

Nuevas perspectivas para el control sostenible del Mal Suramericano de la Hoja en el cultivo de Caucho

F. Rivano^{1*}, C. Mattos², J. Guyot³, V. Le Guen⁴ and D. Garcia⁴

1. Cirad, Persyst Department, Research Unit "Performance of Tree Crops Systems" TA-B-34/02, 34398 Montpellier Cedex, France.
2. Plantações Michelin da Bahia, Caixa Postal 02, CEP 45435-000 Ituberá, BA, Brazil.
3. Cirad, BIOS Department, Research Unit "Bioagresseurs", BP 701- 97387 Kourou Cedex, Guyane.
4. Cirad, BIOS Department, Research Unit UMR-AGAP, TA-A-108/03, 34398 Montpellier Cedex, France.

*Corresponding author: franck.rivano@cirad.fr

RESUMEN

Hevea brasiliensis es fuertemente limitado en América latina por una enfermedad (SALB: South American Leaf Blight) causada por un hongo *Microcyclus ulei*. Además de las zonas de escape, la resistencia genética es una solución reconocida de largo plazo y sostenible. A partir de 1992, se inició un programa de investigación conjunto CIRAD-Michelin, para desarrollar materiales que tengan a la vez un buen nivel de resistencia y un nivel de producción por lo menos equivalente a los clones de caucho tradicionalmente cultivados. Se identificaron fuentes de resistencia originales en materiales de colección en Brasil, las cuales fueron utilizadas en un programa de creación varietal con miras al mejoramiento genético de la especie para América Latina. Se seleccionaron primero 13 clones resistentes a la mayoría de las razas conocidas del hongo, para difundirlos en varios países de América Latina, así como en Asia y en África para establecer una red experimental. Estos clones también se utilizaron como progenitores para crear, por medio de polinizaciones artificiales nuevos materiales. Estos materiales, una vez hayan sido probado en campo y en condiciones controladas, serán enviados a países de América latina y en el resto del mundo para estudiar su comportamiento bajo diferentes condiciones climáticas, y especialmente donde la presión de *Microcyclus* puede ser un factor limitante para el cultivo. En efecto, el riesgo de introducción accidental de *Microcyclus* en las grandes zonas de producción es real, y una manera de evitar una situación catastrófica será de disponer de materiales resistentes, y con buenas características agronómicas.

Keywords : *Microcyclus ulei*, SALB, resistance, *Hevea brasiliensis*, escape areas

INTRODUCCION

La producción mundial de caucho natural es aproximadamente de 10 millones de toneladas, distribuidas en 10 millones de hectáreas, cultivadas en un 80 % por pequeños productores y aprovecha a unos 20 millones de personas. El caucho natural proviene en su mayoría de la especie *Hevea brasiliensis*. Esta producción se concentra en el Sureste asiático para un 93%, mientras que África produce un 4.5% y Latino América solamente el 2.5 %, siendo la especie

originaria de la Amazonía. Esta situación paradójica se debe a una enfermedad, la enfermedad suramericana de la hoja o SALB (South American Leaf Blight), causada por un hongo *Microcyclus ulei*, el cual ataca las hojas jóvenes, causando su caída y ocasionando en ciertas ocasiones la muerte de los árboles. Esta enfermedad se encuentra únicamente en América central y sur América, entre latitudes 18° Norte y 24° Sur, y representa en este continente el principal obstáculo para el fomento de nuevas plantaciones de caucho, ya que es la enfermedad la más destructora del cultivo. Aunque no se ha detectado en el resto del mundo, su aparición en Asia o África sería una verdadera catástrofe, ya que los clones cultivados en estos países son altamente susceptibles al hongo (Chee *et al.* 1986, Liberei 2007, Rivano 1992). El riesgo de su introducción es reconocido como alto (APPC 2007) y se conocen varios ejemplos de introducción de otras enfermedades en otros cultivos, como por ejemplo el caso de la roya del café, originaria de África y que fue difundida a Asia y después a América por los vientos de este. También el caso de la roya de la caña de azúcar que alcanzó la República Dominicana en el Caribe en solo 9 días en junio 1978, empezando en Camerún-África, llevada por la zona intertropical de convergencia. Después de su rápida extensión en la República Dominicana, las esporas de la roya fueron transportadas por el viento hacia Venezuela y Florida (Purdy *et al.* 1985).

