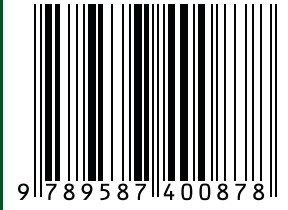




SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAUCHO El caso de Brasil y Colombia

ISBN: 978-958-740-087-8



SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAUCHO

EL CASO DE BRASIL Y COLOMBIA

AUTORES:

JOSÉ RAIMUNDO BONADIE MARQUES¹ • WILSON REIS MONTEIRO²
ADONIAS DE CASTRO VIRGENS FILHO³ • ALFONSO MARTÍNEZ GARNICA⁴
YEIRME JAIMES SUÁREZ⁵ • JAIRO ROJAS MOLINA⁶

COMPILADOR:

JAIRO ROJAS MOLINA

Bucaramanga, 2012

-
- 1 Investigador, Mejoramiento Genético en Caucho Cepec/Ceplac, Brasil / bonadie@cepec.gov.br
 - 2 Investigador Mejoramiento Genético Cepec/Ceplac, Brasil / monteiro@cepec.gov.br
 - 3 Director del Cepec, Brasil (Centro de Investigaciones de Cacao) / adoniascastro@cepec.gov.br
 - 4 Investigador Corpoica, C.I. La Libertad, Colombia / amartinezg@corpoica.org.co
 - 5 Investigadora Corpoica, E.E. La Suiza, Colombia / yjames@corpoica.org.co
 - 6 Investigador Corpoica, E.E. La Suiza, Colombia / jrojas@corpoica.org.co

Bonadie Marques, J.R.; Reis Monteiro, W.; Virgens Filho, A.; Martínez Garnica, A.; Jaimes Suárez, Y.; Rojas Molina, J. / Sistemas agroforestales con caucho: el caso de Brasil y Colombia. Bucaramanga: Corpoica, 2012. 92 p.

Palabras clave: CAUCHO, *HEVEA BRASILIENSIS*, MÉTODOS DE MEJORAMIENTO GENÉTICO, MARCADORES GENÉTICOS, VARIETADES, CLONES, AGROFORESTERÍA, MÉTODOS DE CULTIVO, *MICROCYCLUS ULEI*, ENFERMEDADES DE LAS PLANTAS, BRASIL, MAGDALENA MEDIO – COLOMBIA, PIEDEMONTE LLANERO – COLOMBIA



© Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA
C.I. La Suiza

Línea de atención al cliente: 018000121515
atencionalcliente@corpoica.org.co
www.corpoica.org.co

ISBN: 978-958-740-087-8
CA: PRO7100082
CUI: 1328
Primera edición: Marzo de 2012
Tiraje: 1.000 ejemplares:
Edición: Luz María Calle Hoyos

Producción editorial:
Diagramación, impresión y encuadernación



www.produmedios.org

Diseño: annhite

Impreso en Colombia
Printed in Colombia

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	5
INTRODUCCIÓN	7
MEJORAMIENTO GENÉTICO DE CAUCHO EN BRASIL	
Introducción	9
Caracterización del Problema	10
Programa de Mejoramiento Genético de Caucho	10
Estrategia Utilizada	12
<i>Planes de cruzamiento</i>	12
<i>Cuellos de botella de la polinización controlada</i>	12
<i>Vivero de cruzamiento</i>	14
<i>Ensayos a pequeña escala</i>	15
<i>Ensayos a gran escala</i>	15
<i>Desarrollo de variedades resistentes a enfermedades</i>	16
Uso de marcadores moleculares	18
Otros caracteres involucrados en el proceso de selección	19
Principales Variedades Clonales de Caucho para el Sur de Bahía	20
Siembra en Sistemas Agroforestales	20
Consideraciones Finales	22
Referencias bibliográficas	23
LOS SISTEMAS AGROFORESTALES (SAF) CON CAUCHO EN BAHÍA, BRASIL	
Introducción	25
Los SAF como una Alternativa de Explotación Sustentable	26
Sistemas Secuenciales y Agricultura Migratoria (extraído de Müller y Rodríguez, 2007)	27
Atributos de un sistema agroforestal	27
Componentes y elementos de los sistemas agroforestales	28
Aspectos a considerar para el diseño de un sistema agroforestal con caucho	28
Prácticas de manejo de los sistemas agroforestales	29
Modelos de Evaluación de los Sistemas Agroforestales con Caucho	32
Sistema Agroforestal de Caucho y Cacao	35
Exigencias edafoclimáticas del cacao	35
Distribución del sistema radicular	36
Modelos de sistemas agroforestales de caucho y cacao	36
Referencias bibliográficas	43



MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE CAUCHO EN COLOMBIA	
Introducción	45
EVALUACIÓN TEMPRANA DE UN JARDÍN CLONAL A GRAN ESCALA EN EL MAGDALENA MEDIO SANTANDEREANO	47
Introducción	47
Materiales y Métodos	47
<i>Características de los Clones Evaluados en el Jardín Clonal</i>	49
<i>Evaluación de los Clones</i>	52
Resultados y Discusión	52
Conclusiones y Recomendaciones	56
Referencias bibliográficas	57
INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE <i>Microcyclus ulei</i> EN EL MAGDALENA MEDIO COLOMBIANO. ESTUDIO DE CASO	
Introducción	58
Generalidades de <i>Microcyclus ulei</i>	60
<i>Selección de Clones Resistentes</i>	63
<i>Métodos de Control del SALB</i>	64
<i>Utilización de productos químicos para el control del SALB</i>	64
<i>Control biológico</i>	64
<i>Injerto de copa</i>	65
<i>Zonas de escape y no escape al Microcyclus ulei</i>	65
Evaluación de la Incidencia y Severidad de <i>Microcyclus ulei</i> de 10 Clones Comerciales	67
Metodología	67
<i>Incidencia</i>	68
<i>Severidad</i>	68
Resultados y Discusión	68
<i>Presencia de enfermedades foliares en el campo clonal</i>	68
<i>Severidad de enfermedades foliares en el campo clonal</i>	74
Conclusiones y Recomendaciones	80
Referencias bibliográficas	81
DESARROLLO DE SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAUCHO EN LA ALTILLANURA Y PIEDEMORTE DE LOS LLANOS ORIENTALES DE COLOMBIA	
Introducción	83
Desarrollo de Sistemas Agroforestales con Caucho	84
Beneficios de los Sistemas Agroforestales	87
Conclusiones	89
Referencias bibliográficas	91

PRESENTACIÓN


En el ámbito empresarial cauchero colombiano hacía falta un texto que recopilara contribuciones colombo-brasileras que tuvieran en cuenta la solución de problemas contemporáneos de este subsector, cada vez más creciente y significativo en la economía nacional.

La secuencia del mejoramiento genético del caucho en Brasil, presentado por José Raimundo Bonadie Marques y Wilson Reis Monteiro, caracteriza magistralmente el problema y presenta el programa de mejoramiento genético de caucho en Brasil; en seguida Jairo Rojas Molina, investigador de CORPOICA en el Magdalena Medio, caracteriza y evalúa con solvencia la evaluación temprana de 10 clones de caucho y su comportamiento frente al *Microcyclus ulei*.

Así, esta compilación trae la zonificación de áreas caucheras en Colombia por Jairo Rojas Molina y Yeirme Jaimes, basada en la información capturada del comportamiento de diez clones escogidos expuestos al *Microcyclus ulei* y su reacción ante controles químicos y biológicos e injertos de copa; así como también expone –para tener en cuenta los interesantes resultados– las conclusiones y las recomendaciones que entrega la evaluación temprana de estos clones.

A su vez, Adonias de Castro Virgens Filho, brillante investigador brasilero, presenta información muy importante sobre los sistemas agroforestales con caucho como alternativa de explotación sustentable y relacionada con modelos para evaluar esos sistemas, especificando sobre el sistema agroforestal caucho-cacao, mientras el investigador santandereano Alfonso Martínez Garnica concentra su pesquisa en los sistemas agroforestales de la Orinoquía colombiana, contribuyendo al conocimiento de los beneficios de estos sistemas con caucho en otras circunstancias agroclimáticas.





Nos sentimos orgullosos de tener un avance en la dirección correcta de la investigación en esta especie forestal, que en el mediano plazo se convertirá en el tercer reglón de exportación del país. Además, es oportuno resaltar la vigencia de la alianza colombo-brasilera, que está dando frutos generosos.

La comunidad científica y empresarial hace un reconocimiento a tan importante paso.

Hernán Hernández Peñalosa
Presidente de la Confederación Cauchera Colombiana

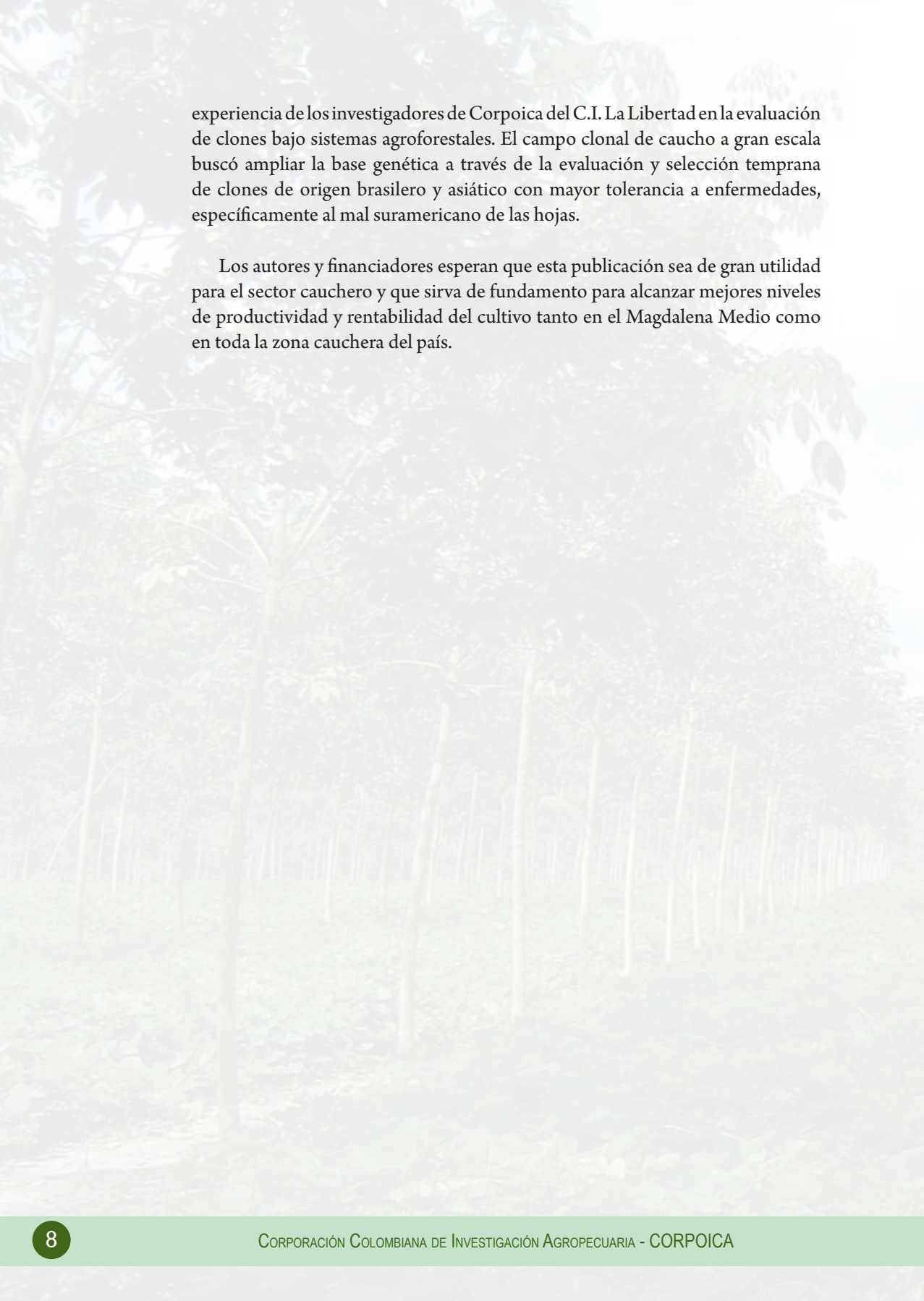
INTRODUCCIÓN

El cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*) en Colombia ha tenido un crecimiento vertiginoso en los últimos años, demostrado por las cifras actuales de área plantada que ascienden a 30.000 hectáreas (Censo Cauchero 2010), de las cuales el 17% se encuentra en producción y el 83% en desarrollo. Para la zona del Magdalena Medio el potencial de crecimiento es bastante amplio: en el 2010 se reportaron 7.000 hectáreas plantadas y con amplias posibilidades de expansión.

Una de las demandas tecnológicas que enfrenta el sector cauchero es la ampliación de la base genética para enfrentar los problemas que acarrearán el aumento de las áreas sembradas, el mejorar los niveles de productividad y la presencia de enfermedades, como el mal suramericano de la hoja (*Microcyclus ulei*). La heveicultura en la zona del Magdalena Medio se ha desarrollado con base en tres clones de origen brasilero (IAN 873, IAN 710 y FX 3864), los que han mostrado buena adaptación y resultados aceptables de producción; aunque utilizar solo estos materiales pone en riesgo al sector cauchero, puesto que lo hace vulnerable al ataque de enfermedades y plagas que pueden arrasar las plantaciones.

Esta publicación tiene como objetivo reunir la investigación desarrollada en Brasil –específicamente en el estado de Bahía– y en el Magdalena Medio colombiano, para avanzar en la búsqueda del mejoramiento de la productividad del sector cauchero. Su contenido está dividido en dos secciones: la primera comprende las experiencias sobre mejoramiento genético para el desarrollo de clones de caucho del Cepec en Brasil y los resultados de sus investigaciones con sistemas agroforestales con caucho y cacao, los cuales ofrecen muchas posibilidades de implementación en el Magdalena Medio santandereano; y la segunda presenta los resultados obtenidos en Colombia con el proyecto “Establecimiento y evaluación de un campo clonal de caucho a gran escala en el departamento de Santander, establecido en Sistema Agroforestal” así como la





experiencia de los investigadores de Corpoica del C.I. La Libertad en la evaluación de clones bajo sistemas agroforestales. El campo clonal de caucho a gran escala buscó ampliar la base genética a través de la evaluación y selección temprana de clones de origen brasilero y asiático con mayor tolerancia a enfermedades, específicamente al mal suramericano de las hojas.

Los autores y financiadores esperan que esta publicación sea de gran utilidad para el sector cauchero y que sirva de fundamento para alcanzar mejores niveles de productividad y rentabilidad del cultivo tanto en el Magdalena Medio como en toda la zona cauchera del país.

MEJORAMIENTO GENÉTICO DE CAUCHO EN BRASIL

JOSÉ RAIMUNDO BONADIE MARQUES
WILSON REIS MONTEIRO

Introducción

El cultivo del caucho es la fuente más importante de caucho natural. Dentro de las especies del género *Hevea*, la especie *H. brasiliensis* es la más explotada comercialmente e incluso es la responsable de cerca del 99% del caucho natural producido a nivel mundial (Goldthorp y Tan, 1996), convirtiéndose en un producto estratégico y de gran importancia económica por su amplio uso. Los indicadores muestran que desde el inicio de este milenio la demanda es mucho mayor que la oferta, tendencia que se volverá más crítica a partir del 2020, cuando se proyecta que la producción mundial suministre 9 millones de toneladas de 12 millones que requerirá el consumo. De esta forma, si se quieren suplir las necesidades futuras se tendrán que desarrollar y entregar a los productores nuevos clones y tecnología que garanticen nuevos cultivos de caucho, más competitivos y rentables. En este sentido, los conceptos acerca del mejoramiento genético de caucho deben ser revisados y ajustados a los escenarios actuales y a las predicciones futuras.

Es preciso entonces desarrollar nuevos clones, más productivos y con resistencia a las principales enfermedades foliares, entre ellas la denominada “mal suramericano de las hojas” causada por el hongo *Microcyclus ulei*, que presenta gran variabilidad y mutabilidad (Chee *et al.*, 1986; Junqueira *et al.*, 1986; Rivano, 1997) en las áreas tradicionales del cultivo en América Latina. Este hecho, junto con otros como el porte de la planta, el carácter perenne del cultivo y la falta de



sincronismo de la floración, han dificultado por la vía clásica del mejoramiento genético el desarrollo y la selección de variedades clonales que cumplan con estas características.

Dado que la mayor limitante para el desarrollo y evaluación de un clon de caucho es el factor tiempo, se requiere de técnicas auxiliares asociadas a las diferentes etapas del proceso de mejoramiento y selección con el objeto de reducir el tiempo y mejorar la calidad de las evaluaciones, permitiendo así selecciones más seguras y eficaces.

Caracterización del Problema

El mal suramericano de las hojas ha causado impactos negativos en la economía del estado de Bahía, al nordeste de Brasil, donde las condiciones climáticas son altamente favorables para su desarrollo, situación que se refleja en el declive de la producción por la pérdida excesiva de caucho seco y la mortalidad de las plantas. Con el fin de reducir estas pérdidas se probaron y adoptaron varias tecnologías desarrolladas en otras regiones productoras, que aun así no lograron el éxito esperado, mostrando que son impracticables, ineficaces y de alto costo, Un ejemplo de ello es el control químico, de difícil aplicación dada la topografía accidentada de la región (Gasparotto *et al.*, 1997), con el agravante de los residuos químicos que quedan y afectan el medio ambiente al utilizarlo.

Buscando evitar que la heveicultura del estado de Bahía se vuelva vulnerable y económicamente inviable por la presencia de cultivos emparentados con irregularidades fenológicas y estrecha base genética, es necesario ampliarla con otras especies del género *Hevea* y sus híbridos interespecíficos, ya que estos presentan gran potencial para constituirse en otras fuentes de resistencia (Marques *et al.*, 2003a).

En la actualidad, la estrategia principal de los programas de mejoramiento local es el desarrollo de variedades clonales productivas con resistencia durable asociada a otras técnicas de manejo, para lograr mayor viabilidad económica y ecológica, además de accesibilidad a productores de bajos recursos.

Programa de Mejoramiento Genético de Caucho

Desde la década de los 50, el programa de mejoramiento genético en Bahía ha direccionado sus acciones hacia el desarrollo de variedades productivas y resistentes al mal suramericano de las hojas; por tal motivo, en la Estación

Experimental Djalma de Bahía (Edjab) se conformó una colección de germoplasma con accesiones clonales de distinto origen genético y geográfico. Esta colección cuenta con selecciones élite procedentes del Sudeste Asiático, clones amazónicos promisorios y matrices seleccionadas de poblaciones semilleras de *H. brasiliensis* cultivadas en la región sur del estado de Bahía. Todas esas accesiones clonales pasaron a constituir la base genética para los trabajos de mejoramiento, y algunas de ellas –las más promisorias– se cedieron a las empresas de neumáticos Firestone y Pirelli con destino a la formación de infraestructura botánica, dando origen a las plantaciones existentes en Bahía.

A saber, esta colección es el reservorio de genes y representa la variabilidad natural, principalmente de la especie *H. brasiliensis*, que después de evaluada puede ser manipulada por los fitomejoradores mediante cruzamientos apropiados para desarrollar nuevas variedades con caracteres superiores y para uso a escala comercial. En el inicio esta labor estuvo a cargo del entonces Instituto Agronómico del Este (Ipeal) y últimamente del Ceplac, como lo muestra el esquema de la Figura 1.

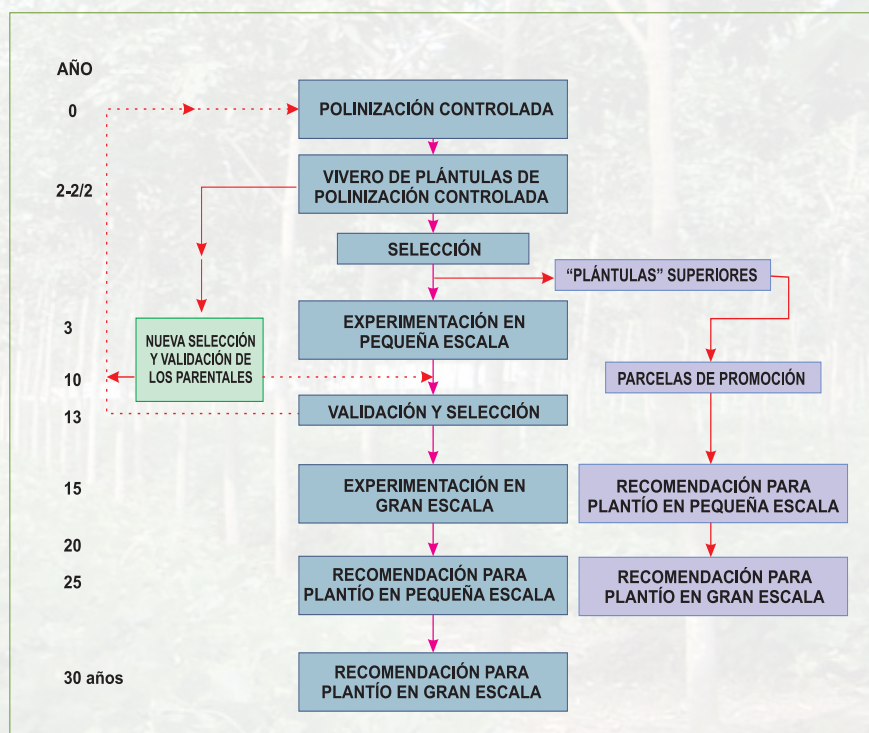


Figura 1. Esquema del Programa de Mejoramiento Genético y Selección de Caucho de la Edjab



Estrategia Utilizada

Planes de cruzamiento

En la elaboración de los planes de cruzamiento la selección de los padres fue muy difícil, dada la poca información disponible acerca del valor genotípico de los clones involucrados en ellos. En el inicio del programa los primeros cruzamientos se realizaron con base en la información fenotípica obtenida de las evaluaciones de la colección local y de otras instituciones, que buscó la complementariedad de estos caracteres. Los planos fueron formados cuidadosamente por cruzamientos intra e interespecíficos, retrocruzamientos y cruzamientos complejos, involucrando genotipos que posibilitaran la asociación de caracteres deseables y su posterior extracción de combinaciones génicas superiores, es decir, genotipos con características agronómicas más atractivas, con énfasis en la resistencia al mal suramericano de las hojas. En algunos casos los cruzamientos se condujeron de modo aleatorio, sobre todo en los momentos que no se disponía de información acerca de los padres involucrados. Los cruzamientos entre padres genéticamente emparentados se evitaron para eliminar una depresión causada por la endogamia, muy común en el caucho (Gilbert *et al.*, 1973; Tan y Subramaniam, 1976).

Es de resaltar que los planos de cruzamiento podrían haber sido mejor elaborados si en la época hubiese estado disponible la información concerniente a la herencia y la variabilidad de los caracteres de mayor importancia. Los nuevos planos de cruzamiento son elaborados con más criterios y considerando toda la información genética disponible, como por ejemplo el estimativo de los parámetros genéticos relativos a la capacidad (Lopes *et al.*, 1999), heredabilidad (Paiva *et al.*, 1982; Gonçalves *et al.*, 1990, 1992), resistencia a las enfermedades (Junqueira *et al.* 1988a; Junqueira *et al.* 1988b; Junqueira *et al.* 1990) y el efecto de la endogamia (Aguar y Gonçalves, 2006).

Cuellos de botella de la polinización controlada

Los resultados obtenidos en la Edjab a lo largo de 16 años del programa de polinización controlada muestran un porcentaje medio de éxito de 1,54% y 49,3% para la germinación de las semillas (Figura 2).

Aunque el éxito de la polinización controlada raramente excede en promedio de 4% a 5%, el desempeño obtenido (1,54%) es bajo debido a una serie de peculiaridades inherentes al cultivo que dificultan en cierta forma la realización de las mismas, entre las que se destacan: el inicio de la floración que generalmente ocurre a partir del cuarto y quinto año, cuando la planta adquiere hábitos de adulto; y el porte alto de los árboles, que dificulta la operación por el uso de



Figura 2. Polinizaciones controladas de caucho en programas de mejoramiento genético

andamios y que hace que las polinizaciones consuman mucho tiempo y mano de obra. El bajo índice de prendimiento de la polinización controlada la hace poco eficaz y conduce a la reducción de las poblaciones.

Otra peculiaridad, no menos importante, es la falta de sincronismo en la floración de los clones. Este aspecto, además de hacer inviable los planes de cruzamiento estructurado, impide la adopción de diseños genéticos adecuados donde se incluyan la selección de padres, la identificación de cruces superiores y la estimación de los parámetros genético-estadísticos. Dicha información es de extrema importancia para el direccionamiento de los programas de mejoramiento que involucren nuevos planos de cruzamiento, como la heredabilidad, la capacidad general de combinación y la herencia.

Por tal motivo, hoy en día el programa de cruzamiento en áreas experimentales de la Edjab está complementado con semillas obtenidas mediante polinización abierta. Estas áreas experimentales se establecieron estratégicamente, donde hileras de clones productivos se alternaron con hileras de clones resistentes de tal forma que los entrecruzamientos naturales tienen mayor oportunidad de agrupar genes de diferentes fuentes, hasta entonces dispersos en la población. Con esto se ha diversificado y construido una base genética para la resistencia a enfermedades foliares. Este proceso tiene como resultado el desarrollo de variedades clonales bastante interesantes agronómicamente; un ejemplo es la recién lanzada variedad comercial SIAL 893.



Otra manera de abordar el problema es el empleo de un esquema de entrecruzamiento natural con la formación de un área policross, compuesta por clones que se constituyen en potenciales fuentes de resistencia, producción, vigor y otros caracteres agronómicos de interés del programa. Las ventajas de utilizar este tipo de diseño son innumerables considerando los diversos factores que limitan la obtención de genotipos recombinantes, como los inherentes a la ocurrencia de enfermedades y a las polinizaciones controladas. Esta técnica puede promover no solo la asociación de caracteres de interés, sino también la acumulación de genes de resistencia a las principales enfermedades.

Vivero de cruzamiento

Esta etapa del programa consiste en probar las progenies resultantes de la polinización controlada y/o abierta en viveros conocidos como de cruzamiento, a distancias de 1,5 x 1,5 m. Para efecto de la identificación de los parentales en la futura selección de plantaciones, los genotipos son normalmente agrupados en progenies. En estos viveros se hace una selección precoz basada en la producción, el vigor del tronco y la incidencia a enfermedades; esta última basada apenas en observaciones en campo, aunque ahora esas evaluaciones se hacen bajo condiciones climáticas controladas teniendo en cuenta la variabilidad del patógeno en las plantas diferenciadoras de la resistencia genética y epidemiológica del hospedero, que son imprescindibles para la caracterización de la resistencia parcial. En estas investigaciones, la variabilidad del patógeno se conoció a través de la intensidad de la esporulación conidial (IEC) y la densidad de lesiones estromáticas (DEL). La característica epidemiológica se evaluó por el número de generaciones del patógeno (NGP), que a su vez se calculó dividiendo el periodo de susceptibilidad foliar (PSF) por el periodo de generación del patógeno (NGP). Los valores menores de 1,5 caracterizan a los clones con resistencia parcial moderada y los mayores de 1,5 a los clones susceptibles.

