germinar, infectar el tejido receptivo, desarrollar el proceso de infección y posteriormente ocasionar daños.

² Escape al SALB es un concepto que indica que el periodo de mayor receptividad a la enfermedad (etapa de refoliación) coincide con condiciones abióticas desfavorables para la infección por el patógeno (*Pseudocercospora ulei*).

Estos últimos se traducen en la formación de lesiones y en la caída de folíolos, lo cual, a niveles superiores del umbral fisiológico, repercute en pérdidas económicas.

El modelo de zona de escape representa un fenómeno que depende de las interacciones entre las condiciones climáticas, las características de una posición geográfica (variables de clima), la especie de cultivo y el patógeno. En la zona subtropical americana (sobre los 15 grados N y S), el clima es relativamente estable y la temperatura es inferior a los 18 °C durante la época de invierno, en las áreas apropiadas para el cultivo de caucho. Sin embargo, en la región tropical (más próxima a la línea del Ecuador), el clima se ve afectado por la zona de confluencia intertropical (ZCIT), con los efectos estacionarios adicionales de los fenómenos de El Niño y La Niña (El Niño-oscilación del sur [ENOS]), que pueden modificar las condiciones generales del clima y hacen que la temperatura difícilmente descienda de los 18 °C en las tierras bajas.

Además, para mayor precisión en la definición de restricciones en Colombia, se requiere urgentemente la inclusión del parámetro: humedad relativa >85% durante 10 o 12 horas, en particular entre la medianoche y la mañana. A su vez, esta determinación debería ir acompañada de una mayor aproximación en términos de escala, la cual tendría que aproximarse al menos a 1:50.000-1:25.000.

La interpretación errónea del concepto de *escape* es en particular lo que se refiere a la respuesta esperada a la enfermedad en clones susceptibles que se ubiquen en áreas definidas como “con restricciones”, así sean “menores”; por ejemplo, en el norte del Guaviare y en el sur del Meta, donde la condición “con restricciones” se traduce en una oferta ambiental adversa durante estados receptivos a la enfermedad. En tal sentido, Castañeda (1997) calificó correctamente estas regiones como zonas de escape con “restricciones menores” y la interpretación de su efecto sobre clones susceptibles es semejante al ocurrido en áreas consideradas de “no escape”. La interacción entre los cambios ontogénicos que dependen del desarrollo fenológico del hospedero y los periodos latente e infeccioso, en un determinado lugar, definen la condición de escape o no a la enfermedad.

También es necesario considerar la modificación en el tiempo de la condición genética de resistencia en clones previamente identificados como resistentes (García et al., 2011); asimismo, pueden existir diferencias genéticas entre clones incorrectamente identificados. Tal es el caso del clon FX 3864, popularizado entre los cultivadores de Colombia y el cual es diferente del original, que fue desarrollado en Brasil (tabla 25), aún resistente al SALB (Ruiz et al., 2017).

Tabla 25. Diferencias en el peso molecular con diversos marcadores de alelos del clon FX 3864 original con los del popularizado en Colombia

Multiplex	PLEX 1						PLEX 2						PLEX 3					
	Hmct 5		102		HV30		548		HV 15		416		M574		103		358	
Marcador																		
Alelo	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
FX 3864a	189	205	276	284	276	276	243	243	158	180	218	226	238	248	255	271	221	233
FX 3864	189	200	284	288	275	284	242	242	180	180	216	226	240	254	259	259	222	233

Fuente: Ruiz et al. (2017)

Igualmente se deben considerar los cambios en la parsimonia del desarrollo fenológico de los árboles de caucho en regiones con alta incidencia de afecciones por *Colletotrichum* spp. (figura 53), que exponen tejidos y órganos en estado receptivo durante las épocas con alta humedad relativa y, por lo mismo, en riesgo de infección por el patógeno. Este factor habría de incluirse para efectos de la escogencia de los clones que se van a utilizar como material de siembra en una determinada área.



Figura 53.

Síntomas de antracnosis en hojas de árboles de caucho.

Foto: Aníbal Leonidas Tapiero Ortiz

En las condiciones fitosanitarias actuales de riesgo de infecciones por *Colletotrichum*, es recomendable escoger clones con resistencia durable al SALB, incrementar su diversidad dentro de la plantación y evitar la concentración de nichos ecológicos y el monocultivo, incluso en zonas con restricciones menores y sin restricciones a la incidencia de la enfermedad. De nuevo, como en el caso de Castañeda (1997), la delimitación determina de manera apropiada las zonas óptimas para el cultivo del caucho desde el punto de vista climático, pero discrimina parcialmente la condición de escape al SALB, pues no incluye referencias acerca de factores como los expuestos anteriormente, ni a la humedad relativa, la cual está ausente en la mayoría de las bases de datos con información climática de la época del estudio.

La ausencia de incidencia durante periodos cortos no es suficiente para identificar una determinada área como zona de escape; las variaciones del clima o de la condición fenológica, característica de la especie de cultivo durante determinado tiempo del año, pueden promover el desarrollo de infecciones del patógeno al aumentar la duración de las condiciones favorables o promover la oferta de patios de infección y receptividad del huésped.

Esta situación se acrecienta cuando coexisten con otros síndromes fitosanitarios o con los efectos de plagas que conducen a la defoliación de los árboles, y que implican la modificación del proceso de refoliación durante épocas favorables para el patógeno. También influye la presencia de viveros y jardines clonales abandonados en inmediaciones de los cultivos, por lo general después de que se terminan las fases de siembra del cultivo (Tapiero, 2011).

Patógenos asociados a las semillas

Las semillas de caucho son recalcitrantes, es decir, tienen un periodo de viabilidad muy corto (alrededor de un mes o menos); por lo tanto, es necesario que su siembra en germinador se realice al poco tiempo de ser colectadas. Además de la temperatura, la humedad y la velocidad innata de deshidratación, la pérdida de germinación de las semillas puede ocasionarse por la presencia de microorganismos que, a su vez, afectan las plántulas en la fase inicial de crecimiento o en fases posteriores, o diseminarse hacia áreas nuevas aún libres. Solo las plántulas que germinen durante las dos o tres primeras semanas luego de ser colocadas en el germinador sirven para utilizarse en el vivero, pues con el tiempo el suelo comienza a contaminarse con patógenos como *Sclerotium*, *Rhizoctonia* (*Thanatephorus cucumeris*) y *Pythium* (Urban et al., 1982) (figura 54). Su incidencia no solamente conduce a la infección y muerte de plántulas, sino que también contribuye a incrementar el riesgo de contaminación del suelo del vivero y la plantación.



Figura 54.

Signos de infección por mustia hilachosa (*Thanatephorus cucumeris*) en vivero de caucho.

Foto: Aníbal Leonidas Tapiero Ortiz

Entre los hongos patógenos que cusan diferentes enfermedades en semilla se han reportado los siguientes: *Botryodiplodia theobromae*, *Phomopsis* sp., *Phyllosticta* sp., *Colletotrichum* spp., *Fusarium* spp., *Phytophthora* spp. y *Alternaria* sp. (Urben et al., 1892).

Enfermedades en estado de desarrollo temprano

Los patógenos que afectan los estados tempranos de desarrollo provocan comúnmente marchitez y conducen, por lo general, a la muerte de plántulas, la cual puede ocurrir inmediatamente después de la germinación de las semillas o luego del trasplante al vivero, en suelo o bolsas plásticas. Las infecciones se localizan en el sistema radical, pero también pueden presentarse en el tallo o en las hojas. Los patógenos asociados a los síntomas más comunes son: *Thanatephorus cucumeris* (*Rhizoctonia solani*), *Pythium* spp., *Phytophthora* spp. y *Lasiodiplodia theobromae* (tabla 26).

Tabla 26. Enfermedades de plántulas causadas por hongos patógenos en semilla

Patógeno	Enfermedad causada
<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	Chancro del injerto, secamiento de las ramas
<i>Phomopsis</i> spp.	Secamiento de las ramas, muerte descendente
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> y <i>C. acutatum</i>	Antracnosis en hojas, muerte del injerto
<i>Alternaria</i> spp. y <i>Phyllosticta</i> spp.	Manchas foliares
<i>Thanatephorus cucumeris</i> , <i>Pythium</i> spp. y <i>Phytophthora</i> spp.	Chancro, pudrición y secamiento de raíces, muerte de plantas
<i>Fusarium</i> spp.	Secamiento de raíces y marchitamiento

Fuente: Elaboración propia, a partir de Urben et al. (1982)

Enfermedades foliares

Además del SALB, de la antracnosis y la caída secundaria de las hojas por *Colletotrichum*, la costra negra (*Phyllachora* sp.) y las infecciones del panel de sangría (*Phytophthora* sp. y *Fusarium* spp.) son de carácter limitante, emergente o potencial en varias zonas de cultivo.

Mal suramericano de las hojas

Los síntomas de la enfermedad se presentan como pequeñas manchas necróticas circulares de color verde oliva (oscuro) y aspecto aterciopelado (figura 55). Durante los estados juveniles de desarrollo de las plantas, tanto en el envés de las hojas como en los peciolo y el tallo, se observa una esporulación abundante (conidial), correspondiente a la fase anamórfica (asexual). En clones susceptibles, bajo condiciones ambientales favorables, las lesiones crecen, coalescen y pueden llegar a provocar la defoliación parcial o completa de las plantas. La fase telomórfica (sexual), que se compone de espermagonios, ascas y ascosporas, se desarrolla en formaciones con varios milímetros de diámetro (estromas) que se tornan macizos y ásperos al tacto, como lijas, en los folíolos adultos (figura 56). Estos síntomas prevalecen en las hojas maduras hasta su caducidad natural y pueden observarse en el manto de hojas caídas. La enfermedad se manifiesta principalmente en las hojas, pero también puede presentarse en peciolo y tallos jóvenes.



Figura 55.

Síntomas del mal suramericano de las hojas (*Pseudocercospora ulei* [Henn.]). Folios afectados en estado temprano de desarrollo.

Foto: Anibal Leonidas Tapiero Ortiz

El SALB se considera como una de las enfermedades de plantas más importantes en el mundo y ha sido la causa principal del fracaso de emprendimientos corporativos con monocultivos en la Amazonia. En el entorno natural del bosque amazónico, la severidad de la infección por este patógeno es baja, aun cuando concurren condiciones favorables para su incidencia; esto se le atribuye a la poca densidad de árboles de caucho en asociación con otras especies del bosque. Tanto en Brasil como en Colombia su incidencia ha sido reportada desde el inicio de la producción comercial de caucho en la región amazónica, 1901 y 1944, respectivamente (Gasparotto & Pereira, 2012). En el estado de São Paulo, se detectó en viveros del litoral sur en 1960 y en el planalto paulista en 1970 (Furtado et al., 2008). En Asia y

África hay ausencia del SALB, pero se encuentra ampliamente diseminado por todas las regiones de cultivo en América, donde la intensidad de la infección aumenta durante algunas épocas del año, en particular cuando los folíolos permanecen húmedos por periodos más prolongados. Este último es el factor de predisposición más importante para el éxito de la infección y el desarrollo de la enfermedad (Da Silva Angelo et al., 2020) y razón para que sea de común ocurrencia en viveros donde confluye la permanente disponibilidad de patios de infección con la humedad producto de la irrigación.



Figura 56.

Síntomas del mal suramericano de las hojas (*Pseudocercospora ulei* [Henn.]).
Foliolos en estado adulto afectados.

Foto: Aníbal Leonidas Tapiero Ortiz

El SALB es causado por el hongo *Pseudocercospora ulei* (Henn.) (Syn. *Microcyclus ulei* [P. Henn] v. Arx) y es exclusivo del género *Hevea*. Durante su ciclo de vida el hongo desarrolla dos tipos de esporas, conforme al modo de reproducción: conidiosporos (reproducción asexual o fase imperfecta) y ascosporas (reproducción sexual o fase perfecta). A diferencia de previas identificaciones, el patógeno presenta solo una morfología de tipo asexual, que pertenece a *Pseudocercospora* s. str. Los conidios infectan las hojas jóvenes y son responsables de los ciclos destructivos de la enfermedad en el campo. El ciclo sexual comienza con el desarrollo de una fase

espermogonial, durante la etapa C/D de la hoja (Hallé et al., 1978), y termina con ascosporas maduras en pseudotecia, dentro de ascostromas pronunciados, erumpentes del género *Mycosphaerella* (Da Hora et al., 2014). Los conidios son los responsables de la diseminación del patógeno a escala local (inóculo inicial). Las ascosporas son las causantes de la diseminación a grandes distancias (inoculo potencial), y se producen en pequeñas cantidades; además, permanecen en el interior de las lesiones viejas presentes en las hojas, al igual que en las hojas caídas, de donde son descargadas progresivamente por varios meses. En viveros, las condiciones climáticas más propicias para el desarrollo de epidemias se presentan cuando la humedad relativa del aire se mantiene por encima del 95% por diez horas consecutivas durante doce días al mes (Castro et al., 2018).

Del gran número de clones seleccionados por los programas de mejoramiento, solo algunos tienen resistencia a *P. ulei*; por esto, la gran mayoría de clones se encuentran en estado de alta vulnerabilidad y no deberían ser utilizados para el cultivo comercial en áreas diferentes a las definidas como de escape, sin restricciones, pues en estas subsisten condiciones que favorecen al desarrollo del patógeno. El material genético (clones) de origen oriental (RRIM 600, PB 235, PB 86 y GT 1) tiene poca resistencia a la mayoría de las poblaciones virulentas del patógeno, por lo que se manifiestan como susceptibles en los cultivos, con excepción de algunas plantaciones pequeñas que están bien aisladas o en arreglos agroforestales. Los clones brasileños como FX 25, FX 985, FX 3028, FX 2261, FX 3864, FX 3844, FX 4098 e IAN 873 tienen buen nivel de resistencia a la enfermedad, lo que garantiza la estabilidad de la producción en diferentes ambientes (Tapiero et al., 2018).

Los estudios sobre la eficiencia de fungicidas en la reducción de la intensidad de la enfermedad y la interrupción del ciclo del patógeno han permitido identificar la habilidad del tiofanato metílico, triadimefom y benomil en la esterilización de los estromas del hongo (De Souza Gonçalves et al., 2011). Algunas investigaciones con resultados semejantes para el tiofanato metílico dan cuenta de que el clorotalonil posee gran poder residual y que el tridimefon tiene efecto curativo. También se ha constatado que mancozeb, triadimefon, fenbuconazole y miclobutanil son eficientes para el control de la enfermedad, con aplicaciones semanales de mancozeb, y quincenales de los otros (tabla 27).

Tabla 27. Fungicidas para el control químico de enfermedades en viveros y en jardín clonal

Patógenos y enfermedades	Fungicida (nombre técnico)	Ingrediente activo/10 l de agua	Observaciones
<i>Pseudocercospora ulei</i> (SALB)	Fenbuconazole	3,0 ml	Cada 14 días durante el periodo seco y cada 7 días en periodo húmedo
	Triadimefom	3,0 g	
	Benomil	5,0 g	
	Tiofanato metílico	20,0 g	
	Propiconazole	0,75 ml	
	Mancozeb	32,0 g	Semanal: repetir aplicación en caso de lluvia enseguida de la pulverización
	Clorotalonil	31,5 g	
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> (antracnosis)	Cúpricos	15,0 g	Semanal: luego del prendimiento del injerto
	Clorotalonil	15,0 g	

Fuente: Gonçalves (2010)

Antracnosis

Las regiones con aire saturado de humedad y con temperaturas altas durante el año presentan condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad. En cambio, las regiones que tienen un riesgo mínimo de ocurrencia de epidemias del SALB posibilitan el desarrollo del cultivo de caucho con clones orientales de alta producción, a pesar de ser susceptibles a la enfermedad. Igual que con el SALB, en los viveros, particularmente aquellos ubicados en bajos, próximos a bosques y con irrigación constante, se genera un microclima que permite que la enfermedad prospere (Castro et al., 2018).

Causada por especies de los complejos *Colletotrichum gloeosporioides*, *C. acutatum*, *C. meibomae*, *C. boninense*, la infección se caracteriza por lesiones y caída de las hojas, muerte de inflorescencias y marchitez de los tallos jóvenes. La antracnosis en las hojas del caucho se ha reportado por diversos autores en la región amazónica, donde normalmente está asociada al SALB (Gasparotto & Pereira, 2012). Sus síntomas se manifiestan en hojas jóvenes, en plántulas que están en vivero, jardines clonales y plantaciones adultas (en el periodo de refoliación); al comienzo se presentan como pequeñas lesiones entre marrón y verde, que en condiciones propicias

coalescen, y de esta manera alcanzan a afectar grandes porciones de las hojas, lo que causa su deformación. En los peciolo y en las ramas provoca lesiones oscuras con aspecto necrosado, con depresiones. En caso de un ataque severo, puede causar defoliación, muerte de la yema apical y muerte descendente en todos los órganos afectados; también sobre estas lesiones se presenta gran producción de esporas, con forma de masas de coloración rosácea, que en condiciones húmedas facilitan la dispersión del hongo (Gasparotto & Pereira, 2012).

En el vivero y en el jardín clonal, se observa muerte de los tallos destinados a la producción de yemas para los injertos y bajo prendimiento de los mismos, debido a que las placas pueden estar infectadas. Los injertos con ese material acaban lesionando también el portainjertos.

Las condiciones ambientales que favorecen las enfermedades son: temperatura del aire alrededor de 21°C, humedad relativa por encima del 90% y periodos lluviosos; se requiere mojamiento foliar para que ocurra la infección. La diseminación del patógeno es principalmente consecuencia del rebote de gotas de lluvia y el escurrimiento, lo que dificulta la determinación de medidas para su control efectivo.

En el vivero y en el jardín clonal, el control se puede llevar a cabo de forma preventiva con fungicidas a base de cobre, como clorotalonil o benomil. En Malasia, Brasil y Colombia se ha corroborado la susceptibilidad de los clones RRIM 600, RRIM 526, PB 86, RRIM 701 y GT 1, y reacciones de resistencia de RRIM 501, PR 107, Tjir 1 y RRIM 628 (De Souza Gonçalves et al., 2011).

Mancha aerolada

Esta enfermedad la causa el hongo *Thanatephorus cucumeris* (A. B Frank) Donk, 1956, y afecta, en un comienzo, las hojas jóvenes, a las cuales les genera lesiones que crecen hasta destruirlas por completo (Gasparotto & Pereira, 2012). Las lesiones, que primero son aceitosas, se transforman en necróticas con areolas de zonas verdes, más características con la madurez de las hojas.



Figura 57.

Síntomas de mancha aerolada.

Foto: Aníbal Leonidas Tapiero Ortiz

Los síntomas son observados en los folíolos a cualquier edad (figura 57); al comienzo se presentan como manchas oscuras, acuosas, que a medida que la enfermedad evoluciona se tornan de color pálido, con forma irregular en arreglos semejantes a anillos concéntricos oscurecidos en su interior. El hongo afecta hojas jóvenes en viveros y jardines clonales, pero es más evidente en hojas de árboles en plantaciones adultas (Gasparotto & Pereira, 2012) que caen al suelo. La incidencia de la enfermedad disminuye notoriamente durante las temporadas secas. Es usual que la afección no amerite tratamiento específico de control, pues se presenta hacia el final de la temporada de lluvias; sin embargo, en caso de ser necesario, el patógeno ha mostrado sensibilidad a fungicidas a base de cobre como mancozeb y clorotalonil.

Otras enfermedades foliares

Otros hongos que causan manchas foliares han sido reportados en el Estado de São Paulo, por ejemplo, *Ascochyta* sp., *Cercospora* sp., *Corynespora cassiicola* (asociado con cultivos de papaya), *Phyllosticta* sp., *Cercospora* sp., *Periconia manihoticola* (que también afecta la yuca)

(Gonçalves et al., 2011). En Colombia, algunos de ellos suelen cobrar importancia (tabla 28), debido a sospechas de que puedan provocar la caída prematura de hojas maduras en plantaciones de caucho en regiones donde se presentan condiciones favorables (Tapiero et al., 2011).

