

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

Colección Transformación del Agro



El campo
es de todos

Minagricultura

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

Autores

Por AGROSAVIA

Aníbal L. Tapiero
Alfonso Martínez
Guillermo A. León
Orlando Argüello
Albert J. Gutiérrez
Carlos E. Castilla
Jairo Rojas
Yeirme Jaimes

Por Cenicaucho

Fernando García
Ibonne A. García
Oscar Santacruz
Andrés R. Peraza
Yeimy A. Pinzón

Mosquera, Colombia, 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 / Aníbal L. Tapiero [y otros doce] -- Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2018.

200 páginas (Colección Transformación del Agro)

Incluye referencias bibliográficas, tablas, fotos

ISBN E-book: 978-958-740-266-7

1. Caucho 2. *Hevea brasiliensis* 3. Industria del caucho 4. Cultivo 5. Germoplasma 6. Sistemas agroforestales 7. Producción de semillas 8. Nutrición de las plantas 9. Escarda 10. Enfermedades de las plantas 11. Indicadores económicos.

Palabras clave normalizadas según Tesaurus Multilingüe de Agricultura Agrovoc

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)

Centro de Investigación El Mira. Kilómetro 38, Vía Tumaco-Pasto, Nariño. Código postal 528517, Colombia.

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

Centro de Investigación La Suiza. Kilómetro 32 Vía al Mar, vereda Galápagos, Rionegro-Santander. Código postal: 687511, Colombia.

Citación sugerida: Tapiero, A. L., Martínez, A., León, G. A., Argüello, O., Gutiérrez, A. J., Castilla, C. E., Rojas, J., Jaimes, Y., García, F., García, I. A., Santacruz, O., Peraza, A. R., & Pinzón, Y. A. (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*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Fecha de recepción: 9 de mayo de 2018

Fecha de evaluación: 9 de mayo de 2018

Fecha de aceptación: 24 de julio 2018

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, y declaran, 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.

Colección Transformación del Agro

Publicado en Mosquera, Colombia, diciembre de 2018

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA

editorial@agrosavia.co

Edición: Liliana Elvira Gaona García

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

www.agrosavia.co

Nota: A partir de mayo de 2018, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria cambió su acrónimo Corpoica por AGROSAVIA.



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

Contenido

Introducción.....	14
Capítulo I	
Cadena productiva del caucho natural y su industria	17
Capítulo II	
Áreas geográficas con mayor aptitud de uso para el cultivo del caucho en Colombia	19
Región de la Orinoquia	19
Región del Magdalena Medio.....	20
Áreas óptimas para el establecimiento del cultivo de caucho	21
Capítulo III	
Requerimientos para el cultivo del caucho	29
Capítulo IV	
Descripción botánica de la especie <i>Hevea brasiliensis</i>.....	31
Fases de desarrollo foliar	31
Capítulo V	
Material genético.....	34
Características de interés del material genético para plantaciones comerciales.	35
Clones evaluados en la Orinoquia	35
Clones asiáticos	36
Clones americanos	37
Clones evaluados en el Magdalena Medio.....	39
Identificación del material vegetal	39
Isoenzimas.....	40
Microsatélites o secuencias cortas repetidas	40
Capítulo VI	
Establecimiento del cultivo de caucho.....	42
Producción de material vegetal	43
Semillas.....	43
Germinador.....	44
Establecimiento del vivero.....	46
Planificación	46
Vivero en tierra.....	46
Vivero en bolsa.....	48
Fertilización del vivero	50

Riego en vivero.....	51
Jardín clonal.....	51
Establecimiento de un jardín clonal	52
Jardín clonal para producir varetas verdes.....	53
Jardín clonal para producir varetas marrones.....	54
Mantenimiento.....	54
Riego.....	55
Fertilización.....	55
Podas	55
Injertación	55
Proceso de injertación	57
Plantación en sitio definitivo	61
Características físicas y químicas del suelo	61
Preparación del terreno.....	65
Establecimiento de la plantación	69

Capítulo VII

Sistemas agroforestales con caucho natural 76

Sistemas con cultivos asociados al caucho natural	77
Establecimiento de sistemas agroforestales (SAF) con caucho.....	77
Modelos SAF con caucho natural	78

Capítulo VIII

Nutrición 83

Elementos minerales móviles.....	83
Nitrógeno (N)	84
Fósforo (P)	84
Potasio (K).....	84
Magnesio (Mg).....	85
Molibdeno (Mo).....	85
Zinc (Zn)	85
Elementos minerales inmóviles	87
Calcio (Ca)	87
Azufre (S)	87
Boro (B)	87
Cobre (Cu)	88
Hierro (Fe)	88
Manganeso (Mn)	88
Análisis foliar.....	91
Muestreo y análisis.....	91

Capítulo IX

Manejo de malezas 94

- Etapas del cultivo del caucho y su manejo 94
 - Etapa de propagación 94
 - Etapa de preestablecimiento 95
 - Etapa de plantación 96
- Coberturas 97

Capítulo X

Enfermedades más importantes del cultivo del caucho natural 101

- Enfermedades foliares 101
 - Mal suramericano de las hojas del caucho 101
 - Antracnosis 105
 - Costra negra 107
 - Mancha aerolada 108
 - Requema o caída tardía de las hojas (*Phytophthora* spp.) 109
 - Mancha de corynespora 110
 - Mancha de perdigón 111
- Enfermedades del tallo (fuste) y el panel de sangría 111
 - Chancro del injerto y de la corteza 111
 - Mal rosado o rubeola 112
 - Mal del machete 113
 - Raya negra 113
- Enfermedades de la raíz 114
 - Pudrición blanca de la raíz 114
 - Pudrición parda de la raíz 115
 - Pudrición roja de la raíz 116

Capítulo XI

Artrópodos dañinos presentes en el caucho natural 117

- Gusano cachón 117
 - Prácticas de manejo para el gusano cachón 119
- Hormiga arriera 130
 - Prácticas de manejo para la hormiga arriera 131
- Comején o termita 134
 - Prácticas de manejo para termitas y comején 136
- Chinche de encaje 136
 - Prácticas de manejo para el chinche de encaje 137
- Artrópodos, la plaga de menor incidencia en el cultivo del caucho 138

Capítulo XII

Interacción del cultivo de caucho y el venado de cola blanca 140

Capítulo XIII

Sangría..... 141

Inventario de la plantación141
 Selección de árboles para el inicio de la etapa de aprovechamiento142
 Equipamiento142
 Preparación de los árboles.....143
 Trazado del panel145
 Apertura de paneles146
 Equipamiento del árbol148
 Operación148
 Aspectos generales sobre la sangría del caucho natural 148
 Sistemas de sangría 150

Capítulo XIV

Poscosecha (beneficiado del látex)..... 155

Látex del árbol de caucho (*Hevea brasiliensis*)155
 Contenido de caucho seco (DRC)..... 155
 Metodología para la estimación del TSC 156
 Beneficiado del látex 157
 Presentaciones de materia prima con caucho seco157
 Lámina seca 157
 Caucho ripio 160
 Láminas de caucho tipo crepé..... 160
 Caucho granulado técnicamente especificado..... 162
 Lámina ahumada 163
 Presentación de la materia prima como látex..... 164

Capítulo XV

Subproductos 166

Madera..... 166
 Características 167
 Aplicaciones industriales 169
 Semilla..... 170
 Semilla como alimento..... 171
 Semilla para producción de biodiésel 171

Capítulo XVI

Indicadores económicos	172
Rendimientos y costos	172
Costos de producción	175
Costos directos	175
Costos indirectos.....	181
Bibliografía.....	182
Apéndices.....	193
Consideraciones para el éxito en el proceso de injertación	193
Recomendaciones generales para el manejo de plagas y enfermedades	193
Consideraciones para la aplicación de pesticidas.....	194

Lista de figuras

Figura 1	Caracterización de zonas de escape a <i>Microcyclus ulei</i> en la Orinoquia colombiana	24
Figura 2	Zonificación climática para estimación de áreas de cultivo de caucho en Colombia, basada en temperaturas entre 18 °C y 32 °C y precipitación promedio de 2.700 a 3.500 mm, a partir de la base de datos de WorldClim	27
Figura 3	Fases de desarrollo foliar de la especie <i>Hevea brasiliensis</i>	32
Figura 4	Estados reproductivos del árbol de caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>)....	33
Figura 5	Evaluación de individuos del clon FX 3864, con el marcador tipo microsatélite SSRH 358, por electroforesis capilar	41
Figura 6	Cronograma de actividades para el establecimiento de plantaciones de caucho en la Orinoquia	43
Figura 7	Producción de material vegetal.....	45
Figura 8	Tipos de vivero	47
Figura 9	Vivero en bolsa	49
Figura 10	Jardín clonal.....	53
Figura 11	Condiciones para la injertación.....	56
Figura 12	Ventana de injertación	59
Figura 13	Proceso de injertación.....	60
Figura 14	Triángulo textural, según la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA)	61
Figura 15	Terreno de difícil acceso para el manejo de la plantación.	65
Figura 16	Extracción de muestras para estudios edáficos	66
Figura 17	Incorporación de correctivos al suelo por medio de un cincel	68
Figura 18	Ahoyado	69
Figura 19	Tipos de marcos de siembra para establecer plantaciones de caucho	70
Figura 20	Detalle del modelo de siembra	71
Figura 21	Problemas asociados al establecimiento en sitio definitivo	73
Figura 22	Aplicación de fertilizantes en función de la edad del árbol de caucho	75
Figura 23	Diseño del establecimiento del caucho en asocio agroforestal con leguminosas por dos ciclos	78

Figura 24	Diseño espacial de un sistema agroforestal de caucho asociado con cultivos semestrales de soya y maíz.....	80
Figura 25	Sistema agroforestal de caucho en asocio con plátano	81
Figura 26	Esquema de sistema agroforestal de caucho con especies perennes y de ciclo corto.....	82
Figura 27	Hojas de caucho con síntomas de deficiencia de elementos minerales móviles.....	86
Figura 28	Hojas de caucho con síntomas de deficiencia de elementos minerales inmóviles	89
Figura 29	Plantas de caucho con deficiencia de elementos minerales.....	90
Figura 30	Esquema diagramático del selector de arvenses	95
Figura 31	Coberturas asociadas al sitio definitivo	97
Figura 32	Plantaciones de caucho con diferentes tipos de cobertura	99
Figura 33	Árboles con afección severa por <i>Microcyclus ulei</i>	102
Figura 34	Foliolos deformados con lesiones esporuladas de <i>Pseudocercospora ulei</i> , estado imperfecto de <i>Microcyclus ulei</i>	103
Figura 35	Afección de SALB en hojas en estado D	103
Figura 36	Antracnosis	107
Figura 37	Costra Negra	108
Figura 38	Foliolos en estadio D, con signos y síntomas de mancha aerolada..	109
Figura 39	Requema por <i>Phytophthora</i> sp.	110
Figura 40	Síntomas de <i>Lasiodiplodia theobromae</i> en raíz y base del tronco ..	112
Figura 41	Signos y síntomas de una rama afectada por <i>Corticium salmonicolor</i> ...	113
Figura 42	Signos y síntomas de <i>Rigidoporus lignosus</i>	115
Figura 43	Avispas parasitando huevos de <i>Erinnyis ello</i>	121
Figura 44	Métodos de uso de <i>Trichogramma</i> sp.	122
Figura 45	Gusano cachón <i>Erinnyis ello</i>	123
Figura 46	Moscas de <i>Belvosia</i> sp. emergidas de una pupa del gusano cachón parasitado.....	123
Figura 47	Larva de <i>Erinnyis ello</i> afectada por <i>Baculovirus erinnyis</i>	127
Figura 48	Esquema de defoliación.....	129
Figura 49	Árboles de caucho con 100% de defoliación por causa del gusano cachón	130
Figura 50	Esquema de medición del área ocupada por un hormiguero.....	132
Figura 51	Daño por termitas en el patrón propagado por <i>stump</i>	135
Figura 52	Adulto, ninfa y daño causado por el chinche de encaje (<i>Leptopharsa heveae</i>) en hoja de caucho	137

Figura 53	Ejemplo de la distribución del chinche de encaje (<i>Leptopharsa heveae</i>), a partir de la metodología de muestreo	138
Figura 54	Trazado de la primera directriz del panel de sangría	144
Figura 55	Trazado de la segunda directriz del panel de sangría	145
Figura 56	Trazado del panel de sangría	146
Figura 57	Anatomía del tronco del árbol de caucho	147
Figura 58	Apertura de panel hasta la canaleta	147
Figura 59	Equipamiento del árbol de caucho	148
Figura 60	Herramientas para el rayado y dirección del corte	151
Figura 61	Tipos de corte en el panel de sangría	151
Figura 62	Aplicación de etefón para estimular la producción de látex	153
Figura 63	Pasos Fen la producción de láminas secas	159
Figura 64	Pasos para la producción de caucho tipo crepé	161
Figura 65	Esquema del proceso para la producción del caucho granulado TSR 20...	163
Figura 66	Crecimiento del área cultivada (ha) de caucho en Colombia (2008-2014)	174

Lista de tablas

Tabla 1	Parámetros generales para la determinación de zonas de escape al SALB....	23
Tabla 2	Características de los mapas usados por Castañeda para el estudio de la región de la Orinoquia	24
Tabla 3	Características de las zonas de escape al patógeno <i>Microcyclus ulei</i> ...	26
Tabla 4	Requerimientos para el cultivo del caucho	29
Tabla 5	Desarrollo del perímetro del tallo (cm) de clones asiáticos y americanos evaluados en el CI La Libertad (Meta) (piedemonte)	38
Tabla 6	Altura de plantas del clon de caucho FX 3864, provenientes de tres tipos de patrones	51
Tabla 7	Tendencia regional del contenido de arcilla en la Orinoquia colombiana, en varios sitios del piedemonte y la altillanura.....	62
Tabla 8	Producción de materia seca (kg/ha) de 7 clones de caucho (de 2 años) en Colombia, en comparación con plantaciones de Malaysia y Brasil ..	64
Tabla 9	Concentración (%) de los elementos mayores en diferentes partes de la planta, en tres clones de caucho, en Colombia y Malaysia.....	64
Tabla 10	Ejemplo de esquema de fertilización general para el cultivo de caucho (dos aplicaciones al año).....	75
Tabla 11	Ejemplo de fertilización del caucho en arreglo agroforestal.....	75
Tabla 12	Descripción de los factores que afectan la composición de los elementos minerales	91
Tabla 13	Ubicación y cantidad de hojas destinadas para la toma de muestras con destino al análisis foliar.....	92
Tabla 14	Concentraciones de nutrientes en las hojas de caucho.....	93
Tabla 15	Fórmula base de fertilización para suelos oxisoles.....	93
Tabla 16	Resultados de análisis foliares.....	93
Tabla 17	Labores para el manejo de malezas, previas al establecimiento del cultivo	96
Tabla 18	Leguminosas más utilizadas como coberturas en caucho.....	100
Tabla 19	Tratamiento químico para las enfermedades más importantes del árbol de caucho	105
Tabla 20	Estados de desarrollo de <i>Erinnyis ello</i>	118
Tabla 21	Principales diferencias entre los instares larvales de <i>Erinnyis ello</i> ...	119
Tabla 22	Depredadores naturales de <i>Erinnyis ello</i>	124
Tabla 23	Estatus de la población de adultos o polillas de <i>Erinnyis ello</i> , en relación con el número de individuos capturados por trampa.....	128
Tabla 24	Niveles de alerta según el número de larvas por terminal de muestreo y porcentaje de defoliación.....	129
Tabla 25	Diferencias entre los principales géneros de hormigas asociados al cultivo del caucho	131
Tabla 26	Categorías y prácticas de manejo, de acuerdo con el tamaño estimado de los hormigueros.....	132

Tabla 27	Características de las principales familias de termitas en la Orinoquia ..	134
Tabla 28	Niveles de población de <i>Leptopharsa heveae</i>	137
Tabla 29	Insectos de menor incidencia en el cultivo del caucho.....	139
Tabla 30	Categorías diamétricas para realizar el inventario de una plantación ..	142
Tabla 31	Periodos de descanso de la actividad de rayado, según la edad y las condiciones de la plantación	150
Tabla 32	Parámetros de rayado según el sistema de sangría	152
Tabla 33	Composición general del caucho natural	156
Tabla 34	Especificaciones técnicas para cauchos granulados.....	163
Tabla 35	Propiedades físicas y mecánicas de la madera del caucho	167
Tabla 36	Materias primas producidas a partir de las trozas de madera de caucho...	168
Tabla 37	Composición general de la semilla del caucho natural.....	170
Tabla 38	Parámetros químicos de la semilla del caucho	171
Tabla 39	Parámetros productivos a partir del sexto año (primero de producción) de tres clones en el Magdalena Medio colombiano (datos promedio de productividad)	173
Tabla 40	Costos de producción (COP 2018) para el establecimiento de 1 ha de caucho (primer año).....	175
Tabla 41	Costos de producción (COP 2018) para el mantenimiento de 1 ha de caucho (segundo año)	177
Tabla 42	Costos de producción (COP 2018) para el mantenimiento de 1 ha de caucho (años 3, 4 y 5).....	178
Tabla 43	Costos de producción (COP 2018) para el mantenimiento de 1 ha de caucho (año 6)	179
Tabla 44	Costos indirectos de producción	181

Introducción

Originario del Amazonas, el árbol del caucho (*Hevea brasiliensis*), que constituye la fuente principal de la producción de caucho natural a nivel global, es cultivado en diferentes áreas de la zona intertropical. El látex secretado por este árbol es un polímero de elevado peso molecular (látex), materia prima para la fabricación comercial de más de 40.000 productos, incluyendo más de 400 dispositivos médicos (Cornish, 2001).

La producción actual de caucho natural, unos 13.895 millones de toneladas (Jacob, 2018) se obtiene en un área superior a 10,5 millones de hectáreas. Estas se encuentran ubicadas, principalmente, en los países asiáticos Indonesia, Tailandia y Malaysia (70 %), los cuales participan con 35 %, 22 % y 12 % de la producción, respectivamente (Restrepo, 2012). Al considerar la producción de Borneo, Vietnam, Laos, China, India, Bangladesh y Sri Lanka, entre otros, se encuentra que 90 % del área total mundial se siembra en países asiáticos. En Latinoamérica, se destacan Brasil, Guatemala y México como principales productores; sin embargo, su producción representa apenas el 2,4 % de la producción mundial (MADR, 2018).

Durante las dos primeras décadas del siglo XXI, el cultivo de caucho en Colombia ha registrado un aumento considerable. De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Colombiano-MADR (2018), en la actualidad se cuenta con alrededor de 60.000 hectáreas establecidas, de las cuales más de 80 % se establecieron entre 2004 y 2015. De estas, el 70 % corresponde a predios de pequeños y medianos productores, mientras que el 30 % restante corresponde a grandes productores.

Este sistema productivo se encuentra establecido en cultivos esparcidos por 17 departamentos del país: Antioquia, 25.000 ha aproximadamente; Meta, 18.000 ha aproximadamente y Santander 10.000 ha aproximadamente, departamentos que presentan las mayores áreas establecidas, con un rendimiento promedio nacional de 1,4 t/ha.

La producción anual de caucho en Colombia se estima en 5.000 toneladas, las cuales cubren apenas 20 % de la demanda nacional. Para el 2018, el gremio proyectó el ingreso a etapa productiva de 10.000 nuevas hectáreas que contribuirían a satisfacer la demanda interna, estimada en 22.000 toneladas al año. Sin embargo, la producción de materia prima se vio reducida en razón al desestímulo entre los productores, generado por reducciones en el precio, variabilidad climática y aumento de la presencia de plagas y enfermedades.

En la región tropical, la especie *Hevea brasiliensis* puede cultivarse en una amplia área de pisos geográficos con diferentes condiciones edafoclimáticas. Sin embargo, por aspectos económicos, de productividad y manejo, su establecimiento se restringe a algunas áreas definidas por su altitud, topografía, calidad física de los suelos y condiciones de infraestructura, así como demográficas y culturales. Adicionalmente, debe prestarse particular atención a las características del clima, cuya injerencia en el éxito de la inversión es determinante.

La mayor limitación para el incremento de las áreas de cultivo en América es la enfermedad denominada mal suramericano de la hoja del caucho (SALB, por sus siglas en inglés: South American Leaf Blight), responsable de enormes pérdidas que condujeron a inmensos fracasos en la producción de caucho a comienzos y mediados del siglo xx.

SALB es causada por el hongo *Microcyclus ulei* (anamorfo *Pseudocercospora ulei*), cuya importancia económica ha sido referenciada, abundantemente, en la literatura especializada anterior a 2014 (Da Hora-Junior et al., 2014). Más recientemente, en Colombia y Brasil, diversas especies de *Colletotrichum* spp. han estado afectando los árboles de caucho con altos índices de severidad, en particular en la Orinoquia colombiana, ocasionando graves pérdidas económicas, derivadas de su manejo e incidencia en la productividad.

Hasta el momento, la estrategia más efectiva para controlar la incidencia del SALB (y por extensión la de *Colletotrichum*) en América ha sido la ubicación de cultivos en zonas denominadas "de escape" a la enfermedad (Gasparotto et al., 2012; Ortolani, 1998). Una zona de escape al SALB se establece delimitando áreas geográficas con condiciones ambientales temporales, cuyas características limitan los riesgos de infección y desarrollo de la enfermedad durante los estados fenológicos, cuando la planta es receptiva a la infección por el patógeno; más son favorables para el crecimiento y desarrollo del árbol de caucho durante el curso del año. Esta condición, determinada por la delimitación de periodos de defoliación y refoliación del árbol, es de carácter estacional en la especie *H. brasiliensis*.

No obstante, el caucho puede ser cultivado también en zonas consideradas de no escape. Para tal efecto, se dispone de alternativas tecnológicas orientadas a obtener una condición fitosanitaria adecuada del cultivo. Entre estas condiciones se destacan la utilización de resistencia genética y los injertos de copa para áreas pequeñas, sin limitaciones por efectos del viento y la diversidad clonal al interior de los arreglos del cultivo.

El modelo que aquí se presenta está dirigido a todos los interesados en el sistema productivo del caucho en Colombia, ofreciendo información actualizada para zonas tanto de escape como de no escape al SALB; está fundamentado en las tecnologías que se han desarrollado en diferentes regiones caucheras a escala mundial en años recientes.

Capítulo I

Cadena productiva del caucho natural y su industria

El Acuerdo Sectorial de Competitividad de la Cadena Productiva del Caucho Natural y su Industria fue elaborado en 2002 por representantes de los sectores público y privado del orden nacional. A partir de este acuerdo, con la Resolución 312 de 2002, del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) se creó el Consejo Nacional del Caucho Natural y su Industria como un organismo consultivo de la cadena, con el fin de identificar y concertar soluciones integradas para el sector.

La cadena productiva fue reconocida por el ministerio mediante la Resolución 175 de 2012 (Castellanos, Fonseca, & Barón, 2009), la cual indica que la cadena está integrada por productores, comercializadores, industriales, sectores académicos y de investigación, y por el gobierno nacional.

A su vez, el consejo nacional está compuesto por: 1) representantes del sector público, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADR), el Departamento para la Prosperidad Social y un representante de las entidades de investigación; 2) representantes del sector privado, del sector de producción primaria agremiados en la Confederación Cauchera Colombiana (CCC), uno de la industria, de la Asociación Colombiana de Industriales del Caucho (Asocolcauchos), uno de cada comité regional, y otros que ameriten hacer parte de la organización; 3) los presidentes o directores del Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (Finagro), el Banco Agrario y el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) (Castellanos et al., 2009).

El objetivo principal de la cadena productiva del caucho natural y su industria es propiciar el aumento de la productividad, la competitividad y la sostenibilidad del subsector heveícola nacional. Con ese fin, se ejecuta el plan de acción y se cumple con los compromisos establecidos en el acuerdo nacional de competitividad, por medio de la articulación y participación de sus actores, apoyados por el coordinador nacional de la cadena del caucho en el MADR, los comités regionales de cadena y el consejo nacional de la cadena de caucho (Castellanos et al., 2009).

En junio de 2009, se creó la Confederación Cauchera Colombiana (CCC), como representante del gremio de productores de material vegetal, cultivadores agroindustriales e industriales. Esta entidad coordina la asistencia técnica

nacional y, entre otras funciones, administra el Fondo de Fomento Cauchero, orientado a fortalecer el subsector en aspectos como capacitación, asistencia técnica, comercialización, competitividad e investigación.

En agosto de 2011, se fundó la Corporación Centro Nacional de Investigación para el Caucho Natural (Cenicaucho), con el objetivo de promover la investigación y la transferencia tecnológica directamente o en colaboración con otras entidades.

Capítulo II

Áreas geográficas con mayor aptitud de uso para el cultivo del caucho en Colombia

Región de la Orinoquia

La cuenca del Orinoco, una de las más grandes del mundo, cubre territorios de Colombia y Venezuela y comprende paisajes que van desde montañas y planicies de inundación hasta selvas tropicales en las tierras bajas.

En Colombia, esta cuenca abarca cuatro grandes ecosistemas: el de montaña, la Orinoquia bien drenada, la Orinoquia mal drenada y el amazónico de transición (Malagón, 1995; Rivera, 2005). El ecosistema de montaña comprende el extremo más oriental de la cordillera de los Andes, conformado por el macizo de Quetame y la zona de piedemonte, con sus abanicos y terrazas (Malagón, 1995). Esta región delimita las variables climáticas de la Orinoquia, deteniendo las masas de aire provenientes del océano Atlántico, generando un clima monomodal dominante caracterizado por la estacionalidad de la precipitación y una acentuada época seca; esta última tiene lugar desde finales de noviembre hasta marzo o abril, con precipitaciones que varían entre 3.500 mm en el piedemonte a 1.700 mm en Arauca y Vichada (Malagón, 1995).

La cuenca del Orinoco, conformada por los ríos Meta, Arauca, Guayabero y Guaviare (Rivera, 2005), genera un promedio de agua de 23.000 m³/s, que representa el 33,8 % de la escurrentía total nacional. Exceptuando el descenso gradual observado en el paisaje de montaña hasta el piedemonte, la altura de la cuenca es menor a 400 m y las temperaturas oscilan entre 25 y 28 °C (Malagón, 1995).

La Orinoquia bien drenada abarca desde Puerto López hasta el río Orinoco, por toda la margen oriental del río Meta, en áreas de los departamentos de Vichada, Guainía, Guaviare y el Escudo Guayanés al oriente. La conforman también llanuras altas o altillanuras y sabanas disectadas, llanura ondulada o serranías (Malagón, 1995; Martínez, 2007).

Por su parte, la Orinoquia mal drenada se encuentra ubicada en en los departamentos de Casanare y Arauca, en zonas bajas respecto al nivel de las aguas en la margen izquierda del río Meta, condición que hace que permanezca

inundada durante la época de máxima precipitación (Martínez, 2007). Sus unidades estructurales son las llanuras aluviales, las terrazas altas planas o disectadas (cortadas por la erosión y movimientos tectónicos, conformando valles irregulares) y parte del piedemonte (Malagón, 1995).

Por último, el ecosistema amazónico de transición se compone de un sistema de bosques húmedos al margen izquierdo del Escudo Guayanés y de la cuenca del río Inírida, en los cuales la topografía se proyecta en un conjunto de mesetas y serranías como los cerros de Mavicure, las serranías del Tunahí, del Naquén, de La Lindosa y la sierra de la Macarena. Ocupa los departamentos de Guainía, Vichada, Vaupés, Guaviare y Caquetá (Malagón, 1995; Rivera, 2005).

Región del Magdalena Medio

El Magdalena Medio es la región de vegas que conforman los valles interandinos en la cuenca media del río Magdalena en su curso desde la región Andina hacia el océano Atlántico. Su frontera se reparte entre Antioquia, Bolívar, Cesar y Santander, con una extensión de 30.177 km² (2,64 % del área nacional), aunque también incluye territorios de Boyacá, Caldas, Cundinamarca y Tolima. En esta región se destacan los centros urbanos de Barrancabermeja (Santander) y Puerto Berrío (Antioquia) (Trillos, 2011).

La cuenca media del río Magdalena se extiende desde el raudal de Honda hasta la población de Tamalameque y está subdividida en dos grandes sectores: la planicie calidada y la vertiente húmeda, las cuales se encuentran diferenciadas por accidentes geográficos que concurren entre las cordilleras Central y Oriental, desde Honda hasta Barrancabermeja (Santander) y entre la serranía de San Lucas hasta la depresión Momposina, ubicada entre Barrancabermeja y La Gloria.

Del lado oriental de la cordillera Central, la cuenca del Magdalena Medio está integrada por los ríos La Miel, Samaná, Claro, Cocorná y Caldera, por el flanco occidental de la cordillera Oriental; por los ríos Negro, Carare, Opón, Sogamoso y Lebrija, como principales tributarios, además de quebradas, cuyo cauce recorre las cordilleras y la serranía de San Lucas (Castaño, 2003; Mojica et al., 2006).

Los ecosistemas que caracterizan esta región varían de bosque seco a húmedo, con temperatura media de entre 25 a 28 °C, y una escala de precipitación entre 500 y 3.000 mm al año. El régimen de precipitación es bimodal, como en el resto de la región andina, con un gradiente de mayor precipitación que se observa de occidente a oriente.

La temporada de lluvias, entre marzo y junio, presenta un punto máximo en abril y mayo, seguido por un descenso en las precipitaciones desde finales de junio hasta septiembre. Entre octubre y noviembre se observa otro periodo de máxima precipitación que finaliza en diciembre, cuando inicia un periodo seco que va hasta finales del mes de febrero (Castaño, 2003).

A diferencia del alto y bajo Magdalena, que comportan un régimen de regiones semiáridas en el valle medio de la cuenca del río Magdalena, se observa un clima húmedo con precipitaciones promedio de 3.000 mm al año; en esta región, se destacó la presencia de una gran selva húmeda, que existió hasta mediados del siglo XX (Mojica et al., 2006).

Zonas como el bosque de Florencia, en las cabeceras de los ríos La Miel y Samaná Sur, la serranía de Las Quinchas, entre los ríos Carare y Magdalena, y las cabeceras del río Opón, y el extremo sur de la serranía de San Lucas, presentan precipitaciones entre 5.000 y 7.000 mm al año.

En inmediaciones de los ríos Carare y Opón, se encuentran bosques secos al sur, con un cambio gradual hacia bosques húmedos tropicales. En la temporada lluviosa, los bosques secos presentan una tendencia similar a la de la selva húmeda, pero durante la época seca los árboles que se encuentran en el estrato alto del bosque pierden el follaje y permiten el acceso de los rayos solares a los estratos inferiores, lo cual favorece su crecimiento y desarrollo (Castaño, 2003).

Al oriente del valle predomina el paisaje de lomerío, reliquia de antiguas terrazas sedimentarias provenientes de la cordillera Central, cuando aún no se había levantado la cordillera Oriental. Siguiendo hacia los extremos suroriental, en dirección a Puerto Boyacá, y nororiental, hacia San Alberto, en el paisaje de lomerío aumentan las formaciones con material de origen volcánico, mientras que la cordillera Oriental que bordea el valle medio está compuesta principalmente por materiales sedimentarios (Mojica et al., 2006).

Áreas óptimas para el establecimiento del cultivo de caucho

En sentido amplio, en Colombia la delimitación de áreas óptimas para el cultivo es bastante extensa y ocupa unas 4.000 hectáreas (Castañeda, 1997). Sin embargo, la determinación final para el establecimiento de un cultivo requiere del desarrollo de un proceso de planificación previo a la inversión, que es crucial para alcanzar eficiencia económica y ambiental del sistema productivo.

En el caucho, la selección de la zona y el sitio de siembra son trascendentales para la determinación del material genético (clon) a sembrar, así como la del arreglo que se va a adoptar al interior del cultivo (distancias desde áreas naturales protegidas, orientación de surcos, distancias de siembra), junto a otros aspectos de logística como áreas de resguardo para el personal, vías de circulación y acceso que faciliten la proyectada extracción de látex en el futuro, etc. En tal sentido, también es necesario evaluar la presencia de factores que pudiesen influir en la prolongación de periodos con alta humedad en horas de la mañana, la necesidad de implementar acciones como el establecimiento de barreras rompevientos o drenajes, precisando elementos como la orientación del cultivo al respecto a la topografía.

Considerando su largo periodo de establecimiento y productivo, la definición de riesgos derivados de limitaciones fitosanitarias como el SALB, es fundamental conocer si el área presenta características de escape. La falta de previsión respecto a esta enfermedad ha conducido a desastres como el ocurrido en Fordlandia en Brasil, donde la enfermedad arrasó cerca de 3.400 hectáreas de caucho en 1934 (Infante, 2006). En este sentido, productores e inversionistas del sector están obligados a evaluar diversas estrategias, previo a la decisión de ubicar las plantaciones en el campo (Tapiero, 2011).

Adicionalmente, entender el concepto de zona de escape, en toda su dimensión, es fundamental para el productor de caucho natural colombiano.

El concepto de zona de escape se originó en Brasil (Ortolani, 1998) como una estrategia de zonificación climática para el establecimiento del cultivo. A partir de la observación de áreas con caucho nativo, que tuvieran la menor incidencia y severidad de SALB en la cuenca del río Amazonas, se estimaron y evaluaron parámetros como el balance hídrico, la humedad relativa y la temperatura ambiente como pilares del modelo. Su adopción constituyó la estrategia nacional para el establecimiento y el manejo de plantaciones en zonas con condiciones edáficas adecuadas (Ortolani, 1998).

La delimitación de zonas de escape consiste en la identificación de áreas con una estación seca bien definida, de entre uno y tres meses, que coincida con el periodo de renovación estacional (anual) de las hojas, a partir de valores históricos de precipitación mensual, humedad relativa y evapotranspiración (Tapiero, 2011). Durante estos periodos, el patógeno no encuentra condiciones favorables para germinar, infectar el tejido receptivo, desarrollar el proceso de infección y ocasionar daños, que se traducen en lesiones o caída de folíolos en niveles superiores al umbral económico, partiendo de que las condiciones agronómicas del suelo favorecen el crecimiento del árbol (tabla 1).

Tabla 1. Parámetros generales para la determinación de zonas de escape al SALB

Estacionalidad del clima	Factor de diagnóstico	Unidad	Calificación por factor		
			Óptimo	Moderado	Bajo
Estación seca	Precipitación <100mm	Meses	4-6	3-4	<3
	Precipitación <50mm	Meses	3-4	1-2	0-1
	HR en meses secos	%	<75	75-80	>80
	HR en meses muy secos	%	<70	70-80	>80
Déficit hídrico	HR <75 %	Meses	2	1	0
	Evapotranspiración	mm	>200	100-200	<100

HR: humedad relativa

Fuente: Ortolani et al. (1983)

En Colombia, la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (Conif) propuso la primera caracterización de áreas aptas para el cultivo, adoptando el concepto de zona de escape. El estudio propone una zonificación para el cultivo de caucho a escala 1:1.500.00 e identifica zonas aptas para el cultivo con diferentes niveles de riesgo, por ejemplo, efectos por la infección con el mal suramericano y otras potencialmente aptas para el desarrollo del sistema productivo, con restricciones evidentes (Castañeda, 1997).

En la Orinoquia, se identificaron cuatro zonas delimitadas de la siguiente manera: zona de escape con restricciones menores, zona de escape con riesgos manejables, zonas de no escape, potencialmente manejables, y zonas marginales. Estas se encuentran distribuidas en diferentes paisajes de los departamentos del Guaviare, Caquetá, Meta y Arauca.

Sin embargo, el estudio tiene limitaciones para la interpretación, derivadas de la generalidad de su escala de dominio y la inclusión de zonas de escape al interior de áreas de reserva en la región amazónica (figura 1). Estas derivan en limitaciones en cuanto a elementos para la toma de decisiones en el ámbito local (tabla 2).

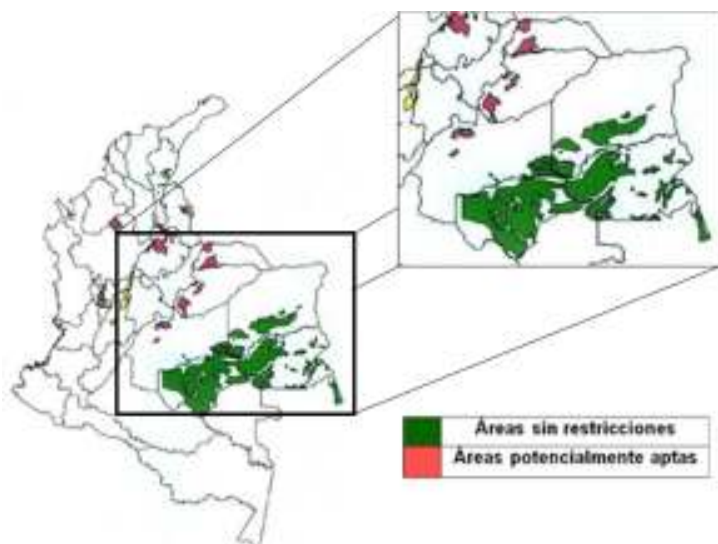


Figura 1. Caracterización de zonas de escape a *Microcyclus ulei* en la Orinoquia colombiana.

Fuente: Castañeda (1997)

Adicionalmente, la información utilizada para la delimitación climática proviene de una muy débil red de estaciones climáticas, y es evidente la falta de continuidad en la toma de datos en varias de las estaciones disponibles. Para efectos de consistencia, estas deberían contar con información continua durante más de 25 años.

Tabla 2. Características de los mapas usados por Castañeda para el estudio de la región de la Orinoquia

Zonas	Nº de mapas	Escala	Ubicación
Sur	1	1:1.500.000	Desde el río Vichada hasta el río Guaviare
Piedemonte llanero	2	1:1.250.000	Piedemonte del departamento del Meta
Norte	1	1:1.250.000	Piedemonte de los departamentos del Casanare y Arauca

Fuente: Castañeda (1997)

Otro aspecto para considerar es la confusión que genera la interpretación errónea del concepto; en particular, lo que se refiere a la reacción esperada en el comportamiento fitosanitario de los clones de caucho a la enfermedad, particularmente, en áreas de escape definidas como "con restricciones". Un ejemplo de ello es la observación documentada en la literatura (Martínez &

García, 2006) de clones afectados con niveles de severidad de hasta 35 % del área foliar en el norte del Guaviare y el sur del Meta. Esta interpretación desconoce o relega a un segundo plano los efectos de la condición “con restricciones”, cuyo efecto se traduce en una oferta ambiental adversa para con la receptividad a la enfermedad. Castañeda (1997) calificó correctamente estas regiones como zonas de escape con restricciones, y la interpretación de su efecto sobre clones susceptibles debería considerar que esta zona tiene características propias de áreas consideradas de “no escape”.

En el mismo sentido, es necesario considerar la modificación en el tiempo de la condición de resistencia en clones, previamente considerados como genéticamente resistentes (García et al., 2011), y los cambios en la parsimonia del desarrollo fenológico de los árboles de caucho, en regiones con alta incidencia de afecciones por *Colletotrichum* spp., que exponen tejidos y órganos en estado receptivo durante épocas con alta humedad relativa y, por lo mismo, en riesgo de infección por el patógeno del SALB. 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.

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 a la incidencia de la enfermedad.

A partir de las proyecciones climáticas elaboradas por el programa WorldClim, se realizó un ajuste de la resolución de mapas de aptitud climática para el cultivo del caucho (Tapiero, 2011) que, en conjunto con las condiciones del suelo, permitieron establecer una escala del 1 al 100, que abarca desde zonas marginales hasta excelentes, por debajo de los 1.200 m s. n. m. (tabla 3) (figura 2) (Tapiero, Rodríguez, & Gutiérrez, 2009).

Tabla 3. Características de las zonas de escape al patógeno *Microcyclus ulei*

Zona	Descripción (de acuerdo con Castañeda [1997])	Escala del proyecto World Clim*
Escape con restricciones menores	Sectores con altas posibilidades de escape. Presentan dos meses con HR $\leq 65\%$, ETP ≤ 900 mm al año y temperatura promedio de 25 °C.	Excelente 81-100
Escape con restricciones mayores	Sectores con buenas posibilidades de escape al patógeno, con la posibilidad de cierto grado de susceptibilidad en años especialmente húmedos, HR entre 65 % y el 70 % durante dos meses consecutivos, ETP entre 900 y 1.000 mm al año y una variación de las temperaturas entre 23 y 30 °C.	Muy apto 61-80
No escape, pero técnicamente aptas	Sectores con altas posibilidades de ataque del patógeno, aunque las condiciones agronómicas de suelo son aptas para el cultivo. La HR se encuentra entre el 70 % y el 75 % durante dos meses consecutivos, la ETP entre 1.000 y 1.200 mm, y las temperaturas entre 25 y 35 °C.	Apto 41-60
Marginales	Regiones donde no podría desarrollarse el cultivo, por limitantes edafológicas y climáticas, con alta susceptibilidad a <i>P. ulei</i> , HR entre el 75 % y el 80 %, ETP entre 1.200 y 1.400 mm al año, con un promedio de temperatura < 20 °C.	Marginal 21-40 y muy marginal 1-20

HR: humedad relativa; ETP: evapotranspiración potencial. *Escala establecida por los autores, de 1 a 100, siendo 100 el máximo valor.

Fuente: Tapiero, Rodríguez y Gutiérrez (2009)

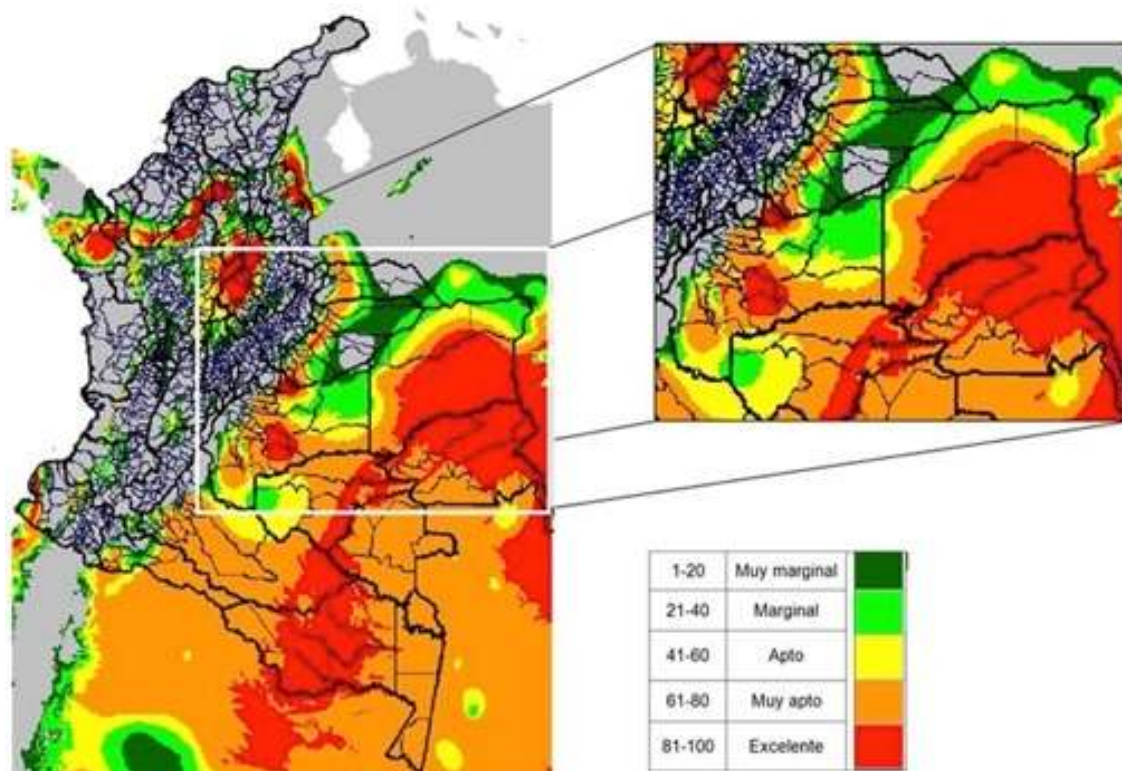


Figura 2. Zonificación climática para estimación de áreas de cultivo de caucho en Colombia, basada en temperaturas entre 18 °C y 32 °C y precipitación promedio de 2.700 a 3.500 mm, a partir de la base de datos de WorldClim.
Fuente: Tapiero, Rodríguez y Gutiérrez (2009)

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 la humedad relativa, ausente en la mayoría de las bases de datos con información climática de la época del estudio.

Una mayor precisión en la definición de *restricciones* requiere urgentemente la inclusión del parámetro: humedad relativa > 85 % durante 10 a 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 debería aproximarse al menos a entre 1:50.000 y 1:250.000.

El modelo de zona de escape representa un fenómeno que depende de las interacciones entre las condiciones climáticas, 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.

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.

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 periodo 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 una vez finalizados las fases de siembra del cultivo (Tapiero, 2011).

Capítulo III

Requerimientos para el cultivo del caucho

Según varios autores (citados por Martínez, 2007), el árbol del caucho se extiende desde los 24° N hasta los 23° S de latitud, y la especie cuenta con una amplia adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas y edáficas. Sin embargo, además de la introducción del concepto de zona de escape, se han definido condiciones agronómicas óptimas para el crecimiento y la producción del caucho (tabla 4).

Es necesario recordar, que tanto la condición de utilizar áreas en condición de no escape al SALB como el manejo inadecuado del cultivo pueden constituir restricciones para una alta producción de látex. El plan quinquenal de desarrollo heveícola colombiano estima que, para alcanzar la productividad nacional esperada, la producción de coágulo debe estar por encima de 1,4 t ha⁻¹ año⁻¹ (SENA, 2006), alrededor de 3 kg/árbol al año.