En América latina, la extensión del cultivo es todavía bastante reducida porque no se dispone aún de materiales resistentes que permitan su fomento en zonas donde el hongo es endémico.

El contexto histórico del SALB es similar al de la escoba de bruja del cacao. El hongo, endémico de la selva amazónica, fue por primera vez identificado por Ule en 1900 en el río Juruá en árboles silvestres. Luego apareció en Surinam donde todos los proyectos de plantaciones fueron abandonados. *Microcyclus* apareció en cualquier lugar donde nacía un nuevo proyecto de caucho (Chee *et al.* 1986).

Los métodos de control clásicos por medio del uso de fungicidas son eficientes en viveros y en jardines clonales, a veces en plantaciones jóvenes, pero el uso de productos químicos es cada día criticable porque es considerado como poco respetuoso del medio ambiente. Por lo tanto es mejor orientarse hacia métodos de tipo agronómico. Uno de ellos es el injerto de copa, que permite combinar un tronco productivo pero susceptible, con una copa de un clon resistente. Esta técnica a pesar de haber tenido cierto éxito, tiene sus límites: costo de implantación elevado, incompatibilidad fisiológica entre diferentes especies de *Hevea*, y resistencias contornadas por el hongo después de algunos años.

Otro método es la búsqueda de zonas de escape, solución de mucho interés ya que en los países donde existen estas condiciones favorables se pueden cultivar clones asiáticos sin riesgo alguno porque el hongo tiene su ciclo de desarrollo interrumpido. Estas condiciones son básicamente: un verano largo de mínimo 4 meses, con precipitaciones muy bajas o nulas es decir inferiores a 50 mm, y una humedad relativa inferior a 70% durante dos meses secos consecutivos, cuando los árboles están realizando su ciclo anual de defoliación y refoliación (Ortolani 1982). La ventaja de estas zonas es que la productividad por ha de los cultivos puede ser de un 30% superior a lo que se obtiene con clones suramericanos. Estas zonas fueron identificadas primero en Brasil, permitiendo una heveicultura rentable en los veinte últimos años en los estados del Sur del país, principalmente el estado de Sao Paulo (Camargo *et al.* 2003). Asimismo en Colombia se aplicó la misma metodología para llegar a una cartografía de las zonas aptas para el cultivo, en la cual aparecen estas zonas de escape que cubren un área de aproximadamente 890'000 has (Conif 1997). Igualmente se procedió a este

tipo de análisis clima-suelos en países como Ecuador y México para identificar zonas de escape. Sin embargo existen algunas limitaciones con respecto a estas zonas, que pueden ser: el precio y la disponibilidad de la tierra, la competencia con cultivos anuales o ganadería, y la incidencia negativa de factores climáticos como el frío y plagas.

En fin, donde el hongo es endémico, el mejoramiento genético es la mejor solución para un control sostenible del mal suramericano de la hoja (Rivano *et al.* 1989).

Desde 1928, varias compañías participaron en tal programa de mejoramiento. En 1945, la compañía FORD sembró 9'500 has con materiales nativos y clones orientales en las orillas del río Amazonas (Fordlandia y Belterra). De 1947 a 1983, Firestone con otros institutos latino-americanos desarrollaron su propio programa. Pero para ambas empresas el SALB les obligó a abandonar su programa y sus plantaciones. De estas experiencias resultaron un número limitado de clones que fueron utilizados para plantaciones en América latina, con niveles de producción medianos o bajos, y desafortunadamente en la mayoría de los casos su resistencia fue quebrada (Bos & McIndoe, 1965, Gonçalves 1968, Peralta *et al.*, 1990, Gasparotto & Lima, 1991).

En 1982, el CIRAD empezó un programa de investigación sobre el SALB en Guyana francesa, mientras que la empresa Michelin desarrolló entre 1980 y 1984 nuevas plantaciones en los estados de Mato Grosso (zona de escape) y de Bahía (con fuerte presión del SALB). Es así que en 1992, Cirad y Michelin unieron esfuerzos y recursos en el proyecto CMB (Cirad-Michelin-Brasil), con el objetivo de crear materiales resistentes al SALB y productivos, y también materiales adaptados a zonas sub-optimales, como son las zonas de escape.