Las pruebas precoces no son muy confiables, pues no han mostrado correlación de la fase juvenil a la adulta; por lo tanto, se hace necesario el uso de otros recursos más confiables para evaluar genotipos de caucho con el fin de encontrar genes de alta producción y resistencia a las principales enfermedades, con lo que se evitarían padres de poco valor genético y se aumentaría la posibilidad de obtener mayores ganancias. En este contexto, la selección asistida por marcadores (SAM) es una tecnología potencialmente útil, ya que se fundamenta en el principio de que un gen o conjunto de genes está asociado a un marcador molecular de fácil identificación; así, la selección por este marcador será más eficiente que por las características. El diagnóstico del látex y las evaluaciones de los niveles de sacarosa, de tioles, del extracto seco, de pH, de fósforo inorgánico, de magnesio, el potencial redox y los sólidos totales (Moraes y Moraes, 1995) pueden también

ayudar en la selección precoz porque muestran una correlación positiva entre los diagnósticos en la fase juvenil y la adulta (Bricard y Nicolas, 1989).

Todos los genotipos que se destaquen por la producción, más o hasta dos veces la desviación estándar, y que mantengan el mejor desempeño para los demás caracteres medidos, deben ser clonados y probados en parcelas o bloques de observación, instalados en el mayor número de ambientes representativos de la región. Esto con el objetivo de reducir no solamente la etapa de evaluación del ciclo de selección, sino también para agilizar el proceso de recomendación de un clon. Los genotipos seleccionados pasan a la etapa de evaluación de clones a pequeña escala, que le corresponde al ámbito de la investigación, para luego evaluarlos a gran escala, en áreas productoras.

Ensayos a pequeña escala

Los genotipos con caracteres superiores –seleccionados en la etapa de vivero de cruzamiento– son probados a pequeña escala y establecidos en campos de investigación, para lo cual se utiliza preferencialmente el diseño de bloques completos al azar, con dos o tres repeticiones y ocho a doce plantas por parcela. El propósito en esta etapa es probar el mayor número de clones en detrimento del número de plantas por parcela. Las mediciones son hechas a partir del primer año, y los datos de producción se registran cuando más del 50% de las plantas tienen el grosor del tallo ideal para la sangría. Se utiliza el sistema de sangría con estimulación y el registro de la producción de látex se hace una vez por mes, para lo cual las vasijas con los “coágulos” se dejan en la planta durante un mes y luego estos últimos se pesan secos. El peso total de los doce meses es dividido por el número de coágulos y el resultado es expresado en gramos por árbol por año de corte.

Hoy en día los clones son seleccionados con apenas dos años de sangría basados en la producción, dado que la correlación ha dado alta (Marques y Gonçalves, 1990) después de un año de sangría. Aparte de la producción se consideran otros caracteres para la selección, como: vigor del tronco antes y después de entrar en sangría, capacidad de regeneración de la cáscara, respuesta a la estimulación de la sangría, arquitectura de la copa, uniformidad en el cambio de hojas, densidad foliar, incidencia de plagas y enfermedades, calidad del látex y potencial para el aprovechamiento de la madera.

Ensayos a gran escala

Esta etapa es definitiva en la evaluación de los materiales clonales. Los mejores clones seleccionados en la fase anterior y otros introducidos de otras instituciones se prueban con el fin de generar una recomendación clonal.



Dentro de este contexto, es interesante que los clones seleccionados presenten, además de un buen potencial productivo, la mayor estabilidad posible frente a variaciones ambientales, ya que los parámetros de adaptabilidad y estabilidad son herramientas importantes en esta etapa de evaluación en la búsqueda de obtener una recomendación de cultivares para una zona o localidad (Marques *et al.*, 2003b). Dado que el costo de este tipo de evaluación es alto, se debe realizar en asocio con la empresa privada.

Se recomienda el diseño en bloques con tratamientos regulares y comunes, y como mínimo con dos repeticiones por localidad. En esta fase es necesario el mayor rigor estadístico, motivo por el cual los ensayos deben ser instalados en el mayor número de ambientes, los más representativos de la región. El área de la parcela debe ser lo más próximo al cuadrado y debe contar con 40 a 60 plantas. Así mismo, se deben incluir como testigo los clones comunes a todos los ensayos de la serie y con desempeño conocido.

El esquema de sangría y el método de recolección de los datos son semejantes a aquellos que se recomiendan para los experimentos a pequeña escala. Este tipo de experimento considera no solo la producción que es de carácter primario, sino también los caracteres secundarios, como: vigor del tronco, forma del clon, caída de la producción durante la senescencia, incidencia de enfermedades de las hojas y del tronco, espesor y regeneración de la cáscara, y calidad del látex y de la madera. Con base en estas consideraciones se conocen los clones de mejor comportamiento y las localidades nuevas y tradicionales, donde el caucho se desarrolla mejor.

La paralización o no sangría en el periodo de senescencia se basa en la información obtenida de ensayos anteriores a pequeña escala. Junto con el desarrollo vegetativo, se registra la información agrometeorológica y las observaciones fenológicas con énfasis en los momentos más representativos de cada clon en prueba. Se evalúa también la radiación solar como proceso fotoenergético, la temperatura del aire y la disponibilidad hídrica mediante el balance hídrico. Para monitorear el estado nutricional de los clones, cada año se hace el análisis foliar y cada tercer año el análisis de suelo, para así atender las exigencias nutricionales de las plantas permitiendo su desarrollo normal y niveles altos de producción de caucho seco en la fase adulta.

Desarrollo de variedades resistentes a enfermedades

El mejoramiento de caucho para resistencia a enfermedades debe ser visto con mucho cuidado, sobre todo en áreas tradicionales de siembra como el sur de Bahía, donde cada año después de la refoliación se presentan daños causados por

el mal suramericano de las hojas. Dentro de la especie *H. brasiliensis* son pocas las fuentes de resistencia a esta enfermedad, y existen más clones seleccionados por la alta producción de caucho seco y otros caracteres secundarios de interés, de forma tal que cualquier programa que busque resistencia durable no puede prescindir de incluir nuevas fuentes para el desarrollo de variedades clonales superiores (Figura 3).



Figura 3. Clon FX 3864 que perdió su resistencia inicial al mal suramericano de la hoja; por ello su bajo desarrollo en plantaciones Michelin, Bahía

Se conoce que la diversidad genética de las poblaciones nativas de caucho es aparentemente amplia, por lo que debe ser evaluada y preservada en colecciones de germoplasma de manera que se eviten riesgos de erosión genética. Es preciso que la búsqueda de nuevos genes de resistencia tenga un proceso continuo, especialmente para las accesiones recién introducidas en la colección de germoplasma de la Edjab. Estas accesiones son representadas en su mayoría por selecciones y clones con genes de *H. pauciflora*, como aquellos de la serie CPAAC (Marques *et al.*, 2003b). Esta es una estrategia bastante interesante, dada la posibilidad de que dichas accesiones se constituyan en fuentes distintas de resistencia a enfermedades foliares, en especial a *M. ulei*.

Con el apoyo de técnicas moleculares se logra una evolución rápida y segura de la diversidad genética de nuevas accesiones, comparado con las fuentes



tradicionales de resistencia a *M. ulai*. También es posible una mejor comprensión de la variabilidad de un germosplasma recién introducido, posibilitando el conocimiento de su real valor genotípico sin la interferencia de efectos ambientales. Por consiguiente, esta variabilidad podrá ser manipulada en los programas de cruzamiento, especialmente dentro del contexto de la piramidación de genes de resistencia, observando la ampliación de la base genética y, consecuentemente, dando la mayor estabilidad y durabilidad de la resistencia a nuevos clones.

En general, los investigadores buscan la inmunidad en la selección de variedades resistentes a *M. ulai*; es probable que contribuya, pero luego la resistencia de los materiales cae. Se percibe entonces que la resistencia vertical tiene poca utilidad para el caucho y es usada para ayudar a la resistencia horizontal. Además, se sabe que la resistencia horizontal es más útil, principalmente por el hecho de que el caucho es normalmente propagado asexualmente, permitiendo la fijación de alelos deseables, razón por la que un programa de mejoramiento de caucho debe tener como objetivo la exploración de la resistencia horizontal. El método de selección recurrente es el más indicado, porque favorece la recombinación y manutención de la variabilidad genética en cuanto aumenta la frecuencia de alelos favorables en la población para el carácter en cuestión. Los mejores genotipos de cada generación son escogidos como padres de la próxima generación y así sucesivamente. Una recombinación debe favorecer el apareamiento de nuevas combinaciones génicas de genotipos superiores.

Por tanto, la adopción eficiente de esta metodología reside en la selección de los clones padres que formarán las poblaciones iniciales. La selección apenas basada en las observaciones genotípicas ha mostrado una larga historia de resultados poco satisfactorios, con pocas ganancias.

El largo tiempo requerido para el desarrollo de una variedad, unido al costo y el trabajo, no permite equivocaciones en la selección de los padres. Es visto que las técnicas modernas permiten la selección más eficiente de los clones y es posible elaborar diseños de cruzamientos con padres genéticamente distantes y con mayor valor genotípico. De esta manera, el uso de la selección recurrente puede proporcionar ganancias sustanciales en cada ciclo de selección para producir mayor recombinación de alelos favorables.

Uso de marcadores moleculares

La eficiencia de los programas de mejoramiento puede aumentarse asociando a los métodos tradicionales las técnicas moleculares modernas, que agilizan y mejoran la selección y el desarrollo de variedades. Con los avances de la

biología molecular es posible evaluar genotipos por la asociación de los datos fenotípicos y las marcas moleculares. Estos procedimientos posibilitan que incluso en fase juvenil la selección de individuos se realice sin la interferencia de los efectos ambientales y con relativo éxito, permitiendo ganancias y avances rápidos en el desarrollo de variedades. Estas técnicas han mostrado mucha utilidad en todos los programas de mejoramiento, especialmente para cultivos perennes como caucho.

La selección asistida por marcadores moleculares, especialmente para caracteres de baja heredabilidad como producción y resistencia, simplifica las etapas de evaluación y los procedimientos para la obtención de variedades. Estas técnicas moleculares posibilitan igualmente el mejor conocimiento de la variabilidad genética disponible en la población, como la identificación de locus cuantitativos (QTL, por sus siglas en inglés ‘*quantitative trait locus*’) asociados a los caracteres cuantitativos. Tales técnicas ya vienen siendo aplicadas para el desarrollo de marcadores moleculares (Low y Gale, 1991) asociadas a la identificación del patrón molecular de los genes de interés (Besse *et al.*, 1993) en estudios de diversidad genética (Besse *et al.*, 1994), en la construcción del mapa genético de ligación (Lespinasse *et al.*, 2000b) y en la identificación de QTL desarrollados para la resistencia a *M. ulei*. (Lespinasse *et al.*, 2000a).

En el desarrollo de las generaciones avanzadas por retrocruzamiento, los parentales recurrentes y los no recurrentes podrán ser molecularmente caracterizados, y los genotipos en cada generación serán seleccionados con base en su semejanza genético-molecular con el parental recurrente y en su característica mejorada. Así, las plantas seleccionadas podrán ser nuevamente retrocruzadas, reduciendo el número de generaciones en que se avanza, en razón con la identificación de plantas genéticamente más semejantes a los padres recurrentes en cada ciclo. Esto representa un ahorro sustancial en tiempo para el desarrollo de variedades clonales.

Algunas técnicas moleculares ya vienen siendo utilizadas en la caracterización de clones; un ejemplo es el SIAL 893, recientemente recomendado para plantío comercial por la Ceplac. Aún estas técnicas están siendo empleadas para evaluar el nivel de disimilaridad genética existente entre los clones mejorados de la serie SIAL y los clones comerciales de la serie FX (Marques *et al.*, 2002). Los resultados evidencian que el proceso de mejoramiento y selección que se desarrolla en el sudeste de Bahía ha generado clones de caucho con mayor diversidad genética. Así mismo, se ha logrado mejor diferenciación entre los clones de estudio, entre otros por los subsidios suministrados al programa de mejoramiento para la ampliación de la base genética de las variedades clonales que serán recomendadas a los productores.



Otros caracteres involucrados en el proceso de selección

Cada región tiene sus peculiaridades, que tienen que ser consideradas al momento del desarrollo de variedades. En Bahía, por ejemplo, el interés de los productores no reside solamente en la explotación de caucho en monocultivo. El mejor uso de la tierra es un factor económico a ser tenido en cuenta cuando los cultivos sembrados son de naturaleza perenne. La siembra en sistemas agroforestales con cacao involucra tomar en consideración la arquitectura de la copa, el porte de la planta, la densidad foliar y la uniformidad en la muda de hojas, factores estos muy importantes que deben ser incorporados en el proceso de evaluación y utilizados como criterios de selección de clones para la siembra bajo sistema agroforestal.

Principales Variedades Clonales de Caucho para el Sur de Bahía

Existe un gran número de clones comerciales colocados a disposición de los heveicultores y que vienen siendo difundidos en todo el territorio. En la actualidad, el Ceplac está recomendando dos clones para el área tradicional del cultivo de caucho en Bahía, con características atractivas bajo el punto de vista agronómico, ecológico y económico; además, permiten su utilización en sistemas agroforestales y cualquier sistema agroforestal con cacao, con una densidad de plantas económicamente viable (Marques *et al.*, 2007). Estos clones presentan la arquitectura de copa menos compacta, con menor densidad foliar y con ramificaciones laterales más cerradas, como el SIAL 893 y el SIAL 1005 (Marques *et al.*, 2007) (Figura 4), por lo que son capaces de proporcionar un sombrío de alta calidad para el cacao y no restringen la penetración de la radiación solar en las entrelíneas del cultivo de caucho. También son superiores a los otros clones hasta ahora cultivados, en relación con la producción de caucho y resistencia a las principales enfermedades foliares, y a futuro, después de un ciclo normal de extracción de látex, pueden permitir la explotación de madera.

Siembra en Sistemas Agroforestales

Bahía es uno de los estados capaces de aumentar significativamente la producción de caucho natural, dadas las condiciones favorables para el cultivo de caucho, con disponibilidad de mano de obra calificada, la existencia de infraestructura moderna para el beneficio y el escurrimiento fácil del producto, además de contar con una larga tradición en la explotación del cultivo. El caucho en sistemas agroforestales (SAF) con cacao se convierte en una de las opciones viables para



Figura 4. Clon SIAL 1005 recomendado para asociarse en sistemas agroforestales con cacao en Bahía, Brasil

promover el desarrollo sustentable en varios municipios de la región cacaotera, afectados por la enfermedad llamada “escoba de bruja” (*Moniliophthora perniciosa*).

Existen dos posibilidades para el establecimiento de SAF involucrando caucho y cacao, las que encuadran perfectamente dentro de los sistemas mixtos permanentes registrados por Alvim (1989): el sistema zonal y/o el sistema continuo (Figura 5). En el sistema zonal el caucho y el cacao son plantados simultáneamente en filas, mientras en el sistema continuo los principales cultivos se asocian a arreglos espaciales de alto grado de intimidad cubriendo toda la superficie cultivada (en este caso, el caucho es plantado en las entrelíneas del cacao). Este último es un modelo alternativo que recientemente está indicado para aquellos productores de cacao que pretenden renovar sus cultivos establecidos mediante el sistema de “tala total”, cuando el cacao está sombreado con eritrinas (Marques y Monteiro, 2003). El sistema continuo no implica la incorporación de nuevas áreas al proceso de producción. La sustitución de eritrina por caucho como árbol de sombra permanente ofrece la oportunidad de explotación económica del caucho natural y del cacao, con un equilibrio productivo y económico para ambos cultivos. El costo de sustitución de las eritrinas por el caucho es relativamente bajo cuando se compara con la siembra de caucho en monocultivo y con los beneficios que genera la adopción del sistema agroforestal (Marques *et al.*, 2004).





Figura 5. Sistemas agroforestales de cacao y caucho en la Hacienda Porto Seguro. Bahía, Brasil

Consideraciones Finales

Teniendo en cuenta las particularidades inherentes al cultivo del caucho, el desarrollo de clones comerciales es un proceso demorado, con abundante demanda de recursos financieros, y enormes áreas experimentales y de personal calificado; sin embargo, la realidad actual de las instituciones de investigación de Brasil, incluyendo el Ceplac, muestra que debido a la escasez de personal y de recursos financieros los programas de mejoramiento son redimensionados, en el sentido de volverlos más económicos y ágiles, sin perder la calidad y la eficacia. De esta manera, la incorporación de técnicas modernas que facilitan la evaluación y la selección de genotipos deben ser contempladas en las diversas líneas de investigación, razón por la que un programa de mejoramiento genético de caucho que use eficientemente las técnicas modernas de biotecnología sin duda será la mejor estrategia para el desarrollo de nuevas variedades clonales y representan la solución real para los problemas de la heveicultura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, A.T. da E.; Gonçalves, P. de S. (2006). Diversidade genética em genótipos de *Hevea* de origens amazônicas e asiáticas. *Ceres*, 53(37): 285-291.
- Alvim, R. (1989). O cacauieiro (*Theobroma cacao* L.) em sistemas agroflorestais. *Agrotropica* 1(2): 89-103
- Besse, P.; Seguin, M.; Lebrun, P.; Chevallier, M. H.; Nicolas, D.; Lanaud, C. (1994). Genetic diversity among wild and cultivated populations of *Hevea brasiliensis* assessed by nuclear RFLP analysis. *Theor. Appl. Genet.* 88:199-207.
- Besse, P.; Lebrun, P.; Seguin, M.; Lanaud, C. (1993). DNA fingerprints in *Hevea brasiliensis* (rubber tree) using human minisatellite probes. *Heredity* 70:237-244.
- Bricard, P.; Nicolas, D. (1989). Possibility of the use of the physiological parameters of latex in early selection. In: D'Auzac, J., Jacob, J. L. and Chrestin, H., eds. *Physiology of rubber tree latex*, v.4. (pp. 233-289). Boca Raton, CRC Press.
- Chee, K. H.; Kai-Ming, Z.; Darmono, T. W. (1986). Occurrence of eight races of *Microcyclus ulei* on *Hevea* rubber in Bahia, Brazil. *Transactions of the British Mycological Society* 87:15-21.
- Gasparotto, L.; Santos, A. F. dos.; Pereira, J. C. R.; Ferreira, F. A. (1997). Doenças da seringueira no Brasil. Brasília: Embrapa – SPI. 168 p.
- Gilbert, N. E.; Dodds, K. S.; Subramaniam, S. (1973). Progress of breeding investigations with *Hevea brasiliensis*, v analysis of data from earlier crosses. *Journal of the Rubber Research Institute of Malaysia*. Kuala Lumpur 23 (5): 365-380.
- Goldthorp, C. C.; Tan, L. I. (1996). A review of environmental issues in natural rubber production. *Planter* 72(840): 123-139.
- Gonçalves, P. de S.; Cardoso, M.; Colombo, A. C. C.; Ortolani, A. A.; Martins, A. L. M.; Santos, I. C. I. (1990). Variabilidade genética de produção anual da seringueira: estimativas de parâmetros genéticos e estudo de interação genótipo x ambiente. *Bragantia*, Campinas, v.49, No. 2 (pp.305-320).
- Gonçalves, P. de S.; Martins, A. L. M.; Gorgulho, E. P.; Bortoletto, N.; Cardoso, M.; Bermond, G. (1992). Variação genética de componentes do crescimento em progênies jovens de uma população de clones de *Hevea*. *Bragantia*, Campinas, v.51, No. 2 (pp.161-171).
- Lespinnasse, D.; Grivet, L.; Troispoux, V.; Rodier-Goud, M.; Pinard, F.; Seguin, M. (2000a). Identification of QTLs involved the resistance to South American leaf blight (*Microcyclus ulei*) in the rubber tree. *Theoretical Applied Genetics*, 100: 975-984.
- Lespinnasse, D.; Rodier-Goud, M.; Grivet, L.; Leconte, A.; Legnate, H.; Seguin, M. (2000b). A saturated genetic linkage map of rubber tree (*Hevea* spp.) based on RFLP, AFLP, microsatellite, and isozyme markers. *Theoretical Applied Genetics*, 100: 127-138.
- Lopes, U. V.; Marques, J. R. B.; Monteiro, W. R. (1999). Estimates of genetic parameters in rubber tree (*Hevea* spp.). I. General combining ability in juvenile seedlings. *Agrotropica* 11(3): 163-168.
- Low, F. C.; Gale, M. D. (1991). Development of molecular markers for *Hevea*. *J. Nat. Rubber Res* 6(3): 152-157.
- Junqueira, N. T. V.; Chaves, G. M.; Zambolim, L.; Gasparotto, L.; Alfenas, A. C. (1986). Variabilidade fisiológica de *Microcyclus ulei*. *Fitopatologia brasileira* 11: 823-833.
- Junqueira, N. T. V.; Chaves, G. M.; Zambolim, L.; Gasparotto, L.; Alfenas, A. C. (1988a). Reação de clones de seringueira a vários isolados de *Microcyclus ulei*. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, 23(8): 877-893.
- Junqueira, N. T. V.; Lieberei, R.; Kalil Filho, A. N.; Lima, M. I. P. M. (1990). Components of partial resistance in *Hevea* clones to rubber tree leaf blight, caused by *Microcyclus ulei*. *Fitopatologia Brasileira* 11: 823-833.
- Junqueira, N. T. V.; Moraes, V. H. F.; Lima, M. I. P. M. (1988b). Comportamento de alguns clones de copa em relação as principais doenças da seringueira. In: *Enxertia de copa em seringueira*. Manaus. Embrapa-CNPDS (Documentos, 7) (pp. 82-92).



- Marques, J. R. B.; Faleiro, F. G.; Araújo, I. S.; Anhet, D. (2002). Diversidade genética entre clones de seringueira das séries SIAL e FX com base em marcadores RAPD. *Agrotropica (Brasil)* 14(3): 159 – 164.
- Marques, J. R. B.; Gonçalves, P. de S. 1990. Testes precoces de produção na seleção de plantas de seringueira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 25(7):1065-1077.
- Marques, J. R. B.; Monteiro, W. R.; Lopes, U. V.; Valle, R. R. M. (2007). O cultivo do cacaueteiro em sistemas agroflorestais com a seringueira. In: *Ciência, Tecnologia e Manejo do Cacaueteiro* (pp. 272 - 290). Gráfica e Editora Vital Ltda. Itabuna – Bahia.
- Marques, J. R. B.; Monteiro, W. R.; Moraes, V. H. de F. (2003a). Ampliação dos recursos genéticos de seringueira (*Hevea* spp.) pela introdução de novos clones-copa resistentes ao mal-das-folhas (*Microcyclus ulei*). *Agrotropica (Brasil)* 15(2): 121-126.
- Marques, J. R. B.; Monteiro, W. R. (2003b). Substituição da Eritrina por outras Espécies Arbóreas de Valor Econômico – Um Enfoque Sustentável de Modernização Agrícola, In: *Semana do Fazendeiro 25a*. Uruçuca/BA, 2003. Agenda Técnica - Produzir, Alimentar, Vender e Conservar (pp. 143-147). Uruçuca, Ceplac/Emarc.
- Moraes, V. H. de F.; Moraes, L. A. C. (1995). Diagnóstico do látex em sangria precoce de seringueira com copas enxertadas: Possibilidades de emprego na seleção precoce de clones de copa e de painel. *Agrotropica* 7 (3): 49-62.
- Paiva, J. R.; Miranda Filho, J. B. de E.; Siqueira, E. R.; Valois, A. C. C. (1982). Predição do ganho de alguns caracteres em seringueira em três esquemas de seleção. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.17, No. 11 (pp.1646-1653).
- Rivano, F. (1997). La maladie sud-américaine des feuilles de l'*hévéa*. 1. Variabilité du pouvoir pathogène de *Microcyclus ulei*. *Plantations, Recherche, Développement*, 4 :104-110.
- Tan, H.; Subramanian, S. A. (1976). A five-parent diallel cross analysis for certain characters of young *Hevea* seedlings. In: *International Rubber Conference*. Kuala Lumpur, 1975. *Proceeding*, Kuala Lumpur, RRM v.2 (pp.13-16).

LOS SISTEMAS AGROFORESTALES (SAF) CON CAUCHO EN BAHÍA, BRASIL

ADONIAS DE CASTRO VIRGENS FILHO

Introducción

El cultivo de caucho actualmente se está expandiendo debido a la importancia de la demanda de caucho natural en los ámbitos nacional y mundial. Por otra parte, la tecnología disponible para este sistema de producción está apoyando su crecimiento y difusión en diversas condiciones edafoclimáticas, de manera que se asegure la competitividad del negocio en cada situación.

Es un hecho que en la explotación de caucho, el largo periodo entre la siembra y el inicio de la producción, así como los resultados de algunos cultivos con manejo ineficiente, son una falta de estímulo para los inversionistas. Como una alternativa viable se tiene el empleo de sistemas agroforestales, ya que en ellos se incluye la siembra de cultivos de ciclo corto, semi-perennes y perennes. La oportuna asociación del caucho con otros cultivos es una estrategia eficaz, ya que permite el desarrollo de diversas plantaciones y asegura al productor un incremento de su ingreso en diferentes etapas del cultivo (Virgens Filho, 2003).

Los sistemas agroforestales con caucho debidamente planeados permiten la explotación racional de los recursos naturales y un menor impacto al medio ambiente. Este hecho reviste importancia, ya que la agricultura comercial casi siempre está enfocada hacia el logro de mayores



producciones y mejores ingresos, y poco se ocupa de la sustentabilidad de los recursos naturales.

De acuerdo con Raintree (1990), los SAF combinan los beneficios conservacionistas a largo plazo con los beneficios de producción a corto plazo; un ejemplo de ello son los sistemas cuyo diseño incluye árboles de uso múltiple, como es el caucho con la producción de látex y madera, además de sus funciones como barrera rompevientos y sombrío.

En las regiones tropicales principalmente, donde los factores edáficos, climáticos y biológicos no son favorables a los monocultivos, los sistemas agroforestales son una alternativa que presenta mayores ventajas. Una experiencia en este sentido son los cultivos industriales de caucho en la Amazonía brasilera y colombiana (Pereira *et al.*, 1997).

Según Alvim, Virgens Filho y Araújo (1989), los sistemas agroforestales con caucho presentan las siguientes ventajas sobre el monocultivo:

- Incremento de los ingresos por unidad de área y mayor flujo de caja por la complementariedad de los ingresos procedentes de varios productos.
- Uso más racional y diversificado de los factores: espacio, luz y mano de obra.
- Efectos benéficos de los cultivos asociados al compartir recursos.
- Mayor reciclaje de nutrientes y mejor aprovechamiento residual de los fertilizantes exógenos.
- Reducción de los riesgos ecológicos, de las incertidumbres del mercado, de la amenaza de una crisis causada por la ocurrencia de plagas y enfermedades, y de las variaciones de precio de cualquiera de los productos.