Tabla 28. Incidencia relativa de patógenos foliares del caucho, observados en las principales regiones de cultivo del Estado de São Paulo, Brasil (SP), Orinoquia, Amazonia, Antioquia y Córdoba

Patógenos	Regiones*						
	1	2	3	4	5	6	7
<i>Alternaria</i> sp.	-	+	+	+	-	-	-
<i>Ascochyta</i> sp.	-	+	-	-	-	-	-
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	+	++	+++	+++	+++	+++	++
<i>Corynespora</i> sp.	-	+	-	-	+	++	-
<i>Oidium</i> sp.	-	-	++	-	-	-	-
<i>Pseudocercospora ulei</i>	+++	+++	+	+	+++	+++	++
<i>Periconia manihoticola</i>	++	++	-	-	+	+	-
<i>Pestalotia</i> sp.	+	+	-	-	+	+	-
<i>Phyllosticta</i> sp.	+	+	-	-	+	+	-
<i>Thanatephorus cucumeris</i>	-	-	-	-	++	++	+

*Regiones 1 = litoral norte (SP); 2 = litoral sul (SP); 3 = Ribeirão Preto (SP); 4 = São José do Rio Preto; sección de enfermedades de plantas industriales. Convenio SAA/I.B./Embrapa (citado por Gonçalves, 2010).

Fuente: Elaboración propia

Chancro del injerto y de la corteza

Esta enfermedad la causa el hongo *Lasiodiplodia theobromae* (*Botryodiplodia theobromae*), un parasito franco y oportunista, pues el hongo carece de capacidad de penetración activa. La incidencia es particularmente importante en la región amazónica o cuando ocurre escaldado de la tapa del injerto. Es común que este hongo afecte plantaciones provenientes de viveros mal manejados o de siembra con la ventana de los injertos cercanos a la superficie del suelo (figura 58), debido a que la infección se facilita por la ocurrencia de heridas, cortes en la corteza con herramientas que se utilizan para el manejo, o por escaldado debido a efectos del calor de la superficie del suelo, lo que afecta el área del injerto.

Los síntomas aparecen lentamente, por ejemplo, oscurecimientos en la superficie de la corteza de la región herida, la cual muere lentamente; luego, la corteza se seca, se suelta con facilidad y descubre el tronco. También se puede observar anillamiento de la corteza del tronco, lo cual ocasiona la muerte de la planta. Debido a que el hongo se transporta internamente por el cámbium, su presencia puede constatare con la aparición de estrías negras desde el punto de infección, hasta 25 cm de largo (Tapiero et al., 2011).

El control se restringe al cuidado y al mantenimiento de las plantas, evitando causar heridas, cortes o machucaduras. Alternativamente, se debe proceder al pincelamiento de la región en cuestión con cobre aceitoso o alguna pasta fúngica.



Figura 58.

Escaldado de la tapa del injerto en plantas de caucho con signos de infección por *Lasiodiplodia theobromae*.

Foto: Aníbal Leonidas Tapiero Ortiz





Capítulo x.

Una mirada al látex de caucho natural desde la ciencia y la ingeniería de materiales

Mónica Lucía Álvarez-Láinez

Se pensaría que el látex de caucho natural es uno de esos materiales de los cuales ya se conoce todo en relación con su identidad como material; sin embargo, aún persiste una serie de interrogantes que generan nuevas investigaciones alrededor de él. En este capítulo, se identifican cuáles son las características que hacen de este material algo único en su género y se aborda su composición, no solo química, la cual ha sido objeto de estudio desde hace mucho tiempo, sino también morfológica; es decir, se aprovecha el uso de técnicas de caracterización de materiales como la microscopía de fuerza atómica para conocer cómo se ven las partículas de caucho en una suspensión de látex. Además, se hace uso de los resultados de una investigación realizada con el látex procedente del Bajo Cauca antioqueño por la Universidad EAFIT entre 2013 y 2016, para explorar qué hay debajo de la superficie que se observa en la suspensión “lechosa” conocida como látex de caucho natural.

¿Qué es el látex de caucho natural?

El proceso mediante el cual se extrae el látex de caucho natural se conoce como sangrado o rayado, y se realiza cuando el árbol *Hevea brasiliensis* tiene como mínimo una circunferencia de 45 a 50 cm medida a 120 cm de altura desde el suelo, lo que según las condiciones climáticas y edafológicas del sitio de siembra podría alcanzarse entre cinco y siete años luego del establecimiento (Zapata et al., 2016). El rayado se considera el proceso más importante, ya que los cuidados que se den durante su explotación determinan el tiempo de vida útil del árbol y su producción. Por lo tanto, la persona encargada de hacer la apertura del panel de sangría debe estar capacitada para hacerlo, pues el corte que se realiza sobre el árbol

se hace siguiendo las precauciones necesarias; por ejemplo, usando las herramientas adecuadas, o teniendo en cuenta los ángulos y la profundidad en el corte que se deben hacer con la cuchilla para no dañar la corteza del árbol.

Desde el punto de vista bioquímico, el látex que se extrae del árbol *Hevea brasiliensis* es el citoplasma de las células laticíferas del árbol, las cuales están conectadas y forman vasos organizados como si fueran anillos concéntricos en el floema; estas células son las responsables de la síntesis del *cis*-1,4-poliisopreno (Bottier, 2020). Desde el punto de vista fisicoquímico, el látex *cis*-1,4-poliisopreno es un sistema heterogéneo o coloidal constituido como mínimo por un medio dispersante (fase continua) y una fase dispersa (fase discreta).

El poliisopreno, que es la fase dispersa, se encuentra en una proporción entre 30% y 40%, y el 70% y 60% restante es el medio dispersante, que es un suero citoplasmático conformado por agua y, en menor proporción (aproximadamente un 5%), por otros componentes denominados los “no caucho”, como proteínas, lípidos¹, carbohidratos y menos de un 1% por minerales o compuestos inorgánicos (Zapata-Gallego & Álvarez-Láinez, 2019). Estos componentes no caucho, según muchos autores a lo largo de diversas investigaciones, serían los responsables de que el caucho natural presente mejores propiedades mecánicas que su contraparte, el caucho sintético; sin embargo, también son su talón de Aquiles, ya que presentan una alta variabilidad, que está relacionada con factores fisiológicos y ambientales.

Valdría la pena preguntarse cómo se encuentran enlazados los componentes caucho y los no caucho. El caucho natural es un material que fue muy revolucionario a finales del siglo XIX, por lo que podría pensarse que ha sido muy estudiado, pero no es así. En 2019 unos investigadores japoneses todavía se preguntaban cómo era la estructura química de estos compuestos no caucho presentes en un látex fresco de caucho natural (Oouchi et al., 2019) y los responsables de sus singulares propiedades mecánicas.

1 El término lípidos se usa de una manera genérica en el contexto del látex del caucho natural; es decir, pueden ser ácidos grasos asociados a fosfolípidos o ácidos grasos libres (Nawamawat et al., 2011).

Las cadenas de poliisopreno presentan en los extremos unos grupos terminales (y es aquí donde se enlaza el componente caucho con los no cauchos) que han sido denominados terminación α y ω . Estas terminaciones del poliisopreno son las que generan la unión con los fosfolípidos y las proteínas (los no caucho); así, la terminación α es de grupos asociados a los fosfolípidos mediante enlaces de hidrógeno, mientras que la terminación ω hace referencia a los grupos asociados a las proteínas (Nawamawat et al., 2011). Desde esta premisa, y teniendo en cuenta que al ser un material natural presenta un número considerable de componentes que pueden generar señales espectrales, los investigadores japoneses realizaron la ardua labor de analizar mediante resonancia magnética nuclear de alto campo (*high field*, NMR, por sus siglas en inglés) y alta resolución un látex de caucho natural (en este trabajo no se especifica la variedad clonal del látex usado para el análisis). Encontraron cinco diferentes tipos de terminaciones tipo α : las α_1 y α_3 , que son una estructura tipo éster de carboxilato; las α_2 y α_4 , que están asociadas a grupos hidroxilos, y la α_5 , que es la misma identificada en un compuesto de bajo peso molecular proveniente del hongo *Lactarius volemus*. Para la terminación tipo ω , los investigadores hallaron que estos grupos terminales son básicamente unidades de dimetilalilo unidas con dos unidades de *trans*-isopreno enlazadas al *cis*-1,4-poliisopreno (Oouchi et al., 2019). En la figura 59, se presenta la estructura molecular del látex de caucho natural.

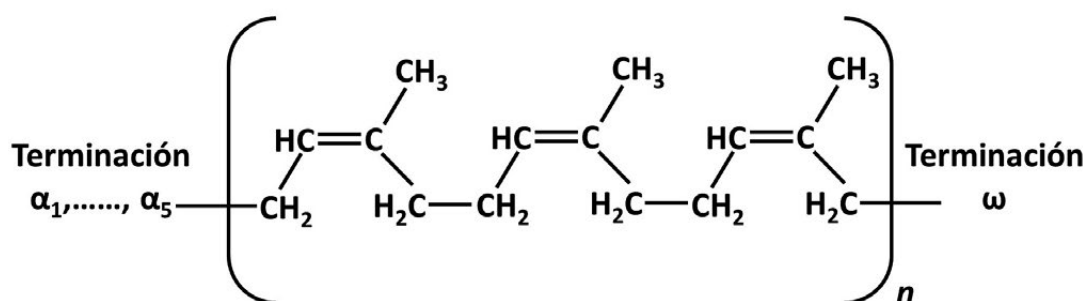


Figura 59.

Estructura molecular del *cis*-1,4-poliisopreno indicando sus grupos terminales tipo α y ω .

Fuente: Elaboración propia, a partir de Morton (1999)

Así, pues, ¿cómo se podría imaginar que se encuentran enlazados los componentes caucho y no caucho? Inicialmente, se ha dicho que los componentes no caucho tipo fosfolípidos y proteínas están en la superficie de las partículas de poliisopreno (Nawamawat et al., 2011; Sansatsadeekul et al., 2011), las cuales generan una carga positiva (a partir de grupos amino de las proteínas adsorbidas) y una carga negativa (ionización del grupo carboxílico adsorbido en las moléculas de fosfolípidos). Estas cargas son las responsables de la estabilidad coloidal que presentan las suspensiones de látex de caucho natural (Sansatsadeekul et al., 2011).

Después de realizar una lectura de diversos libros y artículos científicos, se evidenciaron varias propuestas que intentan plantear cómo es la distribución de los componentes no caucho y caucho. Inicialmente, se proponía que una partícula de látex de caucho natural estaba constituida por un centro de poliisopreno, rodeado por una capa de fosfolípidos, la cual estaba recubierta por una capa de proteínas (Cornish et al., 1999; Nawamawat et al., 2011). Sin embargo, con el uso de NMR y de técnicas para realizar análisis morfológico como microscopía de fuerza atómica (AFM, por sus siglas en inglés) se ha comenzado a dilucidar cómo es esta organización. En 2011, investigadores tailandeses y holandeses utilizaron AFM para mapear en la superficie de las partículas de látex los cambios en propiedades mecánicas, los cuales posteriormente fueron contrastados con microscopía de fluorescencia confocal para identificar la distribución de los fosfolípidos y las proteínas en la superficie de la partícula de látex; se encontró con eso que una partícula de caucho natural está rodeada por una capa superficial de aproximadamente 20 nm, donde se encuentran presentes (y ubicados de manera aleatoria) los fosfolípidos y las proteínas (Nawamawat et al., 2011).

Otros investigadores usan técnicas como dispersión de neutrones de ángulo bajo, dispersión de rayos X de ángulo bajo, microscopía electrónica de transmisión (TEM), microscopía de fuerza atómica (AFM, por sus siglas en inglés) y microscopía de fluorescencia confocal (Wu et al., 2017) para explicar cómo se organizan los no caucho en una matriz de poliisopreno y de qué manera estos contribuyen a las propiedades mecánicas. Vale la pena mencionar que este es un trabajo interesante y con un profundo componente experimental. Uno de los resultados más relevantes sugiere que al ser los fosfolípidos y las proteínas inmiscibles en la matriz de poliisopreno

forman unos agregados, los cuales permiten que las proteínas interactúen con las terminaciones ω y los fosfolípidos con las terminaciones α , lo que genera una red interconectada que, según los autores, es la responsable de las propiedades mecánicas tan singulares en el caucho natural. Además, se ha observado que dichos agregados o dominios que generan esta red interconectada de fosfolípidos- ω -proteínas- α se encuentran de manera aleatoria y forman una capa externa que actúa como un “surfactante”, con lo cual estabilizan las partículas de poliisopreno en el látex (Wu et al., 2017; Kumarn et al., 2018). En la figura 60, se presenta la propuesta más reciente de cómo están organizados los compuestos no caucho y caucho en el látex de caucho natural.

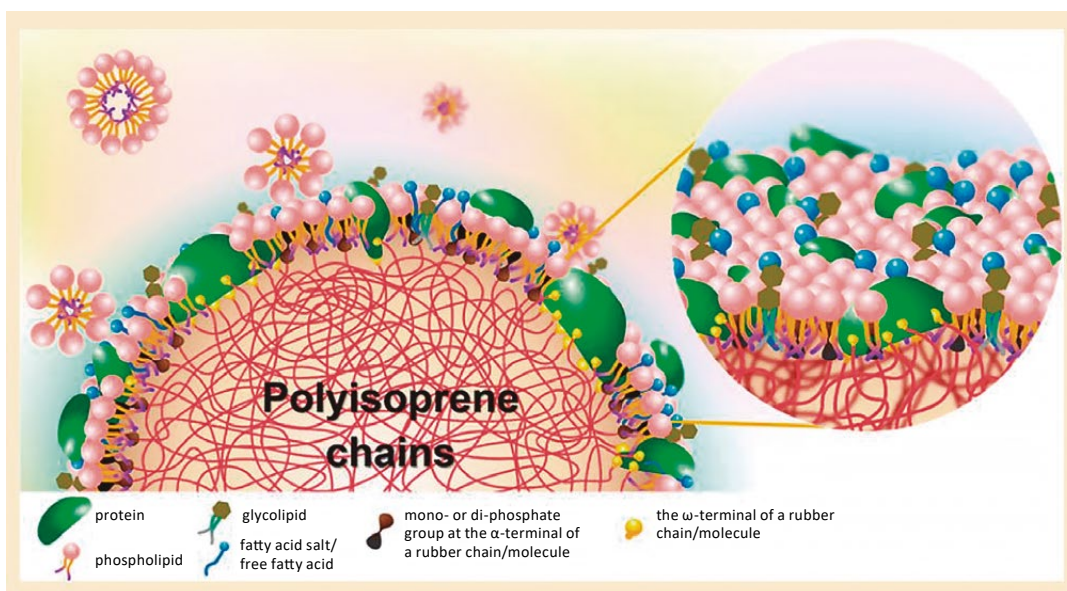


Figura 60.

Propuesta de una partícula de látex de caucho natural y su manera de distribuirse los fosfolípidos (terminaciones rosadas), las proteínas (verdes) y los grupos terminales α (terminaciones cafés) y ω (terminaciones amarillas). *

Fuente: Kumarn et al. (2018)

* Imagen utilizada con el permiso de Kumarn, S., Churinthorn, N., Nimpaiboon, A., Sriring, M., Ho, C. C., Takahara, A., & Sakdapipanich, J. (2018). Investigating the Mechanistic and Structural Role of Lipid Hydrolysis in the Stabilization of Ammonia-Preserved Hevea Rubber Latex. *Langmuir*, 34(43), 12730 -12738.

El látex de caucho natural como materia prima

Se han encontrado 2.500 plantas que contienen caucho, pero es el árbol de *Hevea brasiliensis* el que presenta una mayor importancia comercial (Van Beilen & Poirier, 2007) y la única fuente para la producción de caucho natural. Las características que exhibe el caucho natural, por ejemplo, su resiliencia, elasticidad, resistencia al impacto y a la abrasión, han sido muy difíciles de replicar en los cauchos sintéticos (Van Beilen & Poirier, 2007).

En la actualidad, el 90% de la producción de caucho natural del mundo se da en Asia, siendo Tailandia e Indonesia los principales productores, con el 35% y 30%, respectivamente. Solo existe un país del continente americano que se encuentra dentro de los diez principales países exportadores de caucho natural y es Guatemala (Trade Map, 2020). La cultura del cultivo y la transformación del caucho se han venido fortaleciendo en Colombia en los últimos años, y actualmente la actividad cauchera se encuentra en 17 de los 32 departamentos del país. Sin embargo, la producción nacional de caucho solo cubre el 20% de la demanda nacional, por lo que es necesario importar el resto.

En Colombia, todos los materiales sembrados corresponden a clones que son producto del mejoramiento genético realizado por los grandes productores que, en su mayoría, están en el oriente, en países como Indonesia, Tailandia y Malasia, y en América, principalmente en Brasil. En el contexto regional, 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 brasileños IAN 873, IAN 710 y FX 3864. En la tabla 29, se presentan algunas características importantes de estas variedades clonales (Sterling Cuéllar & Correa Díaz, 2010).

Tabla 29. Principales clones de caucho natural propagados en Colombia

Clon	Progenitores*	Especie de <i>Hevea</i>	Principales características
IAN 873	FA 1717 x PB 86	<i>H. brasiliensis</i> x <i>H. brasiliensis</i>	Produce látex, se estable con un contenido promedio de 32,7% de caucho seco
FX 3864	FB 38 x PB 86	<i>H. brasiliensis</i> x <i>H. brasiliensis</i>	De escasa ramificación, poco follaje, susceptible a costra negra, resistente al mal suramericano de las hojas. Produce látex estable con un contenido promedio de 31,5% de caucho seco
IAN 710	F 409 x PB 86	<i>H. brasiliensis</i> x <i>H. brasiliensis</i>	.

*El PB es originario de Prang Besar, Malasia, y el F es un clon nativo originario de Fordlandia, Brasil (Yasnó Cabrera et al., 2004).

Fuente: Zapata-Gallego (2016)

Principales características del látex de caucho natural colombiano

Del cultivo de caucho natural se obtienen y comercializan los siguientes productos: látex crudo concentrado, coágulo, lámina, ripio, caucho crepé y cauchos técnicamente especificados (TSR-20).

Para realizar el estudio de las características relacionadas con la composición y morfología del material, teniendo en cuenta su diferenciación por tipo de clon, se han empleado diversas técnicas de caracterización de materiales, con el fin de conocer el comportamiento del caucho como material bajo diferentes condiciones. Las técnicas más referenciadas que han servido de apoyo en este entendimiento se dividen en dos grandes grupos, los cuales se describen a continuación.

Pruebas realizadas en la industria

Existe una serie de ensayos y procedimientos que utiliza la industria que transforma el látex de caucho natural, ya sea para comercializarlo como látex centrifugado o concentrado, o como caucho sólido (lámina o TSR), o para establecer la ficha técnica del material que se va a comercializar.

La gran mayoría está contemplada en la norma técnica ASTM D 1076²: contenido de caucho seco (DRC, por sus siglas en inglés), contenido de sólidos totales (TSC, por sus siglas en inglés), alcalinidad calculada como hidróxido de potasio (KOH), alcalinidad calculada como porcentaje de amoníaco (NH₃), ácidos grasos volátiles (VFA), contenido de proteínas, zinc, cobre, manganeso, hierro, magnesio, pH y contenido de cenizas (Haque et al., 1995; Malmonge et al., 2009; Kala, 2010; Muhammad & Muhammad, 2012; Quarteroli Silva, 2012). Otras pruebas que se han hecho, especialmente para caucho sólido, son: índice de retención de plasticidad, viscosidad Mooney y pruebas mecánicas como ensayos de tensión (módulo al 100% y al 300%).

Pruebas realizadas para identificar composición, microestructura y morfología

Con el fin de conocer la relación entre los factores fisiológicos y ambientales con la composición, microestructura y morfología de las partículas de caucho, y cómo estas características afectan el desempeño mecánico y térmico del caucho natural, es necesario hacer uso de las técnicas de caracterización de materiales. Para evaluar la composición, se han utilizado las técnicas de resonancia magnética nuclear (Nawamawat et al., 2011), dispersión de neutrones de ángulo bajo, dispersión de rayos X de ángulo bajo (Wu et al., 2017) y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) (Agostini et al., 2008; Malmonge et al., 2009; Kala, 2010; Floriano et al., 2014; Zapata-Gallego & Álvarez-Láinez, 2019). Para identificar sus relajaciones y su estabilidad térmica se han utilizado: análisis termogravimétrico (TGA) y calorimetría de barrido diferencial (DSC) (De Oliveira et al., 2004; Agostini et al., 2008; Malmonge et al., 2009; Rejikumar & Philip, 2010; Muhammad & Muhammad, 2012; Zapata-Gallego & Álvarez-Láinez, 2019). Para identificar la morfología de las partículas de caucho, se ha utilizado la distribución del tamaño de las partículas (DTP) (Malmonge et al., 2009), la dispersión de luz dinámica (DLS) (Zapata-Gallego & Álvarez-Láinez, 2019), la microscopía electrónica de barrido (SEM) (Muhammad & Muhammad, 2012; Floriano et al., 2014), la microscopía electrónica de transmisión (TEM), la microscopía de fluorescencia confocal (Wu et al., 2017) y AFM (Zapata-Gallego & Álvarez-Láinez, 2019).