El Programa de mejoramiento genético

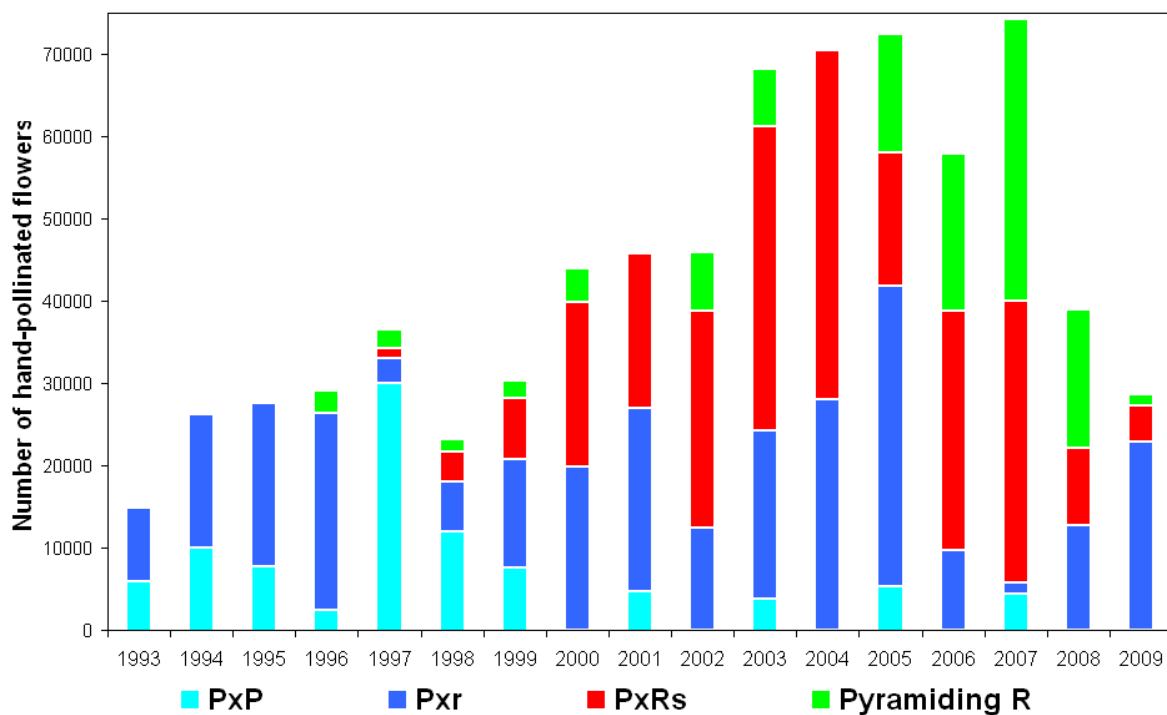
El proyecto CMB fue establecido en tres sitios: las dos plantaciones en Brasil y una estación experimental en Guyana francesa. Cabe señalar que la plantación Michelin de Bahia (PMB) es probablemente una de las plantaciones más atacadas que se conoce en Brasil, pues la incidencia de *Microcyclus* es muy severa y la diversidad fisiológica del hongo es muy compleja (Mattos *et al.* 2003). En efecto las virulencias son numerosas y las cepas colectadas en esta zona presentan un alto nivel de agresividad. En 2010 se habían identificado 64 razas diferentes entre 159 cepas aisladas (C. Mattos, com. pers.).

Los recursos genéticos para este programa provenían de un germoplasma de 1000 clones, conservado en una plantación privada de Bahía. Este material fue estudiado a partir de 1992, bajo condiciones naturales (en jardín clonal, plantación, campos experimentales) y bajo condiciones controladas de infección artificial, con varias cepas de *Microcyclus ulei* con patogenicidad conocida (Le Guen *et al.* 2002, Garcia *et al.* 2002). Dentro de este germoplasma se distinguieron 3 grupos de materiales: el primero constituido por genotipos silvestres de baja productividad, el segundo grupo de genotipos híbridos heterogéneo en producción y de baja resistencia, y el tercer grupo élite de híbridos que reunía productividad media y buena resistencia al SALB (Le Guen *et al.* 2002, 2003, Garcia *et al.* 2004). Por otro lado el programa de mejoramiento disponía de material domesticado, constituido por clones comerciales, conocidos por su buena productividad pero sin resistencia alguna al *Microcyclus*, son los clones asiáticos.