Tabla 4. Requerimientos para el cultivo del caucho

Requisito de uso de la tierra		Calificación por factores			
Cualidad de la tierra	Factor de diagnóstico	Unidad	Óptimo	Con limitaciones	No óptimo
Altitud	Clima	m s. n. m.	0-1200	1.200-1.500	>1.500
Régimen de temperatura	Temperatura media	°C	25-28	20-25	<20
				28-30	>30
Régimen de vientos	Velocidad viento	km/hora	0-10	10-12	>12
Humedad disponible	Precipitación anual	mm	2.000-3000	1.500-2000	<1.500
				3.000-4000	>4.000
	Distribución de lluvias	día/año	125-150	-	-
	Humedad relativa	%	70-80	60-70	<60
				80-90	>90
Luminosidad	Brillo solar	horas/año	1.650	-	-

Continúa tabla 4

Requisito de uso de la tierra		Calificación por factores					
Topografía	Pendiente	%	0-7	7-25	>25		
	Pedregosidad	%	0-15	15-55	>55		
Disponibilidad de oxígeno / raíces	Drenaje del suelo	Clase*	4	3	1 y 2		
			5	6			
Fertilidad del suelo	Reacción	pH	4,5-5,5	4,4-4,1	<4,1		
				5,6-6,0	>6,0		
	Disponibilidad de nutrientes	N	%	>0,25	0,10-0,25	<0,10	
		P	$\mu\text{g g}^{-1}$	>30	15-30	<15	
		K		>0,30	0,15-0,30	<0,15	
		Ca	cmol kg^{-1}	>6,0	3,0-6,0	<3,0	
		Mg			0,4-1,0	<0,4	
		Mn		>1,0	-	<1,0	
		Fe		>4,5	2,5-4,5	<2,5	
		B	$\mu\text{g g}^{-1}$	>0,6	-	<6,0	
		Mo			-	<0,1	
		Zn			0,5-1,0	<0,5	
		Cu		>0,2	-	<0,2	
		Capacidad de retención de nutrientes	Materia orgánica (MO)	%	3-4	2-3	<1
			Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	cmol kg^{-1}	20-30	10-20	5-10
			Textura	Clase**	4, 5 y 6	3 7, 8 y 9	1 y 2 10, 11 y 12
		Condiciones de enraizamiento	Profundidad efectiva	cm	>150		<150
Nivel freático	cm		>150		<150		

* Clases de drenaje: 1. Muy pobremente drenado; 2. Pobremente drenado; 3. Imperfectamente drenado; 4. Moderadamente drenado; 5. Bien drenado; 6. Excesivamente drenado. ** Clases de textura: 1. Arena; 2. Areno-franco; 3. Franco-arenoso; 4. Franco; 5. Franco-arcillo-arenoso; 6. Franco-limoso; 7. Limoso; 8. Franco-arcillo-limoso; 9. Franco-arcilloso; 10. Arcillo-arenoso; 11. Arcillo-limoso; 12. Arcilloso.

Fuente: Delabarre y Benigno (1994); Torres (1999)

Capítulo IV

Descripción botánica de la especie *Hevea brasiliensis*

El género *Hevea*, de la familia Euphorbiaceae, cuenta con nueve especies reconocidas y es una planta monoica. Es nativo de Suramérica, donde crece naturalmente en toda la cuenca amazónica, desde el norte de la cuenca superior del río Orinoco y las Guayanas, hasta el estado de Mato Grosso en Brasil.

Según Verheye (2010) y Compagnon (1998), se caracteriza por la formación de flores en racimos; las masculinas son apétalas y están compuestas por glándulas en disco pequeñas, libres o caducas, estambres en uno o dos sentidos, anteras séviles y andróforo prolongado por encima de los estambres; las femeninas cuentan con un ovario tricarpelar y un estigma sévil y bilobulado. Los frutos son capsulares y las hojas alternas, acuminadas, largamente pedunculadas, con estípulas, y trifoliadas con margen entero. Las especies de esta familia se caracterizan por sus hábitos arbustivos y arbóreos, además de la producción de látex.

La especie *Hevea brasiliensis* es un árbol de crecimiento rápido que en estado silvestre puede alcanzar 40 m de altura. Las raíces pueden llegar de dos a cinco metros de profundidad después de tres años, con raíces secundarias que emergen de la raíz principal, por debajo del cuello y se extienden horizontalmente hasta diez metros, generando una red de raíces secundarias y pelos radicales que se concentran en las capas superiores del suelo (Verheye, 2010).

Los tallos son rectos y estrechos hacia la base, con una corteza verde grisácea; durante los estados juveniles presentan ciclos foliares sucesivos de hojas, compuestas por tres folíolos dispuestos en el extremo de un peciolo largo (piso foliar).

Fases de desarrollo foliar

Las fases de desarrollo foliar de la especie *Hevea brasiliensis* se describen a continuación (figura 3):

- **Fase A. Brotación:** la yema apical que está en reposo entra en división celular y morfogénesis (formación de primordios foliares y yemas axilares). En promedio, este estado dura nueve días.

- *Fase B. Crecimiento:* los entrenudos se elongan con el desarrollo de hojas asimiladoras de un color rojizo inicial y un limbo reducido dispuesto verticalmente. Luego, los limbos se vuelcan hacia abajo y se atenúa el color. En promedio, esta fase dura 11 días.
- *Fase C. Maduración:* los limbos siguen dirigidos hacia abajo, presentan un crecimiento rápido y adquieren un color verde claro. Esta fase dura en promedio 10 días y, en conjunto con la fase B, conforman un periodo de alta susceptibilidad a enfermedades.
- *Fase D. Dormancia:* su inicio se caracteriza por el endurecimiento y enderezamiento de los limbos. El proceso dura en promedio 13 – 18 días.

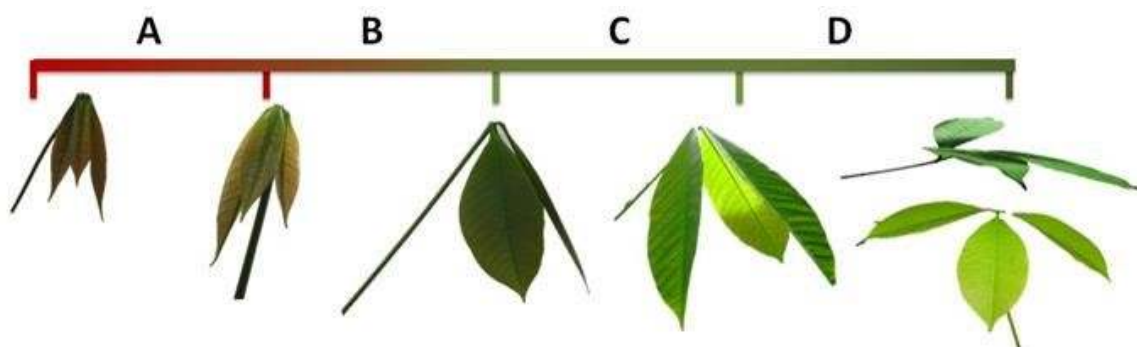


Figura 3. Fases de desarrollo foliar de la especie *Hevea brasiliensis*. a. Brote; b. Crecimiento; c. Maduración foliar; d. Dormancia.

Fuente: Aníbal L. Tapiero adaptado de Hallé, Oldeman y Tomlinson (1978)

Las flores son pequeñas y de color amarillo; están agrupadas en racimos axilares que nacen de la parte basal de los nuevos brotes foliares que se forman después de la caída de las hojas. En cada racimo, se guarda una relación de 60 a 80 flores masculinas por cada flor femenina, las cuales se ubican en los extremos de las ramas principales y terminales. Son pocas las flores que alcanzan la formación de frutos y, de estos, entre el 30 % a 50 % cae un mes después de su formación (Hallé, Oldeman, & Tomlinson, 1978).

A diferencia de las otras especies del género *Hevea*, los frutos de las especies cultivadas desarrollan cápsulas de forma elipsoidal o globular, de sección redonda, pericarpio espeso o carnoso, con dehiscencia o apertura explosiva, y hojas caducifolias antes de la aparición de la inflorescencia (figura 4).



Fotos: Yudi A. Guevara

Figura 4. Estados reproductivos del árbol de caucho (*Hevea brasiliensis*). a. Inflorescencias; b y c. Fruto; d. Semilla.

Capítulo V

Material genético

Dentro del género *Hevea* se han descrito 11 especies: *H. benthamiana* Muell. Arg., *H. brasiliensis*, *H. carmagoana* Pires, *H. camporum* Ducke, *H. guianensis* Aubl., *H. microphylla* Ule, *H. nitida* Mart. ex Muell. Arg., *H. pauciflora* (Spruce ex Benth.) Muell. Arg., *H. rigidifolia* (Spruce ex Benth.) Muell. Arg., *H. spruceana* (Benth.) Muell. Arg. y *H. paludosa* Ule (Clément-D et al., 2007).

Aunque todas producen látex, *H. brasiliensis* es la que se conoce como el árbol del caucho, ya que es la que tiene un mayor rendimiento en cuanto a cantidad y calidad y es la única utilizada comercialmente. El látex que se obtiene de esta especie está conformado por moléculas de caucho (poliisopreno) de elevado peso molecular, y su producción por hectárea permite que el cultivo cuente con una alta rentabilidad. Sus parámetros se discuten al final de este modelo productivo.

A nivel mundial, existe un gran número de clones disponibles para zonas específicas. En general, y por su lugar de origen, se pueden dividir en dos grupos: clones asiáticos y americanos.

En Asia, se destacan diversas instituciones encargadas de la producción de estos materiales en el continente como el Rubber Research Institute of Malaysia (RRIM), el Rubber Research Institute of India (RRII) y el Rubber Research Institute of Sri Lanka (RRSL). Las características más importantes de estos clones son la alta producción de látex, pero también su elevada susceptibilidad al SALB, por lo cual se recomiendan para zonas de escape a la enfermedad.

Por otro lado, en el continente americano, los principales programas de mejoramiento genético de caucho son brasileros. Se destacan las series IAN (del Instituto Agrônômico do Norte) y FX (cruzamientos de clones de la Ford Motor Company con clones orientales), que son resistentes a algunas razas de *M. ulei* (Gonçalves, Ortolani, & Cardoso, 1997). Mas recientemente, el Instituto Agrônômico de Campinas – IAC ha desarrollado un extenso programa de mejoramiento que incluye clones mejorados con alta productividad para el Estado de Sao Paulo conocidos como las Series IAC (300 – 400 -500 y 600)

Igualmente, los clones de la serie SIAL, del programa de mejoramiento genético de la Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (Ceplac) presentan resistencia a algunas enfermedades foliares, y estructuras de copa ideales para

el desarrollo de sistemas agroforestales con especies como el *Theobroma cacao* (Bonadie, et al, 2012).

Otro programa de Brasil, en convenio con el Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (Cirad) de Francia y la compañía Michelin, se ha enfocado al desarrollo de clones con resistencia al SALB, como aquellos de las series CDC y FDR (Garcia, Mattos, Gonçalves, & Le Guen, 2004).

En la actualidad, algunos de estos clones están siendo evaluados en la Amazonia colombiana (CDC 56, CDC 312, FDR 4575 y FDR 5597), en campos de observación a gran escala (Sterling & Rodríguez, 2012) y en campos de observación a gran y pequeña escala en la Zona Marginal Cafetera y la Orinoquia (Tapiero, 2017).

Características de interés del material genético para plantaciones comerciales

Las siguientes constituyen las principales características que debe tener un clon de caucho para lograr condiciones adecuadas de manejo:

1. Crecimiento rápido durante la etapa improductiva, para alcanzar una circunferencia mínim del tronco a la altura del pecho (CAPa 1,20 m de altura) de 45 cm entre los años 5 y 7.
2. Alta productividad, equivalente o superior a $1.340 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ($\geq 3 \text{ kg árbol}$) de caucho seco durante el ciclo del cultivo (promedio nacional calculado para 15 años de producción [Sena, 2006]).
3. Calidad en la respuesta a la estimulación química, en la arquitectura del tronco y la copa, y en el espesor y regeneración de la corteza, así como resistencia a la sangría seca (Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo [SAA], 1999; Martínez, Zuluaga, & Santos, 2006).
4. Resistencia o tolerancia al SALB.

Adicionalmente, y dependiendo de la zona en la que vaya a ser establecido, se debe seleccionar material genético con resistencia a la ruptura por el viento, un buen comportamiento ante periodos secos prolongados, y algún tipo de resistencia a determinadas enfermedades y plagas (SAA, 1999; Martínez et al., 2006).

Clones evaluados en la Orinoquia

Instituciones de la reforma Agraria (Incora), de Fomento Forestal (Conif), de Investigación (Corpoica, ahora AGROSAVIA) y empresas comerciales (Mavalle)

han establecido y evaluado clones para uso comercial en diferentes localidades (Meta, Guainía, Vichada, Casanare) desde 1960.

Clones asiáticos

Procedentes del continente asiático, desarrollados por instituciones de Malaysia, India, Bangladesh, Sri Lanka, entre otros (IRRDB, RRII), constituye una serie de clones mejorados en áreas sin presencia del SALB.

Clon RRIM 600

Desarrollado en el Rubber Research Institute of Malaysia (RRIM), es considerado un clon de alto rendimiento. Proviene del cruzamiento de los parentales primarios Tjir y PB 86. Son árboles altos y de rápido crecimiento; sus ramas presentan bifurcaciones gruesas de formación tardía con gran peso, que pueden quebrarse con vientos fuertes. Tiene una copa estrecha y follaje con hojas pequeñas de color verde claro.

Su producción inicial es media, pero aumenta y se mantiene hasta la senescencia. Su látex es de color blanco, más adecuado para presentaciones de caucho seco, ya que su baja estabilidad dificulta su concentración para presentaciones líquidas (Gonçalves, Bataglia, Ortolani, & Fonseca, 2001).

En Malaysia se reportan producciones de $1.540 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en sistema 1/2S d/2, y en Costa de Marfil de $1.732 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en el sistema 1/2S d/3 6d/7, con cuatro estimulaciones anuales con etefón (ácido 2-cloroetil fenólico) (Gonçalves et al., 2001). Este clon posee una alta susceptibilidad *M. ulei* y a *Phytophthora* sp. (raya negra) (Gonçalves et al., 2001).

Es uno de los clones más sembrados en Colombia y el mundo. En un campo experimental en condiciones del piedemonte llanero alcanzó un perímetro del tallo de 40 cm en 50 meses (tabla 5) (Martínez & García, 2006). Presenta tolerancia a la sangría seca, excepto cuando se sobreestimula (Gonçalves et al., 2001).

Clon GT 1

Se trata de un árbol de tallo vertical, que puede presentar irregularidades por incompatibilidad como estrías y torsiones alrededor del injerto. La apertura de la copa es tardía y variable, y algunos árboles no tienen ramas principales.

Durante el periodo inmaduro las hojas son grandes, de color verde oscuro y brillante y son más pequeñas en la fase adulta. Los individuos son muy

homogéneos, lo que facilita el beneficio (Gonçalves et al., 2001). En un campo experimental, en el piedemonte llanero, el tallo alcanzó un perímetro de 39 cm en 50 meses (Martínez & García, 2006).

En Malaysia, tiene una producción media de $1.723 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en los diez primeros años, en Costa de Marfil es de $1.728 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ durante los primeros cinco años, mientras que en el estado de São Paulo fue de $1.810 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (todos en sistema $\frac{1}{2}\text{S d}/2 \text{ 6d}/7$). En la altillanura colombiana, ha mostrado una producción de $1.640 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ con un sistema $\frac{1}{2}\text{S d}/4$, y con estimulación de etefón al 2,5 %, cinco veces al año (Quesada, Aristizábal, Montoya, & Chaves, 2009).

Su producción tiende a disminuir en la senescencia y muestra resistencia a los quiebres por el viento, así como poca sangría seca, a menos que se sobreestime. Su látex es blanco y adecuado para todos los procesos manufacturados. Por su precocidad, rusticidad y cualidades agronómicas, se recomendó a pequeños productores paulistas (Gonçalves et al., 2001).

Clon PB 260

Este clon es originario de Malaysia y proviene del cruzamiento de los parentales PB 5/51 x PB 49. Son árboles con buena resistencia al viento, una baja tasa de crecimiento durante el periodo inmaduro y una corteza fina. En investigaciones realizadas en Malaysia, se observó una mayor producción de látex frente a los resultados obtenidos con RRIM 600.

En estudios realizados en jardines clonales a gran escala en el Magdalena Medio santandereano, mostró un buen desarrollo del perímetro del tallo, y se destacó como un clon altamente productivo, que no presenta mayor susceptibilidad a enfermedades foliares, lo que lo convierte en promisorio (Bonadie et al., 2012).

En el piedemonte, alcanzó un perímetro del tallo de 38 cm en 50 meses en un campo experimental, pero es altamente susceptible a *P. ulei* (Gonçalves et al., 2001). En la Orinoquia colombiana, la producción reportada en un año comercial correspondió a $1.280 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, con un sistema de sangría $\frac{1}{2}\text{S d}/4$, y una estimulación con etefón al 2,5 %, cuatro veces al año (Quesada et al., 2009).

Clones americanos

Programas de mejoramiento en Guatemala y Brasil han generado una serie de colecciones de clones orientadas a su utilización en el continente americano.

Clon FX 3864

Este clon fue desarrollado por la Ford Company, proveniente del cruzamiento de PB 86 y FB 38. Es uno de los clones comerciales más sembrados en Colombia, gracias a su tolerancia al SALB, pero en la altillanura colombiana existen reportes de susceptibilidad a este (García et al., 2011).

Presenta un tallo recto con un desarrollo vigoroso antes del inicio de la explotación, es resistente al viento y al secado del panel, y su corteza es de espesor moderado, con una regeneración que se encuentra por encima del promedio. Tiene también un bajo índice de sangría seca, resistencia al quebramiento por viento y una buena tolerancia al SALB.

En los primeros años, su producción es media, después aumenta y luego muestra una reducción durante la senescencia (Gonçalves et al., 2001). En plantaciones establecidas en el estado de São Paulo, se han reportado producciones de 1.400 kg ha⁻¹ año⁻¹, en un sistema 1/2S d/4, estimulado con etefón al 2,5 % (Gonçalves et al., 2001). En el piedemonte, alcanzó un perímetro del tallo de 41 cm en 50 meses, en un campo experimental (Martínez & García, 2008) (tabla 5).

Tabla 5. Desarrollo del perímetro del tallo (cm) de clones asiáticos y americanos evaluados en el CI La Libertad (Meta) (piedemonte)

Clon	20 meses	38 meses	50 meses
RRIM 600	15,87	23,60	40,50
GT 1	16,00	23,50	39,00
PB 260	14,04	19,60	38,00
FX 3864	15,87	24,60	41,00
IAN 873	15,24	20,50	40,50

Fuente: Martínez y García (2008)

Clon IAN 873

Fue desarrollado por el Instituto Agronômico do Norte (IAN) de Brasil, a partir del cruzamiento de PB 86 y FB 1717. Sus principales características son su vigor, fuste recto y rápido crecimiento. La producción es estable durante los primeros años de sangría y aumenta a partir del tercer año. Tiene una corteza de espesor regular de buena regeneración, un bajo índice de sangría seca y susceptibilidad a quebrarse por el viento.

En plantaciones comerciales de Malaysia, durante los primeros cinco años de sangría, la producción ascendió a 1.505 kg ha⁻¹ año⁻¹ de caucho seco. En Brasil es

de 1.441 kg ha⁻¹ año⁻¹, con sistema 1/2S d/2, y en algunas regiones presenta una buena tolerancia al SALB. En zonas con déficit hídrico ha mostrado alta sensibilidad a la sequía, con bajas en la producción de hasta del 30 % (Gonçalves et al., 2001).

En el piedemonte, alcanzó un perímetro del tallo de 41 cm en 50 meses, en un campo experimental. En la Orinoquia, se reportó la producción de 1.815 kg ha⁻¹ año⁻¹, en un año comercial, en un sistema ½S d/4, con etefón al 3,3 % ocho veces al año (Quesada et al., 2009).

Clones evaluados en el Magdalena Medio

En la región del Magdalena Medio se han sembrado clones de origen asiático de las series RRIM 600 y PB 260, que se caracterizan por tener una alta producción. Sin embargo, deben ser utilizados en zonas de escape, para evitar que la enfermedad del mal suramericano de la hoja sobrepase el umbral de daño económico para el cultivo.

Junto con los asiáticos, en las plantaciones también se establecen clones de origen americano de las series IAN 873, IAN 710 y FX 3864, que se caracterizan por ser altos, vigorosos y tolerantes al ataque de patógenos, entre ellos *P. ulei*, causante del mal suramericano de la hoja.

Identificación del material vegetal

Teniendo en cuenta que el caucho es un cultivo de largo plazo, es fundamental tener seguridad acerca de la identidad genética del clon seleccionado. En Colombia, existe una regulación estricta para garantizar que la venta de materiales clonados posea las cualidades y características que el agricultor escogió. Para la compra de material vegetal de caucho, se recomienda que el jardín comercial (biofábrica) tenga registro de certificación, según la Resolución ICA 4994 de 2012 (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2012).

Existen dos metodologías aprobadas para corroborar la identidad de los clones de caucho: las isoenzimas y los microsátélites. En la medida en que otras técnicas faciliten y reduzcan el costo de la certificación, serán consideradas para su utilización comercial.

Isoenzimas

Permiten la identificación de genotipos de una determinada especie, mediante la técnica de electroforesis en geles de acrilamida o almidón, que se basa en la evaluación de enzimas que tienen la misma función, pero diferencias en su estructura (isoenzimas). Para el caso del caucho, el Cirad desarrolló un protocolo que realiza el análisis simultáneo de trece isoenzimas sobre geles de almidón.

Para cada sistema enzimático hay un número determinado de posibles variantes en cada gen, y se obtiene un perfil de bandas en el gel característico de cada clon. Sin embargo, pueden presentarse diferencias, asociadas con mucha frecuencia a factores ambientales (Chevallier, 1988). La caracterización genética con base en esta técnica puede verse afectada por influencias de tipo ambiental, dificultando la repetitividad del procedimiento.

Microsatélites o secuencias cortas repetidas

Se trata de marcadores moleculares con pequeñas variaciones en el número de repeticiones de secuencias cortas del ADN, altamente polimórficos, que permite identificar individuos de una misma especie que a simple vista son imposibles de diferenciar.

Mediante la amplificación por PCR (reacción en cadena de la polimerasa) y una posterior visualización por electroforesis en geles de acrilamida o sistemas automatizados, se pueden detectar los polimorfismos, a partir de ADN genómico extraído principalmente de hojas en estado C - D, y (figura 5). Esta técnica tiene la ventaja de no presentar variaciones relacionadas con efectos del medio ambiente o del estado de desarrollo fenológico de la planta.

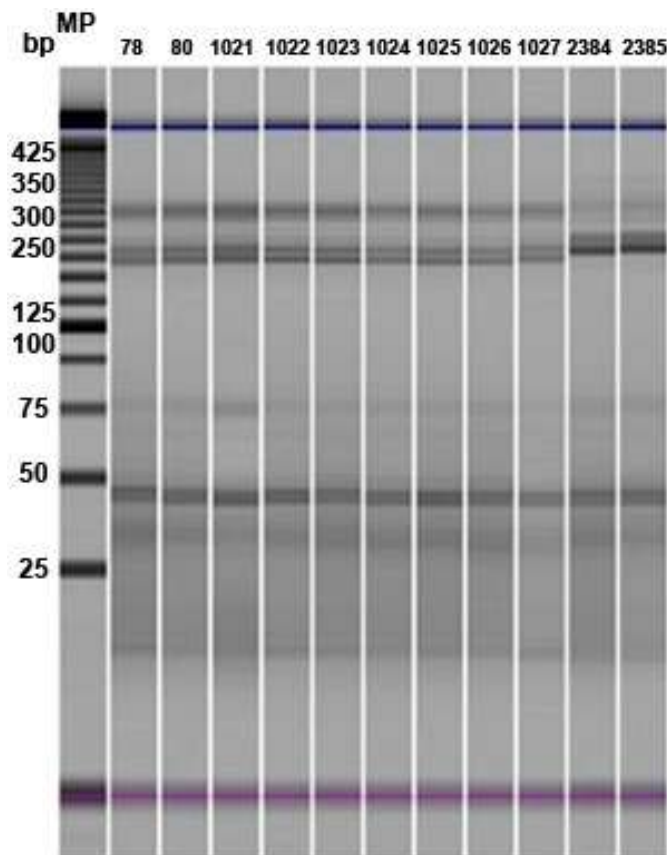


Foto: Aníbal L. Tapiero

Figura 5. Evaluación de individuos del clon FX 3864, con el marcador tipo microsatélite SSRH 358, por electroforesis capilar. MP: Marcador de peso molecular. Los carriles 78 al 1027 corresponden a ADN de individuos conformes, mientras que el de los carriles 2384 y 2385 indican individuos no conformes. Fuente: García et al. (2011)

Más recientemente, en Colombia se han propuesto diferentes marcadores de tipo microsatélite, a fin de discriminar clones de caucho (GT 1, RRIM 600, PB 260, PB 235, IAN 710, FX 3864, GU 198, AVROS 1581 y AVROS 2037). Ello ha permitido desarrollar una metodología que contribuye a la identificación y posible certificación de jardines clonales y plantaciones (García et al., 2011a). En comparación con la técnica de isoenzimas, este método permite la evaluación de un mayor número de individuos por muestreo (Aya, Jiménez, García, González, Aristizábal & Santacruz, 2009) y más fiable, en cuanto que elimina posibles efectos del ambiente en la identificación genética de los individuos.

Capítulo VI

Establecimiento del cultivo de caucho

El establecimiento del cultivo del caucho inicia con la planificación del proceso, partiendo desde la decisión sobre ubicación de la zona a impactar y el área a sembrar. Una vez definida el área, se procede a determinar el clon a utilizar y las condiciones requeridas para la obtención del material vegetal de siembra. Ello implica la previsión de proveedores y fechas apropiadas para la selección y compra de la semilla; implementación de jardines clonales, germinadores y vivero para producción de portainjertos o patrones y varetas.

Se sugiere que la decisión sobre producción del material vegetal "in situ", se determine con base en el tamaño de la plantación a implementar. El procedimiento es adecuado para plantaciones con un área mayor a 100 hectáreas o para el servicio de asociaciones de productores, mientras que en áreas menores a 30 ha, de pequeños productores, se recomienda evaluar el beneficio de producir materiales propios, adquirirlo a biofábricas certificadas. De cualquier manera, el material de origen debe provenir de Jardines Clonales Certificados, a fin de evitar el compromiso de la calidad y la cantidad de la producción de caucho en el futuro.

Los procesos y prácticas de manejo para establecer una plantación cauchera deben coordinarse con el fin de aprovechar el inicio del periodo de lluvias, que en la Orinoquia es monomodal y en la región del Magdalena Medio bimodal. En ambos casos la etapa más extensa de lluvias va de marzo a junio.

Para establecer 100 hectáreas de caucho o más, ya sea una plantación o un proceso comunitario, y cuando es factible la producción del propio material vegetal, se propone un cronograma de siembra que incluye las principales prácticas de manejo:

1. Las épocas de defoliación, refoliación y floración en la mayoría de áreas para la producción de semilla se ubican entre diciembre y enero.
2. La semilla se cosecha entre agosto y septiembre, habida cuenta la disponibilidad de semilla comercial, por lo que en junio se deben establecer los germinadores y viveros, con el fin de que estén listos para la etapa de producción del material de siembra.
3. Entre octubre y noviembre se aplican correctivos a los terrenos de siembra en sitio definitivo (encalado, enmiendas y manejo de malezas).
4. El corte en jardines clonales para la obtención de yemas se realiza en octubre, y a partir de esta práctica, se inician las labores de fertilización, control de enfermedades, riego y control del gusano cachón.

- En febrero del siguiente año, se realiza el proceso de injertación para iniciar la siembra en el sitio definitivo (figura 6), teniendo en cuenta las lluvias de abril (Martínez et al, 2010).



Figura 6. Cronograma de actividades para el establecimiento de plantaciones de caucho en la Orinoquia.

Fuente: Martínez (2010)

Producción de material vegetal

La implementación de un cultivo de caucho requiere del desarrollo de varias fases que incluyen actividades desde la obtención de semillas hasta el establecimiento definitivo en campo.

Semillas

Bajo condiciones normales, sin defoliaciones ocasionadas por plagas o enfermedades durante el curso del ciclo anual de desarrollo, la producción de la semilla tiene frecuencia anual. La fecundación de las flores (monoecious, es decir con la presencia de órganos femeninos y masculinos en la misma inflorescencia) ocurre pocos días después de la refoliación y tarda cinco meses en formar frutos desde la floración. La semilla del caucho se forma en frutos explosivos trilobulados, con una semilla por cápsula, con forma elipsoidal. Fisiológicamente la semilla es de tipo recalcitrante (pierde su viabilidad en condiciones de sequedad o frío) y, por ende, reduce su germinación inicial esperada del 97 % a 9 %, entre 8 a 20 días, por lo que es conveniente ponerla a germinar lo más rápido posible

(Compagnon, 1998; Gonçalves et al., 2001). Bajo ciertas condiciones de almacenamiento, mediante embalaje en sacos de polietileno con aserrín a 10 % de humedad, se puede mantener hasta cierto nivel su potencial de germinación, hasta por dos meses (Gonçalves et al., 2001).

La semilla seleccionada debe tener un color café brillante; si es opaca y de color grisáceo debe ser descartada. Gonçalves et al., (2001) indican que es conveniente que la semilla provenga de árboles francos o de bloques con mezcla de clones, ya que la endogamia de los bloques monoclonales causa que la semilla presente una disminución drástica de su vigor, aumente el albinismo y exhiba más de un tallo por semilla.

Adicionalmente, la apertura del primer par de hojas puede ubicarse en los estratos bajos de la planta, lo que dificulta la injertación. Las semillas de clones como Tjir y PB 86 producen entre 16 % y 18 % de plantas albinas, mientras que el clon americano IAN 873 tan solo 1 % (Martínez, 2007). Semillas provenientes del clon RRIM 6000 en campos preferiblemente policlonales son deseables.

Con el peso de las semillas, se puede estimar el porcentaje de germinación. Si en un kilo se encuentran entre 150 y 170 semillas, se puede obtener un porcentaje de germinación del 85 %. Si hay de 180 a 220, se espera 60 % de germinación, y si con un kilo se obtienen entre 220 y 240 semillas, el porcentaje será inferior a 40 % (Montoya, Aristizábal, Sastoque et al., 2004). En tal sentido, para una hectárea de caucho con 500 clones injertados se requieren 6,5 kg de semillas de buena calidad (Moreno, Gómez, & Lozada, 2007).

Germinador

Debe ubicarse lo más próximo posible a donde se vaya a establecer el vivero y cerca de fuentes de agua que faciliten el riego. Cada germinador debe tener una longitud aproximada de 10 m con 1 m de ancho y una profundidad mínima de 20 cm, para facilitar el desarrollo radicular. La separación entre eras debe ser de 1 m, con el fin de facilitar las labores de manejo (figura 7a). Por cada 5 kilos de semillas, se necesita 1 metro cuadrado de germinador.

Antes de sembrar la semilla, debe ser embebida por 48 horas. El sustrato debe quedar suelto y promover la retención de humedad, por lo que se recomienda una mezcla de suelo con aserrín, viruta con arena, o arena con cascarilla de arroz quemada, previamente desinfectadas con 50 cm³ de formol por 5 galones de agua para un área de aproximadamente 100 m². Alternativamente se puede utilizar de 35-60 g/m² de Dazomet 98%.

Las semillas se colocan en el germinador tocándose entre sí, con posición ventral orientada hacia abajo, haciendo una ligera presión sobre el sustrato y sobreponiendo una capa del mismo; de esta manera, se evita el entrelazamiento de los sistemas radiculares y foliares y, por extensión las malformaciones (Sterling et al., 2017). El riego debe estar programado para ser suministrado hasta por un mes mañana y tarde, tiempo después del cual las plántulas que no hayan sido destinadas para su traslado a bolsa deben ser retiradas para evitar riesgos de contaminación por enfermedades radiculares ocasionadas por patógenos como *Lasiodiplodia* spp., *Rhizoctonia* spp. o *Sclerotium* spp., entre otros (Montoya, Aristizábal, Sastoque et al., 2004; Martínez et al., 2007).

La germinación inicia a los diez días, aproximadamente; algunas semillas pueden tardar hasta un mes en germinar, en cuyo caso hay que tomar precauciones adicionales a las medidas de control fitosanitario o descartarse para evitar los riesgos mencionados mas arriba. Las plántulas deben ser trasladadas a vivero en bolsa con la testa, para facilitar un buen prendimiento y reducir las pérdidas por muerte (Montoya, Aristizábal, Sastoque et al., 2004). El momento más adecuado para pasar el material vegetal a bolsas o suelo en el vivero es en la formación del primer piso foliar, o cuando la altura de las plántulas alcance entre 15 y 20 cm (Sterling et al., 2017) (figura 7b).



Fotos: Aníbal L. Tapiero

Figura 7. Producción de material vegetal. a. Disposición de semilla de caucho en el germinador; b. Semilla de caucho germinada, en estado apto para ser trasplantada al vivero.

Las plántulas deben ser retiradas del germinador con mucho cuidado, evitando usar fuerza excesiva para no ocasionar daños a las raicillas, más apropiadamente durante el estadio conocido como “pata de araña”, y antes de que el tallo se desarrolle completamente; las plantas albinas deformes deben descartarse. Las

plántulas se entresacan del germinador, preferiblemente en horas de la mañana, antes de las 11 h, o en la tarde, después de las 16 h (Martínez et al., 2007).

Establecimiento del vivero

El vivero es el área a donde se trasplantan las semillas recién germinadas, con el propósito de que se desarrollen hasta alcanzar las condiciones ideales para ser injertadas o sembradas en su lugar definitivo. Este proceso puede realizarse en suelo o en bolsa (Gonçalves et al., 2001).

Planificación

La estructura del vivero debe planificarse con base en el plan de ordenamiento territorial (POT) del municipio, teniendo en cuenta las vías de acceso, el suministro de agua y la disponibilidad de un espacio suficiente para llevar a cabo los procesos de producción y distribución de plantas.

Adicionalmente, deben planificarse acciones frente a posibles riesgos de contaminación química y biológica, así como a la presencia de hospederos de plagas que puedan afectarlo (Aya et al., 2009). Su ubicación debe ser lo más cercana posible al germinador, con el objetivo de facilitar la labor de trasplante, dando una mayor garantía de la calidad del material obtenido (Montoya, Aristizábal, Sastoque et al., 2004).

Vivero en suelo

Una práctica ampliamente documentada en la literatura para la producción de material vegetal es la formación de *stumps* (plantas injertadas); sin embargo, es necesario advertir que su implementación está íntimamente relacionada con la disponibilidad de agua (lluvia o riego) en el área de cultivo a la hora del establecimiento en el sitio definitivo; en la Orinoquia, el desconocimiento o menoscabo a este requerimiento ha conducido a retrasos en la fase de establecimiento por periodos superiores a un año, e incluso a fracaso del establecimiento. Por tal razón, en ausencia de riego o disponibilidad de lluvias con frecuencia adecuada al momento de la disposición definitiva en campo, se sugiere utilizar bolsas con sustrato adecuado para colocar los *stumps* (a los cuales se les pueda suministrar riego), previo a su disposición en el campo. (A. Tapiero, comunicación personal, 2014). Con las previsiones apropiadas, la práctica constituye una alternativa útil para reducir los costos del transporte del material desde el vivero al lugar definitivo de siembra y ha sido validada en diversos sitios en Colombia.

Para viveros con destino a la producción de *stumps* se procura preferiblemente un área de topografía plana, que pueda ser arada hasta la mayor profundidad posible, a fin de permitir el óptimo desarrollo de las raíces. Los viveros se dividen en bloques de 50 x 50 m, con una distancia de 2 m para disponer de hasta 4 bloques en una hectárea.

En cada bloque, las plántulas se organizan en surcos dobles, con una separación entre líneas de 30 cm y una distancia entre surcos de 70 cm; con plántulas dispuestas cada 25 cm (figura 8a). Esta distribución permite obtener 20.000 plántulas por bloque, de las cuales se espera conseguir, por lo menos, 10.000 *stumps* para llevar al sitio definitivo (Montoya, Aristizábal, Sastoque et al., 2004).

Para organizar la siembra se requieren entre 4 y 8 cuerdas de una longitud de 50 m, que deben llevar una estaca (trozo de madera redondo que termina en punta) en cada extremo. Por otro lado, se necesita una vara de 1 m, marcada a los 30 y 70 cm, y dos cuerdas de 50 m, que se amarraran a estacas clavadas en las esquinas del lote.

Sobre el terreno, las cuerdas de 50 m se deben colocar ayudadas por estacas, amarradas, paralelas al lote. Estas cuerdas permiten guardar la dirección de las líneas de ahoyado y de siembra, con el fin de que todos los surcos queden perfectamente rectos.

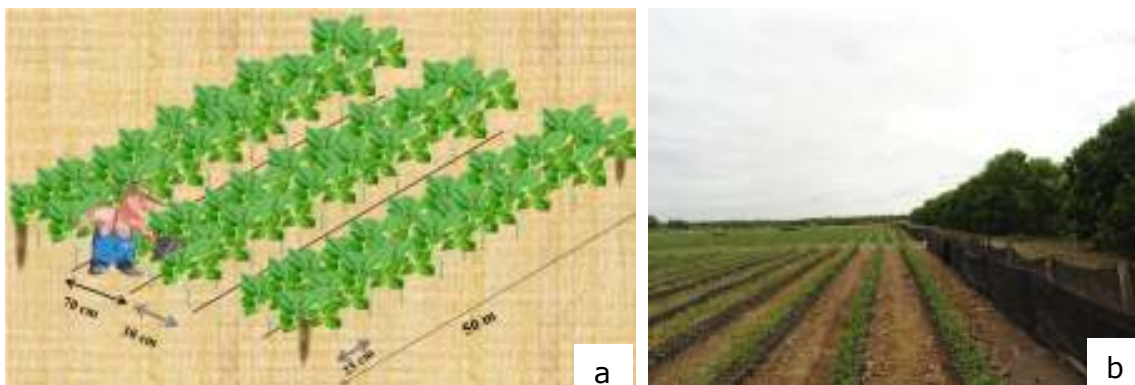


Foto: Aníbal L. Tapiero

Figura 8. Tipos de vivero. a. Diagrama representando el vivero en suelo; b. Vivero en bolsa dispuesto en un módulo de 50 x 50 m.

Diagrama: Moreno (2019)

El ahoyado se hace a la par con el trazado. En esta labor, el operario abre los hoyos a una profundidad de 30 cm, para que las plántulas tengan un crecimiento normal (Sterling et al., 2017). La distancia entre hoyos es de 25 cm, que es lo

que se calculó con la cuerda y, con la vara de 1 m, se marca la distancia entre surcos y el ancho de la calle.

Durante épocas secas, se recomienda regar a diario y adecuadamente el vivero, acompañando su manejo con deshierbas en forma manual y prácticas de control fitosanitario. Ocho días después de la siembra, se evalúa el porcentaje de sobrevivencia de las plántulas y los espacios que han quedado por la pérdida del material vegetal se resiembran, a fin de mantener en el vivero las plántulas requeridas. Resiembras posteriores al mes del trasplante corren el riesgo de quedar rezagadas en crecimiento con las sembradas en un principio y pueden terminar ahogadas por la competencia (Montoya, Aristizábal, Sastoque et al., 2004).

Vivero en bolsa

Si dentro del predio donde se va a realizar la plantación del cultivo se cuenta con condiciones para establecer un vivero, se recomienda realizarlo ahí y de esta manera contar con plántulas injertadas próximas al sitio definitivo (Martínez et al., 2006; Martínez et al., 2007).

En los viveros en bolsa (por lo general separadas por distancias de 40 x 20 cm, aunque pueden variar), se cavan zanjas de aproximadamente 30 cm de profundidad y 30 cm de ancho, formando un canal donde se acomodan las bolsas en surco doble y al tresbolillo. La distancia entre surcos dobles debe ser de 1 m, para facilitar la labor de injertación. Con este marco de siembra, se obtiene una densidad de 120.000 bolsas/ha (figuras 8b y 9a).

Se recomienda utilizar bolsas de plástico negro no reciclado, calibre 4, con fuelle doble, y con cuatro huecos a los lados y uno de 1 cm en el fondo de la bolsa, para facilitar el drenaje. En lo posible, es aconsejable realizar un tratamiento contra los rayos UV para evitar el deterioro rápido de las bolsas (Martínez et al., 2007).

El sustrato para las bolsas depende de la disponibilidad de materiales en proximidades del predio, previendo su preparación por adelantado. Se recomienda usar materiales como limos con 25% de arena, o mezcla de 1/3 de arena, 1/3 de arcilla y 1/3 de lombricompost. Al igual que en el caso del vivero en suelo, las plántulas se entresacan del germinador para su traslado al vivero en la mañana, de 6 a 11 y en la tarde, después de las 16 h (Martínez et al., 2007).

Viveros elevados, establecidos sobre líneas de alambre en tubetes con sustrato de cáscara triturada de cuercos de coco, aserrín de cáscara de corteza de pino, más turba o vermiculita, han resultado altamente efectivos para el establecimiento de plántulas. Los viveros suspendidos contribuyen a mejorar el

confort de los trabajadores encargados de su cuidado y a disminuir riesgos de contaminación por patógenos del suelo (Pereira A. V. Embrapa, 2010, comunicación personal: Produção de mudas de seringueira em viveiro suspenso CBH 2007 – Guarapari-ES) (CBH 2010 – Ilhéus-BA).

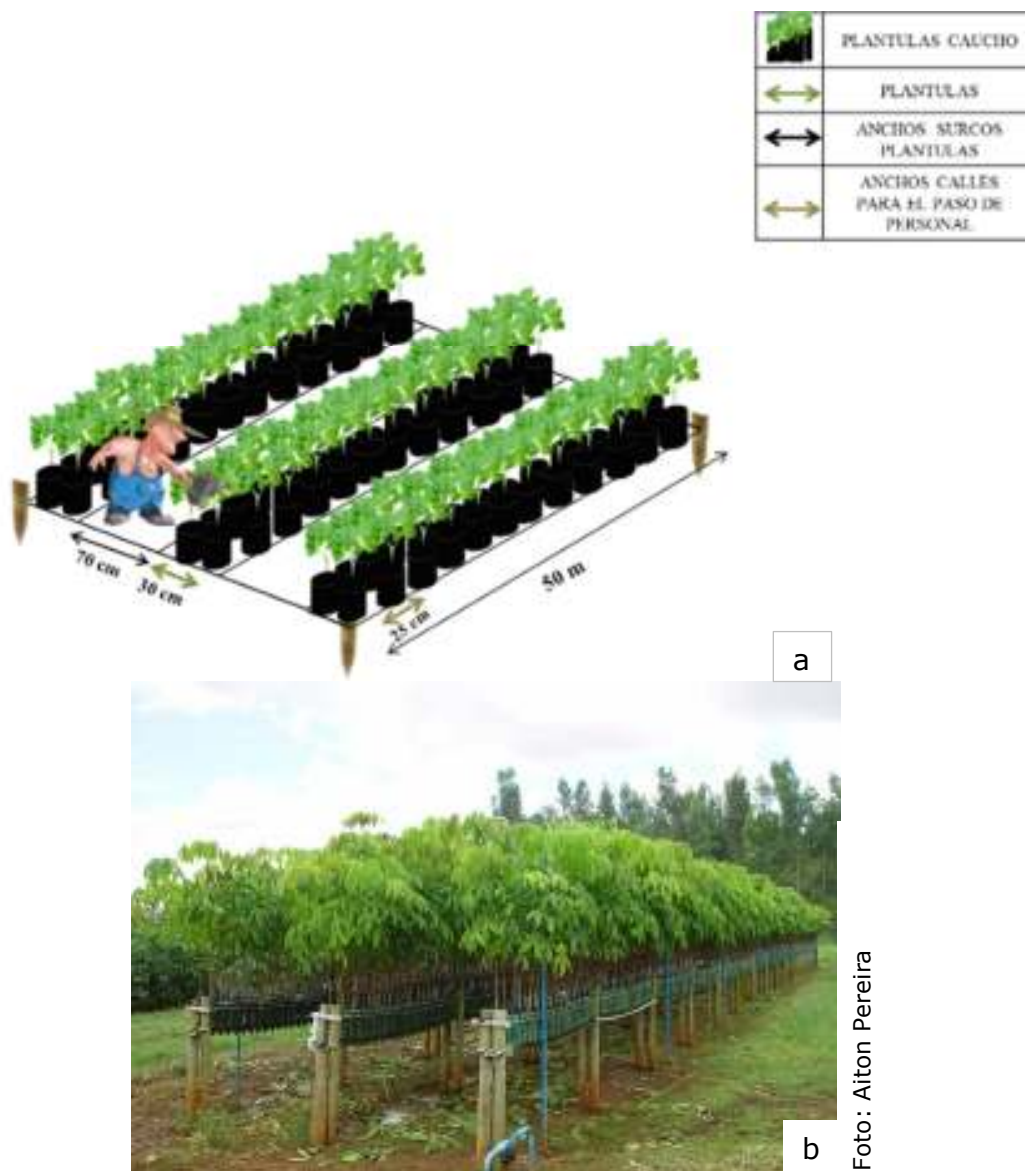


Figura 9. Vivero en bolsa. a. Diagrama representando la disposición de las bolsas con plantas en el vivero; b. Vivero suspendido. Diagrama: Moreno (2019)

Fertilización del vivero

La fertilización del vivero debe realizarse en función del análisis químico de suelo, sin escatimar esfuerzos en esta fase del cultivo, ya que las plántulas deben contar con una buena fertilización para un óptimo desarrollo, previo a la injertación y su posterior trasplante en campo. Existen varios esquemas de fertilización para el vivero, que se describen a continuación:

1. Para viveros en suelo, un mes después del trasplante, se aplican 100 g de urea por cada 5 m lineales. A los 60 días, se puede utilizar una mezcla de 50 g de urea por 50 g de triple 15, con una distribución equitativa entre los surcos. A los 90 días, se administra una mezcla de 150 kg de triple 15 por 50 kg de elementos menores, en dosis de 100 g, como ya se describió. Finalmente, a los 150 días se emplea de nuevo la mezcla de triple 15 más elementos menores, previo a la injertación. Antes de ejecutar las labores de fertilización, es necesario realizar el control de malezas (Montoya, Aristizábal, Sastoque et al., 2004).
2. Para viveros en bolsa, un mes después del trasplante se pueden utilizar 5 g de abono "cafetero" (17-6-18-2), que contiene un 1% de boro y un 0,5% de zinc. La aplicación debe realizarse enterrando el fertilizante en el sustrato junto a las paredes de la bolsa, evitando el contacto con la planta. Dos meses después del trasplante, se pueden administrar 10 g de lombricompost, alternando con fertilización química hasta el momento de la injertación (Martínez et al., 2007).
3. Se pueden usar fertilizantes líquidos o *drenching*, mediante el siguiente esquema: después de un mes del trasplante, se deben aplicar a cada planta 50 cm³ de una solución de urea al 2,5% p/v (2,5 kg de urea en 100 L de agua). A las tres semanas, usar 50 cm³ de una solución de triple 15 al 6,25% p/v (6,25 kg de triple 15 en 100 L de agua), y repetir el proceso cada seis semanas hasta la injertación (Martínez et al., 2007). Hay una alternativa experimental disponible para mejorar el desarrollo de las plántulas, que corresponde al uso combinado de múltiples microorganismos promotores de crecimiento. Además de las micorrizas disponibles comercialmente, se cuenta con *Trichoderma* sp., bacterias acidolácticas, bacterias fijadoras de nitrógeno y promotoras de crecimiento. De acuerdo con Martínez (2012), se da una mejor respuesta con mezclas de fertilizantes que con su uso individual o la fertilización convencional (tabla 6).