Los SAF como una Alternativa de Explotación Sustentable

En las regiones tropicales las lluvias contribuyen a la acidificación del suelo, al aumento de los niveles de aluminio intercambiable y a la reducción de la capacidad de intercambio catiónico. Estas alteraciones se deben a las altas temperaturas y al elevado índice pluviométrico, ya que aceleran la pérdida de nutrientes a través de la erosión y la lixiviación. En estas condiciones, las principales fuentes de nutrientes para los ecosistemas naturales son la precipitación y la fijación de nitrógeno. La mayor cantidad de nutrientes presentes en los horizontes más superficiales del suelo se encuentran en la vegetación.

En áreas donde el ambiente natural se mantiene preservado y el sistema cerrado, se observa un balance natural positivo. Por su parte, en un sistema abierto, cuando se ha sustituido la vegetación nativa por plantas cultivadas, se presenta pérdida de nutrientes por su volatilización en la quema de los residuos, la erosión, la lixiviación y la cosecha. En estos casos, se tiene como consecuencia inmediata la ruptura del proceso de ciclaje de nutrientes, así como la pérdida y destrucción de la estructura del suelo. Con su continua degradación el suelo va perdiendo su potencial productivo, y la oferta de alimentos y de productos forestales de interés comercial (frutos, madera, leña, caucho seco, castaña y otros) disminuye, al igual que el ingreso del agricultor.

La tala de la selva, seguida de la quema y ciclos sucesivos de explotación agrícola, provoca el proceso de degradación ambiental, trayendo consecuencias desastrosas sobre la sustentabilidad de los recursos naturales.

Sistemas Secuenciales y Agricultura Migratoria (extraído de Müller y Rodríguez, 2007)

Un sistema agroforestal constituye la interfase entre agricultura y el bosque en respuesta a las demandas especiales y las condiciones de los países tropicales en desarrollo (Moraes, 1988). La naturaleza de los sistemas agroforestales se busca en las interacciones entre los componentes del sistema; no obstante, preocupa los valores sociales y culturales porque crean una condición especial para la convivencia armónica con el medio ambiente.

Aunque los SAF no replican exactamente las interacciones existentes en los sistemas naturales, por lo menos persiguen en la práctica las funciones moderadoras para mitigar los impactos desde la intervención antrópica.

Atributos de un sistema agroforestal

Según Raintree (1990), en teoría los SAF poseen los siguientes atributos:

Productividad: el aumento de la producción y la productividad son los atributos especiales de un SAF; estos se logran por medio del incremento de los productos de los cultivos intercalados, de las plantas arbustivas y de las arbóreas. También ocurren por la reducción de los insumos y una mayor eficiencia en el uso de la mano de obra.



Sustentabilidad: la siembra de especies arbóreas en diferentes estratos en asociación con plantas herbáceas con funciones ambientalistas complementarias, conserva la fertilidad del suelo de forma duradera.

Aceptabilidad: cualquiera que sea el modelo propuesto, es fundamental que el sistema agroforestal sea aceptado y mejorado por la comunidad local.

Componentes y elementos de los sistemas agroforestales

Un sistema agroforestal, como cualquier otro sistema, está formado por los siguientes componentes: 1) físicos (tierra, agua, aire, radiación solar); 2) biológicos (bosque, cultivos agrícolas, animales); y 3) socioeconómicos (hombres y mujeres); además de los siguientes elementos: límites (definen sus bordes físicos); entradas (energía solar, mano de obra e insumos); y salidas (alimento, madera, caucho seco y otros productos agrícolas y animales), que constituyen la materia y la energía intercambiada en el sistema y las interacciones que son representadas por las relaciones entre los componentes del sistema (fijación de nitrógeno, competencia y alelopatía).

Aspectos a considerar para el diseño de un sistema agroforestal con caucho

Pereira *et al.* (1998) y Fancelli (1987) proponen el análisis de algunos factores para el diseño de un sistema agroforestal con caucho, a saber:

1. La escogencia de la especie asociada debe obedecer a criterios de favorabilidad comercial, experiencia del productor con el cultivo y disponibilidad de tecnología.
2. El cultivo de la especie seleccionada debe presentar adaptabilidad a las condiciones de suelo y clima de la región.
3. El cultivo asociado debe presentar tolerancia o beneficio del sombrero del cultivo de caucho. En caso de no tolerar la sombra, se debe modificar su espaciamiento y plantar a pleno sol entre las líneas de caucho.
4. El clon de caucho debe tener las siguientes características: tolerante a las principales enfermedades, bajo índice de copa, ramificación simpodial y apertura de copa por encima de 2,5 m de altura; el crecimiento medio del tronco debe ser de 7,0 cm/año y la producción superior a 4,0 kg de caucho seco/árbol/año.
5. El sistema agroforestal debe ser plantado y explotado de acuerdo con las recomendaciones técnicas.
6. El espaciamiento debe ser planeado en función de los objetivos del productor (entre 220 a 300 plantas de caucho por hectárea), teniendo en cuenta que

la distancia mínima del caucho debe ser igual a la distancia entre líneas del cultivo asociado, de manera que se reduzca el efecto de competencia.

7. En la asociación de cultivos perennes, la distancia del caucho debe ser modificada de manera que se pueda manifestar el potencial de los cultivos asociados. Por lo tanto, se debe adoptar para el caucho modelos de líneas dobles en mosaico.
8. El cultivo asociado debe desarrollarse en su parte aérea y radicular en estratos diferentes a los ocupados por el caucho, con el objetivo de reducir la competencia y posibilitar el mejor aprovechamiento del suelo y de la radiación solar.
9. El cultivo asociado no debe presentar efecto alelopático.
10. No deben coincidir los periodos de máxima exigencia del caucho y de los cultivos asociados para los factores de producción.
11. Los cultivos no deben tener susceptibilidad a plagas y enfermedades que puedan aumentar los daños como resultado de la asociación.
12. Cuando haya la posibilidad de sembrar y manejar con mecanización parcial o total, se deben dimensionar los espacios para permitir el acceso de máquinas e implementos.
13. Bajo las condiciones de siembra de cultivos intercalados de ciclo corto se debe dejar un espacio de 1,0 a 1,5 m del caucho; a medida que va creciendo el caucho aumenta el sombrero, por ende la distancia se debe ampliar.
14. Orientar la siembra del caucho en el sentido este-oeste con el fin de reducir la sombra del caucho sobre el cultivo asociado e intentar hacer coincidir las líneas de las plantas con la dirección de los vientos dominantes. Esto para favorecer la ventilación en todos los estratos de la vegetación, reducir la humedad y, en consecuencia, los problemas fitosanitarios.

Prácticas de manejo de los sistemas agroforestales

1. Manejo del suelo

El manejo del suelo en un modelo SAF debe tener en cuenta que los nutrientes se distribuyen entre los componentes bióticos (especies vegetales y animales) y los abióticos (suelo). El aporte de los fertilizantes químicos y orgánicos, las entradas de las precipitaciones atmosféricas y las salidas a través de la cosecha, así como la erosión y la lixiviación, forman un sistema más próximo a los ecosistemas naturales, con un mayor potencial productivo.

La combinación entre especies animales y vegetales, en un arreglo espacial planeado y con unas buenas prácticas de manejo, contribuye a reducir las pérdidas y convierten el sistema en el más próximo al ambiente natural. Con todo esto, es deseable que los nutrientes sean aportados por medio de prácticas de manejo con objetivos ecológicos y socioeconómicos.



Conforme con lo reportado en el trabajo de OTS/CATIE (1986), las prácticas de manejo del SAF son diseñadas para cumplir con los siguientes objetivos: 1) favorecer la cobertura del suelo lo máximo posible; 2) mantener el contenido de materia orgánica en las capas superficiales del suelo; 3) promover la distribución del sistema radicular en las capas superficiales del suelo con el fin de mejorar la estructura física y el ciclaje de nutrientes; y 4) evitar las quemas.

2. Preparación del suelo

Un principio básico del manejo de los SAF es la restricción de las quemas y de equipos que compacten el suelo; por tanto, pueden ser adoptadas prácticas como la siembra directa y la labranza mínima. Una realización frecuente del arado puede llevar a la compactación del suelo. Las actividades deben tener énfasis en el mantenimiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Moraes, 1988).

A la par, las prácticas de conservación del suelo como las terrazas, la construcción de canales de infiltración, y la cobertura muerta y con leguminosas, reducen los riesgos de erosión. El aumento de la densidad de siembra, sobre todo de las especies arbóreas, contribuye a interceptar las lluvias y a la formación de una cama con las raíces, lo que disminuye la lixiviación.

3. Fertilidad del suelo

Un manejo del SAF con énfasis en el aumento de la productividad tiene como principio la elevación de la fertilidad del suelo por medio del ciclaje de nutrientes, el control de la erosión y la lixiviación, al igual que la reposición de los nutrientes exportados (Moraes, 1998). Los árboles fijadores de nitrógeno contribuyen en este sentido, pero retiran otros nutrientes del sistema (Figura 6). En general, los árboles son eficientes en el ciclaje de nutrientes, aumentan el nivel de nutrientes en los horizontes superficiales del suelo y establecen un flujo de nutrientes de los horizontes profundos a las capas más superficiales.

Con la corrección de acidez del suelo mediante encalado se aumenta la disponibilidad de nutrientes. Los niveles de materia orgánica se pueden aumentar con la incorporación de restos vegetales de los componentes del sistema por medio de la fertilización orgánica.

4. Distribución de fertilizantes

En los años iniciales, el cultivo del caucho y sus asociados se fertilizan de manera individual y direccionada a cada cultivo. El fertilizante se coloca en círculos



Figura 6. Incorporación de *Gliricidia sepium* como árbol fijador de nitrógeno dentro del sistema agroforestal del cacao. Hacienda Portoseguro, Bahía, Brasil

crecientes, compatibles con el radio de distribución de las raíces. Con el pasar de los años y la ampliación del sistema radicular de los cultivos, los fertilizantes se colocan en filas (Reis, 2007) (Figura 7), teniendo en cuenta el crecimiento lateral de las raíces del caucho y las capas de abajo de las raíces del cultivo asociado.

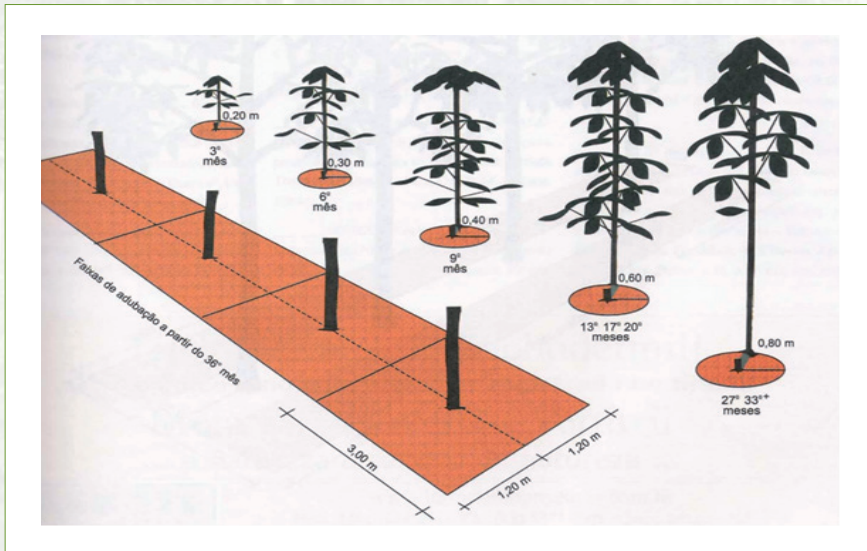


Figura 7. Recomendación de distribución del fertilizante según la edad de la plantación de caucho. Tomado de Reis, 2007



5. Manejo fitosanitario

Los ecosistemas naturales se caracterizan por la existencia de un equilibrio dinámico entre las plantas y los animales. Cuando se modifica el medio ambiente se altera el equilibrio, dando lugar a cambios en la composición de las comunidades (Moraes, 1998).

Los sistemas agroforestales, cuando están bien concebidos, simulan condiciones parecidas a los ecosistemas naturales. Los cultivos asociados forman barreras físicas a la dispersión de los enemigos naturales de los cultivos, proporcionan una relación más eficaz de la nutrición vegetal y diversifican los ingresos, con lo que se mitigan aquellas pérdidas ocasionadas por la acción de las plagas y enfermedades.

Modelos de evaluación de los sistemas agroforestales con caucho

Una de las metodologías propuestas por Rao (1983) y reportadas por Pereira *et al.* (1997) para la evaluación de los sistemas agroforestales en general aplica a los SAF con caucho, con pocas modificaciones:

a) Evaluación de la producción

La producción por unidad de área debe ser el parámetro de evaluación más importante en un SAF de caucho, ya que añade valor económico, además de la producción comercial de látex y de madera. En este análisis se consideran los productos principales de la asociación (frutas, palmitos, granos, raíces) y los productos secundarios (pajas, forrajes y otros).

Relación de área equivalente: En una relación de área equivalente (RAE), también llamada tasa de equivalente de tierra (LER) (Land Equivalent Ratio), se considera el área de terreno que requiere un monocultivo para producir la misma cantidad obtenida en una hectárea de SAF:

$$RAE = \frac{\text{Producción de caucho en SAF} + \text{Producción de cultivo intercalado en SAF}}{\text{Producción de caucho en monocultivo} + \text{Producción de cultivo a intercalar en monocultivo}}$$

La TET expresa la producción en términos relativos y, por tanto, permite la comparación de diferentes combinaciones. En el sur de Bahía, Virgens Filho, Alvim y Araújo (1987) analizaron la asociación de caucho sembrado a distancias de 7 m x 3 m (476 plantas/ha), con cacao en líneas dobles a 3 m

x 3 m (500 a 750 plantas/ha), encontrando una producción media de 750 kg de caucho seco/ha/año y 780 kilos de grano seco de cacao. Al comparar estas producciones con aquellas obtenidas en cultivos con baja tecnología obtuvieron un TET de 2,45 ha en monocultivo de cacao, y al compararlo con el de cultivos de alta tecnología hallaron un TET de 1,41 ha. Con estos resultados se concluyó que es necesario un área de 2,45 ha de cacao en monocultivo o de caucho para igualar las producciones de 1 ha de cacao o caucho en sistema agroforestal en condiciones de monocultivo de baja tecnología, y de 1,41 ha para condiciones de alta tecnología para los dos cultivos.

b) Ventaja monetaria

La productividad del cultivo asociado se puede expresar en términos de valor económico mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Ventaja monetaria} = \text{Valor del cultivo asociado} \times \left[\frac{\text{RAE}-1}{\text{RAE}} \right]$$

Existe una RAE efectiva cuando un agricultor quiere comparar cualquier proporción del área cultivada, si tiene el conocimiento de la proporción específica de la cosecha.

Normalmente, una RAE es comparada con la producción más alta del monocultivo cuando se evalúan diferentes densidades de siembra o diferentes patrones tecnológicos. En un análisis más riguroso, se hacen comparaciones entre genotipos para identificar las características ideales de las plantas a intercalar; en este caso se debe hacer la comparación con estos genotipos en monocultivo (para identificar el genotipo de mejor producción se realizan comparaciones con todos los genotipos en monocultivo con su mejor producción).

En cuanto a la fertilización, se debe calcular la RAE para cada nivel de fertilización, usando la producción del monocultivo en el correspondiente nivel de fertilización para determinar la ventaja del asocio en los diferentes niveles de fertilizante.

c) Índice de competencia

Existe una gran variedad de relaciones para ser usadas en el sentido de evaluar la competencia entre cultivos; entre ellas podemos citar: la densidad relativa, el índice de competencia o la relación competitiva. Para verificar la relación competitiva debe usarse la siguiente fórmula:

$$\text{Relación competitiva} = \frac{[\text{RAE del cultivo A}]}{[\text{RAE del cultivo B}]}$$



Esta relación está basada en el área equivalente de los componentes y puede cuantificar el número de veces que un componente es más o menos competitivo que otro.

Si un productor desea tomar la decisión de asociar caucho con cacao, debe calcular la RAE en los dos SAF con las densidades y tecnologías deseadas, y después calcular una relación competitiva entre ambos cultivos asociados.

d) Relación equivalente área-tiempo

Una RAE no tiene en consideración el tiempo para comparar entre el monocultivo y el cultivo asociado, y de ese modo, no puede inferirse en la eficiencia del uso de la tierra, especialmente cuando los cultivos son explotados como una alternativa de asocio.

Hiebsch (1978) sugiere calcular la relación equivalente entre tierra-área para cuantificar la producción de un cultivo en diferentes sistemas por unidad de área y por unidad de tiempo, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$RAET = [(Rya \times ta) + (Ryb \times tb) \dots\dots\dots(Ryn \times tn)]/T$$

Donde, Ry = producción relativa; t= tiempo de duración del componente en días de cultivo a,b, n; T: duración del sistema en asocio.

Esto se utiliza generalmente cuando las condiciones climáticas favorecen más de un cultivo en sucesión.

e) Análisis financiero

El análisis financiero calcula la tasa interna de retorno (TIR) de la inversión del monocultivo y del cultivo en asocio, considerando el costo de oportunidad del capital o el valor presente neto (VPN) y la relación beneficio/costo.

Dado que la inversión en los sistemas agroforestales es siempre mayor que en el monocultivo, se recomienda realizar un análisis de sensibilidad para determinar si vale la pena el nivel de reducción de los precios de la inversión. Para este análisis no se deben extrapolar los coeficientes de una pequeña porción a un área más grande.

Un análisis financiero también hace posible la determinación del tiempo de retorno de la inversión, que en el caso del caucho es una información de gran importancia en vista de su largo periodo de inmadurez, especialmente en monocultivo.

f) Adaptabilidad y estabilidad en la producción

Normalmente se considera que un SAF ofrece una producción más estable, es decir, con menos riesgos, comparado con los monocultivos. Esa es una de las razones para que se dé más adopción de esta práctica bajo condiciones marginales. Un ejemplo de esto son las regiones de ocurrencia del mal suramericano de las hojas (*Microcyclus ulei* P. Henn) del caucho. Otros dos aspectos importantes a ser considerados son el rendimiento del sistema a largo plazo (estabilidad) y la adaptabilidad.

La falta de conocimiento sobre la concepción del manejo y explotación de caucho en SAF ha llevado a algunos curiosos a juzgar estos sistemas como inviábiles. Estudios pioneros sobre la asociación caucho y cacao en líneas dobles con número variable de plantas de cacao en las entrelíneas de caucho se realizaron en Costa de Marfil (Hunter y Camacho, 1961), en el estado de Bahía (Estación Experimental Djalma) y en Rondônia (Ribeiro *et al.*, 1982)

En Oro Negro, en el Oeste de Rondônia, se comparó el cacao y el caucho en monocultivo y en SAF, sembrando el caucho en líneas dobles de 6,0 x 3,0 m intercalado con 2, 3 y 4 líneas de cacao, en distancias de 3,0 x 2,5 m; 3,0 x 3,0 m; y 3,5 x 3,0 m, respectivamente. Los mejores resultados de la producción de grano seco de cacao y el desarrollo de caucho se obtuvieron con líneas triples de cacao en distancias de siembras de 3,0 x 2,0 m y líneas cuádruples de cacao en espaciamientos de 3,0 x 2,5 m, produciendo 60% más de granos secos de cacao con relación al monocultivo.

Según Virgens Filho y Midlej (1993), es viable sembrar cacao en los sub-bosques de caucho atacados por el *Microcyclus ulei* causante del mal suramericano de la hoja (en áreas en que los clones de caucho son susceptibles), el cual presenta un índice de follaje del 60% con una copa densa, permitiendo el crecimiento de las plantas de cacao.

El cacao se sembró a una distancia de 7,0 x 3,0 m y el caucho a 7 m entre calle, pasando a líneas dobles cuando el espacio entre estas se ampliaba en las curvas a nivel; de este modo, se obtuvo una densidad de 750 plantas de cacao y 450 de caucho por hectárea. La producción de los dos cultivos fue estable durante todo el año (Figura 8).

Sistema Agroforestal de Caucho y Cacao

Exigencias edafoclimáticas del cacao

El cacao es una planta umbrófila que se comporta bien en clima caliente y húmedo a temperaturas entre 22 °C y 28 °C y precipitación entre 1.200 a 2.000



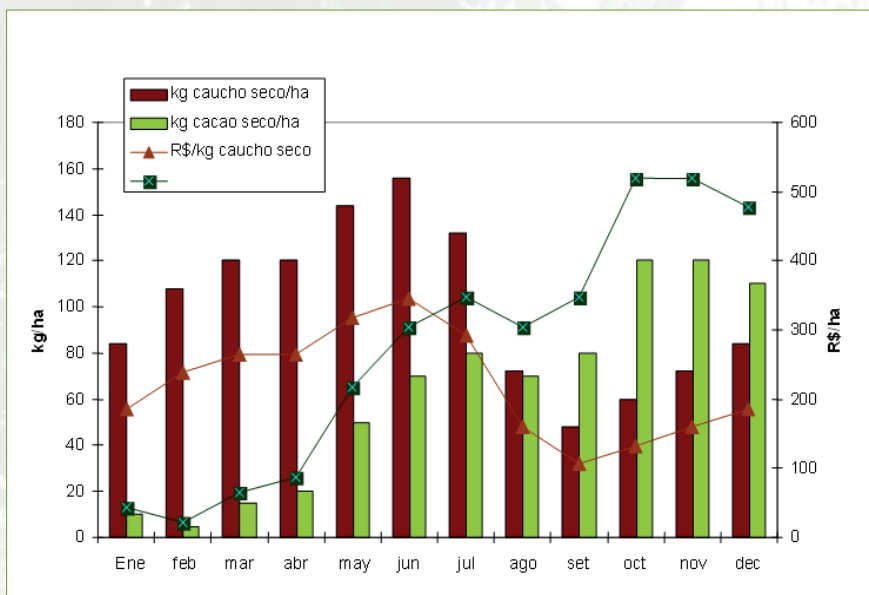


Figura 8. Distribución mensual de producción e ingresos de un sistema agroforestal de cacao y caucho

mm, con un mínimo mensual de 60 mm y una humedad relativa superior al 80%. El suelo debe tener una textura media, profundidad mínima de 80 cm, y estar bien drenado y con buena fertilidad (Alvim, 1970).

Distribución del sistema radicular

Virgens Filho y Midlej (1993) realizaron un diagnóstico del sistema de cultivos en asocio de caucho con cacao y observaron que la distribución de los sistemas radiculares del caucho y del cacao hace posible el mejor aprovechamiento de los fertilizantes, debido a que hay una mayor superficie ocupada por las raíces. De este modo, al fertilizar el cacao los nutrientes que se pierden por lixiviación pueden ser recuperados por el caucho, ya que sus raíces se encuentran entrelazadas y debajo de las raíces del cacao.

Modelos de sistemas agroforestales de caucho y cacao

1. SAF de cacao bajo bosques de caucho tradicional

Esta práctica es muy común en la región del sur de Bahía (Brasil), en donde existe un área de 8.000 hectáreas con siembras de cacao en el sub-bosque de caucho tradicional, plantado a una distancia de 7 x 3 m. La siembra de cacao debajo de los cultivos de caucho se difundió a finales de la década del 70, cuando el cacao

alcanzó buenos precios en el mercado (Figura 9). En algunos cultivos de caucho adulto, muchas veces empobrecidos, los productores realizaron la siembra de cacao motivados por la tradición de este cultivo en la región y la facilidad de instalar el cacao bajo la sombra preexistente (Virgens Filho *et al.*, 1992).



Figura 9. Evaluación de materiales de caucho y de cacao en bloques monoclonales y en SAF con cacao en el sub-bosque de caucho tradicional. Batalha, Porto Seguro (Brasil)

Cuando la distancia de siembra del caucho era de 7×3 m el cacao se plantó en líneas simples, pero cuando estaba sembrado en curvas a nivel el cacao se instaló en líneas dobles. La densidad varió entre 450 a 700 plantas de cacao por hectárea. Para el cacao sembrado en líneas dobles la distancia de siembra utilizada fue de 2×3 m entre líneas dobles y 3 m entre plantas, obteniendo una densidad de 900 plantas por hectárea.

La filosofía fue sustituir los clones de caucho altamente susceptibles al mal suramericano de las hojas (*Microcyclus ulei* P. Henn) por otros resistentes. Con todo, en la medida en que se hicieron las prácticas culturales los cultivos de caucho mejoraron los índices de refoliación y, en algunos casos, llegaron a sombrear excesivamente al cacao, limitando su producción.

Alvim y Pinto, citados por Alvim (1970), registraron en el sur de Bahía una densidad media de 735 plantas de cacao y 76 árboles para sombra de especies



diversas, lo que corresponde a una proporción de nueve plantas de cacao por árbol de sombra (en las plantaciones técnicas la proporción es de 32 árboles de cacao por árbol de sombra, y en el cultivo de cacao bajo el bosque de caucho tradicional existe una proporción de 1 a 3 cacaos por árbol de sombra). En teoría, aparenta una situación de sombrío excesivo que en la práctica no ocurre, debido a la defoliación sufrida por los árboles de caucho en áreas marginales que favorece la penetración de la luz en el sub-bosque de caucho.

Este sistema, cuando es debidamente manejado, permite producciones de cacao concordantes con las obtenidas en la mayoría de las áreas donde se siembra en monocultivo. En una hacienda de Porto Seguro, Bahía, el cacao se sembró en líneas dobles entre las líneas de caucho de 7 x 3 m, siendo una entrelínea ocupada por el cacao y la otra no, para una densidad total de 450 plantas por hectárea. En el sub-bosque, el clon FX 2261 presentó alta susceptibilidad al *M. ulei* y el cacao una productividad media de 35 arrobas/ha/año; y bajo el clon MDF 180 (clon tolerante a *M. ulei*) el cacao produjo 18 arrobas/ha/año. Al aumentar la densidad del cacao por hectárea mediante la siembra en todas las entrelíneas del caucho las producciones son superiores a 60 y 30 arrobas/ha/año, respectivamente.

2. SAF con siembra simultánea de cacao y caucho

En el sistema de siembra de caucho en líneas dobles el cacao se introduce entre las líneas. El establecimiento se inicia con la siembra de banano en sincronía con el caucho, como sombrío provisional del cacao, lo que contribuye a mejorar el ingreso de dinero a partir del mes dieciocho. El cacao inicia la producción económica a los cuatro años, y el caucho entre los seis y ocho años. La perspectiva es que la producción de ambos cultivos en este sistema supere la producción de ambos en monocultivo.