2 Standard Specification for Rubber-Concentrated, Ammonia Preserved, Creamed, and Centrifuged Natural Latex.

De igual manera, y con el fin de evaluar la incidencia de las proteínas en las alergias de las personas, se han hecho análisis biológicos para establecer la citotoxicidad y genotoxicidad del látex de caucho natural (Floriano et al., 2014).

En un estudio llevado a cabo en la Universidad EAFIT entre 2013 y 2016, se realizó la caracterización e identificación de las propiedades reológicas de látex de caucho natural preservado, proveniente de los clones IAN 710, IAN 873 y FX 3864 (Zapata-Gallego, 2016) de la zona del Bajo Cauca, en Antioquia; adicionalmente, se identificó el efecto que tiene el estado fenológico de estos clones en las propiedades del látex (Zapata-Gallego & Álvarez-Láinez, 2019). Como principales hallazgos de este trabajo, en el que se establecen las propiedades del látex de caucho natural de Antioquia, se tiene:

- El árbol del caucho en un año fenológico atraviesa cuatro etapas: floración, llenado de fruto, foliación y defoliación. Desde el punto de vista de producción de contenido de caucho seco (DRC), estas etapas fenológicas se pueden identificar como periodos de alta (defoliación) y baja (foliación) producción de DRC.
- El análisis del comportamiento térmico del látex también se ve modificado en cierto grado por la cantidad de DRC (contenido de 1,4 *cis* isopreno). En la figura 61, se observa que el látex de caucho natural presenta una Tg alrededor de los -65°C, pero cuando el contenido de 1,4 *cis* isopreno se incrementa, nuevas transiciones térmicas aparecen, por ejemplo, una fusión alrededor de -1°C.

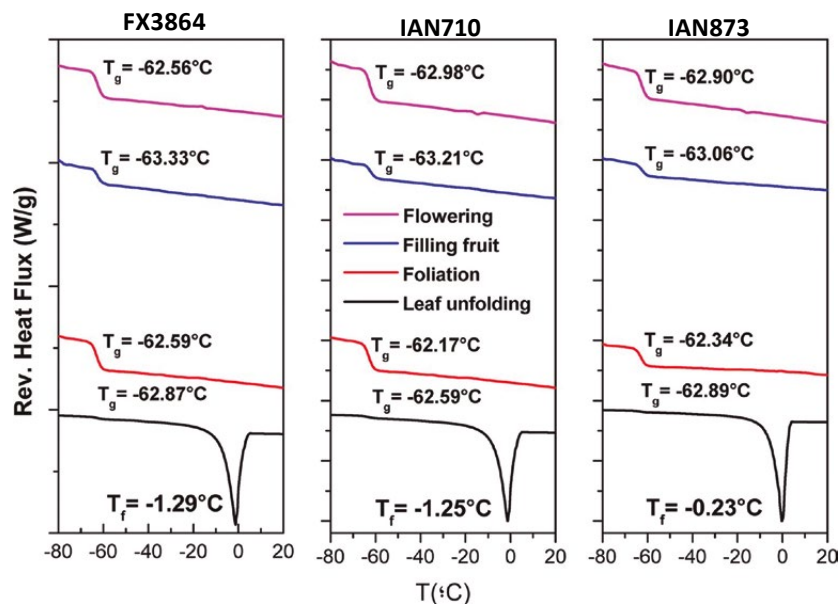


Figura 61.

Análisis térmico de látex proveniente de los clones FX 3864, IAN 710 e IAN 873. *

Nota: Se observa cómo la T_g no cambia con la etapa fenológica.

Fuente: Zapata-Gallego & Álvarez-Láinez (2019)

- El contenido de los no caucho, proteínas y fosfolípidos se analizó mediante espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier usando reflectancia total atenuada (FTIR-ATR). En los espectros realizados, estos componentes se identificaron como lípidos (Éster R1- (C=O)-O-R2, carboxil R1-[C=O]-OH) y se clasificaron de acuerdo con su naturaleza; lo mismo ocurrió con las proteínas (amida tipo I -R1- (C=O)-NH-R2, amida tipo II N-H + C-N). En todas las muestras se encontraron bandas definidas para los lípidos tipo ésteres en los grupos carboxil; lo mismo ocurre en las proteínas de la Amida II, respecto a la Amida I, siendo esta la que reporta mayores contenidos entre los clones. En el clon FX 3864 se reduce el contenido de proteína en las diferentes etapas: para el IAN 710 es más alto en la etapa de foliación y el IAN 873 presenta un contenido de proteína casi estable durante todas las etapas fenológicas. Los fosfolípidos parecen ser más

* Imagen utilizada y adaptada con el permiso de Springer: Zapata-Gallego, N. T., & Álvarez-Láinez, M. L. Effect of the Phenological Stage in the Natural Rubber Latex Properties. *Journal of Polymer and the Environment*, 27, 364 -371 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10924-018-1337-x>

estables que las proteínas en las etapas de llenado de fruto, la foliación y la defoliación, pero se muestra un aumento brusco durante la etapa de floración, en especial para los compuestos de éster; esto puede deberse a que en esta etapa el árbol utiliza las reservas de carbohidratos para el desarrollo de las flores. El clon FX 3864 presentó el mayor contenido de fosfolípidos, seguido de IAN 873.

- Mediante un análisis por AFM fue posible identificar la morfología de las partículas de caucho para cada una de las etapas fenológicas (figura 62). Según el análisis de estas imágenes, los clones IAN 873 y FX 3864 presentan una distribución monomodal con un tamaño promedio de alrededor de 600 nm sin cambios significativos durante un año. Sin embargo, el IAN 710 muestra un comportamiento distinto con una distribución bimodal (excepto en foliación) y cambios en el tamaño promedio en todas las etapas, que pueden variar desde 300 nm hasta 3 µm. Algo interesante que puede ser identificado a partir de las imágenes de fase del AFM es que las partículas de látex tienen formas redondeadas y tipo “pera”.

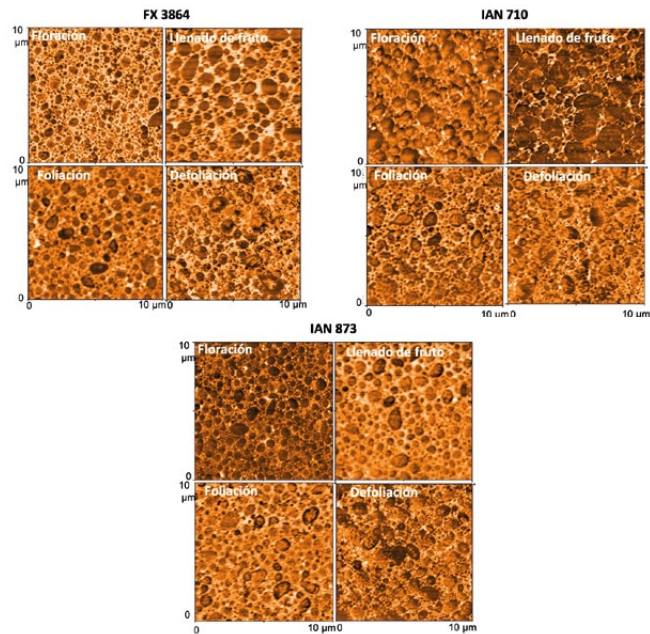


Figura 62.

Morfología de las partículas de caucho para los clones FX 3864, IAN 710 y IAN 873, respectivamente, en las diferentes etapas fenológicas.

Fuente: Elaboración propia

Este análisis morfológico mediante AFM permitió identificar que en la superficie de estas partículas existe una diferencia en la tonalidad de los colores, como se puede observar en la figura 63. Esas discrepancias están relacionadas con las diferencias en la composición química de las partículas de caucho, es decir, con el contenido de caucho y no caucho (Sakdapipanich et al., 2015). Sin embargo, no fue posible identificar a qué tonalidad correspondían los componentes caucho y los no caucho.

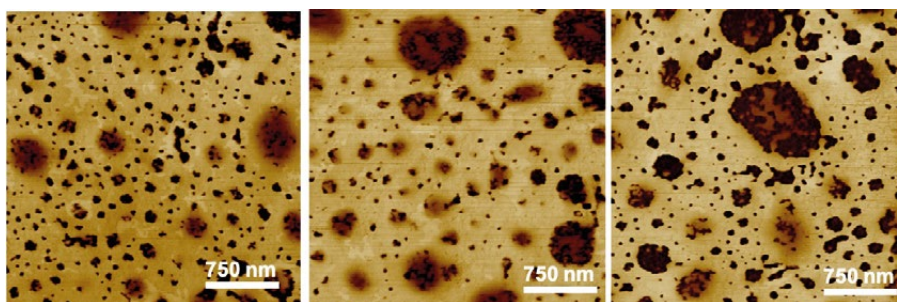


Figura 63.

Imágenes de AFM en modo fase de FX 3864, IAN 710 e IAN 873, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia

- Otro aspecto importante para analizar en el látex de caucho natural es la manera como se afecta su capacidad de fluir, ya que la reología en los látex está relacionada con el contenido de fosfolípidos y proteínas y, por lo tanto, con su estabilidad como coloide. En la figura 64, se presenta el análisis del comportamiento de la viscosidad con la velocidad de cizalla; cuando las velocidades de cizallas son bajas, la viscosidad del látex disminuye hasta alcanzar un punto mínimo, en el que la viscosidad comienza a aumentar. Este comportamiento se explica por los diferentes arreglos que experimentan las partículas de látex (Sansatsadeekul et al., 2011) con la aplicación del esfuerzo de cizalla. Para una velocidad de cizalla baja, las partículas forman una estructura bidimensional orientada hacia la dirección del flujo, lo cual disminuye su viscosidad. Cuando la velocidad de cizalla excede una viscosidad mínima, esas estructuras bidimensionales se perturban y se requiere más energía para establecer una nueva disposición en equilibrio y, como consecuencia, la viscosidad aumenta (Khandal

& Tadros, 1988). El clon FX 3864 muestra una mayor viscosidad en la etapa de floración, lo cual está relacionado con el contenido de fosfolípidos, porque la mayor cantidad de ese componente aumenta la resistencia del sistema a fluir y se requiere más energía para desestabilizarlo por medio de un efecto mecánico. La viscosidad del IAN 873 también es más alta en floración, pero en IAN 710 es más alta en la etapa de foliación, debido a que en esta se presenta un mayor contenido de proteínas.

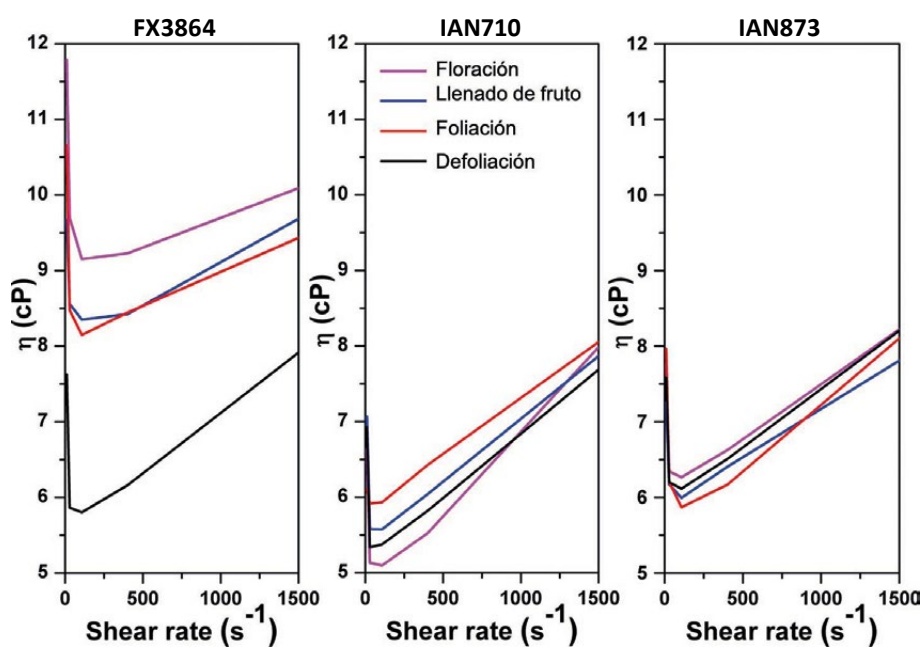


Figura 64.

Análisis del comportamiento del flujo del látex proveniente de los clones FX 3864, IAN 710 e IAN 873, respectivamente, mediante la curva viscosidad vs. velocidad de cizalla.

Fuente: Zapata-Gallego y Álvarez-Láinez (2019)





Capítulo XI.

Contexto sectorial

Gina Marcela Amado Saavedra

En este capítulo, se incluye información general de la cadena productiva de caucho natural y su industria, relacionada con los indicadores económicos, las áreas y la producción, los incentivos, los precios, el empleo y la agenda dinámica de investigación.

Cadena productiva

Las principales características de la cadena productiva de caucho natural y su industria se relacionan con lo que se menciona a continuación.

Acuerdo Sectorial de Competitividad y Consejo Nacional de la Cadena del Caucho y su Industria (CNC)

La cadena de caucho natural y su industria cuenta con un Acuerdo Sectorial de Competitividad desde 2002, cuyo objetivo principal es mejorar la competitividad del sector heveícola del país. Para 2010, y teniendo en cuenta los cambios económicos y políticos nacionales e internacionales, el CNC consideró prudente actualizar este documento.

El acuerdo pretende cumplir su objetivo a partir de seis estrategias (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2010), que se describen a continuación:

- Disminución de los costos de producción y mejoramiento de la calidad de la materia prima: se enfoca en aumentar la capacitación del recurso humano, generar procesos de asistencia técnica, construcción de estructuras de costos más ajustadas a la realidad, redefinición de los montos del Certificado de Incentivo Forestal, material vegetal de calidad, buenas prácticas agrícolas, modernización de maquinaria e industria, establecimiento de plantas de beneficio y cumplimiento de normas técnicas internacionales.
- Expansión del mercado: está orientada a aumentar la capacidad de exportación mediante la estandarización de la materia prima y de los productos terminados, y la promoción en mercados internacionales.
- Mejoramiento de las condiciones de vida de los productores y trabajadores de la cadena productiva: apoyo, mediante políticas públicas y cooperación internacional, a la ampliación y al aprovechamiento de áreas de siembra por parte de pequeños productores.
- Desarrollo tecnológico: por medio de la generación de convenios internacionales para acceso a nuevos materiales, formación, investigación, desarrollo y mercadeo de nuevos productos.
- Fortalecimiento institucional: a través de la consolidación de la cadena y las asociaciones de productores, el fortalecimiento de clústeres productivos, la creación de un sistema de información y la generación de alianzas para el desarrollo y el mercadeo de productos.
- Aspectos ambientales: abordados mediante el proceso de mecanismos de desarrollo limpio (MDL), técnicas de reutilización de productos de caucho y aplicación de la guía ambiental del sector.

A partir de la firma del acuerdo y según lo indicado en la Resolución 312 de 2002 (MADR, 2002) se creó el CNC, como un ente asesor del Gobierno nacional en el diseño de política pública para este sector económico. El objetivo de esta actuación se centró en apoyar el mejoramiento de la competitividad y la generación de valor agregado mediante la creación de las estrategias consignadas en el Acuerdo de Competitividad (actualizado en 2010) y la participación de los diferentes eslabones de la cadena en la toma de decisiones que afecten su actividad productiva.

Con la Resolución 175 de 2012 se ratificó la conformación del mencionado consejo por representantes del sector público (MADR, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], Departamento para la Prosperidad Social [DPS] y representante de las entidades de investigación), del sector privado (Confederación Cauchera Colombiana [CCC], representante de la industria y Asociación Colombiana de Industriales del Caucho [Asocolcauchos], representante por cada región con Acuerdo Regional de Competitividad suscrito) y entidades de apoyo (Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario [Finagro], Banco Agrario y Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]) (MADR, 2012).

Las principales funciones del CNC son promover el desarrollo de la cadena y el cumplimiento del Acuerdo Sectorial de Competitividad, así como asesorar al Gobierno nacional en la generación de programas que apoyen el fortalecimiento del sector y la toma de decisiones de inversión de recursos públicos, y constituir los Consejos Regionales de Competitividad en las zonas caucheras más importantes del país.

Registro de la Cadena Productiva ante el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

A partir del cumplimiento de los requisitos para la inscripción de organizaciones de cadena y la importancia de la participación de los diferentes eslabones productivos en la orientación y en el diseño de una política para promover el desarrollo de este sector productivo, el MADR reconoce la cadena de caucho natural y su industria con la expedición de la Resolución 175 de 2012 (MADR, 2012).

Estructura de la Cadena Productiva

Según lo que indica el Acuerdo Sectorial de Competitividad (MADR, 2010), la cadena productiva de caucho natural y su industria se compone de los siguientes eslabones (figura 65):

- Proveedores de insumos: materiales, agroinsumos, herramientas, maquinaria y material vegetal.
- Productores primarios: cultivadores que en su gran mayoría se encuentran asociados a organizaciones locales.
- Transformadores-plantas de beneficio: centros de acopio y transformación.
- Comercializadores: de materia prima y productos terminados.
- Reencauchado y recuperación de caucho.

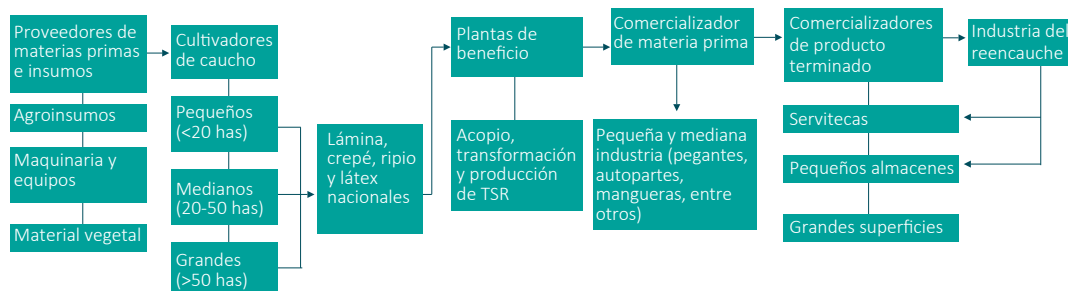


Figura 65.

Estructura de la cadena productiva de caucho natural y su industria.

Fuente: Elaboración propia, a partir del MADR (2010)

Fondo de Fomento Cauchero y cuota de fomento

La Ley 686 de 2001 reconoce a la agroindustria del caucho como un componente del sector agrícola del país, que está orientado al cultivo de *Hevea brasiliensis* y su beneficio¹ para la obtención de caucho y látex. Con las modificaciones integradas a partir de la Ley 1758 de 2015, la heveicultura² se reconoce también como componente del sector forestal

1 Proceso al que se somete el tallo de la planta de caucho para obtener el látex (Ley 686 de 2001).

2 Actividades de establecimiento, sostenimiento, aprovechamiento de plantaciones de caucho (*Hevea brasiliensis*) y beneficio del látex.

y se amplía la definición del beneficio como todo aquel proceso al que se somete el látex o el coágulo para la obtención de materias primas.

La cuota de fomento cauchero se creó a partir de la Ley 686 de 2001 como una contribución parafiscal asignable al Fondo de Fomento Cauchero (FFC), por una cuantía del 3% del valor³ de venta por kilogramo o litro de caucho natural de origen nacional. Tanto la administración de dicho fondo, como el recaudo estarían a cargo de la Federación Nacional de Productores de Caucho (FedECAUCHO), por un periodo de diez años. A partir de 2015 el valor del recaudo se disminuyó al 1% y se designó como administrador del FFC a la CCC por un periodo de diez años, bajo control y vigilancia de la Contraloría General de la República y el MADR (Ley 1758 de 2015).