Se cruzó el grupo élite de genotipos que tienen una resistencia sostenible al SALB pero con productividad media, con el grupo de clones comerciales, realizando polinizaciones artificiales (60'000/año), para obtener descendencias (3000 genotipos/año) que fueron sembradas en campos de alta densidad llamados campos de evaluación de seedlings (CES). En el año 5 se seleccionan dentro de estos CES los mejores árboles de semillas (100/año) y se injertan para establecer un nuevo tipo de ensayo, el campo clonal en pequeña escala (CCPE), el cual será evaluado durante 6 años. En el año 12, los mejores genotipos (10/año) son seleccionados para sembrar un ensayo de mayor escala: el campo clonal a gran escala (CCGE). Diez años después de su instalación, algunos de estos clones ya pueden ser recomendados para uso comercial. Se puede observar que en este esquema partimos de 60'000 polinizaciones por año para llegar a seleccionar finalmente 3 clones aproximadamente, después de 22 años (Clément-Demange *et al.* 2007).

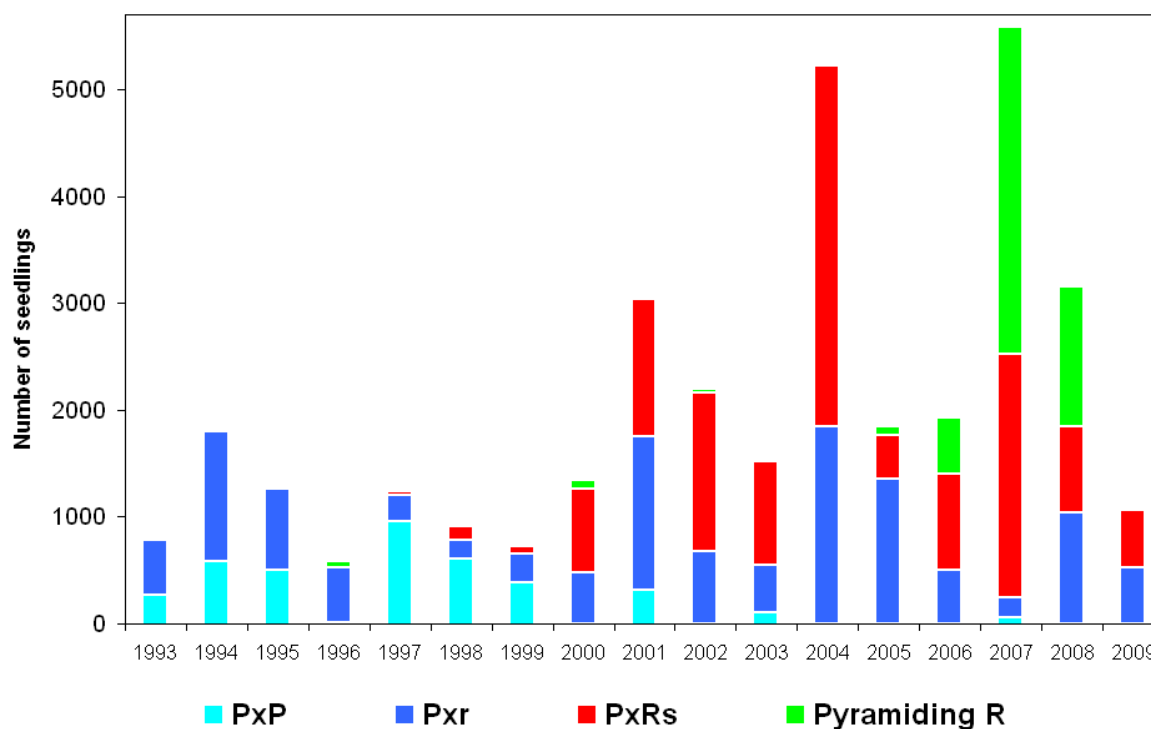
En la grafica 1 se puede ver que en 17 años de mejoramiento el número de polinizaciones ha aumentado significativamente, promoviendo la introducción de resistencias sostenibles en genotipos de alta productividad, y construyendo nuevas resistencias es decir combinando diferentes tipos de resistencias (Le Guen *et al.* 2008).

Grafica 1. Evolución de las polinizaciones durante 17 años del programa de mejoramiento genético de CMB



En la grafica 2 se presenta la cantidad de seedlings producidos entre 1993 y 2009, donde se puede ver que se incrementa a partir del año 2000 el número de plantas que reúnen producción y resistencia, orientando los nuevos genotipos hacia la salida de materiales comerciales.