Marques *et al.* (2007) reportaron que el SAF en líneas dobles es una forma de sembrar el caucho para alcanzar una densidad poblacional equivalente al monocultivo; además, en este se facilitan las prácticas de manejo, se favorecen las interacciones biológicas y se ayuda a compensar las producciones de cacao. En un experimento realizado por estos autores en el Centro de Investigación de Cacao (Centro de Pesquisas de Cacao), se evaluó la siembra de caucho a diferentes distancias: a) 13 x 3 x 2,5 m en 4 filas de cacao de 3 x 3 m; b) 14 x 3 x 2,5 m en 4 filas de cacao de 3 x 2,5 m; c) 14 x 3 x 3 en 4 filas de cacao de 3 x 2 m. Los datos preliminares de producción no mostraron diferencias significativas en el crecimiento del tronco de caucho ni sobre la producción de frutos de cacao. Al evaluar económicamente estos sistemas, los autores encontraron que el asocio de cacao con caucho ostenta gran rentabilidad, pero esta depende del precio de los

productos; los valores máximos de los indicadores financieros con relación B/C de 2, TIR de 25% y un periodo de repago de 8 años, revelan como una opción atractiva a la agroforestería de cacao con caucho (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis de sensibilidad de los indicadores de rentabilidad de una plantación de SAF caucho (400 plantas/ha) con cacao (833 plantas/ha) y banano (833 plantas/ha) con variaciones en el precio. Tasa de descuento del 3,0%

Caucho (R\$/kg)	Cacao (R\$/@)*	Banano (R\$/kg)	Variación de precio (%)	B/C R\$	VPN (R\$)	TIR (%)	Pay Back
2,38	77	0,42	40	2,01	45568	25	8 años y 4 meses
2,04	66	0,36	20	1,73	32233	19	9 años y 6 meses
1,7	55	0,3	0	1,44	18897	13	12 años y 6 meses
1,36	44	0,24	-20	1,15	5562	6	15 años
1,02	36	0,18	-40	0,86	-7762	<0	>20 años

*@ arroba= 15 kg R\$= real; la tasa de cambio \$1.000.

3. SAF con siembra simultánea de caucho en líneas dobles de cacao (Adonias Filho) (Figura 10)

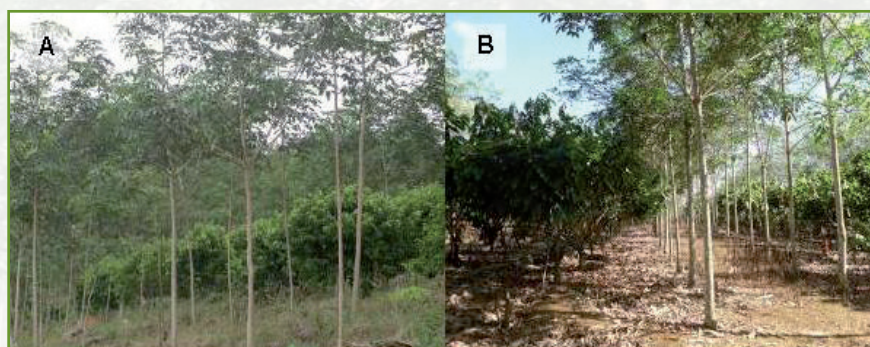


Figura 10. Sistemas agroforestales con caucho en las haciendas Tiriri (A) y Michelin (B). Bahía, Brasil

Teixeira *et al.* (1988 n.p.), citados por Pereira *et al.* (1998), realizaron dos experimentos durante 13 años en el estado de Pará, en los municipios de Altamira e Itaituba. Evaluaron el caucho sembrado en líneas dobles espaciadas a 7 x 3 m, con una distancia entre líneas de 12,5; 17,5 y 22,5 m, y el cacao plantado a distancias de 2,5 x 2,5 m en 4, 6 y 8 líneas, respectivamente. Los autores observaron que la productividad del cacao se incrementó con el aumento del número de líneas, mientras que el caucho no presentó alteración en su productividad.



Pereira *et al.* (1998) observaron en un experimento *in situ* que los cultivos de cacao estaban bastantes sombreados, teniendo la misma distancia de 22,5 m entre líneas de caucho.

Por su parte, en un experimento realizado en Oro Negro del Oeste, reportado por Souza *et al.* (1988) y Medrado *et al.* (1994), se evaluó un cultivo de caucho en asocio con cacao para las siguientes distancias de siembra: a) 3 x 2,5 m con 2, 3 y 4 líneas entre las líneas dobles de caucho; b) 6 x 3 y 3 x 3 m con 2, 3 y 4 líneas entre las líneas dobles de caucho; y c) 3,5 x 3 m con 2, 3 y 4 líneas entre las líneas dobles de caucho. Adicionalmente, se incluyeron dos tratamientos para el monocultivo de cacao a distancias de siembra de 3 x 2,5 m y de caucho a 6 x 3 m. Las distancias entre líneas dobles de caucho variaron de 9 a 17,5 m. La mayor producción de cacao al final de los 10 años se obtuvo en el sistema de líneas dobles de cacao, con la distancia de siembra de 3 x 3,5 m, sembrado entre los cauchos a una distancia de 10,5 x 6 x 3 m. También se verificó que el sistema agroforestal favorece el desarrollo de la producción de caucho y que una distancia muy amplia en la línea doble (6 m) promueve la pérdida del área útil, tanto para el cacao como para el caucho.

Virgens Filho, Alvim y Araújo (1992) trabajaron en un sistema agroforestal de caucho y cacao en el cual evaluaron los siguientes tratamientos: a) monocultivo de caucho con distancia de siembra de 7 x 3 m; b) monocultivo de cacao con distancia de siembra de 3 x 3 m; c) caucho en mosaico constituido por un ajedrez formado por el cultivo de cacao a 2 x 2 m, cercado por el caucho a manera de línea rompevientos y sin sombra de dosel, alternadamente en áreas de caucho de 7 x 3 m, manteniendo en cada entrelínea 2 hileras de cacao a 2 x 2 m distanciadas a 2,5 m del cacao; d) retículo de 30 x 30 m formado por 100 cacaos a 2 x 2 m circunscritos por caucho a 5 x 2,5 m; e) cinco filas de cacao a 2 x 2 m entre líneas de caucho de 19 x 5 x 3 m; y f) nueve filas de cacao a 2 x 2 m entre las líneas dobles de caucho a 19 x 5 x 3 m.

Los resultados obtenidos en la fase de desarrollo revelaron que el crecimiento del caucho fue mayor en el tratamiento de mosaico, siendo estadísticamente diferente del testigo sin caucho y del tratamiento con cinco filas de cacao entre filas de caucho. Por su parte, el cacao presentó mayor crecimiento del diámetro del tallo en el tratamiento de retículo, el cual fue estadísticamente superior al monocultivo de cacao y al tratamiento con siete filas de cacao entre líneas dobles de caucho.

Marques *et al.* (2007) recomiendan realizar, en lo posible, la siembra del caucho en el sentido este-oeste, con el fin de permitir la entrada de luz a las plantas de cacao por periodos más prolongados, con lo cual se favorece su producción.

4. SAF de caucho con cultivos de ciclo corto

La siembra de caucho con cultivos de ciclo corto es una práctica bastante difundida en Brasil y en el Sudeste Asiático. Entre los cultivos utilizados se destacan: arroz, frijol, frijol caupí, sorgo, soya, maní, patilla, jengibre y yuca (Senanayake, 1968; Pinheiro, 1982; Virgens Filho, Alvim y Araújo, 1987; Fialho, 1982; Fancelli, 1987; Pereira *et al.*, 1997; MRB, 2005; Marques *et al.*, 2007; Pereira, 2007) (Figura 11).



Figura 11. Caucho con sistemas, con cultivos de ciclo corto intercalados: a) soya; b) maíz; c) sorgo; d) trigo

Brito (1989), citado por Pereira *et al.* (1997), describió la experiencia en el Planalto de Sao Paulo de la asociación de caucho a gran escala con soya, sorgo, arroz y en menor escala con maní, algodón y sorgo. El frijol se plantó en las extensas áreas cultivadas en soya, con la posibilidad de ocurrir un ataque de la mosca blanca (*Bemisia tabaci*), que es vector del virus causante del mosaico dorado del frijol. El resultado obtenido fue que la soya, el sorgo y el arroz cuando son sembrados técnicamente dan resultados favorables sin comprometer el desarrollo del caucho. La soya es una leguminosa que presenta tolerancia a la sequía y buen retorno económico, sobresaliendo como una de las mejores opciones para cultivar entre las líneas del caucho.

La favorabilidad con respecto a la soya también fue registrada por Fancelli *et al.* (1987). En José Bonifacio, Sao Paulo, ellos estimaron que los ingresos



generados por este intercultivo costean los gastos de los dos primeros años del caucho.

Así mismo, Pereira *et al.* (1997) confirmaron este punto al destacar la asociación practicada en las plantaciones de Michelin en Itiquira, Mato Grosso, con más de 8.000 hectáreas de caucho con cultivos anuales de arroz, frijol, sorgo y especialmente soya, llevados hasta el tercero y cuarto año, considerando esta iniciativa de gran importancia para lograr emprendimientos con éxito (Furtado, 1992; Plantações Eduardo Michelin, 1991 e s.d.; citados por Pereira, 1997).

La empresa Empaer en Mato Grosso, analizó la experiencia desarrollada por productores y recomendó el intercultivo de caucho con los siguientes cultivos: sorgo, arroz, melón, algunas hortalizas, camote, maní y soya.

En Costa de Marfil, Keli y De La Servi (1988) reportaron que el uso de técnicas adecuadas en la siembra de cultivos asociados mejora el desarrollo del caucho y anticipan el momento de la sangría.

En Asia, los cultivos tradicionales como piña, banano, jengibre, cucurbitáceas y citroneta, proveen un ingreso en asociación con caucho. El arroz, el frijol y el sorgo son cultivados como medios de subsistencia (Pereira *et al.*, 2007).

Fancelli (1987), respaldado por la experiencia y los resultados de la investigación, recomienda que en el primer año el cultivo intercalado sea plantado a una distancia mínima de 1 a 1,5 m del caucho. Para el buen desarrollo del caucho se debe ampliar gradualmente el ancho de la franja libre, lo que facilita el manejo del cultivo intercalado, ya que es de crecimiento rápido y alcanza porte alto, con lo cual se perjudica el desarrollo del caucho, pero a partir del segundo año no hay restricciones.

Pereira *et al.* (1997), basados en la experiencia de Michelin, recomiendan la rotación de los cultivos para aprovechar las ventajas, excepto especies con susceptibilidad a nematodos, ya que pueden volverse cultivos trampa que con el uso intensivo de maquinaria para la preparación del suelo, la siembra y el manejo, pueden cortar las raíces del caucho, aumentando la probabilidad de presentar problemas de nematodos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvim, P. S. (1970). Ecología do cacauero. Ilhéus: Ceplac/Cepec. 16 p. (Comunicado Técnico).
- Alvin, Ronald; Virgens Filho, Adonias de Castro; Araújo, Antônio Carlos de. (1989). Agrossilvicultura como ciência de ganhar dinheiro com a terra: recuperação e remuneração antecipadas de capital no estabelecimento de culturas arbóreas. Ilhéus: Ceplac/Cepec. Boletim Técnico, No. 161. 136 p.
- Fancelli, Antônio Luis. (1987). Seringueira consorciada a culturas anuais e perenes. In: Simpósio Da Cultura Da Seringueira, 2, Piracicaba. Anais. Piracicaba: ESALQ-USP (pp. 205-222).
- Fialho, J. F. (1982). Consorciação da Seringueira. In: Curso intensivo de heveicultura para Técnicos Agrícolas. Manaus, AM. Brasília: Sudhevea/Embrapa (pp. 105-108).
- Hunter, J. R.; Camacho, E. (1961). Some observations on permanent mixed croppings in the humid tropics. Turrialba, 11 (pp. 26-32).
- Hiebsch, C. K. (1978). Interpretation of yields obtained in crop mixtures. Agron. Abs. Amer. Soc. Agr. 41 p.
- Keli, J. Z.; De La Serve, M. (1988). Association temperaire hevea-viviers en basse Côte d'ivoire. Revue des Cautchoucs et Plastiques. Abdjan: Cirad/Irca, No. 679 (pp. 299-243).
- Malaysia Rubber Board (MRB). (2005). Rubber industry in Malaysia.: navigating and re-inventing the industry. Kuala Lumpur: MRB. 98 p.
- Marques, J. R. B.; Monteiro, W. R.; Lopes, U. V.; Valle, R. R. (2007). O cultivo do cacauero em sistemas agroflorestais com a seringueira. In: Raul René Valle. ed. In: Ciência, tecnologia e manejo do cacauero. Itabuna: Ceplac; Cepec (pp. 272-289).
- Medrado, M. J. S.; Ribeiro, S. I.; Lisboa, S. de.; Costa, J. N. M. (1994). Associação da seringueira com a cultura do cacauero no Estado de Rondônia In: Congresso Brasileiro De Sistemas Agroflorestais. Porto Velho. Anais. Colombo: Embrapa-CNPFC, v. 1 (pp. 135-149).
- Moraes, C. A. (1988). Manejo Integrado da bacia do Rio Almada bioma Mata Atlântica: treinamento em sistemas agroflorestais. Ilhéus: Governo Da Bahia/Ceplac/CNPFC/Grama. 51 p.
- Müller, M. W.; Rodrigues, A. C. G. (2007). Sistemas agroflorestais com cacauero. In: Raul René Valle. ed. In: Ciência, tecnologia e manejo do cacauero. Itabuna: Ceplac; Cepec (pp. 246-271).
- Organización para Estudios Tropicales (OTS); Centro Agronómico Tropical de investigación y Enseñanza (Catie). (1986). Sistemas agroflorestales: principios y aplicaciones en los trópicos. San José: OTS/Catie. 818 p.
- Pereira, J. P. (2007). Sistemas agroflorestais com a seringueira. In: Informe Agrpecuário. Belo Horizonte: Epamig. v. 28. No. 237. mar-abr (pp. 32-38).
- Pereira, A. V.; Pereira, E. B. C.; Fialho, J. F.; Junqueira, N. T. V.; Macedo, R. L. G. (1998). Sistemas agroflorestais com seringueira e caféiro. Planaltina: Embrapa. 80 p. (Série Documentos No. 70).
- Pereira, A. V.; Pereira, E. B. C.; Fialho, J. F.; Junqueira, N. T. V. (1997). Seringueira em sistemas agroflorestais. Planaltina: Embrapa, 45 p. (Série Documentos No. 63).
- Pinheiro, Eurico. (1982). O cultivo intercalar da seringueira com plantas de valor econômico. In: Simpósio Para Exploração Permanente Dos Solos Da Amazônia, Belém, PA. Anais. Belém: Embrapa/CPATU/GTZ (pp. 105-118). (Série Documentos No. 07).
- Raintree, J. B. (1990). Theory and practice of agroforestry diagnosis and design. In: Macdicken, K. G.; Vergara, N. T. ed. Agroforestry: classification and applications en los trópicos (pp. 583-600). Costa Rica: Catie.
- Rao, M. R. (1983). Some concepts and experimental methods in intercropping research. In: Meeting For Evaluation Of Intercropping Experiments Of Rubber With Other Crops. Manaus: Embrapa/CNPFC (pp. 24-28).



- Reis, E. L. (2007). Nutrição e adubação da seringueira. In Informe Agropecuário. Belo Horizonte: Epamig, v. 28. n. 237. mar-abr (pp. 59-69).
- Ribeiro, S. I.; Veneziano, W.; Lisboa, S. N.; Medrado, M. J. S. (1982). Associação da seringueira com a cultura do café no município de Ouro Preto do Oeste em Rondônia. Porto Velho: Embrapa. 6 p. (Pesquisa em Andamento, 22).
- Senanayake, Y. D. A. (1968). Intercropping supplementary cropping and crop substitution on rubber land a viewpoint. Sri Lanka: RRIC. RRIC Bulletin. v. 3, n. 4 (pp. 99-113).
- Souza, V. F. de; Figueredo, R. S. I.; Lisboa, S. M. de M.; Medrado, M. J. S. (1988). Consorciação da seringueira com o cacau em Ouro Preto d'Oeste. In: Encontro Técnico Sobre Consorciação Cacau X Seringueira, 1, Altamira, PA. Relatório. Belém: Ceplac-Embrapa, n. p.
- Virgens Filho, A. C. (2003). Programa de Desenvolvimento do Agronegócio Borracha no Estado da Bahia. Ilhéus: Ceplac. 150 p.
- Virgens Filho, A. C.; Alvim, R.; Araújo, A. C. (1987). Plantio de cacauzeiros sob seringueiras adultas na região sul da Bahia. In: Conferência Internacional De Pesquisas Em Cacau, 10a, 17-23 de maio de 1987 (pp. 33-41). Santo Domingo, República Dominicana. Anais. Santo Domingo: Aliança dos Países Produtores de Cacau. República Dominicana, Santo Domingo.
- Virgens Filho, A. C.; Alvim, R.; Araújo, A. C. (1992). Sistemas de cultivo em consorciação com a seringueira. Ilhéus: Convênio Ceplac/Embrapa. Relatório. 1992. 25 p.
- Virgens Filho, A. C.; Midlej, M. B. C. (1993). Diagnóstico dos sistemas múltiplos em consorciação com a seringueira. Ilhéus: Convênio Ceplac/Embrapa. Relatório. 46 p.

MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE CAUCHO EN COLOMBIA

Introducción

En Colombia la base genética utilizada para las siembras del cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*) es bastante estrecha, y no existe aún un programa de mejoramiento genético a nivel nacional; por ello se requiere de la importación de clones de otras regiones del mundo, como es el caso de Brasil. Estas importaciones se dan con el fin de ofertar clones por tolerancia a problemas fitosanitarios, en especial el mal suramericano de la hoja (*Microcyclus ulei*), y aumentar la productividad. Los clones suramericanos producen la mitad de los asiáticos, y en la actualidad los hevehicultores utilizan un número restringido de clones de origen brasilero: IAN 873, IAN 710 y FX 3864. Estos clones han mostrado características aceptables de producción y desarrollo fisiológico en las regiones con tradición cauchera en el país.

Los clones asiáticos presentan una elevada productividad, pero son susceptibles al mal suramericano (*Microcyclus ulei*). Por este motivo, previo al establecimiento de nuevos materiales, estos se deben evaluar en condiciones de campo en Colombia en las regiones representativas de la producción de caucho para observar su adaptación, tolerancia a enfermedades y rendimiento, entre otros aspectos.

La evaluación de clones de caucho a gran escala busca ampliar la base genética en una región determinada con el objeto de escoger entre los clones evaluados los que tengan mejores condiciones de producción



y resistencia a plagas y/o enfermedades, o su respuesta frente a la oferta agroclimática como: defoliación fisiológica anual para escapar a enfermedades foliares, producción y calidad de látex, y densidad para determinado tipo de industria; además, evaluar la arquitectura de los árboles para hacer sistemas agroforestales durante un tiempo determinado o evaluar clones de doble propósito como producción de látex y madera.

En términos económicos, se busca aumentar el número de hectáreas plantadas con los materiales más productivos disponibles para que el propietario del cultivo obtenga mayores rendimientos económicos, disminuyendo los costos de manejo de plagas y enfermedades al utilizar materiales más resistentes. De esta manera, con los nuevos materiales la rentabilidad del cultivo deberá aumentar, pues los principales criterios de evaluación son la productividad y la resistencia a plagas y/o enfermedades, y una vez certificados como tal, estos constituirán la base para la propagación masiva y su establecimiento alrededor de las áreas evaluadas a nivel industrial.

EVALUACIÓN TEMPRANA DE UN JARDÍN CLONAL A GRAN ESCALA EN EL MAGDALENA MEDIO SANTANDEREANO

JAIRO ROJAS MOLINA

Introducción

Uno de los componentes en la producción con mayor influencia sobre la productividad del cultivo de caucho es el clon seleccionado. La selección del clon genera una buena producción durante los primeros años de sangría y durante todo su ciclo económico (Virgens Filho, 2008).

Los factores ambientales en las diferentes áreas del cultivo de caucho deben ser tenidos en cuenta para la selección del clon, ya que interfieren decididamente en el desempeño productivo. También, se deben tener en cuenta factores importantes como: velocidad del viento, humedad atmosférica y tipo de suelo (Gonçalves *et al.*, 2001, 2005, 2007). Esta es la razón de evaluar clones en diferentes regiones: mejorar la productividad del sector cauchero.

En la actualidad, Procaucho cuenta con un jardín clonal certificado por la Asociación de Reforestadores y Cultivadores del Caucho del Caquetá (Asoheca), con capacidad para producir 500.000 stumps por año, donde se multiplican a escala comercial los clones IAN 710, IAN 873, FX 3864 y RRIM 600. Con la evaluación de estos clones se pretende ampliar la base genética para sembrar las nuevas plantaciones de caucho.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en la Hacienda El Cántaro, de la empresa Procaucho S.A., ubicada en el municipio de San Vicente de Chucurí, con unas coordenadas de



6°46'49,021" N y 73°39'21.2470", una temperatura anual promedio de 27 °C, una humedad relativa anual promedio de 82% y una precipitación promedio anual de 1.350 mm (Figura 12).

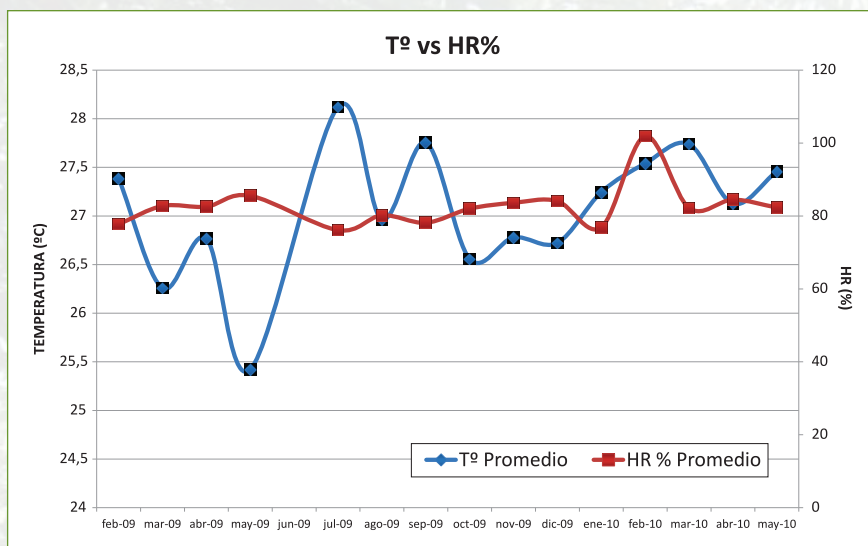


Figura 12. Temperatura promedio y precipitación desde febrero de 2009 a mayo de 2010 en el corregimiento de Yarima, municipio de San Vicente de Chucurí (Santander)

Se evaluaron 10 clones con buenas características de desarrollo y producción –tanto en condiciones experimentales como a nivel de plantaciones comerciales– en Asia, América Latina y África, y que a su vez podrían tener un buen desarrollo en el Magdalena Medio santandereano. Algunos de estos clones se vienen evaluando en la región de la Orinoquía colombiana (Tabla 2).

Tabla 2. Clones de caucho en jardín clonal a gran escala en el departamento de Santander

Clon	Significado	Procedencia
RRIM 600	Rubber Research Institute of Malasia	Malasia
RRIM 703	Rubber Research Institute of Malasia	Malasia
PB 235	Prang Besar	Malasia
PB 260	Prang Besar	Malasia
PB 314	Prang Besar	Malasia
PB 217	Prang Besar	Malasia
RRIC 110	Rubber Research Institute of Ceylan	Ceylan
FX 3864	Ford Cross	Brasil
IAN 873	Instituto Agronomico do Norte	Brasil
IAN 710	Instituto Agronomico do Norte	Brasil

El clon IAN 710 se tomó como testigo o patrón de comparación.

Características de los Clones Evaluados en el Jardín Clonal

Clon PB 260

Clon secundario resultante del cruzamiento de los clones primarios PB 5/51 x PB 49 en Prang Besar, originario de Malasia. Los árboles del clon poseen buena dispersión con resistencia al viento. Tiene una buena tasa de crecimiento durante el periodo de inmadurez y en la fase adulta. En general, es de cáscara fina (Rincón, 1996).

En Malasia el resultado de la producción de sangría del primer panel mostró superioridad en relación con el RRIM 600. En observaciones sobre estimulación con ácido 2-cloroetil fosfónico respondieron bien.

Clon FX 3864

Clon secundario desarrollado por la compañía Ford, resultante del cruzamiento de los clones primarios PB 86 x FB 38. De tallo recto, se muestra vigoroso antes y después del inicio de la explotación en el sur de Bahía.

Dentro de sus características principales están el bajo índice de quiebre por el viento y de secado de panel y la buena tolerancia al mal suramericano de la hojas. En Sao Paulo este clon presenta producciones medias de 1.500 kg de caucho seco/ha/año en el sistema $\frac{1}{2}$ S d/4, estimulado con 2,5% de ácido 2-cloroetil fosfónico (Rincón, 1996).

Clon PB 235

Clon secundario resultante del cruzamiento de dos clones primarios PB 5/51 x PBS/72 en Prang Besar, originario de Malasia. El árbol posee un tronco recto, regular, de buena compatibilidad con el injerto y el portainjerto. En la etapa juvenil presenta en la base muchas ramas pequeñas, dispuestas horizontalmente.

Los árboles adultos revelan la formación de ramas bien homogéneas; entre los seis y los diez años de edad ocurre un adelgazamiento natural, dando lugar a la aparición de nuevas ramas muy altas, con un ángulo bien definido. Las hojas de este clon tienen una coloración verde bien acentuada. En Costa de Marfil, donde se considera como un clon vigoroso, presenta senescencia parcial, pues no ocurre la defoliación total y la estación de caída de las hojas es lenta.

La cáscara virgen del clon PB 235 es lisa y gruesa. En Costa de Marfil la sangría se da a los cinco años y medio y el clon es altamente productivo, con producción media en los cinco primeros años de 2.093 kg/ha/año en el sistema $\frac{1}{2}$ S d/2 6d/7. En Malasia con este mismo sistema este clon tiene una producción de 2.273 kg/ha/año, y en el estado de Sao Paulo en Brasil de 2.000 kg/ha/año (media de 4 años).



El PB 235 se caracteriza principalmente por entrar en producción muy rápido, favorecido por su gran homogeneidad. Los caracteres secundarios, de modo general, son buenos, exceptuando el panel seco, problema de gran importancia en Brasil. La siembra de este clon se debe realizar con reserva, debido al gran número de árboles comúnmente afectados por este problema en los sistemas normales de sangría y por su susceptibilidad a oídio (Rincón, 1996).

IAN 873

Clon secundario desarrollado por el antiguo Instituto Agronómico del Norte. Los padres de este material son los clones primarios PB 86 y FB 1717. Los árboles son altos y vigorosos, con tallo vertical y de rápido crecimiento cuando jóvenes; su producción es satisfactoria en los dos primeros años de sangría. La producción es alta a partir del tercer año.

En plantaciones comerciales de Malasia, la producción en los primeros cinco años de sangría fue de 1.505 kg/ha/año de caucho seco; por su parte, en Brasil fue de 1.441 kg/ha/año, ambas producciones en el sistema $\frac{1}{2}$ S d/2. Este clon exhibe tendencia a la producción creciente. En general, la producción inicial del clon IAN 873 es media, pero las subsiguientes son altas. La corteza es gruesa y con buena regeneración. Este clon presenta bajo índice de panel seco e incidencia de quebradura del viento. En regiones con déficit hídrico, con un verano de 40 días, mostró considerable sensibilidad, dada la caída de la producción entre 20% y 30% (Rincón, 1996).