Tabla 6. Altura de plantas del clon de caucho FX 3864, provenientes de tres tipos de patrones

Tratamiento	Altura de la planta (cm)*		
	Patrón de semilla sexual	Patrón de explante	Patrón de rescate de embriones
T1	78 ^a	81 ^a	21 ^a
T2	80 ^a	79 ^a	18 ^a
T3	82 ^a	82 ^a	17 ^a
T4	68 ^b	65 ^b	20 ^a
T5	67 ^b	66 ^b	18 ^a
T6	69 ^b	66 ^b	21 ^a

T1. *Trichoderma* sp. + bacterias acidolácticas + bacterias fijadoras de N y promotoras de crecimiento + micorrizas arbusculares; T2. *Trichoderma* sp. + bacterias acidolácticas + bacterias fijadoras de N y promotoras de crecimiento; T3. Bacterias acidolácticas + bacterias fijadoras de N y promotoras de crecimiento + micorrizas arbusculares; T4. *Bacillus subtilis*; T5. Micorrizas arbusculares; T6. Testigo absoluto.

*Cantidades seguidas por letras iguales no difieren estadísticamente entre sí, según la prueba de Tukey (p: 0,05)

Fuente: Martínez (2010)

Riego en vivero

Para el establecimiento del vivero es necesario considerar la disposición de riego, en particular cuando el material plantado esté expuesto a periodos de sequía. El sistema de riego que se adopte debe ser suficientemente sencillo, permitir que el material en las bolsas se mantenga con una adecuada humedad, y evitar retrasos en el crecimiento.

Los aspersores móviles colocados a más de 50 cm de la superficie del terreno pueden resultar ineficientes a causa del viento y la obstrucción que hace la parte aérea de la planta al mojado del sustrato, por lo que se sugiere el uso de microaspersores, directamente sobre las bolsas. Son preferibles las aplicaciones en horas de la tarde, para evitar evapotranspiración (Compagnon, 1998; Martínez, 2007).

Jardín clonal

Un jardín clonal es un espacio reservado para plantas madres, preferiblemente certificadas (Resolución 4994 de 2012 del ICA), con características de homogeneidad y calidad genética y fitosanitaria, ya que de estas se obtendrá la producción de varetas portayemas (segmentos de tallo que contienen yemas

axilares), utilizadas en el proceso de injertación con las plantas patrón (Aya et al., 2009; Gonçalves et al., 2001; Martínez, 2007; SAA, 1999).

La selección de los clones que conformarán un jardín clonal debe estar basada en su rendimiento en relación con el crecimiento (vigor y altura), su estado fitosanitario, principalmente en la copa (densidad foliar mayor al 80 %, con resistencia aparente al SALB) y una alta producción sin sangría seca (Sterling et al., 2011).

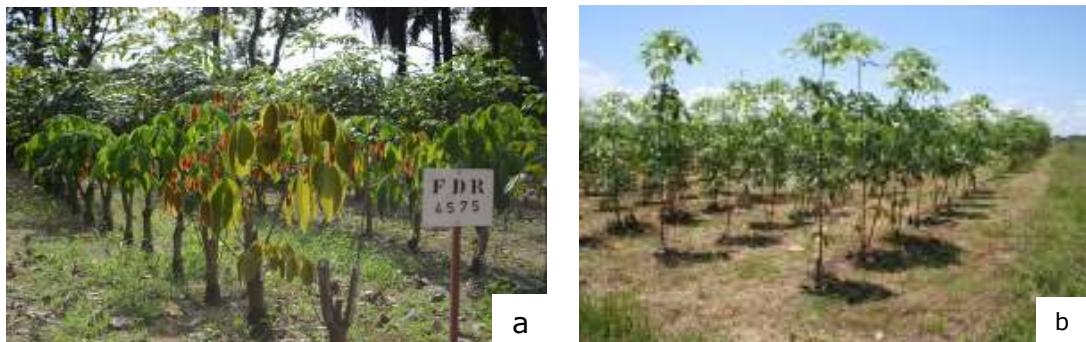
Existen dos clases de jardines clonales: uno para la producción de varetas verdes (yemas jóvenes, de 2 a 6 meses, no lignificadas) y otro para la obtención de varetas marrones (yemas maduras, de 8 a 14 meses de edad) (Compagnon, 1998). En Colombia, se ha adelantado con éxito la injertación en verde, con el fin de tener plantaciones uniformes, que reduzcan los costos de mantenimiento de los viveros.

Establecimiento de un jardín clonal

El establecimiento de un jardín clonal precede al del vivero, y su objetivo es asegurar el abastecimiento de yemas para el proceso de injertación (SAA, 1999). En el caso del jardín clonal destinado a proporcionar varetas verdes, la distancia recomendada entre plantas es de 2 x 1 m (Martínez, A. comunicación personal, 2014), que corresponde a una densidad de siembra de 4.000 árboles/ha (Montoya, Aristizábal, Sastoque et al., 2004). Por otro lado, para proporcionar varetas marrones, se realiza un arreglo de 1,5 x 0,5 m entre plantas (Gonçalves et al., 2001).

Las plantas del jardín clonal deben estar agrupadas por bloques, debidamente identificadas y con su fecha de establecimiento. El jardín debe contar con un aislamiento perimetral que evite la contaminación por plagas desde los bloques de multiplicación intensiva, dejando un área mínima libre de plantas de dos a cinco metros (Aya et al., 2009) (figura 10). Según Gonçalves et al. (2001), el jardín clonal se puede establecer de tres maneras:

1. A partir de *stumps*, o con plántulas en suelo, en bolsa de polietileno.
2. Mediante la injertación en verde sobre plántulas provenientes de semillas sembradas en su sitio definitivo. Luego de cinco o seis meses, se realiza una zoca de la parte aérea del portainjerto.
3. A partir de la transformación de un vivero en jardín clonal. Es decir, extrayendo todas las plántulas injertadas, excepto las destinadas a conformar el jardín clonal, en las cuales se realiza el corte de la parte aérea de los portainjertos.



Fotos: Aníbal L. Tapiero

Figura 10. Jardín clonal. a. Identificación del clon en el jardín clonal; b. Vista general del jardín clonal.

Es importante tener en cuenta que para constituir el jardín clonal se debe preparar el suelo tal como se hace con una plantación, para lo cual se realizan de antemano los estudios de suelo que permitan definir las medidas de mejoramiento previas al establecimiento de los materiales vegetales. Es recomendable que cuente con condiciones nutricionales óptimas y que se disponga en un terreno de textura franca, no inundable y con pendientes no mayores al 10 % (Dussán, 2006).

Jardín clonal para producir varetas verdes

Entre 10 y 12 meses después de haber establecido el jardín, se realiza la primera colecta y zoca, con cortes en bisel a una altura de 50 a 60 cm, entre el tercer y el cuarto lanzamiento foliar. En esta primera cosecha se obtienen varetas verdes, que se utilizan inmediatamente para injertación. A partir de esta labor, se desarrollan de cuatro a cinco brotaciones laterales, que deben ser colectadas por debajo del corte de la primera zoca, proceso que se repite para obtener varetas verdes cada 10 semanas (SAA, 1999).

Las varetas pueden ser conservadas durante tres días, colocadas en posición vertical en un recipiente que contenga de 2 a 3 cm de agua limpia (Gonçalves et al., 2001). Si se siembran 1.250 plantas, y se les hace un buen cuidado durante el primer año, proporcionarán entre 1.250 y 2.000 m de vareta, y cada metro proveerá de 8 a 10 yemas para injertación en verde.

Jardín clonal para producir varetas marrones

En este caso, se realizan las podas en forma de bisel, a 15 cm de la base de la varetas, dejando de tres a cuatro yemas para rebrotes posteriores. En este tipo de jardín, las plantas solamente deben producir una varetas en el primer año de vida. Durante el segundo año, posterior a la primera colecta, deben desarrollar dos varetas por planta, y a partir del tercero, cada una puede producir hasta cuatro varetas vigorosas.

Al igual que en el caso de las varetas verdes, 1.250 plantas bien cuidadas suministrarán durante el primer año entre 1.250 y 2.000 m de varetas, y cada metro dará entre 10 y 15 yemas para injertación en marrón (A. Martínez, [comunicación personal], 2014).

A la herida que se infligió en la planta madre para obtener yemas verdes o marrones se le aplica una solución de fungicida o cicatrizante, con el fin de evitar la entrada de hongos. En cuanto a las varetas, deben ser impermeabilizadas con parafina en cada uno de los extremos. Se deben cortar el mismo día en que se realizará la injertación, y si el vivero se encuentra alejado del jardín clonal, se recomienda que el corte se haga en la tarde, para hacer el injerto en la mañana del día siguiente (Gonçalves et al., 2001; Montoya, Aristizábal, Sastoque et al., 2004).

Para transportar las varetas es necesario acondicionar cajas de madera o cartón (150 x 50 cm), donde se acomodan de manera estratificada (formando pisos), separadas con papel, tamo o aserrín estéril, manteniendo una humedad abundante, con el objetivo de evitar la pérdida del material (Gonçalves et al., 2001; Montoya, Aristizábal, Sastoque et al., 2004).

Mantenimiento

Es importante registrar el origen de las plantas madre, y todas las prácticas y medidas de manejo técnico que se realizan en el jardín clonal desde la fecha de establecimiento. Se debe procurar el óptimo estado fitosanitario del material vegetal, y en el caso de que ocurran afectaciones, se deben hacer manejos similares a los determinados para el cultivo en el sitio definitivo. Según Compagnon (1998), el seguimiento y las buenas prácticas posibilitarán la obtención de un material vegetal con parámetros deseables y de calidad, que son los siguientes:

1. Vigor y homogeneidad de los brotes.
2. Yemas no prominentes sobre la corteza para simplificar la operación de injertación.
3. Despegue fácil de la corteza.

Riego

El riego en el jardín clonal es fundamental para que las yemas se despeguen en el momento de la injertación. Se puede emplear riego por goteo, con aspersores y microaspersores.

Fertilización

En un jardín clonal, la fertilización se debe realizar de acuerdo con los resultados de análisis foliar y del suelo. En términos generales, se considera la aplicación de fertilizantes completos antes de la etapa de cosecha de las varetas, con base en el ritmo de explotación de las plantas madres (Compagnon, 1998).

Eraso y Toro (2006) sugieren el uso fraccionado de triple 15, a razón de 300 kg/ha, así como de refuerzos con fertilizantes que contengan alrededor de un 8 % de nitrógeno total, un 5 % de fósforo asimilable (P_2O_5), un 18 % de calcio (CaO), magnesio, cobre, azufre, molibdeno, zinc y boro, en una dosis de 1 kg ha^{-1} (este último es necesario para evitar el brote de yemas y mantener la dominancia apical).

Podas

Según la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá (Asoheca) (2009), en los jardines clonales se realizan tres tipos de podas: brotación, formación y renovación de varetas.

- *Brotación (deschuponado)*: eliminación de brotes del patrón o portainjerto, para garantizar que solo se desarrollen brotes del clon injertado.
- *Formación*: eliminación y control de brotes clonales, con el fin de obtener varetas bien distribuidas y vigorosas, que se deben localizar en sitios estratégicos. Por ejemplo, paralelas a la calle más ancha, para evitar que los trabajadores las desgarran cuando ingresan al cultivo (Aya et al., 2009).
- *Renovación de varetas*: eliminación de varetas viejas, recortándolas a la menor altura posible, con el propósito de obtener varetas vigorosas, que garanticen la brotación de yemas clonales y el despegue fácil de la corteza.

Injertación

El injerto de ventana abierta se utiliza para la multiplicación de varetas tanto verdes como marrones, ya que con este método se utiliza poco material vegetativo y su ejecución es rápida, con un alto porcentaje de prendimiento.

Compagnon (1998) y Montoya, Aristizábal, Sastoque et al. (2004) afirman que, para llevarlo a cabo, se debe disponer de los siguientes elementos:

1. Una navaja de injertación afilada, con una uña en su extremo, para facilitar el despegue de la corteza.
2. Una piedra de afilar.
3. Bayetilla o trapos limpios.
4. Una caja de tamaño mediano, para guardar las yemas obtenidas.
5. Cintas de injertación de polietileno de calibre 2, de 2,5 cm de ancho.

Montoya, Aristizábal, Sastoque et al., (2004) plantean que, antes de comenzar el proceso de injertación comercial, se realice la prueba de desprendimiento en el jardín clonal, cuando las varetas hayan alcanzado una altura de entre 2,5 y 3 m, con el objetivo de conocer si las yemas están listas para ser injertadas (figura 11). Esta prueba se realiza por debajo del primer foliolo, y consiste en abrir una ventana de 5 cm de longitud por 1 cm de ancho.

Después, con la navaja de injertación, se levanta levemente la corteza. Si esta desprende con facilidad, se considera que está lista para el injerto. Sin embargo, si la corteza no se levanta o se parte, la vareta no está en condiciones para que se realice el proceso. Una vez que se compruebe el desprendimiento de la corteza, se realiza el despeciado, el cual consiste en cortar los peciolo de cada hoja por la mitad. Finalmente, se espera durante 15 días que el resto de los peciolo caigan (con el fin de no maltratar las yemas), y se lleva a cabo la injertación.



Fotos: Aníbal L. Tapiero

Figura 11. Condiciones para la injertación. a. Desarrollo de las varetas con la longitud adecuada para la extracción de yemas; b. Vareta con el diámetro adecuado para la injertación de yema marrón.

Al mismo tiempo, en el vivero se mide la circunferencia del tallo de la planta patrón, a 7 cm del suelo (Eraso & Toro, 2006). Se recomienda que una planta destinada a injertación con yemas marrones alcance un diámetro de 6 cm, y de 1 cm en el caso de las verdes. Una vez que se cumpla esta condición en el 80 % de las plantas portainjerto, se puede proceder al proceso de injertación.

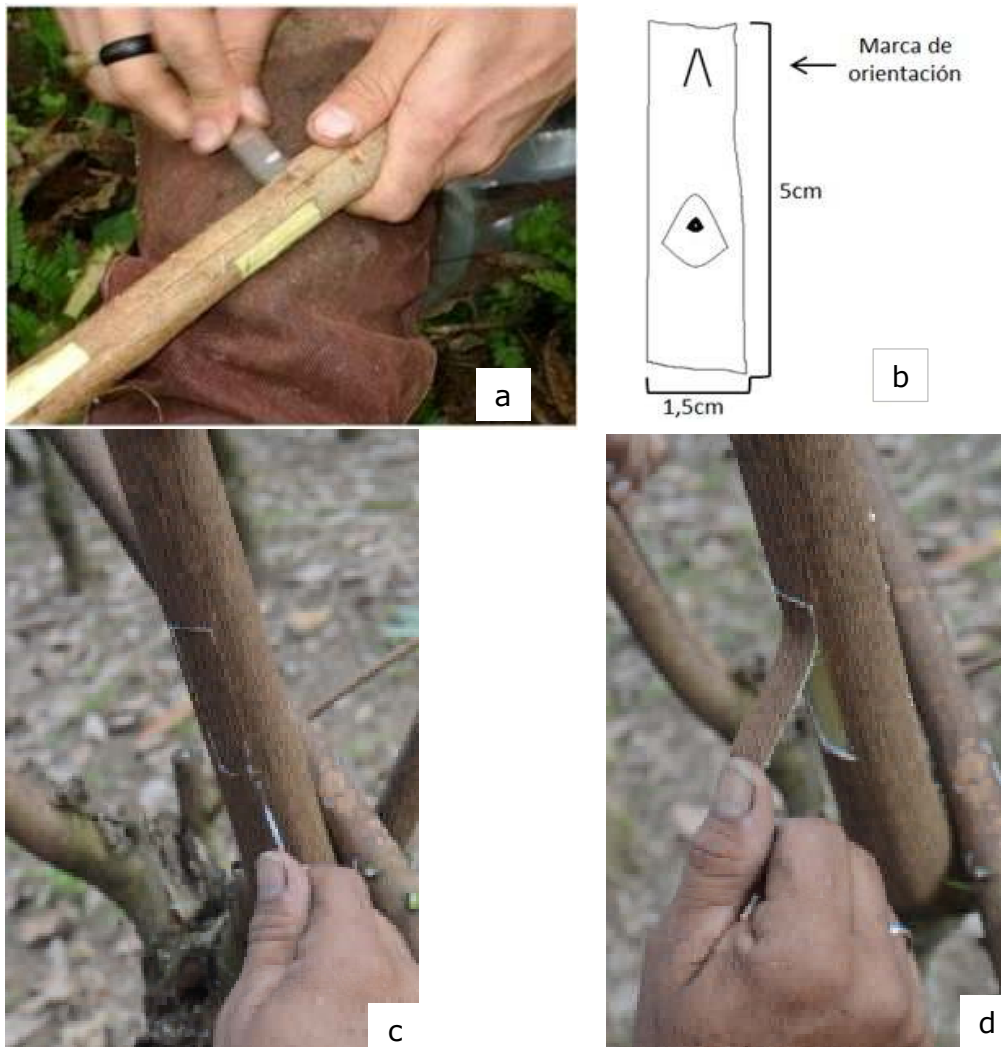
Proceso de injertación

En la injertación es muy importante escoger un portainjerto que tenga la misma edad que las yemas. En el caso de las marrones, la operación se puede iniciar cuando el portainjerto tiene aproximadamente 10 meses de edad. Según Eraso y Toro (2006) y Montoya, Aristizábal, Sastoque et al. (2004), para el proceso de injertación se deben tener en cuenta los siguientes pasos:

1. Se marca el surco de injertación, consignando la fecha, el patrón y el origen de las yemas.
2. Se recorta la corteza del portainjerto en tres de sus costados para despegar una lengüeta de 8 cm de lado y 2,5 cm en la base, a 10 cm del suelo, dejando la apertura de arriba hacia abajo o viceversa. Este proceso se repite en unos 20 patrones, lo cual permite el escurrimiento de látex, y brinda un espacio de tiempo para obtener las yemas (Figuras 12a y 12b).
3. En la vareta, se seleccionan las yemas sobresalientes, y su extracción se realiza recortando una placa en forma de rectángulo de 5 x 1,5 cm, y levantando esa lengüeta con la punta de la navaja. Para no invertir la posición de la yema en el momento de la injertación, se realizan dos marcas en la parte superior, formando una punta (Figuras 12c y 12d).
4. Se recomienda que, siguiendo el orden de los árboles en los que se realizaron los cortes, se limpie la zona de injertación cuando el látex se haya escurrido, retirando el que se haya coagulado, y luego introducir una yema entre la lengüeta levantada y el cámbium del portainjerto, colocando las marcas en la parte superior de la zona de injertación (Figura 12e).
5. Posteriormente, se cierra la ventana, poniendo la lengüeta de corteza sobre la yema injertada, y se amarra fuertemente con una cinta de injertación, de tal manera que el injerto quede protegido del contacto con lluvias o depredadores (Figuras 13a y 13b).
6. Después de la injertación, se esperan entre 15 y 20 días, se retira la cinta de polietileno y se elimina la lengüeta (Figuras 13c y 13d).
7. Se verifica si el injerto prendió, es decir, si la yema continúa viva. Con este fin, se realiza una incisión en las partes superior e inferior del injerto. Si se mantiene verde, es un indicador de su buen estado (Figuras 13e y 13f). Por el contrario, si es café, significa que hay que repetir el procedimiento, que se puede realizar en la misma planta, en el lado opuesto del injerto inicial.

8. Si se tiene éxito en la injertación, las plantas injertadas se deben marcar con una cinta.

En el caso del injerto con yema verde, se hace con un portainjerto muy joven que, entre tres y cuatro meses después de la emergencia de la planta, tenga una circunferencia de 1 cm. A diferencia del injerto en marrón, la lengüeta se quita por completo, la yema se pone en contacto con el cámbium del portainjerto, y se amarra fuertemente con una cinta transparente, que permita que la yema se exponga a la luz. La comprobación del prendimiento de la yema en verde se realiza 15 días después de haber realizado el proceso de injertación (Compagnon, 1998).



Fotos: Aníbal L. Tapiero

Figura 12. Ventana de injertación. a. Extracción de yemas de la vareta; b. Esquema de la placa de corteza para la extracción de yemas; c. Corte de la placa en el patrón; d. Apertura de la ventana con la yema madura.



Fotos: Aníbal L. Tapiero

Figura 13. Proceso de injertación. a. Encintado, asegurándose de que la lengüeta cubra totalmente la placa; b. Injerto encintado; c. Brote de yema establecida 15 a 20 días después de realizado el injerto; d. Estado de desarrollo adecuado para la siembra en sitio definitivo.

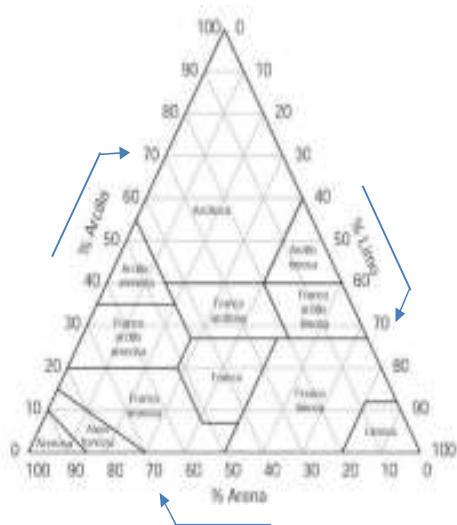
Plantación en sitio definitivo

Una vez las plantas injertadas alcanzan el desarrollo adecuado (1-2 pisos foliares completamente desarrollados) se trasladan al sitio definitivo.

Características físicas y químicas del suelo

Sin importar la extensión del cultivo, el conocimiento detallado de los suelos donde se va a sembrar el caucho es de gran importancia para lograr niveles sostenibles y competitivos en la producción de látex.

Por ser originario de la Amazonia, presenta tolerancia a la acidez moderada; esto le permite adaptarse a una amplia gama de suelos ácidos (el pH adecuado está entre 4,5 y 5,5). En cuanto a textura, se comporta mejor en suelos francos, franco-arenosos, franco-limosos, franco-arcillosos y franco-areno-arcillosos, con un contenido mínimo del 25 % de arcilla (figura 14).



Fotos: Aníbal L. Tapiero

Figura 14. Triángulo textural, según la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Las flechas indican la forma de lectura de los contenidos de cada separata.

Fuente: Soil Survey Staff (1951)

Para su óptimo crecimiento y desarrollo en condiciones de plantación comercial, este cultivo tiene mayores requerimientos edáficos que los de su sitio de origen.

Entre ellos se pueden mencionar: buenas condiciones de aireación y drenaje, profundidad superior a 1 m y nivel freático a 1,50 m (tabla 7).

En Colombia se siembra caucho en condiciones de suelo muy variadas. En la Orinoquia, el cultivo se concentra en áreas de la altillanura próximas a Puerto Gaitán, con cultivos dispersos en el Vichada. Sin embargo, en la planificación de siembra es necesario tomar en cuenta también la tendencia general que sigue el gradiente de disminución progresiva en el contenido de arcillas desde el piedemonte hasta la frontera con Venezuela (tabla 7), donde se observan suelos predominantemente con mayor proporción de arena y limos (Martínez, 2007). De ahí la importancia de realizar levantamientos topográficos y estudios locales de condiciones edafo-climáticas en las áreas proyectadas para la siembra de este y cualquier cultivo.

En la región del Magdalena Medio los suelos son en su mayoría de texturas arenosas y franco-arcillosas y la topografía es relativamente plana, con algunos problemas de drenaje y buena profundidad efectiva en donde se han establecido plantaciones (Centro de Investigación en Caucho [Cenicaucho] & Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], 2014).

Tabla 7. Tendencia regional del contenido de arcilla en la Orinoquia colombiana, en varios sitios del piedemonte y la altillanura

Localidad	Paisaje	Agregados del suelo (%)	
		Arena + limo	Arcilla
CI La Libertad, Villavicencio (Meta)	Piedemonte	69,1	33,9
Sede Taluma, Puerto López (Meta)		74,9	26,0
Puerto Gaitán (Meta)		76,9	23,2
Hacienda El Cimarrón, La Primavera (Vichada)	Altillanura	84,5	15,8
El Viento, Cumaribo (Vichada)		80,5	19,5
Marandúa, Puerto Carreño (Vichada)		91,4	8,6

Fuente: Martínez (2007)

En la altillanura plana y el piedemonte, los suelos son clasificados como oxisoles; tienen características del complejo de los suelos ácidos y presentan alta saturación de aluminio (que ocasiona toxicidad) y un bajo contenido de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre).

En cuanto a sus condiciones físicas, textura, estructura, topografía, son suelos favorables, con topografía plana o ligeramente ondulados (tabla 4), que

permiten el drenaje superficial y facilitan las labores agronómicas en la plantación (Martínez, 2007; Rincón, 2012).

Los suelos de la altillanura orinocense colombiana presentan serias limitaciones por condiciones químicas y biológicas, que exigen la implementación de acciones de manejo, suministro de enmiendas y fertilización, siguiendo prácticas adecuadas de preparación del suelo que favorezcan la conservación de la capa cultivable.

En los ecosistemas de la Orinoquia, los paisajes del piedemonte y la altillanura disponen de condiciones aptas en términos del suelo para la siembra de caucho. El piedemonte posee ventajas comparativas a la altillanura, con suelos de texturas franco-arcillosas y mayores contenidos de materia orgánica, fósforo y potasio, en contraste con los franco-arenosos "pobres" de la altillanura.

Además de las variaciones en las condiciones físico-químicas de los suelos, en la Orinoquia se observan también diferencias climáticas entre el piedemonte y la altillanura. Regímenes Udox (con periodos secos de 2 - 3 meses) en el piedemonte, contrastan con regímenes Ustox (periodos secos de 3 - 6 meses) en sentido progresivo W - E hasta la cuenca del Orinoco. Factores determinantes en términos de provisión de agua para los cultivos que deberían orientar las tendencias regionales de proyección de siembras. En tal sentido, notar que mientras en el piedemonte el inicio de la temporada de lluvias periódicas en cantidades suficientes comienza entre marzo-abril, es frecuente que en la altillanura las lluvias comiencen a ser suficientes para abastecer la producción agrícola solo a partir del mes de mayo; además, en la época seca, se presentan vientos fuertes y calientes en la altillanura (Martínez, 2007).

En la tabla 8 se registra la producción de biomasa seca por órgano de 7 clones de caucho plantados en oxisoles. Se puede observar que, cuando se maneja adecuadamente, la concentración de los diferentes elementos varía de acuerdo con el clon.

Tabla 8. Producción de materia seca (kg/ha) de 7 clones de caucho (de 2 años) en Colombia, en comparación con plantaciones de Malaysia y Brasil

Clon	Hojas	Ramas	Tallo principal	Raíz principal	Raíces secundarias	Total (kg/ha)
RRIM 600	278,0	182,5	1.371,0	1.012,0	381	3.224,5
IAN 873	291,0	285,0	961,0	1.054,0	402	1.993,0
AVROS 2037	700,5	351,0	2.749,5	1.617,0	484	5.902,0
FX 3864	393,5	198,0	2.371,5	1.145,0	198	4.506,0
PB 260	430,5	393,0	1.211,5	1.211,5	412	3.658,5
IAN 710	422,5	462,5	1.675,0	1.205,0	197	4.162,0
GT 1	490,0	252,4	1.931,0	1.344,0	413	4.430,5
Promedio						3.982,4
RRIM 501 (Malaysia)	912	2.563	3.101	1.289	549	8.414
FX 3864 (Brasil)	1.837		1.037			2.874

Fuente: Martínez y García, 2006; Malaysia: Shorrocks (1964); Brasil: Haag et al. (1982)

En la tabla 9 se observa la concentración de elementos mayores en dos clones de caucho de diferente origen, y se comparan con los datos obtenidos con el clon RRIM 501, mencionado por Shorrocks (1964) y FX 3864 (Haag et al, 1982).

Tabla 9. Concentración (%) de los elementos mayores en diferentes partes de la planta, en tres clones de caucho, en Colombia y Malaysia

Nutriente		N	P	K	Ca	Mg	
Colombia	IAN 710	Raíz	0,60	0,05	0,59	0,17	0,06
		Tallo	0,73	0,06	0,86	0,40	0,22
		Ramas	2,10	0,29	1,58	0,53	0,15
		Hojas	3,50	0,20	0,82	0,51	0,20
Colombia	PB 260	Raíz	0,70	0,06	0,62	0,18	0,06
		Tallo	0,78	0,08	0,8	0,38	0,14
		Ramas	1,12	0,12	0,82	0,54	0,08
		Hojas	3,73	0,26	1,00	0,60	0,23
Malaysia	RRIM 501	Raíz	0,62	0,09	0,31	0,15	0,31
		Tallo	0,45	0,05	0,25	0,12	0,33
		Ramas	0,45	0,05	0,27	0,09	0,30
		Hojas	2,79	0,18	0,90	0,24	0,86

Fuente: Martínez y García (2006); Shorrocks (1964)

Las tablas 8 y 9 evidencian que la diversidad de la oferta ambiental en Colombia, Malaysia y Brasil repercute no solo en la producción de biomasa seca, sino también en la composición nutricional de los diferentes clones, por lo que se deben proponer análisis propios para las condiciones de suelos y manejo.

Preparación del terreno

Selección del lote y análisis del suelo

En Colombia existen áreas con las condiciones adecuadas para la siembra del cultivo del caucho. Aun así, muchas plantaciones se establecen en terrenos desfavorables para una producción óptima, ya sea porque son de difícil acceso para el manejo de la plantación (con pendientes de hasta el 70% o altos porcentajes de pedregosidad), o porque tienen condiciones favorables para el desarrollo de patógenos (zonas de no escape al SALB) (tabla 4 y figura 15).



Foto: Aníbal L. Tapiero

Figura 15. Terreno de difícil acceso para el manejo de la plantación.

Esto indica que, en muchas ocasiones, la elección del terreno destinado a la plantación está sujeta al área disponible, y que deben conocerse tanto las consecuencias de no contar con los requerimientos y parámetros favorables para el cultivo, como las alternativas que se pueden aplicar para facilitar las labores de manejo y evitar o minimizar, en lo posible, cualquier pérdida económica (Rincón, 2012; Tapiero, 2011).

Para evaluar si las propiedades del suelo son adecuadas, es indispensable realizar el análisis de suelos del lote o la plantación, y después elaborar un plan apropiado de enmiendas y fertilización. La toma de muestras correcta garantiza un sondeo del estado general del terreno, y para este se sugiere incluir un lote que presente características uniformes del suelo.

Sin embargo, no es necesario que corresponda a un diseño cuadrulado. Para la toma de muestras se requieren alrededor de 10 a 20 submuestras, tomadas con barreno o pala, en forma de zigzag y a 20 cm de profundidad. En el caso de que se haga con pala, se corta en forma de "V" y se toma la parte central (figura 16). Las submuestras sumadas deben completar un kilo de suelo seco, y cada una de las muestras debe estar completamente rotulada.

Además, es necesario proporcionar al laboratorio de suelos información de la topografía del terreno, temperatura, precipitación, pedregosidad del lote, así como mencionar el último cultivo sembrado, las quemas, las fertilizaciones realizadas y el cultivo que se pretende sembrar (Rincón, 2012).



Figura 16. Extracción de muestras para estudios edáficos. a. Muestra de suelo tomada con barreno; b. Muestra de suelo tomada con pala.

Fotos: Aníbal L. Tapiero

Adecuación del lote

Es pertinente que el terreno donde se va a sembrar se adapte a los requerimientos del cultivo del caucho. Por esta razón, debe retirarse todo aquello que impida el total despeje de la zona (árboles y arbustos), respetando las plantas de monte, humedales y morichales, según los requisitos de la corporación ambiental correspondiente.

Para contribuir a atenuar la erosión y la aparición temprana de plagas, se debe limpiar el área, esparciendo en el suelo los restos de las labores de limpieza, con un adecuado manejo de malezas. Esta práctica permite conservar la humedad e incorporar materia orgánica y minerales.

Rincón (2012) sugiere que, en zonas planas o ligeramente onduladas, con predisposición a vientos fuertes, se instalen barreras rompevientos con especies resistentes y de crecimiento rápido, como eucaliptos, o la conservación de bosque nativo que cumpla con esta función, y que además promueva la biodiversidad del agroecosistema.

Encalado

Tanto en la Orinoquia como en el Magdalena Medio, se recomienda la aplicación de enmiendas agrícolas, preferiblemente incorporadas al suelo, que contribuyan a disminuir los porcentajes de saturación de aluminio y a reemplazar los cationes de hidrógeno y aluminio con calcio y magnesio.

Iniciando con suelos de alto contenido de Al (bajo contenido de bases), el cultivo del caucho tiene un adecuado comportamiento agronómico en oxisoles cuando se llega a una saturación de bases mínima del 50 % (Bataglia et al., 1996; Domínguez, 1994; Virgens-Filho, 2001). Para llegar al 50 % de saturación de bases, se recomienda aplicar la siguiente fórmula, con base en los datos del análisis del suelo:

Se suman los contenidos de las bases de calcio, magnesio y potasio (en miliequivalentes) y se dividen por la suma total de bases + la acidez intercambiable (H + Al en miliequivalentes), expresada en porcentaje:

$$[(Ca + Mg + K) / (Ac.I + Ca + Mg + K)] \times 100$$

Por otro lado, la cantidad de correctivo que se debe utilizar, expresada en toneladas por hectárea, se determina de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Cantidad de enmienda que se debe aplicar (t/ha): } [(SBd - SBi) / PRNT] \times CICE$$

Donde

SBd: saturación de bases deseada (50 %, por ejemplo)

SBi: saturación de bases inicial (%)

PRNT: poder relativo de neutralización total del correctivo (%)

CICE: capacidad de intercambio catiónico efectivo del suelo

Los correctivos deben ser aplicados con unos meses de anticipación a la siembra, para que haya un tiempo de acondicionamiento y preparación del suelo (Sterling et al., 2014). Es recomendable incorporar la enmienda en el suelo mediante maquinaria (figura 17). En la Orinoquia, por ejemplo, se puede hacer con un cincel, después de incorporar la gramínea nativa con una rastra. Al mismo tiempo, se rompe el *sello* que tienen estos suelos, dejando una superficie rugosa, que previene la erosión y facilita la penetración del agua en las capas más profundas del suelo; de lo contrario, la pluviosidad se pierde en forma de escorrentía superficial (Amézquita, 2013).



Foto: Alfonso Martínez

Figura 17. Incorporación de correctivos al suelo por medio de un cincel.

Trazado y ahoyado

Una vez que se ha preparado y encalado el terreno, se trazan la posición de los surcos y las demás estructuras anexas dentro del lote. La ubicación de los surcos depende de la topografía: si el lote es plano, se sitúan de oriente a occidente, para una mayor interceptación de luz. Si el terreno tiene más de un 10 % de pendiente, se ubican de acuerdo con las curvas de nivel o a través de la

pendiente, para proteger el suelo de la erosión. Si el área que se va a sembrar presenta altos porcentajes de pedregosidad y su despeje se hace difícil, se recomienda diseñar un trazado que dependa de los espacios libres o con menor pedregosidad (figura 18).

El proceso de ahoyado se inicia con la temporada de lluvias, y cada hoyo debe conservar las dimensiones de 40 cm de diámetro por 60 cm de profundidad (figura 18b). Con el fin de facilitar el proceso, en el mercado existe un equipo ahoyador mecánico, que hace dos hoyos por minuto (Compagnon, 1998; Rincón, 2012; Sterling et al., 2014). Si el suelo es arcilloso, es recomendable repicar alrededor del hoyo para soltar el suelo circundante.



Fotos: Alfonso Martínez

Figura 18. Ahoyado a. Proceso manual de ahoyado para la siembra de caucho en su sitio definitivo; b. Ahoyado con barreno mecánico.

Establecimiento de la plantación

La selección del marco de siembra (distribución de los árboles en el terreno) y de la densidad de la plantación condiciona su nivel de producción individual y colectiva, lo que se refleja en los resultados económicos del cultivo a largo plazo.

Es necesario que cada árbol disponga de un área de terreno suficiente para su óptimo desarrollo vegetativo, y se debe tener en cuenta la productividad por

unidad de superficie, que se incrementa con la densidad de árboles por hectárea. Del equilibrio entre estos parámetros, depende el crecimiento, la producción, el mantenimiento y la situación sanitaria, así como las interacciones entre estos factores (Compagnon, 1998).

En terrenos planos o con pendientes leves, los diseños de siembra pueden ser establecidos de tres formas, entre las que se encuentran la plantación en cuadrado, en rectángulo y al tresbolillo (Figuras 19a, 19b y 19c). Las estructuras cuadradas y al tresbolillo requieren un mayor número de trazos lineales en el lote, pero son las que permiten una mejor distribución de la superficie explotable de cada árbol (Compagnon, 1998).



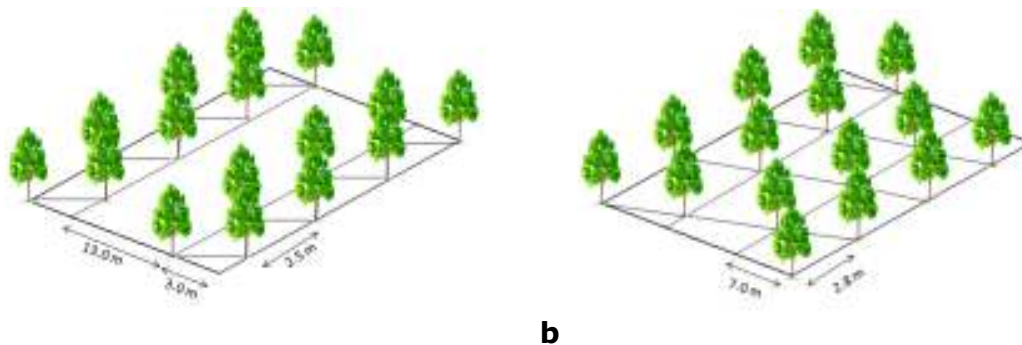
Figura 19. Tipos de marcos de siembra para establecer plantaciones de caucho. a. Cuadrado; b. Rectángulo; c. Tresbolillo.

Diagramas: Gutiérrez, A y Moreno, J.

La densidad de plantación resulta del marco de siembra escogido, y se consideran rentables densidades iniciales de 500 a 560 árboles por hectárea. Debido a pérdidas naturales, accidentales o selectivas de los árboles, se asume que disminuye durante su etapa de desarrollo, para finalizar con densidades de 400 a 450 árboles efectivos en el periodo productivo.

En el caso de plantaciones con trazado individual, se calcula que la distancia entre cada planta y cada calle es de 7 y 2,8 m, respectivamente (figura 20b). En terrenos con diseño de siembra de doble surco, se sugiere que se siembren 100 árboles en 250 m lineales, separados en 2,5 m. El surco doble se traza con una separación de 3 x 13 m.

Por otro lado, para establecer un cultivo de caucho en arreglo agroforestal, se traza un diseño de surcos dobles, con las plantas dispuestas en triángulo o al tresbolillo, con el fin de que haya una mejor distribución de las copas.



a **b**
Figura 20. Detalle del modelo de siembra. a. Marco de siembra con trazado en doble surco; b. Marco de siembra con trazado individual.
 Diagramas: Gutiérrez, A y Moreno, J.

Estas distancias sugeridas pueden variar según el criterio técnico del agricultor, quien decide su trazado dependiendo de sus objetivos. En pequeñas plantaciones, se aceptan densidades de hasta 630 árboles, pues si se excede esta cantidad, la competencia puede restringir el crecimiento y fomentar la propagación de enfermedades (Compagnon, 1998; Martínez & García, 2008; Rincón, 2012).

En el Magdalena Medio, se tienen plantaciones con distribuciones de 14 m en calle, por surcos dobles de 3 x 3 m; 7 x 3 m con 476 árboles; 6 x 3 m con 555; 6 x 2,8 m con 595; 7 x 2,8 m con 510, y de 5 x 5 m con 400 árboles.

Una vez trazado el cultivo, se trasplantan los *stumps* o plántulas en bolsas, las cuales deben tener brotes de hasta 2 cm, y de uno a dos pisos foliares. Es importante hacer coincidir esta actividad con el inicio del periodo de lluvias (marzo y abril, y septiembre y octubre en el Magdalena Medio). De acuerdo con lo anterior, a continuación, se enuncian estos procesos.

1. **Stump a raíz desnuda:** antes de la siembra del *stump*, es posible estimular la producción de raíces, dejándolas embebidas durante 40 minutos en alguna sustancia de crecimiento, como el ácido alfa-naftalenacético (ANA) (conocido comercialmente como Hormonagro 1). Para estimular el crecimiento natural de las raíces durante el desarrollo de la planta, se recomienda hacer una mezcla con el suelo extraído del ahoyado, aplicándole 300 g de roca fosfórica y 500 g de fertilizante orgánico o de humus, y finalmente con ella se cubre el hoyo después de haber instalado el *stump*. En este proceso, la mezcla debe aprisionarse para que no queden cámaras de aire, y evitar que estos hoyos se llenen de agua y causen la pudrición el *stump*.
2. **Stump en bolsas:** en este método, el apisonado y el uso de enmiendas, materia orgánica y fertilización se realizan de la misma manera que para la

raíz desnuda. Sin embargo, en este caso, el procedimiento para la siembra consiste en retirar cuidadosamente la bolsa, con el fin de introducir su contenido en el hoyo. Se recomienda tener precaución, para no dañar los lanzamientos en los procesos de transporte y siembra, así como pasar el material al sitio definitivo antes de que se deforme la raíz, con el objetivo de evitar posibles problemas fitosanitarios.

Plántula injertada en bolsa

En estos casos, es recomendable que, al ubicar el *stump* dentro del hoyo, la base del injerto quede al nivel del suelo y con una orientación norte-sur o contra el viento (Compagnon, 1998; Martínez, 2007; Rincón, 2012; SAA, 1999). De no hacerlo, las siembras superficiales pueden causar la anomalía denominada "pata de elefante", la cual consiste en que la parte injertada del árbol tiene una afloración sobre el suelo. Además, se debe tener cuidado de no dejar la zona radicular fuera del suelo, ya que lleva a que la plántula no prenda.

Mantenimiento del cultivo

Según Compagnon (1998), Martínez (2007) y Rincón (2012), en la siembra en el sitio definitivo se deben implementar las recomendaciones y prácticas agrícolas que permitan garantizar un desarrollo y una productividad satisfactorios durante el ciclo del cultivo por más de 40 años. Algunas de estas prácticas se explican a continuación.

Coberturas

Esta práctica consiste en cubrir el suelo con leguminosas de cobertura, hojarasca o arvenses, con el fin de minimizar la competencia y disminuir costos de manejo. Además, proporciona la capacidad de conservar la humedad del suelo, evitar la erosión, aportar materia orgánica y evitar que los patógenos entren en contacto con el injerto, debido a salpicaduras producidas por la precipitación.

Riego y drenaje

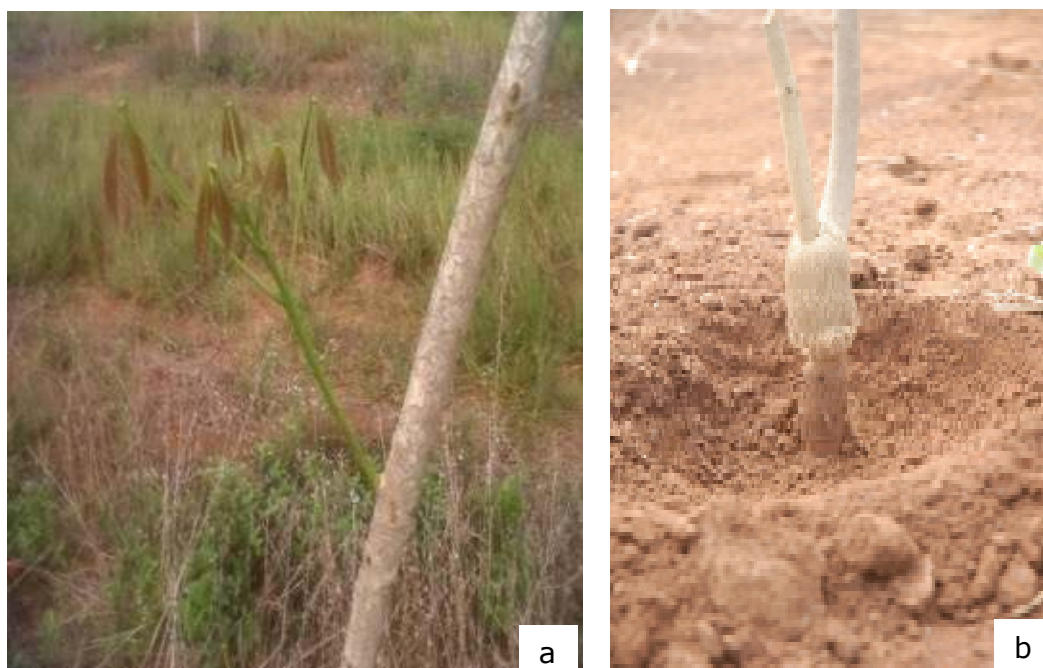
Según la tabla 4, el cultivo del caucho requiere precipitaciones de entre 2.000 y 3.000 mm al año, así como suelos bien drenados; el hecho de no cumplir con estas condiciones limita el desarrollo productivo de las plantas. Es indispensable planear la siembra en zonas que reúnan los requisitos, con el fin de evitar prácticas de riego y drenaje que resulten inviables para este sistema productivo.

En ocasiones, el inicio del periodo de lluvia puede presentar variaciones climáticas, lo que arriesga el prendimiento de los *stumps*, por lo cual es recomendable hacer riegos suplementarios, en caso de ser necesarios. Una

alternativa disponible es el uso de los hidrorretenedores (Hidrokeeper®) que, tras el suministro de agua, absorben y mantienen reservas hídricas durante largos periodos de sequía.

Deschuponado

Es necesario eliminar los chupones que salen del patrón, para estimular el brotamiento y desarrollo de la yema injertada. La frecuencia del deschuponado varía con el crecimiento de la planta, pero es indispensable realizar la evaluación de su desarrollo cada 15 días, durante los primeros seis meses. Posteriormente, es recomendable hacerlo cada mes hasta el primer año, y cada bimestre en adelante, hasta que sea necesario (figura 21). En caso de que salgan varios brotes del injerto, se selecciona el mejor y más vigoroso, y se eliminan los demás (Compagnon, 1998; Martínez, 2007). En el proceso de siembra en el sitio definitivo es necesario tener en cuenta la distancia a que deben disponerse las ventanas del injerto. Estando estas muy próximas a la superficie del suelo o cubiertas, el calor puede ocasionar quema de la corteza y producir deformaciones del tronco (figura 21b).