Gráfica 2. Numero de seedlings producidos entre 1993 y 2009.



En resumen, las plantas producidas entre 1992 y 2009 tienen diferentes orientaciones y tres clases de materiales con usos diferentes y destinados a distintas áreas de cultivo pueden ser separadas:

- para áreas de alta presión de *Microcyclus*, los clones con buen nivel de resistencia sostenible, representado por un 38% de los genotipos producidos;
- para áreas de escape, los clones de resistencia media pero con buena productividad, representado por un 36% de las plantas producidas;
- para el programa de mejoramiento genético, se seleccionan nuevos progenitores con el fin de aumentar el nivel de resistencia, representado por el 15% de las plantas producidas;
- Finalmente queda un 11% representado por los genotipos que tienen buena productividad pero poca resistencia (sin mayor interés).

Cuando se considera en el año 2010 el número total de ensayos sembrados, llegamos a 33 ensayos que cubren 115 has. Como se puede ver en el cuadro 1, el número de genotipos en campos de seedlings es de 34'224, y 1'414 clones están sembrados en campos a pequeña escala (CCPE). Además 40 clones se encuentran en campo en gran escala (CCGE). Cada año se seleccionan aproximadamente 100 clones de los campos de semillas que pasan a la siguiente etapa del campo a pequeña escala, asimismo 10 a 15 clones para los campos a gran escala, y 3 a 4 nuevos clones para las pruebas monoclonales.

Cuadro 1. Ensayos de campo del programa CMB, existentes en el 2010 desde 1992.

Tipo de Ensayo	Numero de ensayos	Área (Has)	Numero de progenies	Numero de genotipos	Numero de clones	Numero de selecciones/año
Campos de seedlings (CES)	18	16.4	302	34'224	-	
Campos a pequeña escala (CCPE)	12	64.7	85	-	1414	100
Campo a gran escala (CCGE)	2	18.3	-	-	40	10-15
prueba monoclonal en 2010	1	15	-	-	-	3-4
Total	33	115				

Es importante señalar que para estos nuevos materiales producidos en este programa, se obtendrá un certificado de obtención vegetal (Plant Variety Patent), antes de su difusión para plantaciones comerciales. Para este fin se elaboró en Brasil durante 8 años una guía descriptiva, la cual fue aprobada por la UPOV.

La Red Internacional de Campos Clonales

Volviendo al esquema de mejoramiento presentado anteriormente, el grupo élite de 50 genotipos ha sido estudiado intensivamente durante 15 años a partir de 1992, bajo condiciones naturales y artificiales de infección por *Microcyclus ulei*, utilizando las cepas más virulentas del patógeno (Le Guen *et al.* 2002, Garcia *et al.* 2004). De tal manera que se llegó finalmente a una primera selección de 13 clones (clones CMS), que son: CD 1174, CDC 56, CDC 312, MDX 607, MDX 624, PMB 1, FDR 4575, FDR 5240, FDR 5283, FDR 5597, FDR 5665, FDR 5788, FDR 5802. Estos materiales presentaron un buen nivel de resistencia y un nivel medio de producción, así que se aprovecharon para instalar una red de campos clonales a gran escala en varios estados de Brasil y en algunos países de Latino América.

En Brasil se instalaron 7 campos en los estados de Acre, Mato Grosso, Rio de Janeiro, Bahía, y Espirito Santo. En Ecuador son dos campos instalados en las provincias de Pichincha y de Los Ríos, y en Colombia un campo sembrado en el departamento del Meta. Se proyecta sembrar nuevos campos en otras regiones de Colombia y también en Guatemala. Todos estos campos se siembran con el mismo diseño estadístico de bloques al azar, con 4 réplicas de 80

árboles cada una (Clément-Demange *et al.* 1995, Rivano 1997, Rivano *et al.* 2010). Las lecturas desde el momento de la siembra son la circunferencia anual de las plantas a 1 m de altura y la susceptibilidad al SALB en hojas jóvenes y adultas, en forma mensual cuando la disponibilidad en personal técnico lo permite, utilizando las mismas escalas de notación elaboradas en Brasil (Rivano *et al.* 2010).