RRIM 600

Clon secundario desarrollado por el Rubber Research Institute of Malaysia (RRIM). Los padres del clon RRIM 600 son los clones primarios Tjir y PB 86. Cuando jóvenes los árboles son altos, con tallo vertical y de rápido crecimiento. Las ramas aparecen tardíamente y forman gruesas bifurcaciones, con gran peso en la base de las plantas, y en caso de vientos fuertes se pueden quebrar, causando claros en la plantación de caucho.

En el estado de Sao Paulo este clon se considera susceptible al viento. La copa es estrecha y el follaje es disperso, presenta hojas pequeñas y claras. El vigor es medio comparado antes y después de la sangría. La cáscara es fina, se torna delicada después de la sangría; en compensación, la renovación es buena. Su alta producción es su punto destacable.

En las plantaciones comerciales de Malasia su producción fue media en los primeros cinco años de sangría, de 1.540 kg/ha/año en el sistema 1/2S d/2;

en Costa de Marfil fue de 1.732 kg/ha/año en el sistema 1/2S d/3 6d/7 con cuatro estimulaciones por año con base a etefon; y en India la producción fue de 1.185 kg/ha/año, también en el sistema 1/2S d/2. El clon exhibe tendencia a la producción creciente.

En general, la producción inicial y media y las subsecuentes son muy altas. La producción durante el estado de senescencia también es alta. Este clon muestra tolerancia al panel seco, salvo cuando se somete a una sangría intensiva. En Costa de Marfil es altamente susceptible al cáncer del tronco (*Phytophthora* spp.), y en China es poco tolerante al frío (Rincón, 1996).

RRIM 703

Originario de Malasia, desarrollado por el Rubber Research Institute of Malaysia. La sangría en este material se inicia a los cinco años y nueve meses (el primer año de sangría mostró una producción de 1.670 kg/ha de caucho seco frente al GT1 con 1.090 kg/ha).

Este clon es prometedor, ya que responde poco a la estimulación y es sensible a la caída por el viento y al panel seco. En Camerún a los cuatro años de explotación produjo 12% más que el GT1 (Compagnon, 1998).

IAN 710

Clon originario del Brasil, del Instituto Agronómico del Norte (IAN). En Brasil es menos vigoroso que el IAN 873; no obstante, en la granja Paraguacito (Quindío) se mostró como el clon más vigoroso, sin deficiencia de magnesio, y resistió al mal suramericano de la hoja. Este material es un buen productor de semilla.

El clon IAN 710 produce látex estable, con un contenido promedio del 31,3% de caucho seco (DRC). En la granja Paraguacito, a los seis años de edad, alcanzó una circunferencia promedio de 47,4 cm y 67,2% de los árboles entraron en sangría (Rincón, 1996).

RRIC 110

Clon originario de Sri Lanka (Ceilán), del Rubber Research Institute of Ceylan (RRIC). Este clon inicia la producción entre tres y seis meses antes que el GT1, es buen productor y responde bien a la estimulación. El RRIC es muy sensible a la mancha de ojo de pájaro, presenta defoliaciones severas y es muy sensible a la caída por el viento, por lo cual se prohibió su fomento en Malasia. En Camerún, a los cuatro años de explotación, produjo 7% más que el GT1 (Compagnon, 1998).



PB 217

Clon originario de Malasia, Prang Besar. Este es un clon vigoroso, que entra en sangría a los cinco años y medio, siendo más heterogéneo que el GT1. A partir del quinto año de explotación es mejor productor por hectárea que el PB 235 y el GT1. La vida útil productiva del PB 217 sobrepasa los 30 años de edad. Es sensible a las heridas de sangría, además el escurrimiento inicial es difícil pero responde muy bien a la estimulación. Es susceptible a la antracnosis (Compagnon, 1998).

PB 254

Clon originario de Malasia, Prang Besar. Es tan vigoroso como el GT1 y más productivo que este. Tiene un buen comportamiento general, con una arquitectura equilibrada y poca incisión seca. En la granja Paraguacito, el clon PB 254 presentó bajo porcentaje de rendimiento, tanto en la injertación como en el trasplante al sitio definitivo, razón por la que se descarta para fomento (Compagnon, 1998).

Evaluación de los Clones

Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar, con 3 repeticiones y 80 plantas por parcela, siendo el área total de 4,8 hectáreas. Se utilizó el surco doble a distancias de siembra de 3 m x 2,5 m y una calle de 13 m, distancias entre las cuales se sembraron los cultivos asociados (cacao y plátano) (Figura 13). Se fertilizó el caucho dos veces durante dos años, utilizando la siguiente dosis por planta: 70 g de urea, 70 g de cloruro de potasio, 50 g de difosfato amónico, 10 g de boro agrícola y 5 g de sulfato de zinc. Cuando los árboles llegaron a una altura de 2,5 m se podaron con el objetivo de formar la copa y cesar el crecimiento del fuste en forma vertical, favoreciendo el engrosamiento y evitando que todas las ramas salieran del mismo punto.

Resultados y Discusión

En *Hevea brasiliensis* el perímetro del tallo es el parámetro más importante, pues con base en el grado de madurez de la plantación se decide el inicio de la sangría. En Brasil, se adoptó como perímetro mínimo de 45 cm a 1,20 m encima del suelo (Figura 14). El perímetro lo alcanza de acuerdo con la región y entre cultivares. En muchos clones, las plantas alcanzan un valor ideal a una edad inferior de los siete años (Cavalcante y Conforto, 2002).

Analizando el crecimiento en cuanto altura, se encontraron entre los mejores clones los de origen brasilero (IAN 710, FX 3864 y IAN 873), mientras el clon RRIM 703 se catalogó como el de inferior altura (esto para las condiciones del

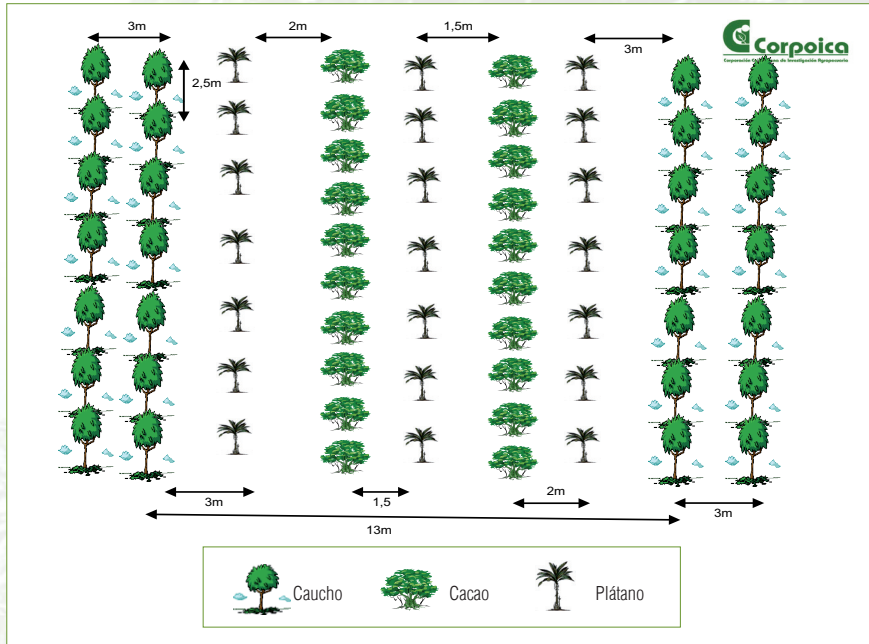


Figura 13. Diseño de campo del campo clonal de caucho en el municipio de San Vicente de Chucurí, Santander

Magdalena Medio santandereano). Igual comportamiento se encontró para el incremento medio anual en altura: los mejores clones fueron los de origen brasilero, y los clones PB 217, RRIM 703 y RRIC 110 presentaron un comportamiento inferior (figuras 15 y 16).

En *H. brasiliensis*, la evaluación de la altura de la planta y el diámetro del tallo son componentes asociados con la productividad, aunque la magnitud de su importancia se ha manifestado de forma diferente en algunos estudios realizados. Es así como Gonçalves y Rosseti (1982) observaron que plantas de dos años de edad, aunque con una altura que variaba de 2,93 m y 2,31 m, la producción osciló de 49,46 mg a 4,56 mg de caucho seco/corte, con lo cual se concluye que es imposible correlacionar los dos caracteres.



Figura 14. Marcación de los clones para medición de perímetro de la circunferencia del tallo y de la altura



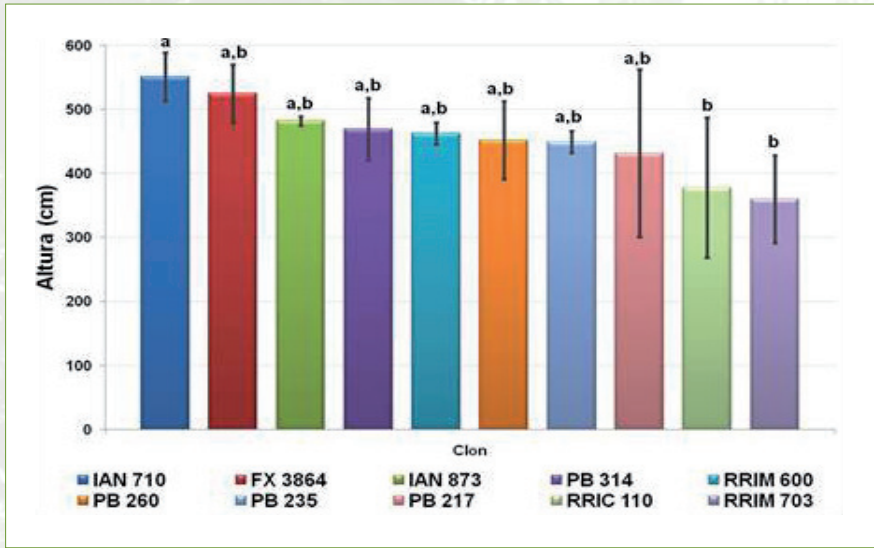


Figura 15. Crecimiento en altura de los clones establecidos en el campo clonal de caucho en el Magdalena Medio santandereano

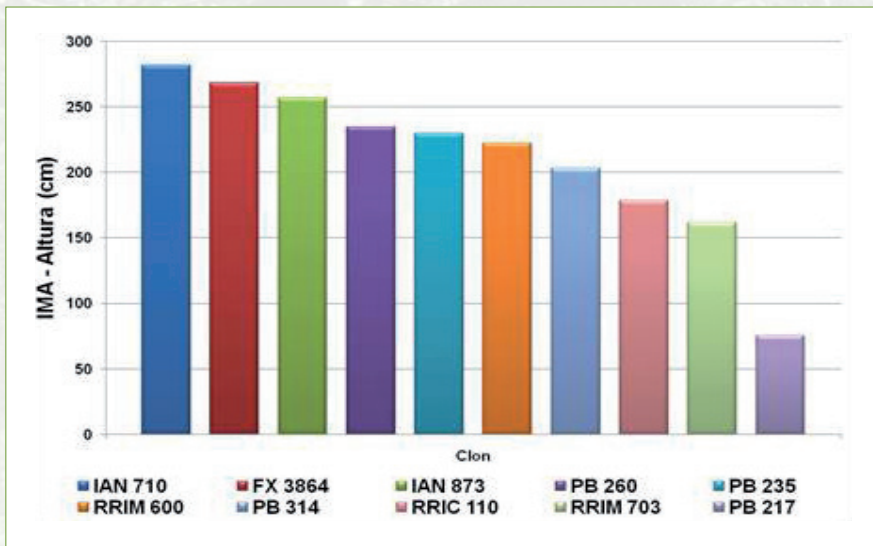


Figura 16. Incremento medio anual (IMA) de los clones establecidos en el campo clonal de caucho en el Magdalena Medio santandereano

Gonçalves *et al.* (1984) verificaron la alta correlación fenotípica y genética entre producción y altura de la planta, y producción y diámetro del tallo, evidenciando la posibilidad de obtener clones jóvenes (de dos años) de buena capacidad productiva y de gran vigor. De este modo, en los programas de mejoramiento genético la característica del entrenudo corto debe ser incluida, ya

que no se utilizaría gran cantidad de fotoasimilados para la formación de ramitas y ramas muy largas, los cuales no contribuyen para la producción y representan apenas tejido de consumo. En estudios con plantas de un año de edad, el efecto directo de baja altura sobre la producción confirmó que una selección de plantas más bajas debe ser considerada (Gonçalves *et al.*, 1999; Gonçalves *et al.*, 2001).

En cuanto al perímetro del tallo, los clones IAN 710, IAN 873 y PB 260 presentaron el mejor comportamiento, e igual que en la variable de altura los clones RRIC 110, RRIM 703 y PB 217 presentaron un comportamiento inferior (Figura 17). En estudios realizados en la Orinoquía colombiana, Martínez y García (2006) encontraron que el IAN 710 es un clon que se comporta muy bien, si bien en Brasil se ha descartado por los problemas que presenta a largo plazo en la productividad.

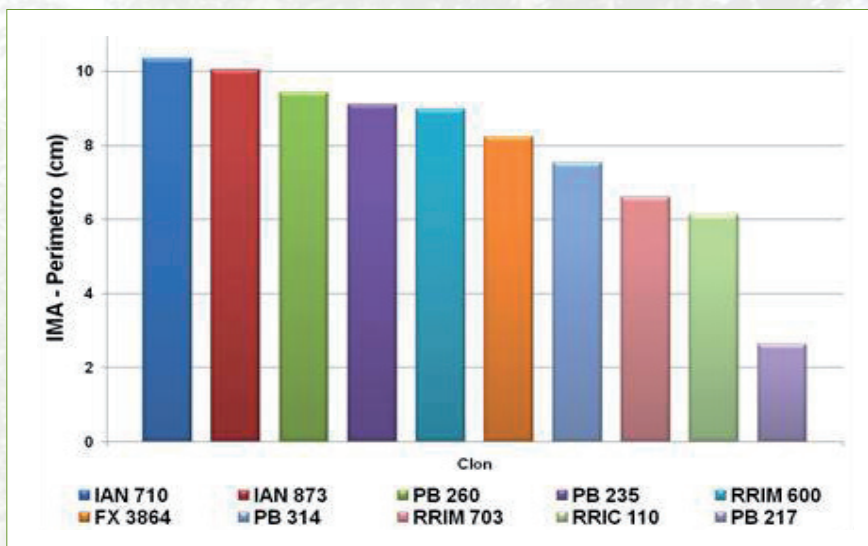


Figura 17. Perímetro del tallo de los clones de caucho establecidos en el campo clonal en el Magdalena Medio santandereano

Pereira *et al.* (1999) destacan que un clon de caucho, para alcanzar un perímetro del tallo adecuado y llegar a sangría, depende de su adaptación al ambiente y de su vigor; por ello, se destaca el clon IAN 710 por tener la mejor adaptación a las condiciones del Magdalena Medio santandereano.

En cuanto al IMA del perímetro, se encontró que los clones IAN 710, IAN 873 y PB 260 presentaron el mejor comportamiento, destacándose el PB 260 como un clon altamente productivo y por presentar en estas evaluaciones un buen comportamiento en cuanto a perímetro del tallo, lo que lo hace promisorio para



su adaptación a las condiciones del Magdalena Medio santandereano (Figura 18). Además, al analizar su comportamiento en cuanto a enfermedades, no se encuentra entre los clones de mayor susceptibilidad a enfermedades foliares bajo las condiciones del área de estudio.

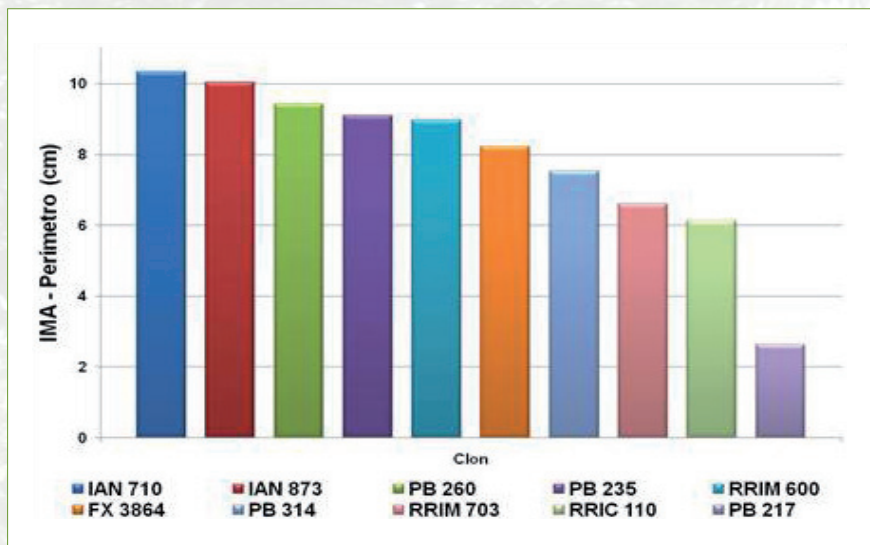


Figura 18. Incremento medio anual en perímetro del tallo para los clones de caucho establecidos en el campo clonal en el Magdalena Medio santandereano

Compagnon (1998) al estudiar las plantas de caucho de 1 a 4 años de edad, observó que el incremento de la materia seca del primero al segundo año fue muy pequeño; sin embargo, a partir del tercer año el incremento casi triplica el del año anterior, lo mismo sucedió en el cuarto año con relación al tercero. En esta fase de crecimiento intenso es cuando un cultivo de caucho necesita cantidades suficientes de nutrientes para que su crecimiento no se vea perjudicado.

Conclusiones y Recomendaciones

Los clones brasileiros presentaron mejor comportamiento en cuanto a las variables de crecimiento, altura y perímetro del tallo, aunque los clones PB 260 y PB 314 de origen asiático de igual manera presentaron buen comportamiento, lo cual los hace promisorios para siembras en zona de no escape a *M. ulei* en el Magdalena Medio santandereano.

Se recomienda continuar con la evaluación de estos materiales hasta llegar a la época de sangría, con el fin de evaluar su nivel productivo bajo las condiciones de

la región. Así mismo, se debe continuar con las evaluaciones del comportamiento de los clones en el área de estudio en cuanto a la tolerancia al mal suramericano de la hoja del caucho (*Microcyclus ulei*).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cavalcante, J. R.; Conforto, E. C. (2002). Desempenho de cinco clones jovens de seringueira na região do planalto ocidental Paulista. *Bragantia*, Campinas 61 (3): 237-245.
- Compagnon, P. (1998). El caucho natural: biología, cultivo, producción. Consejo Mexicano del Hule-CIRAD, México. 701 p.
- Gonçalves, P. S.; Aguiar, A. T. E.; Gouvêa, L. R. L. (1984). Expressão fenotípica de clones de seringueira na região noroeste do estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas. 65(3): 389-398.
- Gonçalves, P. S.; Bortoletto, N.; Furtado, E. L.; Samburago, R.; Bataglia, O. C. (2001). Desempenho de clones de seringueira da série selecionados para região noroeste do Estado de São Paulo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 36(4): 589-599.
- Gonçalves, P. S.; Bortoletto, N.; Ortolani, A. A.; Belleti, G. O.; Santos, W. R. (1999). Desempenho de novos clones de seringueira. III. Seleções promissoras para a região de Votuporanga, Estado de São Paulo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 34 (6): 971-980.
- Gonçalves, P. S.; Martins, A. L. M.; Furtado, E. L.; Samburago, R.; Otatti, E. L.; Ortolani, A. A.; Junior, G. G. (2005). Desempenho de clones de seringueira da série IAC 300 na região do Planalto de São Paulo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37(2): 131-138.
- Gonçalves, P. S.; Silva, M. A. S.; Aguiar, A. T. E.; Martins, M. A.; Scaloppi Junior, E. J.; Gouvêa, L. R. L. (2007). Performance of new hevea clones from IAC 400 series. *Scientia Agrícola*, Piracicaba 64(3): 241-248.
- Martínez, A.; García, F. (2006). Investigaciones en el cultivo del caucho (*Hevea brasiliensis*) en la Orinoquía y el norte Amazónico. Corpoica-Pronatta. Villavicencio, Colombia. 75 p.
- Pereira, A. V.; Venturin, N.; Pereira, E. B. C.; Fialho, J.; Junqueira, N. T.; Gonçalves, O. S. (1999). Avaliação preliminar do desempenho de clones de seringueira (*Hevea* spp.) na região de Goiânia. *CERNE* 5(1): 24-35.
- Rincón Sepúlveda, O. (1996). Manual para el cultivo del caucho. Cordicafé. Santa Fé de Bogotá. 194 p.
- Virgens Filho, A. C. (2008). Organização e exploração do seringal. In: Alvarenga, AP; Do Carmo, CAF. (eds). *Seringueira*. Viçosa, MG, Epamig- Viçosa (pp.127-177).



INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE *Microcyclus ulei* EN EL MAGDALENA MEDIO COLOMBIANO. ESTUDIO DE CASO

YEIRME JAIMES S.
JAIRO ROJAS MOLINA

Introducción

El mal suramericano de las hojas (SALB, por sus siglas en inglés), causado por el hongo basidiomiceto *Microcyclus ulei*, es la enfermedad más limitante del cultivo del caucho en América Latina. En razón a la dificultad de controlarla mediante la aplicación de fungicidas, su manejo está restringido a la utilización de clones con resistencia genética o al establecimiento de cultivos en áreas de escape a la enfermedad. Esta última condición ha permitido a los programas de mejoramiento genético concentrarse en la generación de clones más productivos, sin tener que recabar en la necesidad de introducir genes de resistencia genética en los materiales mejorados.

El cultivo ha tenido un desarrollo más inusitado en Asia y África que en América, debido a su condición de áreas libres del patógeno; en consecuencia, los primeros han generado clones más productivos que los americanos. La enfermedad es endémica del continente americano, en donde el organismo causal encuentra condiciones ambientales favorables para su crecimiento y desarrollo. El cultivo de los clones orientales más productivos está restringido a áreas de escape determinadas por parámetros que identifican condiciones agroecológicas y edafoclimáticas específicas.

De esta forma, se establecen las áreas geográficas en donde no se presentan condiciones ambientales favorables para el desarrollo de la patogenicidad de *M. ulei* cuando ocurre el rebrote foliar estacional, época en la que se presenta la mayor proliferación de patios de infección en el hospedero. Para el efecto, en Colombia la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal – Conif– (1997) realizó una zonificación para el cultivo del caucho, en donde se fijaron áreas geográficas libres de riesgos fitosanitarios. El estudio, realizado a una escala de baja resolución (1:100.000 la más detallada), requiere ser confirmado a nivel de paisaje en microcuencas antes de desarrollar programas locales de fomento del cultivo. A partir de la caracterización de las áreas con base en parámetros edafoclimáticos y ecológico-genéticos es factible tomar decisiones más apropiadas en el ámbito local para el establecimiento de clones de alta productividad (Tapiero *et al.*, 2008).

Colombia actualmente es importador neto de caucho, puesto que las 2.714 hectáreas registradas en producción tan solo producen alrededor de 1.100 toneladas de caucho seco de las 27.000 t/año que se requieren para los procesos industriales (Santacruz, 2008). Como consecuencia, en 2002 se suplieron las necesidades con la importación desde Malasia, Tailandia y Guatemala, principalmente. En este mismo año, el país importó látex y artículos terminados de caucho natural por un valor de US\$ 258.333.375. Hasta el presente, las plantaciones de caucho en Colombia son el resultado de programas de fomento, sin asesoría especializada, y han sido manejadas de manera ineficiente, limitándose tan solo a la extracción del látex. Ello se ha traducido en bajos índices de producción y de calidad, razón por la cual el caucho colombiano es menos competitivo. En el país se produce en promedio 1.100 kg/ha/año de caucho seco, productividad muy baja comparada con la del contexto mundial (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural –MADR–, 2005). La utilización de clones de origen brasilero, resistentes a *M. ulei* y con menor productividad que los asiáticos, ha suscitado una situación de incertidumbre entre los inversionistas, porque no cubre sus expectativas económicas.

Bajo este panorama nacional de abastecimiento deficitario y la tendencia al incremento de los precios, se requiere sembrar en los próximos años alrededor de 30.000 hectáreas tan solo para suplir las importaciones, sin pensar aún en la exportación (MADR, 2005). Para suplir la demanda, es preciso un programa agresivo de fomento del cultivo, fundamentado en resultados de investigación que favorezcan la producción y garanticen su sanidad. Solo de esta manera es posible que a futuro se pueda aumentar la producción de caucho natural y contribuir con la generación de empleo, además de la disminución de los aranceles y de los costos de elaboración de los productos derivados (Corporación Colombia Internacional –CCI–, 2005). Para garantizar la sostenibilidad económica y



ambiental de este proceso es necesario realizar una mejor selección de clones a sembrar por región, así como tecnificar el manejo de las plantaciones y el beneficio del caucho.

El país cuenta con plantaciones de caucho distribuidas por 15 departamentos. En Caquetá se concentra la mayor área sembrada (38% del área total nacional), seguido por Santander con 15% y Meta con 12%. En total son 20.700 hectáreas sembradas (MADR, 2005), cifra muy baja en comparación con la de otros cultivos estratégicos. No obstante, durante los últimos años se ha presentado una tendencia al crecimiento a un ritmo de 51% anual del área sembrada en caucho, entretanto que el área agrícola en general creció apenas al 2% anual entre los años 2002 y 2006 (Santacruz, 2008).

El incremento reciente del área sembrada y las proyecciones de siembra que se tienen en el Magdalena Medio reflejan su potencial para consolidarse como una de las zonas productoras de caucho más importantes del país, no solamente por la extensión cultivada sino por su ubicación estratégica e infraestructura, las cuales facilitan el transporte de los insumos para el cultivo, al igual que la comercialización del producto final.

Una estrategia para complementar el desarrollo del caucho en el Magdalena Medio ha sido la evaluación y establecimiento de materiales altamente productivos de origen asiático y brasilero. Sin embargo, la utilización de estos materiales para fomento del cultivo ha sido restringida por la incidencia y severidad del SALB. Si bien los actuales estudios de caracterización de las áreas de producción cuentan con el sustento tecnológico apropiado para identificar las zonas de escape al SALB (por la escala utilizada), corresponde a los productores locales identificar las áreas de siembra de manera tal que les permita optimizar la selección del material genético más apropiado para establecer nuevos plantíos. Puesto que el desarrollo vegetativo del caucho está íntimamente relacionado con las condiciones del ambiente, existe también una estrecha relación entre su potencial de producción y la zona donde se establece el caucho. Por tanto, la selección de las áreas apropiadas para el caucho traerá como consecuencia el incremento en la productividad.