Según la Ley 686 de 2001, los principales objetivos del FFC son la investigación orientada a mejorar la eficiencia del cultivo, la asistencia técnica, la transferencia de tecnología, la empresarización y el apoyo a mecanismos de estabilización de precios. A partir de 2015, como objetivos se incluyeron la promoción del consumo, programas y proyectos fitosanitarios, fortalecimiento a la comercialización y la distribución, diversificación de la producción y funcionamiento de la organización de cadena (Ley 1758 de 2015).

Principales indicadores económicos

A continuación, se describen características generales de los departamentos y municipios que conforman el área de estudio, así como información relacionada con la balanza comercial.

Departamentos y municipios objetivo

Las principales características de los departamentos y municipios sobre los que se centran estas recomendaciones productivas son las siguientes.

3 Este valor debe ser fijado por el MADR semestralmente mediante precios de referencia (parágrafo 1, artículo 4 de la Ley 686 de 2001).

Antioquia: es un departamento de categoría especial⁴ (Ley 617 de 2000) y está conformado por 125 municipios. Presenta una extensión de 63.612 km² y una proyección de población en 2020 de 6.677.930 habitantes (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2020), la mayoría (79,09%) ubicados en las zonas urbanas; tiene una densidad poblacional de 104,98 hab./km² (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2021a). Este departamento presenta un entorno de desarrollo robusto (Carmona Sánchez et al., 2015).

Cáceres: es un municipio de categoría 6⁵ (Ley 617 de 2000), ubicado en la subregión del Bajo Cauca, en el departamento de Antioquia. Presenta una extensión de 1.996 km² y una proyección de población en 2020 de 30.356 habitantes (DANE, 2020), la mayoría (81,63%) ubicados en la zona rural; tiene una densidad poblacional de 15,21 hab./km². Sus principales actividades económicas se relacionan con el sector terciario (servicios), seguidas del sector primario (producción agropecuaria) (DNP, 2021b). Este municipio presenta un entorno de desarrollo intermedio que, según Carmona Sánchez et al. (2015), es relevante económicamente en el departamento por su operación histórica como centralidad regional.

Caucasia: es un municipio de categoría 5⁶ (Ley 617 de 2000), ubicado en la subregión del Bajo Cauca, en el departamento de Antioquia. Presenta una extensión de 1.058 km² y una proyección de población en 2020 de 95.427 habitantes (DANE, 2020), la mayoría (83,33%) ubicados en la zona urbana; tiene una densidad poblacional de 90,2 hab./km². Las principales actividades económicas en este municipio se relacionan con los sectores secundario y primario, en orden de importancia (DNP, 2021c). Según Carmona Sánchez et al. (2015), este municipio presenta un entorno de desarrollo intermedio.

El Bagre: es un municipio de categoría 5 (Ley 617 de 2000), ubicado en la subregión del Bajo Cauca, en el departamento de Antioquia. Presenta una extensión de 1.951 km² y una proyección de población en 2020 de 53.846 habitantes (DANE,

4 Todos aquellos departamentos con población superior a dos millones de habitantes y cuyos ingresos corrientes de libre destinación anuales sean superiores a 600.000 salarios mínimos legales mensuales (Ley 617 de 2000).

5 Todos aquellos distritos o municipios con población comprendida entre 10.001 y 20.000 habitantes, y cuyos ingresos corrientes de libre destinación anuales sean superiores a 15.000 y hasta 25.000 salarios mínimos legales mensuales (Ley 617, 2000).

6 Todos aquellos distritos o municipios con población igual o inferior a 10.000 habitantes y con ingresos corrientes de libre destinación anuales no superiores a 15.000 salarios mínimos legales mensuales (Ley 617 de 2000).

2020), la mayoría (65%) ubicados en la zona urbana; tiene una densidad poblacional de 27,6 hab./ km². Las principales actividades económicas en este municipio están relacionadas con los sectores primario y terciario en su orden (DNP, 2021d). Según Carmona Sánchez et al. (2015), presenta un entorno de desarrollo intermedio.

Nechí: es un municipio de categoría 6 (Ley 617 de 2000), ubicado en la subregión del Bajo Cauca, en el departamento de Antioquia. Presenta una extensión de 925 km² y una proyección de población en 2020 de 27.354 habitantes (DANE, 2020), la mayoría (52,6%) ubicados en la zona urbana; tiene una densidad poblacional de 29,57 hab./km². Las principales actividades económicas en este municipio se relacionan, en orden de importancia, con los sectores terciario y primario (DNP, 2021e). Según Carmona Sánchez et al. (2015), este municipio presenta un entorno de desarrollo temprano, lo que indica que está apartado de los mercados y que presenta una economía poco especializada y baja participación en el producto interno bruto (PIB) nacional.

Tarazá: es un municipio de categoría 6 (Ley 617 de 2000), ubicado en la subregión del Bajo Cauca, en el departamento de Antioquia. Presenta una extensión de 1.578 km² y una proyección de población en 2020 de 27.995 habitantes (DANE, 2020), la mayoría (51,4%) ubicados en la zona rural; tiene una densidad poblacional de 17,74 hab./km². Las principales actividades económicas en este municipio se relacionan con los sectores terciario y primario (DNP, 2021f). Según Carmona Sánchez et al. (2015), el municipio presenta un entorno de desarrollo intermedio.

Valdivia: es un municipio de categoría 6 (Ley 617 de 2000), ubicado en la subregión norte del departamento de Antioquia. Presenta una extensión de 551 km² y una proyección de población en 2020 de 14.102 habitantes (DANE, 2020), la mayoría (72,3%) ubicados en la zona rural; tiene una densidad poblacional de 25,59 hab./km². Las principales actividades económicas en este municipio se relacionan con los sectores terciario y primario (DNP, 2021g). Según Carmona Sánchez et al. (2015), este municipio presenta un entorno de desarrollo temprano.

Zaragoza: es un municipio de categoría 6 (Ley 617 de 2000), ubicado en la subregión del Bajo Cauca, en el departamento de Antioquia. Presenta

una extensión de 1.077 km² y una proyección de población en 2020 de 25.703 habitantes (DANE, 2020), la mayoría (53,3%) ubicados en la zona rural; tiene una densidad poblacional de 23,87 hab./km². Las principales actividades económicas en este municipio están relacionadas con los sectores terciario y primario (DNP, 2021h). Carmona Sánchez et al. (2015) ubican este municipio en un entorno de desarrollo intermedio.

Córdoba: es un departamento de categoría 2⁷ (Ley 617 de 2000), que presenta una proyección de población en 2020 de 1.828.947 habitantes (DANE, 2020), la mayoría (52,1%) ubicados en las zonas urbanas; tiene una densidad poblacional de 73,1 hab./km² (DNP, 2021i). Este departamento presenta un entorno de desarrollo intermedio (Carmona Sánchez et al., 2015).

Montelíbano: es un municipio de categoría 6 (Ley 617, 2000), ubicado en la subregión de San Jorge, en el departamento de Córdoba. Presenta una extensión de 1.282 km² y una proyección de población en 2020 de 85.885 habitantes (DANE, 2020), la mayoría (74,2%) ubicados en la zona urbana; tiene una densidad poblacional de 66,99 hab./km². Las principales actividades económicas en este municipio se relacionan con los sectores secundario (industrial) y terciario (DNP, 2021j), y presenta un entorno de desarrollo intermedio (Carmona Sánchez et al., 2015).

Puerto Libertador: es un municipio de categoría 6 (Ley 617 de 2000), ubicado en la subregión de San Jorge, en el departamento de Córdoba. Presenta una extensión de 2.062 km² y una proyección de población en 2020 de 43.573 habitantes (DANE, 2020), la mayoría (68,9%) ubicados en la zona rural; tiene una densidad poblacional de 21,13 hab./km². Las principales actividades económicas en este municipio se relacionan con los sectores primario y terciario (DNP, 2021k). Según Carmona Sánchez et al. (2015), este municipio presenta un entorno de desarrollo intermedio.

San José de Uré: es un municipio de categoría 6 (Ley 617 de 2000), ubicado en la subregión de San Jorge, en el departamento de Córdoba. Presenta una extensión de 518 km² y una proyección de población en

7 Todos aquellos departamentos con población comprendida entre 390.001 y 700.000 habitantes, y cuyos ingresos corrientes de libre destinación anuales sean iguales o superiores a 122.001 y hasta de 170.000 salarios mínimos legales mensuales (Ley 617 de 2000).

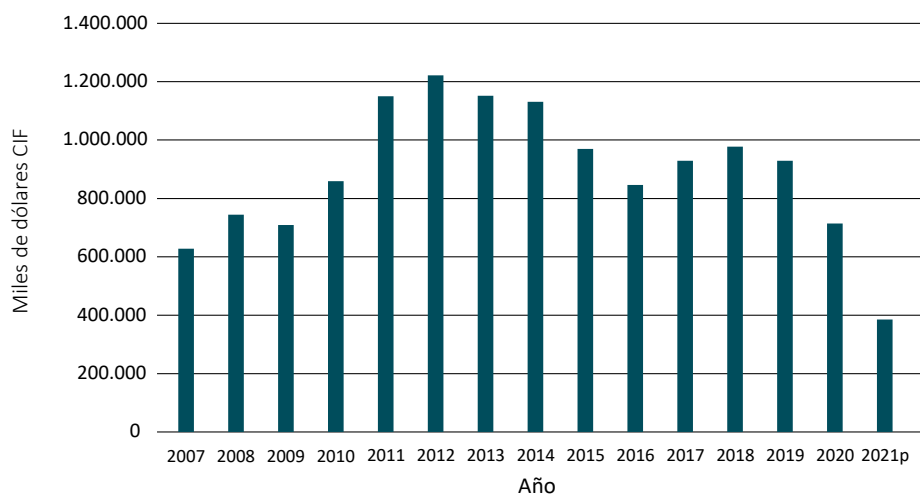
2020 de 13.814 habitantes (DANE, 2020), la mayoría (62,1%) ubicados en la zona rural; tiene una densidad poblacional de 26,67 hab./km². Las principales actividades económicas en este municipio se relacionan con los sectores primario y terciario (DNP, 2020l), y presenta un entorno de desarrollo intermedio (Carmona Sánchez et al., 2015).

Balanza comercial, importaciones y exportaciones

La balanza comercial es un registro que permite comparar importaciones y exportaciones de un producto en un tiempo específico, y que indica déficit o superávit comercial (Banco de la República, 2020a). En el caso del caucho natural y su industria (capítulo de arancel n.º 40, caucho y manufacturas) las importaciones y exportaciones presentaron en los últimos años el comportamiento que se describe a continuación.

Importaciones

Según información reportada por el DANE (2021a), se observa que entre 2007 y 2008 existió un aumento de importaciones del 18,5%, y entre 2008 y 2009 hubo una leve disminución (4,7%). Luego se presentó un aumento continuo que entre 2009 y 2012 alcanzó el 72,2%. Para el periodo 2012-2016, hubo una disminución de las importaciones en un 30,7%; esta tendencia muestra una recuperación entre 2016 y 2018, tiempo durante el cual se observa un aumento de las importaciones en un 15,5%. Entre 2018 y 2020, se evidencia nuevamente una caída equivalente al 26,9% (figura 66).

**Figura 66.**

Caucho. Importaciones 2007-2021 en miles de dólares CIF⁸.

*Cifras provisionales con corte a mayo de 2021. Actualizado el 19 de julio de 2021.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información del DANE (2021a)

Las partidas arancelarias en las que se registraron importaciones se muestran en la tabla 30.

Tabla 30. Partidas arancelarias registradas en importaciones

Partida arancelaria	Descripción
4001100000	Látex de caucho natural, incluso prevulcanizado
4001210000	Hojas ahumadas de caucho natural
4001220000	Cauchos naturales técnicamente especificados (TSNR)
4001291000	Hojas de crepé de caucho natural
4001292000	Caucho natural granulado reaglomerado
4001299000	Los demás cauchos naturales en otras formas
4015110000	Guantes de caucho vulcanizado sin endurecer, para cirugía,
6406100000	Partes superiores de calzado y sus partes, excepto los contrafuertes y punteras duras

Fuente: MADR (2020a)

8 *Cost, Insurance and Freight o Coste, Seguro y Flete (CIF). Puerto de destino convenido* es un término internacional de comercio, que indica que el vendedor se hace cargo de todos los costos, incluyendo transporte principal y un seguro (cuyo beneficiario es el comprador) hasta que la mercancía llegue a destino (Incoterms y Comercio Internacional, 2020).

Según el DANE (2021b), los principales países proveedores de caucho importado durante 2020 fueron China (246.465.000 USD CIF), Estados Unidos (80.610.000 USD CIF), Brasil (63.853.000 USD CIF) y Japón (50.298.000 USD CIF); asimismo, el volumen de importaciones en 2020 descendió en un 23,1% en comparación con 2019, pues pasó de 929.200.000 a 714.329.000 USD CIF.

Exportaciones

A partir de información reportada por el DANE (2021c), se observa que entre 2008 y 2010 se presentó una disminución en el monto global de exportaciones del 25,4%, seguida de un aumento del 28,7% en el periodo 2010-2011. Es notoria la disminución de exportaciones (70%) que se registra entre 2011 y 2016, la cual fue seguida por un repunte hasta 2018 que alcanzó el 57,6%, y una disminución del 5,6% en 2019. Según datos registrados en diciembre de 2020, se observa un leve aumento del 3,5% (figura 67).

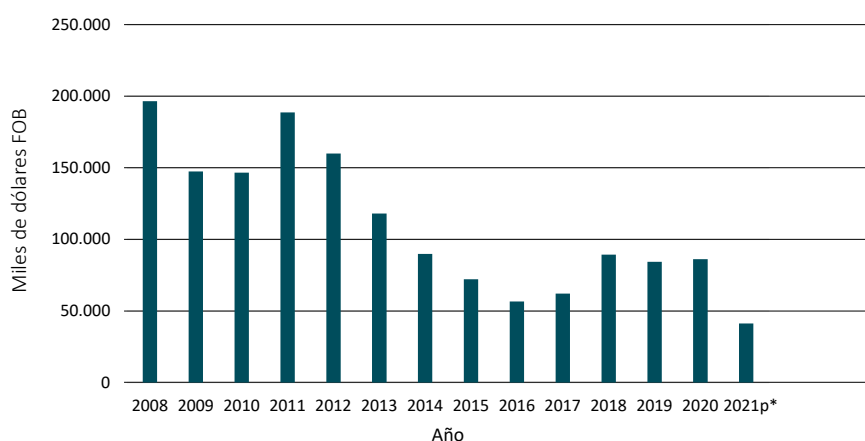


Figura 67.

Exportaciones de caucho y sus manufacturas, 2008-2020 en miles de dólares FOB.

*Datos con corte a junio de 2021. Actualizado el 2 de agosto de 2021.

Fuente: Elaboración propia, a partir del DANE (2021c)

9 Free On Board o franco a bordo. Puerto de carga acordado es un término internacional de comercio, el cual hace referencia a que el vendedor entrega la mercancía cuando esta se pone a bordo del buque en el puerto de embarque convenido y adicionalmente contrata el transporte, aunque este último costo puede ser asumido por el comprador (Incoterms y Comercio internacional, 2020).

Las partidas arancelarias en las que se registraron exportaciones se muestran en la tabla 31.

Tabla 31. Partidas arancelarias registradas en exportaciones

Partida arancelaria	Descripción
4001100000	Látex de caucho natural, incluso prevulcanizado
4001220000	Cauchos naturales técnicamente especificados (TSNR)
4001291000	Hojas de crepé de caucho natural
4001299000	Los demás cauchos naturales en otras formas
4015110000	Guantes de caucho vulcanizado sin endurecer, para cirugía
6406100000	Partes superiores de calzado y sus partes, excepto los contrafuertes y las punteras duras

Fuente: MADR (2020a)

Según el MADR (2020a), durante 2019 los principales países de destino para el caucho exportado desde Colombia fueron Chile (918.720 kg), Perú (825.405 kg) y Brasil (590.900 kg); asimismo, se indica que el volumen de exportaciones en 2019 aumentó en un 38% en comparación con 2018, pues pasó de 1.830.500 a 2.531.969 kg.

Balanza comercial

A partir de la información acerca de importaciones y exportaciones, se observa que la tendencia es de una balanza comercial negativa (tabla 32), la cual en 2012 alcanzó su máximo valor negativo para el periodo de evaluación.

Tabla 32. Balanza comercial

Año	Transacción		Balanza comercial
	Exportaciones	Importaciones	
	Miles de dólares FOB	Miles de dólares CIF	
2008	196.536,72	744.227,90	-547.691,18
2009	147.470,14	709.216,89	-561.746,75
2010	146.658,63	859.247,58	-712.588,95
2011	188.691,29	1.150.005,45	-961.314,16
2012	159.885,59	1.221.547,41	-1.061.661,82
2013	118.064,82	1.151.860,26	-1.033.795,44
2014	89.841,14	1.131.056,52	-1.041.215,38
2015	72.089,79	969.501,46	-897.411,67
2016	56.654,94	846.116,18	-789.461,23
2017	62.062,62	929.266,10	-867.203,48
2018	89.311,05	977.527,98	-888.216,93
2019	84.303,77	929.199,98	-844.896,20
2020	86.154,45	714.329,34	-628.174,89

Fuente: Elaboración propia, a partir del DANE (2021b, 2021c)

En la figura 68, se observa la tendencia de la balanza comercial, que solo cambia levemente entre 2014 y 2016.

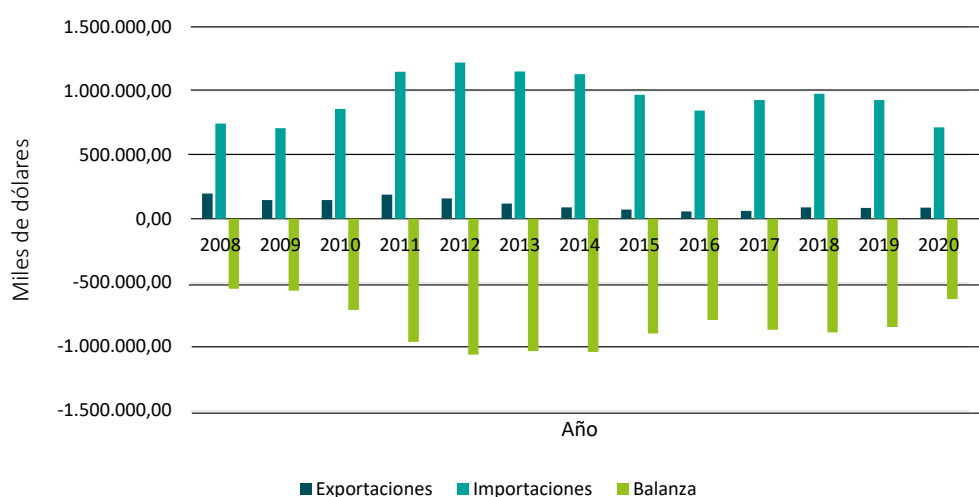


Figura 68.

Balanza comercial del caucho y sus manufacturas, 2008-2020.

Fuente: Elaboración propia, a partir del DANE (2021b, 2020c)

Área establecida, producción, rendimiento y consumo nacional

A partir del Censo Cauchero desarrollado en 2015 (Fondo de Fomento Cauchero & Confederación Cauchera Colombiana, 2016) se reportó la existencia de 53.223 ha de caucho establecidas en el país, de las cuales se rayaron 3.303, con producción de 2.664,8 toneladas de caucho seco. Para este mismo año, el MADR (2020a) indicó un consumo nacional de 18.698 toneladas. En cuanto a los departamentos de interés, se reportaron 4.247,2 ha establecidas en Antioquia y 2.266,8 en Córdoba, con una producción conjunta de 541,8 toneladas (88,5 toneladas en lámina, 11,5 toneladas de fondo de taza y 441,8 toneladas de caucho seco) (Fondo de Fomento Cauchero & Confederación Cauchera Colombiana, 2016).

Según información del MADR (2020b), con corte a 2019, Colombia contaba con 61.514 ha de caucho establecidas (tabla 33), producción de 12.000 toneladas¹⁰, rendimiento promedio de 1,4 toneladas por hectárea y consumo promedio anual aproximado de 22.000 toneladas.