Los resultados de estos ensayos han permitido mejorar o simplificar cuando es necesario la metodología de evaluación de la incidencia de *Microcyclus ulei* en las plantas de caucho (Rivano *et al.*, 2010). Estos resultados ya se pueden comparar entre localidades y entre países, como Brasil y Ecuador, lo que demuestra el éxito de esta red experimental.

Para la resistencia al SALB, podemos observar en el cuadro 2 que los clones se comportan de manera similar en ambos países, a pesar de ser sembrados en condiciones distintas de clima y de presión del patógeno. El clon testigo FX 3864, se comporta también como el más susceptible.

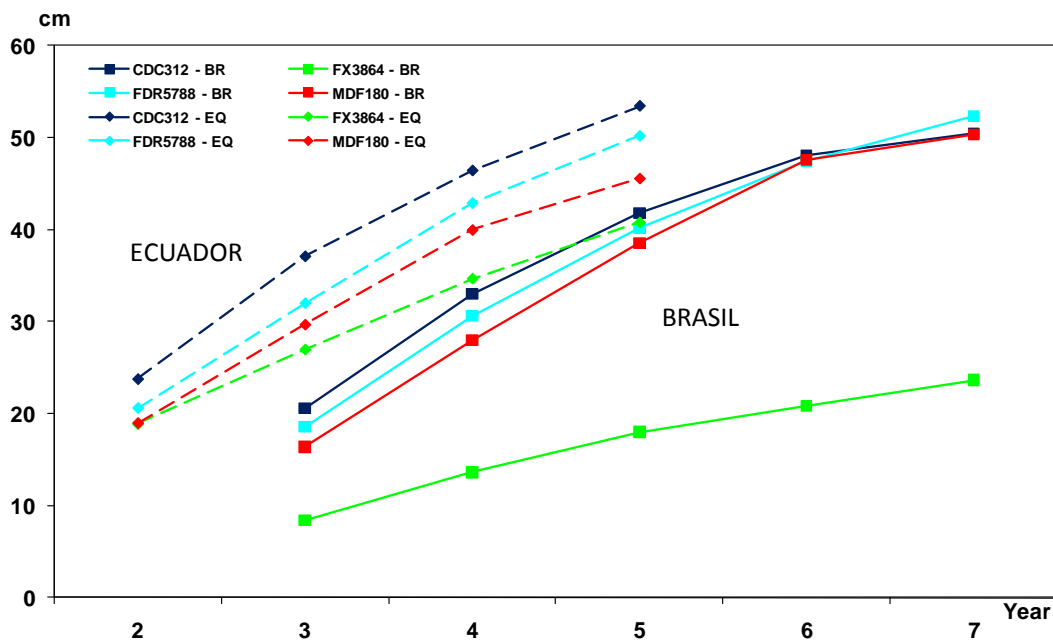
Cuadro 2. Comportamiento comparativo frente al SALB de los clones CMS en Ecuador y Brasil

Clones	ECUADOR	BRASIL
CDC 312	HR	R
FDR 5788	R	R
CDC 56	HR	R
MDF 180	HR	R
FDR 5597	HR	R
FX 3864	S	HS
FX 4098	S	HS

HR: altamente resistente, R: resistente, S: susceptible, HS: altamente susceptible.