Generalidades de *Microcyclus ulei*

M. ulei causa la caída prematura de las hojas cuando son infectadas en estados jóvenes y las condiciones ambientales favorecen su desarrollo. Los ataques sucesivos del patógeno causan el debilitamiento de las plantas en desarrollo, con la consecuencia de una reducción de la producción de látex e incluso la

muerte de los clones más susceptibles, aun cuando alcanzan el estado adulto (Gasparotto *et al.*, 1984).

El clima, las condiciones edafológicas y las características genéticas del hospedero determinan los niveles de incidencia y severidad derivados de la coincidencia de patios de infección (rebrote foliar), con la diversidad en la patogenicidad del hongo en cada nicho ecológico. A su vez, la condición atmosférica modifica considerablemente –tanto en ambientes favorables como en zonas de escape– la incidencia de la enfermedad. Es así como en América la ocurrencia de periodos de condensación de agua en la lámina foliar entre 5 am y 9 am en ambientes con temperaturas iguales o superiores a 20 °C, independiente de las características edafoclimáticas de una determinada región, pueden modificar la incidencia y severidad de SALB.

En viveros y en jardines clonales es donde se observa la mayor incidencia, la cual provoca atraso en el crecimiento, reducción del número de plantas a injertar y menor aprovechamiento de las yemas para injertos. En árboles adultos, los ataques sucesivos del patógeno causan el debilitamiento de las plantas y como resultado una reducción en la producción de látex, e incluso la muerte de clones muy susceptibles (Gasparotto *et al.*, 1984).

Los síntomas del SALB pueden ser observados en el limbo, pecíolo, ramas nuevas y en clones altamente susceptibles en frutos verdes. La expresión de los síntomas depende de la edad de los folíolos y de la susceptibilidad de los clones (Gasparotto *et al.*, 1997). La diseminación de los conidios de *M. ulei* ocurre a través del viento y del agua lluvia; el primero es el responsable de la diseminación del patógeno a escala corta y larga. Además de los factores ambientales, la edad de las hojas es otro factor que favorece la infección por el patógeno. Las hojas de hasta 12 y 15 días de edad son más receptivas dependiendo del vigor del clon, independiente de la resistencia genética. Un factor importante a considerar es que a partir del tercer o cuarto año la mayoría de las especies cultivadas de caucho pierden todas las hojas y refolian con periodicidad anual en épocas determinadas por la duración de la sequía estacional.

Tal como se mencionó anteriormente, el clima influye considerablemente en el desarrollo de la enfermedad, siendo la temperatura, la humedad relativa y el mojamiento foliar, junto con el balance hídrico, los que influyen más significativamente en la infección de *M. ulei*. Una combinación de 24 °C con periodos de 16 horas de mojamiento foliar es adecuada para que ocurra un proceso de infección en la mayoría de los segmentos poblacionales de virulencia. Así mismo, la humedad relativa por encima de 95% durante 10 horas consecutivas y una temperatura media diaria entre 24 °C y 26 °C son consideradas condiciones



propicias para la germinación de las esporas y la infección. De esta forma, periodos prolongados de rocío, neblinas y lluvias leves, favorecen el desarrollo de lesiones.

La incidencia y la severidad del SALB pueden ser aumentadas en cultivos establecidos en regiones donde la temperatura nocturna es baja (16 a 18 °C) y la diurna alta (aproximadamente de 24 °C). En condiciones de temperatura baja, el tiempo requerido para la germinación de los conidios para causar la infección es mayor; sin embargo, existen razas o patotipos de *M. ulei* adaptadas a regiones que poseen un clima aparentemente adverso para su desarrollo. Estos son menos exigentes en cuanto al periodo de mojamiento, lo que indica la existencia de variabilidad fisiológica del patógeno. En todas las regiones donde se cultiva el caucho se presenta una fase sexual que se prolonga durante todo el año y constituye el inóculo potencial (I_0) del patógeno. La ocurrencia de una fase sexual aumenta la probabilidad de recombinación genética, donde el ambiente modula la ocurrencia de mutaciones ocasionales.

Desde la década de los 60s, diferentes investigadores han reportado la variabilidad fisiológica de aislamientos de *M. ulei* obtenidos en diferentes regiones de Latinoamérica (Chee y Holliday, citados por CONIF, 1997). Dependiendo del clon que infectaban se hizo una clasificación inicial de clones diferenciadores para la identificación de razas fisiológicas de *M. ulei* (de 1 a 4). Estos autores reportaron alta variabilidad entre aislamientos provenientes de diferentes regiones agroclimáticas del Brasil (desde aislamientos recolectados en las regiones húmedas y calientes de la Amazonía hasta las zonas semisecas del sur de Brasil). También se reportaron cambios de hospederos, combinados con adaptación a un extenso rango de ambientes abióticos. Lo anterior se ratificó con los estudios realizados por Rivano (1997), quien trabajó con 16 aislamientos de *M. ulei* provenientes del interior del bosque en la Guyana Francesa (allí detectó 11 razas con diferente patogenicidad). Mattos *et al.* (2003) realizaron una evaluación de la variabilidad fisiológica de aislamientos de *M. ulei* de diferentes orígenes geográficos, encontrando que se puede llegar a establecer un gran número de razas en una misma plantación mediante el uso de los protocolos por ellos desarrollados.

Un factor importante en la determinación del alcance de diseminación del patógeno es el cuidado que se le asigne a la identificación correcta de la especificidad de la resistencia del germoplasma en diferentes microambientes y la variabilidad fisiológica del patógeno. A esto hay que añadirle el hecho de que algunos clones presentan diferente susceptibilidad a *M. ulei* entre localidades (Gasparotto *et al.*, 1997). Con base en estas provisiones, algunos autores han desarrollado la hipótesis que señala una elevada capacidad de adaptación del

patógeno, que hace difícil la obtención de clones resistentes de alta durabilidad (Mattos *et al.*, 2003).

Si bien esta enfermedad ha sido conocida desde inicios del siglo 20, algunos aspectos de su ciclo de vida permanecen totalmente desconocidos, especialmente la reproducción sexual. *M. ulei* infecta únicamente las especies del género *Hevea*, y en esta especie las hojas inmaduras son las únicas receptivas. El tiempo de incubación es aproximadamente de 5 a 7 días. La esporulación asexual ocurre en las hojas inmaduras, principalmente en el envés, alrededor de 7 días después de la infección, mientras que las estructuras sexuales (formadas al interior de estromas) aparecen en el margen de la necrosis una vez que alcanzan la madurez (alrededor de 3 semanas después de la emergencia de las yemas). Las ascosporas son producidas entre 1 a 5 meses después de la infección, aunque esto no ha sido soportado por evidencia experimental.

Muchos criterios se encuentran correlacionados con la dinámica y la severidad de la enfermedad, tales como tiempo de incubación, tamaño y número de las lesiones y esporulación, tiempo tomado para que el estroma aparezca y tiempo que se toma desde la inoculación hasta que la hoja cae. Estos criterios han sido usados para valorar la resistencia clonal bajo condiciones controladas, pero muchas de ellas no han sido valoradas en campo, donde los árboles son desafiados por una diversificación poblacional de las cepas del hongo. Solo los síntomas más fácilmente valorables, como la esporulación y densidad estromatal, son actualmente usados para las evaluaciones bajo condiciones controladas y de campo. En consecuencia, esta evaluación de la enfermedad no toma en cuenta su dinámica.

Según Tavares (2004), en Brasil se han desarrollado varias estrategias de acción utilizadas para el control del SALB, tales como: la selección de clones resistentes, la utilización de productos químicos, el injerto de copa, el control biológico y la siembra en áreas de escape.

Selección de Clones Resistentes

En cuanto a la estrategia basada en procesos genéticos para el control del SALB, varios programas agresivos de selección, mejora y cruces han generado como resultado nuevos materiales para su propagación y establecimiento de cultivos, cada vez con mayor capacidad de producción y resistencia a este y otros problemas sanitarios. Bajo este panorama y un rápido análisis del cultivo en el ámbito mundial, es posible identificar dos programas diferentes de mejoramiento genético de la especie *Hevea brasiliensis*: uno de ellos se encuentra en Brasil y las regiones endémicas de *M. ulei*, donde por las condiciones climáticas de las zonas adecuadas para el cultivo del caucho se ha buscado resistencia al hongo;



el otro, en Asia y países del Oriente, donde libres del patógeno pudieron dirigir sus esfuerzos a la búsqueda de niveles mayores de producción pero dotados de resistencia genética mínima a la enfermedad. Dentro de los resultados de estos procesos de investigación se encuentran los clones de las series IAN, FX, IAC y SIAL originarios del Brasil, con los que se puede obtener hasta 1,5 toneladas de caucho seco por hectárea por año; y los clones de las series PB, AVROS, RRIM, RRIC, PR y GT desarrollados en Asia, con los que se pueden obtener hasta 3 toneladas de caucho seco por hectárea por año en las mejores condiciones de cultivo (Martínez y García, 2006).

Los altos costos que se requieren para la obtención de clones más resistentes y productivos restringen la circulación comercial de los mejores clones y disponen al resto del mundo solamente materiales con mediano potencial. Además, es necesario tener en cuenta que el desarrollo de un nuevo clon está íntimamente relacionado con las condiciones del ambiente para el cual se selecciona (dependiente de la interacción genotipo por ambiente); por esto, se debe identificar la estrecha relación entre el potencial productivo de un material y la zona donde finalmente es plantado. La mejora genética y los procesos de selección son procesos dinámicos que deben mantenerse en permanente evolución y desarrollo si se busca dar al cultivador cada día mejores herramientas para manejar este sistema productivo (Martínez y García, 2006).

Métodos de Control del SALB

Utilización de productos químicos para el control del SALB

El SALB puede ser controlado de manera satisfactoria en viveros y jardines clonales con el uso de fungicidas; no obstante, su uso en árboles adultos es muy limitado debido a los costos derivados y la dificultad para realizar las aplicaciones por a la altura que alcanzan los árboles (Gasparotto *et al.*, 1997).

Control biológico

Otra alternativa de manejo es el control biológico, con base –por ejemplo– en la interacción del patógeno con el hongo *Dicyma pulvinata*, que ha mostrado ser un eficiente antagonista de *M. ulei* (García *et al.*, 2006). La eficiencia de *D. pulvinata* se debe a que este micoparásito coloniza las lesiones estromáticas causando la destrucción de las estructuras sexuales de *M. ulei*, y por lo mismo reduce el I_0 (inóculo potencial) en el ambiente. Melo *et al.* (2008) observaron el efecto destructivo que ejerce *D. pulvinata* sobre las lesiones estromáticas; sin embargo, *D. pulvinata* no podría utilizarse como tratamiento preventivo, porque se requiere la presencia de lesiones de SALB para colonizar.

Injerto de copa

La técnica de injerto de copa consiste en seleccionar la copa de un híbrido proveniente del cruce entre las especies *Hevea pauciflora* x *Hevea benthamiana* con hojas resistentes a *M. ulei*, para injertarla sobre un tallo de *Hevea brasiliensis* con mayor capacidad productiva. No obstante, la utilización de esta tecnología requiere de un entrenamiento sofisticado, alcanzable solamente por personal altamente capacitado y en áreas pequeñas. Así mismo, el valor de las entradas (incluidos los fertilizantes y fungicidas) para el establecimiento son considerables, sumado al costo del mantenimiento en edades tempranas. En la región amazónica los clones susceptibles pueden crecer sin injerto de copa solamente en aquellas áreas aledañas a los grandes ríos (vegas), donde la formación del rocío es reducida (Schroth *et al.*, 2004). Esta tecnología ha sido descartada por dos razones: la reducción en la producción o la supresión del fuste (clon) por la copa y por problemas de ruptura en el sitio donde se hace el injerto, ya que la copa tiene mayor desarrollo con relación al fuste.

Zonas de escape y no escape al *Microcyclus ulei*

Una acción importante para el control del SALB en el cultivo del caucho es la siembra en las denominadas áreas de escape, es decir, bajo condiciones desfavorables para el desarrollo del patógeno cuando hay presencia de patios de infección en el hospedero. En Brasil se trabajó con la zonificación para el establecimiento de plantaciones de caucho, realizada por el Instituto Agronómico de Campinas (IAC), donde tomaron como referencia el balance hídrico. Para este modelo, se tuvo en cuenta la precipitación mensual y la evapotranspiración; se partió de áreas con una estación seca bien definida que coincidía con el proceso de defoliación-refoliación, y allí se disminuyó la incidencia de la enfermedad. Esta zonificación se realizó para la totalidad del área en Brasil, teniendo en cuenta la estimación inicial para el establecimiento de nuevas plantaciones. La utilización de este modelo es una de las razones por la cual la industria cauchera del Brasil desplazó las plantaciones de la Amazonía hacia otras regiones con mayor número de meses secos marcados y humedades relativas inferiores al 60% (Martínez y García, 2006).

En Colombia, el primer estudio de zonificación lo realizó la Conif (1997), el cual definió como áreas de escape aquellas regiones que presentan, desde el punto de vista climático, condiciones que evitan el desarrollo *M. ulei*. Los rasgos climáticos fundamentales para definir áreas de escape son: 1) una estación seca marcada, de por lo menos cuatro meses, con la ocurrencia de al menos dos meses consecutivos en los que la humedad relativa sea inferior a 65%; 2) un límite máximo de deficiencia hídrica anual de 300 mm, según el método



de Thornthwaite; 3) una temperatura media anual de 20 °C y 900 mm de evapotranspiración potencial. Aún así se debe tener en cuenta que no solo la ausencia del SALB en un cultivo es suficiente para encuadrar una zona como área de escape, pues existen otros factores que se deben tener en cuenta, entre ellos: otros factores del clima, la virulencia del patógeno, la susceptibilidad de los materiales, la densidad del hospedero, la disponibilidad del inóculo, la localización topográfica del cultivo, el periodo de muda del clon y la influencia de ocurrencia de la enfermedad (Gasparotto *et al.*, 1997).

Los diferentes usos de la tierra condicionan un microclima diferente y especial para cada microambiente. Un cultivo de caucho con espaciamiento entre plantas reducido con o sin sombrío puede tener un microclima más húmedo que otro más joven con mayor espaciamiento en el cultivo. La proximidad de una gran masa de agua tiene un efecto notable sobre la escala microclimática. Durante la noche, las grandes masas de agua hacen más cálidos los terrenos adyacentes, tendiendo a reducirse la formación de rocío por causa del mantenimiento de la temperatura por encima del punto de rocío. Este es un proceso semejante al de la protección contra las heladas en las márgenes o proximidades a grandes masas de agua.

Bastos y Diniz (citado por Lieberei, 2007) hicieron mediciones termohigrométricas en cultivos de caucho a las márgenes del río Guama, en Belém (PA) y en el Tapajós, en Santarém (PA). Ellos verificaron que en las márgenes de los grandes ríos la humedad relativa se mantenía baja, impidiendo la formación de rocío y por tanto disminuyéndose el riesgo de infección. Los datos mostraron que entre más distante al río Guama, más aumentaba el número de días favorables para la germinación de las esporas de *M. ulei* al año. Para este caso, el número de días favorables fue de 270 días al interior y de 87 en sus márgenes. En términos generales, en Colombia podemos clasificar a la Amazonía como una región de no escape a la incidencia de la enfermedad y a la Orinoquía como zona de escape, con restricciones importantes por nicho agroecológico (Martínez y García, 2006).

La confiabilidad de la definición de áreas de escape depende de la cantidad y de la calidad de los datos meteorológicos utilizados. Sin embargo, en Colombia la distribución de estaciones que arrojan información útil es irregular; en consecuencia, esta se complementa con la generación de información local para ampliar su cobertura. Con la utilización del SIG se pueden realizar análisis complejos e integrar informaciones de diversas fuentes y crear bancos de datos georreferenciados. El georreferenciamiento permitirá estudiar los cambios en los procesos y en las interacciones a dimensiones espacio-temporales específicas y de esta forma crear documentos cartográficos de alta calidad, con cálculos de probabilidad estimada y niveles de confianza (Harmon y Anderson, 2003).

Evaluación de la Incidencia y Severidad de *Microcyclus ulei* de 10 Clones Comerciales

El estudio se realizó en el jardín clonal a gran escala, donde se encuentran establecidos 10 clones, en la Hacienda El Cántaro de Procaucho S.A., ubicada en San Vicente de Chucurí (Santander).

Metodología

Se utilizaron los 10 clones RRIM 600, RRIM 703, PB 235, PB 260, PB 314, PB 217, RRIC 110, FX 3864, IAN 873 e IAN 710 para el screening de la incidencia y severidad de diferentes enfermedades foliares de caucho. Para esto, se realizaron cinco muestreos al azar entre las 9 am y 12 m de 3 hojas compuestas en estadio A-B y D por árbol (Figura 19) durante los periodos de agosto-septiembre, septiembre-octubre, octubre-noviembre, diciembre-enero y febrero-marzo (un muestreo por cada periodo). Se incluyeron tres repeticiones por clon en evaluación. Estas hojas se almacenaron en bolsas de papel y plástico, y se conservaron en refrigeración a 4 °C de temperatura.

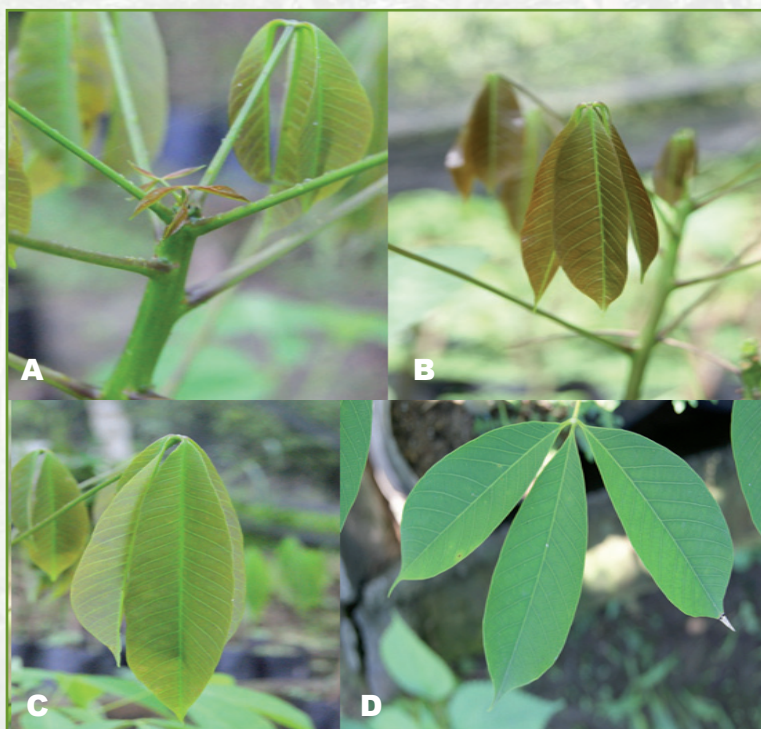
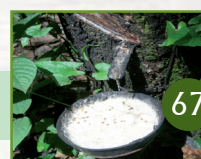


Figura 19. Estadios de la hoja susceptible al mal suramericano (*Microcyclus ulei*)



Incidencia

La incidencia de patógenos foliares en el campo clonal de caucho se determinó mediante una hoja compuesta en estadio A-B por clon. La hoja se separó por foliolos y se desinfectó con hipoclorito de sodio durante 5 minutos y en etanol por 2 minutos con posteriores lavados con agua destilada estéril. Los foliolos se dispusieron en cámara húmeda y se incubaron a 28,3 °C, 73,2% de humedad y exposición a luz artificial constante durante quince días. Pasado este tiempo, la incidencia de patógenos foliares en caucho se determinó mediante la ausencia o presencia de posibles agentes causales de la enfermedad por clon sobre el tejido vegetal en evaluación. Para esto, se tomó una muestra de micelio presente sobre los foliolos. La descripción de organismos se hizo mediante la observación de las estructuras presentes en la muestra bajo un microscopio óptico a una magnificación de 40X.

Adicionalmente, se aislaron los hongos que presentaban estructuras típicas de *Microcyclus ulei*, *Rhizoctonia solani*, *Colletotrichum* sp., *Phyllacora* sp. y el oomycete *Phytophthora* sp. Esto acorde con características macro y microscópicas descritas en claves taxonómicas. Los aislamientos se conservaron en el Laboratorio de Fitopatología de la Estación Experimental La Suiza de Corpoica a una temperatura de -20 °C bajo condiciones controladas.

Severidad

La severidad de los patógenos incidentes en el campo clonal se definió de acuerdo con el área afectada (enferma) en cm² de un foliolo de una hoja en estadio D. Para esto, se calculó el área foliar enferma de cada foliolo con base en el área foliar total utilizando el programa IMAGE J (Figura 20). La unidad experimental consistió en un foliolo con nueve réplicas por clon en evaluación y cinco repeticiones en los cinco periodos en evaluación.

Resultados y Discusión

Presencia de enfermedades foliares en el campo clonal

En cuanto a la presencia de agentes causales de enfermedades en caucho se observaron al microscopio estructuras típicas de royas y esporas que pertenecen a *Colletotrichum* sp., *Curvularia* sp., *Microcyclus ulei*, *Fusarium* sp. y *Drechslera* sp. (figuras 21, 22, 23 y 24). Con dichas estructuras, el aislamiento de estos patógenos potenciales y los síntomas de antracnosis y SALB observados en las hojas en campo (figuras 24 y 25) se corroboró que entre los principales agentes que se hacen presencia en el cultivo están *Colletotrichum* sp. y *Microcyclus ulei*.

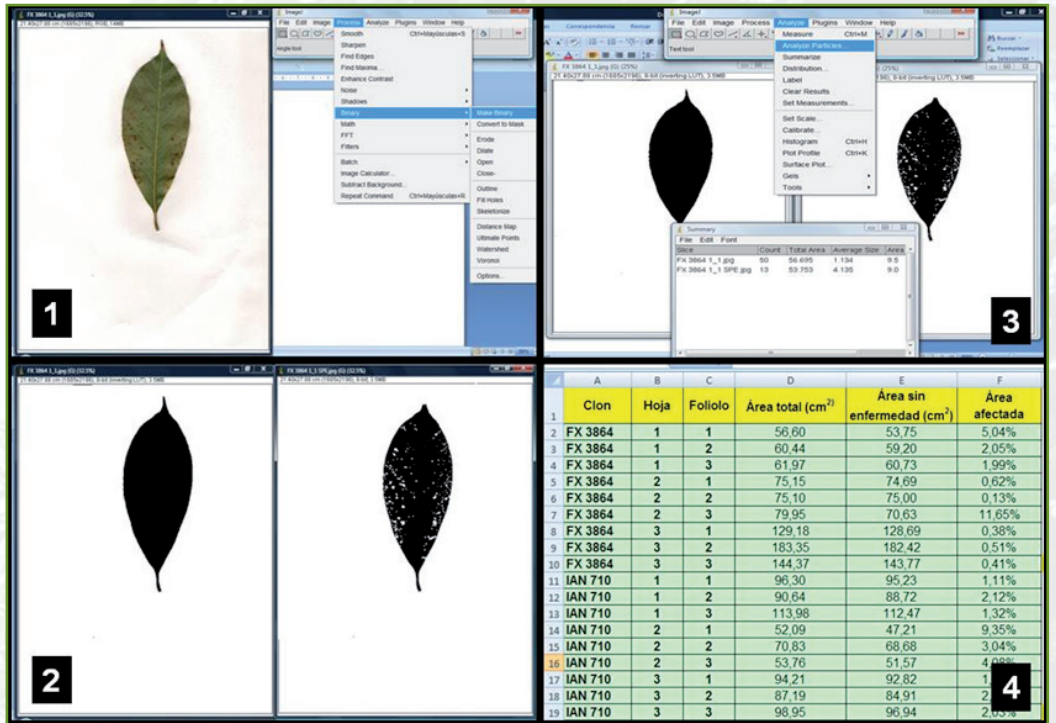


Figura 21. Esporas de royas (A) y *Colletotrichum* sp. (B)

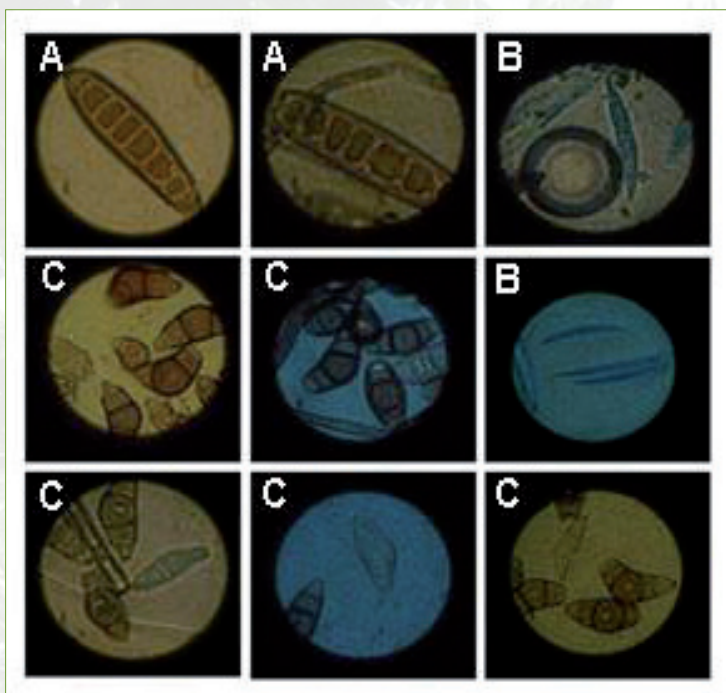


Figura 22. Esporas de *Drechslera* sp. (A), *Fusarium* sp. (B) y *Curvularia* sp. (C)

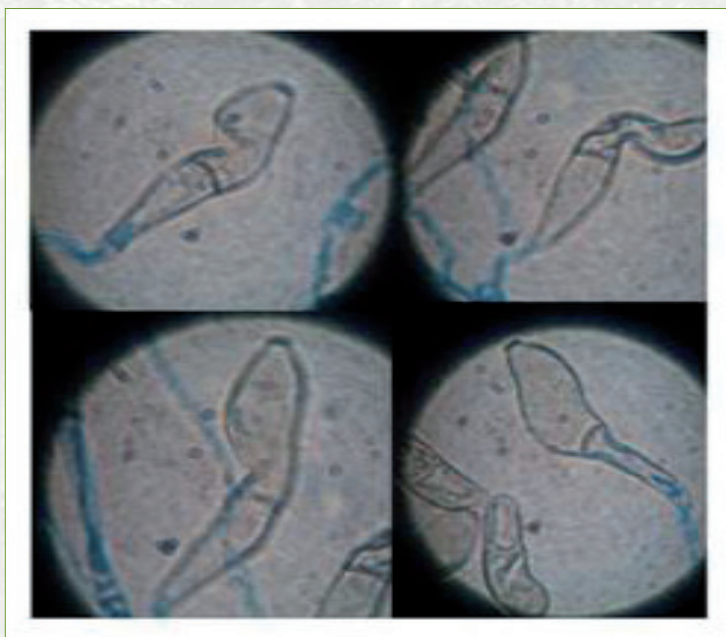


Figura 23. Esporas de *Microcyclus ulei*



Figura 24. Hojas en estadio de desarrollo D con síntomas típicos de SALB



Figura 25. Hojas en estadio D de desarrollo con síntomas típicos de antracnosis por *Colletotrichum* sp.