Con la información descrita anteriormente se observa un aumento tanto del área establecida de 8.291 ha (15,6%), como del área en aprovechamiento entre 2015 y 2019. Sin embargo, el consumo también ha incrementado en aproximadamente 3.302 toneladas/año, lo que ha aumentado la necesidad de importaciones para cubrir la demanda interna; esto afecta de manera negativa la balanza comercial.

Tabla 33. Área nacional establecida en caucho a 2019

Región	Hectáreas establecidas
Cordón cauchero - cacaotero	7.514
Magdalena Centro	2.966
Amazonia	7.406
Orinoquía	33.069
Magdalena Medio	10.005
Otras regiones	554
Total	61.514

Fuente: MADR (2020b)

¹⁰ Por rendimientos promedio se calculan aproximadamente 8.571 ha en aprovechamiento a nivel nacional.

Costos de establecimiento y mantenimiento

Según el MADR (2020b), los costos globales asociados al cultivo de caucho en Colombia son los que se muestran en la tabla 34.

Tabla 34. Costos de establecimiento, mantenimiento y preparación para aprovechamiento por hectárea

	Año 0	Año 1	Desde el año 2 hasta el año 6	Año 7*
Establecimiento	7.807.000	-	-	-
Mantenimiento anual	-	870.000	1.580.000	4.700.000

*El aumento de costos en el año 7 obedece a las necesidades asociadas al alistamiento de los árboles para su aprovechamiento.

Fuente: MADR (2020b)

Es pertinente desarrollar una estructura de costos para la región objetivo, teniendo en cuenta que el monto de la inversión puede modificarse de acuerdo con las condiciones específicas presentes. Dicha estructura debería incluir los siguientes ítems:

- Etapa de establecimiento, año 1: mano de obra, insumos, equipos y herramientas requeridos para adecuación de terreno, trazado, ahoyado, fertilización, siembra, resiembra, control fitosanitario, podas y deshierbas, transporte menor y mayor, asistencia técnica y administración.
- Etapa de mantenimiento, del año 2 al año 6: mano de obra, insumos, equipos y herramientas requeridos para plateo, deshierbas, podas, fertilización, control fitosanitario, transporte menor y mayor, asistencia técnica y administración.
- Etapa de aprovechamiento: mano de obra, insumos, equipos y herramientas requeridos para plateo, deshierbas, podas, fertilización, control fitosanitario, transporte menor y mayor, asistencia técnica, administración, equipamiento de árboles, estimulación, rayado, recolección y manejo.

Lo anterior teniendo en cuenta las notorias diferencias que existen entre los costos reportados por el MADR y los establecidos en la Resolución 411 de 2018, sobre la cual se regula el monto del Certificado de Incentivo Forestal (CIF) para esta especie.

Certificado de Incentivo Forestal

Según la Resolución CIF, para la vigencia 2021 se otorga un incentivo del 75% por el costo de establecimiento de cada árbol de caucho en municipios ubicados en áreas de influencia del Programa Nacional Integral de Sustitución de Cultivos Ilícitos (PNIS) o de Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET), mencionados en el Decreto 893 de 2017. Es decir, que de los \$8.164 pesos¹¹ que cuesta establecer un árbol de caucho, por medio del CIF el Gobierno dará un incentivo de \$6.123. Para otras áreas, el valor de establecimiento por árbol es similar; sin embargo, el incentivo solo alcanza el 50%, es decir, \$4.082 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020c).

En cuanto al mantenimiento, este difiere en su valor anualmente. Para los primeros cinco años, periodo cubierto por el CIF, el incentivo es del 50% anual, como se muestra en la tabla 35.

Tabla 35. Incentivo CIF para plantaciones nuevas de caucho por hectárea

Mantenimiento	VPN de costos totales Netos (ha)	Cuantía del incentivo (%)	Valor por pagar
Año 2	746.901	50	373.451
Año 3	731.932	50	365.966
Año 4	351.293	50	175.646
Año 5	441.152	50	202.576

Fuente: MADR (2020b)

Los diez municipios que componen el área de trabajo que atañe a este documento son municipios PDET, y con excepción de Caucasia, Valdivia y Zaragoza (Antioquia), todos son municipios PNIS.

Línea especial de crédito

La línea especial de crédito (LEC) hace referencia a un subsidio en la tasa de interés de un crédito, cuya finalidad es la disminución de los costos financieros del beneficiario que lo solicita para lograr el mejoramiento de la productividad y competitividad de su actividad agropecuaria. Su monto máximo es de 250 millones de pesos, para créditos con vigencia de

¹¹ Valor promedio nacional (VPN) de costos netos por árbol.

máximo cinco años (Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario [Finagro], 2020) y cuyas condiciones financieras se observan en la tabla 36. Sin embargo, si el productor cumple con alguna de las condiciones enumeradas en la tabla 37, la tasa tiene descuentos adicionales como se muestra en la tabla 38.

Precios nacionales

El precio en el mercado del caucho natural se define a nivel internacional, y para Colombia es a través de la bolsa de Singapur. Durante 2016 y 2017 se registraron caídas en el precio internacional, las cuales están relacionados con el aumento de *stock*, la caída en la demanda de China, que es el principal importador mundial, y la baja en el precio internacional del petróleo y, por consiguiente, en el caucho sintético MADR (2020a).

Los principales productos de caucho en Colombia y su precio de venta entre 2008 y 2018 se observan en la tabla 39.

Generación de empleo

Según reportes del MADR (2020b), la generación de empleo de la actividad económica desarrollada alrededor del caucho natural ha mantenido un aumento constante durante los últimos años, ya que pasó de 9.132 empleos directos en 2012 a 18.000 en 2019 (tabla 40). Similar dinámica se observa en la generación de empleos indirectos.

Tabla 36. Condiciones financieras de LEC

Tipo de productor	Tasa de redescuento*		Tasa de interés		Subsidio a la tasa
	DTF**	IBR***	DTF	IBR	
Pequeño	DTF - 2,5% e.a.	IBR - 2,6%	DTF + 2% e.a.	IBR + 1,9%	4%
Mediano	DTF + 1% e.a.	IBR + 0,9%	DTF + 4% e.a.	IBR + 3,9%	3%
Esquema asociativo	DTF - 3,5% e.a.	IBR - 3,6%	DTF + 2% e.a.	IBR + 1,9%	3%
Esquema de integración	DTF - 1% e.a.	IBR - 1,1%	DTF + 2% e.a.	IBR + 1,9%	4%

*En el caso de Finagro (como banco de segundo piso), es la tasa de interés que cobra a otras instituciones financieras; **tasa de interés promedio de las tasas promedios de captación diarias de los CDT a 90 días, pagadas por los bancos a los usuarios del sistema financiero (Banco de la República, 2020b); ***tasa de interés de referencia de corto plazo, que refleja el precio al que los bancos están dispuestos a ofrecer o a captar recursos en el mercado monetario (Banco de la República, 2020c).

Fuente: Finagro (2020)

Tabla 37. Condiciones para descuento

Tipo de productor	Productor		
	A	B	C
Pequeño	-1,5%	-1,0%	-0,5%
Mediano	-1,5%	-0,5%	-0,5%
Esquema asociativo	-1,5%	-0,5%	-0,5%
Esquema de integración	-1,5%	-0,5%	-0,5%

Fuente: Finagro (2020)

Donde, A: está ubicado en uno de los clústeres definidos por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), la tasa disminuye; B: cuenta con certificado de buenas prácticas (BP)/con seguro agropecuario/es joven rural, la tasa disminuye, y C: es mujer, la tasa disminuye.

Tabla 38. Condiciones financieras si se cumplen las condiciones del descuento

Tipo de productor	Tasa de interés con subsidio adicional final		Subsidio adicional
	DTF	IBR	
Pequeño	DTF – 1% e.a.	IBR - 1,1%	Hasta 3% e.a.
Mediano	DTF + 1,5% e.a.	IBR + 1,4%	Hasta 2,5% e.a.
Esquema asociativo	DTF - 0,5% e.a.	IBR - 0,6%	Hasta 2,5% e.a.
Esquema de integración	DTF - 0,5% e.a.	IBR - 0,6%	Hasta 2,5% e.a.

Fuente: Finagro (2020)

Tabla 39. Precios nacionales (en COP), 2008-2018

Presentación del producto	Año										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Látex de campo (l) *	1.500	1.600	1.400	1.800	900	1.000	1.000	1.000	900	1.120	1.120
Coágulo (kg)*	3.000	3.150	3.400	4.000	3.500	2.500	2.900	2.500	2.700	3.200	3.200
TSR ¹² 20 (kg)*	4.900	4.200	5.800	7.000	4.100	4.300	4.300	4.000	3.800	5.100	5.200
Lámina (kg)*	4.500	4.200	5.800	7.000	4.200	4.400	4.500	4.200	4.400	4.200	4.500
Látex centrifugado (kg)**	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	3.800	3.900	4.000	3.800	3.800	4.500	4.200
Crepé (kg)	5.000	4.400	5.800	6.800	6.200	5.500	4.500	4.200	N. D.	N. D.	N. D.

*Precio al productor en COP; **Precio a agroindustria en COP.

Fuente: MADR (2020a)

Tabla 40. Generación de empleo

Año	Empleo		
	Directo	Indirecto	Total
2012	9.132	27.390	36.522
2013	10.800	32.400	43.200
2014	13.150	39.450	52.600
2015	14.650	43.900	58.550
2016	15.650	47.000	62.650
2017	16.650	48.000	64.650
2018	17.250	51.750	69.000
2019	18.000	63.000	81.000

Fuente: MADR (2020)

Agenda Dinámica Nacional de I+D+i

Desde el nivel nacional y con el apoyo de la mesa de investigación del Consejo Nacional de la Cadena, en 2014 se definieron criterios de priorización (tabla 41) para definir los departamentos donde se desarrollarían los talleres de revisión de la agenda de I+D+i. De esta manera, Antioquia y Córdoba fueron dos de los ocho departamentos priorizados para desarrollar estas jornadas de trabajo con énfasis territorial (Amado Saavedra et al., 2016).

Tabla 41. Criterios de priorización definidos por el Consejo Nacional de la Cadena

Criterio	Descripción
Área sembrada (ha)	Área establecida del cultivo en el departamento
Producción (t)	Producción del cultivo en el departamento
Rendimiento (t/ha)	Rendimiento del cultivo en el departamento
Potencial productivo	Potencial productivo del cultivo en el departamento
Producción según norma técnica	Departamentos que produzcan materia prima estandarizada y con calidad

Fuente: Amado Saavedra et al. (2016)

La construcción de la agenda de I+D+i en 2012 (Córdoba) se realizó desde el nivel central, con participación de la mesa técnica del Consejo Nacional de la Cadena. Los talleres de revisión de la agenda de I+D+i se desarrollaron en 2014 (Antioquia) y 2015 (Córdoba), y estuvieron enfocados en las condiciones territoriales, bajo el liderazgo del MADR y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). En estos talleres, se registró la participación de 26 entidades y organizaciones de orden nacional y regional, como se muestra en la figura 69.

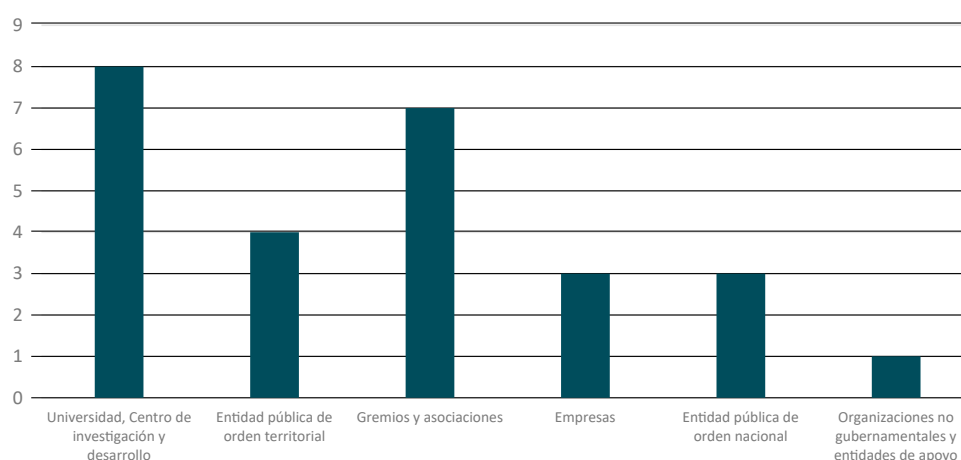


Figura 69.

Participación de organizaciones en la revisión de la agenda de I+D+i de la Cadena de Caucho Natural y su Industria.

Fuente: Siembra (2020)

Con una mayor participación se encuentran las universidades y los centros de investigación y desarrollo (Universidad de Córdoba, Centro APIC de Formación, Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA], Universidad EAFIT, Universidad de Antioquia, Universidad Nacional de Colombia, Instituto Tecnológico Metropolitano [ITM] y AGROSAVIA); les siguen las entidades públicas de orden territorial (Gobernación de Córdoba, Gobernación de Antioquia, Alcaldía de Montelíbano y Alcaldía de San José de Uré), los gremios y las asociaciones (Asociación de Hevicultores de Antioquia y Córdoba [Heveancor], Asociación de Campesinos de Uré [Asocur], Asociación de Productores Alternativos de Simití [Asproa], Asociación de

Caucheros Agropecuarios de Puerto Libertador [Ascap], Asociación de Productores de Montelíbano [Acamon], Asociación de Productores de Especies Menores y Agrícolas del San Jorge [Asproesa] y Asociación Comité de Cultivadores de Caucho [Asculticaucho]), entidades públicas de orden nacional (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], Programa Colombia Responde [APC] y Unidad Administrativa para la Consolidación Territorial), empresas y ONG o entidades de apoyo.

A nivel nacional se identificaron 107 demandas de investigación; para Antioquia y Córdoba, se alcanzaron 17 y 11, respectivamente. Según se observa en la figura 70, para el departamento de Córdoba se identificaron demandas de investigación en siete áreas temáticas, con mayor número de demandas en Manejo, cosecha, poscosecha y transformación; mientras que para el departamento de Antioquia se presentaron demandas en ocho áreas, entre las cuales resaltan Manejo del sistema productivo, Material de siembra y mejoramiento genético, y Calidad e inocuidad de insumos y productos.

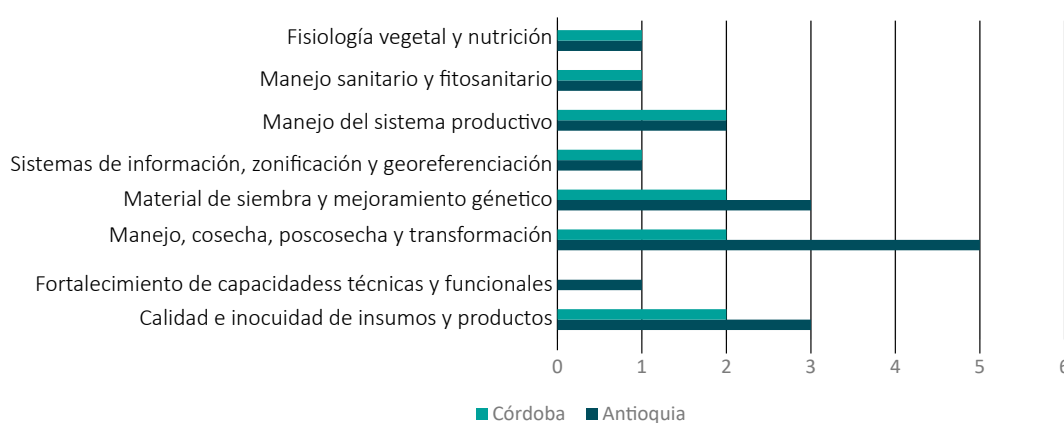


Figura 70.

Número de demandas por área temática y departamento.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Siembra (2020)

Teniendo en cuenta la información de Siembra (2020), en el área temática “fisiología vegetal y nutrición”, los dos departamentos evidenciaron necesidades de investigación asociadas a la evaluación de requerimientos nutricionales de la especie, pero con dos focos específicos: en el caso de Antioquia, orientados hacia la producción y la calidad del látex, y en Córdoba relacionados con prácticas eficientes de fertilización. Para el área temática “manejo sanitario y fitosanitario”, tanto Córdoba como Antioquia mostraron la necesidad de encontrar soluciones tecnológicas que lleven al mejoramiento de las condiciones fitosanitarias del cultivo, haciendo énfasis en *Pseudocercospora ulei*, *Colletotrichum* sp., *Lasiodiplodia* sp., enfermedades de hojas, raíz y panel, chinche encaje, termitas y gusano cachón en el caso de Antioquia, y en la evaluación de plagas (trips del chili y ácaros) y enfermedades emergentes (muerte descendente) en Antioquia.

En las áreas temáticas “Manejo del sistema productivo” y “Sistemas de información, zonificación y georreferenciación”, los dos departamentos coinciden en la importancia del uso de los bioproductos para el cultivo, el beneficio y la transformación del caucho, el establecimiento de sistemas agroforestales con caucho como alternativa económica para los productores en etapas improductivas del cultivo principal y diseñados teniendo en cuenta las condiciones agroecológicas y socioeconómicas de la zona y el desarrollo, y la implementación de sistemas de almacenamiento de datos que permitan la obtención permanente de información actualizada acerca del sector.

En cuanto al área temática “Material de siembra y mejoramiento genético”, las necesidades de Antioquia se centran en la ampliación de las variedades de material vegetal disponible, la evaluación de materiales genéticos adaptados a las condiciones de la región y el uso de tecnologías asociadas al proceso de identificación de material vegetal, orientadas a la certificación y trazabilidad. Córdoba, por su parte, requiere evaluación técnica de materiales con énfasis en resistencia a la antracnosis y disponibilidad de material vegetal y viveros certificados.

En el área temática “Manejo, cosecha, poscosecha y transformación”, Antioquia se enfoca en necesidades relacionadas con las tecnologías para la disposición final de productos elaborados con caucho, una

vez estos hayan cumplido su vida útil, y en los usos alternativos del cultivo de caucho en sistemas silvopastoriles y recuperación de áreas ganaderas, entre otras. Para Córdoba, los requerimientos se relacionan con tecnologías para el aprovechamiento de plantaciones de caucho natural en sus diferentes etapas y de manera integral (pagos por servicios ambientales [PSA], madera, aceite). Como puntos comunes se identificaron necesidades en cuanto a tecnologías para el sistema de aprovechamiento de plantaciones de caucho natural, diagnóstico del látex e interpretación de resultados del sistema de aprovechamiento, tecnologías de transformación y diversificación de productos.

En Antioquia se encontró la necesidad de caracterizar e identificar estrategias para el fortalecimiento de asociaciones de cultivadores de caucho. Este requerimiento se clasifica en el área temática “Fortalecimiento de capacidades técnicas y funcionales”.

Finalmente, en el área temática “Calidad e inocuidad de insumos y productos”, en los dos departamentos se identificaron necesidades relacionadas con la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo y de estándares de calidad para el proceso de beneficio y transformación industrial.

De manera transversal a todas las áreas temáticas, tanto en Antioquia como en Córdoba se recalca la importancia del diseño y la ejecución de procesos de transferencia de tecnología y divulgación de información.