Fotos: Aníbal L. Tapiero

Figura 21. Problemas asociados al establecimiento en sitio definitivo. a. Chupón a deschuponar durante los primeros meses de establecimiento de la plantación. b. Quema de la corteza en la ventana del injerto y deformación del tronco derivadas del contacto del tejido de la ventana con la superficie del suelo.

Poda de formación

En general, el desarrollo natural de los clones comerciales no requiere de poda de formación. En caso de ser necesario (clones que retardan la formación de copa), se realiza durante los primeros años, con el fin de desarrollar un tronco fuerte y liso, de al menos 2,5 m. Esta es la parte productiva de la planta que perdurará al menos 30 años. Durante este tiempo, se eliminan las yemas laterales que brotan después de la fertilización. Otra forma de corregir dicho problema es aplicar boro en la fórmula de fertilización, ya que este elemento mineral evita que se pierda la dominancia apical. Cuando el árbol ramifica naturalmente a la altura deseada, se deja que desarrolle un libre crecimiento.

En el caso de que la planta sobrepase los tres metros sin llegar a la ramificación, es posible inducirla cortando o amarrando las hojas de la copa, conformando una copa con cinco ramas laterales, distribuidas en cruz, y a diferentes alturas a lo largo del tallo principal. En ningún caso, se debe cortar la yema terminal. Para cualquiera de las podas, se recomienda la aplicación de pastas cicatrizantes, con el fin de evitar el ataque de patógenos en las áreas cortadas.

Fertilización

Los esquemas de fertilización dependen directamente de los estudios de suelos, que son particulares para cada plantación, y deben ajustarse a esos resultados. La primera fertilización se realiza cuatro meses después de la siembra; luego se repite cada 6 meses, al inicio de las lluvias, cuando hay humedad disponible en el suelo (marzo y septiembre) (Rincón, 2012).

La forma de aplicación depende de la edad de la planta. En su primer año, el abono se coloca a 30 cm de la planta, en forma de corona, si el terreno es plano, o en forma de media luna, en la parte superior del plato, si es pendiente. Hasta los cuatro años, se pone a 60 cm de distancia de la planta, y después en bandas paralelas, a ambos lados del surco (figura 22).

La deficiencia de materia orgánica se puede remediar, reforzando la fertilización química con la aplicación anual de 1 a 2 kg de abono orgánico por planta. En Colombia, la fertilización es poco común, pues se asume erróneamente que el reciclaje natural del sistema es suficiente.

Se recomienda que la aplicación de la materia orgánica se base en los análisis foliares y de suelos, los cuales deben realizarse mínimo cada dos años, con el fin de evaluar el estado nutricional del cultivo y determinar las dosis y productos que se deben utilizar para enmendar deficiencias, mantener los niveles adecuados, y optimizar el desarrollo y la producción del cultivo (A. Martínez [comunicación personal], 2014).

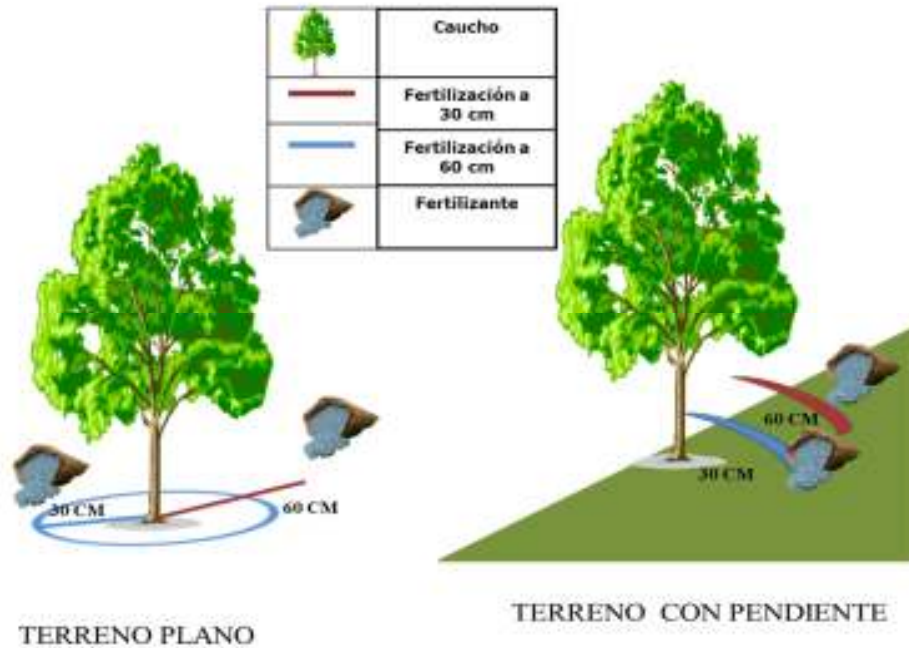


Figura 22. Aplicación de fertilizantes en función de la edad del árbol de caucho. Diagramas: Moreno, Y.

En la tabla 10, se muestra el ejemplo de un esquema de fertilización de un monocultivo de caucho y en la tabla 11 se describe un ejemplo de fertilización en arreglo agroforestal con cultivos anuales.

Tabla 10. Ejemplo de esquema de fertilización general para el cultivo de caucho (dos aplicaciones al año)

Abono 17-6-18-2	Edad (años)					
	1	2	3	4	5	6
Gramos/planta	200	225	250	275	300	325

Fuente: Rincón (2012)

Tabla 11. Ejemplo de fertilización del caucho en arreglo agroforestal

Fertilizante	Urea	Superfosfato triple	KCl	MgO	Boro agrícola	Sulfato de zinc
Gramos/planta	75	40	70	45	5	5

Fuente: Martínez (2007)

Capítulo VII

Sistemas agroforestales con caucho

La adopción de sistemas agroforestales (SAF) con el cultivo del caucho, que permite la siembra de cultivos de ciclo corto, semiperennes y perennes, ha sido ampliamente reportada, pues para los productores es de gran interés reducir el tiempo necesario para llegar al punto de equilibrio económico de un proyecto productivo, debido a la larga etapa inicial improductiva de este cultivo (Virgens-Filho, 2003)

El éxito de la asociación del caucho con otras especies se da gracias a la promoción de interacciones benéficas entre cultivos. Por ejemplo, el caucho puede servir a otras especies como barrera de protección física, como sombrío y como mecanismo de conservación de lluvias, que disminuye la lixiviación.

En retribución, las especies asociadas permiten la optimización de la nutrición vegetal y la prevención de la propagación de plagas y enfermedades que limitan el cultivo del caucho. Este tipo de asociación puede variar, fijando nuevas funciones dentro del sistema (Bonadie et al., 2012).

Según Martínez y García (2006) y Bonadie et al. (2012), la implementación de los sistemas agroforestales (SAF) con caucho trae ventajas al sistema finca, al aumentar su rendimiento. Entre ellas se destacan las siguientes:

- Aumento de la agrobiodiversidad y facilitación de las actividades de manejo integrado de plagas del caucho.
- Mayor reciclaje de nutrientes y aprovechamiento residual de los fertilizantes exógenos, incluyendo los fijados, lo que mejora la estructura del suelo y sus condiciones químicas.
- Protección y mejoramiento de la estructura del suelo, con una mayor cantidad de residuos de cosecha añadidos en el suelo.
- Mejoramiento en los valores del carbono atmosférico capturado.
- Incremento de los ingresos por unidad de área y flujo de caja permanente durante la etapa improductiva del caucho, gracias a la complementariedad de los ingresos procedentes de varios productos.
- Mayor rapidez en la llegada al punto de equilibrio económico, en comparación con un monocultivo.
- Uso más racional y diversificado de la oferta ambiental y social: espacio, luz, agua y mano de obra, entre otros elementos.

Sistemas con cultivos asociados al caucho

La elección de las especies acompañantes, que interactuarán con el cultivo del caucho, depende de las necesidades y expectativas del productor, así como de las condiciones de la zona donde se va a plantar, la demanda del producto que se va a introducir, la cultura agrícola de la región, la disponibilidad de infraestructura para la explotación del cultivo y la capacidad económica del productor (Martínez, 2007).

En la selección de la especie para asociar, se deben evitar las que puedan limitar el cultivo del caucho, entre ellas las que extraigan muchos nutrientes del suelo que sean susceptibles al ataque de plagas y enfermedades, cuya asociación pueda aumentar los daños que coincidan con los periodos de máxima exigencia del caucho y que presenten plagas en común con el cultivo del caucho.

Un ejemplo de lo anterior es la asociación con la yuca, que extrae un equivalente a 300 kg/ha de potasio por cosecha que, si no se reemplaza, puede afectar el crecimiento normal del caucho. Además, comparten la susceptibilidad al ataque del gusano cachón (Martínez, 2007).

Establecimiento de sistemas agroforestales (SAF) con caucho

Una vez que se ha elegido el cultivo para la asociación, se recomienda realizar la siembra del caucho en sentido oriente-occidente, que permite a las especies asociadas una mayor entrada de luz durante periodos más prolongados, lo que favorece su producción. Los cultivos asociados se establecen en las calles de 13 m que dividen los surcos dobles del caucho.

La distancia entre el cultivo y la línea de caucho aumentará con la edad del árbol, con el fin de evitar cualquier daño a la raíz del caucho, causado por labores de mantenimiento, el uso de maquinaria agrícola o la competencia por nutrientes de las especies en crecimiento. Estudios radiculares de los árboles de caucho para los oxisoles de los llanos orientales recomiendan iniciar con una distancia corta, de aproximadamente 50 cm, que en el segundo ciclo del cultivo se amplía a 80 cm, y así sucesivamente (figura 23).

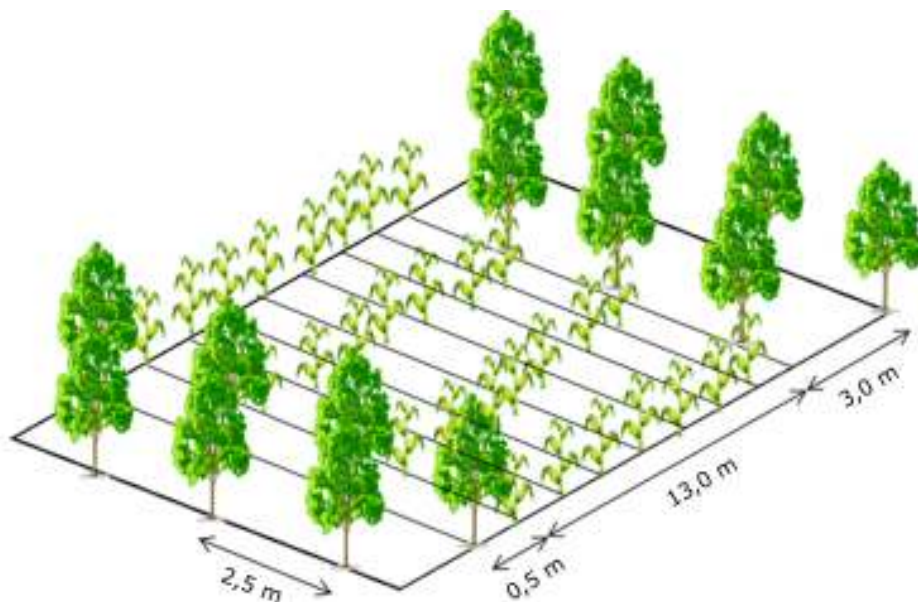


Figura 23. Diseño del establecimiento del caucho en asocio agroforestal con leguminosas por dos ciclos.

Diagramas: Gutiérrez, A y Moreno, J.

En los primeros años del mantenimiento de los cultivos agroforestales, es indispensable que tanto el cultivo de caucho como sus asociados se fertilicen de manera individual y direccionada para cada cultivo, es decir que el fertilizante se debe aplicar de acuerdo con las necesidades de cada uno de ellos (tabla 10).

El esquema para el manejo de malezas y el control de plagas y enfermedades debe diseñarse de acuerdo con los requerimientos particulares del SAF, en paralelo con las prácticas de conservación del suelo, como la construcción de terrazas y canales de infiltración, y el uso de coberturas (Bonadie et al., 2012; Martínez, 2007).

Modelos SAF con caucho

El desarrollo de alternativas agroforestales (SAFs), en general se encuentran agrupados en dos grupos de sistemas; los socios temporales durante los 3 primeros años de desarrollo del cultivo, luego de los cuales el caucho sigue como monocultivo; y los sistemas más complejos, que perduran durante todo el ciclo improductivo y productivo del caucho. Dentro de los socios temporales se destacan el uso de plátano, piña, maíz, entre otros, los tres primeros años. En

los sistemas permanentes se destacan asociados con la pimienta, el cacao, el chontaduro, frutales, junto a otros productos forestales no maderables PFNM.

Granos básicos o cultivos de ciclo corto

Este modelo es apto para predios ubicados en zonas donde se cuenta con la infraestructura, la maquinaria y los mercados que permitan la explotación de estos productos. La fertilización y el manejo se realizarán dependiendo del análisis de suelos.

En el piedemonte llanero, se han implementado asociaciones con soya, arroz y maíz, pero en otras se han ensayado, sin comprometer el desarrollo del caucho, cultivos como el de fríjol, fríjol caupí, sorgo, maní, patilla y jengibre. Los ingresos que generan estos cultivos asociados cubren los gastos de al menos los dos primeros años del establecimiento del caucho (Bonadie et al., 2012).

En el CI La Libertad de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica, ahora AGROSAVIA), se estableció un cultivo de caucho, asociado en el primer semestre con leguminosas de cobertura (*Canavalia* sp.), en el segundo y tercero con soya, en el cuarto y quinto con maíz Corpoica H-108, en el sexto y séptimo con *Canavalia* sp. y, finalmente, con maíz Corpoica H-108 en el octavo semestre. La distancia utilizada entre el cultivo de caucho y la línea de cultivos asociados fue de 3,50 m (Figura 24).

Los resultados obtenidos con esta rotación de cultivos entre las líneas del caucho muestran un beneficio económico, además del biológico, ya que los ingresos de los cultivos superaron los costos totales, a diferencia de un sistema de monocultivo de caucho, el cual tarda cinco años en llegar al punto de equilibrio económico después de haber comenzado la producción (Martínez & García, 2006).



Foto: Alfonso Martínez

Figura 24. Diseño espacial de un sistema agroforestal de caucho asociado con cultivos semestrales de soya y maíz.

Cultivos forrajeros

Estos cultivos se introducen para la producción de ensilaje en aquellas regiones donde predomina la actividad ganadera, como suplementación alimenticia en época seca. Sin embargo, el ganado no debe alimentarse directamente, ya que se pueden causar daños a las raíces superficiales del caucho (Bonadie et al., 2012).

En los vegones del río Cravo Sur en Yopal, la aplicación de este modelo produjo hasta 30 toneladas de forraje verde en el primer semestre con maíz Corpoica H-108 para la producción de grano y, en el segundo, maíz de la variedad regional Carare, para producir forraje (Martínez, 2007).

Plátano

Los experimentos de Martínez (2007) sugieren que esta asociación puede realizarse después del cuarto año de haber implantado el caucho, con el fin de aprovechar la penumbra que este produce y reducir la severidad de la sigatoka negra (figura 25).



Foto: Alfonso Martínez

Figura 25. Sistema agroforestal de caucho en asocio con plátano.

Sistemas con cacao y otras especies perennes

El modelo cacao-caucho ha sido aplicado exitosamente en Bahía (Brasil), con el fin de promover el desarrollo sostenible de la región cacaotera afectada por la enfermedad llamada "escoba de bruja" (*Moniliophthora perniciosa*).

Las exigencias edafoclimáticas del cacao se acoplan a los requerimientos del caucho, y la distribución de los sistemas radiculares, que invaden el área sembrada, hace posible el mejor aprovechamiento de los fertilizantes. De este modo, al fertilizar el cacao, los nutrientes que se pierden pueden ser recuperados por el caucho, ya que sus raíces se encuentran entrelazadas. Este modelo ha sido adaptado de varias formas:

1. *SAF de cacao bajo caucho tradicional*: consiste en la siembra del cacao bajo la sombra preexistente del caucho. Cuando se maneja correctamente, permite producciones de cacao similares a las obtenidas en monocultivo, pues hace posible el aumento de la densidad y, por ende, de la producción.
2. *SAF con siembra simultánea de cacao y caucho*: permite alcanzar una densidad poblacional equivalente al monocultivo en el área de siembra del SAF, facilita las prácticas de manejo y favorece las interacciones biológicas, que se reflejan en una alta rentabilidad. Experimentos realizados en Brasil han mostrado que la siembra simultánea de caucho en líneas dobles de cacao permite un mayor crecimiento del primero (Bonadie et al., 2012).

En el departamento del Caquetá, se probaron SAF en dos escenarios tecnológicos: a) la asociación de especies maderables, leguminosas y frutales, partiendo de un área que se encontraba en rastrojo, y b) el enriquecimiento de un monocultivo adulto de caucho con frutales nativos y leguminosas arbustivas.

Los resultados indicaron que, en el primer caso, después de 2,5 años de establecimiento se obtuvieron beneficios biofísicos (incremento en la concentración de materia orgánica, disponibilidad de nutrientes, intercambio catiónico y contenido de humedad, entre otros) y económicos. Por su parte, en el segundo escenario, se reportaron incrementos en la producción de látex (Zuluaga & Escobar, 2001).

La siembra de las plantas de caucho se realizó al tresbolillo y a doble surco, con calles de 9 m. En el centro de estas líneas, se sembraron las especies maderables, con un espaciado entre árboles de 7 m. Los frutales se establecieron con una distancia de 3 m entre plantas, a 2 m, a lado y lado de la línea central. Finalmente, separando los frutales del caucho, se sembró una línea de leguminosas arbustivas, con una distancia de 2 m entre plantas (Figura 26) (Escobar, 2004).

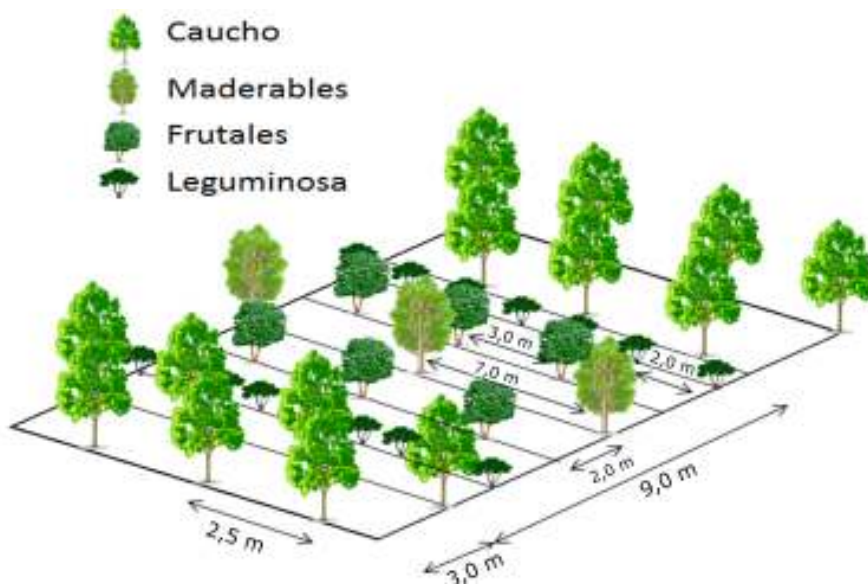


Figura 26. Esquema de sistema agroforestal de caucho con especies perennes y de ciclo corto.
Diagramas: Gutiérrez, A y Moreno, J.

Capítulo VIII Nutrición

Como todas las plantas, para completar su ciclo vital, el cultivo de caucho requiere 17 elementos esenciales e irremplazables. Son 3 no minerales (H, C, O), que toma del aire y el agua, y 14 minerales, necesarios para su crecimiento, los que obtiene del suelo en forma natural o agregada, como en el caso de los fertilizantes.

Son transportados por el sistema vascular, desde las raíces hasta las hojas, y se transforman, mediante procesos como la fotosíntesis, en sustancias indispensables para el funcionamiento de las células (B, N, Mg, P, S, Cl, K, Ca, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Mo,) (Compagnon, 1998; Barak, 1999).

En las hojas, los minerales son móviles o inmóviles, y por esta razón sus deficiencias aparecen en las hojas jóvenes (elementos inmóviles) o en las maduras (elementos móviles), ya que se pueden translocar de hojas viejas a jóvenes. Por la cantidad en que se consumen los nutrientes, se clasifican como elementos mayores (N, P y K), que se requieren en mayores cantidades (cmol kg^{-1}); secundarios (Ca, Mg y S) (cmol kg^{-1}), y menores (B, Cu y Zn), necesarios en pequeñas cantidades ($\mu\text{g g}^{-1}$). Generalmente, el requerimiento de Mo es considerado específico para algunas plantas.

Cada uno de estos nutrientes es esencial y, sin importar la cantidad necesaria, la insuficiencia o el desbalance de su concentración puede inducir síntomas visuales en las hojas, como decoloración, necrosis marginal, deformación, menor desarrollo, defoliación, crecimiento lento, baja producción, y menor capacidad para resistir el ataque de patógenos (Compagnon, 1998).

A partir de los estudios realizados por Shorrocks (1964) en plantas jóvenes sembradas en medios artificiales, los síntomas de la ausencia de nutrientes individuales se conocen de manera detallada. Cuando se presentan síntomas de deficiencias en un sistema productivo, se advierte que ya han producido efectos desfavorables en el crecimiento y la producción (Compagnon, 1998).

Elementos minerales móviles

Por elementos minerales móviles, se entienden aquellos elementos químicos, componentes de la fertilidad del suelo, que se distribuyen fácilmente por el suelo y se movilizan dentro de la planta.

Nitrógeno (N)

Necesario para el crecimiento y la producción del árbol, el nitrógeno hace parte de todas las moléculas orgánicas con proteínas y clorofila (Chacón, 2012). Es exportado en altas cantidades con la extracción del látex del árbol. Su deficiencia produce una clorosis general, y la disminución tanto del tamaño de la planta como del número de hojas.

En plantas jóvenes, las hojas son de un verde que va del pálido al amarillento, y cuando hay una deficiencia severa se vuelven amarillas en su totalidad. Los síntomas aparecen con mayor frecuencia en hojas completamente expuestas a la luz solar, y en menor proporción en aquellas expuestas a la sombra del dosel.

Por tratarse de un elemento móvil, los síntomas se dan primero en las hojas viejas, y en deficiencias muy agudas, también se desarrollan en las nuevas. En plantas adultas se puede presentar la reducción de tamaño de los pisos foliares superiores más recientes (figura 27a) (Compagnon, 1998; Reis & Silva, 2008).

Fósforo (P)

El fósforo es un elemento esencial en procesos como la fotosíntesis y la división celular, en el desarrollo de tejidos y en los procesos de síntesis y polimerización del látex (Compagnon, 1998; Escobar, 2004; Reis & Silva, 2008). En hojas viejas de plantas jóvenes los síntomas son fácilmente observables, como el bronceado desde la parte apical de la hoja, que se extiende hacia la mitad de esta, tomando un aspecto quemado y entorchado, similar al que tienen las hojas antes de la abscisión, aunque en esta etapa presentan colores amarillos y morados (figura 27b) (Compagnon, 1998; Reis & Silva, 2008).

Potasio (K)

Este macronutriente no hace parte de las moléculas o estructuras orgánicas, pero interviene en la síntesis de proteínas y carbohidratos (Reis & Silva, 2008). La deficiencia de potasio se manifiesta en el desarrollo de clorosis en el borde de la hoja, seguida por necrosis marginal en los ápices de las hojas maduras en los pisos foliares más bajos (más viejos) cuando se expone a la luz. Se diferencia de la deficiencia de magnesio en que la clorosis no es intervenal (figura 27c) (Compagnon, 1998; Reis & Silva, 2008).

Magnesio (Mg)

Su deficiencia causa la reducción del tamaño de las hojas y una clorosis intervenal (espacio entre las nervaduras centrales y laterales), que se desarrolla desde los bordes hacia el interior de las hojas, formando un diseño semejante a una espina de pescado en los pisos foliares inferiores de las hojas maduras, aunque aparece con mayor frecuencia en las más expuestas a la radiación solar (Figura 27d). Si la deficiencia de magnesio es aguda, el amarillamiento se torna severo y se produce la necrosis intervenal (Compagnon, 1998; Reis & Silva, 2008).

Molibdeno (Mo)

Las plantas deficientes de molibdeno se caracterizan por altas concentraciones de carbohidratos solubles, ácido ascórbico, algunos aminoácidos y la acumulación de nitrato en las hojas. La sintomatología se da a la altura media de los pisos foliares inferiores y se caracteriza por una quemazón de color café claro alrededor de los bordes de la hoja, principalmente en la región apical (figura 27e) (Reis & Silva, 2008).

Zinc (Zn)

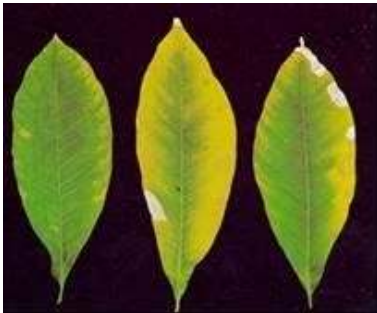
La deficiencia de zinc se observa principalmente en los pisos foliares superiores, y se caracteriza por el desarrollo de una lámina foliar más angosta que su longitud, y un entorchamiento con o sin bordes ondulados. En casos severos, puede presentarse una clorosis generalizada que afecta la viabilidad del meristemo apical, ya que promueve el desarrollo de meristemas axilares (figura 27f) (Reis & Silva, 2008).



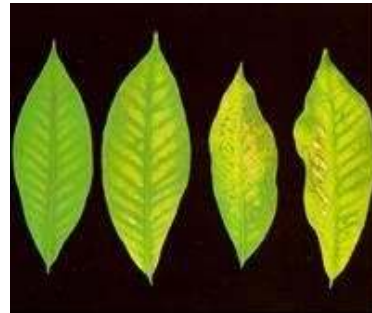
a. Nitrógeno (N)



b. Fósforo (P)



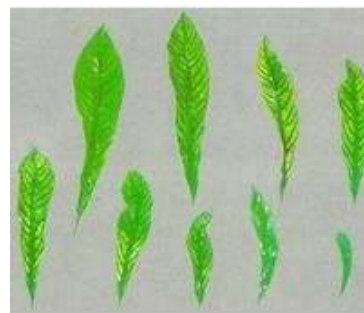
c. Potasio (K)



d. Magnesio (Mg)



e. Molibdeno (Mo)



f. Zinc (Zn)

Figura 27. Hojas de caucho con síntomas de deficiencia de elementos minerales móviles. a. Nitrógeno; b. Fósforo; c. Potasio; d. Magnesio; e. Molibdeno; f. Zinc. Cortesía: Bataglia, O.C. (2019)

Elementos minerales inmóviles

Se refiere a aquellos elementos cuya movilidad en el suelo es nula o muy limitada y deben entrar en contacto con las raíces, usualmente mediante incorporación mecánica o mediante labores de pre-siembra.

Calcio (Ca)

En suelos ácidos con exceso de aluminio, la deficiencia de calcio se manifiesta por el desarrollo de necrosis blanca o castaño claro en el ápice y los bordes de las hojas, principalmente de los pisos foliares superiores más nuevos (figura 28a), y puede presentarse el deterioro de la extremidad del tallo, la muerte de la yema terminal y una disminución considerable en el tamaño de la hoja (Compagnon, 1998; Reis & Silva, 2008).

Dependiendo del origen del clon, los requerimientos de Ca pueden variar. En el caso de RRIM 600, de origen asiático, los contenidos elevados se asocian con altas producciones, mientras que, en el clon americano FX 3864, esas altas concentraciones pueden disminuir la producción (Chacón, 2012).

Azufre (S)

El síntoma de su deficiencia se caracteriza por un amarillamiento gradual y uniforme de las hojas jóvenes en los pisos foliares superiores más recientes. Se diferencia de la escasez de nitrógeno por su ubicación en la planta y el desarrollo de una quemazón en la punta, que reduce el área foliar (figura 28b) (Reis & Silva, 2008). La aplicación de pequeñas cantidades de azufre y cobre en el clon RRIM 600 puede afectar el equilibrio del balance de nutrientes, lo que incide negativamente en su rendimiento (Chacón, 2012).

Boro (B)

La deficiencia de boro incide en los pisos foliares más nuevos y superiores de la planta, las hojas se vuelven quebradizas, su forma se distorsiona, se reduce su tamaño y en ocasiones las nervaduras pueden parecer más largas de lo normal, aunque sin perder su color (figura 28c). Cuando es severa, el meristemo apical puede morir y los axilares pueden desarrollarse cerca del ápice del tallo (Compagnon, 1998; Reis & Silva, 2008).

Cobre (Cu)

Los síntomas de deficiencia de cobre se observan en las hojas más nuevas, y se caracterizan por un marchitamiento en la punta y una quemazón de color café claro en gran parte de los bordes, que muchas veces se extiende por debajo de la lámina, lo que promueve la defoliación precoz. El desarrollo de brotes laterales se presenta en casos de deficiencia severa (figura 28d) (Compagnon, 1998; Reis & Silva, 2008).

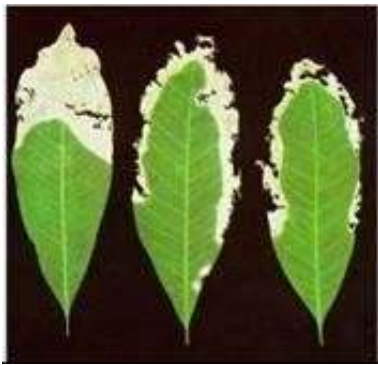
Hierro (Fe)

El hierro es esencial para la síntesis de clorofila. Su deficiencia se presenta porque no se encuentra en formas asimilables para la planta, o por una interacción antagónica con otros elementos, como el manganeso, altos contenidos de fósforo y un exceso de horas de luz (Compagnon, 1998; Reis & Silva, 2008).

Su deficiencia se manifiesta en clorosis generalizada, que inicia en hojas nuevas de los pisos foliares superiores. A medida que esta aumenta, las hojas registran un menor tamaño y una coloración amarillenta (figura 28e) (Compagnon, 1998; Reis & Silva, 2008).

Manganeso (Mn)

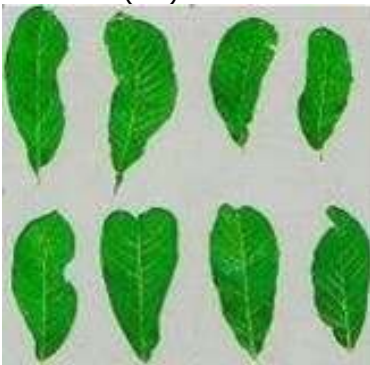
La deficiencia de manganeso causa síntomas como el aclaramiento global y el amarillamiento uniforme del limbo de las hojas, con tejidos de color verde que bordean las nervaduras principales y secundarias. Se desarrolla inicialmente en las hojas de la región media e inferior y, a medida que aumenta la severidad de la deficiencia, los pisos foliares superiores se pueden afectar. De igual manera, las hojas se tornan progresivamente más amarillas y con nervaduras más evidentes (figura 28f) (Compagnon, 1998; Reis & Silva, 2008).



a. Calcio (Ca)



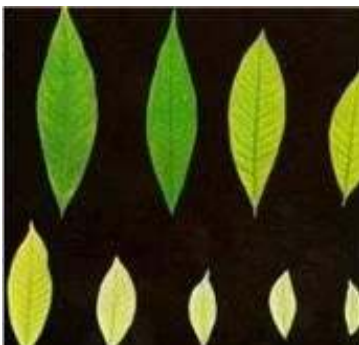
b. Azufre (S)



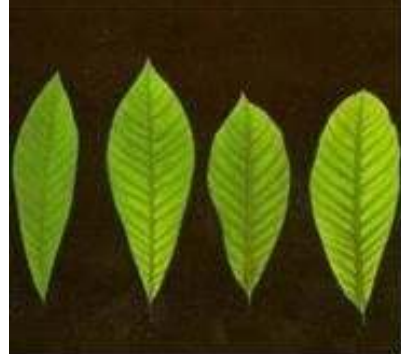
c. Boro (B)



d. Cobre (Cu)



e. Hierro (Fe)



f. Manganeso (Mn)

Figura 28. Hojas de caucho con síntomas de deficiencia de elementos minerales inmóviles. a. Calcio; b. Azufre; c. Boro; d. Cobre; e. Hierro; f. Manganeso. Cortesía: Bataglia, O.C. (2019)

Elementos móviles



a. Nitrógeno (N)



c. Fósforo (P)



e. Potasio (K)



g. Magnesio (Mg)

Elementos inmóviles



b. Calcio (Ca)



d. Boro (B)



f. Cobre (Cu)



h. Zinc (Zn)

Figura 29. Plantas de caucho con deficiencia de elementos minerales. a. Nitrógeno; b. Calcio; c. Fósforo; d. Boro; e. Potasio; f. Cobre; g. Magnesio; h. Zinc.
Cortesía: Bataglia, O.C. (2019)

Análisis foliar

La composición de elementos minerales de las hojas de las plantas de caucho es sensible a factores como la fertilidad del suelo, la época de lluvia y el material o clon utilizado. Por lo tanto, el diagnóstico de tejidos foliares proporciona las concentraciones de los elementos derivados del balance nutricional, en diferentes momentos del desarrollo y crecimiento de las plantas de caucho (tabla 12) (Compagnon, 1998).

Tabla 12. Descripción de los factores que afectan la composición de los elementos minerales

Posición de la hoja	<ol style="list-style-type: none"> 1. El contenido de N, P y K en plantas jóvenes es más alto en hojas del primer piso foliar, en comparación con las del segundo, y este comportamiento continúa en los siguientes ciclos foliares. 2. Las diferencias del contenido de Ca varían del más elevado, que se encuentra en el último piso, a niveles bajos en el primer piso foliar. 3. En los árboles adultos, las diferencias se manifiestan en las hojas que tienen la misma posición en las ramas, ya sea que estén expuestas a pleno sol o se encuentren a la sombra de la corona. 4. Por lo general, las hojas que están a plena luz presentan contenidos más elevados de N, P, K y Mg, y más bajos de Ca.
Material vegetal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cada clon presenta una composición, tanto de sus tejidos como de sus hojas. Se encuentran variaciones de K, N y Mg principalmente. 2. La concentración de los minerales también depende del vigor que le aporta el portainjerto a la planta.
Edad de las hojas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los contenidos de N, K y P disminuyen de manera progresiva hasta los diez meses de edad, mientras que los contenidos de Ca y Mn aumentan.

Fuente: Compagnon (1998)

Toma de muestras y análisis

La toma de muestras para el análisis foliar se debe realizar en árboles que representen el promedio del lote, y se debe continuar en las mismas plantas durante los años siguientes. Las hojas muestreadas deben estar sanas, en pleno desarrollo vegetativo y con su máxima actividad fotosintética, es decir, de aproximadamente 100 días de formación (90 a 120 días), dependiendo de la refoliación de cada clon (Pushparajah, 1994).

La toma de muestras debe ejecutarse en las horas de la mañana, evitando hacerlo durante y después de periodos de alta pluviosidad. Es necesario que las plantas seleccionadas pertenezcan al mismo clon, tengan la misma edad, se encuentren en lotes o parcelas con un suelo homogéneo y hayan sido sometidas a las mismas prácticas de manejo agronómico.

El número y la ubicación de las hojas destinadas para tomar las muestras varían de acuerdo con la edad de la planta (tabla 13) (Compagnon, 1998). De igual forma, el número de muestras está sujeto a la topografía del terreno: si el lote tiene una topografía quebrada, debe tomarse por lo menos una muestra por cada dos puntos de muestreo de suelo o unidad de suelo presente en el lote.

Tabla 13. Ubicación y cantidad de hojas destinadas para la toma de muestras con destino al análisis foliar

Plantas jóvenes	No ramificado	Se toman dos hojas maduras del último o el penúltimo piso foliar.
	Ramificado	Se toman de tres a cuatro hojas maduras del último o el penúltimo piso foliar de la rama más baja, que se encuentren preferiblemente a la sombra.
Plantas adultas	Se obtienen de tres a cuatro hojas, de ramas inferiores de los pisos foliares situados a la sombra de la corona.	

Fuente: Compagnon (1998); Chacón (2012)

Una vez se han recolectado las hojas, y antes de enviarlas al laboratorio, estas muestras deben ser preparadas retirando los peciolo, lavándolas levemente con agua limpia, envolviéndolas en papel *kraft* y secándolas a temperaturas entre 60 y 80 °C. Luego se empaican y se etiquetan con la ubicación, la edad de la planta, el clon y la fecha de recolección.

Según Pushparajah y Tan (1972), el análisis de los resultados se puede realizar de acuerdo con los niveles de referencia y los valores establecidos (tabla 14). Sin embargo, es conveniente conocer las experiencias de vecinos y asistentes técnicos locales.

Para plantaciones de caucho en la Orinoquia, los análisis foliares se pueden comparar con los resultados de un estudio presentado por Martínez (2012), en el cual se llevó a cabo un programa de fertilización (tabla 15) para cuatro clones, en suelos oxisoles durante 13 años (tabla 16).

Tabla 14. Concentraciones de nutrientes en las hojas de caucho

Nutriente	Nivel del nutriente			
	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
N (%)	<3,30	3,31-3,70	3,71-3,90	>3,91
P (%)	<0,19	0,20-0,25	0,26-0,28	>0,28
K (%)	<1,35	1,35-1,65	1,65-1,85	>1,90
Mg (%)	<0,20	0,20-0,25	0,26-0,30	>0,30
Mn (ppm)	<45	45-150	151-300	>300

Fuente: Pushparajah y Tan (1972)

Tabla 15. Fórmula base de fertilización para suelos oxisoles

Cantidad	Fuente						
	Urea	Superfosfato triple	KCl	MgO	Boro agrícola	Sulfato de zinc	Sulfato de cobre
gramos /árbol	60	30 ^a	60	10 ^b	2 ^c	5 ^d	5

^a A la siembra se aplican 500 g de roca fosfórica/plántula. No se debe usar fosfato diamónico (DAP), ya que desarrolla antagonismos con la absorción de zinc, en especial en el clon FX 3864; ^b A pesar de que se utiliza en el correctivo, es necesario aplicarlo, por competencia catiónica con el calcio; ^c Presenta peligro de intoxicación si se aplican cantidades mayores. Si se usa tetraborato de sodio pentahidratado (20-22 % de B), se emplea la mitad de la dosis; ^d Su alto costo impide que se aplique de forma regular, por consiguiente, es necesario conseguir otra fuente más económica. Fuente: Martínez (2010)

Tabla 16. Resultados de análisis foliares

Clon	Nutriente								
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	B
	%							ppm	
FX 3864	3,65	0,30	1,37	1,43	0,23	0,23	13	47	49
IAN 710	3,73	0,29	0,97	1,54	0,39	0,22	15	27	53
PB 260	4,19	0,33	1,53	1,12	0,30	0,33	13	41	63
RRIM 600	4,22	0,39	1,53	1,42	0,25	0,35	14	19	53

Fuente: Martínez (2010)

Capítulo IX

Manejo de malezas

El manejo de malezas implica labores que se llevan a cabo particularmente en las fases de establecimiento del cultivo y los estados juveniles hasta el cierre de copa. Además, algunas de las especies de malezas son hospederas de insectos plaga y de agentes patógenos; también se reconocen fenómenos de alelopatía negativa, como la observada entre las especies de *Brachiaria* spp. y el árbol de caucho (Compagnon, 1998; Martínez, 2007).

En la altillanura, el manejo de malezas durante el establecimiento de plantaciones en la sabana nativa puede ser relativamente simple. Sin embargo, el manejo se torna más exigente una vez que se ha mejorado el suelo mediante el encalado o la fertilización de cultivos previos, o si proviene de pasturas mejoradas con cobertura de *Brachiaria* spp.

En el piedemonte o en el Magdalena Medio, es necesario ser cuidadoso con el manejo de malezas, ya que la mejor distribución de las lluvias y la fertilidad de los suelos conduce a una probabilidad más alta de enfrentarse a una mayor diversidad de especies de malezas (Martínez, 2007).

Etapas del cultivo del caucho y su manejo

De acuerdo con el estado del cultivo del caucho, durante las etapas de propagación, preestablecimiento y plantación el uso de prácticas de control de malezas dependerá de factores como la topografía del terreno, la densidad, la distribución y las especies de malezas.

Etapas de propagación

El manejo de malezas en los jardines clonales y el vivero consiste principalmente en el desyerbe manual o mecánico, acompañado de herbicidas, preferiblemente de contacto. Estos últimos se aplican solo cuando los controles culturales no son suficientes y la corteza de la planta se torna marrón. Además, hay que tener en cuenta el tipo de maleza presente y su porcentaje de cobertura.

Por otro lado, el control químico se puede realizar con un selector de arvenses, si se hacen aplicaciones localizadas. Si la aplicación es total (plato y calle), se deben hacer aspersiones, usando pantallas y boquillas antideriva, con una correcta calibración (Rivera, 1994). De acuerdo con Escobar (2004), cuando en

1 m² alrededor de una planta de caucho las malezas ocupen dos tercios (66 %) del área evaluada, se puede considerar un umbral de acción.

Rivera (1994) afirma que el selector de arvenses desarrollado por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé) constituye una herramienta útil, que promueve el establecimiento de arvenses nobles o malezas de interferencia baja, y propone hacer un uso racional y eficiente de herbicidas sistémicos postemergentes en las especies de malezas, de forma selectiva.

El equipo se construye con tubería de PVC de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro, formando una "T" con perforaciones en el brazo horizontal, que permiten la aplicación de herbicida con un flujo de 450 cm³/h (Figura 30) (Rivera, 2000).

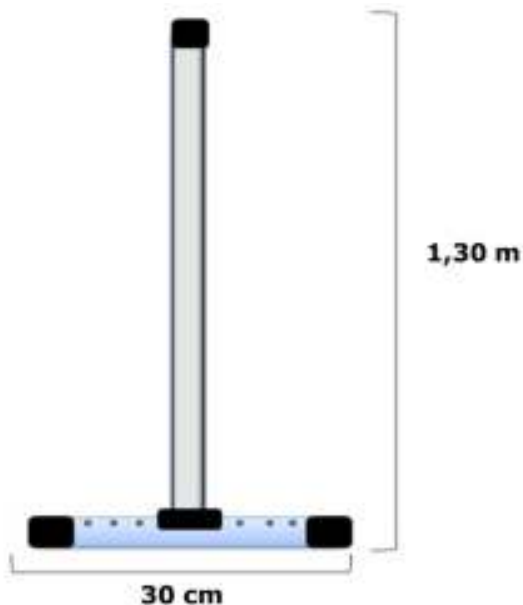


Figura 30. Esquema diagramático del selector de arvenses.
Diagrama: Martínez, A. (2007)

Etapa de preestablecimiento

El manejo de arvenses en el preestablecimiento en el sitio definitivo depende de las malezas presentes y del sistema de cultivo que se vaya a implementar, ya sea monocultivo o agroforestal (Martínez, 2007) (tabla 17).

Tabla 17. Labores para el manejo de malezas, previas al establecimiento del cultivo

Sistema de cultivo	<i>Brachiaria</i> sp.	Sabana nativa
Monocultivo	Se elimina usando glifosato. En el rebrote de semillas, se realizan aplicaciones de glifosato en los parches que se presenten. Se establece una cobertura.	Si se planea establecer el cultivo en el comienzo del periodo de lluvias, se hace un control de malezas inicial con una rastra, a finales del año anterior, antes de que termine el periodo de lluvias, cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo. Inmediatamente después, se pueden aplicar las enmiendas al suelo. Esto hace que las arvenses rebroten, creando una cobertura viva, que protege el suelo durante el verano.
Agroforestal	Se realizan controles según la especie de interés asociada y el tipo de malezas. Se establece una cobertura en las calles.	Antes de comenzar el trazo y la siembra de las plantas de caucho, los cultivos asociados, las prácticas agroforestales o el uso de coberturas en monocultivo, se hace un pase con la desbrozadora. Una vez que esté seco, el material se incorpora al suelo. Si las malezas persisten en el sitio de siembra, se puede hacer un plateo con herbicida, y posteriormente se siembra la planta de caucho.

Fuente: Elaboración propia basado en Martínez (2007)

Etapa de plantación

Las labores culturales de manejo de malezas inician con la limpieza de las calles y los respectivos plateos en cada una de las plantas, con el fin de facilitar otras labores, como la fertilización y el manejo fitosanitario. Una vez que las plantas de caucho tienen más de tres pisos foliares, se realiza la labor de plateo de forma manual, por medio de guadañas o machetes, cortando las malezas a menos de 10 cm. Conviene considerar que cualquiera de las estrategias nombradas debe favorecer el desarrollo de malezas nobles, que no afecten el árbol y protejan al suelo de la erosión (Escobar, 2004).

Por otro lado, cuando existen altas incidencias de diferentes especies de malezas, se hace necesario el uso de una dosis adecuada de herbicidas, usando un selector de arvenses o por aspersiones. Entre los herbicidas más usados se encuentran Gramoxone, Finale y Diuron, con dosis cercanas a 2 litros por hectárea (Escobar, 2004).

Es recomendable que la labor de plateo se haga regularmente hasta el sexto año de la plantación. Para ello se realizan círculos de 1 m de diámetro alrededor del árbol y de su copa, zona que se amplía después de que el árbol alcanza su edad

adulta y se cierran las copas. La sombra proyectada disminuye el crecimiento de malezas, principalmente de las gramíneas (Martínez, 2007).

Coberturas

El uso de coberturas de leguminosas tiene múltiples propósitos para las plantaciones de caucho en todas las etapas del cultivo. Su uso principal es reducir el desarrollo de coberturas previas o malezas, como la sabana nativa y pasturas introducidas, principalmente del género *Brachiaria*, así como combatir la infestación de arvenses en plantaciones jóvenes, que podrían ser hospederos de plagas y enfermedades, y competir efectivamente con el desarrollo del árbol.

Las coberturas vivas contribuyen directamente a la conservación del suelo, aumentando su fertilidad, mediante la incorporación de la abundante biomasa producida, reciclando e incorporando nutrientes, y promoviendo la macrofauna del suelo, al mismo tiempo que controlan la erosión (figura 31).

Una cobertura bien establecida y permanente se traduce en un ahorro significativo en el uso de herbicidas o desyerbas mecánicas, un aumento del contenido de materia orgánica y el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo (C. Castilla [comunicación personal], 2014).



Fotos: Anibal L. Tapiero

Figura 31. Coberturas asociadas al sitio definitivo. a. Lote con arvenses detrimentales o enmalezado. b. Cobertura con *Mucuna bracteata*.