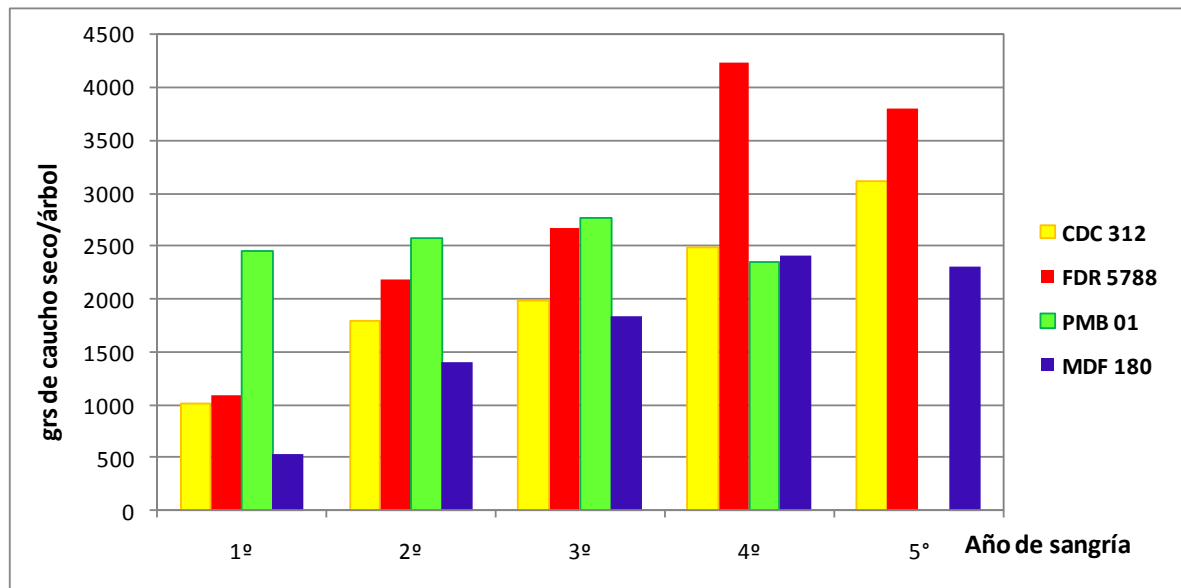
En cuanto al crecimiento observado en Brasil y en Ecuador, podemos ver en la gráfica 3 que las circunferencias de los árboles obtenidas hasta los 5 años de edad son mayores en Ecuador, para todos los clones representados. Esta situación se debe probablemente a mejores condiciones de suelo en los ensayos sembrados en este país. Sin embargo en ambos países, el orden de los clones es el mismo, siendo CDC 312 el más vigoroso, y el testigo FX 3864 el de menor circunferencia, por su mayor susceptibilidad a *Microcyclus*.

Gráfica 3. Circunferencia anual (en cm, a 1m de altura) de los clones CMS en Ecuador y Brasil.



En términos de producción, podemos observar en la gráfica 4 la producción por árbol de caucho seco durante los 5 primeros años de sangría, obtenida en un campo clonal a gran escala en Bahía-Brasil, para 4 clones de la selección CMS. El clon FDR 5788 alcanza o supera 1.5 ton/ha/año, representando un resultado satisfactorio para las áreas SALB. Los tres clones FDR 5788, PMB 1 y CDC 312 son actualmente recomendados para plantación comercial en el estado de Bahía.

Gráfica 4. Evolución de la producción por año de sangría (en gramos de caucho seco por árbol) para 4 clones CMS en campo clonal a gran escala en Bahía-Brasil.



Adicionalmente, para ampliar esta red experimental, los 13 clones CMS fueron enviados en diciembre 2005 en Montpellier-Francia y conservados en cuarentena durante dos años antes de ser enviados en Ghana, Malasia y Cambodia. El objetivo de esta difusión de material clonal nuevo es de poder observar en campo experimental su comportamiento, tanto en lo que se refiere a producción como también a la resistencia a otras enfermedades foliares como *Corynespora cassiicola*, en zonas tradicionales del cultivo pero que no tienen *Microcyclus*. Puede ser también una alternativa en caso de introducción del patógeno en estos continentes.

Conclusión

El programa de mejoramiento genético CIRAD-Michelin es hoy en día el único programa que ofrece una alternativa genética sostenible al mal suramericano de la hoja. El gran número de descendencias producidas y la gran diversidad genética de los progenitores ofrece una cantidad de materiales para ser estudiados y seleccionados por su resistencia a *Microcyclus ulei*, su productividad y su adaptación en áreas sub-optimales. La red internacional de campos clonales que permite probar en distintas condiciones ecológicas los nuevos clones seleccionados, es esencial porque ofrece alternativas sostenibles para el fomento del cultivo de caucho en zonas de alta o baja presión de *Microcyclus*.