Referencias

- Abraham, J., & Joseph, P. (2015). A new weed management approach to improve soil health in a tropical plantation crop, rubber (*Hevea brasiliensis*). *Experimental Agriculture*, 52(1), 36-50. <https://doi.org/10.1017/S0014479714000544>
- Adifaiz, A. F., Maiden, N. A., Shamin, N. A., Zarawi, A. G., & Rafii, M. Y. (2017). Potential Genotypes of the 1995 RRIM Hevea Germplasm Collection for Future Rubber Breeding and Selection Programme. *Journal of Rubber Research*, 20(4), 242-260. <https://doi.org/10.1007/BF03449155>
- Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional [USAID]. (2006). *Manual para el manejo de la hormiga arriera*. Programa MIDAS; Departamento de Planeación; Presidencia República de Colombia.
- Aguilar Corrales, D. A., Rodríguez Vásquez, A. F., Gómez, L. M., Siachoque Bernal, R. F., Acosta Latorre, C. P., Cortes López, C. L., Enciso Enciso, F., García Márquez, E. R., Lagos Riaño, L. M., Maluendas, A. V., Ortiz Guengue, L., Ríos Ortegón, M., Romero Guevara, O., Rubiano, C. E., & Vergara Hincapié, J. (2018). *Metodología de evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios a escala general (1:100.000)*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). https://www.upra.gov.co/documents/10184/159215/Evaluacion_tierras_nal
- Agostini, D. L. S., Constantino, C. J. L., & Job, A. E. (2008). Thermal degradation of both latex and latex cast films forming membranes. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 91(3), 703-707. <https://doi.org/10.1007/s10973-007-8351-x>
- Aguirre, R., & Santoyo, C. (2013). *El cultivo del árbol del hule (Hevea brasiliensis Muell Arg.): avances y retos en la gestión de la innovación*. Centro de Investigaciones Económicas Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM); Universidad Autónoma Chapingo.
- Alarcón Restrepo, J., Arévalo Peñaranda, E., Díaz Jiménez, A. L., Galindo Álvarez, J. L., & Rosero, A. A. (2012). *Manejo Integrado de plagas enfermedades en el cultivo del caucho (Hevea brasiliensis). Medidas para la temporada invernal*. Corporación Colombiana Agropecuaria (ICA).
- Alemán Zeledón, F., Quezada Bonilla, J. B., & Germandía Zapata, M. (2012). *Flora arvense y ruderal del pacífico y centro de Nicaragua*. Universidad Nacional Agraria.

- Allen, K., Corre, M. D., Tjoa, A., & Veldkamp, E. (2015). Soil nitrogen cycling responses to conversion of lowlands forests to oil palm and rubber plantations in Sumatra, Indonesia. *PLoS ONE*, 10(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133325>
- Amado Saavedra, G. M., Rincón N., R., & Castiblanco García, L. M. (2016). *Cadena de Caucho Natural y su Industria. Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano*. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/1439>
- Arango Cuartas, M. E., Gomez Giraldo, L., Maya Gallego, M. L., & Bejarano Castañeda, O. R. (2000). *Bajo Cauca desarrollo regional: una tarea común universidad-región*. Universidad de Antioquia.
- Arias, B., & Bellotti, C. (1984). Pérdidas en rendimiento (daño simulado) causadas por *Erinnyis ello* (L.) y niveles críticos de población en diferentes etapas de desarrollo en tres clones de yuca. *Revista Colombiana de Entomología*, 10, 28-35. <https://doi.org/10.25100/socolen.v10i3-4.10284>
- Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá [Asoheca]. (2009). *Ficha técnica para la producción y manejo de semilla sexual de caucho*. <http://www.asoheca.org/imagenes/Fichastecnicas/FICHA%20TECNICA%20PARA%20LA%20PRODUCCION%20Y%20MANEJO%20DE%20SEMILLA%20SEXUAL%20DE%20CAUCHO.pdf>
- Atangana, A., Khasa, D., Chang, S., & Degrande, A. (2014). *Tropical Agroforestry*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7723-1>
- Aweto, A. O. (1987). Physical and nutrient status of soils under rubber (*Hevea brasiliensis*) of different ages in south-western Nigeria. *Agricultural Systems*, 23(1), 63-72. [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(87\)90073-4](https://doi.org/10.1016/0308-521X(87)90073-4)
- Banco de la República. (2020a). *Balanza comercial*. https://enciclopedia.banrepcultural.org/index.php/Balanza_Comercial
- Banco de la República. (2020b). *Tasas de captación (DTF y CDT)*. <https://www.banrep.gov.co/es/glosario/tasas-captacion>
- Banco de la República. (2020c). *Indicador Bancario de Referencia (IBR)*. <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/indicador-bancario-referencia-ibr>

- Barrera Cubillos, G. P., Gómez, J., Cuartas, P., León, G., & Villamizar Rivero, L. F. (2014). Caracterización morfológica, biológica y genética de un aislamiento colombiano de granulovirus de *Erinnyis ello* (L) (Lepidoptera: Sphingidae). *Revista Colombiana de Biotecnología*, 16(2), 28-35. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v16n2.41663>
- Bataglia, O., Rodrigues dos Santos, W., De Souza Gonçalves, P., Segnini Junior, I., & Cardoso, M. (1999). Efeito da adubação NPK sobre o período de imaturidade da seringueira. *Bragantia*, 58(2), 363-374. <https://doi.org/10.1590/S0006-87051999000200016>
- Bellini, M. R., De Moraes, G. J., & Feres, R. J. F. (2005). Ácaros (Acari) de dois sistemas de cultivo da seringueira no noroeste do Estado de São Paulo. *Neotropical Entomology*, 34(3), 475-484. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2005000300017>
- Bellotti, A. C., Arias, B., & Guzmán, O. L. (1992). Biological control of the cassava hornworm, *Erinnyis ello* (Lepidoptera: Sphingidae). *Florida Entomology*, 75(4), 506-515. <https://doi.org/10.2307/3496132>
- Bellotti, A. C., Arias, B., & Reyes, J. A. (1989). *Manejo integrado de Erinnyis ello (L) (gusano cachón de la yuca)*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Bellotti, A. C., Smith, L., & Lapointe, S. L. (1999). Recent advances in cassava pest management. Annual reviews. *Annual Review of Entomology*, 44, 343-370. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.44.1.343>
- Bernardes, M. S. (1989). *Efeito de métodos químicos de indução de copa no desenvolvimento da seringueira (Hevea brasiliensis Muell. Arg. Cv. RRIM 600)* [Tesis de maestría, Universidad de São Paulo].
- Borchert, R., Calle, Z., Strahler, A., Baertschi, A., Magill, R., Broadhead, J., Kamau, J., Njoroge, J., & Muthuri, C. (2015). Insolation and photoperiodic control of tree development near the equator. *New Phytologist*, 205(1), 7-13. <https://doi.org/10.1111/nph.12981>
- Bottier, C. (2020). Biochemical composition of *Hevea brasiliensis* latex: A focus on the protein, lipid, carbohydrate and mineral contents. *Advances in Botanical Research*, 93, 201-237. <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2019.11.003>
- Brummer, B. M. (1992). *Estudo sobre a densidade de plantio e sistemas de sangria de seringueira (Hevea brasiliensis Muell. Arg.) através do uso de modelagem e simulação* [Tesis de Maestría, Universidad de São Paulo].

- Campo J., A. A., Sterling C., A., & Gómez M., C. A. (2012). Determinación de termitas-plaga presentes en tocones a raíz desnuda de caucho natural (*Hevea brasiliensis*). *Momentos de Ciencia*, 9(1), 68-74.
- Candelo Cárdenas, R., Motta Tello, M. T., Ortiz Ramírez, J. F., & Cardona Suárez, R. H. (1997). *Perspectivas económicas para el cultivo del caucho*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (Conif). <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005027/caucho%2036.pdf>
- Carmona Sánchez, C., Supelano González, D., & Osejo Villamil, I. (2015). *Tipologías departamentales y municipales: una propuesta para comprender las entidades territoriales colombianas*. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios%20Economicos/2015may28%20Tipologias.pdf>
- Casagrande Pereira, A., Scaloppi Junior, E. J., Costa, E., Mamoré Martins, G. L., & De Souza Vieira, N. (2019). Effect of top pruning on morphophysiological attributes of 'GT 1' rubber rootstock. *Ciencia Forestal*, 29(2), 900-912. <https://doi.org/10.5902/1980509824542>
- Castañeda, A. (1997). *Zonas aptas para el cultivo del caucho en Colombia*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF).
- Castro Navarro, O. M. (2011). *Caracterización de los patosistemas foliares de importancia económica en caucho (Hevea brasiliensis Müll. Arg) en la Altiplanura estructural plana del Meta (Colombia)* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UN.
- Castro, O. M., Guevara, A., & Tapiero, A. L. (2018). *Alerta temprana para el manejo integrado de enfermedades en el cultivo de caucho (Hevea brasiliensis)*. [Informe final]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).
- Celestinho Filho, P., & Magalhaes, F. E. L. (1986). *Ocorrência do fungo Sporothrix insectorum Hoog & Evans parasitando a mosca de renda (Leptopharsa heveae Drake & Poor) em seringal de cultivo*. [Informe técnico n.º 42]. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).
- Chacón de Ulloa, P., & Abadía, J. (2014). Dos décadas de estudio de la diversidad de hormigas en Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 38(148), 250. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.124>

- Cheng, C.-M., Wang, R.-S., & Jiang, J.-S. (2007). Variation of soil fertility and carbon sequestration by planting *Hevea brasiliensis* in Hainan, China. *Journal of Environmental Sciences*, 19(3), 348-352. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(07\)60057-6](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(07)60057-6)
- Cividanes, F. J., Fonseca da Silva, F., & Monteriro dos Santos, T. (2004). Distribuição de *Leptopharsa heveae* em seringal no Estado de São Paulo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(10), 1053-1056. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004001000015>
- Cividanes, F., Fonseca, F. S., & Galli, J. (2004). Biología de *Leptopharsa heveae* Drake & Poor (Heteroptera: Tingidae) e a relação de suas exigencias térmicas com a flutuação populacional em seringueira. *Neotropical Entomology*, 33(6), 685-691. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2004000600005>
- Clair-Maczulaitys, D., Le-Disquet, I., & Bory, G. (1999). Pruning stress: Changes in the tress physiology and their effects on the tree health. *Acta Horticulturae*, 496, 316-324. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1999.496.39>
- Clement-Demange, A., Priyadarshan, P., Thi, T., & Vencarachalam, P. (2007). Hevea rubber breeding and genetics. *Plant Breeding Reviews*, 29(4), 177-283. <https://doi.org/10.1002/9780470168035.ch4>
- Clermont-Dauphin, C., Suvannang, N., Pongwichian, P., Cheylan, V., Hammecker, C., & Harmand, J. M. (2016). Dinitrogen fixation by the legume cover crop *Pueraria phaseoloides* and transfer of fixed N to *Hevea brasiliensis*—impact on tree growth and vulnerability to drought. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 217, 79-88. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.11.002>
- Combatt Caballero, E. M., Martínez, G., & Polo Santos, J. M. (2005). Caracterización química y física de los suelos agroforestales de la zona alta de Córdoba. *Temas Agrarios*, 10(2), 5-14. <https://doi.org/10.21897/rta.v10i2.630>
- Confederación Cauchera Colombiana [ccc]. (2010). *El cultivo del caucho Hevea brasiliensis* [Informe final]. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA); Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC); Confederación Cauchera Colombiana (ccc).
- Córdoba, O. (2007). *Evaluación de clones, sistemas de siembra y arreglos agroforestales en la fase de establecimiento del cultivo del caucho en el Cordón cauchero cacaotero en los departamentos de Antioquia y Córdoba* [Informe final]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

- Cornish, K., Wood, D. F., & Windle, J. J. (1999). Rubber particles from four different species, examined by transmission electron microscopy and electron-paramagnetic-resonance spin labeling, are found to consist of a homogeneous rubber core enclosed by a contiguous, monolayer biomembrane. *Planta*, 210(1), 85-96. <https://doi.org/10.1007/s004250050657>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], & Confederación Cauchera Colombiana [ccc]. (2014). *Censo Cauchero 2014*. <https://www.confederacioncauchera.com/censo-caucho>
- Cristancho, X., & Silva, J. (2011). *Manual Ambiental para la producción de caucho natural* [Informe final]. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA); Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC); Confederación Cauchera Colombiana (ccc).
- Cuartas, P. E., Villamizar, L. F., Barrera, G. P., Ruiz, J. C., Campos, J. C., León-Martínez, G., & Gómez-Valderrama, J. (2018). Novel biopesticide based on Erinnyis ello betabaculovirus: characterization and preliminary field evaluation to control Erinnyis ello in rubber plantations. *Pest Management Science*, 75(5), 1391-1399. <https://doi.org/10.1002/ps.5259>
- Da Hora, B. T., Mesquita de Macedo, D., Weingart Barreto, R., Evans, H. C., Reis Mattos, C. R., Maffia, L.A., & Mizubuti, E. S. G. (2014). Erasing the past: a new identity for the Damoclean pathogen causing South American leaf blight of rubber. *PLoS ONE* 9(8), e104750. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104750>
- Da Paes Pereira, J. (1992). *Seringueira, formação de mudas, manejo e perspectivas no noroeste do Paraná*. Instituto Agronômico do Paraná.
- Da Paes Pereira, J., & Carmo, C. (1985). Práticas culturais em seringueira. *Informe Agropecuario*, 11(121), 26-29.
- Da Silva Angelo, P. C., Beleza Yamagishi, M. E., Chagas da Cruz, J., Ferreira da Silva, G., Gasparotto, L. (2020). Differential expression and structural polymorphism in rubber tree genes related to South American leaf blight resistance. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 110, 101477. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2020.101477>
- Dagoon, J. (2005). *Agriculture & Fishery Technology iii'*. Rex Bookstore, Inc.
- De Souza Gonçalves, P., Bataglia, O., Ortolani, A., & Fonseca, F. (2011). *Manual de heveicultura para o estado de São Paulo*. Instituto Agronômico de Campinas.

- De Oliveira, L., De Rosa, D., & De Arruda, E. (2004). *Estudios comparativos de látex obtenido de clones de árboles de caucho (Hevea brasiliensis)*. *Revista de Análisis Térmico y Calorimetría*, 75(2), 495-500. <https://doi.org/10.1023/B:JTAN.0000027138.23645.db>
- Decreto 893 de 2017. "Por el cual se crean los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial-PDET". Presidencia de la República de Colombia. <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20893%20DEL%2028%20DE%20MAYO%20DE%202017.pdf>
- Delabarre, M., & Benigno, D. (1994). *Rubber: A pictorial technical guide for smallholders*. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD).
- Delprete, P., & Cortés, R. (2015). Rubiaceae. En R. Bernal, S. Gradstein, & M. Celis (Eds.), *Catálogo de plantas y líquenes de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2020). *Proyecciones de población*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2021a). *Importaciones*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/comercio-internacional/importaciones>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2021b). *Importaciones*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/comercio-internacional/importaciones>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2021c). *Exportaciones*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/comercio-internacional/exportaciones>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2021a). *Departamento de Antioquia*. Terridata: <https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/05000>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2021b). *Cáceres, Antioquia*. <https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/05120>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2021c). *Caucasia, Antioquia*. <https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/05154>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2021d). *El Bagre, Antioquia*. <https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/05250>

- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2021e). *Nechí, Antioquia*. <https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/05495>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2021f). *Taraza, Antioquia*. <https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/05790>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2021g). *Valdivia, Antioquia*. <https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/05854>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2021h). *Zaragoza, Antioquia*. <https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/05895>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2021i). *Departamento de Córdoba*. <https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/23000>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2021j). *Montelíbano, Córdoba*. <https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/23466>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2021k). *Puerto Libertador, Córdoba*. <https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/23580>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2021l). *San José de Uré, Córdoba*. <https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/23682>
- Deus, E., Souza, M., Mineiro, J., Adaime, R., & Santos, R. (2012). Mites (Arachnida: Acari) collected on rubber trees *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg. in Santana, Amapá state, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 72(4), 915-918. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842012000500019>
- Dey, S., & Datta, B. (2013). High density planting - an option for higher productivity of *Hevea brasiliensis* in north eastern region of India. *Journal of Plantation Crops*, 41(3), 338-342.
- Dilipkumar, M., Chuah, T., Goh, S., & Sahid, I. (2017). Weed management issues, challenges, and opportunities in Malaysia. *Crop Protection*, 134, 104347. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.08.027>
- Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural [Embrater]. (1983). *Cultura da seringueira - Norte: manual técnico*. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/677480>

- Eraso Rosero, H., & Toro Delgado, C. (2006). *Manual técnico del cultivo de caucho (Hevea brasiliensis)*. Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria (PRONATTA).
- Escobar Acevedo, C. J., Yasnó Cabrera, C. A., Trochez G. J. M., & Cárdenas Guzmán, C. A. (2004). *El cultivo del caucho (Hevea brasiliensis Muell) con enfoque agroforestal*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).
- Espinosa, J., & Molina, E. (1999). *Acidez y encalado de los suelos*. International Plant Nutrition Institute (IPNI).
- Evans, L., & Fischer, R. (1999). Yield potential: its definition, measurement, and significance. *Crop Science*, 39, 1544-1551. <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.3961544x>
- Federación Nacional de Cafeteros [Fedecafé]. (1990). *El cultivo del caucho Hevea brasiliensis*.
- Fischer, G. (2005). Aspectos de la fisiología aplicada de los frutales promisorios en cultivo y poscosecha. *Revista Comalfe*, 32(1), 22-34.
- Flórez, A., Arévalo, L., Siachoque, R., Sáenz, B., Porras, P., Lozano, L., Otero, J., Páramo, G., Martínez, O., Narváez, E., Gómez, J., García, L., Soriano, O., Garcés, E., Ríos, H., Porra, A., Ortiz, L., Morales, J., Roldán, J., & Villamarín, S. (2018). *Cultivo comercial de caucho: identificación de zonas aptas en Colombia, a escala 1:100.000*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). https://www.upra.gov.co/documents/10184/159215/Cultivo_com_caucho
- Floriano, J., Da Mota, L., & Furtado, E. (2014). Estudios de biocompatibilidad de látex de caucho natural de diferentes clones de árboles y métodos de recolección. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, (25), 461-470. <https://doi.org/10.1007/s10856-013-5089-9>
- Fondo de Fomento Cauchero, & Confederación Cauchera Colombiana [ccc]. (2016). *Informe de resultados. Censo de plantaciones de caucho natural (Hevea brasiliensis) a 2015. Informe de resultados*. https://12ac72cd-0885-54a5-ab2f-1bcf0156bcb0.filesusr.com/ugd/e90b5c_dcbb611346314f53bd7ff8d4a5fbc2c0.pdf
- Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario [Finagro]. (2020). *Línea Especial de Crédito LEC General*. <https://www.finagro.com.co/l%C3%ADnea-especial-de-cr%C3%A9dito-lec-general>
- Fonseca, F. (2009). *Plagas de caucho, monitoreo control y perspectiva futuro* [Ponencia]. Encuentro Internacional del Caucho, Bucaramanga, Colombia.