Según Compagnon (1998), las plantas que se requieren para este fin, por lo general son leguminosas con diferentes tipos de crecimiento, que deben cumplir con los siguientes requisitos:

1. Facilitar el control de las malezas dominantes en la zona.
2. Generar un sistema radicular que permita un buen anclaje del suelo, pero que no interfiera por competencia con el sistema radicular de las plantas de *Hevea*.
3. Aportar nutrientes al suelo.
4. Ser persistente incluso con un bajo suministro de luz, o resistente a la sombra, que le permita crecer después del cierre de las copas, durante los más de 30 años de etapa productiva del caucho.
5. No ser hospedero de plagas o inóculo de enfermedades.
6. Producir una rápida y eficaz ocupación de la superficie del suelo en el establecimiento.
7. Ser resistente al tráfico.
8. Poseer facilidad de manejo.

Las leguminosas más utilizadas disponibles en Colombia son el kudzú tropical (*Pueraria phaseoloides*), el maquenque (*Desmodium heterocarpon* CIAT 13651), el maní forrajero (*Arachis pintoii*), la mucuna (*Mucuna bracteata*) y las centrocebas, que presentan persistencia y un buen comportamiento bajo la sombra (tabla 18) (Pérez et al., 2002; Martínez, 2007).

A partir del año 2008, se ha venido introduciendo la *Mucuna bracteata* (mucuna), originaria de la India, que se caracteriza por un fácil establecimiento, una alta producción anual de biomasa (8 a 10 tha^{-1} , en comparación con 2 a 3 tha^{-1} del kudzú) y tolerancia a la sombra (figura 32).



Foto: Alfonso Martínez

Figura 32. Plantaciones de caucho con diferentes tipos de cobertura. a. Con *Brachiaria* sp.; b. Sin cobertura; c. Plantaciones adultas con maquenque; d. Plantaciones adultas con kudzú.

Tabla 18. Leguminosas más utilizadas como coberturas en caucho

Nombre	Ventajas/ Desventajas	Densidad
Kudzú <i>Pueraria phaseoloides</i>	<p>Ventajas: Es una especie invasora voluble, que se propaga fácilmente y tiene alta eficiencia como cobertura aportando materia orgánica al suelo. La semilla es de bajo costo y fácil consecución.</p> <p>Desventajas: puede llegar a estrangular el tronco de los árboles al endarse en estos. No es tolerante a la deficiencia de agua por largos periodos y se fácilmente incendiable.</p>	2-3 kg
Mucuna <i>Mucuna bracteata</i>	<p>Ventajas: Es una especie invasora voluble, que se propaga fácilmente y aporta materia orgánica al suelo. Es tolerante a la sequía y al sombrero.</p> <p>Desventajas: Es una enredadera de rápido crecimiento y por tanto se requiere un manejo y control rigurosos, para no afectar la plantación de caucho.</p>	550 plantas
Maquenque <i>Desmodium heterocarpum</i> CIAT 13651	<p>Ventajas: Es una planta invasora, rastrera no voluble, produce alta cantidad de semillas y se propaga fácilmente y tiene alta eficiencia como cobertura aportando materia orgánica al suelo. La semilla es de bajo costo y fácil consecución. Es tolerante a la aplicación de herbicidas.</p> <p>Desventajas: Al ser rastrera puede ser hospedera de algunos géneros de nematodos. Las plantas pueden morir en algunos lugares, pero se recupera por su propia semilla.</p>	1-3 kg
Centrocemas <i>Centrosema molle</i> y <i>Centrosema macrocarpum</i>	<p>Ventajas: Es una especie invasora voluble que se propaga fácilmente, tolerante a la sequía y a la sombra, fácil manejo.</p> <p>Desventajas: Tiende a enredarse en los troncos de los árboles. Es afectada por crisomélidos.</p>	2-3 kg
Maní forrajero <i>Arachis pintoi</i>	<p>Ventajas: Es una planta invasora, rastrera no voluble de fácil propagación, porte bajo y tolerante a la sombra.</p> <p>Desventajas: Baja tolerancia a la sequía. Bajo aporte de materia orgánica.</p>	

Fuente: Asoheca (2009)

Capítulo X

Enfermedades más importantes del cultivo del caucho

Se han identificado aproximadamente 40 enfermedades que afectan a los cultivos comerciales de caucho. Sin embargo, son alrededor de doce las enfermedades que representan una importancia económica; causadas principalmente por hongos y oomicetos, estas pueden clasificarse de acuerdo con la parte del árbol que colonizan y afectan inicialmente.

En tal sentido, se consideran y describen enfermedades foliares del tallo y de la raíz. En términos generales, su mayor incidencia ocurre durante las temporadas de lluvia, con humedad relativa, nivel freático y penumbra elevados, además de las condiciones de susceptibilidad y receptividad del hospedero.

Enfermedades foliares

Son las enfermedades más importantes en los cultivos de caucho a escala global y, particularmente, en Centroamérica y Suramérica. Entre estas se destaca el mal suramericano de la hoja del caucho o SALB (por las siglas en inglés de South American Leaf Blight), que constituye la causa principal del bajo porcentaje de área sembrada con caucho en la zona neotropical, en comparación con la de los países asiáticos.

Le siguen las afecciones causadas por *Colletotrichum* spp. en hojas, pedúnculos y ramas, que no solo ocasionan lesiones, sino que además provocan la caída de hojas, causan una reducción del área fotosintetizadora de las plantas e inducen la refoliación de los árboles durante épocas con condiciones propicias para el desarrollo del SALB. La costra negra es otra enfermedad común en hojas adultas en las áreas con caucho, que reduce el área foliar fotosintéticamente efectiva.

Mal suramericano de las hojas del caucho

Esta enfermedad es causada por el hongo ascomiceto *Microcyclus ulei*, actualmente incluido dentro de la familia Mycosphaerellaceae (Montoya et al., 2008; Da Hora-Junior et al., 2014), y es considerada una de las cinco enfermedades más agresivas en cultivos comerciales (García, Aristizábal, & Montoya, 2006).

El patógeno solo afecta especies del género *Hevea*, y es endémico en Centroamérica y Suramérica. Las afecciones sobre hojas jóvenes causan defoliaciones sucesivas de los árboles (Tapiero et al. 2017), hasta ocasionar la muerte descendente de los árboles, en clones muy susceptibles (Figura 33). En algunos casos, se reportan pérdidas de hasta el 50 % en la producción de látex (Chee & Holliday, 1986; García et al., 2006).



Fotos: Aníbal L. Tapiero

Figura 33. Árboles con afección severa por *Microcyclus ulei*.

La generación de epidemias letales depende de condiciones de humedad relativa superior al 85 %, y de la formación de películas de agua sobre las hojas en el estadio B (entre 4 y 9 días, coloración parda-rojiza) o C (10 a 15 días), durante gran parte del año. El principal síntoma de la enfermedad es el estado asexual del hongo denominado *Fusicladium heveae*, y cuando las hojas se encuentran en el estadio B se forman lesiones de color gris oscuro cargadas con conidias, y se produce la deformación de limbos y la caída de las hojas.

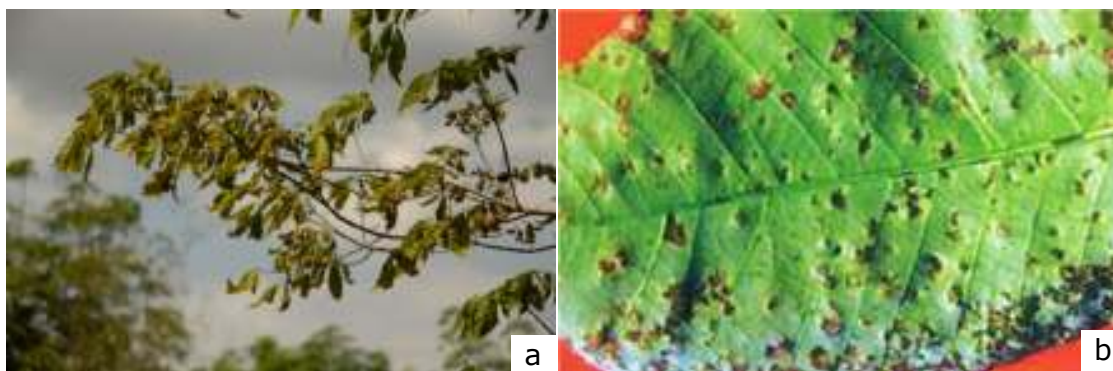
Cuando los folíolos están en estadio C, la deformación en los limbos es menor, y por lo general los folíolos no se caen, pero en su envés se forman lesiones de hasta 2 cm de diámetro, de color gris o verde olivo, con un aspecto aterciopelado, en las cuales se forman las conidias (figura 34).



Fotos: Aníbal L. Tapiero

Figura 34. Foliolos deformados con lesiones esporuladas de *Pseudocercospora ulei*, estado imperfecto de *Microcyclus ulei*. a. Estado B – C. b. Estado C – D.

En el estadio D, en el haz de la hoja donde se presenta la lesión aparece una mancha clorótica translúcida. Con el endurecimiento de las hojas, su apariencia aterciopelada se pierde y su coloración se torna café (Compagnon, 1998). Cuando se cumple un mes de la infección de la planta, se observa la formación de estructuras estromáticas (ascosporos), que se tornan masivas y duras al tacto semejando textura de lija (figura 35). Estos síntomas se mantienen en las hojas maduras, hasta su caída natural (Gonçalves et al., 2001).



Fotos: Aníbal L. Tapiero

Figura 35. Afección de SALB en hojas en estado D. a. Planta; b. Lesiones estromáticas de *Microcyclus ulei* (textura de lija).

El principal manejo de esta enfermedad consiste en establecer los cultivos comerciales en zonas denominadas de escape, en las cuales las condiciones climáticas no favorecen el desarrollo de epidemias. Actualmente, se buscan alternativas de manejo, siendo la principal el uso de clones con algún tipo de resistencia a la enfermedad.

Sin embargo, debido a la alta variabilidad fisiológica de *P. ulm*, el comportamiento de los árboles frente a la enfermedad varía de una región a otra (Montoya et al., 2008). Se advierte que el manejo químico permite controlar la enfermedad en el nivel de jardín clonal y vivero, pero que se hace demasiado costoso cuando se trata de una plantación (tabla 19).

Las condiciones más adecuadas para el desarrollo de la enfermedad son las de humedad relativa superior al 95 %, al menos por 10 horas consecutivas durante 12 noches, con un rango de temperatura entre 21 °C y 28 °C (Garzón, 2000; Jaimes & Rojas, 2011; Torres, 1999). No obstante, durante periodos húmedos prolongados, con una humedad relativa superior al 85 % y una temperatura por encima de 18 °C, es común encontrar incidencia de la enfermedad en folíolos jóvenes, en viveros y plantaciones (Furtado, 2008).

Por otro lado, se sugiere disminuir la densidad de siembra en zonas de no escape al patógeno, para mejorar la circulación del aire, así como secar más rápidamente la humedad por lluvia o rocío. Además, se debe realizar la fertilización durante toda la vida del árbol, con el fin de mantener plantas vigorosas y menos susceptibles al ataque de este hongo y otros patógenos (Rincón, 2012).

De cualquier manera, es apropiado utilizar la mayor diversidad posible de material genético disponible para la zona. Se recomienda disponer de, por lo menos, tres clones en plantaciones de hasta 5 ha, cuatro entre 6 y 20 ha, cinco entre 21 y 60 ha, y así sucesivamente, hasta diez clones en plantaciones mayores a 400 ha (Gonçalves et al., 1991).

Tabla 19. Tratamiento químico para las enfermedades más importantes del árbol de caucho

Enfermedad (patógenos) Localización anatómica	Fungicidas Nombre técnico (principio activo)
Mal suramericano de la hoja (<i>P. ulei</i>) - Hojas	Benomil, Carbendazim, Tiofanato metílico, Mancozeb, Triadimefon, Triadimenol, Triforine, Propiconazol, Clorotalonil y Fenarimol
Requema o caída tardía (<i>Phytophthora</i> spp.) - Hojas	Metalaxil + óxido cuproso, Metalaxil + mancozeb, Dodina, Cymoxanil + maneb + sulfato de zinc, Cúpricos, Metalaxil + mancozeb + dodina y Cymoxanil + maneb + sulfato de zinc + dodina
Mancha aerolada (<i>Thanatephorus cucumeris</i>) - Hojas	Triadimenol y Cúpricos
Antracnosis (<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>) - Hojas	Cúpricos y Clorotalonil
Costra negra (<i>Phyllachora huberi</i>) - Hojas	Cúpricos y Benomil
Mancha de corynespora (<i>Corynespora cassicola</i>) - Hojas	Benomil
Ojo de pájaro, perdigón (<i>Drechslera heveae</i> , <i>Helminthosporium heveae</i>) - Hojas	Clorotalonil
Antracnosis del panel (<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>) - Fuste	Clorotalonil y Clorotalonil + tiofanato metílico
Raya negra o chancro estriado (<i>Phytophthora</i> spp.) - Fuste	Metalaxil + mancozeb, Cymoxanil + maneb + sulfato de zinc, Dodina y Captan
Moho ceniciento (<i>Ceratocystis fimbriata</i>) - Fuste	Benomil, Tiofanato metílico, Carbendazim, Tiabendazol y Dodina
Rosalina (<i>Corticium salmonicolor</i>) - Fuste	Tridemorf
Muerte descendente o chancro del injerto (<i>Lasioidiplodia theobromae</i>) - Fuste y hojas	Cúpricos y Captan
Pudrición roja (<i>Ganoderma philippii</i>) - Raíces	Tridemorf
Pudrición parda (<i>Phellinus noxius</i>) - Raíces	Tridemorf
Pudrición blanca (<i>Rigidoporus lignosus</i>) - Raíces	PNCB (pentacloronitrobenceno)

Fuente: Tapiero et al. (2017)

Antracnosis

La antracnosis (caída de hojas por *Colletotrichum* [CLF]) es causada por diferentes especies del hongo ascomiceto *Colletotrichum* spp. A partir de la reciente organización dentro de complejos de especies, las principales que

afectan el caucho corresponden a *C. gloeosporioides*, *C. acutatum* y *C. boninense*.

La afección se caracteriza por la aparición de lesiones en las hojas y su posterior caída, la muerte de las inflorescencias y el secamiento de la yema terminal. Al igual que en el SALB, la expresión de los síntomas varía de acuerdo con el estado de desarrollo de la enfermedad y de los tejidos foliares infectados (Guevara y Tapiero, 2017; Tapiero y Díaz, 2017).

Durante los estadios juveniles de las hojas, la incidencia de la enfermedad ocasiona la degradación de los tejidos subcuticulares, tanto de la epidermis foliar como de los peciolo y pedúnculos, que provoca su desintegración. Cuando los folíolos alcanzan una edad de entre 10 y 12 días, se observan lesiones circulares en forma de vesículas que emergen de la superficie con apariencia traslúcida.

Con el tiempo, con el desarrollo a estado adulto, las lesiones se van tornando de verde amarillento a marrón rojizo. El tejido foliar pierde completamente su constitución, lo que ocasiona el desprendimiento del área delimitada por las hojas y les da una apariencia agujereada o de lesión en forma de perdigón (Castro et al., 2019; García et al., 2006).

Luego se produce arrugamiento, deformación, rompimiento de los tejidos y defoliación. Cuando la enfermedad avanza hacia los estadios maduros de las hojas, se puede observar la formación de lesiones oscuras, necróticas y con depresiones del tejido en pedúnculos y ramas.

A la postre, las infecciones de estos órganos ocasionan de nuevo caída de hojas, muerte descendente de peciolo, ramas y plantas, e incluso afecciones en flores y frutos jóvenes. Las lesiones en las flores provocan su pérdida, en los frutos forman rajaduras y pudriciones, y en el panel de sangría se observan lesiones longitudinales al tronco, de color marrón rojizo.

Los primeros síntomas se manifiestan en folíolos jóvenes en viveros, jardines clonales y plantaciones, durante el periodo de refoliación. Inicialmente, se observan lesiones de color marrón rojizo, que en condiciones propicias coalescen, dañando grandes áreas de los folíolos, y causando su deformación (Figura 36). En los peciolo y ramas, se observan lesiones oscuras con aspecto necrosado y formación de depresiones. Los ataques severos causan la defoliación y muerte descendente de la rama.

En condiciones de alta humedad, en todas las lesiones se observa una gran producción de esporas de color salmón, muy característico de la enfermedad. Las

condiciones ambientales que la favorecen corresponden a temperaturas alrededor de los 21 °C, humedad relativa del 90 % y periodos lluviosos. La diseminación del patógeno se da principalmente por la lluvia (Gonçalves et al., 2001).



Fotos: Aníbal L. Tapiero

Figura 36. Antracnosis. a. Afección severa en campo (estadios C y D); b. Síntomas característicos de la enfermedad.

El control debe ser efectuado preventivamente en el vivero y el jardín clonal, con fungicidas a base de cobre (tabla 19). Estudios realizados en Malaysia han demostrado la alta susceptibilidad de clones como RRIM 600, RRIM 701, PB 86 y GT 1, y una mayor resistencia de clones como RRIM 501, PR 107, TJIR 1 y RRIM 6628.

La antracnosis también puede presentarse en el panel de sangría en forma de lesiones secas y deprimidas con forma elíptica, localizadas por encima del corte de sangría. También se reporta la presencia de tejidos encharcados y de coloración oscura en la región cambial, acompañados de estrías longitudinales.

Para el control, se recomienda hacer pincelamientos o pulverizaciones con suspensiones de fungicidas como clorotalonil, clorotalonil + tiofanato metílico y benomilo (tabla 19), aplicados semanalmente (Furtado, 2008), y teniendo en cuenta que para la especie *C. acutatum* la dosis es mayor (Jayasingue & Fernando, 1998).

Costra negra

Esta enfermedad, causada por los hongos *Phyllachora huberi* y *Rosenscheldiella heveae*, es considerada la primera enfermedad del caucho identificada en la Amazonia en árboles nativos. Afecta a folíolos maduros, y en ataques severos causa defoliación precoz en el envés de los folíolos, en los cuales se caracteriza por la formación de costras redondeadas de color negro, que le dan la apariencia

de carbón, y que terminan en resecamiento, rompimiento y abscisión (Sterling et al., 2014) (figura 37).

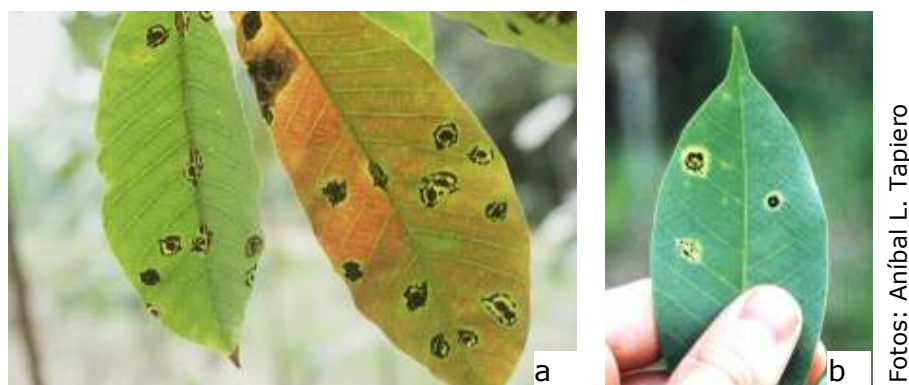


Figura 37. Costra Negra. a. y b. Foliolos en estadio D con signos y síntomas característicos (*Phyllachora huberi*).

El control de este complejo de hongos se da naturalmente por hiperparásitos como *Cylindrosporium* sp. y *Dicyma pulvinata*. Se recomienda el uso de triadimefon, que reduce la incidencia de la enfermedad.

Mancha aerolada

Es causada por el hongo basidiomiceto *Thanatephorus cucumeris* y su estado imperfecto o asexual es el hongo *Rhizoctonia solani*. Inicialmente, la infección se presenta en los folíolos en los estadios B y C, en los que se observan gotas de látex en el envés, que se coagulan y oxidan, tomando una apariencia oscura y oleosa.

Después de una semana, la zona inicial de la infección es rodeada por un halo clorótico, con micelio de aspecto blanquecino. En folíolos maduros, aparecen grandes manchas cloróticas, alternadas con manchas necróticas en areolas (figura 38) (Furtado, 2008).

Las condiciones climáticas que la favorecen corresponden a humedades relativas altas y temperaturas entre 20 y 25 °C, lo que coincide con periodos lluviosos; cuando hay una menor pluviosidad, la incidencia se ve ampliamente reducida.

Algunos materiales presentan una resistencia moderada, como IAN 6158, PA 31, CNSAM 7807 y IAN 6486, pero algunos de ellos tienen una baja productividad (Gonçalves et al., 2001). Se recomiendan fungicidas cúpricos en los jardines

clonales y el vivero; en época lluviosa se requiere una cantidad importante de pulverizaciones (tabla 19).



Foto: Alfonso Martínez

Figura 38. Foliolos en estadio D, con signos y síntomas de mancha aerolada

Requema o caída tardía de las hojas (*Phytophthora* spp.)

Es causada por diferentes especies del oomiceto *Phytophthora*, como *P. capsici*, *P. palmivora* y *P. citrophthora*, que pueden afectar todos los órganos de la planta, causando requema y caída anormal de las hojas, pudrición de frutos, así como chancros en el panel de sangría (raya negra) y basales en el injerto en plántulas de vivero (Furtado, 2008).

Phytophthora spp. puede afectar el vivero, el jardín clonal y el plantío definitivo. Las lesiones inician en las brotaciones nuevas de hasta dos semanas de edad. Del vástago a la base de los peciolos y las láminas foliares se pueden observar lesiones acuosas con exudación de látex, que llevan a la deshidratación de las brotaciones. Se genera epinastia de los foliolos, enrollamiento, necrosamiento y apariencia de haber sido quemados por el fuego (figura 39).

En condiciones favorables, ocurre un secamiento de los punteros, y se extiende a las ramificaciones hasta el tronco, alcanzando la corteza y ocasionando una exudación intensa de látex. La caída anormal de las hojas solo ocurre en plantaciones adultas, en periodos de mucha lluvia. En el caso del chancro del injerto, ocurre un anillamiento del tejido infectado y la muerte de la parte aérea (Furtado, 2008).



Foto: Aníbal L. Tapiero

Figura 39. Requema por *Phytophthora* sp.

La enfermedad se ve favorecida por una alta humedad relativa, una temperatura leve y precipitaciones durante varios días. Los síntomas desaparecen totalmente en los periodos más secos del año (Furtado, 2008). En viveros y jardines clonales, se recomiendan pulverizaciones semanales en épocas lluviosas, y quincenales en época seca, alternando fungicidas a base de metalaxil y óxido cuproso (tabla 19).

Mancha de corynespora

Es causada por el hongo imperfecto *Corynespora cassiicola*, que es necrotrófico y produce la toxina denominada casicolina. Se considera que ha sido la causante de pérdidas en un 20 % de la producción de Asia y África, y se presenta tanto en el vivero y el jardín clonal como en la plantación definitiva.

Los síntomas en el vivero y el jardín clonal corresponden a manchas anfégenas de 1 a 8 mm de diámetro en las hojas. Cada una de ellas muestra una coloración blanca-traslúcida, con apariencia apergaminada en el centro, rodeada en los márgenes por un anillo café y un halo amarillo (Jacob, Srinivas, & Roy, 2006). Las manchas mayores de las venas, muchas veces en la parte central, se rompen. En hojas jóvenes, se produce el secamiento de las puntas, y en ataques severos se observa el secamiento de toda la lámina foliar.

Durante periodos secos, la defoliación de las hojas superiores jóvenes y el secado de la porción terminal son comunes, y las defoliaciones consecutivas conducen al retraso en el desarrollo de las plantas. Esta enfermedad se presenta inmediatamente después de la refoliación, pero puede persistir incluso luego, ya que las epidemias se ven favorecidas por los periodos secos.

En árboles adultos, en un principio se observan los mismos síntomas descritos en los jardines clonales y el vivero. El síntoma típico, descrito como la apariencia de vías férreas o patrón de espina de pescado, solo se presenta en los clones RRIC 103, RRIC 52, RRIM 600, IAN 873, RRIM 725 y aquellos de la serie RRIM (plántulas en viveros) (Jacob et al., 2006).

El manejo químico es eficiente (tabla 19), así como el que se hace con benzothiadiazole (BTH) (inductor de resistencia sistémica adquirida), el cual ha mostrado buenos resultados para el control de antracnosis y oídio. Su uso en combinación con fungicidas aumenta su eficacia (Jacob et al., 2006).

Mancha de perdigón

También denominada mancha ojo de pájaro, esta enfermedad es causada por el hongo *Drechslera heveae*. Se ha reportado en todas las regiones donde se cultiva el caucho, pero solo en Asia tiene importancia económica. Las hojas más susceptibles se encuentran en los estadios B y C, y su principal síntoma consiste en numerosas manchas pequeñas, con márgenes cafés y centro blanco, y con una textura apergaminada (Compagnon, 1998).

En pocas ocasiones causa defoliaciones, aunque ataques severos pueden producir retraso del crecimiento vegetal, muerte descendente y de árboles maduros, y una reducción en la producción del látex en plantaciones adultas (Jaimes & Rojas, 2011).

Enfermedades del tallo (fuste) y el panel de sangría

Chancro del injerto y de la corteza

Es causado por el hongo *Lasiodiplodia theobromae* (*Botryodiplodia theobromae*); se trata de un parásito débil y oportunista. No posee capacidad de penetración, por lo cual aprovecha lesiones como los cortes en la corteza para la injertación, o aquellos provocados por los deshierbes.

Los síntomas aparecen poco a poco, y en la región de la lesión se observa la formación de pústulas (figura 40a). Inicia como un oscurecimiento de la corteza, la cual muere lentamente, causando un secamiento (figura 40b) y un desprendimiento fácil, lo que puede afectar grandes porciones del tronco. Al final, causa anillamiento y puede ocasionar la muerte.

En plantas sanas inoculadas, se verificó que el patógeno avanza internamente por el tejido cambial, ya que se encontraron estrías ennegrecidas a 25 cm de longitud a partir del sitio de inoculación (SAA, 1999).



Fotos: Aníbal L. Tapiero

Figura 40. Síntomas de *Lasiodiplodia theobromae* en raíz y base del tronco a. Vista caulinar b. Vista basal.

Mal rosado o rubeola

Es causado por el hongo *Corticium salmonicolor*, que afecta a un gran número de especies, y sus esporas son diseminadas por el viento y la lluvia. Por lo general, la infección se inicia en las axilas de las ramas, luego se observa un revestimiento rosado en el área de la lesión, correspondiente a la estructura del hongo (figura 41), y finalmente ocurre un anillamiento de la corteza, que ocasiona la muerte de las ramas (SAA, 1999).

C. salmonicolor se ve favorecido por la alta pluviosidad y requiere luz. Su aparición es nociva sobre todo entre los tres y siete años anteriores al cierre de las copas, debido a que la mayor parte de la corona, o incluso su totalidad, se pierden, los árboles quedan raquíuticos y por lo general no entran en explotación (Compagnon, 1998). Para su manejo, el tridemorf y el clorotalonil son eficientes.



Foto: Aníbal L. Tapiero

Figura 41. Signos y síntomas de una rama afectada por *Corticium salmonicolor*.

Mal del machete

Esta enfermedad es causada por el hongo *Ceratocystis fimbriata*, y se presenta en las regiones donde la humedad del ambiente es constante, sobre todo en las partes bajas de las plantaciones con mantenimiento deficiente. El hongo solo afecta la corteza recientemente rayada.

Los primeros síntomas de la infección se caracterizan por pequeñas manchas de colores que aparecen por encima del corte, luego se ennegrecen y se recubren de un moho gris blancuzco. Los puntos afectados se unen, formando una banda continua, paralela al corte, en la cual el tejido de la corteza se destruye totalmente por pudrición.

La madera es afectada de manera superficial, lo cual permite controlar la enfermedad con bastante facilidad, mediante la aplicación de fungicidas con brocha o por pulverización (tabla 19). Las medidas para controlar o evitar esta enfermedad son iguales a las empleadas para la raya negra (calidad del rayado y desinfección de cuchillas, entre otras), con un adecuado manejo de malezas (Compagnon, 1998).

Raya negra

Esta enfermedad del panel de sangría es atribuida a *Phytophthora palmivora*. Sus primeros síntomas consisten en rayas verticales oscuras en el panel recientemente cortado. En un estado más avanzado, las rayas de la corteza se convierten en fisuras que, cuando coalescen, forman grandes heridas, que pueden dejar al árbol sin corteza en varias decenas de centímetros cuadrados. El árbol puede dejar de ser apto para la explotación, dependiendo de la extensión y la multiplicidad de los ataques, debido a que las heridas impiden una regeneración uniforme de la corteza.

Durante la explotación, se deben tomar diversas precauciones para evitar el ataque del patógeno. Se recomienda cuidar la calidad del rayado (adecuada profundidad y ausencia de heridas), tomar medidas para evitar la contaminación de una zona a otra e incluso de un árbol a otro (desinfección del equipo de rayado) y no practicar aperturas o cambios de panel en periodos húmedos. En las regiones y en los clones más expuestos, se sugiere suspender la sangría en las épocas más críticas (Compagnon, 1998).

En el panel de sangría, se recomienda un pincelamiento preventivo, con productos a base de metalaxil + mancozeb. No aplicar productos a base de cobre, ya que alteran las características del látex (Furtado, 2008).

Enfermedades de la raíz

A pesar de que en Colombia estas enfermedades no revisten mayor importancia, en los países orientales se han reportado con más frecuencia (Garzón, 2000). En Brasil se encuentran de forma esporádica, sobre todo en áreas destroncadas manualmente.

Pudrición blanca de la raíz

Es causada por el hongo basidiomiceto *Rigidoporus lignosus*. Inicialmente crece en la superficie de las raíces, formando redes de hifas o rizomas de color blanco (figura 42a), que después penetran el tejido, macerándolo y provocando una pudrición que se propaga en todas las direcciones, causando el síntoma característico: la flacidez de la raíz. En el exterior, se observa un amarillamiento general de las hojas y, con frecuencia, una floración y una fructificación anormales.

La destrucción de la raíz pivotante, o de otras raíces importantes, debilita el anclaje del árbol y causa su volcamiento. En la etapa más avanzada, se desarrollan carpóforos en el cuello de la raíz en árboles caídos y en ocasiones en

los vivos. Estos carpóforos se caracterizan por su coloración vistosa, café-anaranjada sobre un fondo claro (figura 42b) (Compagnon, 1998).

La prevención consiste en eliminar, antes de la siembra, el mayor número de raíces afectadas. Después de establecer la plantación, detectar los árboles infectados lo más rápido posible, y tratar de proteger los que están alrededor. El tratamiento con fungicidas es bastante eficaz (tabla 19).



Fotos: Alfonso Martínez

Figura 42. Signos y síntomas de *Rigidoporus lignosus*. a. Micelio característico de la enfermedad; b. Carpóforos.

Pudrición parda de la raíz

Es causada por el hongo *Phellinus noxius*. Cuando las raíces son infectadas son recubiertas con una costra café rojiza, que se forma a partir de una sustancia mucilaginosa que secreta el micelio y que permite la aglutinación de partículas terrosas y de granos de arena. En las primeras etapas, la madera de las raíces enfermas presenta manchas cafés y todavía es consistente.

Más adelante, la madera se vuelve alveolada y llena de capas de micelio, de un color que va del café fuerte al negro, y finalmente se desmorona con facilidad. Aunque la formación de carpóforos no es frecuente, cuando se presentan son pequeños y de color café oscuro (Compagnon, 1998).

La propagación se produce en el suelo, por rizomorfos en contacto con las raíces, y esporas que infectan fácilmente las ramas o los tallos rotos o heridos; luego el hongo penetra en la profundidad, para alcanzar las raíces. Al igual que en otras enfermedades de pudrición, los árboles afectados se reconocen por el amarillamiento y la caída de hojas en individuos aislados. Los tratamientos se efectúan con un fungicida adecuado (tabla 19).

Pudrición roja de la raíz

Es causada por *Ganoderma pseudoferreum*, y las raíces infectadas se cubren de un revestimiento de micelio laminar rojo o café rojizo, al cual se adhieren partículas de suelo. El color es visible solamente después del lavado de la lesión, cuando las láminas miceliales presentan ondas de crecimiento blanco cremoso, las hojas del árbol infectado se amarillan y caen, y después el árbol muere (Compagnon, 1998).

Este patógeno presenta un crecimiento lento y se encuentra en árboles adultos. Los daños que puede provocar son mucho menos frecuentes e importantes que los causados por *Fomes lignosus*, aunque tiene cierta importancia en Malaysia. Los principios de su tratamiento y prevención son los mismos que para la pudrición blanca (Compagnon, 1998).

Capítulo XI

Artrópodos dañinos presentes en el caucho

Escobar (2004) considera que pocas especies pueden afectar económicamente la productividad del cultivo del caucho. Algunas de estas, en la región de la Orinoquia, son el gusano cachón (*Erinnyis ello*), la hormiga arriera (*Atta* spp.), y la termita o comején (*Coptotermes curvignathus*, *Coptotermes testaceus*).

Otras especies, como los ácaros, el chinche de encaje (*Leptopharsa heveae*), el gusano peludo (*Premolis semirufa*) y el piojo blanco (*Pinnaspis* sp.), cobran importancia por la manera en que afectan el sistema productivo, debido al aumento gradual de las hectáreas establecidas. A continuación, se presenta una breve descripción y las prácticas de manejo de los artrópodos plaga de importancia para el cultivo del caucho.




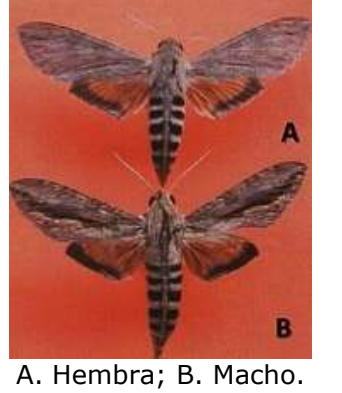
Gusano cachón

El gusano cachón, *Erinnyis ello* (L.) (Lepidoptera: Sphingidae), es una especie polífaga reportada en otras plantas de interés económico como la yuca, el tomate, el tabaco, el algodón y la papaya (Bellotti, Arias, Reyes, Fernández, Ceballos, & Medina, 1989). En Colombia, es la principal plaga del cultivo del caucho, dada su gran capacidad de consumo que, en presencia de poblaciones altas, puede defoliar completamente las plantas del caucho en viveros, jardines clonales y plantaciones (Alarcón, Arévalo, Díaz, Galindo, & Rosero (2012); León, Beltrán, & Campos, 2010).

La voracidad de la larva es de tal magnitud, que llega a consumir hasta 1.000 cm² de superficie foliar, el 75 % durante el último instar o estado de desarrollo larval (Garzón, 2000). Su ciclo de vida comprende desde el huevo hasta el estado adulto, con una duración de 32 a 49 días, de acuerdo con las condiciones ambientales (Bellotti et al., 1989) (tabla 20).

El ataque sucede en especial en la época seca, cuando hay una menor cantidad de enemigos naturales de la plaga, o cuando hay cultivos de yuca cercanos (Martínez, 2007). Las larvas se caracterizan por una estructura semejante a un cuerno en el último segmento abdominal, por lo que son conocidas como gusano cachón (León et al., 2010). Esta estructura permite determinar el instar o estado de desarrollo de las larvas en campo, atributo importante, que facilita el manejo acertado de las poblaciones de *E. Ello*.

Tabla 20. Estados de desarrollo de *Erinnyis ello*

<p>Huevo</p>	<p>Mide en promedio 2,8 mm de diámetro, tienen una superficie lisa y brillante, con un periodo de incubación de tres días. Inicialmente presenta un color verde claro, que se torna amarillo cuando está próximo a eclosionar. Se encuentra por lo general en el haz de las hojas más jóvenes de manera individual.</p>	
<p>Larva</p>	<p>Tiene tres pares de patas torácicas, cuatro de pseudopatas abdominales y un par anal o telson. Tiene diferentes coloraciones, como negro, rojo, verde y amarillo, marrón o gris oscuro.</p>	
<p>Prepupa y pupa</p>	<p>Después de los cinco instares larvales, la larva baja al suelo y forma una cámara, en la cual pasa al estado de prepupa, que dura aproximadamente dos días, durante los cuales no consume alimento y su movilidad se reduce. Posteriormente pasa al estado de pupa, color marrón oscuro, que puede medir hasta 55 mm de largo. Este estado dura entre 15 y 26 días.</p>	
<p>Adulto</p>	<p>Es una polilla nocturna, de 40 a 45 mm de largo, con una expansión alar de 70 a 90 mm, y por lo general las hembras son más grandes que los machos, los cuales presentan alas anteriores de color gris, con una mancha marrón oscura, desde la base hasta el ápice del ala. Las alas posteriores de los dos géneros tienen una coloración anaranjada, con una franja negra en la zona marginal. El abdomen es de color gris, con seis bandas negras transversales, y las antenas son más cortas que su cuerpo.</p>	

A. Hembra; B. Macho.

Fuente: Alarcón et al. (2012); Bellotti et al. (1989); Garzón (2000); León et al. (2010)

Fotos: Guillermo León

Durante el proceso de desarrollo se observan otros cambios, como el tamaño de la cabeza (capsula cefálica), la definición de los segmentos del cuerpo (tabla 21) y la variabilidad de coloración, que posiblemente se deriva de factores como la aglomeración de larvas en la planta, la calidad del alimento consumido y las condiciones climáticas (Bellotti et al., 1989).

Tabla 21. Principales diferencias entre los instares larvales de *Erinnyis ello*

Instar	Tamaño (mm)	Cápsula cefálica (mm)	Placa torácica	División de segmentos del cuerpo	Cuerno caudal	Detalle
I	4-10	0,8	No visible	No definida	Largo, fino, de diámetro uniforme y pigmentación negra	
II	11-16	1,3	No visible	Notoria en la parte media	Largo y fino, pero con diámetro más amplio en la base, donde disminuye la pigmentación negra	
III	17-23	2,1	Visible	Bien definida en todo el cuerpo	Largo, en forma de cono, y de color crema claro	
IV	30-48	3,1	Notoria	Definida	Largo y grueso, imperfecto en la parte superior, y de color crema claro	
V	50-120	5,1	Notoria	Definida	Grueso y truncado	

Fuente: Bellotti et al. (1989)

Prácticas de manejo para el gusano cachón

Existe una serie de prácticas que deben ser usadas dentro de un plan de manejo integral que, para el caso de *E. ello*, se enfocan en los estados de huevo, larva y pupa, cuando presentan una mayor susceptibilidad (Bellotti et al., 1989; Garzón, 2000; León et al., 2010).

Manejo cultural

Se basa en la eliminación de las malezas, tanto en las calles como en la zona de plateo, especialmente de plantas de la familia Euphorbiaceae (miembros de la familia de *Hevea brasiliensis*), presentes en la plantación o en sus alrededores, las cuales sirven de hospedero de la plaga (Alarcón et al., 2012).

En plantaciones jóvenes, jardines clonales y viveros, se considera que la recolección manual de larvas y huevos es una práctica aconsejable, especialmente cuando el nivel poblacional de *E. ello* es bajo. En el caso de las larvas que alcanzan el estado de pupa, se puede remover el suelo para extraerlas, lo que ayuda a disminuir la futura población de adultos (Bellotti et al., 1989).

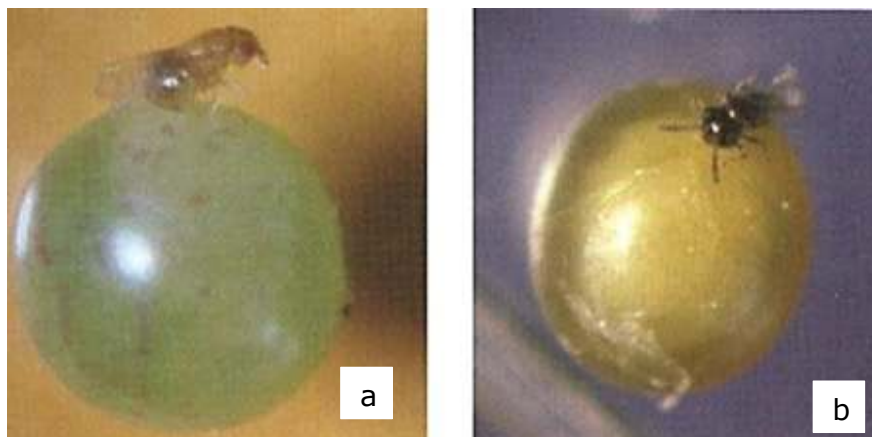
Manejo etológico - Monitoreo de adultos

Consiste en el uso de trampas de luz negra para determinar la presencia de adultos en la plantación. Esta práctica sirve para detección temprana de la plaga y no debe ser utilizada para control. La trampa de luz negra atrae y atrapa durante el vuelo individuos en estado adulto (polillas), aprovechando sus hábitos nocturnos, por lo cual se deben usar entre las 5 p. m. y las 6 a. m. (Alarcón et al., 2012; Bellotti et al., 1989; Rincón, 2012).

Manejo biológico

La mejor alternativa para el control de las poblaciones del gusano cachón es el manejo biológico, mediante la liberación de *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae), que parasita los huevos de la plaga. Adicionalmente, existen más de 35 especies que son enemigos naturales del gusano, entre las cuales se encuentran organismos parásitos, depredadores y patógenos (Alarcón et al., 2012; León et al., 2010).

Los principales parasitoides de huevos son las microavispa del género *Trichogramma*, que se consiguen comercialmente en el país en el mercado de insumos biológicos, y se caracterizan por tener ojos rojos, una longitud de 0,03 mm, y un cuerpo amarillo con algunas partes más oscuras. Otra de estas especies es *Telenomus* sp. (Hymenoptera: Scelionidae), una avispa de 0,07 mm de longitud, de color negro, tórax abultado, antenas negras segmentadas y alas transparentes (figura 43) (León et al., 2010).



Fotos: Guillermo León

Figura 43. Avispas parasitando huevos de *Erinnyis ello*. a. *Trichogramma* sp.; b. *Telenomus* sp.

Las avispas *Trichogramma* se comercializan por pulgadas cuadradas (in^2), en diferentes presentaciones; la más común es el empaque en pequeñas bolsas de papel (figura 44a), las cuales pueden ser distribuidas en el campo uniformemente cuando se encuentren huevos de *E. ello* en las hojas más jóvenes de la plantación.

En árboles de una altura mayor a 10 m, se debe garantizar que las avispas lleguen a los pisos foliares superiores, donde se encuentran los huevos de *E. ello*. Para ello, se puede amarrar cada bolsita de *Trichogramma* a una cuerda que une dos ramas a una distancia de 20 cm entre sí (figura 44b), creando un sistema para lanzar y anclar el *Trichogramma* a la copa del árbol (León et al. 2010).

Se recomienda realizar liberaciones de *Trichogramma* de 50 a 100 in^2/ha para el control de huevos de cachón; si cada bolsa contiene 2,5 in^2 , para alcanzar una densidad de 50 in^2/ha es necesario distribuir 20 bolsas de papel por cada ha. (Alarcón et al., 2012; León et al., 2010). Con estas liberaciones se puede lograr un parasitismo del 100 % de los huevos de la plaga.



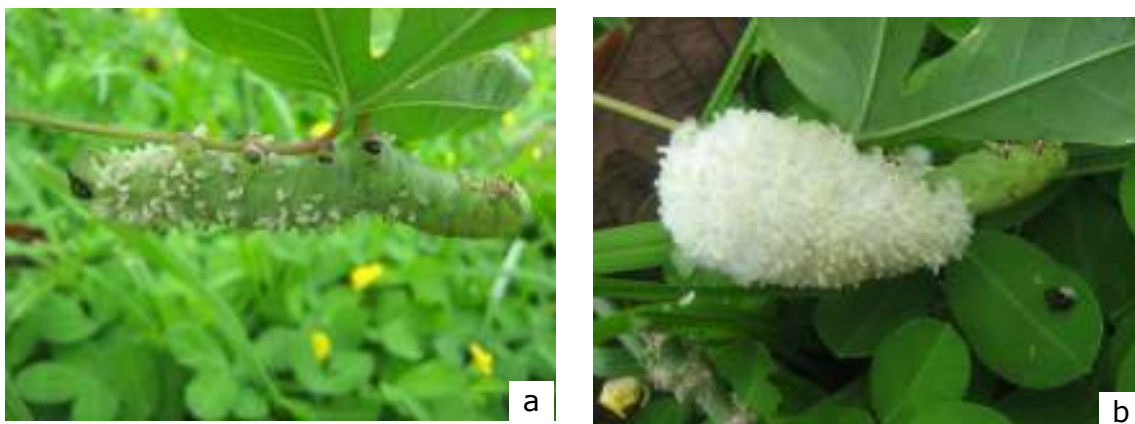
Fotos: Guillermo León

Figura 44. Métodos de uso de *Trichogramma* sp. a. Bolsas de papel con avispas para liberación en campo; b. Sistema de amarre de las papeletas con avispas para facilitar su liberación hacia las ramas altas de los árboles.

Para el estado larval, se cuenta con especies de la familia Braconidae, como *Apanteles congregatus*, *Apanteles americanus* y *Cotesia congregata*, que actúan como parasitoides sobre las larvas de *E. ello* (Bellotti et al., 1989; León et al., 2010).

Las avispas del género *Apanteles*, al igual que *C. congregata*, ovipositan entre 300 a 500 huevos dentro de la larva de *E. ello*; las posturas de la avispa eclosionan y se desarrollan dentro de la larva; para el caso de *Apanteles*, las larvitas de esta avispa emergen del cuerpo del gusano cachón después de 16 días y para *C. congregata* el desarrollo es de aproximadamente 10 días; en ambos casos, las larvas de cachón parasitadas mueren cuando las larvas de las avispas parasitoides salen de su cuerpo.

Una vez las larvas del parasitoide salen del cuerpo del gusano cachón, se aglomeran, formando un tejido de aspecto algodonoso o pupario, del cual, pasados 6 días en promedio, emergen las avispas parasitoides (Bellotti et al., 1989; León et al., 2010) (figura 45).



Fotos: Guillermo León

Figura 45. Gusano cachón *Erinnyis ello* a Larva de parasitada, en el momento que salen de su interior las larvas de *Apanteles* sp.; b. Capullo formado por las larvas de *Apanteles* sp. alrededor del cuerpo del gusano cachón parasitado y muerto.

Otros parasitoides muy importantes son las moscas del género *Belvosia* sp. (Diptera: Tachinidae) (figura 46), que actúan colocando sus huevos sobre el gusano cachón; las larvas de la mosca penetran la larva plaga para desarrollarse en su interior, permitiendo que el hospedero alcance el estado de pupa, del cual emergen de uno a tres adultos por cada larva de *E. ello* parasitada (León et al., 2010).



Fotos: Guillermo León



Figura 46. Moscas de *Belvosia* sp. emergidas de una pupa del gusano cachón parasitado.