Colletotrichum gloeosporioides es un patógeno común de caucho tanto en vivero como en campo. En vivero, las plántulas de caucho pueden verse severamente afectadas por este fitopatógeno. La infección retarda el crecimiento y propicia la caída de las hojas secundarias, la muerte descendente tanto de árboles en campo como de plántulas en vivero y también se presenta una reducción del látex en plantaciones de árboles maduros (Ogbebor *et al.*, 2007).

El mal suramericano de las hojas de caucho, causada por el hongo ascomiceto *M. ulei*, es el principal obstáculo para las áreas de crecimiento del cultivo de caucho en Centro y Sur América. Además, es considerada la mayor amenaza para la producción de caucho natural si esta llegara a entrar a Asia y a África. Los conidios y esporas del fitopatógeno infectan hojas inmaduras y pueden causar su caída. En clones susceptibles, los árboles defoliados por varios años consecutivos crecen lentamente, la producción de látex es menor y los árboles pueden eventualmente morir. Aunque en la actualidad no existe un método de control eficiente, se recomienda la siembra de clones resistentes y la definición de áreas de escape (Guyot *et al.*, 2010).

Bajo condiciones controladas, la germinación de las esporas, el crecimiento y la esporulación de *M. ulei* son favorables a temperaturas entre los 24 °C y 28 °C. Los largos periodos de humedad realzan el desarrollo de la enfermedad, mientras que un exceso de agua libre inhibe la germinación de las esporas y el crecimiento micelial. En campo, en localidades con condiciones climáticas contrastantes, una temperatura <20 °C tiene un efecto negativo sobre el desarrollo de la enfermedad, mientras que una alta HR (número de días consecutivos con duración de mojamiento >90% durante 6 horas) y largos periodos húmedos (número de días consecutivos con duración de mojamiento foliar de 6 horas)



están altamente correlacionados con el área foliar afectada. No obstante, Guyot *et al.* (2010) observaron que las variaciones de la enfermedad no siempre se explican por el efecto de una sola variable ambiental.

Drechslera heveae, agente causal de la enfermedad conocida como mancha ojo de pájaro, es un patógeno foliar común del caucho y se presenta tanto en vivero como en campo. La infección de los árboles ocasiona retardo del crecimiento vegetal, caída de las hojas secundarias, muerte descendente y muerte de los árboles tanto en vivero como en campo; además, causa una reducción en la producción de látex en árboles adultos (Ogbedor y Adekunle, 2007).

Las especies del género *Curvularia* están asociadas con enfermedades de las plantas cuando prevalecen condiciones de temperatura $>25^{\circ}\text{C}$ y altas humedades relativas, o cuando las plantas son adultas o en estado de senescencia esta afecta principalmente a las pasturas. En caucho se ha reportado la enfermedad mancha de la hoja causada por *Curvularia pallescens*, cuyos síntomas son diminutas manchas rojo-parduzcas con halo amarillo sobre las hojas. En inoculaciones artificiales realizadas sobre plántulas de caucho bajo condiciones de campo resultaron porcentajes altos de infección. Cuando la inoculación artificial con suspensión conidial se realiza sobre lanzamientos jóvenes se producen las manchas rojo-parduzcas en 24 horas (Rajalakshmy, 1975).

Otro fitopatógeno a tener en cuenta por su similitud morfológica y por considerarlo en algunas ocasiones como sinónimo del género *Drechslera* es *Corynespora cassicola* (o *Helmithosporium cassicola*). Este hongo ha sido reconocido como fitopatógeno en más de 70 países y más de 280 especies de plantas. *C. cassicola* es considerado un patógeno débil del caucho. Además, los clones de caucho se hacen más susceptibles con el tiempo, y la susceptibilidad al patógeno varía dependiendo de la región geográfica, lo que infiere en la existencia de diferentes razas (Nghia *et al.*, 2008).

En cuanto a los géneros de *Curvularia* y *Drechslera*, estos conforman un complejo de hongos anamórficos junto con los géneros *Bipolaris* y *Exserohilum*, constituyendo un grupo taxonómico ecológicamente relacionado; además, son patógenos importantes o saprofitos de plantas con distribución cosmopolita (Pratt R., 2006). Las especies de *Exserohilum* tienen sus estados sexuales en el género *Setosphaeria* y las de *Drechslera* lo presentan en el género *Pyrenophora*, mientras que las especies teleomorfas de *Curvularia* y *Bipolaris* se ubican en el género *Cochliobolus* (Figura 26). Sin embargo, la diferenciación entre *Bipolaris* y *Curvularia* continúa siendo una tarea muy difícil; estos dos géneros presentan afinidades morfológicas, ontogénicas y fisiológicas que sugieren que son sinónimos (Rong, 2001). Cabe resaltar que las especies del grupo I del género

Cochliobolus incluyen los estados asexuales de los patógenos, responsables de varias epidemias de enfermedades de plantas. El estado teleomorfo de los géneros *Bipolaris* y *Curvularia* afectan principalmente gramíneas (Berbee *et al.*, 1999), lo cual explicaría su incidencia sobre el campo clonal de caucho, dado que el suelo donde se encuentra establecido el cultivo estaba en pastura.

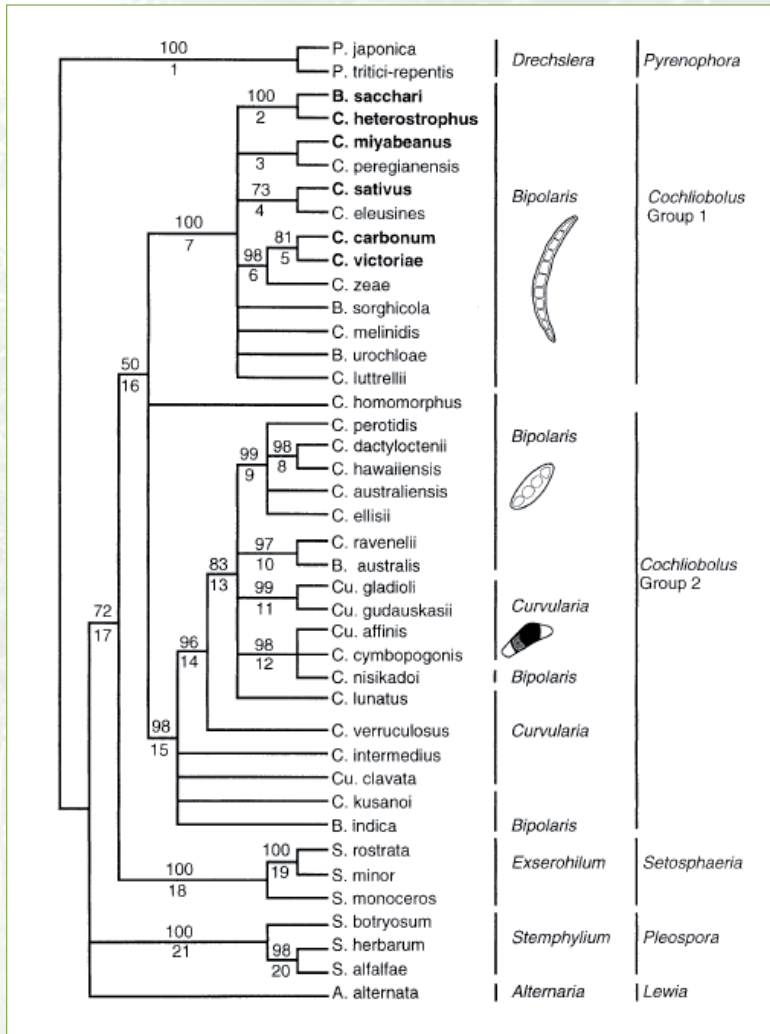


Figura 26. Consenso de árboles de tres algoritmos y cuatro grupos de datos diferentes o subgrupos para 41 especies en los Pleosporaceae (Tomado de Berbee *et al.*, 1999)

El incremento de las enfermedades foliares en caucho se atribuye al poco manejo de estas desde los viveros hasta las plantaciones. En la actualidad los fitopatógenos mencionados pueden estar presentándose en estado de latencia



o, en algunos casos, estar afectando el campo clonal objeto de esta evaluación; por ello es importante establecer un monitoreo continuo para poder definir los tiempos y medidas de control pertinentes en caso de presentarse epidemias. Se cree que los demás hongos aislados se presentan como “oportunistas”, y muchos de estos según Pinzón en el ‘Seminario Establecimiento y Manejo de Plantaciones’, corresponden a organismos nativos asociados a plantaciones forestales o a arvenses, cuyos controles naturales se encuentran presentes en el medio sin representar una mayor amenaza para el cultivo. No obstante, la severidad e incidencia de las enfermedades foliares tienden a incrementarse con el aumento del área de siembra. Por lo tanto, si no se realiza un manejo sanitario adecuado puede generarse un deficiente desarrollo de los clones y más adelante grandes pérdidas en la producción.

Severidad de enfermedades foliares en el campo clonal

Con relación a la evaluación de la severidad de las enfermedades foliares en los 10 clones del campo clonal de caucho establecido en la Hacienda El Cántaro, se encontró que para el periodo de agosto-septiembre esta varió en un rango entre el 3% (PB 235) y el 32% (PB 217); en cuanto al periodo de septiembre-octubre la severidad en los clones varió entre el 5% (PB 314 e IAN 710) y 33% (PB 260 y RRIM 703), con excepción del clon IAN 873 que no presentó severidad; en el periodo de octubre-noviembre, la severidad en los clones varió en un rango entre el 4% (RRIM 600 y FX 3864) y el 51% (RRIM 703); y en el periodo de diciembre-enero, la severidad en los clones varió entre 5% (RRIC 110 y PB 314) y el 64% (FX 3864). Ya en el periodo de febrero-marzo, la severidad de las enfermedades foliares disminuyó en todos los clones, variando entre 2% (FX 3864) y 15% (PB 260) (figuras 27 y 28).

La severidad en los clones evaluados presenta diferentes respuestas a través de los periodos evaluados. Las enfermedades foliares en los clones RRIM 703 y FX 3864 se presentan con mayor severidad, encontrándose que para el primer clon el ataque más severo se da en el periodo entre octubre-noviembre y para el caso del FX 3864 entre diciembre-enero. Otros clones susceptibles al ataque de patógenos foliares son: IAN 873, PB 217, PB 235, PB 260 y RRIM 600, variando su respuesta al ataque de los fitopatógenos en el tiempo. En cuanto a los materiales IAN 710, PB 314 y RRIC 110, las enfermedades se presentan con menor severidad en contraste con los otros clones. En estos tres últimos la severidad de las enfermedades se presenta entre un 3% y 7%, presentándose –a diferencia de los otros clones– un menor grado de variabilidad en el ataque del patógeno sobre el tejido vegetal muestreado. También se observó que la severidad en los materiales se encuentra precedida por alta precipitación, variando entre uno o dos meses de altas precipitaciones. Sin embargo, es necesario continuar

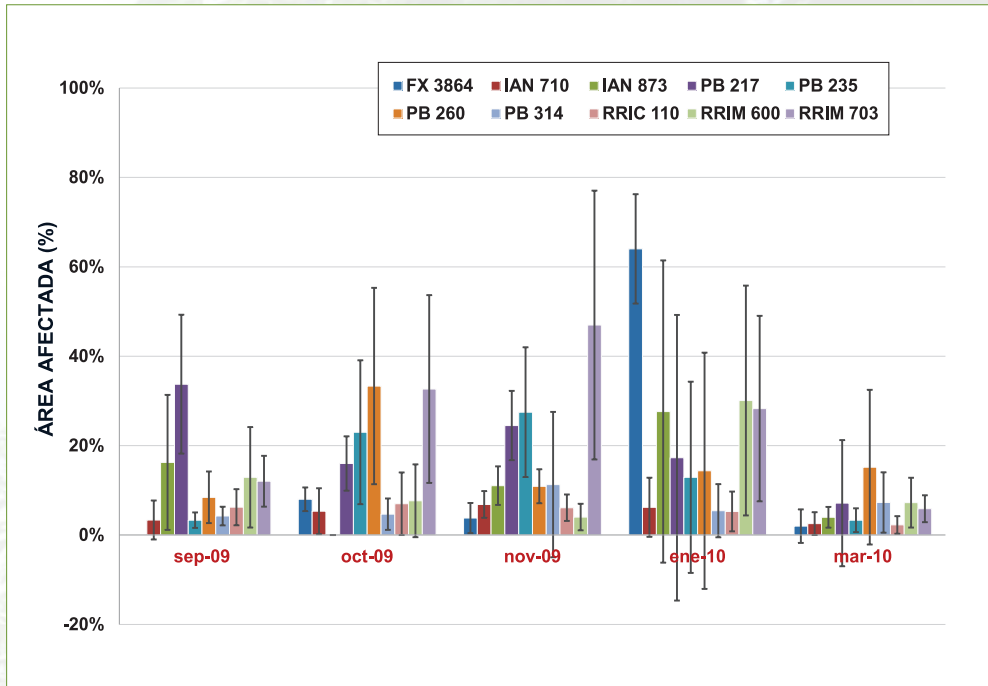


Figura 27. Severidad de las enfermedades foliares en hojas de caucho expresada en porcentaje de área de foliolo afectada en 10 clones evaluados en Yarima, municipio de San Vicente de Chucurí (Santander)

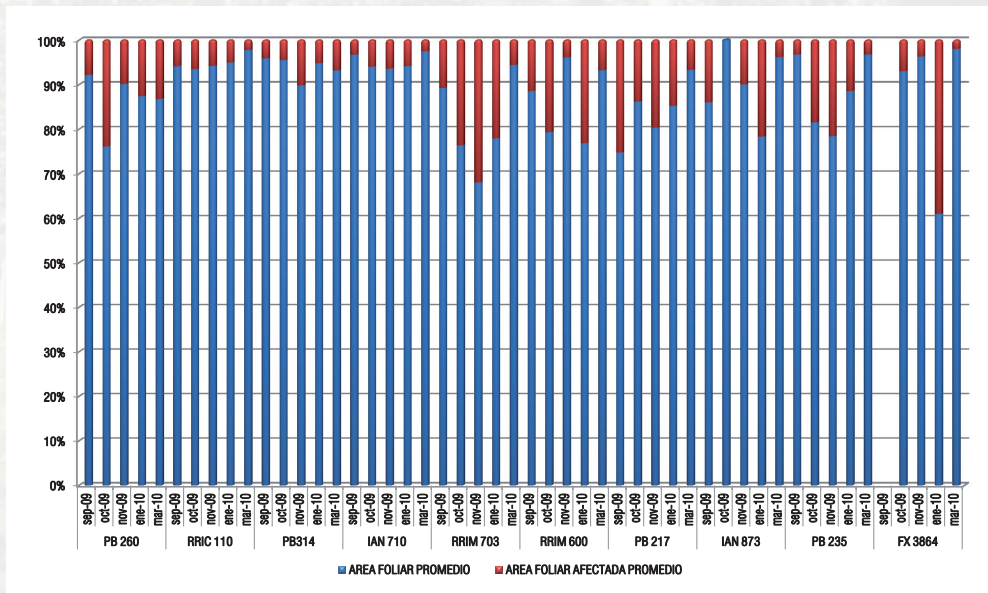


Figura 28. Severidad de las enfermedades foliares en hojas de caucho expresada en porcentaje de hoja afectada con respecto al área foliar total en 10 clones evaluados en Yarima, municipio de San Vicente de Chucurí (Santander)



con la evaluación de los clones al menos hasta su etapa adulta para llegar a una conclusión definitiva, teniendo en cuenta otros factores fisiológicos relacionados con la resistencia o susceptibilidad de los clones (Figura 29).

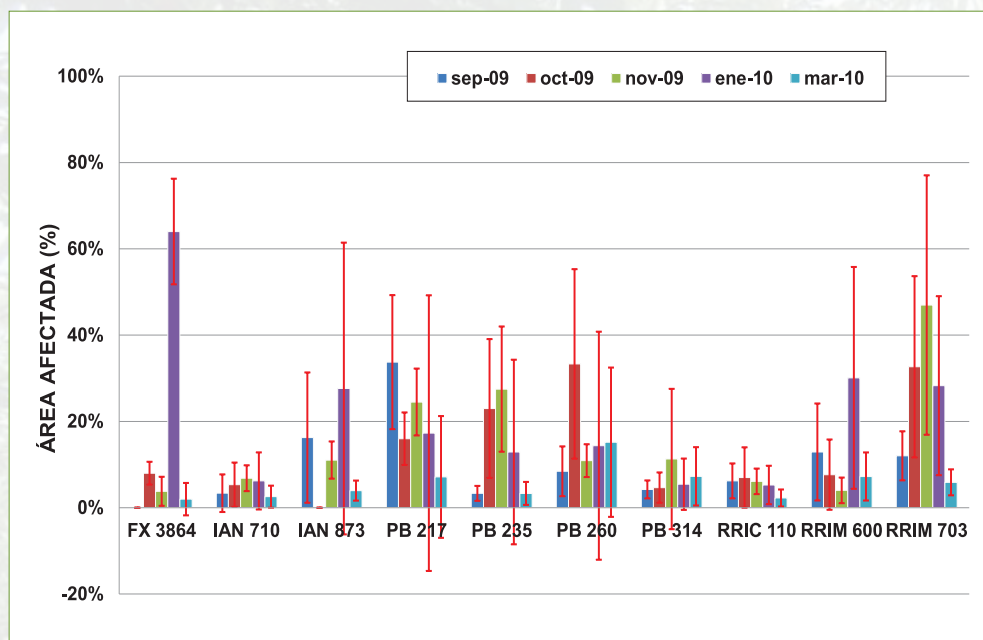


Figura 29. Variación de la severidad de las enfermedades foliares en foliolos de caucho a través de cinco periodos de evaluación en Yarima, Municipio de San Vicente de Chucurí (Santander).

En términos generales, la severidad varió en el tiempo, debido posiblemente a una disminución de la temperatura, y a la vez se relaciona con periodos de grandes precipitaciones, lo que genera las condiciones adecuadas para el inicio de la infección (en el caso de la precipitación / Figura 30) y el desarrollo de la enfermedad (en el caso de la temperatura / Figura 31). La humedad y la temperatura son factores climáticos que pueden favorecer la proliferación de las enfermedades fúngicas en caucho, al igual que la humedad relativa. Dado que se trabaja con el promedio día, no se pueden observar los cambios reales que pueden acontecer durante el día, y que por ende aquellos que favorecen el desarrollo o no de las enfermedades foliares. Cabe resaltar que la especie *H. brasiliensis* es propensa a varias enfermedades foliares causadas por hongos fitopatógenos (Saha *et al.*, 2002), los cuales requieren de condiciones de altas temperaturas y humedades relativas.

En el caso específico de las condiciones presentadas en la Hacienda El Cántaro, la temperatura y la humedad relativa no variaron significativamente en el transcurso del año 2009 y el primer trimestre del año 2010 (Figura 32). Dada

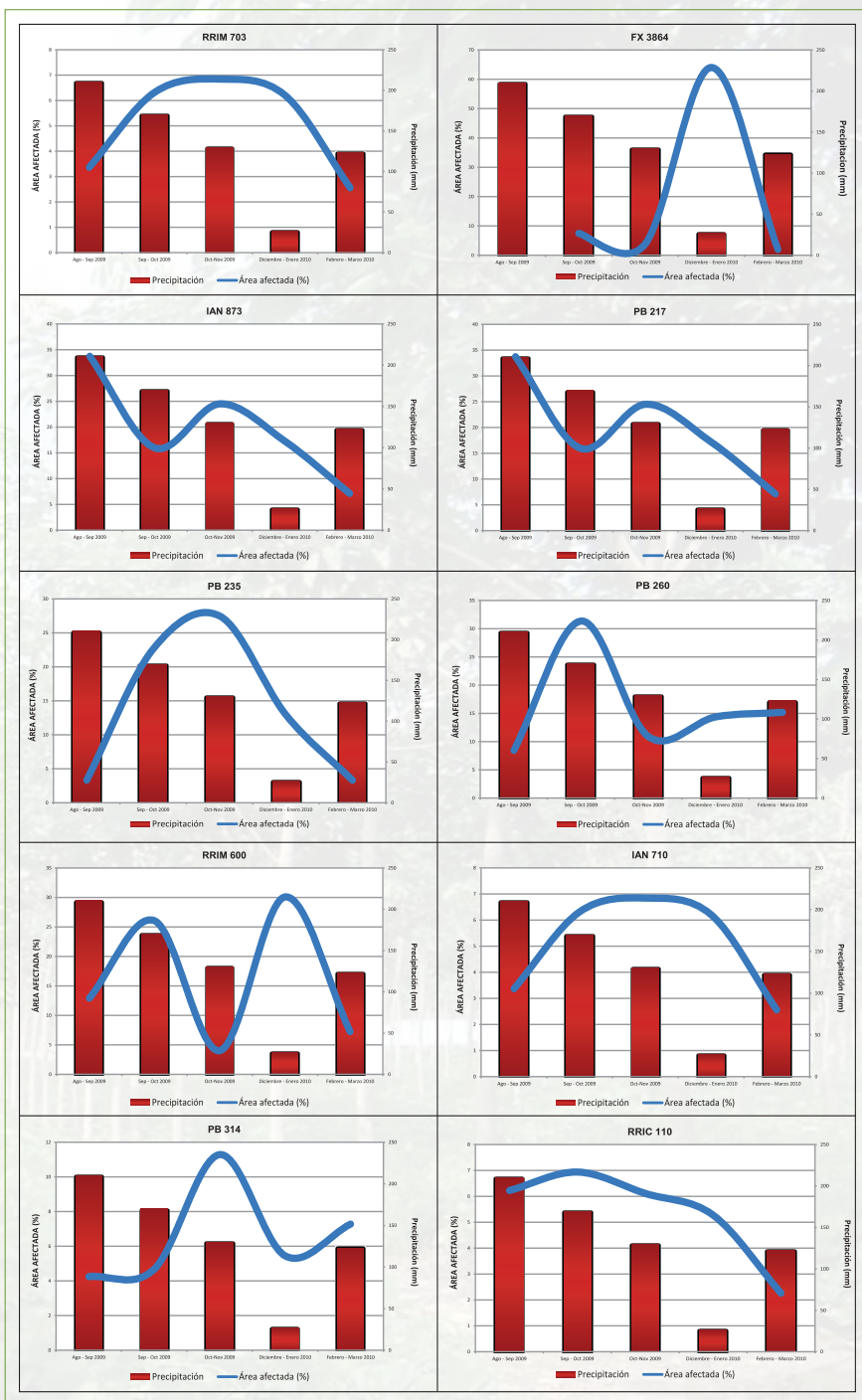


Figura 30. Severidad de las enfermedades foliares en caucho versus precipitación promedio mensual en 10 clones en evaluación en Yarima, municipio de San Vicente de Chucurí (Santander)



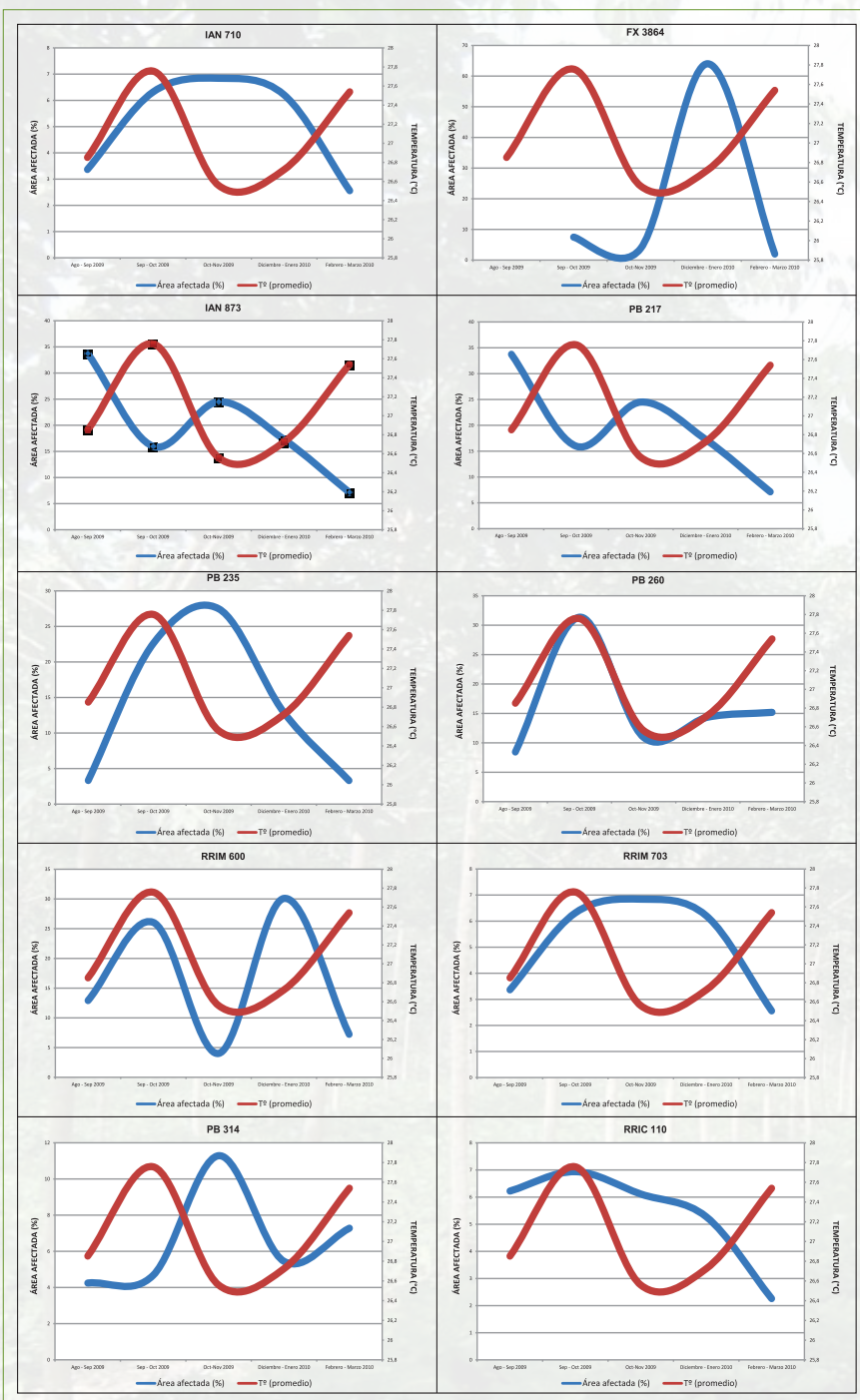


Figura 31. Severidad de las enfermedades foliares en caucho versus temperatura promedio mensual en 10 clones en evaluación en Yarima, municipio de San Vicente de Chucurí (Santander)

esta condición y con miras a generar modelos de predicción para la presencia de enfermedades, es necesario tomar los datos en intervalos de tiempo más corto, de tal manera que esto permita evidenciar las condiciones climáticas que realmente están favoreciendo el desarrollo de enfermedades foliares. Es de señalar que la interacción sincrónica entre el hospedero, el patógeno y el medio ambiente determina el desarrollo de la enfermedad (DeWolf e Isard, 2007). La maduración del inóculo del patógeno se predice usualmente basándose en la duración de condiciones favorables de temperatura y humedad (De Wolf e Isard, 2007) (Figura 32). La relación de la temperatura y la humedad con el desarrollo de la enfermedad y la reproducción del patógeno sirven como base para los sistemas contemporáneos de predicción de enfermedades en plantas (DeWolf e Isard, 2007).