- Freire, E. (2002). *O Controle Biológico Do Percevejo-De-Renda Da Seringueira*. [Tesis de pregrado, Centro Universitário de Brasília].
- Furtado, E. L., Menten, J. O. M., & Passos, J. R. (2008). Intensidade do mal das folhas em plantas jovens e adultas de seis clones de seringueira na região do Vale do Ribeira. *Tropical Plant Pathological*, 33(2), 130-137. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762008000200007>
- Gallego, F. L. (1950). Estudios Entomológicos-El Gusano de las Hojas de la Yuca. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 12(38-39), 84-110.
- García, I. A., González, S. M., Montoya, D., & Aristizábal, F. (2011). Identification in silico of SSR markers for genotyping Hevea sp. clone gardens in Colombia. *Agronomía Colombiana*, 29(3), 359-366.
- Garzón Cala, F. (2000). *Principales enfermedades y plagas en el cultivo de caucho Hevea brasiliensis (Wild. Ex. Adr. De Juss) Muel. Arg., con énfasis en la Amazonia colombiana*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (Sinchi).
- Gasparotto, L., & Pereira, J. C. R. (Ed.). (2012). *Doenças da seringueira no Brasil*. Empresa Brasileira de Investigação Agropecuária (Embrapa).
- George, S., Suresh, P., Wahid, P., Ramesh, B., & Punnoose, K. (2008). Active root distribution pattern of Hevea brasiliensis determined by radioassay of latex serum. *Agroforestry systems*, 76(2), 275-281. <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9104-y>
- Gilot, C., Laval, P., Blanchart, E., Keli, J., Kouassi, P., & Guillaume, G. (1995). Biological activity of soil under rubber plantations in Côte d'Ivoire. *Acta Zoológica Fennica*, 196, 186-189.
- Gobernación de Antioquia. (2006). Ordenanza Plan de Desarrollo "Antioquia piensa en grande" 2016-2019. <https://www.culturantioquia.gov.co/documentos/ORDENANZA%20PLAN%20DE%20DESARROLLO%20DE%20ANTIOQUIA%202016-2019.pdf>
- Gonçalves, E. C. P. (Coord.). (2010). *A cultura da seringueira para o Estado de São Paulo* (2.ª ed.). Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI).
- Grosso, M. (2019). Pragas da Seringueira - Percevejo ou Mosca de Renda e Ácaro da Seringueira. <https://www.cpt.com.br/artigos/pragas-da-seringueira-percevejo-ou-mosca-de-renda-e-acaro-da-seringueira>

- Guerra-Hincapié, J. J., Córdoba-Gaona, O. de J., Gil-Restrepo, J. P., Monsalve-García, D. A., Hernández-Arredondo, J. D., & Martínez-Bustamante, E. G. (2020). Phenological patterns of defoliation and refoliation processes of rubber tree clones in the Colombian northwest. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 73(3), 9293-9303. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v73n3.80546>
- Guishui, X., & Yuanfang, H. (2000). *Revaluating of terminal bud pruning on young rubber trees*. http://www.gremialdehuleros.org/Paginas_web/Agremiados/Noticias_archivos/1.1%20Poda%20de%20Copa.%20Paper_Xieguishui_Revaluating%20of%20terminal%20bud%20Pruning%20on%20Young%20Rubber%20Trees.pdf
- Gutiérrez-Vanegas, A., Córdoba-Gaona, O. d., Correa-Pinilla, D. E., Gil-Restrepo, J. P., López-Hernández, F. G., Guerra-Hincapié, J. J., Huertas-Beltrán, R. L., Ramos-Calderón, P. F., Vargas-Valenzuela, Y., & Castro-Zabala, M. A. (2017). *Modelo territorial validado y ajustado en campo de los cuatro (4) núcleos productores de caucho* [Informe]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).
- Guyot, J., & Le Guen, V. (2018). A review of a century of studies on South American Leaf Blight of the rubber tree. *Plant Disease*, 102(6), 1052-1065. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-17-0592-FE>
- Guzzo, C., Carvalho, L. B., Alves, P. L., Gonçalves, E., & Piffer Giancotti, E. C. (2014). Weed control strips influences on the rubber tree growth. *American Journal of Plant Sciences*, 5(8), 1059-1068. <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.58118>
- Hallé, F., Oldeman, R. A., & Tomlinson, P. B. (1978). *Tropical trees and forests: An architectural analysis*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-81190-6>
- Haque, M., Dafader, N., Akhtar, F., & Ahmad, M. (1995). Influencia de la variación del clon de látex en las propiedades mecánicas de la película de látex de caucho natural vulcanizado por radiación. *Radiation Physics and Chemistry*, (46), 119-122. [https://doi.org/10.1016/0969-806X\(94\)00122-Z](https://doi.org/10.1016/0969-806X(94)00122-Z)
- Harja, D., Vincent, G., & Mulia, R., & Van Noordwijk, M. (2012). Tree shape plasticity in relation to crown exposure. *Trees*, 26, 1275-1285. <https://doi.org/10.1007/s00468-012-0703-x>

- Hein, S., Weiskittel, A., & Kohnle, U. (2008). Effect of wide spacing on tree growth, branch and sapwood properties of young Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) in south-western Germany. *European Journal of Forest*, 127, 481-493. <https://doi.org/10.1007/s10342-008-0231-9>
- Heng, T., & Joo, G. (2017). Rubber. En B. Thomas, B. G. Murray, & D. J. Murphy (Eds.), *Encyclopedia of Applied Plant Sciences: Vol. 2. Breeding Genetics and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394807-6.00175-1>
- Hernandes, F. A., & Fazzio Feres, R. J. (2006). Review about mites (Acari) of rubber trees (*Hevea* spp., Euphorbiaceae) in Brazil. *Biota Neotropica*, 6(1). <https://doi.org/10.1590/S1676-06032006000100005>
- Hernandes, F. A., Fazzio Feres, R. J., & Nomura, F. (2016). Biological cycle of *Lorryia formosa* (Acari, Tydeidae) on rubber tree leaves: a case of thelytoky. *Experimental & Applied Acarology*, 38, 237-242. <https://doi.org/10.1007/s10493-006-0014-2>
- Incoterms y Comercio Internacional. (2020). *Incoterms*. <https://incotermstransporte.wordpress.com/grupos-incoterms/>
- Infante, A. (2006). *La sorprendente historia del caucho natural* [Conferencia]. Memorias III Congreso internacional Cauchero, Confederación Cauchera Colombiana (ccc); Sociedad de Agricultores de Colombia (sac); Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Ibagué, Colombia.
- Instituto Agropecuario Colombiano [ICA]. (2012). Resolución 4994. "Por medio de la cual se establecen los requisitos para el registro de las áreas productoras de semilla sexual y/o semilla asexual (material vegetal de propagación) de caucho natural *Hevea Brasiliensis*. M.". *Diario Oficial*, n.º 48.623. https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_ica_4994_2012.htm
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2020a). *Registros nacionales de plaguicidas*. <https://www.ica.gov.co/getdoc/d3612ebf-a5a6-4702-8d4b-8427c1cdaeb1/registros-nacionales-pqua-15-04-09.aspx>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2020b). *Consulta de requisitos agrícolas*. https://afrodita.ica.gov.co/VW_CONSULTAS_REQ_AGRICOLAS/ShowVW_CONSULTAS_REQ_AGRICOLASTable.aspx
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2020c). *Viveros registrados*. <https://www.ica.gov.co/getdoc/08d0b08f-f704-4e0f-bfb2-14f861fb5215/certificacion-de-semillas.aspx>

- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2020d). *Registros D. T.* <https://www.ica.gov.co/getdoc/08d0b08f-f704-4e0f-bfb2-14f861fb5215/certificacion-de-semillas.aspx>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2020e). *Resolución 0780006. "Por medio de la cual se establecen los requisitos para el registro de viveros y/o huertos básicos dedicados a la producción y comercialización de material vegetal de propagación para la siembra en el país"*. <https://www.ica.gov.co/getattachment/56d15d28-b186-498e-bc07-7a6fcf65fb2c/2020R78006.aspx>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]. (2017). *Atlas climatológico de Colombia 1981-2010*. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2007a). *Estudio semidetallado de suelos de las áreas potencialmente agrícolas: Bajo Cauca, departamento de Antioquia*.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2009). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Córdoba*.
- International Tropical Timber Organization [ITTO]. (2020). *Seringueira, rubberwood (Hevea brasiliensis)*. <http://www.tropicaltimber.info/specie/seringueira-hevea-brasiliensis/>
- Ismail, B., Syamin, H., Wan Ahmad, W. J., & Nornasuha, Y. (2016). Allelopathic potential of the leaf and seed of *Pueraria javanica* Benth. on the germination and growth of three selected weed species. *Sains Malays*, 45(4), 517-521.
- Jabran, K., Mahajan, G., Viender, S., & Chauhan, B. S. (2015). Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protection*, 72, 57-65. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.03.004>
- Jaimes, Y. Y., & Rojas, J. (2011). Enfermedades foliares del caucho (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) establecido en un campo clonal ubicado en el Magdalena Medio Santandereano (Colombia). *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(1), 65-76. https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num1_art:216
- Jaramillo Jaramillo, D. F. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/70085>
- Jayawardana, R. K., Hettiarachchi, R., Gunathilaka, T., Thewarapperuma, A., Rathnasooriya, S., Baddevidana, R., & Gayan, H. (2019). Natural and synthetic mulching materials for weed control in immature rubber plantations. *American Journal of Plant Biology*, 4(4), 114-117. <https://doi.org/10.11648/j.ajpb.20190404.20>

- Joseph, P., & Jessy, M. (2013). Agro-economic evaluation of different weed control methods in rubber plantation. *Journal of Plantation Crops*, 41(3), 380-383. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=IN2015000739>
- Juarez Ferla, N., & De Moraes, G. J. (2003). 2003. Ciclo biológico de *Calacarus heveae* Feres, 1992 (Acari, Eriophyidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 47(3), 399-402. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262003000300006>
- Junqueira, N., Lieberey, R., Kalil Filho, A., & Lima, M. (1990). Components of partial resistance in *Hevea* clones to rubber tree leaf blight, caused by *Microcyclus ulei*. *Fitopatología Brasileira*, 15(3), 211-214.
- Junqueira, N. T., Pinheiro, E., Alves, R. T., Celestino-Filho, P., Pereira, A. V., Oliveira, M. A., Fialho, J. F., & Gasparotto, L. (1999). *Controle biológico do percevejo-de-renda (Leptopharsa heveae Drake & Poor) em seringais de cultivo*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).
- Kala, A. (2010). Physical Characterization Analysis on Latex from Various Clones. *The IUP Journal of Physics*, 3(3), 7-15.
- Khandal, R., & Tadros, T. (1988). Aplicación de medidas viscoelásticas a la investigación del hinchamiento de suspensiones de montmorillonita de sodio. *Revista de Ciencia de Interfaces y Coloides*, 125(1), 122-128.
- Kositsup, B., Kasemsap, P., Thanisawanyangkura, S., Chairungsee, N., Satakhun, D., Teerawatanasuk, K., Améglio, T., & Thaler, P. (2010). Effect of leaf age and position on light-saturated CO₂ assimilation rate, photosynthetic capacity, and stomatal conductance in rubber trees. *Photosynthetica*, 48(1), 67-78. <https://doi.org/10.1007/s11099-010-0010-y>
- Krishnakumar, A., & Potty, S. (1992). CHAPTER 11 - Nutrition of Hevea. *Developments in Crop Science*, 23(1), 239-262. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-88329-2.50017-9>
- Kumarn, S., Churinthorn, N., Nimpai boon, A., Sriring, M., Ho, CH.-Ch., Takahara, A., & Sakdapipanich, J. (2018). Investigating the Mechanistic and Structural Role of Lipid Hydrolysis in the Stabilization of Ammonia-Preserved Hevea Rubber Latex. *Langmuir*, 34(43), 12730-12738. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b02321>
- Langenberger, G., Cadisch, G., Martin, K., Min, S., & Waibel, H. (2017). (2017). Rubber intercropping: a viable concept for the 21st century? *Agroforestry Systems*, 91(3), 577-596. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9961-8>

- León M., G. A., Beltrán R., J. A., & Campos O., J. C. (2010). *Enemigos naturales y manejo integrado del gusano cachón (Erinnyis ello) en el cultivo del caucho (Hevea brasiliensis)*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <https://doi.org/10.21930/978-958-740-036-6>
- León Martínez, G. A, Martínez Garnica, A., Molina Acevedo, J. P., & Zuluaga Peláez, J. J. (2010). *Manejo de termitas o comejenes en el cultivo del caucho. Colombia*. <https://doi.org/10.21930/978-958-740-016-8>
- Ley 1758 de 2015. “Por la cual se modifica la Ley 686 de 2001”. Congreso de la República de Colombia. *Diario Oficial*, n.º 49565. <http://www.suin-juriscal.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/30019917>
- Ley 617 de 2000. “Por la cual se reforma parcialmente la Ley 136 de 1994, el Decreto Extraordinario 1222 de 1986, se adiciona la Ley Orgánica de Presupuesto, el Decreto 1421 de 1993, se dictan otras normas tendientes a fortalecer la descentralización, y se dictan normas para la racionalización del gasto público nacional”. *Diario Oficial*, n.º 44188. http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0617_2000.html
- Ley 686 de 2001. “Por la cual se modifica la Ley 686 de 2001”. Congreso de la República de Colombia. *Diario Oficial*, n.º 44565. <http://www.suin-juriscal.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/30019917>
- Lieberei, R. (2008). South American leaf blight of the rubber tree (*Hevea* spp.): new steps in plant domestication using physiological features and molecular markers. *Annals of Botany*, 100(6), 1125-1142. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm133>
- Malmonge, J., Camillo, E., Moreno, R., Mattoso, L., & McMahan, C. (2009). Estudio comparativo de las propiedades tecnológicas del látex y caucho natural de *Hancornia speciosa* Gomes y *Hevea brasiliensis*. *Journal of Applied Polymer Science*, 111(6), 2986-2991. <https://doi.org/10.1002/app.29316>
- Martínez-Atencia, J. del C., Contreras-Santos, J. L, Rodríguez-Vitola, J. L, Falla-Guzmán, C. K, Garrido-Pineda, J. F, Gutiérrez-Vanegas, A. J, Pérez-Moncada, U. A, Ramírez-Gómez, M. M., & Wilchez-Ortiz, W. A. (2020). *Desarrollo de tecnologías de manejo de suelos para el mejoramiento de la competitividad y sostenibilidad del sistema de producción de caucho en Lomeríos Antioquia-Córdoba* [Informe final]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

- Martínez G., A., Tapiero Ortiz, A. L., León Martínez, G. A., Argüello Tovar, J. O., García Rubio, F., Castilla Campos, C. A., García Romero, I., Pinzón Gutiérrez, Y. A., Gutiérrez Vanegas, A. J., Pedraza Arias, A. R., & Santacruz Saldaña, Ó. E. (2013). *Modelo productivo para el cultivo del árbol de caucho natural en la Orinoquía. Zonas de escape y no escape al mal suramericano de la hoja de caucho*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).
- Martínez, J., Hoyos, G., Romero, J., Zuluaga, J., Berrío, E., Ramírez, M., Baquero, M., Arrieta, A., Vergara, A., & Contreras, J. (2010). *Crecimiento y distribución de raíces de Gmelina arborea y Pachira quinata e interacciones con el suelo*. [Poster]. Memorias XV Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2002). *Resolución 312 de 2002. "Por la cual se crea el Consejo Nacional del Caucho y su Industria"*. https://xperta.legis.co/visor/legcol/legcol_75992041d67cf034e0430a010151f034/coleccion-de-legislacion-colombiana/resolucion-312-de-2002
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2010). *Acuerdo Sectorial de Competitividad de la Cadena Productiva del Caucho Natural y su Industria*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Caucho/Normatividad/Acuerdo%20Sectorial%20de%20Competitividad%20Caucho%202010%20-%2020.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2012). *Resolución 175 de 2012. "Por la cual se reconoce la Organización de la Cadena del Caucho Natural y su Industria"*. https://xperta.legis.co/visor/legcol/legcol_c4fb5a5d03570130e0430a0101510130/coleccion-de-legislacion-colombiana/resolucion-175-de-2012
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2019). *Resolución 357 de 2019. "Por la cual se determina el valor promedio nacional de los costos totales netos de establecimiento y mantenimiento por hectárea de bosque plantado, se fija la cuantía máxima porcentual que se reconocerá por concepto de Certificado de Incentivo Forestal, el Incentivo por árbol y se fija el incentivo por mantenimiento de una hectárea de bosque natural incluida en un plan de establecimiento y manejo forestal, para el año 2020."* <http://fedemaderas.org.co/wp-content/uploads/2019/07/Resoluci%C3%B3n-357-de-2019.-Apoyos-CIF.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2020a). *Cifras sectoriales. Caucho*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Caucho/Documentos/Forms/AllItems.aspx>

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2020b). *Cadena Caucho. Indicadores, apoyos*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Caucho/Documentos/2020-09-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. [MADR]. (2020c). *Resolución 255. "Por la cual se establece el valor de los costos de establecimiento y mantenimiento de plantaciones forestales comerciales, el valor de los costos de mantenimiento de bosque natural asociados al proyecto de reforestación y se fija el incentivo por árbol, para efectos del incentivo forestal para la vigencia 2021"*. <https://vuf.minagricultura.gov.co/FormatosRegistroProyectosCIF/26.%20RESOLUCION%20255%20DE%202020%20PARA%20EL%20A%C3%91O%202021.pdf>
- Morton, M. (Ed.) (1999). Introducción a la ciencia de los polímeros. En *Rubber Technology* (pp. 1-19). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2925-3_1
- Moura Mascarin, G., Biaggioni Lopes, R., Delalibera, Í., Fernandes, É. K. K., Luz, C., & Faria, M. (2018). Current status and perspectives of fungal entomopathogens used for microbial control of arthropod pests in Brazil. *Journal of Invertebrate Pathology*, 16, 46-53. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2018.01.001>
- Muhammad, B., & Mohammad, I. (2012). Performance of natural rubber latex modified concrete in acidic and sulfated environments. *Construction and Building Materials*, 31, 129-134. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.099>
- Murbach, M. (1997). *Efeitos de níveis de nitrogênio, fósforo e potássio no desenvolvimento, produtividade de borracha seca e exportação de nutrientes pela seringueira* [Tesis de maestría, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba].
- Murbach, M. R., Boaretto, A. E., Muraoka, T., & De Souza, E. C. (2003). Nutrient cycling in a RRIM600 clone rubber plantation. *Scientia Agricola*, 60(2), 353-357. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000200021>
- N'Dri, J. K., Pokoua, P. K., Séka, F. A., N'Da, R. A., & Lagerlöf, J. (2019). Edaphic characteristics and environmental impact of rubber tree plantations on soil mite (Acari) communities. *Acarologia*, 58(4), 951-962. <https://doi.org/10.24349/acarologia/20184300>
- Nageswara Rao. D. V. K., & Jessy, M. D. (2007). Impact of effective soil volume on growth and yield of rubber (*Hevea brasiliensis*). *Geoderma*, 141(3), 332-340. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.06.015>

- Naji, H., & Sahri, M. (2012). Intra-and inter-clonal tree growth variations of *Hevea brasiliensis*. *Journal of Forestry Research*, 23(3), 429-434. <https://doi.org/10.1007/s11676-012-0280-2>
- Naretto Rangel, D. (2000). *Virulência de Aphanocladium ompho e Verticillium lecanii (Deuteromycotina: Hyphomycetes) para o percevejo-de-renda da seringueira, Leptopharsa heveae (Hemiptera: Tingidae) e comportamento de V. lecanii em meio de cultura* [Tesis de maestría, Universidade Estadual Paulista].
- Nawamawat, K., Sakdapipanich, J. T., Ho, Ch. C., Ma, Y., Song, J., & Vancso, J. G. (2011). Surface nanostructure of *Hevea brasiliensis* natural rubber latex particles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 390(1-3), 157-166. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2011.09.021>
- Naylor, R., & Drummond, C. (2002). Integrated Weed Management. En R. E. L. Naylor (Ed.), *Weed Management Handbook* (9.ª ed.) (pp. 302-310). Blackwell Science Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470751039.ch14>
- Ng, A., Ho, C. Y., Sultan, M., Ooi, C., Lew, H., & Yoon, P. (1981). *Influence of six rootstocks on growth and yield of six scion clones of Hevea brasiliensis* [Conferencia]. Proceeding of Rubber Research Institute of Malaysia Planters Conference, Kuala Lumpur.
- Obouayeba, S., Dian, K., Boko, A., Gnagne, Y., & Ake, S. (2005). Effect of planting density on growth and yield productivity of *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. clone PB 235. *Journal of Rubber Research*, 8(4), 225-270.
- Oouchi, M., Ukawa, J., Ishii, Y., & Maeda, H. (2019). Structural Analysis of the Terminal Groups in Commercial *Hevea* Natural Rubber by 2D-NMR with DOSY Filters and Multiple-WET Methods Using Ultrahigh-Field NMR. *Biomacromolecules*, 20(3), 1394-1400. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.8b01771>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2004). *Fertilizer use by crop in Malaysia*. <https://www.fao.org/3/y5797e/y5797e00.htm#Contents>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2006). *Evapotranspiración de cultivos. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*.
- Ortolani, A. A., Pedro Junior, M. J., Alfonsil, R. R., Camargo, M. B. P., & Brunini, O. (1983). *Aptidão climática para regionalização da heveicultura no Brasil*. Anais Do Seminário Brasileiro Para Recomendação de Clones de Seringueira, Brasília, Brasil.