Además de los insectos parasitoides, se conocen varios depredadores naturales de las larvas y pupas de *E. ello*, que incluyen insectos y aves (tabla 22), lo cual favorece el manejo del gusano cachón y disminuye los costos de control. Sin

embargo, la efectividad de estos enemigos naturales está sujeta a la disponibilidad de hábitats favorables donde puedan obtener los recursos necesarios para su subsistencia, así como al escaso uso de insecticidas químicos.




Tabla 22. Depredadores naturales de *Erinnyis ello*

		Insectos	
	<i>Polistes canadensis</i>	Conocida como avispa chinata, tiene 2,5 cm de longitud y un color café rojizo. El adulto se alimenta de larvas pequeñas y medianas, que también lleva a sus nidos para alimentar sus crías.	
Hymenoptera: Vespidae	<i>Polybia liliacea</i>	Mide 1,5 cm, tiene el cuerpo negro con líneas amarillas en el tórax y el abdomen. Se alimenta de larvas pequeñas.	
	<i>Polybia sericea</i>	Mide 1,7 cm, tiene la cabeza, el abdomen y las alas negras, y el tórax y las patas de un color café rojizo. Se alimenta de larvas pequeñas a medianas.	
Hemiptera: Reduviidae	<i>Montina sp.</i>	Depredador importante en los llanos orientales, en jardines clonales, viveros y plantaciones. Mide 3 cm de longitud, es de color anaranjado y tiene el abdomen ancho, de un color entre negro y gris. Se alimenta de larvas pequeñas y medianas.	
	<i>Zelus sp.</i>	Mide 25 mm de longitud, tiene la cabeza elongada, el aparato bucal corto y curvo, las antenas largas y el abdomen ancho. Se alimenta de larvas pequeñas.	

Mantodea: Mantidae	<i>Mantis</i> sp.	Gracias a sus patas raptoras y su agilidad, es un buen depredador ocasional.	
Neuroptera: Chrysopidae	<i>Chrysopa</i> sp.	Depredador ocasional, consume huevos y larvas.	
Coleoptera: Carabidae	<i>Calosoma</i> sp.	Consume larvas y pupas en el suelo. Mide entre 25 y 30 mm de longitud.	

Fotos: Guillermo León

Aves

<i>Icterus nigrogularis</i>	Conocida como toche, sus alas, cabeza y cola son de color negro, y el resto de su cuerpo es de color amarillo. Consume larvas.	
<i>Crotophaga ani</i>	Denominado jiriguelo, es completamente negro. Consume larvas cuando se presentan elevadas poblaciones de <i>E. ello</i> .	
<i>Polyborus plancus</i>	Conocido como caracara o carraco, tiene el cuello blanco y el pico naranja. Consume larvas y pupas en el suelo.	

Fotos: Carlos Castilla

Fuente: León et al. (2010)

Esto plantea la diversificación de los sistemas productivos de caucho, buscando el aumento de la riqueza de plantas por medio de policultivos, como los sistemas agroforestales. Al mismo tiempo implica el cuidado y la conservación de áreas con amplia biodiversidad mediante corredores ecológicos que promuevan y faciliten el desplazamiento de la fauna benéfica (Rincón, 2006).

El gusano cachón es afectado por entomopatógenos, principalmente la bacteria *Bacillus thuringiensis* y el virus de la granulosis nuclear *Baculovirus erinnyis*, que lo afectan en el estado de larva, principalmente en los primeros instares.

Los síntomas que provoca *B. thuringiensis* consisten en una septicemia generalizada, que causa inmovilidad, inapetencia y finalmente la muerte del individuo. A medida que avanza la infección, el cuerpo de la larva toma una consistencia blanda y por lo general, al morir queda colgando de cualquier parte de la planta (León et al., 2010).

La dosis recomendada de *B. thuringiensis* para el manejo del gusano cachón es de 3 a 4 g por cada litro de agua, para una aplicación anual, equivalente a un rango de 600 a 800 g/ha de producto comercial (Alarcón et al., 2012; Garzón, 2000). Las ventajas de usar *B. thuringiensis* son, bajo costo de producción, escasa contaminación ambiental, control de la plaga superior al 90 %, fácil aplicación, y alto poder de dispersión y selectividad, ya que, si se usa correctamente, no afecta a los enemigos naturales del gusano cachón (Alarcón et al., 2012).

El virus de la granulosis nuclear *Baculovirus erinnyis* controla las poblaciones de *E. ello*, principalmente en estados larvales; De acuerdo con León et al. (2010), las larvas infectadas presentan síntomas iniciales como inapetencia, pérdida de movimiento y decoloración. Más adelante, pierde turgencia corporal, muere y queda colgando del telson (figura 47).

Luego de la muerte, al romperse los restos de las larvas de *E. ello*, el virus se disemina por el cultivo, lo que puede producir una epizootia (epidemia), con un efecto que perdura hasta 15 días después de la aplicación, lo que disminuye casi en un 100 % la población de la plaga (León et al., 2010).



Fotos: Guillermo León

Figura 47. Larva de *Erinnyis ello* afectada por *Baculovirus erinnyis*.

El baculovirus se puede obtener recolectando larvas con síntomas, con las cuales se prepara una mezcla de 1 ml de agua por cada gramo de larva. Luego de licuar y filtrar la mezcla, cuidando que no queden partículas, se refrigera para su uso posterior. La dosis recomendada es de 4 ml de la suspensión por 20 L de agua, si se aplica con bomba de espalda en plantaciones de máximo 2 m de altura.

Para plantaciones de mayor altura, se puede aplicar, con una pulverizadora de largo alcance, una dosis de 50 ml de solución de baculovirus por cada 250 L de agua. AGROSAVIA ya obtuvo el registro de un nuevo bioproducto llamado Erytec, a base de *Baculovirus erinnyis*, que es útil para el control del gusano cachón. Actualmente, se está trabajando en el ajuste para su producción.

Manejo químico

El uso de plaguicidas químicos es el último recurso y solo se aconseja en poblaciones que no han sido controladas con el programa de manejo descritas anteriormente. Cuando los niveles de infestación son bajos, la aplicación innecesaria de insecticidas causa un desequilibrio en el agroecosistema, que afecta a los enemigos naturales de la especie plaga y ocasiona la reducción de la rentabilidad del sistema productivo (Bellotti et al., 1989). Algunos productores utilizan insecticidas con ingredientes activos como carbaril, monocrotofos, diazinón y deltametrina, con dosis que se ajustan a la formulación del producto comercial.

Monitoreo del gusano cachón

La estrategia de manejo recomendada, es decir la liberación de *Tricho-gramma*, complementada con la aplicación de insecticidas biológicos y el uso de

depredadores, se debe sustentar en el conocimiento de la dinámica de las poblaciones de *E. ello*; por ello se requiere vigilancia constante y monitoreo de los estados de larva y adulto.

Las polillas de *E. ello* son atraídas por la luz, y esto permite el uso efectivo de trampas de luz como mecanismo de monitoreo. Esta alternativa permite detectar las polillas de la plaga que se encuentran cerca o alrededor de las plantaciones, para realizar conteos semanales de los individuos capturados por trampa, con el fin de estimar la densidad y distribución de la población del insecto (tabla 23) (Neves, Farias, Mourão, Andrade, & Teixeira, 2011).

Al conocer las poblaciones de adultos, se puede calcular la posible cantidad de huevos que van a producir, teniendo en cuenta que una hembra puede poner hasta 1.850 huevos durante su vida adulta (Alarcón et al., 2012; Bellotti et al., 1989). El monitoreo de adultos con trampas de luz sirve para efectuar oportunamente las liberaciones de *Trichogramma* en la plantación, y de esta manera lograr el control de los huevos de la plaga.

Tabla 23. Estatus de la población de adultos o polillas de *Erinnyis ello*, en relación con el número de individuos capturados por trampa

Situación	Normal	Alerta	Inspección	Epidemia
			20 a 50	>50
Individuos por trampa	<5 Iniciar Liberaciones de <i>Trichogramma</i>	5 a 20 Efectuar Liberaciones de <i>Trichogramma</i>	Inspeccionar los focos con larvas y continuar liberaciones de <i>Trichogramma</i>	>50 continuar liberaciones de <i>Trichogramma</i> y controlar los lugares donde se detecten larvas

Fuente: Elaboración propia

El monitoreo de larvas es una práctica esencial a la hora de tomar decisiones para el manejo del gusano cachón. Neves et al. (2011) proponen el uso de parcelas para contar el número de insectos, estimar la densidad de la plaga en el área evaluada y extrapolarlo a toda la plantación. Para realizar la toma de muestras se seleccionan de 9 a 20 árboles por parcela, según las características de cada plantación. Para estimar la población se pueden considerar dos indicadores: número de larvas por rama y porcentaje de defoliación.

Para el indicador del número de larvas por rama, se toma como unidad de muestra un árbol, del cual se selecciona una rama del tercio medio o superior, en la que se cuentan el número de brotes terminales por rama y el número de

larvas presentes, para luego calcular el indicador. Revisar entre 10 a 30 árboles por ha según el tamaño de la plantación. El resultado es la densidad poblacional, que se compara con el umbral de acción de 3 larvas/terminal (tabla 24). Este sistema es dispendioso y poco práctico en plantaciones extensas con árboles grandes, y por ello se recomienda complementar con el porcentaje de defoliación, especialmente durante los meses de diciembre a febrero, cuando se inicia la refoliación y la incidencia de la plaga.

Tabla 24. Niveles de alerta según el número de larvas por terminal de muestreo y porcentaje de defoliación

Situación	Normal (presencia)	Alerta (foco)	Umbral de acción
Número de larvas /Terminal	< 1	De 1 a 2	> 3
Porcentaje de defoliación	< 4	De 5 a 30	> 30

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de defoliación se determina por medio de la observación, clasificando los árboles evaluados en niveles de defoliación: 0 %, 20 %, 30 %, 50 % y más del 50 % (figuras 48 y 49). Al final se calcula el promedio de defoliación por parcela, y se compara con el umbral de acción, que es del 30 % de defoliación. Antes de dicho umbral se deberán aplicar los insecticidas biológicos recomendados.



Figura 48. Esquema de defoliación.
Diagrama: León G.







Fotos: Guillermo León

Figura 49. Árboles de caucho con 100% de defoliación por causa del gusano cachón.

Hormiga arriera

En Colombia, las hormigas arrieras o cortadoras de hojas ocasionan la destrucción de trozos semicirculares de folios, que disminuye efectivamente la actividad fotosintética, y constituye una de las principales plagas de varios cultivos, incluyendo el caucho. Se trata de un complejo de especies que pertenecen esencialmente a los géneros *Atta* y *Acromyrmex* (Hymenoptera: Formicidae) (tabla 25), que se presentan en zonas del país de climas medio y cálido (Garzón 2000; Rincón, 2012).

Tabla 25. Diferencias entre los principales géneros de hormigas asociados al cultivo del caucho

Género	Características	Detalle
<i>Atta</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hormigas grandes de color oscuro. 2. Tienen tres pares de espinas y abdomen liso con pelos largos. 3. Sus hormigueros tienen entradas y salidas visibles, al igual que los caminos de acceso, muy profundo y extenso en área, con poblaciones abundantes. 4. Causan daños en diferentes cultivos, como frutales, café, forestales, yuca y maíz. 	 
<i>Acromyrmex</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Individuos de menor tamaño y de color más claro. 2. Tienen de cuatro a cinco pares de espinas y un abdomen con muchas protuberancias. 3. No tienen casta de soldados. 4. Sus hormigueros son más pequeños y de escasa profundidad (máximo 2 m), son poco visibles y con poblaciones bajas. Los orificios de entrada son los mismos de salida. 4. Este género es menos agresivo, y por lo general es más frecuente en pastos y plantas ornamentales. 	 

Fuente: Escobar, García, Rentería y Neita (2002); Vergara (2005)

En viveros y plantaciones de caucho recién establecidas, el ataque se ubica sobre las yemas, las hojas jóvenes y los cogollos. Cuando aumenta la severidad también se encuentran en las hojas maduras (Garzón, 2000).

Prácticas de manejo para la hormiga arriera

Para el manejo de los hormigueros, en un principio deben ser localizados y zonificados, con el fin de establecer el tamaño del área ocupada, tomando como puntos de referencia las entradas o salidas más alejadas, en dos dimensiones (largo x ancho) (Figura 50). El conocimiento del área permite definir el tipo de prácticas de manejo que se pueden establecer (Tabla 26) (Escobar et al., 2002).

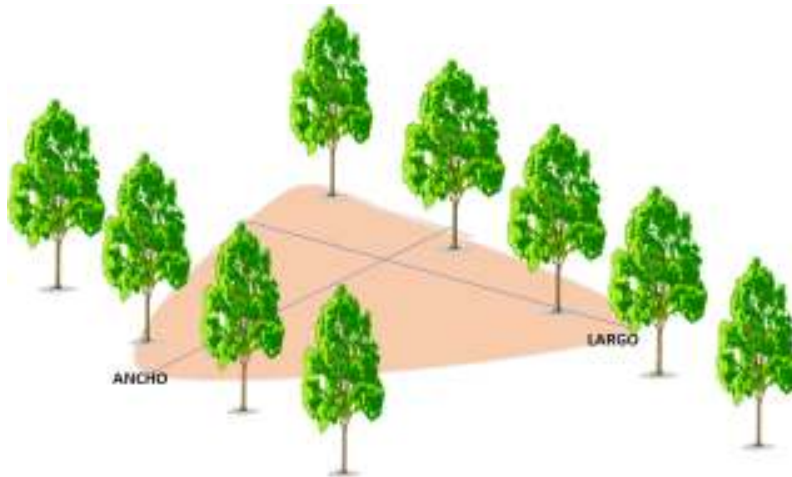


Figura 50. Esquema de medición del área ocupada por un hormiguero.
 Digrama: León, G.

Tabla 26. Categorías y prácticas de manejo, de acuerdo con el tamaño estimado de los hormigueros

Categoría	Tamaño (m ²)	Prácticas de manejo
Pequeño	<5	Manejo mecánico - destrucción del hormiguero
Mediano	De 5 a 100	Cebos químicos Cebos artesanales
Grande	>100	Termonebulizador Cebos químicos Cebos artesanales a base de hongos

Fuente: Elaboración propia con base en Escobar et al. (2002)

Manejo mecánico

Para los hormigueros pequeños, consiste en la excavación, destrucción de los hormigueros y la eliminación de la reina, la cual se puede encontrar a menos de 30 cm de profundidad (Garzón, 2000; Escobar et al. (2002).

Para el género *Atta*, el manejo se programa para las primeras fases de desarrollo (alrededor de los tres primeros meses), al inicio de las lluvias, antes de que ocurran los vuelos nupciales o periodo de apareamiento (Alarcón et al., 2012; Escobar et al., 2002). Por el contrario, en el manejo del género *Acromyrmex* esta labor se puede realizar en cualquier momento.

Manejo cultural

Consiste en el establecimiento de cultivos trampa tóxicos y fácilmente forrajeados, como la higuera (*Ricinus communis*), el ajonjolí (*Sesamum*

indicum), la canavalia (*Canavalia ensiformis*) y la batata (*Ipomoea batatas*), que desvían el ataque de la plaga del cultivo principal (Escobar et al., 2002). Se recomienda que se establezcan alrededor de los cultivos de caucho que están siendo afectados por las hormigas (Alarcón et al., 2012).

Manejo biológico

Las aves son algunos de los principales depredadores, y ejercen un excelente control, ya que durante el vuelo nupcial capturan al 90 % de las hembras, lo que disminuye la posibilidad de formación de nuevos nidos. Por esta razón, se deben proteger las aves presentes en la zona, cuidando los refugios y las zonas de alimentación (Alarcón et al., 2012).

El uso de hongos como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* afectan las hormigas arrieras, reduce el nivel de daño en el cultivo, pero, como su control es de baja actividad, es necesario repetir las aplicaciones en promedio 7 semanas después de la primera (Escobar et al., 2002).

Otro método recomendable son los cebos tóxicos artesanales, los cuales se usan en los hormigueros recién establecidos. Se preparan con 1 kg de *Trichoderma harzianum* o *Trichoderma lignorum*, mezclados con 5 kg de avena en hojuelas y 1 litro de jugo de naranja (Alarcón et al., 2012). La dosis recomendada es de 20 a 30 g de cebo por metro cuadrado de hormiguero (Escobar et al., 2002).

Los cebos se colocan en las hojas de las plantas que rodeen los caminos que siguen las hormigas, a 20 cm de las entradas activas del hormiguero y no directamente sobre el suelo. Deben estar protegidos de la radiación solar, y utilizarse preferiblemente en las horas de mayor actividad de las hormigas y en días sin amenaza de lluvias (Escobar et al., 2002).

Manejo químico

Los productos químicos se aplican directamente sobre los nidos en polvos secos, líquidos termonebulizables o mediante cebos, y los ingredientes activos más utilizados son clorpirifós, pirimifos-metil y fenitrotión (Escobar et al., 2002; Garzón, 2000). Por lo general, los cebos usados como sustancia atrayente se mezclan con pulpa seca de naranja y sulfuramidas, fipronil o clorpirifós, que actúan por ingestión.

A diferencia del polvo seco, el uso de cebos granulados o pelletizados presenta mayor duración y afectación, debido a que las hormigas los transportan dentro del hormiguero. La dosis oscila entre 8 y 10 g/m² en una única aplicación, distribuida en las zonas próximas y no sobre los caminos y entradas al hormiguero.

Si es necesaria una nueva aplicación, debido a inconvenientes como la inactivación por las lluvias o exceso de humedad en el suelo, debe hacerse entre 60 y 90 días después de la última utilización (Alarcón et al., 2012; Escobar et al., 2002; Garzón, 2000).

En hormigueros grandes, el control químico se realiza mediante un termonebulizador. Este sistema es altamente eficiente, ya que produce la atomización de un insecticida disuelto en aceite (con ingredientes activos como cipermetrina o clorpirifós) por medio del calor, que genera un humo que permite llegar a las cámaras del hormiguero, causando la muerte de los individuos por ingestión y contacto (Escobar et al., 2002). Este sistema necesita una cuadrilla de fumigación con la indumentaria necesaria para brindar la mayor protección posible frente a la toxicidad del plaguicida.

Comején o termita

En la región neotropical existe una gran diversidad de termitas. Al cultivo de caucho se asocian alrededor de 10 especies, de las familias Termitidae, Rhinotermitidae (Pinzón, Hernández, & Malagón, 2012) y Kalotermitidae (Garzón, 2000), que se caracterizan por diferentes aspectos biológicos y comportamentales (tabla 27).

Tabla 27. Características de las principales familias de termitas en la Orinoquia

Familia	Características
Kalotermitidae	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se agrupan en pequeñas colonias, compuestas por poblaciones de 100 individuos o menos, que se forman en la región media del tronco, produciendo cavidades. 2. Viven sobre el suelo. 3. No tienen casta de obreras, que son sustituidas por larvas de la casta reproductora. 4. Afectan tejidos sanos de las plantas adyacentes a sitios afectados por heridas.
Rhinotermitidae	<ol style="list-style-type: none"> 1. De hábitos subterráneos, se comunican con las fuentes de alimento por medio de túneles y cámaras, en el suelo o en la corteza de los árboles. 2. Usualmente, penetran la planta por las raíces, y se hospedan en la corteza expuesta o en los sitios con señales de podredumbre. 3. Dentro de esta familia se encuentra el género <i>Coptotermes</i> y <i>Heterotermes</i>, que agrupan especies que se alimentan de maderas en descomposición.
Termitidae	<ol style="list-style-type: none"> 1. Son las termitas más desarrolladas y con mayor número de especies. 2. Sus colonias están compuestas por castas bien definidas como reproductoras o estériles, y se ubican dentro del suelo y en los árboles. 3. Las obreras y los soldados presentan polimorfismos que permiten la identificación de las especies.

Fuente: Garzón (2000)

En general, la abundancia de termitas, principalmente de especies xilófagas, se incrementa a medida que se desarrolla el cultivo, a diferencia de los jóvenes, en los que prevalecen las termitas consumidoras de suelo y hojarasca (Pinzón et al., 2012). Estos hábitos alimenticios se destacan, considerando que en cultivos desarrollados las termitas no se alimentan de plantas sanas, y que el daño que causan puede ser secundario.

En los llanos orientales y el sur de Córdoba la especie *Heterotermes* sp. es la termita prevalente en cultivos de caucho. Esta especie habita en el suelo y prefiere alimentarse de maderas en descomposición en las cuales construyen galerías superficiales para establecer sus colonias (León et al., 2009). Generalmente, el daño ocasionado por las termitas se relaciona principalmente con malas prácticas de manejo en la etapa de vivero y trasplante. La propagación de plantas por *stumps* y la eliminación de raíces secundarias al momento del trasplante en este sistema, causan heridas que facilitan el desarrollo de patógenos, que a su vez inician la descomposición y facilitan el posterior ataque de las termitas; por ello no se recomienda este tipo de propagación.

En las plantaciones jóvenes propagadas por *stump*, las termitas colonizan la parte del patrón que empieza a secarse, el injerto; sin embargo, pueden continuar su desarrollo normal (figura 51), pero debido a que se pueden observar fácilmente los caminos dejados por las termitas, los cultivadores erróneamente les atribuyen a las termitas daños y mortalidad de plantas (León et al., 2009).



Fotos: Guillermo León

Figura 51. Daño por termitas en el patrón propagado por *stump*. Se observa el desarrollo normal de la planta injertada.

Prácticas de manejo para termitas y comején

El manejo de las termitas se centra en la prevención, realizando de manera adecuada las labores en la etapa de vivero, desde el manejo de la semilla hasta la siembra en el sitio definitivo, descritas en el capítulo 6. Se recomienda no propagar plantas por *stump*, porque esto facilita la entrada de patógenos del suelo que causan pudrición, favorece la entrada de las termitas y se aumenta la mortalidad de plantas en campo.

Al sembrar plantas de bolsa, injertadas en verde provenientes de vivero, se logra disminuir hasta en 100% la incidencia de los daños secundarios que puedan causar las termitas durante la etapa de establecimiento de la plantación. El uso de buenas prácticas en el establecimiento y manejo de viveros en caucho minimiza la mortalidad de plantas durante el establecimiento de las plantaciones y reduce eficazmente el ataque oportunista de las termitas (León et al., 2009).

En todas las fases del cultivo, se debe procurar mantener la limpieza y el cuidado, mediante la recolección de las ramas y los tallos secos que puedan ser focos de posibles ataques, especialmente en lotes donde haya presencia de termitas (León et al., 2009). Las poblaciones se pueden mantener en niveles bajos con la destrucción manual de nidos y la aplicación de *Beauveria bassiana* en dosis de 1,5 g por litro de agua sobre los *stumps* en etapas de vivero y establecimiento de la plantación.

Chinche de encaje

El chinche de encaje, *Leptopharsa heveae* (Hemiptera: Tingidae), fue descrito en 1953 como originario de Brasil. En Colombia, Garzón (2000) la define como una especie originaria de la Amazonia, endémica en cauchales nativos, y es considerada una de las plagas que más afecta este cultivo.

Se caracteriza por desarrollar su ciclo de vida en el envés de la hoja de las plantas de caucho (Alves et al., 2003). Su efecto inicia cuando las hembras ovipositan en el mesófilo de las hojas (entre las dos epidermis), con un promedio diario de 28 huevos y un periodo de incubación de 12 días.



Foto: Jarlinson Correa





Figura 52. Adulto, ninfa y daño causado por el chinche de encaje (*Leptopharsa heveae*) en hoja de caucho.

El debilitamiento de la planta dificulta el desprendimiento de la corteza, lo que afecta a los jardines clonales y el proceso de sangrado (Garzón, 2000). Además, las marcas de alimentación aumentan la susceptibilidad a patógenos como *P. uli* (Alves et al., 2003).

Prácticas de manejo para el chinche de encaje

Según Cividanes, Fonseca y Monteiro dos Santos (2004), el monitoreo del chinche de encaje se efectúa realizando un muestreo sistémico estratificado, en el cual, en cada tercio de la planta, se toman cinco hojas de la parte interna y cinco de la externa. Esto se hace en 10 árboles por surco seleccionados al azar, desde los bordes hacia el centro del cultivo. De esta manera se define el nivel de población (número de estados por hoja) en cada planta (tabla 28), Fonseca (2009), los focos y las prácticas de control (figura 53).

Tabla 28. Niveles de población de *Leptopharsa heveae*

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

Fuente: Fonseca (2009)

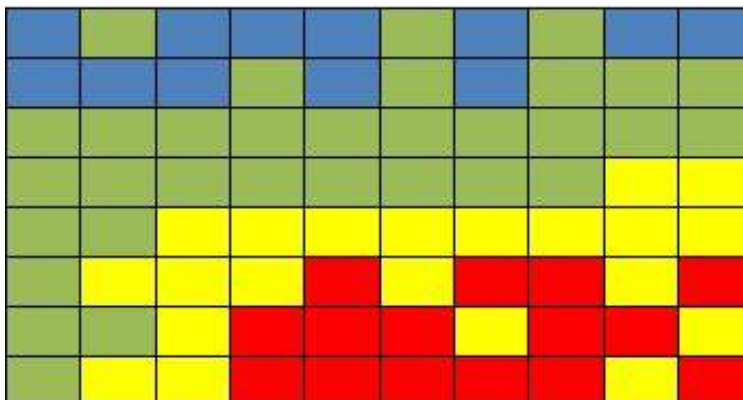


Figura 53. Ejemplo de la distribución del chinche de encaje (*Leptopharsa heveae*), a partir de la metodología de muestreo.
Fuente: Fonseca (2009)

Por otro lado, se ha sugerido el uso de entomopatógenos como *Sporothrix insectorum* y *Beauveria* como controladores biológicos. En plantaciones de Brasil, *S. insectorum* logra niveles de control superiores al 70%, dos meses después de que se ha realizado la aplicación (Garzón, 2000).

También se recomienda el uso de productos sintéticos, como Dipel o monocrotofos, en una dosis de 0,4 L/ha, así como diafentiuron, con 0,5 kg/ha. Para la aplicación entre líneas y en los bordes, de acuerdo con el monitoreo, se deben tener en cuenta la densidad de la copa y la altura de la planta que, si es mayor a 5 metros, requiere el uso de termonebulizadores (CCC, 2010), cuya compatibilidad con la estabilidad del ingrediente activo debe revisarse previo a su utilización.

Artrópodos de menor incidencia en el cultivo del caucho

Existen otras especies que pueden afectar la producción del caucho natural, con una menor incidencia que las nombradas anteriormente, pero que deben ser consideradas en el sistema productivo, como el caso del gusano peludo y las escamas. La tabla 29 resume su descripción y los métodos de su manejo, según lo reportado por Garzón (2000) y Rincón (2012).

Tabla 29. Insectos de menor incidencia en el cultivo del caucho

Insecto	Descripción	Prácticas de manejo
Gusano peludo	<p><i>Premolis semirufa</i> (Lepidoptera: Arctiidae)</p> <p>En nuestro país, se encontró en el departamento del Caquetá sobre plantas en crecimiento. Por lo general, se sitúa en el envés de la hoja, y se alimenta haciendo cortes de forma regular en las nervaduras de las hojas adultas. Las larvas se caracterizan por presentar una cobertura urticante, conformada por pelos cortos de color café y cuatro áreas de pelos más largos, que sobresalen. Los capullos también se caracterizan por poseer pelos.</p>	<p>Por su localización en la planta, es factible realizar un control mecánico, que consiste en recolectar y destruir larvas y capullos (sin tocarlos con las manos).</p>
Piojo blanco o escama lamiosa	<p><i>Pinnaspis</i> sp. (Hemiptera: Diaspididae)</p> <p>Esta escama de color blanco se localiza esporádicamente en cauchos jóvenes de viveros y plantaciones. En poblaciones grandes, estos insectos forman colonias en las hojas bajas de la planta, donde se alimentan con la succión continua de la savia, causando deformaciones, atraso en el desarrollo, costras en la corteza y muerte descendente en tallos y ramas.</p>	<p>Se recomienda control preventivo con podas sanitarias de las ramas afectadas.</p>
Ácaros	<p>Dentro de las especies más conocidas se encuentran <i>Polyphagotarsonemus latus</i> (ácaro blanco), <i>Eutetranychus banksi</i>, <i>Oligonychus</i> sp. (ácaros verdes) y <i>Tetranychus</i> sp. (ácaros rojos) (Acarina: Tetranychidae y Tarsonemidae). El ácaro blanco se presenta en viveros y jardines clonales, y se sitúa en el envés de la hoja, a lo largo de las nervaduras. Los cogollos de las plantas afectadas se encrespan y las hojas muy pequeñas caen. En plantaciones ubicadas en la Amazonia colombiana han sido asociados con el amarillamiento de los árboles e identificados como causantes de áreas necróticas en las hojas.</p>	<p>Se debe hacer monitoreo para toma de decisiones. En ataques severos se recomienda usar acaricidas como propargite o tetradifón, localizado hacia los focos de la plaga.</p>
Coleoptera: Scarabaeidae	<p>Con frecuencia, larvas de cucarrones afectan las raíces de plantas jóvenes de caucho o de aquellas que se usan como cubierta. Es el caso de <i>Eutheola bidentata</i>, que se presenta periódicamente en el departamento del Caquetá, causando daños en pastos y otros cultivos.</p>	<p>Se recomienda el control de larvas del cucarrón con una buena preparación del terreno.</p>
Coleoptera: Scolytidae (pasador del tronco)	<p>Este insecto, clasificado como <i>Xyleborus</i> spp., está ampliamente difundido en el país, y es frecuente en zonas caucheras y cacaoteras. Los adultos prefieren árboles afectados por hongos como el <i>Ceratocystis fimbriata</i>, perforan la corteza y llegan a la madera; producen deyecciones de aserrín, síntoma característico de la presencia del insecto. Posteriormente, el árbol se marchita y muere, mientras que el <i>Xyleborus</i> favorece la diseminación del hongo.</p>	<p>El control recomendado se basa en cortar, retirar y quemar las ramas y troncos con presencia del insecto, cicatrizando las heridas que se causen al leño durante las podas.</p>

Fuente: Garzón (2000) y Rincón (2012)

Capítulo XII

Interacción del cultivo de caucho y el venado de cola blanca

En la Orinoquia se reportan problemas con el venado de cola blanca, *Odocoileus virginianus*, Zimmermann, 1780 (Martínez, 2007). Este mamífero nativo puede afectar hasta el 10 % de todo el ciclo productivo. En plantas jóvenes, el venado ramonea la planta, haciendo que se pierda la dominancia apical, aunque esto se puede corregir mediante podas.

En plantas adultas con tallos lignificados, los machos afilan sus cornamentas con el tronco, eliminando la totalidad de la corteza, aproximadamente a 50 cm sobre la zona de injertación, lo que debilita la planta. Sin embargo, esto se remedia permitiendo la formación de un chupón.

No se conoce un método eficiente y amigable que evite la interferencia del venado de cola blanca con el cultivo de caucho, pero el camino para disminuir la interferencia puede dirigirse a la correcta planeación y establecimiento de áreas de cultivo, que permitan desarrollar corredores biológicos que faciliten la conectividad entre las zonas protegidas y las áreas con mayor diversidad, convirtiéndose en lugares adecuados para el tránsito de la fauna y flora, y contrarrestar la fragmentación de hábitats (Rincón, 2006).

Capítulo XIII Sangría

El cultivo del caucho difiere sustancialmente de otros cultivos por el aprovechamiento mediante la sangría, ya que no se recolectan sus frutos ni partes de la planta, sino su savia, que se denomina el látex. Se obtiene por medio del rayado del tronco del árbol hasta los vasos laticíferos, y se realiza con incisiones transversales en la corteza del árbol, las cuales se repiten a lo largo del año, con una frecuencia que hace parte de las características del sistema de rayado (Compagnon, 1998).

Normalmente, la sangría comienza entre seis y ocho años después de la siembra, cuando el perímetro del tronco o la circunferencia a la altura del pecho (CAP), que se encuentran a 1,20 m de altura, tienen de 45 a 50 cm de diámetro.

Inventario de la plantación

Un inventario es un proceso que permite identificar las principales características de la plantación. En él, se tienen en cuenta aspectos como la CAP y cada árbol se registra de acuerdo con su categoría diamétrica (tabla 30), espesor de corteza (entre 6 y 7 mm), altura comercial y su ubicación en el interior de la parcela (georreferenciación y mapificación).

De igual forma, es necesario conocer la edad de la plantación (edad de siembra), el clon, las características de manejo agronómico, las propiedades fisicoquímicas del suelo, el paisaje, la ubicación y las vías de acceso.

Se recomienda realizar una marcación de cada uno de los individuos, a 2 m de altura, para facilitar su identificación, la recolección de la información y su seguimiento agronómico y productivo, con el fin de mantener actualizado el formato de inventario, que deberá incluir los ítems arriba señalados y, adicionalmente, las observaciones sobre las afectaciones que pueda presentar el árbol (Bernardes, 1995).

La metodología incluye las siguientes recomendaciones:

1. Marcar a una altura de 2 m el primer árbol del primer surco, cada diez árboles.
2. Medir el perímetro de cada árbol a 1,20 m de altura, y registrarlo de acuerdo con la categoría diamétrica (tabla 33).
3. Registrar cualquier anomalía del árbol, como particiones por el viento, enfermedades, plagas y desórdenes fisiológicos, entre otras.

Tabla 30. Categorías diamétricas para realizar el inventario de una plantación

Categoría diamétrica	I	II	III	IV	V
CAP (cm)	<35	35 a 39,9	40 a 44,9	45 a 49,9	>50

CAP: circunferencia a la altura del pecho.

Fuente: Martínez (2010)

Selección de árboles para el inicio de la etapa de aprovechamiento

Se considera que, cuando el 50 % de los troncos en un lote o plantación tienen un diámetro de entre 45 y 50 cm, se puede iniciar un aprovechamiento rentable (tabla 33). En arreglos de economía campesina, a pequeña escala (unidades de producción menores o iguales a 5 ha), es posible iniciar la actividad de sangría cuando el 30 % de los árboles cumple este requisito, habida cuenta su rentabilidad derivada de la utilización de mano de obra propia.

Equipamiento

Para iniciar la producción se debe contar con un mínimo kit de herramientas y equipos, conformado por los elementos enunciados a continuación:

1. Una cuerda de 1,50 m de longitud, con un nudo en el medio, que facilita la división de los paneles.
2. Cuchilla de sangría: es la herramienta más importante, no solo en el inicio del aprovechamiento, sino a lo largo de la vida útil del árbol. Debe estar hecha de un buen material (acero templado) y mantenerse bien afilada, mediante una lija de agua N.º 110, con el fin de facilitar su utilización, así como evitar daños al árbol y consumos excesivos de corteza.
3. Calibrador de corteza, con el objetivo de conocer su grosor.
4. Cinta métrica (metro).
5. Una regla de madera de 1,20 m de longitud.
6. Banderolas, conformadas por una lámina o latón flexible pegados a la regla de madera, de forma romboidal, con 62,5 cm de base y entre 14 y 16 cm de ancho. Se ubican en el árbol, con una inclinación de entre 33 y 35 grados en relación con la horizontal (la inclinación de 35 grados se usa para las plantas jóvenes). Esta lámina debe tener agujeros guía para el trazado del panel, y su utilidad consiste en marcar la dirección e inclinación del corte.
7. Punzón para marcar la figura de la banderola sobre la corteza del árbol.
8. Canaletas de zinc liso calibre 30, con una punta aguda que se inserta en la corteza sin afectar la madera. Se ubican con una inclinación de entre 10 y 20 cm del canal de escurrimiento, con el fin de facilitar la caída del látex.

9. Tazas de recolección de látex, preferiblemente plásticas y con una capacidad mínima de 500 cm³.
10. Soportes para sostener las tazas, generalmente fabricados con alambre calibre 10 y con una longitud aproximada de 1,4 m. Se ubican en forma de espiral sobre el tronco, con el objetivo de evitar afectaciones en el ciclo de crecimiento.

Preparación de los árboles

El primer paso es la división del tronco, con el fin de definir los paneles de sangría. En esta actividad, y mediante el uso de la cuchilla de sangría, se trazan las directrices (dos líneas verticales opuestas diametralmente) en dirección a la calle donde se ubicará la taza recolectora, de manera que quede dividido en dos partes iguales. La primera directriz se marca con la cuchilla, sin profundizar, ya que se pueden ocasionar daños en la corteza interna y los vasos laticíferos (figura 54).

Posteriormente, con dos nudos en los extremos y uno en el centro que la divide en dos partes iguales, la cuerda se apoya en el tronco, colocando el nudo del centro sobre la primera línea trazada (primera directriz). Se abraza el árbol con los extremos, de manera que queden juntos, y con una mano se ajustan hacia el lado opuesto de la línea trazada (figura 55). Es necesario verificar que el nudo central se mantenga sobre la primera directriz, y marcar el punto de unión de la cuerda sobre el tallo.



a



b

Fotos: Aníbal L. Tapiero

Figura 54. Trazado de la primera directriz del panel de sangría. a. Planeación de la actividad. b. Lámina guía.

Esta actividad se realiza en la parte alta del fuste y cerca del cuello de la raíz (base del injerto), con lo que se obtienen dos puntos, que se unen con una línea marcada mediante la regla de la banderola.



Fotos: Alfonso Martínez

Figura 55. Trazado de la segunda directriz del panel de sangría. a. Señalización; b. Marcaje con ayuda de la cuerda.

Trazado del panel

La regla de madera de la banderola se ubica contra el árbol, sobre la primera directriz, apoyando con la pierna izquierda el extremo inferior de la regla cerca del cuello de la raíz. Luego se rodea el fuste con la lámina de zinc, con dirección de derecha a izquierda, y con el punzón se marcan las líneas que muestran la dirección de inclinación de la sangría (figura 56a). Después de haber calcado la Figura que tiene la banderola sobre la base del tronco, se termina de trazar, uniendo los diferentes puntos para formar líneas (figuras 56b y 56c).

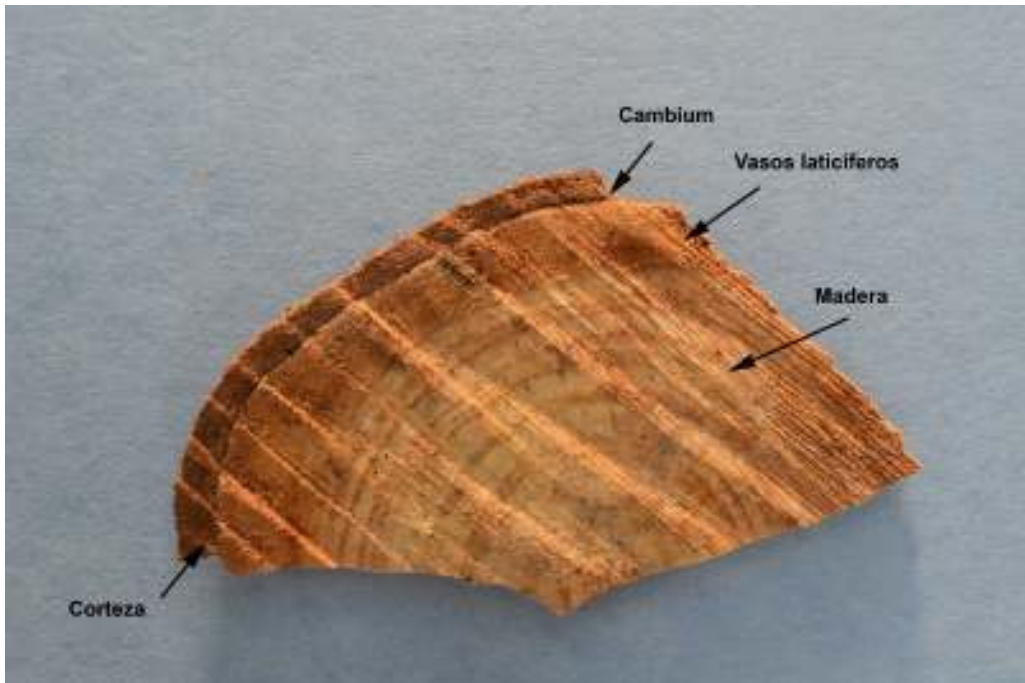


Fotos: Alfonso Martínez

Figura 56. Trazado del panel de sangría. a. Trazado con la banderola; b. Trazado de las guías con la banderola; c. Panel de sangría y guías debidamente trazadas.

Apertura de paneles

Su objetivo es alcanzar los vasos laticíferos, para lo cual, mediante el uso de la cuchilla, el corte se realiza 1 cm sobre la línea que limita la altura del panel, desbastando la corteza de forma suave (figura 57). El desgaste inicial de la corteza debe permitir que la cuchilla de sangría encaje perfectamente en el nuevo corte, facilitando la labor de rayado. Es importante indicar que el corte debe ser preciso, y que se debe evitar al máximo cualquier daño mecánico que impida la regeneración de tejidos y, con ella, el crecimiento.



Fotos: Aníbal L. Tapiero

Figura 57. Anatomía del tronco del árbol de caucho.

Luego de realizar el corte, y utilizando la cuchilla, se construye un canal vertical de entre 15 y 20 cm, con el fin de facilitar el movimiento del látex hacia la canaleta y la taza (figura 58).



Foto: Alfonso Martínez

Figura 58. Apertura de panel hasta la canaleta.

Equipamiento del árbol

Luego de la apertura del panel, se equipa el árbol, instalando una canaleta en una posición entre 10 y 20 cm por debajo del corte en el extremo inferior derecho, al final del canal de escurrimiento, sin profundizar demasiado el anclaje de la canaleta. Luego, entre 10 y 20 cm debajo de la canaleta, se instala el alambre en forma de espiral, y sus puntas deben permanecer verticales (figura 59).



Foto: Aníbal L. Tapiero

Figura 59. Equipamiento del árbol de caucho.

Operación

Una vez equipados los árboles de caucho se procede a organizar las labores de sangrado.

Aspectos generales sobre la sangría del árbol de caucho natural

La sangría es la práctica más importante en la etapa de aprovechamiento, ya que determina la vida útil del cultivo y la producción, y es responsable de alrededor a 60 % de los costos totales del caucho producido. La primera apertura del panel debe ser amplia y poco profunda, sin escurrimiento de látex, el cual debe fluir después de realizar entre cuatro y cinco rayados (A. Martínez, comunicación personal, 2014).

La producción de los primeros rayados es mínima, y se caracteriza por un látex viscoso y amarillento, que se coagula con rapidez. Después de 10 a 15 rayados, el látex fluye con facilidad. Donde el caucho no se cultiva tradicionalmente, se han encontrado diferentes problemas en la etapa de aprovechamiento, como daños en el panel de sangría, lo cual indica la necesidad de iniciar esta fase con personal previamente capacitado y dedicado al manejo del cultivo.

Algunas de las recomendaciones para aumentar la eficiencia del proceso de sangría son las siguientes:

1. No incluir árboles con disturbios fisiológicos, afectaciones sanitarias, en proceso de defoliación o en recuperación por ramas quebradas.
2. Iniciar el aprovechamiento cuando los árboles alcanzan un perímetro mayor a 40 cm, evitando el sangrado sobre árboles jóvenes, que afecta la regeneración de la corteza.
3. Evitar largos desplazamientos del sangrador, ya que dificultan el proceso de aprovechamiento y aumentan los costos de producción. Así mismo, iniciar las actividades de sangría antes de la salida del sol, puesto que en esta parte del día las plantas aún no han comenzado su proceso de fotosíntesis, la presión interna es mayor y los vasos laticíferos están sobrepresionados (14 atmósferas). En horas más tardías de la mañana, aumenta la transpiración y se reduce la producción. Cuando ha llovido en la noche, la sangría puede realizarse en las horas finales de la tarde, ya que las condiciones atmosféricas facilitan una buena producción de látex. En todo caso, el periodo de escurrimiento y recolección no debe ser inferior a dos horas.
4. Teniendo en cuenta la edad de la plantación, las condiciones del clima y las etapas de defoliación y refoliación, se pueden definir periodos de descanso en la producción. Es recomendable que plantaciones que se encuentran en sus primeros cuatro años de sangría cuenten con dos meses de descanso; un mes entre el quinto y el octavo año, y en plantaciones con mayor edad la explotación se detiene en el momento en que no resulta rentable (baja producción) o se presentan problemas sanitarios que ocasionan una defoliación prematura.
5. El personal dedicado al proceso requiere capacitación y entrenamiento en escuelas de sangría (a cargo del SENA).
6. Los ángulos de corte deben obedecer a la edad de la plantación y el grosor de la corteza: 35° para las plantas jóvenes y 33° para aquellas de edad avanzada y corteza más gruesa. En sangría descendente, los ángulos varían entre 45° y 50°, para evitar un exceso de escurrimiento por el panel de sangría (tabla 31).

Tabla 31. Periodos de descanso de la actividad de rayado, según la edad y las condiciones de la plantación

Años de sangría	Meses de sangría/año	Inicio del descanso	Observaciones
1 a 4	10	Defoliación	Reinicio a la formación completa de hojas en estado adulto (D)
5 a 8	10-11	Defoliación	
9 o más	10 -11	Defoliación	

Fuente: Martínez (2010)

Sistemas de sangría

Como en la producción de caucho natural la sangría de los árboles en las plantaciones es una de las prácticas más importantes, la organización del proceso de extracción debe planearse en forma rigurosa.

Sistema de aprovechamiento propuesto

Una mayor cantidad de agua almacenada en el suelo en la época de altas precipitaciones se relaciona con una producción de látex más elevada. Se recomienda que el rayador tenga en su equipo ácido fórmico o acético, para adicionar algunas gotas en cada taza y lograr la coagulación del látex. En los periodos más lluviosos, se puede suspender el rayado por aproximadamente 20 días.

Dirección del corte

Aunque normalmente el corte es descendente o de panel bajo, y de izquierda a derecha, en árboles con daños mecánicos sobre la corteza la sangría puede ser de panel alto o ascendente, lo que permite conseguir un incremento en la producción y facilita la recuperación de la corteza del panel bajo (figura 60).