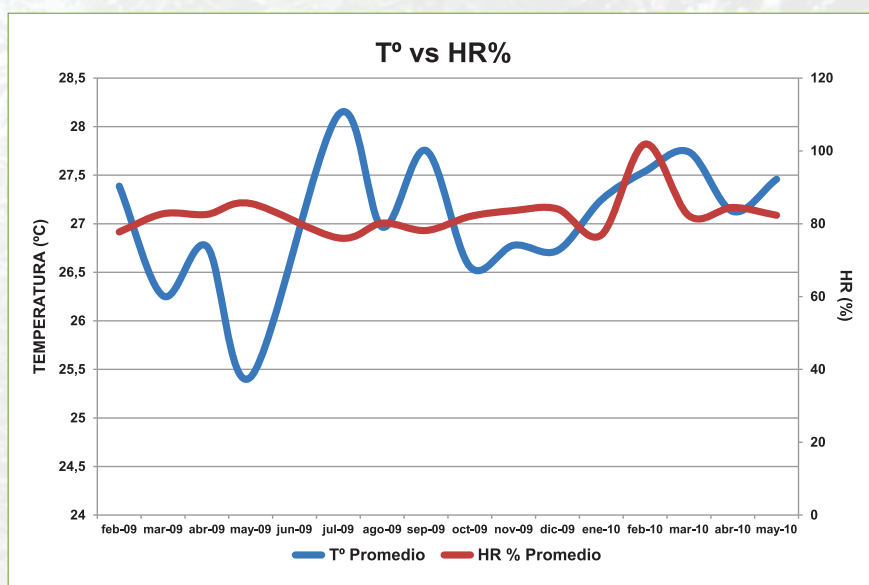


Figura 32. Temperatura y humedad relativas promedio en el periodo de febrero de 2009 a mayo de 2010 en Yarima, municipio de San Vicente de Chucurí (Santander)

Las condiciones del ambiente son factores que pueden favorecer o no el desarrollo de la enfermedad en las plantas. A menudo, la infección se predice en función de la duración de condiciones favorables de humedad (rocío y humedad relativa (HR)) y temperatura (DeWolf e Isard, 2007). Si bien en los periodos de precipitación se evidenció una reducción en la severidad de los patógenos foliares de caucho (Figura 32), es importante mencionar que la lluvia se comporta como un vehículo para los propágulos de infección de los patógenos, ya sea por la escorrentía o por salpicadura, dispersando la enfermedad a nuevos tejidos o plantas (DeWolf e Isard, 2007), lo cual puede aumentar la incidencia



de las enfermedades en nuevas plantas. Igualmente, la precipitación se encuentra asociada con las primeras infecciones (Jamar *et al.*, 2008); dicha precipitación es determinante en el desencadenamiento o aparición de brotes de enfermedades foliares, como por ejemplo lo que ocurre con el tizón del maní causado por *Sclerotinia sclerotiorum* en Argentina. Las lluvias abundantes y frecuentes predisponen para que se presenten varios ciclos biológicos de un patógeno en un ciclo productivo de un cultivo (la frecuencia de las lluvias es más importante en la epidemiología de las enfermedades que la precipitación total). Además, los largos periodos de precipitación con cortos intervalos de periodos secos pueden llegar a favorecer el incremento en la incidencia de la enfermedad. Sin embargo, periodos con precipitación prolongada también pueden afectar la severidad e incidencia de las enfermedades foliares (Saharan y Mehtan, 2008).

La incidencia de las enfermedades foliares está correlacionada positivamente con factores como la temperatura, la humedad relativa, el porcentaje de días lluviosos y la precipitación total. Así mismo, la humedad foliar y la frecuencia de las precipitaciones, cuando hay disponibilidad de inóculo, es más importante que el número total de agua recibida (Saharan y Mehtan, 2008); por ende, la humedad es fundamental en todos los estados del ciclo de la enfermedad. A su vez, la temperatura y los periodos de mojamiento de la hoja afectan la tasa de desarrollo y severidad de la enfermedad, así como la concentración del inóculo juega un papel primordial en el establecimiento y desarrollo de los fitopatógenos. El incremento en la densidad del inóculo decrece los periodos de latencia, tanto en materiales resistentes como en los susceptibles (Chungu *et al.*, 2001). Si bien, en este trabajo se evidenció la presencia de potenciales patógenos en el área de estudio presentándose un ataque más severo en los clones RRIM 703 y FX 3864, se requieren estudios más detallados donde se establezca la interacción entre las concentraciones de inóculo de cada patógeno, la humedad y la temperatura durante los procesos de infección. También se requiere de la toma de datos más precisos por intervalos de tiempo más cortos, que permitan determinar los periodos necesarios para que se dé inicio a los procesos de infección y al desarrollo de enfermedades foliares en caucho.

Conclusiones y Recomendaciones

Se debe reevaluar si el Magdalena Medio santandereano es o no una zona de escape a una escala de mayor resolución que la de la investigación realizada por el Conif (1997), ya que según resultados preliminares de la presente investigación se evidenció la presencia de *Microcyclus ulei* en caucho a nivel de un campo clonal a gran escala ubicado en esta zona.

Para próximas plantaciones se recomienda llevar a cabo un plan sanitario del cultivo que inicie desde el vivero (puesto que se evidenció que la mayoría

de las enfermedades presentes en el cultivo están afectando las plántulas desde el vivero, lo que se debe a la gran densidad de material susceptible sumado a las condiciones que allí se presentan, que originan las condiciones aptas para la proliferación y propagación de enfermedades fúngicas), además de utilizar diversidad genética con clones que presenten sincronización en sus periodos de defoliación-refoliación que reduzcan el periodo con disponibilidad de tejido de mayor susceptibilidad, así como las fuentes de inóculo para las nuevas hojas de otros clones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berbee M., Pirseyedi M., Hubbard S. (1999). Cochliobolus phylogenetics and the origin of known, highly virulent pathogens, inferred from ITS and glyceraldehydes-3-phosphate dehydrogenase gene sequences. *Mycologia*. 91:964-977.
- Corporación Colombia Internacional (CCI). (2005). Perfil de producto inteligencia de mercados. No. 32 en línea.
- Conif. (1997). Avances Investigativos de Caucho Natural. Serie Técnica N° 37. 158 p.
- Chungu C., Gilbert J., Townley-Smith F. (2001). *Septoria tritici* blotch development as affected by temperature, duration of leaf wetness, inoculum concentration, and host.
- DeWolf E., Isard S. (2007). Disease cycle approach to plant disease prediction. *Annual Review of Phytopathology*. 45:203-220.
- García R., I. A.; Ancizar A., F.; Montoya C., D. (2006). Revisión sobre el hongo *Microcyclus ulei*, agente causal del mal suramericano de la hoja del caucho. *Revista Colombiana de Biotecnología* 8 (2):50-59.
- Gasparotto L.; Figueredo, A.; Rezende, J. C.; Ferreira, F. A. (1997). Doenças da Seringueira no Brasil. *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)*: 39-41.
- Gasparotto, L.; Trindade, D. y Silva, H. M. (1984). Doenças da siringueira. *Embrapa. Circular técnica* No. 4. 71 p.
- Gasparotto, L.; Zambolin, L.; Junqueira, N. T. V.; Máfia, L. A.; Ribeiro, F. X. (1991). Epidemiology of south American leaf blight of rubber tree. II- Manaus region- AM. *Fitopatologia Brasileira* 16(1): 19-21.
- Guyot J., Condina V., Doaré F., Cilas C., Sache I. (2010). Segmentation applied to weather-disease relationships in South American Leaf Blight of the rubber tree. *European Journal of Plant Pathology*. 126:349-362.
- Harmon, J.; Anderson, S. (2003). The design and implementation of geographic information systems. New Jersey: John Wiley and Sons.
- Jamar L., Lefrancq B., Fassotte C., Lateur M. (2008). A during-infection spray strategy using sulphur compounds, copper, silicon and a new formulation of potassium bicarbonate for primary scab control in organic apple production. *European Journal of Plant pathology*. 122:481-493.
- Lieberei, R. (2007). South American leaf blight of the rubber tree (*Hevea* spp.): New steps in plant domestication using physiological features and molecular markers. *Amals of Botany* 100: 1125-1142.
- Ministerio de Agricultura (MADR). (2005). La cadena del caucho en Colombia, una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. 14 p.
- Martínez, A.; García, F. (2006). Investigaciones en el cultivo del caucho (*Hevea brasiliensis*) en la Orinoquía y norte amazónico. Villavicencio, Colombia, Corpoica-Pronatta. 75 p.



- Mattos, C.; García, D.; Pinard, F.; Le Guen, V. (2003). Variabilidad de aislados de *Microcyclus ulei* no Sudeste da Bahia. *Fitopatologia Brasileira* 28:502-507.
- Melo, D. F.; de Mello, S. C. M.; Mattos, C.; Cardoso, S. E. A. (2008). Compatibilidade de *Dicyma pulvinata* com defensivos agrícolas e eficiência do biocontrole do mal-das-folhas da seringueira em campo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43(2): 179-185.
- Nghia N., Kadir J., Sunderasan E., Abdullah M., Malik A., Napis S. (2008). Morphological and inter simple sequence repeat (ISSR) markers analyses of *Corynespora cassiicola* isolates from rubber plantations in Malaysia. *Mycopathologia*. 166:189-201.
- Ogbedor N., Adekunle A. (2007). Inhibition of *Drechslera hevea* (Petch) M. B. Ellis, causal agent of Bird's eye spot disease of rubber (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.) using plant extracts. *African Journal of General Agriculture*. 4:19-26.
- Ogbebor N., Adekunle A., Enobakhare D. (2007). Inhibition of *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) Sac. causal organism of rubber (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) leaf spot using plant extracts. *African Journal of Biotechnology*. 6:213-218.
- Pratt R. (2006). Enhancement of sporulation in species of *Bipolaris*, *Curvularia*, *Drechslera* and *Exserohilum* by growth on cellulose containing substrates. *Mycopathologia*. 162:133-140.
- Rajalakshmy V. (1975). Leaf spot disease of Rubber caused by *Curvularia pallescens* Boedijn. Short Scientific Notes. Rubber Research Institute of Indian. p. 530.
- Rivano, (1997). La maladie sud-américaine des feuilles de l'hevea. I. Variabilité du pouvoir pathogène de *Microcyclus ulei*. *Plantations, Recherche, Développement* 104-110.
- Rong I. (2001). An integrated approach to the taxonomy of some mitosporic fungi of the *Bipolaris* complex. Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Philosophiae Doctor (Botany). Faculty of Natural and Agriculture Sciences. University of Pretoria.
- Saha T., Kumar A., Roy B., Ravindran M., Joseph A., Jacob C., Nazeer M. (2002). Molecular characterization of fungal pathogens causing leaf disease in rubber (*Hevea brasiliensis*). *Proceedings of Placrosym XV*. 195-203.
- Saharan G., Mehtan N. (2008). *Sclerotinia diseases of crop plants: Biology, Ecology and Disease Management*. Springer. 486 p.
- Santacruz O. (2008). *Comportamiento del Caucho Natural en Colombia y el mundo (2002-2008)*. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. 28 p.
- Schroth, G., Moraes, V., Da Mota, M. (2004). Increasing the profitability of traditional, planted rubber agroforests at the Tapajós river, Brazilian Amazon. *Agriculture, Ecosystems and Environmental*. 102:319-339.
- Tapiero, A. (2008). Redefinición de parámetros para la determinación de zonas de escape al mal suramericano de las hojas del caucho natural (*Hevea* spp.) en la Orinoquia colombiana. Informe Final del Convenio de Inversión Colciencias 391 del 2004. 61 p.

DESARROLLO DE SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAUCHO EN LA ALTILLANURA Y PIEDEMORTE DE LOS LLANOS ORIENTALES DE COLOMBIA

ALFONSO MARTÍNEZ GARNICA

Introducción

El cultivo de caucho en Colombia ha generado grandes expectativas, entre las que se encuentran: 1) El aumento en los precios internacionales; 2) la necesidad de suplir las importaciones de caucho en sus diferentes formas de presentación para suplir las necesidades industriales; 3) los incentivos que ha creado el Gobierno Nacional para fomentar su siembra; y 4) las expectativas que existen con los bonos de carbono pagados por los países contaminantes.

Dicho cultivo se está desarrollando principalmente en cuatro zonas de Colombia: el piedemonte y la altillanura de los Llanos Orientales; el Magdalena Medio; la región amazónica; y el cordón cauchero – cacaotero de los departamentos de Antioquia y Córdoba. En investigaciones realizadas por Corpoica se demostró que el piedemonte y la altillanura de los Llanos orientales es zona de escape al mal suramericano de las hojas, razón por la cual se pueden sembrar clones de origen asiático de alta producción.

En línea con esto, Corpoica ha venido generando y validando sistemas agroforestales con caucho en las cuatro zonas productoras, en donde se ha



asociado su cultivo con otros diferentes tipos de cultivos de economía campesina e industriales, forrajeros y frutales.

Desarrollo de Sistemas Agroforestales con Caucho

El uso de los sistemas agroforestales en Colombia es tan antiguo como la historia del país. Los primeros pobladores tumbaban y quemaban un pedazo de selva, actividad que se sigue practicando en especial en la Amazonía, y en su reemplazo sembraban una mezcla de cultivos anuales y perennes en donde se incluían frutales como la piña. Una vez se agotaba la fertilidad natural del suelo, se tumbaba otro pedazo de selva y se repetía el ciclo. En la Orinoquía, en los departamentos de Arauca y Casanare, se practica un sistema agroforestal denominado “conuco”, el cual consiste en asociar leguminosas arbóreas con musáceas y frutales. Por otro lado, el uso de los sistemas agroforestales se masificó con el uso de cultivos umbrófilos, como es el caso del café y del cacao.

En general, las plantaciones de caucho en Colombia se siembran en suelos oxisoles y en sistemas agroforestales, que traen los siguientes beneficios:

- 1) El mejoramiento de las condiciones químicas y físicas, que conllevan a facilitar el desarrollo del árbol al aumentarse el ciclo y el balance de los diferentes minerales nutrientes del suelo; de esta manera se acorta la época improductiva del árbol.
- 2) Tener flujo de caja mientras el cultivo entra en su fase productiva, disminuyendo los riesgos económicos y aumentando la agrobiodiversidad al asociarse en tiempo y en espacio con varias especies vegetales.
- 3) El aumento del valor del carbono atmosférico capturado.
- 4) Las especies vegetales asociadas al caucho se integran con otros componentes de la finca, tal como la alimentación de los animales. Este es el caso del maíz y arroz para la alimentación de cerdos y gallinas, además de los forrajes para el ganado en la época seca, entre otros.

Para asociar el caucho con otras especies vegetales se modifica el sistema de siembra así: 1) En el caso de establecer caucho en monocultivo asociado con cobertura de leguminosas, este se siembra generalmente a una distancia de 2,5 m x 7 m (Figura 33). 2) Para asociar e implementar sistemas agroforestales la distancia se modifica a 13 m x 2,5 m x 3 m, tal como se aprecia en la Figura 34.

La selección de las especies vegetales a asociar va a depender de los precios que tengan estas especies en el momento de implementar el sistema, de los desarrollos genéticos por parte de entes de investigación gubernamentales y particulares (por ejemplo: los híbridos de maíz Corpoica H-108 y Corpoica



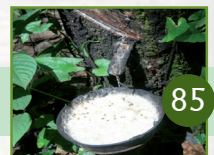
Figura 33. Cultivo de caucho sembrado en monocultivo a 7 m x 2,5 m con cobertura de kudzú. Corpoica, C.I. Carimagua. Puerto Gaitán, Meta



Figura 34. Plantación de caucho asociada con maíz a una distancia de 3 m x 2,5 m x 13 m. Proyecto Kassandra. Puerto López, Meta

H-110, y la variedad de soya Corpoica Sabana 7, materiales generados para suelos oxisoles ácidos de la altillanura colombiana), las condiciones sociales de la zona, la mentalidad del productor de caucho y la cantidad de dinero a invertir.

Cuando se siembran cultivos anuales asociados al cultivo del caucho y con la distancia modificada se deben tener en cuenta dos condiciones: 1) Para evitar problemas de plagas, enfermedades y malezas es necesario alternar cultivos de leguminosas y de gramíneas en relevo; y 2) alejar los cultivos de las plantas de caucho para evitar daños en el sistema radicular del mismo, debido a labores con



maquinarias y equipos para hacer las diferentes prácticas agrícolas requeridas por los cultivos asociados.

En las figuras 35 y 36 se aprecia el sistema de manejo de canavalia y maíz en una plantación de caucho sembrada en la distancia modificada y con una edad de 3,5 años. En este sistema, la canavalia se sembró en el primer semestre a 2,5 metros de los árboles de caucho. Para el siguiente semestre, cuando los árboles tenían 4 años de edad, el maíz se sembró a 3 m de los árboles de caucho.



Figura 35. Plantación de caucho en asocio con canavalia. Corpoica, C.I. La Libertad. Villavicencio, Meta



Figura 36. Plantación de caucho en asocio con maíz en relevo. Corpoica, C.I. La Libertad. Villavicencio, Meta

Las posibilidades de hacer sistemas agroforestales, como se comentó anteriormente, depende también de las condiciones sociales y económicas de la región. Por ejemplo en el departamento de Casanare, donde la economía está basada en la explotación bovina de carne y leche, el cultivo del caucho (Figura 37) se asoció con maíz de la variedad local llamada Carare para la producción de altas cantidades de biomasa fresca (hasta 30 kg/ha de biomasa fresca), siendo esta ensilada y apoyando así el sistema ganadero en la época seca.



Figura 37. Caucho asociado con maíz variedad Carare para ser ensilado.
Finca Guadalajara, Yopal, Casanare

Ya en el caso de zonas de economía campesina, como el piedemonte de los departamentos de Arauca y Casanare en donde están muy arraigados los cultivos de plátano y cacao, se puede implementar un sistema agroforestal con siembra inicial de plátano como sombrío transitorio del cacao; posteriormente se siembra el caucho que va a actuar como sombrío permanente para el cacao (Figura 38) y finalmente se realiza la siembra del cacao.

En trabajos de investigación realizados por Martínez y Rubio (2007) se demostró que una de las mejores formas de controlar el problema de la sigatoka negra del plátano es ubicar las plantaciones bajo sombra en un sistema agroforestal. En la Figura 39 se aprecia un cultivo de plátano bajo sombrío de caucho cuando este último produce la suficiente sombra para disminuir la severidad de la enfermedad.

Beneficios de los Sistemas Agroforestales

Los sistemas agroforestales proporcionan dos beneficios: el mejoramiento de las características del suelo, en especial su fase química; y un flujo permanente





Figura 38. Sistema agroforestal de plátano y guandul como sombrío transitorio para cacao, y caucho como sombrío permanente en la distancia modificada. Granja Uary. Yopal, Casanare



Figura 39. Sistema agroforestal de plátano con caucho de 4 años de edad para bajar la severidad de la sigatoka negra. Corpoica, C.I. La Libertad. Villavicencio, Meta

de caja a través de la venta de los cultivos asociados. En la Tabla 3 se aprecia el beneficio en la fase química del suelo en el momento de asociarse el cultivo del caucho con arroz Línea 30 y sembrada en relevo soya Orinoquia 3.

Tabla 3. Cambios en la fase química del suelo al asociar el caucho con arroz y soya en relevo. Proyecto Cassandra. Puerto López, Meta

ELEMENTO	INICIAL	FINAL
P (ppm)	1	5
Ca (meq/100 g)	0,39	0,86
Mg(meq/100 g)	0,11	0,25
K(meq/100 g)	0,06	0,11
Acidez intercambiable (meq/100 g)	2,2	0,9
Saturación de bases	20,29 %	57 %
Saturación de calcio	14%	40%
Saturación de magnesio	4%	12%

Este mejoramiento del suelo conlleva a la disminución de la época improductiva del cultivo del caucho, producto del aumento en el contenido de nutrientes minerales. Anteriormente se pensaba que para el trópico húmedo, al sembrar caucho en oxisoles la época improductiva era de 7 años; es decir, que el 70% de los árboles de una plantación no alcanzaban el perímetro de circunferencia mínimo de 45 cm en este periodo. En la Figura 40 se muestran los resultados de la evaluación de 7 clones de caucho sembrados en el mismo sistema agroforestal, con 7 cultivos en relevo, donde se evidencia la factibilidad de iniciar el periodo de sangría antes de los 5 años.

Otro de los beneficios del caucho es el flujo de caja con la venta de los productos obtenidos de los cultivos sembrados en asocio con el caucho. En la Figura 41 se aprecia el análisis económico de asociar el cultivo del caucho, sembrado en la distancia modificada, con los cultivos de arroz – maíz – soya – maíz – soya – canavalia – maíz en relevo.

De acuerdo con la Figura 41, los costos del establecimiento del cultivo de caucho y de los cultivos asociados se pagan con los ingresos de los cultivos asociados al finalizar el séptimo semestre de implementación del sistema agroforestal.

Conclusiones

- El cultivo del caucho se puede sembrar en sistemas agroforestales modificando el sistema de siembra a 3 m x 2,5 m x 13 m.



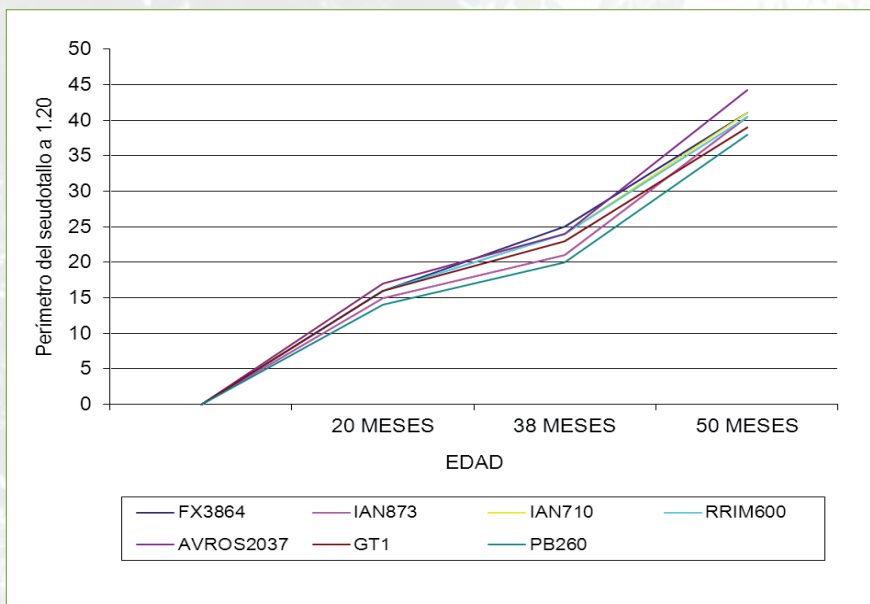


Figura 40. Crecimiento en perímetro de la circunferencia del tallo de 7 clones de caucho medida a 1,20 m de altura. C.I. La Libertad. Villavicencio, Meta

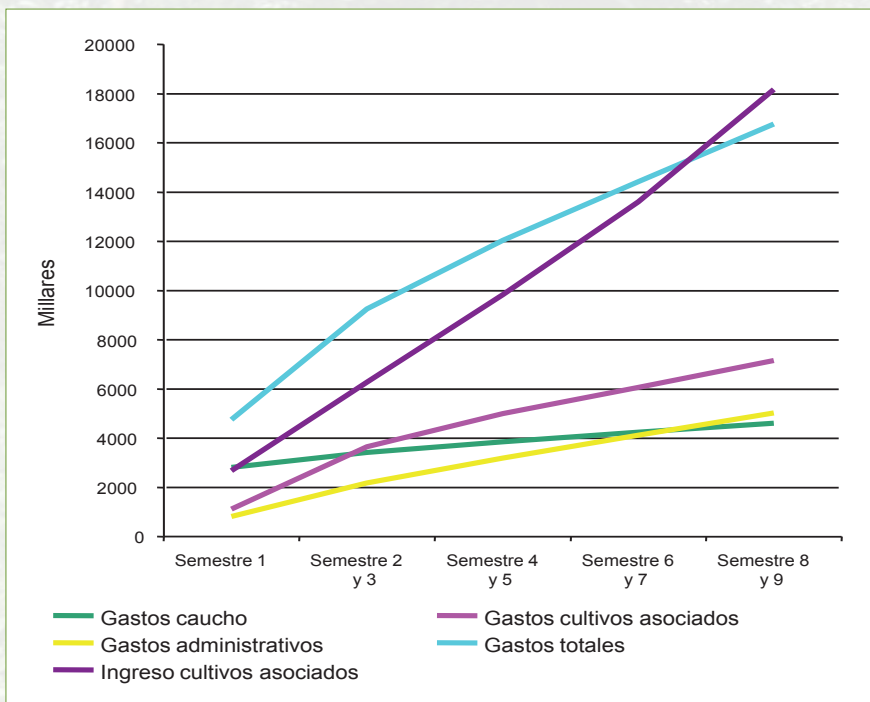


Figura 41. Análisis económico de un sistema agroforestal en donde se sembró el caucho en la distancia modificada y se asoció con 7 cultivos anuales en relevo. C.I. La Libertad.

- Los cultivos a asociar con el caucho dependerán de las condiciones económicas y sociales de cada zona, los precios en el momento de implementar el sistema de los cultivos a asociar, las interacciones entre los demás componentes de la finca y finalmente, la mentalidad del productor.
- Los sistemas agroforestales con caucho permiten básicamente tener flujo de caja permanente con la venta de los productos de los cultivos asociados mientras el cultivo del caucho comienza a producir.
- El otro beneficio que conlleva el uso de sistemas agroforestales con caucho es el mejoramiento de las condiciones del suelo, en especial la fracción química, que hace que se acorte la etapa improductiva del mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Martínez Garnica, A.; García Rubio, F. (2006). Investigaciones en el cultivo del caucho en la Orinoquia y norte amazónico. Boletín de investigación No. 4. Corpoica-Pronatta. 75 p.
- Martínez Garnica, A.; García Rubio, F. (2006). Sistemas agroforestales con caucho: alternativa sostenible para la Orinoquia colombiana. Corpoica. Innovación & Cambio Tecnológico 4(4):58-67.
- Martínez Garnica, A.; García Rubio, F. (2007). Sistemas agroforestales con plátano y su incidencia en la severidad de la sigatoka negra en las zonas productoras de la Orinoquia. Corpoica. Boletín de investigación. 43 p.



Terminó de imprimirse
en marzo de 2012 en



Tel: 893 7710
Bogotá, DC, Colombia