- Osorio, N. W. (2014). *Manejo de nutrientes en suelos del trópico*. L. Vieco S. A. S.
- Pathirratna, L. S. S. (2006). Management of intercrop under rubber (*Hevea*); implications of competition and possibility for improvement. *Bulletin of the Rubber Research Institute of Sri Lanka*, 47, 6-16.
- Peña-Venegas, C., Castro Torres, D., Sterling Cuéllar, A., & Andrade-Ramírez, T. K. (2019). Evaluación de indicadores biológicos de suelo en campos clonales de caucho (*Hevea brasiliensis*) en el departamento del Caquetá. En A. Sterling Cuéllar, & C. H. Rodríguez León (Eds.), *Valoración y análisis de la biodiversidad y servicios ecosistémicos asociados a campos clonales de caucho en Caquetá, Amazonía Colombiana* (pp. 101-134). Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (Sinchi).
- Peraza Arias, A. R. (2016). *Caracterización de Leptopharsa heveae Drake & Poor, 1935 (Heteroptera: Tingidae) en la región cauchera del departamento de Guaviare* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia].
- Pereira, A. V., & Calvalho Pereira, E. D. (Eds.). (2001). *Cultura da seringueira no cerrado*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa); Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento.
- Pereira, A. V., Da Silva, J. B., & Pereira, E. B. C. (1999). *Controle de plantas daninhas na cultura da seringueira*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).
- Pilau, F. G., Marín, F. R., Delgado Assad, E., Paes de Camargo, M. B., Silveira Pinto, H., & Freire Barbarisi, B. (2007). Zoneamento climático da heveicultura para as regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia, Piracicaba*, 15(2), 161-168.
- Pinzón, O. P., Hernández, A. M., & Malagón, L. A. (2012). Diversidad de termitas (Isoptera: Termitidae, Rhinotermitidae) en plantaciones de caucho en Puerto López (Meta, Colombia). *Revista Colombiana de Entomología*, 38(2), 291-298. <https://doi.org/10.25100/socolen.v38i2.9009>
- Prabhakaran Nair, K. (2010). *The agronomy and economy of important tree crops of the developing world*. Elsevier.
- Pratissoli, D., Zanúncio, J. C., Barros, R., & De Oliveira, H. N. (2002). Leaf consumption and duration of instars of the cassava defoliator *Erinnyis ello* (L., 1758) (Lepidoptera, Sphingidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 46(3), 251-254. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262002000300004>

- Priyadarshan, P. (2017). *Biology of Hevea Rubber*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-54506-6>
- Priyadarshan, P., & Goncalves, P. (2003). Hevea gene pool for breeding. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 50, 101-114. <https://doi.org/10.1023/A:1022972320696>
- Priyadarshan, P. M., Goncalves, P., & Omokhafe, K. (2009). Breeding Hevea Rubber. En S. M. Jain, & P. Priyadarshan (Eds.), *Breeding plantation tree crops: tropical species* (pp. 469-522). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-71201-7_13
- Quarteroli Silva, J., Scaloppi Júnior, E. J., Biagi Moreno, R. M., Batista de Souza, G., De Souza Gonçalves, P., & Scarpate Fiho, J. A. (2012). Producción y propiedades químicas del caucho en clones de Hevea según los estados fenológico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(8), 1066-1076. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000800006>
- Raij, B., Cantarella, H., Quaggio, J., & Furlani, A. (1996). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. *Boletim técnico*, 100, Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC.
- Rasool, A., Mansoor, S., Bhat, K. M., Hassan, G. I., Rehman Baba, T., Abdullah Alsahli, A., Nasser Alyenemi, M., El-Serehy, H., Ahmad Paray, B., & Ahmad, P. (2020). Mechanism underlying graft union formation and rootstock scion Interaction in horticultural plants. *Frontiers in Plant Science*, (1778). <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.590847>
- Rejikumar, R., & Philip, J. (2010). Estimation of dry rubber content in natural rubber latex by differential scanning calorimetry. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 101, 1047-1050. <https://doi.org/10.1007/s10973-010-0716-x>
- Rivano, F., Mattos, C., Cardoso, S., Martínez, M., Cevallos, V., Le Guen, V., & García, D. (2012). Breeding Hevea brasiliensis for yield, growth and SALB resistance for high disease environments. *Industrial Crops and Products*, 44, 659-670. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.09.005>
- Rocha, L. de F., Toscano, L. C., Martins, G. L. M., & Marques da Silva, E. (2019). Ocorrência de ácaros em seringueira irrigada em cultivo inicial. *Journal of Neotropical Agriculture*, 6(2), 72-78. <https://doi.org/10.32404/rean.v6i2.2680>
- Rodrigo, V. (2007). Ecophysiological factors underpinning productivity of Hevea brasiliensis. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 245-255. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400002>

- Rodrigo, V., Nugawela, A., Pathirathna, L., Waidyanatha, U., Samaranayake, A., Kodikara, P., & Weeralal, J. (1995). Effect of planting tree density on growth, yield related factors and profitability of rubber (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). *Journal of the Rubber Research Institute of Sri Lanka*, 76, 55-71.
- Rodrigo, V., Silva, T. U. K., & Munasinghe, E. S. (2004). Improving the spatial arrangement of planting rubber (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) for long-term intercropping. *Field Crops Research*, 89(2-3), 327-335. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.02.013>
- Rodríguez Triana, S. M. (2012). *Análisis de variabilidad genética de aislamientos de Microcyclus ulei provenientes de tres zonas caucheras de los Llanos Orientales, mediante la técnica AFLPs*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11486>
- Rubber Research Institute of Malaysia [RRIM]. (1997). *Annual report*.
- Ruiz Ávila, C. A., Gómez Vargas, Y., Burgos Paz, W., Martínez Sarmiento, R., & Tapiero, A. L. (2017). *Marcadores microsatélites identificados para la discriminación varietal de clones de Hevea brasiliensis*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).
- Saha, T., & Priyadarshan, P. M. (2012). Genomics of Hevea Rubber. En R. Schnell, & P. Priyadarshan (Eds.), *Genomics of Tree Crops*. (pp. 261-298). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0920-5_9
- Sakdapipanich, J., Kalah, R., Nimpai boon, A., & Ho, C. C. (2015). Influence of mixed layer of proteins and phospholipids on the unique film formation behavior of Hevea natural rubber latex. Colloids and Surfaces. *Physicochemical and Engineering Aspects*, 466, 100-106. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.10.056>
- Samarappuli, L. (2003). Potassium status of rubber growing soils in Sri Lanka. En V. V. Nossov, & J. D. H. Wijewardena (Eds.), *Importance of Potash fertilizers for sustainable production of plantation and food crops in Sri Lanka* (pp. 87-98). National Fertilizer Secretariat; International Potash Institute.
- Sansatsadeekul, J., Sakdapipanich, J., & Rojruthai, P. (2011). Characterization of associated proteins and phospholipids in natural rubber latex. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 111(6), 628-634. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2011.01.013>

- Santos, R., Costa, V., Silva, J., & Freitas, S. (2012). Population dynamics of *Leptopharsa heveae* (Hemiptera: Tingidae) and *Erythmelus tingitiphagus* (Hymenoptera: Mymaridae) in rubber tree plants. *Revista Colombiana de Entomología*, 38(2), 314-319. <https://doi.org/10.25100/socolen.v38i2.9012>
- Schultes, R. (1945). Estudio preliminar del género *Hevea* en Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 6(22-23), 331-338.
- Schultes, R. (1970). The history of taxonomic studies in *Hevea*. Botanical Museum. Harvard University. *The Botanical Review*, 36(3). <https://doi.org/10.1007/BF02858879>
- Sethuraj, M., & Raghavendra, A. (1992). Rubber. En M. Sethuraj, & N. M. Mathew (Eds.), *Natural Rubber: Biology, Cultivation and Technology* (pp. 193-221). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-42841-7.50016-6>
- Siembra. (2020). *Caucho. Listado de demandas en el sector agropecuario y agroindustrial*. <http://www.siembra.gov.co/Home/Busqueda?tipo=0&categoria=0&query=caucho>
- Sierra-Bohórquez, V. M. (2015). *Reconocimiento y evaluación de ácaros en plantaciones de caucho natural (Hevea brasiliensis)*, Departamento del Vichada [Tesis de pregrado, Universidad de los Llanos].
- Silva, E. (2007). *Seleção de isolados de fungos entomopatogênicos para o controle de Leptopharsa hevea Drake & Poor (Hemiptera: Heteroptera, Tingidae)* [Tesis de maestría, Universidade Estadual Paulista].
- Singh, R., Sud, R., & Pal, P. (2014). Integrated Weed Management in Plantation Crops. En B. Chauhan, & G. Mahajan (Eds.), *Recent Advances in Weed Management* (pp. 255-280). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1019-9_12
- Sterling Cuéllar, A., & Correa Díaz, J. (2010). Desempeño en el periodo de inmadurez de una colección clonal de caucho en la Amazonía colombiana. *Ingenierías y Amazonía*, 3(1), 16-27.
- Sterling Cuéllar, A., & Rodríguez León, C. (2011). *Nuevos clones de caucho natural para la Amazonia colombiana: énfasis en la resistencia al mal suramericano de las hojas (Mycrocyclis ulei)*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (Sinchi).

- Sterling Cuéllar, A., & Rodríguez León, C. H. (Eds.) (2012). *Ampliación de la base genética de caucho natural con proyección para la Amazonia colombiana: fase de evaluación en periodo improductivo a gran escala*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (Sinchi).
- Sterling Cuéllar, A., & Rodríguez León, C. H. (2018). *Estrategias de manejo para las principales enfermedades y plagas del cultivo del caucho con énfasis en la Amazonia colombiana*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (Sinchi).
- Sterling C., A., Gómez M., C. A., & Campo J., A. A. (2011). Patogenicidad de *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycota: Hyphomycetes) sobre *Heterotermes tenuis* (Isoptera: Rhinotermitidae) en *Hevea brasiliensis*. *Revista Colombiana de Entomología*, 37(1), 36-42. <https://doi.org/10.25100/socolen.v37i1.9035>
- Sterling, A., Salas-Tobón, Y. M., & Virgüez-Díaz, Y. (2016). *Erinnyis ello* (Lepidoptera: Sphingidae) y *Leptopharsa heveae* (Hemiptera: Tingidae) en *Hevea brasiliensis* en sistema agroforestal. *Revista Colombiana de Entomología*, 42(2), 124-132. <https://doi.org/10.25100/socolen.v42i2.6682>
- Tan, H. (1978). Estimates of parental combining abilities in Rubber (*Hevea brasiliensis*) based on young seedling progeny. *Euphytica*, 27(3), 817-823. <https://doi.org/10.1007/BF00023719>
- Tanzini, M. R. (1996). *Resistência de clones de seringueira (Hevea brasiliensis Müell Arg.) a Leptopharsa heveae Drake e Poor, 1935 (Hemiptera) e sua biologia* [Tesis de Maestría, Universidade Estadual Paulista].
- Tanzini, M. (2002). *Controle do percevejo-de-renda-da-seringueira (Leptopharsa heveae) com fungos entomopatogénicos*. [Tesis de doctorado, Universidade de Sao Paulo].
- Tapiero, A. L. (2011). Manejo biológico de enfermedades en cultivos perennes: SALB en Caucho (*Hevea* spp.). En L. M. Hoyos Carvajal (Ed.), *Enfermedades de plantas: control biológico* (pp. 651-654). Ecoe; Universidad Nacional de Colombia.
- Tapiero, A. L., Castro, O. M., Gutiérrez-Vanegas, A. J. Pinzón, V. A., Rodríguez-Hernández, N. S., Rodríguez-Triana, S. M. (2011). *Dinámica epidemiológica de las enfermedades foliares económicamente limitantes en cultivos de caucho* [Informe final]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

- Tapiero, A., Martínez Garnica, A., León M., G. A., Argüello, O., Gutiérrez, A., Castilla, C., Rojas, J., Jaimes, Y., García, F., García Romero, I. A., Santa Cruz, Ó., & Pinzón, Y. (2018). *Modelo productivo para el cultivo de caucho (Hevea brasiliensis) (Willd. ex A. Juss.) Mull. Arg. en Colombia, con énfasis en la Orinoquia y el Magdalena Medio*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7402667>
- Teixeira Alves, R., Da Silva, E. A., De Sousa, K. M., Santos Oliveira, M. A., Pereira, A. V., Pereira, E. V., Vileta Junqueira, N. T., & Icuma, I. M. (2003). Controle Biológico do percevejo-de-renda da seringueira com o uso do micoínseticida formulado em óleo emulsionável. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, (22).
- The Plant List. (2013). *The Plant List. A working list of all plant species*. <http://www.theplantlist.org>
- Thomas, T. (1983). Effects of decapitation, defoliation and stem girdling on axillary bud development in brussels sprouts. *Scientia Horticulturae*, 20, 45-51. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(83\)90110-3](https://doi.org/10.1016/0304-4238(83)90110-3)
- Tjitrosernito, S. (1996). Weed management on a rubber plantation with special reference to minimum tillage cultivation. *JIRCAS International Symposium Series*, (4), 65-75.
- Trade Map. (2020). *Estadísticas comerciales para el desarrollo empresarial internacional*. <https://www.trademap.org/Index.aspx?AspxAutoDetectCookieSupport=1>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2014). *Metodología de evaluación de tierras 1:25.000*.
- Urban, A. F., Wetzel, M. M. V. S., & Cícero, S. M. (1982). Ocorrência de fungos em sementes de seringueira. *Pesquisa Agropecopecuária Brasileira, Brasília*, 17(11), 1633-1637.
- Val, A. J. (1994). Névoa Protetora: os fungos pulverizados nos seringais controlam a mosca-de-renda, uma praga nos cultivos do Mato Grosso. *Revista Globo Rural*, 43-46.
- Van Beilen, J. B., & Poirier, Y. (2007). Establishment of new crops for the production of natural rubber. *Trends in Biotechnology*, 25(11), 522-529. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2007.08.009>

- Vásquez Silva, C. A., & Arroyabe Tobón, I. C. A. (2014). *Manual del cultivo de caucho bajo buenas prácticas agrícolas*. Gobernación de Antioquia; Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Vieira, M. R. (2019). *Desfolhamento da seringueira devido ao ataque de ácaros*. <http://www.apabor.org.br/sitio/artigos/html/20031127-1.htm>
- Vieira, M. R., Celoto, F. J., Scaloppi Junior, E. J., & Agustini, J. A. (2017). Resistência a ácaros de clones de seringueira nas condições do noroeste paulista. *Bragantia*, 76(1), 102-107. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.609>
- Vieira, M. R., Gomes, E. C., & Figueira, J. C. (2006). Controle Químico de *Calacarus heveae* Feres (Acari: Eriophyidae) em Seringueira. *BioAssay*, 1, 1-7. <https://doi.org/10.14295/BA.v1.0.37>
- Villa Cuastumal, M. R., Martínez Bustamante, E. G., Cartagena Valenzuela, J. R., Rodríguez Rodríguez, O. A., & Osorio, N. W. (2017). Characterization of soils cultivated with rubber in the Colombian Bajo Cauca Antioqueño region. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 70(2), 8155-8167. <https://doi.org/10.15446/rfna.v70n2.64520>
- Villas-Boas, I. M., Gonçalves-de-Andrade, R., Pídde-Queiroz, G., Assaf, S. L. M. R., Portaro, F. C. V., Sant'Anna, O. A., Van den Berg, C. W., & Tambourgi, D. (2012). Premolis semirufa (Walker, 1856) envenomation, disease affecting rubber tappers of the Amazon: Searching for Caterpillar-Bristles toxic components. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 6(2), e1531. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0001531>
- Vrignon-Brenas, S., Gay, F., Ricard, S., Snoeck, S., Perron, T., Mareschal, L., Laclau, J.-P., Gohet, G., Malagoli, P., Gay, F. (2019). Nutrient management of immature rubber plantations. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(1), 1-21. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0554-6>
- Webster, C., & Paardekooper, E. (1989). The botany of the rubber tree. *Rubber*, 5784.
- Wei, H., Wang, Y., Wang, Z., & Yan, X. (2005). Effect of planting density on plant growth and camptothecin content of Camptotheca acuminata seedlings. *Journal of Forestry Research*, 16(2), 137-139. <https://doi.org/10.1007/BF02857907>
- Winder, J. A. (1976). Ecology and control of Erinnyis ello and E. alope, important insect in the new world. *PANS*, 22, 449-466. <https://doi.org/10.1080/09670877609414334>

- Wu, J., Qu, W., Huang, G., Wang, S., Huang, C., & Liu, H. (2017). Super-Resolution Fluorescence Imaging of Spatial Organization of Proteins and Lipids in Natural Rubber. *Biomacromolecules*, 18(6), 1705-1712. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.6b01827>
- Wycherley, P. R. (1992). The genus *Hevea* - botanical aspects. *Developments in Crop Science*, 23, 50-66. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-88329-2.50009-X>
- Yasnó Cabrera, C. A., Trochez G., J. M., Cárdenas Guzmán, C. A., & Escobar Acevedo, C. J. (2004). *El cultivo del caucho (Hevea brasiliensis Muell.) con enfoque agroforestal*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Yeang, H.-Y. (2007). Synchronous flowering of the rubber tree (*Hevea brasiliensis*) induced by high solar radiation intensity. *New Phytologist*, 175(2), 283-289. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02089.x>
- Zacarias, M. S., & De Moraes, G. J. (2002). Mite diversity (Arthropoda: Acari) on Euphorbiaceous plants in three localities in the state of São Paulo. *Biota Neotropica*, 2(2), 1-12. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032002000200004>
- Zapata, A., Patiño, C., Giraldo, D., Rondón, D., Peláez, G., Vélez, J., Álvarez-Láinez, M., Zapata, N., Velásquez, S., Valderrama, S., & Carvajal, V. (2016). *Protocolo. Beneficio y almacenamiento de látex y de lámina de caucho natural*. Universidad EAFIT.
- Zapata-Gallego, N. (2016). *Caracterización y propiedades reológicas de látex de caucho natural preservado proveniente de los clones IAN 710, IAN 873, FX 3864 y una mezcla entre los clones* [Tesis de Maestría, Universidad EAFIT]. <http://hdl.handle.net/10784/14323>
- Zapata-Gallego, N. T., & Álvarez-Láinez, M. L. (2019). Effect of the Phenological Stage in the Natural Rubber Latex Properties. *Journal of Polymers and the Environment*, 27(2), 364-371. <https://doi.org/10.1007/s10924-018-1337->
- Zhang, H., Zhang, G.-L., Zhao, Y.-G., Zhao, W.-J., & Qi, Z.-P. (2007). Chemical degradation of a Ferralsol (Oxisol) under intensive rubber (*Hevea brasiliensis*) farming in tropical China. *Soil & Tillage Research*, 93(1), 109-116. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.03.013> Redirecting
- Zimdahl, R. (2018). *Fundamentals of weed science*. Academic Press <https://doi.org/10.1016/C2015-0-04331-3>

- Zuleta, J., Torres, C., & Nizo, R. (2004). Modelos agroforestales a implementar con el cultivo de caucho. En *Asistencia preparatoria para la formulación del proyecto de siembra de 50.000 hectáreas de cacao y caucho en los departamentos de Antioquia y Córdoba. Documento 2 Plan de negocios cacao y caucho* (pp. 17-28). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP); Gobernación de Antioquia; Gobernación de Córdoba; Federación Nacional de Productores de Caucho Natural (FedECAUCHO).
- Zuluaga Peláez, J. J., & Escobar Acevedo, C. J. (2001). *Efecto del manejo agroforestal en el desarrollo y producción del caucho (Hevea brasiliensis Muell) en dos áreas del Piedemonte del Caquetá*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4018/1/Manejo%20agroforestal%20desarrollo%20y%20produccion%20de%20caucho.pdf>

Terminó de diseñarse en septiembre de 2022,
Bogotá, D. C., Colombia

El caucho natural (*Hevea brasiliensis*) es la base de un sistema productivo promisorio y de gran importancia para el país, que ha generado expectativas no solo alrededor del aumento del mercado, sino también en la consolidación de la industria asociada a la transformación del caucho. Esta importancia da soporte a la necesidad de mejorar la productividad, competitividad y sostenibilidad en los núcleos identificados, particularmente el del “cinturón cacaotero-cauchero de Antioquia-Córdoba”, teniendo en cuenta que estos dos departamentos cuentan con aproximadamente tres millones de hectáreas con aptitud edafoclimática para la producción de caucho natural.

Esta aptitud implica la existencia de condiciones que permiten el uso eficiente de los recursos naturales, especialmente el suelo y el agua, a través de un manejo integrado del cultivo que incluye requerimientos edafoclimáticos de la especie, sistemas de siembra, plagas y enfermedades, prácticas culturales y características de la materia prima, entre otros aspectos.

El *Modelo productivo para el cultivo de caucho natural (Hevea brasiliensis) en el bajo Cauca antioqueño y en el sur de Córdoba* busca ser una herramienta de consulta que, a partir del enfoque territorial, facilite la toma de decisiones y la priorización de inversiones por parte de los productores.



BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

CORREO: bac@agrosavia.co

TELÉFONO: (57 1) 422 73 00 EXT. 1257 o 1274

SKYPE: [biblioteca.agropecuaria](https://www.skype.com/name/identifiers/alias/biblioteca.agropecuaria)

www.agrosavia.co

Distribución gratuita
Prohibida su venta



AGROSAVIA
EDITORIAL