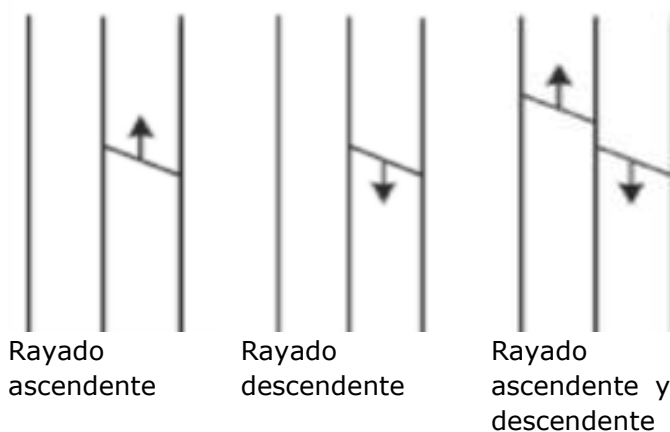


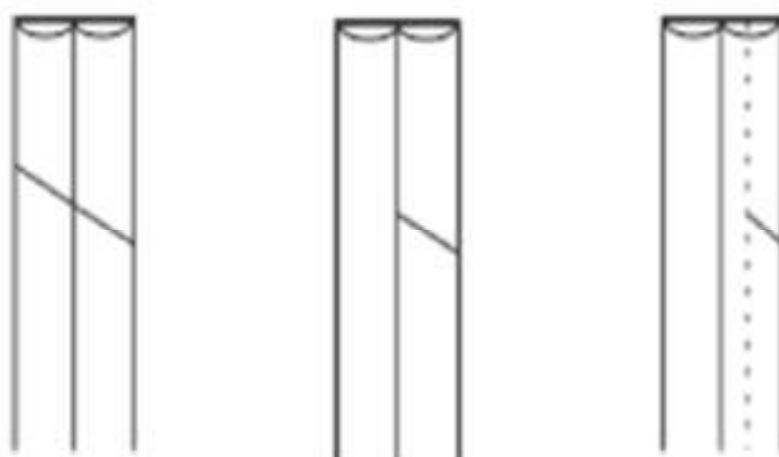
Foto: Aníbal L. Tapiero

Figura 60. Herramientas para el rayado y dirección del corte.

Diagramas: Tapiero A.L.

Tipo y tamaño de corte

Los tipos de corte más utilizados son el de espiral (S), en V, microcortes menores a 5 cm (Mc), y media espiral ($S/2 = \frac{1}{2}S$). Este último es el único utilizado en Colombia, en especial en sangría descendente. Es necesario tener en cuenta que el de espiral no es recomendable, ya que, aunque inicialmente aumente la producción, entre más largo sea el corte también se incrementa el uso de corteza y la susceptibilidad a problemas sanitarios en el panel (Figura 61). Para sangría ascendente son útiles los cortes $S/4 = \frac{1}{4}$ o S3.



Espiral Semiespiral Cuarto de espiral

Figura 61. Tipos de corte en el panel de sangría.

Diagrama: Martínez A.

Frecuencia de sangría

La frecuencia es el intervalo entre dos sangrías, y su nomenclatura se indica en días, de la siguiente manera (tabla 32):

1. d/2: sangría cada dos días: se sangra un día y se descansa otro.
2. d/7: sangría cada siete días.
3. 6 d/7: en un periodo de siete días, se sangra durante seis días seguidos y se descansa el domingo.
4. 5 d/7: en un periodo de siete días, se sangra durante cinco días y se descansa el fin de semana.
5. d/2 6 d/7: en un periodo de seis días, se sangra en días alternos y se descansa el domingo. En esta frecuencia el sangrador realiza actividades en dos lotes diferentes.

Tabla 32. Parámetros de rayado según el sistema de sangría

Frecuencia de sangría	Consumo de corteza por sangría (mm)	Nº de rayados/año	Consumo de corteza/año (cm)
½ S d/2 6 d/7	1,2-1,3	150	18-20
½ S d/3 6 d/7	1,3-1,4	100	13-14
½ S d/4 6 d/7	1,4-1,6	90	13-14
½ S d/5 6 d/7	1,6-1,8	70	11-13
½ S d/6 6 d/7	1,8-2,0	60	11-12

Fuente: Martínez (2010)

Las principales ventajas de las frecuencias d/3 y d/4 son el uso eficiente de la mano de obra, el mantenimiento de la producción, un menor consumo de corteza y la posibilidad de realizar una estimulación química a los árboles (Martínez, 2007). Normalmente, las sangrías d/5 y d/6 son implementadas en plantaciones con áreas efectivas mayores a 1.000 ha, para maximizar el recurso humano.

A partir del tercer año de aprovechamiento, es recomendable un cambio anual de panel al lado opuesto del fuste, para mantener altos niveles de producción. Con evaluaciones recientes, se ha observado un aumento de la producción de látex de entre el 20 % y el 30 % utilizando este sistema.

Estimulación química

Este proceso pretende mejorar la productividad del cultivo, al retrasar la coagulación del látex sobre el corte y así prolongar el flujo después del rayado. Con ese objetivo, se aplican productos como Ethrel® o Etephon®, cuyo principio activo es el ácido 2-cloroetil fenólico o etefón, que induce la liberación de etileno en el sistema laticífero, estimulando el árbol (Martínez, 2007).

Fisiológicamente, la estimulación modifica el pH y la permeabilidad celular de los vasos laticíferos, lo que inhibe la coagulación del látex. El proceso tiene algunas ventajas, como la reducción en el consumo de corteza, ya que se aminora el número de rayados por árbol, lo que prolonga su vida útil, y disminuye tanto la incidencia y severidad de enfermedades en el panel como los costos relacionados con el control fitosanitario (Martínez, 2007).

La metodología de utilización y el número de estimulaciones adecuados dependen de cada árbol, del tipo de clon, la edad, el metabolismo y los azúcares disponibles. La aplicación del estimulante sobre el panel del árbol debe hacerse de dos a tres días antes del rayado, y se recomienda usar un cepillo de dientes.

Es necesario considerar que la mezcla que se va a utilizar se debe preparar en recipientes que no sean metálicos, y en cantidad suficiente para su uso en el mismo día. Adicionalmente, es importante calibrar la dosificación de acuerdo con las características de los árboles que se pretende estimular (figura 62). La solución al 2,5 %, para 500 árboles, se prepara diluyendo 52 cm³ de etefón en 948 cm³ de agua, y la solución al 5% con 104 cm³ de etefón en 896 cm³ de agua.



Foto: Ibonne García

Figura 62. Aplicación de etefón para estimular la producción de látex.

Frecuencia de estimulación para los clones más sembrados en la altillanura

Se recomienda comenzar la estimulación en el segundo año de sangría, una vez que haya pasado la época seca y se hayan acumulado más de 100 mm de lluvia. En el caso de clones brasileños de las series IAN y FX, se ha encontrado un aumento en la producción utilizando un sistema en $\frac{1}{2}S$ d/3, con seis estimulaciones al año con etefón al 2,5 %.

Después del tercer año de sangría y hasta el undécimo, se pueden aplicar hasta ocho estimulaciones anuales. En el caso del clon asiático RRIM 600, en un sistema de sangría $\frac{1}{2}S$ d/3, en el segundo año se realizan tres estimulaciones, a partir del tercero y hasta el undécimo se pueden aplicar seis anuales, y después de este año se pueden realizar hasta 11 estimulaciones anuales (Martínez, 2007; Montoya et al., 2004).

Capítulo XIV

Poscosecha (beneficiado del látex)

Una vez concluye el fuido de látex se añade ácido fórmico al 5 % para la formación de coágulos, los cuales se colectan periódicamente y se almacenan en un lugar seco. Cuando el propósito es colectar látex, se añade 6–8 gotas de sulfito de sodio al 5 % y se transporta a tambores o canecas en un lugar aireado y cubierto.

Látex del árbol de caucho (*Hevea brasiliensis*)

El látex, citoplasma de las células laticíferas, es una suspensión coloidal de color blanco o crema, que contiene las partículas de caucho (*cis*-1,4-poliisopreno), en una proporción que se encuentra entre el 25 % y el 45 % del volumen total, y un 90 % del peso seco (Compagnon, 1998). Además de agua y caucho, el látex tiene otros componentes, como proteínas, azúcares, malato, citrato, y elementos como Mg, Ca, Cu y P, entre otros (Jacob, D'Auzac, & Prevot, 1993).

Su densidad está entre 0,973 y 0,979, resultante de los pesos específicos del suero (1,02) y de las partículas de caucho en suspensión (0,91). Es de carácter neutro, con un pH que va del 7,0 al 7,2, pero cuando se expone al aire durante periodos de 12 a 24 horas, su pH baja hasta un valor de 5, y se presenta la coagulación espontánea (Compagnon 1998).

Contenido de caucho seco (DRC)

El valor del látex depende directamente del contenido de caucho seco o DRC después de su separación del látex. Se entiende como *dry rubber content* (DRC) la fase dispersa del látex, separada del suero por el método convencional de coagulación, seguido de la separación, el lavado, prensado y secado del coágulo.

La composición general del caucho seco se describe en la tabla 33. El DRC en el látex varía entre el 25 % y el 45 %, según el origen clonal, la edad de los cultivos, las condiciones climáticas, el ciclo vegetativo y las modalidades de la sangría, en cuanto a intensidad, estimulación y tipo de corte (Compagnon, 1998).

Tabla 33. Composición general del caucho natural

	Hidrocarburo caucho	Impurezas	Cenizas	Agua	Proteínas	Material orgánico
(%)	93 - 96	0,001 - 0,3	0,2 - 1,5	0,1 - 0,5	1 - 3	2 - 3

Fuente: Adaptado de Asoheca (2009)

La determinación del DRC (%) es un procedimiento normalizado, que requiere de un laboratorio y equipos especializados. Por tal razón, a través del cálculo del contenido de sólidos totales o *total solid content* (TSC %), se relaciona el DRC mediante tablas de equivalencia.

Sin embargo, ya existe literatura que sugiere que el DRC se puede evaluar aún en el campo, gracias a hornos microondas, para que los trabajadores puedan ver los resultados (Kaida, 1991). De manera práctica, los productores de caucho asumen que la diferencia es de 3 puntos o del 10 % por debajo del valor del TSC (Compagnon, 1998; Rincón, 1985).

Metodología para la estimación del tsc

A continuación, se describe la metodología que establecieron Montoya, Aristizábal, Chaves, Díaz et al. (2004) para estimar el contenido de sólidos totales.

1. Pesar una caja de Petri con su tapa limpia y seca (A).
2. Remover la tapa, adicionar con la micropipeta 2,5 ml de la muestra previamente adecuada, y distribuirla sobre el fondo de la caja de manera uniforme, agitándola con la mano.
3. Pesar la caja de Petri con la muestra (B)
4. Llevar la caja completa con la muestra al secador, durante dos horas, a una temperatura de 100 °C.
5. Retirar la caja del secador, llevarla a desecar durante media hora y pesarla (C).
6. Repetir el secado hasta que el peso de la muestra no cambie más de 1 mg.
7. Estimar el contenido de sólidos totales a partir de la relación mostrada en la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Sólidos totales} = \frac{(C - A)}{(B - A)} * 100$$

Beneficiado del látex

El término “beneficiado del látex o caucho” se refiere a todas las operaciones que permiten la transformación del látex, extraído del árbol o de los diferentes productos de su coagulación obtenidos en la plantación, con el propósito de conseguir una materia prima que el transformador o manufacturero pueden utilizar.

El tipo de beneficio del látex extraído en campo depende ante todo del total de hectáreas que se encuentran en aprovechamiento y de los requerimientos de la industria. En términos generales, se pueden obtener las siguientes presentaciones: lámina seca, lámina tipo crepé, lámina ahumada, caucho granulado técnicamente especificado, látex preservado, látex centrifugado y látex cremado.

Presentaciones de materia prima con caucho seco

Se incluyen a continuación, las presentaciones más relevantes del procesamiento de coágulos obtenidos en la plantación para su comercialización como materia prima para la Industria.

Lámina seca

Por lo general se produce a partir de plantaciones pequeñas, ya que requiere poca infraestructura. Otra alternativa es la comercialización directa del coágulo (por coagulación espontánea), almacenado en un sitio con sombra y transportado posteriormente a una planta de beneficio en canastillas plásticas. A continuación, se especifica el proceso de beneficio de lámina seca (CCC, 2012; Fondo Nacional de Fomento Cauchero [FNFC], 2006) (figura 63):

1. **Recolección del látex:** se hace después de cinco horas de haber realizado el rayado, en un recipiente con capacidad de cinco galones, siguiendo el mismo recorrido que en el proceso de sangría. Dos semanas después de una estimulación se pueden realizar dos recolecciones al día.
2. **Filtrado:** con el fin de retirar impurezas que puedan alterar la calidad del caucho en su terminado final, el látex se debe pasar por un filtro de plástico, para separar precoágulos, insectos, flores, hojas y trozos de corteza que hayan caído en las tazas.
3. **Dilución:** se realiza con el propósito de llevar el contenido de caucho a una concentración constante. Consiste en aplicar agua al látex, en cantidades

que varían según las condiciones climáticas de la región y el estado del árbol. En los meses soleados y lluviosos, se diluye con un volumen de agua y mezclando bien, con el fin de disminuir la proporción de sólidos de látex del 30 % al 15 % y facilitar la coagulación. En los meses más lluviosos, se agrega medio volumen de agua, y en la época seca, dos volúmenes.

4. Acidificación: se realiza con el objetivo de reagrupar las partículas dispersas del látex, haciendo que su pH descienda de un estado básico a uno más ácido. Para lograrlo, con la ayuda de una jeringa se agrega 1 cm³ de ácido fórmico, al 90 % de concentración, por cada dos litros de la dilución (agua más látex). Se requiere mezclar bien para tener homogeneidad y obtener un coágulo blando, fácil de laminar.
5. Coagulación: se vierten 12 L de la dilución acidificada en una canoa o gavera de 1,50 m de longitud, 20 cm de ancho y 10 cm de altura, y se deja en reposo por 24 horas, con el fin de que alcance la maduración.
6. Laminado: es el procedimiento mecánico para obtener láminas de caucho con un espesor de 1,5 a 2 mm y un contenido mínimo de agua. Con tal propósito, es necesario que el látex coagulado se pase entre los dos cilindros de la máquina laminadora de 7 a 8 veces, para obtener láminas con un 30 % de humedad. Una vez terminadas, estas láminas se deben lavar con agua, con el fin de retirar el contenido de ácido al máximo. También se puede adaptar una fuente que vierta agua directamente a la lámina mientras se realiza el proceso de laminado.
7. Una máquina laminadora está conformada por dos cilindros de 60 cm de longitud por 10 cm de diámetro, empotrados en dos soportes o cureñas, y accionados por una polea a través de un juego de piñones.
8. Secado: cuando se haya finalizado el proceso, las láminas obtenidas se disponen para que se sequen a la sombra, en guadas o en dos alambres gruesos, con una separación de 10 a 12 cm, para permitir que el aire circule en medio de las láminas y obtener un secado uniforme y más rápido, evitando el crecimiento de hongos, que disminuyen la calidad del producto. Este proceso dura aproximadamente 15 días, y se obtienen láminas con una humedad aproximada del 5 %.
9. Empacado: después de obtener láminas bien secas, se seleccionan según su calidad y se empacan en balas de 40 kg, donde deberán cubrirse con plástico de polietileno transparente, para protegerlas de la humedad, los hongos y la tierra durante el almacenamiento y el transporte.



Figura 63. Pasos Fen la producción de láminas secas. a. Filtrado; b. Dilución; c. Acidificación; d. Coagulación; e. Laminado; f. Secado; g. Empacado.
Fuente: FNFC (2006)

Caucho ripio

Los fondos de taza resultantes de la coagulación espontánea del látex que sigue escurriendo después de la recolección (ripio) se recogen y empacan el día anterior a la sangría del lote, en sacos de fique o polipropileno, y se secan a la sombra en camillas con fondo de malla, con el fin de tener una buena circulación del aire (ccc, 2012).

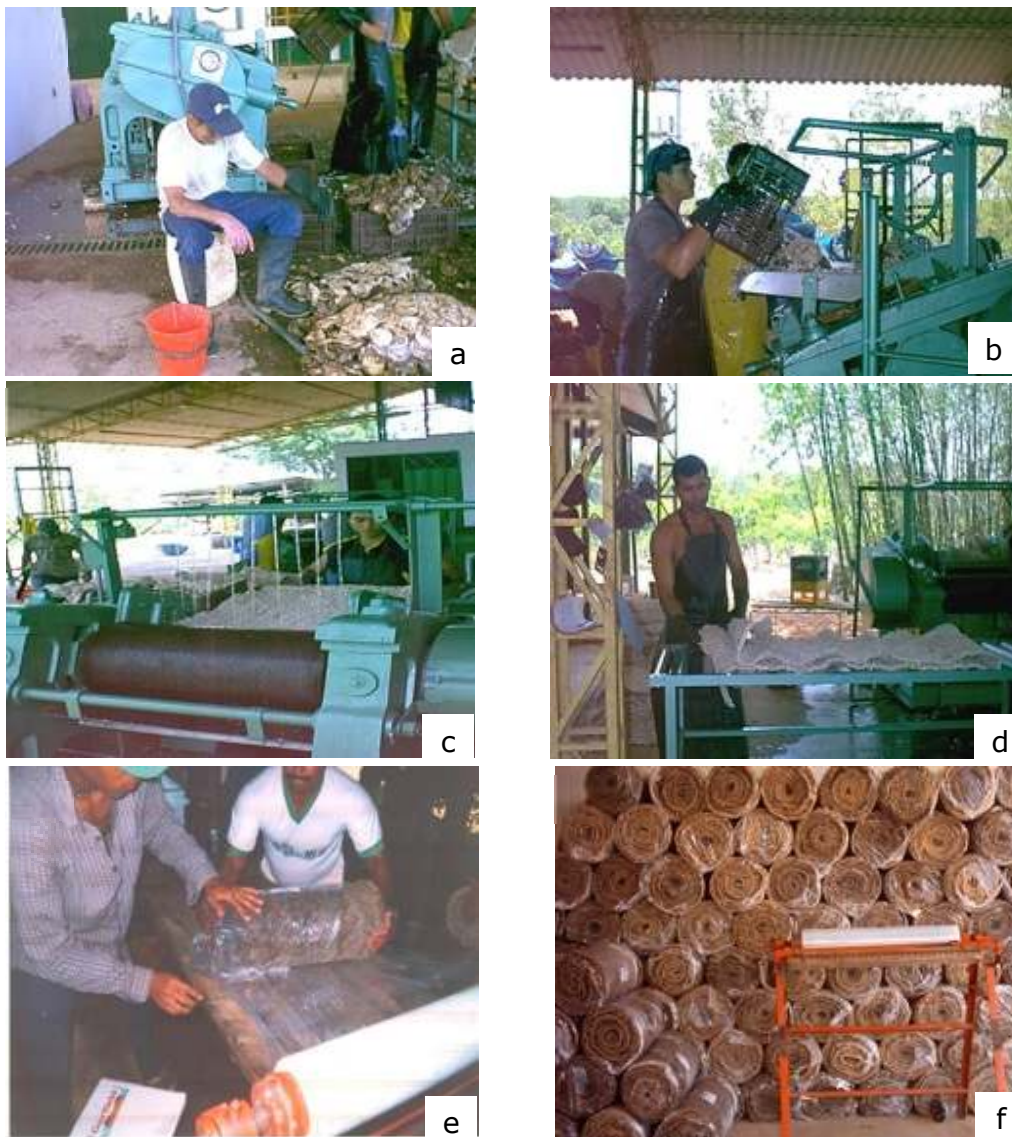
Antes del rayado, se remueven las cintillas (descintada), se recolectan en bolsas plásticas y se llevan al secadero. Los fondos de taza y cintillas secas se empacan en costales para su comercialización. El ripio o cauchos secundarios constituyen del 15 % al 25 % de la producción de caucho seco (ccc, 2012).

Láminas de caucho tipo crepé

Se denominan láminas tipo crepé por la textura que presentan después de ser pasadas por una crepadora (laminadora accionada por un motor y provista de rodillos labrados, que giran en sentido contrario y a diferente velocidad). Se sugiere esta presentación para núcleos productivos de entre 200 y 400 ha, e implica la construcción de una planta de beneficio de mediana capacidad. Los siguientes son los pasos para la obtención de este tipo de láminas (Figura 64) (ccc, 2012).

1. **Recolección de coágulos en campo:** el trabajo con coágulos frescos requiere que a la taza se le adicione ácido fórmico al 5 %, tres horas después de haber iniciado el rayado. Se recolectan al día siguiente para su beneficio (presentan una textura blanda). Si se deja coagular el látex de manera espontánea dentro de las tazas, los coágulos se recolectan el día anterior al próximo rayado. Se pueden acumular a la sombra, en un sitio de acopio, y ser transportados al beneficiadero posteriormente, en forma periódica. Estos coágulos son más duros a causa de la pérdida de humedad. La cintilla se recoge antes del rayado, se empaca en bolsas plásticas y se lleva al lugar de acopio.
2. **Remojo de los coágulos:** si llevan varios días acumulados, tan pronto llegan a la planta se vierten en un tanque con agua, con el propósito de hidratarlos y extraer residuos orgánicos, como insectos, flores, hojas, tierra y trozos de corteza.
3. **Crepado:** el proceso consiste en pasar los coágulos y la cintilla por dos o más máquinas crepadoras, bajo una lluvia de agua. Los coágulos son desgarrados y luego mezclados, hasta formar una lámina de 6 cm de espesor. Con el fin de tener láminas más delgadas, cuyo secado es más rápido, es posible incorporar una tercera crepadora a la línea de proceso.
4. **Secado:** las láminas tipo crepé se disponen verticalmente, en soportes metálicos o de guadua, distanciadas unas de otras, con el fin de permitir el flujo de aire en los secadores artesanales.

5. Empacado: después de obtener las láminas secas, son seleccionadas según su calidad y empacadas en rollos cubiertos con plástico de polietileno transparente, con el propósito de proteger las láminas de la humedad, los hongos y la tierra durante el almacenamiento y transporte.



Fotos: Montoya, Aristizábal, Chaves, Quesada et al. (2004)

Figura 64. Pasos para la producción de caucho tipo crepé. a. Acopio; b. Primera crepadora; c. Segunda crepadora; d. Láminas obtenidas; e. Empacado; f. Almacenamiento.

Caucho granulado técnicamente especificado

Por lo general, los cauchos granulados técnicamente especificados se obtienen de núcleos heveícolas con áreas mayores a 2.000 ha, debido a la capacidad de las plantas de beneficio. Aquellas de mediana capacidad producen alrededor de 200 toneladas mensuales. La CCC (2012) especifica los pasos generales para la obtención de caucho granulado (figura 65):

1. **Látex coagulado o coágulos de campo:** se procede de la misma manera que para la obtención de láminas hasta llegar al coágulo. En la planta de beneficio se parte en trozos, que se vuelcan en un molino de martillos o de cuchillos, en el cual se transforma en gránulos para llenar el carro de secado. Luego se transporta sobre rieles a un túnel de secado, con variaciones de temperatura de 90 a 110 °C, siendo un poco más baja en el inicio del proceso.
2. **Pesaje:** se efectúa una vez que ha terminado el secado y el enfriamiento de los gránulos, en pacas de 33,3 kg.
3. **Prensado:** el caucho debe prensarse a temperaturas inferiores a 60 °C. Esta operación tiene como objetivo reducir el volumen y aglomerar los gránulos para ofrecer una mejor presentación. Se realiza a través de una prensa hidráulica de 100 toneladas, durante 30 a 60 segundos, y se conforman balas de 68 × 34 × 17 cm.
4. **Empacado:** las balas se empacan en bolsas plásticas de 95 x 35 x 18 cm.

Dentro de los cauchos granulados técnicamente especificados se encuentran los TSR 5, 10 y 20, este último requerido sobre todo por la industria llantera. La figura 65 muestra los pasos generales para obtener este tipo de caucho. La tabla 34 muestra las especificaciones, de acuerdo con la norma de ASTM International (2007).

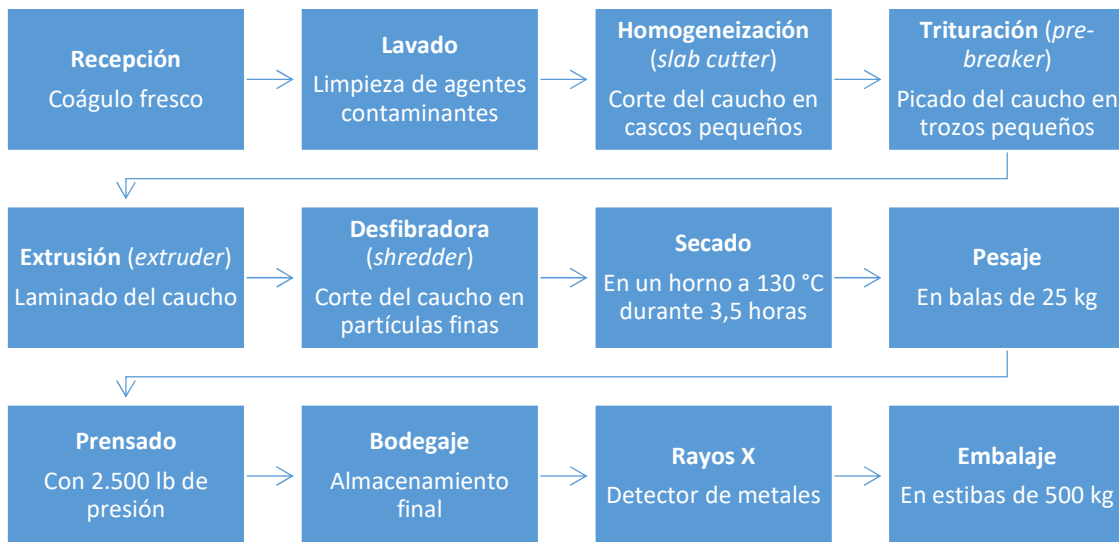


Figura 65. Esquema del proceso para la producción del caucho granulado TSR 20.
Fuente: Castiblanco, Rodríguez, Medina, Santacruz y Suárez (2011)

Tabla 34. Especificaciones técnicas para cauchos granulados

Propiedad	TSR 5	TSR 10	TSR 20
Impurezas (tamiz 45 µm, % máximo)	0,05	0,10	0,20
Cenizas (% máximo)	0,60	0,75	1,00
Material volátil	0,60	0,60	0,60
Plasticidad inicial mínima	30	30	30
Índice mínimo de retención de plasticidad	60	50	40

Fuente: Adaptado de ASTM (2007)

Lámina ahumada

Esta materia prima no se obtiene en el país, pero es importante describir su proceso de beneficio, teniendo en cuenta que es un material demandado por la industria llantera. Se inicia con la recolección del látex en recipientes o pimpinas con una capacidad de 60 L. En campo, antes de la recolección, el látex es preservado mediante la adición en cada recipiente de una mezcla a base de hidróxido de amonio.

En planta, la materia prima es homogeneizada en tanques, para luego mezclarla con agua, hasta obtener un 16 % de DRC. Luego es coagulada con la adición de 120 L de ácido acético al 6 %, para un volumen de 800 L, con un reposo de 16 h. El látex

coagulado se lleva a los tanques, adecuados con serpentinas metálicas para formar la lámina. Con el propósito de extraer el agua de la lámina formada, se pasa entre dos cilindros y se consiguen láminas de 3 mm (Castiblanco et al., 2011).

El proceso de obtención de las láminas dura aproximadamente 8 h y el tiempo de secado es de 6 días. Ese tiempo inicia a temperatura ambiente y aumenta de manera progresiva hasta 70 °C, para lo que se requieren 3 m³ de madera de eucalipto por tonelada procesada. Las láminas se cuelgan en varillas de bambú o guadua, y cuando están secas son prensadas y embaladas en pacas de 25 kg (Castiblanco et al., 2011).

Presentación de la materia prima como látex

Otras formas de presentar el producto del árbol del caucho son el látex centrifugado y el látex cremado.

Látex centrifugado

Este tipo de beneficio se recomienda para volúmenes resultantes de áreas de plantación no mayores a 100 ha, debido al valor de la inversión de la planta destinada a tal fin. De acuerdo con CCC (2012), los pasos generales para la obtención de látex centrifugado son los siguientes:

1. Rayado: al realizar la sangría se deben adicionar en la taza 2 cm³ de amoníaco diluido al 3 %, o de 6 a 8 gotas de sulfito de sodio al 5%, con el fin de retrasar el proceso de coagulación.
2. Recolección: una vez recolectado el látex, se debe estabilizar subiendo su pH a 10,2. Se agrega 1 L de amoníaco por cada 40 L de látex antes de verterlo a la centrífuga.
3. Filtrado: el látex se pasa por un filtro de plástico, para separar los precoágulos y retirar impurezas, como insectos, flores, hojas y trozos de corteza que hayan caído en las tazas.
4. Centrifugado: se realiza con una centrífuga y permite separar la parte sólida del suero, hasta una concentración mínima del 60 %.
5. Empacado: el látex centrifugado se vierte en canecas plásticas de 200 L, a las que se les adicionan 2 L de amoníaco como anticoagulante y 500 g de bórax como preservante, con el fin de evitar la descomposición por microorganismos.

Látex cremado

Consiste en separar la parte sólida del látex, con una densidad de $0,906 \text{ g/cm}^3$, frente a una de $1,02 \text{ g/cm}^3$ del suero, por medio de la adición de químicos. Este sistema se adapta a plantaciones pequeñas (ccc, 2012).

1. Cremado: al látex se le adiciona amoníaco al 1,75 % en fase acuosa ($17,5 \text{ cm}^3$ por 1 L de látex), además de alginato de amonio al 0,25 % ($2,5 \text{ cm}^3$ por 1 L de látex), y se deja en reposo durante 8 semanas para su maduración.
2. Empacado: una vez separadas las dos fases, se elimina el agua por decantación, se recoge el látex cremado a un mínimo del 60 %, y se procede del mismo modo que con el látex centrifugado.

Capítulo XV Subproductos

El subproducto más importante del cultivo del caucho es su madera, que es clasificada como dura y liviana (Compagnon, 1998). El segundo subproducto es la venta de semilla, pero, en los próximos años, toda la semilla obtenida será utilizada para el establecimiento de nuevos cultivos en las diferentes regiones del país, principalmente en la Orinoquia (Martínez, 2006).

Madera

Actualmente, la madera de los troncos del caucho se obtiene en el momento de la renovación, cuando se han cumplido entre 25 y 30 años de sangría y ha disminuido la producción de látex (Compagnon, 1998). Esta madera se utiliza como materia prima con diferentes propósitos y para la elaboración de productos de calidades diversas, como fabricación de muebles, revestimiento de suelos, tableros y construcción en interiores, sustituyendo maderas procedentes de bosques naturales (Killmann & Hong, 2000; Sandoval et al., 2004).

Tailandia y Malaysia son líderes en la industria, ya que alrededor del 80 % de sus exportaciones de muebles y productos derivados están hechos de madera de caucho (Sandoval, 2004). El uso de esta madera en el aserradero depende de su calidad, que está relacionada con el ordenamiento de la plantación y la adopción de buenas prácticas en el proceso de sangrado. Por tal razón, la mayoría de la madera utilizada industrialmente proviene de plantaciones grandes, donde las trozas son de mayor calidad y el costo de la tala y el transporte es menor (Killmann & Hong, 2000).

Luego de haber solucionado los problemas de aplicaciones de la madera, y con el fin de asegurar un buen suministro a partir de los años noventa, Malaysia inició un programa de mejoramiento genético, para obtener clones con doble propósito: alta producción de látex y madera de calidad para aplicaciones industriales (Killmann & Hong, 2000).

Dentro de los clones desarrollados se encuentran los de la serie 2.000, que presentan rendimientos de 2,5 t/ha/año de látex y 600 m³ de trozas de madera por ha. En óptimas condiciones de cultivo, la sangría de látex inicia a los cinco años, y a los quince los árboles pueden ser cortados para la producción de madera (Sandoval et al., 2004).

Para el cultivo del caucho en Colombia, los sistemas de producción más rentables son las plantaciones de doble propósito (látex y madera) en monocultivo o agroforestales con otros maderables y frutales, frente a los monocultivos destinados únicamente a la producción de látex. Además, con el tipo de plantaciones existentes en Colombia y su edad, se estima que se dispondría de una producción de madera de 6.631 m³ por año y de 16.152 m³ desde el 2018 (Sandoval et al., 2004).

Características

La madera de caucho, aserrada cuando está fresca, se caracteriza por una fibra bastante recta, de color blanco a crema, a veces rosácea, que al secarse se torna amarillenta, y el duramen o corazón no se distingue de la albura. Los poros son grandes y dispersos, y radial y tangencialmente aparecen como líneas marrones.

La madera de caucho reciente tiene un contenido inicial de humedad del 60 % al 80 % (tabla 35), y tiende a desarrollar defectos de secado, como curvatura, alabeo, arqueado e interrupción de la actividad vegetativa, particularmente en el duramen del centro del tronco (Killmann & Hong, 2000).

El tiempo de secado al aire oscila entre 40 y 80 días, según las dimensiones de las piezas, y se obtiene una densidad que varía entre 560 y 650 kg/m³, dependiendo de los clones, la edad y el manejo de la plantación. El sistema de secado artificial más recomendable es el de vapor recalentado (Bobadilla & García, 1999).

Tabla 35. Propiedades físicas y mecánicas de la madera del caucho

Propiedad	Densidad kg/m ³	Módulo		Compresión		Esfuerzo de corte	Dureza (janka) N
		de ruptura	de elasticidad	paralela a la fibra N/mm ²	perpendicular a la fibra		
Humedad del 15 %	460-650	66	9.240	32	5	11	4.350

Fuente: Adaptado de Bobadilla y García (1999)

Un rayado inadecuado que atraviese el cámbium durante el periodo productivo puede ocasionar manchas de color negro en los anillos de crecimiento, por hongos y sedimentos introducidos, y propicia la formación de callos, que se consideran un defecto de la madera (Killmann & Hong, 2000).

Por su baja dureza, esta madera no causa desgaste en las herramientas, presenta un buen comportamiento en el momento de clavar o atornillar, permite buenos acabados al lijar, y es fácil de teñir para dar la apariencia de cedro, cerezo o roble (Bobadilla & García, 1999; Obregón, 2004).

Corte, aserrío y tratamiento de la madera del caucho

Para la producción de madera de caucho destinada a aplicaciones industriales, se siguen procesos similares a los de otros maderables (Sandoval et al., 2004). Sin embargo, existen algunos elementos específicos, que se han perfeccionado con años de investigación, realizada principalmente en Malaysia, enfocada en el secado y la preservación. A continuación, se explican estos procesos.

Corte de trozas

En este proceso se hace una preselección de diferentes partes del árbol y se realiza el corte del fuste y de ramas utilizables industrialmente en porciones transportables (trozas). Estas últimas se cortan con mayor eficiencia con motosierra y no se recomienda que se corten en bloques, ya que aumenta el desperdicio de madera. Tampoco se requiere retirar la corteza del árbol, porque puede ser usada en la producción de aglomerados. La tabla 36 resume los productos básicos obtenidos a partir de diferentes tamaños de trozas.

Tabla 36. Materias primas producidas a partir de las trozas de madera de caucho

Tipo de material	Diámetro (cm)	Producto básico producido
Ramas y troncos pequeños	5 a 10	Tableros de partículas
Troncos intermedios	10 a 15	Tableros MDF (<i>medium density fibreboard</i>)
Troncos principales	15 a 30	Madera aserrada y tableros de madera maciza tipo <i>finger joint</i>
Troncos grandes	>30	Son los preferidos para producir piezas especiales para la fabricación de muebles y contrachapados

Fuente: Adaptado de Sandoval et al. (2004)

Transporte

Las trozas se separan en campo y se transportan directamente a la industria. Debe realizarse de inmediato o en un periodo máximo de cinco días entre el corte en campo, el aserrío y el tratamiento en las industrias procesadoras. Si por alguna razón el transporte se demora más tiempo, se hace necesario rociar la madera con una mezcla de bórax o ácido bórico, con el fin de evitar, sobre todo, el ataque de hongos (Sandoval et al., 2004).

Aserrío

Las trozas de madera de caucho se aserran utilizando maquinaria similar a la empleada normalmente para otras maderas, desde sierras sin fin hasta máquinas más eficientes, como la Wood-mizer. Las limitaciones del corte de la madera del caucho se deben ante todo a su deformación cuando se seca y cuando se cortan piezas de gran tamaño, que generan desperdicios, a diferencia de piezas más pequeñas, con las que se pueden obtener productos sólidos y estables. Por esta razón, los tableros de madera maciza son un producto tradicional en la industria de la madera del caucho, utilizada para la producción de muebles.

Tratamiento y secado

Una vez que se ha aserrado la madera, debe ser tratada con sustancias químicas, con el propósito de evitar la biodegradación. Para una protección temporal, las piezas pueden ser sumergidas en boro, y para hacerla permanente se requiere impregnarlas bajo presión con ese elemento, mediante el uso de cámaras de inmunización, donde se cargan las piezas.

Una vez aplicado el boro, las piezas se pasan a hornos de secado, en los cuales se aumenta progresivamente la temperatura (de 40,5 a 76,4 °C), lo que disminuye la humedad del 85 % al 30 %. Piezas de 5 cm de espesor se secan en el transcurso de 10 a 12 días. La madera seca debe contener entre un 8 % y un 12 % de humedad.

Las piezas secas se deben organizar en forma de cubos, cubiertos con plástico u otro elemento que evite la rápida reabsorción de aire. El aserrío de piezas relativamente pequeñas y el uso de cargas de 250 kg/m² sobre la madera apilada para secado reducen deformaciones como pandeo y combadura.

Aplicaciones industriales

La madera de caucho es utilizada principalmente para la producción de tableros de madera maciza y listones. Los tableros se elaboran mediante el proceso llamado *finger joint*, que consiste en la unión y pegado de pequeñas tablas aserradas para formar listones, que a su vez se pegan y conforman tableros de madera maciza (Sandoval et al., 2004).

Estos productos son la materia prima de muebles y molduras. Sin embargo, alrededor del 65 % de la madera aserrada, en especial las piezas más grandes, no se laminan, sino que se pulen y se utilizan directamente en la elaboración de muebles y otros artículos (Sandoval et al., 2004).

Se han reportado alrededor de 61 productos diferentes hechos con madera de caucho. Sus usos más importantes son la fabricación de muebles, tableros de madera (tableros de partículas, pegados con cemento y yeso, y de fibras de densidad media), pisos interiores, recubrimientos, escaleras, utensilios de cocina, así como artículos innovadores.

Además, en forma de madera aserrada, tiene usos generales y como combustible (Killmann & Hong, 2000; Salleh, 1984). Se utiliza muy poco para construcciones exteriores, debido a su baja durabilidad en relación con otras maderas (Killmann & Hong, 2000).

Semilla

Se ha determinado que la calidad de la semilla producida en los cultivos comerciales de caucho es muy adecuada para el establecimiento de nuevas plantaciones (Compagnon, 1998). En Malaysia, se estima que una hectárea produce entre 800 y 1.200 kg de semilla por año (Eka, Tajul, & Wan, 2010).

De acuerdo con los componentes de la semilla descritos en las tablas 37 y 38, se ha encontrado su potencial uso como alimento para animales e incluso para el hombre, e incluso como biocombustible (Eka et al., 2010). Sin embargo, hay que tener en cuenta que la extracción de la semilla del cultivo implica un desbalance en el reciclaje de nutrientes, y hay que valorar la ganancia económica frente a su permanencia en el campo.

Tabla 37. Composición general de la semilla del caucho natural

Componente	Valor
Humedad	3,99 ± 0,01
Proteínas (g/100 g)	17,41 ± 0,01
Grasas (g/100 g)	68,53 ± 0,04
Cenizas (g/100 g)	3,08 ± 0,01
Carbohidratos totales (diferencia)	6,99

Fuente: Adaptado de Eka et al. (2010)

Tabla 38. Parámetros químicos de la semilla del caucho

Componente	Valor
Minerales	
Ca (mg/g)	$(850 \pm 40) \times 10^{-3}$
Fe (mg/g)	$(10 \pm 0) \times 10^{-3}$
Mg (mg/g)	$9,29 \pm 0,15$
Ácidos grasos libres	$4,11 \pm 0,08$
Yodo	$28,07 \pm 1,23$
Peróxido (mEq/kg)	$18,91 \pm 0,71$
Valor de saponificación (mg KOH/g de aceite)	$13,46 \pm 6,51$
Ácido cianhídrico (mg/kg)	$186,00 \pm 4,62$
Potencial combustible H _u (kJ/kg)	$585,41 \pm 3,73$

Fuente: Adaptado de Eka et al. (2010)

Semilla como alimento

Por su alto contenido en proteínas, la harina y la torta de semilla de caucho han sido utilizadas en porcentajes de hasta el 40 % en alimento para el ganado, ovejas y pollos, después del tratamiento térmico y de almacenamiento, con el fin de reducir el ácido cianhídrico presente en ella (tabla 38) (Eka et al., 2010).

Para la detoxificación de la semilla se recomiendan diferentes alternativas como el almacenamiento durante mínimo cuatro meses, un tratamiento térmico por 15 minutos a 350 °C, y el remojo en agua caliente o en una solución de cenizas al 2,5 % (Eka et al., 2010).

Semilla para producción de biodiésel

El porcentaje de aceite extraído de la semilla de caucho corresponde aproximadamente al 68,53 % (tabla 37). Frente al del fruto de la palma aceitera (45 %-50 %), constituye una fuente promisoría de biodiésel. El estudio de composición de aceite ha permitido establecer que la semilla es rica en aceites insaturados, comparables con los de la soya, y se ha encontrado que el éster metílico es similar al que se encuentra en el diésel (Eka et al., 2010).

Capítulo XVI

Indicadores económicos

Colombia cuenta con cerca de 900.000 hectáreas aptas para el establecimiento de plantaciones de caucho (Castañeda, 1997). En 2014 se registraron 52.600, distribuidas principalmente en cinco núcleos: Magdalena centro (Santander), Magdalena Medio (Caldas y Cundi-namarca), Cordón cauchero-cacaotero (Antioquia y Córdoba), Amazonia (Putumayo, Caquetá y Guaviare) y Orinoquia (Meta y Vichada).

Se espera que en 2020 se encuentren establecidas 70.000 ha de caucho, con una productividad promedio de 1,5 t/ha/año, con la cual el déficit nacional sea cubierto, y se cuenta con un excedente exportable a los principales países consumidores.

Rendimientos y costos

En términos generales, se estima que el periodo de aprovechamiento del cultivo del caucho inicia alrededor del quinto o sexto año. Cada 4 ha garantizan un empleo directo permanente y cada 3 ha generan ingresos al pequeño productor de al menos tres salarios mínimos legales mensuales.

En la tabla 39 se representan los volúmenes de producción esperados por clon en condiciones de adecuado manejo. La productividad del primer año de aprovechamiento se sitúa por encima de los 450 kg de caucho seco ha⁻¹, y va creciendo hasta los años 10 u 11, cuando se estabiliza, y tiende a decaer después de los años que van del 25 al 30, lo que implica que, por costos, la extracción de madera del árbol resulta más conveniente que la de látex, es decir que es mejor renovar la plantación.

La productividad depende del tipo de clon establecido y del manejo agronómico. En clones americanos en plena producción se reporta un promedio de 1,5 kg de caucho seco/ha/año (tabla 39). En los asiáticos, se informan productividades promedio de 1,8 a 2,0 kg de caucho seco/ha/año.

Tabla 39. Parámetros productivos a partir del sexto año (primero de producción) de tres clones en el Magdalena Medio colombiano (datos promedio de productividad)

Clon	IAN 710		IAN 873		FX 3864		Producción promedio	
	kg/árbol/año	ml/árbol/pica	kg/árbol/año	ml/árbol/pica	kg/árbol/año	ml/árbol/pica		
Año	6	1,1	44,9	1,5	61,2	1,5	61,2	440
	7	1,7	69,4	2,1	85,7	2,8	114,3	680
	8	2,5	102	3,9	159,2	3,2	130,6	1.000
	9	3	122,4	4,1	167,3	4,1	167,3	1.200
	10	3,5	142,9	4,3	175,5	5	204,1	1.400
	11	4	163,3	5,1	208,2	5,5	224,5	16.00
	12	4,6	187,8	4,6	187,8	5,5	224,5	1.840
	13	4,6	187,8	5,6	228,6	6	244,9	1.840
	14	4,6	187,8	4,6	187,8	6	244,9	1.840
	15	4,6	187,8	5,4	220,4	6	244,9	1.840
	16-30	4,6	187,8	5,2	212,2	6	244,9	1.840
	31	4	163,3					1.600
	32	3,5	142,9					1.400

Árboles productivos/ha: 400; sistema de pica: 7d/3, s/2; días de rayado/árbol/año: 70; DRC promedio: 0,35; DRC del coágulo: 0,53.
Fuente: Promotora de Caucho del Magdalena Medio (Procaucho), Hernán Hernández, comunicación personal

En 2011, se reportaron 33.720 ha, distribuidas en cinco regiones: Amazonia, Magdalena Medio, Magdalena centro, el cordón cauchero-cacaotero de Antioquia y Córdoba, y la Orinoquia, siendo esta última donde se ha observado el mayor crecimiento de área establecida durante los últimos años (Figura 66).

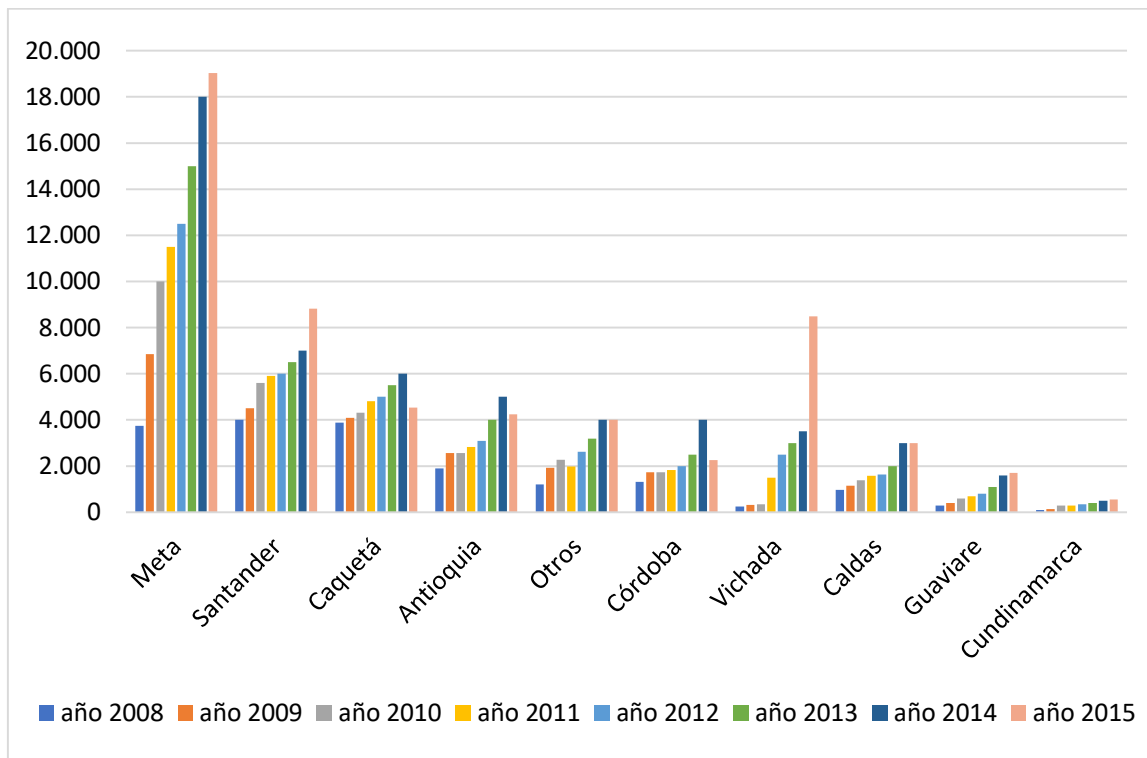


Figura 66. Crecimiento del área cultivada (ha) de caucho en Colombia (2008-2014). Fuente: Confederación Cauchera Colombiana (2015)

El cultivo del caucho presenta rentabilidades cercanas al 20% en zonas de escape al hongo *M. ulei*, constituyéndose en una actividad rentable, alternativa a los cultivos ilícitos en zonas donde se ejecutan proyectos de sustitución de cultivos de uso ilícito. Además, es una especie protectora-productora del medio ambiente y sujeta a la emisión de bonos de captura de carbono.