REFERENCIAS

- APPC (2007). PRA on SALB, Report of the 25th Session of the Asian and Pacific Plant Protection Commission APPPC, in Beijing, China from 27 – 31 August 2007.
- Bos, H., McIndoe, KG. (1965). Breeding of Hevea for resistance against *Dothidella ulei* P. Henn. *Journal of the Rubber Research Institute of Malaya* **19**: 98–107.
- Camargo, A.P. et al. (2003) Aptidão climática da Heveicultura no Brasil. Série Documentos Embrapa, n.24, 2003. 17p.
- Chee, K. H., & Holliday, P. (1986). South American leaf blight of Hevea rubber. Malaysian Rubber Research and Development Board Monograph, 13, 50.
- Clément-Demange, A., Nicolas, D., Legnaté, H., Rivano, F., Le Guen, V., Gnagne, M. Y., et al. (1995). Hévéa: stratégies de sélection. *Plantations, Recherche, Développement*, 2, 5–14.
- Clément-Demange, A., Priyadarshan, P.M., Tran Thi Thuy Hoa, Venkatachalam, P. (2007) *Hevea* Rubber Breeding and Genetics. *Plant Breeding reviews*, 29, 177-283.
- CONIF (1997). Zonificación de áreas aptas para el cultivo de caucho", Ministerio de Agricultura y Conif, Santafé de Bogota.
- Garcia, D., Le Guen, V., Mattos, CRR., de Sousa Goncalves, P., & Clement-Demange., A. (2002). Relationships between yield and some structural traits of the laticiferous system in Hevea clones resistant to South American leaf blight. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 2: 307-317.
- Garcia D., Mattos R.R.C., Gonçalves P. de S., Le Guen V. (2004) Selection of rubber clones for resistance to South American Leaf Blight and latex yield in the germplasm of the Michelin plantation of Bahia. *Journal of Rubber Research*, 7(3) : 188-198.
- Gasparotto L, Lima MIPM. (1991). Research on South American leaf blight (*Microcyclus ulei*) of rubber in Brazil. *Indian Journal of Natural Rubber Research* 4: 83–90.
- Gonçalves, J.R.C. (1968). The resistance of Fx and IAN rubber clones to leaf diseases in Brazil. *Trop. Agr. Trin.* 45, 331–336.
- Le Guen, V., Garcia, D., Mattos, CRR., Clément-Demange, A. (2002). Evaluation of field resistance to *Microcyclus ulei* of a collection of amazonian rubber tree (*Hevea brasiliensis*) germplasm. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 2: 141-148.
- Le Guen, V., Lespinasse, D., Oliver, G., Rodier-Goud, M., Pinard, F., Seguin, M. (2003). Molecular mapping of genes conferring field resistance to South American Leaf Blight (*Microcyclus ulei*) in rubber tree. *Theoretical and Applied Genetics* 108: 160-167
- Lieberei, R. (2007). South American leaf blight of the rubber tree (*Hevea* spp.): New steps in plant domestication using physiological features and molecular markers. *Annals of Botany*, 100, 1125–1142.

Mattos, R.R.C., Garcia, D., Pinard, F., Le Guen, V. (2003). Variabilidade de isolados de *Microcyclus ulei* no Sudeste da Bahia. *Fitopatologia brasileira*. 28 : 502-507.

Ortolani A.A. (1982). Aptidão agroclimática para regionalização da heveicultura no Brazil", A.A. Sudhevea.

Peralta, AM., Furtado, EL., Amorim, L., Menten, JOM., Bergamin Filho, A. (1990). Melhoramento para resistência ao mal das folhas da seringueira: revisão. *Summa Phytopathologica* **16**: 214–224.

Purdy, LH., Krupa, SV., Dean, JL. (1985). Introduction of sugarcane rust into the Americas and its spread to Florida. *Plant Disease* Vol. 69, no. 8, pp. 689-693..

Rivano, F., Nicolas, D., Chevaugon, J. (1989). Résistance de l'hévéa à la maladie Sud-américaine des feuilles. Perspectives de lutte. *Revue Générale des Caoutchoucs et Plastiques*, vol 66, n° 690, 199–206.

Rivano, F. (1992). La maladie sud-américaine des feuilles de l'hévéa. Étude, en conditions naturelles et contrôlées, des composants de la résistance partielle de l'hévéa à *Microcyclus ulei* (P. Henn.) V. Arx. PhD thesis, Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay, Paris, (pp. 218).

Rivano, F. (1997). La maladie Sud-américaine des feuilles de l'hévéa. 2. Évaluation précoce de la résistance des clones. *Plantations, Recherche, Développement*, 4 (3) 187–196.

Rivano, F., Martinez, M., Cevallos, V., Cilas, C. (2010). Assessing resistance of rubber tree clones to *Microcyclus ulei* in large-scale clone trials in Ecuador: a less time-consuming field method. *European Journal Plant Pathology* (2010) 126: 541–552.