El cultivo, desde el 2012, cuenta con incentivos como el Certificado de Incentivo Forestal (CIF), la exención de renta, el Incentivo de Asistencia Técnica (IAT) (por medio de crédito), y el Incentivo a la Capitalización Rural (ICR) (MADR, 2012).

Costos de producción

Los costos de producción de la actividad productiva varían levemente, por región y año tras año. La información aquí presentada es aproximada y fue calculada con base en datos locales de la Orioquia en el 2018. Se presenta como guía, sujeta a ser actualizada por ítem sensible, particularmente jornales y costos de la maquinaria, en cada caso (tablas 40 - 44).

Costos directos

Hacen referencia a los elementos que se utilizan de forma directa en el proceso de producción como material vegetal, enmiendas, fertilizantes, productos para el manejo fitosanitario, herramientas, equipos y mano de obra, entre otros. El cálculo se realizó para una densidad de siembra de 510 árboles/ha, en monocultivo, con un valor del jornal de COP 45.000.

Tabla 40. Costos de producción (COP 2018) para el establecimiento de 1 ha de caucho (primer año)

Concepto	Unidad	Cantidad	Año 1	
			Valor unitario (COP)	Valor total (COP)
Mano de obra				
Establecimiento				
Preparación mecanizada del terreno (un pase de cincel y dos de rastra)	Hectárea	1	340.000	340.000
Preparación de estacas	Jornal	1	45.000	45.000
Trazado y estacado	Jornal	2	45.000	90.000
Ahoyado	Jornal	2	45.000	90.000
Aplicación de correctivos en el hoyo	Jornal	2	45.000	90.000
Transporte y distribución internos	Jornal	2	45.000	90.000
Siembra del caucho	Jornal	2	45.000	90.000
Resiembra	Jornal	1	45.000	90.000
Cercas y caminos	Jornal	2	45.000	90.000
Cercado de 200 m para 1 ha	Unidad	0,5	1.420.000	710.000
Mantenimiento				

Plateo	Jornal	4	45.000	180.000
Plateo químico	Jornal	2	45.000	90.000
Control mecánico de malezas	Jornal	1	45.000	45.000
Fertilización	Jornal	3	45.000	135.000
Deschuponado y poda	Jornal	2	45.000	90.000
Control fitosanitario	Jornal	2	45.000	90.000
<i>Subtotal</i>		30		2.355.000
Equipo y herramientas				
Equipos				
Palín	Unidad	0,1	15.000	1.500
Azadón	Unidad	0,1	15.000	1.500
Lima y machete	Unidad	0,1	20.000	2.000
Paladraga	Unidad	0,1	35.000	3.500
Tijera podadora	Unidad	0,1	45.000	4.500
Guadañadora	Global	0,1	1.200.000	60.000
Fumigadora	Unidad	0,05	235.000	11.750
<i>Subtotal</i>				84.750
Insumos				
Plántulas	Unidad	510	4.500	2.295.000
Resiembra de plántulas	Unidad	51	4.500	229.500
Urea	Bulto (50 kg)	2	70.000	140.000
Fosfato diamónico (DAP)	Bulto (50 kg)	2	86.500	173.000
Cloruro de potasio (KCl)	Bulto (50 kg)	1	86.000	86.000
Abono compuesto (Abotek)	Bulto (50 kg)	2	70.000	140.000
Materia orgánica	Bulto (50 kg)	2	50.000	100.000
Fertilizante líquido (Aminoquin)	Litro	1	23.000	23.000
Micorrizas	Bulto (50 kg)	1	45.000	45.000
Insecticida (Regent) (250 cm ³)	Unidad	1	40.000	40.000
Insecticida (<i>Bacillus thuringiensis</i>)	Litro	1	55.000	55.000
Fertilizante (Wuxal tapa negra)	Litro	1	26.500	26.500

Fungicidas (Amistar [40 g] y Mancozeb [1 kg])	Unidad	1	30.000	30.000
Herbicida Roundup (glifosato)	Galón	1	50.000	50.000
Semilla de cobertura <i>Desmodium</i>	Kilogramo	1	55.000	55.000
Disponibilidad de P (roca fosfórica)	Bulto	40	16.000	640.000
Cal	Bulto	40	12.000	480.000
<i>Subtotal</i>				4.608.000
Transporte del material vegetal	Unidad	510	300	153.000
Transporte de insumos	Tonelada	3	70.000	210.000
<i>Subtotal del transporte</i>				363.000
Total costos directos				9.942.000
Total/ha				17.352.750

Fuente: Aníbal L. Tapiero (2018)

Tabla 41. Costos de producción (COP 2018) para el mantenimiento de 1 ha de caucho (segundo año)

Concepto	Unidad	Cantidad	Año 2	
			Valor unitario	Valor total (COP)
Mano de obra				
Mantenimiento				
Conservación de cercas y caminos	Jornal	1	45.000	45.000
Plateo	Jornal	8	45.000	360.000
Plateo químico	Jornal	2	45.000	90.000
Control mecánico de malezas	Jornal	1	45.000	45.000
Fertilización	Jornal	3	45.000	135.000
Deschuponado y poda	Jornal	6	45.000	270.000
Control fitosanitario	Jornal	4	45.000	180.000
<i>Subtotal</i>		25		1.125.000
Equipo y herramientas				
Equipos				
Palín	Unidad	0,1	15.000	1.500
Azadón	Unidad	0,1	15.000	1.500

Lima y machete	Unidad	0,1	20.000	2.000
Paladraga	Unidad	0,1	35.000	3.500
Tijera podadora	Unidad	0,1	45.000	4.500
Guadañadora	Unidad	0,05	1.200.000	60.000
Fumigadora	Unidad	0,05	235.000	11.750
Subtotal				84.750
Insumos				
Abono compuesto (Abotek)	Bulto (50 kg)	1	70.000	70.000
Fertilizante líquido (Aminoquin)	Litro	1	23.000	23.000
Insecticida (Regent) 250 cm ³	Unidad	1	40.000	40.000
Insecticida (<i>Bacillus thuringiensis</i>)	Litro	1	55.000	55.000
Fungicidas (Amistar [40 g] y Mancozeb kg)	Unidad	1	30.000	30.000
Herbicida Roundup (glifosato)	Galón	1	50.000	50.000
Subtotal				268.000
Total costos directos				1.102.750

Fuente: Tapiero (2018)

Tabla 42. Costos de producción (COP 2018) para el mantenimiento de 1 ha de caucho (años 3, 4 y 5)

Concepto	Años 3, 4 y 5			
	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total (COP)
Mano de obra				
Mantenimiento				
Conservación de cercas y caminos	Jornal	1	30.000	30.000
Plateo	Jornal	8	30.000	240.000
Plateo químico	Jornal	2	30.000	60.000
Control mecánico de malezas	Jornal	1	30.000	30.000
Fertilización	Jornal	3	30.000	90.000
Deschuponado y poda	Jornal	6	30.000	180.000
Control fitosanitario	Jornal	4	30.000	120.000
Subtotal		25		750.000

Equipo y herramientas

Equipos

Palín	Unidad	0,1	15.000	1.500
Azadón	Unidad	0,1	15.000	1.500
Lima y machete	Unidad	0,1	20.000	2.000
Paladraga	Unidad	0,1	35.000	3.500
Tijera podadora	Unidad	0,1	45.000	4.500
Guadañadora	Unidad	0,05	1.200.000	60.000
Fumigadora	Unidad	0,05	235.000	11.750
Subtotal				84.750

Insumos

Abono compuesto (Abotek)	Bulto (50 kg)	1	70.000	70.000
Fertilizante líquido (Aminoquin)	Litro	1	23.000	23.000
Insecticida (Regent) 250 cm ³	Unidad	1	40.000	40.000
Insecticida (<i>Bacillus thuringiensis</i>)	Litro	1	55.000	55.000
Fungicidas (Amistar [40 g] y Mancozeb [1 kg])	Unidad	1	30.000	30.000
Herbicida Roundup (glifosato)	Galón	1	50.000	50.000

Subtotal **268.000**

Total costos directos **1.102.750**

Fuente: Tapiero (2018)

Tabla 43. Costos de producción (COP 2018) para el mantenimiento de 1 ha de caucho (año 6)

Concepto	Sexto año			
	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor Total (COP)
Mano de obra				
Mantenimiento				
Conservación de cercas y caminos	Jornal	1	45.000	45.000
Plateo	Jornal	8	45.000	360.000
Plateo químico	Jornal	2	45.000	90.000
Control mecánico de malezas	Jornal	1	45.000	45.000

Fertilización	Jornal	3	45.000	135.000
Deschuponado y poda	Jornal	6	45.000	270.000
Control fitosanitario	Jornal	4	45.000	180.000
Subtotal				1.125.000
Equipo y herramientas				
Equipos				
Palín	Unidad	0,1	15.000	1.500
Azadón	Unidad	0,1	15.000	1.500
Lima y machete	Unidad	0,1	20.000	2.000
Paladraga	Unidad	0,1	35.000	3.500
Tijera podadora	Unidad	0,1	45.000	4.500
Guadañadora	Unidad	0,05	1.200.000	60.000
Fumigadora	Unidad	0,05	235.000	11.750
Subtotal				84.750
Insumos				
Abono compuesto (Abotek)	Bulto (50 kg)	1	70.000	70.000
Fertilizante líquido (Aminoquin)	Litro	1	23.000	23.000
Insecticida (Regent) 250cm ³	Unidad	1	40.000	40.000
Insecticida (Bacillus thuringiensis)	Litro	1	55.000	55.000
Fungicidas (Amistar [40 g] y Mancozeb [1 kg])	Unidad	1	30.000	30.000
Herbicida Roundup (glifosato)	Galón	1	50.000	50.000
Subtotal				268.000
Preparación de soportes de collares de canaletas	Unidad	2	30.000	60.000
Trazado y apertura de paneles	Unidad	5	30.000	150.000
Equipamiento de árboles	Unidad	2	30.000	60.000
Subtotal				270.000
	Insumos			
Ácido coagulante	Unidad	1	10.000	10.000
Metros, banderola y regla	Unidad	0,5	16.000	8.000
Cuchilla de sangría	Unidad	1	20.000	20.000
Soportes, canaletas y tazas	Unidad	500	1.208	604.000

Piedras de afilar	20.000
Subtotal	662.000
Total de costos directos	2.141.750

Fuente: Tapiero (2018)

Costos indirectos

Son aquellos costos que no pueden identificarse de manera directa en la unidad de producción, como renta de la tierra, asistencia técnica, administración, servicios públicos y transporte, entre otros (tabla 44).

Tabla 44. Costos indirectos de producción

Concepto	Total (COP)	ha/año
Costo de la tierra	80.000	1,51
Asistencia técnica	200.000	2,87
Estudio de suelos	100.000	1,44
Administración	280.000	4,03
Servicios públicos	100.000	1,44
Costo de oportunidad del capital	350.000	5,03
Transporte	350.000	5,03
Imprevistos	350.000	5,03
Total	1.810.000	26,38

Fuente: Aníbal L. Tapiero (2018)

Bibliografía

- Alarcón, J., Arévalo, E., Díaz, A., Galindo, J., & Rosero, A. (2012). *Manejo integrado de plagas enfermedades en el cultivo del caucho* (Hevea brasiliensis). *Medidas para la temporada invernal*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Promotora de Caucho del Magdalena Medio (Procaucho).
- Alves, R., Da Silva, E., De Sousa, K., Oliveira, M., Pereira, A., Pereira, E., ... & Icuma, I. (2003). *Controle biológico do percevejo-de-renda da seringueira com o uso de micoinseticida formulado em óleo emulsionável* (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento N.º 113). Planaltina, Brasil: Embrapa Cerrados.
- Amézquita, E. (2013). Propiedades físicas de los suelos de los Llanos Orientales y sus requerimientos de labranza. En E. Amézquita, I. M. Rao, M. Rivera, I. I. Corrales & J. H. Bernal (Eds.). *Sistemas agropastoriles: un enfoque integrado para el manejo sostenible de oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia* (pp. 29-51) (Documento de Trabajo CIAT N.º 223). Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), MADR.
- Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá (Asoheca), (2009). *Ficha técnica para el establecimiento y manejo de jardines clonales de caucho* (Informe mensual de actividades). Recuperado de <http://www.asoheca.org/imagenes/Fichastecnicas/FICHA%20TECNICA%20PARA%20EL%20MANEJO%20DE%20PLANTACIONES%20EN%20PERIODO%20IMPRODUCTIVO.pdf>.
- ASTM International, (2007). ASTM D2227-96(2015), Standard Specification for Natural Rubber (NR) Technical grades. West Conshohocken, EE. UU.: ASTM International.
- Aya, A., Jiménez, J., García, I., González, S., Aristizábal, F., & Santacruz, O. (2009). *Guía técnica para la producción, certificación y distribución de material de propagación de caucho* (Hevea sp.). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, ICA.
- Barak, P. (1999). *Essential Elements for Plant Growth*. Recuperado de <http://soils.wisc.edu/facstaff/barak/soilscience326/essentl.html>.
- Bataglia, O.C. & Gonçalves, P. de S. (1996). Seringueira. In: *Recomendação de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo* (van Raij, B., ed). Instituto Agrônômico, Fundação IAC, Campinas, Boletim Técnico No. 100, 243p.

- Bellotti, A., Arias, B., Reyes, J., Fernández, F., Ceballos, L., & Medina, L. (1989). *Manejo integrado de Erinnyis ello (L.) (gusano cachón de la yuca)* [conjunto audiotutorial]. Cali, Colombia: CIAT.
- Bernardes, M. (1995). *Sistemas de explotación precoce de seringueira cultivar RRIM 600 no Planalto Ocidental do Estado de São Paulo* (Tesis doctoral). Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Bobadilla, I., & García, F. (1999). La madera del caucho. AITIM, Revista de las Industrias de la Madera. Boletín de información técnica N.º 202.
- Bonadie, J., Monteiro, W., Castro, A., Martínez, A., Jaimes, Y., & Rojas, J. (2012). *Sistemas agroforestales en caucho: el caso de Brasil y Colombia*. Bucaramanga, Colombia: Corpoica, MADR, Procaucho, Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (Ceplac).
- Bridgestone Corporation, (2012). *Research Advances Disease Diagnostic Technology for Hevea brasiliensis Natural Rubber Trees*. Recuperado de <https://www.bridgestone.com/corporate/news/2012071001.html>.
- Castañeda, A. (1997). *Zonas aptas para el cultivo del caucho en Colombia* (Serie Técnica N° 39). Bogotá, Colombia: MADR, Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (Conif).
- Castaño, C. (2003). *Río Grande de La Magdalena*. Bogotá, Colombia: Banco de Occidente. Recuperado de <http://www.imeditores.com/banocc/rio/>.
- Castellanos, O., Fonseca, S., & Barón, M. (2009). *Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de caucho natural y su industria en Colombia*. Bogotá, Colombia: MADR, Universidad Nacional de Colombia.
- Castiblanco, L., Rodríguez, C., Medina, R., Santacruz, O., & Suárez, D. (2011). *Informe gira de técnicos colombianos en el proceso de aprovechamiento y beneficio de caucho natural en zonas de escape en plantaciones de San José de Rio Preto-Brasil*. Bogotá, Colombia: MADR.
- Castro O.M., Riascos, D.H., Tapiero, A., & Hoyos L.M. (2019). *Disturbios histológicos causados por Microcyclus ulei y Colletotrichum spp. en caucho (Hevea brasiliensis)*. Sometido.
- Centro de Investigación en Caucho Natural (Cenicaucho) & Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), (2014). *Captura de información del cultivo de caucho en el Magdalena Medio* [Taller]. Barrancabermeja, Colombia.
- Chacón, E. 2012. *Obtención de la norma de diagnóstico y recomendación integral (DRIS) para el cultivo de caucho (Hevea brasiliensis) en la Altillanura colombiana* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Chee, K., & Holliday, P. (1986). *South American leaf blight of rubber* (Monograph N.º 13). Kuala Lumpur, Malaysia: Malaysian Rubber Research and Development Board.

- Chevallier, M. (1988). Genetic variability of *Hevea brasiliensis* germplasm using isozyme markers. *Journal of Natural Rubber Research*, 3(1), 42-53.
- Cividanes, F., Fonseca, F., & Galli, J. (2004). Biología de *Leptopharsa heveae* Drake & Poor (Heteroptera: Tingidae) e a Relação de suas Exigências Térmicas com a Flutuação Populacional em Seringueira. *Neotropical Entomology. Sociedade Entomológica do Brasil*, 33(6), 685-690.
- Cividanes, F., Fonseca, F., & Monteiro Dos Santos, T. (2004). Distribuição de *Leptopharsa heveae* em seringal no Estado de São Paulo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(10), 1053-1056.
- Clément-Demange, A., Priyadarshan, P.M., Tran Thi Thuy Hoa, Venkatachalam, P. (2007). Hevea Rubber Breeding and Genetics. *Plant Breeding reviews*, 29, 177-283.
- Compagnon, P. (1998). *El caucho natural, biología, cultivo, producción*. México, D. F., México: Consejo Mexicano del Hule, Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (Cirad).
- Confederación Cauchera Colombiana (ccc). (2010). *Manejo Integrado de Plagas (MIP) de caucho natural*. Bogotá, Colombia: ccc. Recuperado de <https://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/Manejo%20integrado%20de%20plagas%20en%20el%20cultivo%20de%20caucho.pdf>.
- Confederación Cauchera Colombiana (ccc). (2012). *Producción de caucho natural con estándares para la industria cauchera colombiana* (Informe del Convenio N° 00095 de 2012, SENA-SAC). Bogotá, Colombia: Memorando interno.
- Confederación Cauchera Colombiana (2015). Censo de Plantaciones de Caucho Natural (*Hevea brasiliensis*).
- Cornish, K. 2001. Similarities and differences in rubber biochemistry among plant species. *Phytochemistry*, 57(7), 1123-1134.
- Cristancho, X., & Silva, J. (2011). *Manual ambiental para la producción de caucho natural* (Informe del Convenio 0086 de 2011 SENA-SAC-CCC). Bogotá, Colombia: Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC), CCC. Memorando interno.
- Da Hora-Junior, B., De Macedo, D. M., Barreto, R. W., Evans, H. C., Mattos, C. R. R., Maffia, L. A., & Mizubuti, E. S. (2014). Erasing the Past: A New Identity for the Damoclean Pathogen Causing South American Leaf Blight of Rubber. *PLoS ONE*, 9(8), e104750. doi:10.1371/journal.pone.0104750.
- Delabarre, M., & Benigno, D. (1994). *Rubber: A Pictorial Technical Guide for Smallholders*. Montpellier, Francia: Cirad.
- Domingues, F.A. (1994). Nutrição mineral e crescimento de seringais em início de exploração no Estado de São Paulo. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 59p

- Dussan, H. I. (2006). Manual de procedimientos para técnicos en caucho natural. Florencia. (Obra inédita).
- Eka, H., Tajul, Y., & Wan, W. (2010). Potential use of Malaysian rubber (*Hevea brasiliensis*) seed as food, feed and biofuel. *International Food Research Journal*, 17, 527-534.
- Eraso, H., & Toro, C. (2006). *Manual técnico del cultivo de caucho* (*Hevea brasiliensis*). Bogotá, Colombia: Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria (Pronatta). Recuperado de http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4032/1/200671813117_Manual%20tecnico%20de%20caucho.pdf.
- Escobar, C. (2004). *El cultivo del caucho* (*Hevea brasiliensis* Muell.) *con enfoque agroforestal* (Cartilla divulgativa). Florencia, Colombia: Corpoica, Pronatta.
- Escobar, R., García, F., Rentería, N., & Neita, J. (2002). Manejo y control de hormiga arriera (*Atta* spp. y *Acromyrmex* spp.) en sistemas de producción de importancia económica en el departamento del Chocó. Quibdó, Colombia: Universidad Tecnológica del Chocó, Pronatta.
- Fondo Nacional de Fomento Cauchero - FNFC. (2006). *Cartilla promocional del cultivo de caucho natural*. Bogotá, Colombia: MADR. Reproducción libre.
- Fonseca, F. (2009). Plagas de caucho, monitoreo, control y perspectiva a futuro. *Memorias del Encuentro Internacional del Caucho*. Bucaramanga, Colombia: Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (Usaid), Alta Consejería Presidencial para la Acción Social y la Cooperación Internacional, MADR, CCC.
- Furtado, E. (2008). Doenças das Folhas e do caule da seringueira. En A. Alvarenga & C. Santana do Carmo (Eds.). *Seringueira*. Viçosa, Brasil: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig).
- García, D., Mattos, C., Gonçalves, P., & Le Guen, V. (2004). Selection of rubber clones for resistance to South American leaf blight and latex yield in the germplasm of the Michelin plantation of Bahia (Brazil). *Journal Rubber Research*, 7(3), 188-198.
- García, I., Aristizábal, F., & Montoya, D. (2006). Revisión sobre el hongo *Microcyclus ulei*, agente causal del mal suramericano de las hojas del caucho. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 8(2), 50-59.
- García, I., Castro, O., Aristizábal, F., & Tapiero, A. (2011). Primer reporte de susceptibilidad del clon de caucho natural FX-3864 a *Microcyclus ulei* en la altillanura colombiana. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 13(1), 144-147
- García, I., González, S., Montoya, C., & Aristizábal, F. (2011a). Identification in silico of SSR markers for genotyping *Hevea* sp. clone gardens in Colombia. *Agronomía Colombiana*, 29(3), 359-366.

- Garzón, F. (2000). Principales enfermedades y plagas en el cultivo de caucho *Hevea brasiliensis* (Wild. Ex. Adr. de Juss) Muell. Arg., con énfasis en la Amazonia colombiana. Bogotá, Colombia: Plan Nacional de Desarrollo Alternativo (Plante), Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (Sinchi).
- Gasparotto, L. & Pereira, J. (Org.), (2012). Doenças da seringueira no Brasil. 2ª. ed. Brasília - DF: Embrapa v. 1. 225p. Recuperado de http://livraria.sct.embrapa.br/liv_resumos/pdf/00084580.pdf.
- Gonçalves, P., Bataglia, O., Ortolani, A., & Fonseca, F. (2001). *Manual de heveicultura para o estado de São Paulo*. Campinas, Brasil: Instituto Agrônômico de Campinas (IAC).
- Gonçalves, P., Ortolani, A., & Cardoso, M. (1997). *Melhoramento genético da seringueira: uma revisão*. Campinas, Brasil: IAC.
- Gonçalves, P. de S., Cardoso, M., Boaventura, M. A. M., Colombo, C. A. & Ortolani, A. A. (1991). Clones de Hévea: influência dos fatores ambientais na produção e recomendação para o plantio Boletim Técnico N 138. Instituto Agrônômico Campinas
- Guevara, Y.A. & Aníbal L. Tapiero (2017). Diversidad intra-específica de las poblaciones de *Colletotrichum* spp. afectando caucho en Colombia. V Congreso Brasileiro de Heveicultura. *Trabalhos Científicos I*, 29-33.
- Haag, H. P., Dechen, A. R., Sarruge, J. R., Guerrini, I. A., Weber, H., Tenório, Z. (1982). Nutrição mineral da seringueira. Marcha de absorção de nutrientes. Fundação Cargill, Campinas, SP, Brasil.
- Hallé, F., Oldeman, R., & Tomlinson, P. B. (1978). *Tropical trees and forest: an architectural analysis*. Nueva York, EE. UU.: Springer-Verlag.
- Infante, A. (2006). La sorprendente historia del caucho natural. *Memorias del III Congreso Internacional Cauchero*. Ibagué, Colombia: CCC, SAC, SENA. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2012). Resolución 4994 de 2012, 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*. Bogotá, Colombia: ICA.
- Jacob, C., Srinivas, P., & Roy, C. (2006). *Corynespora leaf disease of Hevea brasiliensis. Strategies for management*. Kerala, India: Rubber Research Institute of India.
- Jacob, J., D'Auzac, J., & Prevot, J. (1993). The composition of natural latex from *Hevea brasiliensis*. *Clinical Reviews in Allergy*, 11(3), 325-337.
- Jacob, J. 2018. Outlook on Natural Rubber during 2019 and Beyond. Recuperado de <https://www.linkedin.com/pulse/outlook-natural-rubber-during-2019-beyond-jom-jacob>).

- Jaimes, Y., & Rojas, J. (2011). Enfermedades foliares del caucho (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) establecido en un campo clonal ubicado en el Magdalena Medio santandereano (Colombia). *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(1), 65-76.
- Jayasingue, C., & Fernando, T. 1998. Growth at different temperatures and on fungicides amended media: two characteristics to distinguish *Colletotrichum* species pathogenic to rubber. *Mycopathologia*, 143(2), 93-95.
- Kaida, B. K. (1991). Determination of Dry Rubber Content (DRC) of *Hevea* Rubber Latex by Microwave Drying. *Pertanika*, 14(1), 65-67.
- Killmann, W., & Hong, L. (2000). El caucho, el éxito de un subproducto agrícola. *Unasylva* 201, (51), 66-72.
- León, G., Beltrán, J., & Campos, J. (2010). *Enemigos naturales y manejo integrado del gusano cachón* (Erinnyis ello) en el cultivo del caucho (*Hevea brasiliensis*). Villavicencio, Colombia: Corpoica, MADR.
- León, G., Martínez, A., Molina, J., & Zuluaga, J. (2009). *Manejo de termitas o comejenes en el cultivo del caucho*. Villavicencio, Colombia: Corpoica.
- Malagón, D. (1995). *Suelos de Colombia: origen, evolución, clasificación, distribución y uso*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).
- Martínez, A., & García, F. (2006). Investigaciones en el cultivo del caucho en la Orinoquia y norte amazónico. Villavicencio, Colombia: Corpoica.
- Martínez, A., Zuluaga, J., & Santos, C. (2006). *Preguntas frecuentes sobre el caucho*. Villavicencio, Colombia: Corpoica.
- Martínez, A. (2007). *Consideraciones técnicas para el establecimiento y manejo del cultivo del caucho* (*Hevea brasiliensis*) en la Orinoquia colombiana. Villavicencio, Colombia: Corpoica. Recuperado de <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12757>.
- Martínez, A., & García, F. (2008). *Sistemas agroforestales con caucho: modelos para la Orinoquía colombiana*. Villavicencio, Colombia: Corpoica, Pronatta.
- Martínez, A. (2010). Algunas consideraciones técnicas para la implementación de cultivos de caucho en la Orinoquia [Presentación oral]. Villavicencio, Colombia: Corpoica.
- Martínez, A. (2012). Programa de fertilización en la etapa de sostenimiento y aprovechamiento de plantas de caucho natural. Presentación oral en el Congreso Internacional Cauchero, Ibagué, Colombia.
- Mojica, J. I., Galvis, G., Sánchez-Duarte, P., Castellanos, C., Villa-Navarro, F.A. (2006). Peces del valle medio del río Magdalena. *Biota Colombiana*, 7(1), 23-38.
- 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. Bogotá, Colombia: MADR.

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2012). *Decreto 2448 de 2012, por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1824 de 1994*. Bogotá, Colombia: MADR.
- 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. Bogotá, Colombia: MADR.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2018). Cadena de caucho Natural. Indicadores e instrumentos. Recuperado de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Caucho/Documentos/002%20-%20Cifras%20Sectoriales/002%20-%20Cifras%20Sectoriales%20-%202018%20Abril%20Caucho.pdf>.
- Montoya, D., Aristizábal, F., Sastoque, L., Díaz, M., Quesada, M., Peña, M., & Santacruz, O. (2004). *Manual para la obtención de material vegetal, establecimiento del cultivo y toma de registros de producción de caucho natural Hevea brasiliensis* (Informe del Convenio IBUN-MADR-Mavalle-SENA). Bogotá, Colombia: Memorando interno.
- Montoya, D., Aristizábal, F., Chaves, B., Díaz, M., Quesada, I., Sastoque, L., & Santacruz, O. (2004). *Proyecto de ajuste y desarrollo tecnológico en los procesos de extracción y beneficio de caucho natural* (Informe técnico parcial del Convenio MADR-Mavalle-IBUN). Memorando interno.
- Montoya, D., Aristizábal, F., Chaves, B., Quesada, I., Sastoque, L., Díaz, M., & Santacruz, O. (2004). *Proyecto de estandarización de los protocolos del prototipo de planta piloto para la producción de caucho tipo crepé* (Informe técnico final del Convenio MADR-Mavalle-IBUN). Memorando interno
- Montoya, D., Aristizábal, F., García, I., Quesada, I., Santacruz, O., & Rodríguez, S. (2008). *Consideraciones técnicas sobre mal suramericano de las hojas del caucho*. Bogotá, Colombia. ed: Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.
- Moreno, G., Gómez, M., & Lozada, A. (2007). *Manual para el cultivo del caucho (Hevea brasiliensis) en la región del Carare-Opón*. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Navarro, D. (2010). *Manejo integrado de plagas*. Lexington, EE. UU.: University of Kentucky.
- Neves, A., Farias, J., Mourão, K., Andrade, A., & Teixeira, R. (2011). *Mandarová (Erinnyis ello). Praga da seringueira*. Belém, Brasil: Universidade Federal Rural da Amazônia.
- Obregón, C. (2004). *Hevea brasiliensis: entre el caucho y la madera, una especie multipropósito*. *El Mueble y la Madera*, (47), 13-19.
- Ortolani, A. (1998). *Fatores climáticos condicionantes da produção de látex da seringueira*. Trabajo presentado en el primer Ciclo de Conferencias sobre la Heveicultura Paulista, Barretos, Brasil.

- Ortolani, A., Pedro-Junior, M., Alfonsi, R., Camargo, M., & Brunini, O. (1983). *Aptidão agroclimática para regionalização da Heveicultura no Brasil*. Trabajo presentado en Seminário sobre recomendações de clones de seringueira, Brasília, Brasil.
- Pereira A. V. - EMBRAPA, (2010). Produção de mudas de seringueira em viveiro suspenso Congresso Brasileiro de Heveicultura - Ilhéus-BA
- Pérez, R., Rincón, A., Cipagauta, M., Schmidt, A., Plaza, C. y Lascano, C. (2002). Maquenque (*Desmodium heterocarpon* (L.) DC. subsp. *ovalifolium* (Prain.) Ohashi CIAT 13651): Leguminosa para usos múltiples en sistemas agropecuarios en Colombia. Cali, Colombia.
- Pinzón, O., Hernández, A., & Malagón, L. (2012). Diversidad de termitas (Isoptera: Termitidae, Rhinotermitidae) en plantaciones de caucho en Puerto López (Meta, Colombia). *Revista Colombiana de Entomología*, 38(2), 291-298.
- Porto, G., & Milagres, J. (2008). Insetos e ácaros associados à cultura da seringueira. En A. Alvarenga & C. Santana do Carmo (Eds.). *Seringueira*. Viçosa, Brasil: Epamig.
- Pushparajah E. (1994). Leaf Analysis and Soil Testing for Plantation Tree Crops. International Board for Soil Research an Management (IBSRAM), Thailand. Recuperado de <http://www.agnet.org/library/eb/398/>.
- Pushparajah, E. & Tan, K.T. (1972). In Factors Influencing Leaf Nutrient Levels in Rubber. Proceedings of RRIM Planter's Conference. Kuala Lumpur, Malaysia: Rubber Research Institute of Malaysia.
- Quesada, I., Aristizábal, F., Montoya, D., & Chaves, B. (2009). Evaluación de seis sistemas de sangría para cuatro clones de *Hevea brasiliensis* (Willd. ex Adr. de Juss) Muell. Arg., en la altillanura colombiana. *Colombia Forestal*, 12, 37-49.
- Ramos, A. (2005). *Uso adecuado y eficaz de productos para la protección de cultivos*. Bogotá, Colombia: Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI).
- Reis, E., & Silva, R. (2008). Solos e nutrição da seringueira. En A. Alvarenga & C. Santana do Carmo (Eds.). *Seringueira*. Viçosa, Brasil: Epamig.
- Renneson, J. (2017). *Polistes canadensis* (Linnaeus, 1758). En *Iconographie des Vespidae du Monde*. Recuperado de http://www.vespidae.be/Polistinae/Polistes_canadensis.htm.
- Restrepo, J. (2012). *Subsector heveícola colombiano* [diapositivas de PowerPoint]. Bogotá, Colombia: MADR.
- Rincón, O. (1985). *Informe del programa de capacitación sobre la agricultura del caucho en Costa de Marfil*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano para la Reforma Agraria (Incora), Institut de Recherches sur le Caoutchouc (IRCA).

- Rincón, O. (2012). *Adopción de medidas para el manejo fitosanitario del cultivo del caucho natural* (Informe del Convenio N.º 00095 de 2012 SENA-SAC). Bogotá, Colombia: SENA, SAC.
- Rincón, S. (2006). Recomendaciones sobre biodiversidad a la guía de manejo ambiental para el sector producción primaria del cultivo de caucho natural. Proyecto Andes. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Rivera, D. (2005). *La Orinoquia de Colombia*. Bogotá, Colombia: Banco de Occidente. Recuperado de <http://www.imeditores.com/banocc/orinoquia/presentacion.html>.
- Rivera, P. (1994). *Construya su equipo para aplicación racional de herbicidas y establezca coberturas nobles en su cafetal* (Avances Técnicos 206). Manizales, Colombia: Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).
- Rivera, P. (2000). *El selector de arvenses modificado* (Avances Técnicos 271). Manizales, Colombia: Cenicafé, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Recuperado de <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0271.pdf>.
- Rojas, F., & Vásquez, L. (2011). *Uso y manejo seguro de plaguicidas en el cultivo del cacao*. Bogotá, Colombia: MADR, Federación Nacional de Cacaoteros, Fondo Nacional del Cacao.
- Saavedra, J. (2012). Asistencia técnica en el manejo y sostenimiento de una plantación de caucho natural (*Hevea brasiliensis*) en etapa de desarrollo improductivo en la empresa Vapinsas S. A. S. (Trabajo de grado). Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia.
- Salleh, M. (1984). Hevea wood. Timber of the future. *The Planter*, 60(702), 370-381.
- Sandoval, D., Solarte, A., Castro, A., Gutiérrez, M., Arango, M., Torres, C., ... & Murgueitio, E. (2004). *Posibilidades de utilización industrial de la madera de plantaciones de caucho en Colombia*. Cali, Colombia: Feriva.
- Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (APTA), (1999). *A Cultura da Seringueira para o Estado de São Paulo* (Manual 72). Campinas, Brasil: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI).
- Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), (2006). *Estudio de caracterización ocupacional del sector del caucho natural en Colombia. Mesa sectorial del caucho*. Bogotá, Colombia: SENA. Recuperado de <https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/2102/1/3016.pdf>.
- Shorrocks, V. (1964). *Mineral Deficiencies in Hevea and Associated Cover Plants*. Kuala Lumpur, Malaysia: Rubber Research Institute.
- Soil Survey Staff. (1951). *Soil Survey Manual*, Handbook 18, USDA, Washington, D. C., U.S.A.

- Sterling, C. A.; Suarez, S. J. C.; Rodríguez, L. C. H.; Vargas, L. M. A. (2014). Evaluación del crecimiento y estado nutricional de clones promisorios de caucho (*Hevea brasiliensis*) en sistema agroforestal con copoazu (*Theobroma grandiflorum*) y plátano Hartón (*Musa AAB*) en dos zonas edafoclimáticas del departamento del Caquetá. En: Sterling, C. A.; Rodríguez, L. C. H. (Eds.). *Agroforestería en el Caquetá: Clones Promisorios de Caucho en Asocio con Copoazu y Plátano Hartón con Potencial para la Amazonia Colombiana*. (Capítulo 2 p. 17 – 62). Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – Sinchi. Scripto S.A.S. Bogotá. Colombia.
- Sterling, A., & Rodríguez, C. (2011). Nuevos clones de caucho natural para la Amazonia colombiana: énfasis en la resistencia al mal suramericano de las hojas (*Microcyclus ulei*). Bogotá, Colombia: Sinchi.
- Sterling, A., & Rodríguez, C. H. (2012). Ampliación de la base genética de caucho natural con proyección para la Amazonia colombiana: fase de evaluación en periodo improductivo a gran escala. Bogotá, Colombia: Sinchi.
- Sterling, A., & Rodríguez C. (Eds.) (2017). Bases técnicas para la selección, propagación y establecimiento de materiales regionales élite de caucho en Caquetá. Bogotá, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas.
- Tapiero, A., Rodríguez, N., & Gutiérrez, A. (2009). *Redefinición de áreas para el establecimiento del caucho a partir de la información climática y ciclo vegetativo del cultivo* [Presentación oral]. Barrancabermeja, Colombia. Corpoica Seminario Internacional del Cultivo del caucho, Barrancabermeja.
- Tapiero, A. (2011). Manejo biológico de enfermedades en cultivos perennes: SALB en caucho (*Hevea* spp.). En L. Hoyos (Ed.). *Enfermedades de plantas: control biológico* (205 - 220). Bogotá, Colombia: Ecoe, Universidad Nacional de Colombia.
- Tapiero, A. L. (2017). Índices de crecimiento, desarrollo y comportamiento fitosanitario de los 7 materiales evaluados en la red de campos clonales en 4 núcleos productivos establecidos. (Informe final del Proyecto) AGROSAVIA.
- Tapiero A. L., Romero L. y Diaz C. (2017). Mal suramericano de las hojas en caucho. Disponible en aplicativo Google play Corpoica Dr. Agro versión 2.0.
- Tapiero A. L. y Diaz C. (2017). Antracnosis en caucho. Disponible en aplicativo Google play Corpoica Dr. Agro versión 2.0.
- Torres, C. (1999). *Manual para el cultivo de caucho en la Amazonia*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

- Trillos, A. (2011). Eje agroindustrial de Barrancabermeja, del Magdalena medio para el mundo (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/10211/TrillosFuentesAnaInes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Vergara, J. (2005). *Biología, manejo y control de la hormiga arriera*. Cali, Colombia: Gobernación del Valle del Cauca.
- Verheye, W. (2010). Growth and Production of Rubber. En Verheye, W. (Ed.) *Land Use, Land Cover and Soil Sciences. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), UNESCO-EOLSS Publishers, Oxford, UK.* <http://www.eolss.net>.
- Virgens Filho, A., Moreira A. & Castro, P.R. (2001). Efeito da calagem e adubação da seringueira no estado nutricional e produção de borracha seca. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 36(8), 1019-1026. Doi: 10.1590/S0100-204X2001000800003.
- Virgens Filho, A., Moreira, A. & Castro, P.R. (2003). Características físicas e químicas do látex e crescimento da seringueira em função da calagem e da adubação NPK em dois sistemas de exploração. *Ciênc. Agrotec.* 27(6), 1237-1245. Doi: 10.1590/S1413-70542003000600005
- Zuluaga, J., & Escobar, C. (2001). Efecto del manejo agroforestal en el desarrollo y producción del caucho (*Hevea brasiliensis* Muell.) en dos áreas del Piedemonte del Caquetá. Boletín divulgativo, Florencia, Colombia: Corpoica.

Apéndices

Consideraciones para el éxito en el proceso de injertación

1. Tanto el jardín clonal como el vivero deben estar sanos y tener una buena nutrición (Montoya, Aristizábal, Sastoque et al. 2004). También son de vital importancia la experiencia, la capacitación y el buen estado de salud del injertador.
2. Es necesario mantener los materiales de siembra en buenas condiciones de limpieza. De igual forma, no se debe tocar el cámbium con los dedos, ni ocasionar demasiadas fricciones entre los tejidos, ya que son muy frágiles.
3. En lo posible, se debe realizar la injertación sobre plantas vigorosas, cuya yema apical esté en plena actividad (Compagnon, 1998).
4. El injerto prendido puede durar hasta dos años en el vivero, pero lo ideal es que se coloque en su sitio definitivo lo más pronto posible, con 1 o 2 pisos foliares completamente desarrollados dado que, entre más tiempo permanezca en el vivero, más demorará su brotación en campo (Montoya, Aristizábal, Sastoque et al., 2004).
5. Se considera exitosa una jornada de injertación, cuando más del 70 % de los injertos tienen prendimiento (Eraso & Toro, 2006). Es importante tener en cuenta que este proceso depende de un gran número de parámetros, en especial el injertador, el clon, el estado de desarrollo fisiológico y las condiciones ambientales (Compagnon, 1998).
6. El número de injertos que una persona realiza al día es variable. Sin embargo, se mantendrá un mínimo de 100 injertos por día en condiciones desfavorables y aproximadamente 300 en circunstancias ideales (Compagnon, 1998).

Recomendaciones generales para el manejo de plagas y enfermedades

En el manejo de plagas y enfermedades, el productor debe enfocarse en la prevención, buscando reducir su introducción y desarrollo, preferiblemente a recurrir a efectuar acciones curativas. Por lo general, las plagas y enfermedades que afectan a los cultivos son muy agresivas, lo cual dificulta su control una vez que se ha iniciado la epidemia, y en algunos casos su manejo es imposible (Navarro, 2010).

A continuación, se enuncian algunas consideraciones generales (León et al. 2009; Navarro, 2010; Rincón, 2012) que se deben tener en cuenta en un plan de manejo en el cultivo.

1. *Área de escape*: se debe seleccionar la zona de cultivo en áreas en las que se han identificado condiciones que no son propicias para la aparición y desarrollo de una enfermedad.
2. *Establecimiento adecuado*: los *stumps* se deben establecer en su sitio definitivo con un adecuado desarrollo de la raíz, sin cortes o heridas, lo cual evitará el ataque posterior de algunas plagas y enfermedades. Evitar la utilización de plantas de vivero en bolsa con raíces entorchadas "cola de marrano" o mal-formadas.
3. *Fertilización*: mantener el cultivo con una fertilización adecuada permite disponer de plantas vigorosas que resisten de mejor manera la afección por plagas y enfermedades.
4. *Exclusión*: se puede prevenir la introducción de patógenos por medio de la utilización de material de siembra sano, mantener un control adecuado de malezas, plantas hospederas alternativas de enfermedades y destrucción de material contaminado.
5. *Erradicación*: es importante eliminar patógenos en el suelo y, si es necesario, remover y destruir árboles enfermos que resulten muy difíciles de recuperar.
6. *Protección*: las enfermedades pueden ser manejadas de manera adecuada, utilizando diferentes tratamientos de control biológico, enmiendas y agroquímicos en germinadores, viveros, jardines clonales y plantaciones.
7. *Resistencia*: en lo posible, se recomienda que en las plantaciones se utilicen materiales que tengan resistencia conocida o tolerancia a las principales enfermedades.
8. *Diagnóstico oportuno*: para el manejo adecuado de las plagas y enfermedades, se requiere la identificación correcta del agente causal, la cual se alcanza mediante un seguimiento continuo a los árboles, la observación de síntomas, el registro de las observaciones, la trazabilidad de las actividades de manejo agronómico y las variables climáticas, así como el concurso de entidades de análisis y diagnóstico.

Consideraciones para la aplicación de pesticidas

Una de las estrategias de manejo de poblaciones de plagas consiste en el uso de agroquímicos, sustancias o una mezcla de ellas, destinadas a prevenir o manejar las especies no deseadas que interfieren en cualquier fase del desarrollo del sistema productivo (Rojas et al., 2011).

Los agroquímicos se pueden clasificar de acuerdo con el destino de su aplicación (herbicidas, fungicidas e insecticidas, entre otros), la acción específica que causan, la formulación y el grado de toxicidad. Antes de usar un plaguicida se deben considerar los siguientes factores (Ramos, 2005; Rojas et al., 2011):

1. Usar productos que, por su baja toxicidad y alta selectividad, ofrezcan los menores riesgos ambientales.
2. Hacer una rotación de los productos, teniendo en cuenta su mecanismo de acción, con el objetivo de que el patógeno no genere resistencia y evitar la disminución de la eficiencia del tratamiento.
3. Es imprescindible leer detenidamente la etiqueta del producto comercial, ya que allí se condensa toda la información relevante para su uso, como el ingrediente activo, la categoría toxicológica, la fecha de vencimiento, los principales riesgos que se deben tener en cuenta para el mejor resultado de la aplicación, la protección que debe usarse y los primeros auxilios que pueden realizarse en caso de intoxicación.
4. Por lo general, los ingredientes activos no se usan solos y están acompañados de aditivos, que permiten eficiencia y eficacia en la aplicación, así como en la seguridad y el almacenamiento. La mezcla entre el ingrediente activo y el aditivo se conoce como formulación, y puede ser sólida o líquida.
5. Formulaciones líquidas: concentrados emulsionables (EC), formulaciones de ultra bajo volumen (ULV), concentrados solubles (SL), suspensiones concentradas (SC) y microencapsulados.
6. Formulaciones sólidas: polvos para espolvoreo (DP), polvos mojables (WP), polvos solubles (SP), gránulos dispersables (WG) y cebos tóxicos (GB).
7. Mecanismo de acción: describe el impacto de un producto en un proceso bioquímico, que puede involucrar el sistema nervioso u hormonal, el balance hídrico o la producción de energía.
8. Modo de acción: hace referencia a la manera en que penetra un producto químico para ejercer control, como contacto, ingestión o inhalación.
9. Residualidad: consiste en la presencia de metabolitos biológicamente activos y biodegradables, que ejercen un control significativo en nuevas poblaciones.
10. Categorías toxicológicas:
 - Categoría I: extremadamente tóxico, banda roja
 - Categoría II: altamente tóxico, banda amarilla
 - Categoría III: medianamente tóxico, banda azul
 - Categoría IV: ligeramente tóxico, banda verde

Para el proceso de preparación de la mezcla de plaguicidas, se deben seguir las indicaciones y recomendaciones técnicas para el uso de cada producto, en cuanto a su preparación, dosificación, elementos de protección y manejo de recipientes (Ramos, 2005; Rojas et al., 2011).

www.siembra.gov.co



El campo
es de todos

Minagricultura