

Crecimiento de clones de *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg. en etapa juvenil establecidos en campos clonales, Meta, Colombia.

Growth of clones of *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg. in juvenile stage established in clonal fields, Meta, Colombia.

Sandra Liliana Castañeda-Garzón¹, Franck Rivano², Argenis Antonio Mora Garcés¹

Recibido para publicación: 10 de noviembre de 2023 - Aceptado para publicación: 20 de febrero de 2024

RESUMEN

Hevea brasiliensis es la mayor fuente de caucho natural y materia prima en la manufactura de diversos productos industriales, en Colombia se ha establecido comercialmente en cinco núcleos productivos. Sin embargo, la base genética es reducida y enfermedades foliares han comprometido el desarrollo y la producción. En el Centro de Investigación La Libertad (Villavicencio) y la Finca Experimental Taluma (Puerto López) de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, se establecieron campos clonales a pequeña y gran escala para la evaluación del desempeño asociado al crecimiento de siete clones de la colección CIRAD-Michelin Selection de las series CDC, FDR, MDF y PMB, junto a FX 3864 y RRIM 600. En etapa juvenil se midió semestralmente la circunferencia del tronco (CIRC) y se calculó el incremento medio anual de esta variable (IMA-CIRC), se realizó análisis de varianza y comparación de medias. A edad de ocho años el clon FDR 5788 presentó un IMA-CIRC de 8,20 cm año⁻¹ y 6,87 cm año⁻¹ en La Libertad y Taluma respectivamente; se observó crecimiento diferencial entre clones. En Piedemonte llanero (La Libertad) se destacaron por su crecimiento los clones FDR 5788 y RRIM 600, mientras que en Altillanura (Taluma) fueron PMB 1 y FDR 5788. En La Libertad los clones FDR 5788, RRIM 600 y CDC 312 superaron 50 cm de CIRC al sexto año, a diferencia de Taluma, donde esto sucedió al séptimo año para PMB 1 y FDR 5788.

Palabras clave: Árbol de caucho, genotipos, plantación, región oriental, vigor.

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Colombia.

²Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Montpellier, Francia.

*Autor para correspondencia: Sandra L. Castañeda-Garzón
Email: slcastaneda@agrosavia.co

ABSTRACT

Hevea brasiliensis is the greatest source of natural rubber and raw material in several industrial products manufacture. In Colombia, it has been commercially established in five productive units; however, the genetic basis is limited and foliar diseases have influenced the development and the production. In La Libertad Research Center (Villavicencio) and Taluma Experimental Field (Puerto López) of the Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, clonal trials, at small-scale and large-scale, were established to evaluate the performance assessment, associated with growth, of seven clones from CIRAD-Michelin selection Collection series CDC, FDR, MDF y PMB, and FX 3864 and RRIM 600 as well. In juvenile stage, the trunk circumference (CIRC) was measured every six months, and the annual increase average (IMA-CIRC) was calculated. Variance analysis and means comparison were carried out. At eight years of age, the FDR 5788 clone showed IMA-CIRC of 8.20 cm year⁻¹ and 6.87 cm year⁻¹ in La Libertad and Taluma, respectively; differences in growth between clones were observed. In the Piedemonte llanero (La Libertad), the FDR 5788 and RRIM 600 clones were notable for their growth, whereas in the Altillanura (Puerto López) PMB 1 and FDR 5788 were remarkable. In La Libertad, the FDR 5788, RRIM 600 and CDC 312 clones exceeded the CIRC of 50 cm at sixth year, in contrast to Taluma, where it occurred at seventh year for PMB1 and DFR 5788.

Key words: Eastern region, genotypes, plantations, hevea rubber, vigour.

Cómo citar

Castañeda-Garzón, S.L., Rivano, F. y Mora Garcés, A.A. 2024. Crecimiento de clones de *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg. en etapa juvenil establecidos en campos clonales, Meta, Colombia. *Temas Agrarios* 29(1): 53-65. <https://doi.org/10.21897/5099hh92>



Temas Agrarios 2024. Este artículo se distribuye bajo los términos de la Licencia Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>), que permite copiar, redistribuir, remezclar, transformar y crear a partir del material, de forma no comercial, dando crédito y licencia de forma adecuada a los autores de la obra.

INTRODUCCIÓN

El caucho natural [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.] es una especie nativa de hábito arbóreo, que se distribuye en Colombia, Brasil y Bolivia; en Colombia se encuentra en la región biogeográfica Amazonía y Pacífico (Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, 2016). Es la mayor fuente de caucho natural, materia prima utilizada en la fabricación de neumáticos y manufactura de productos industriales (Tangonyire, 2019), desempeña funciones vitales en sector defensa, vías férreas, agricultura, transporte, industria de ingeniería textil, productos farmacéuticos, minas, aeropuertos, hospitales y deportes (Ajith *et al.*, 2021). Se obtiene de las partículas contenidas en el látex de caucho, fluido citoplasmático extraído continuamente de los vasos laticíferos situados en la corteza de los árboles, por medio de cortes sucesivos de la fina corteza, proceso denominado sangría (Gonçalves *et al.*, 2001).

En 2018 Colombia reportó más de 62.000 ha de caucho en 16 de los 32 departamentos (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2020). Las plantaciones comerciales se establecieron con clones de origen asiático, africano y suramericano (Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, 2012). Sin embargo, la base genética del material sembrado a escala comercial es muy reducida y se limita a no más de cinco clones. El núcleo productivo de la Orinoquia, reúne plantaciones en los departamentos de Casanare, Meta y Vichada (Gutiérrez *et al.*, 2022) y ocupa el primer lugar según el área sembrada (60%). En el Meta se reportaron cerca de 23.000 ha sembradas en 2018 (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2020).

La importancia del cultivo en Colombia y la dinámica identificada en el censo cauchero de 2015, “obliga al sector heveícola nacional a ampliar las áreas de siembra mediante el establecimiento y la selección de clones de alto desempeño, producción y tolerantes a las principales limitantes fitosanitarias del cultivo, especialmente al mal suramericano de las hojas (SALB - South American Leaf Blight)” (Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, 2012).

Producto del programa de mejoramiento genético (PMG) de *H. brasiliensis* ejecutado desde 1992 por CIRAD-Michelin-Brasil se obtuvieron genotipos como alternativa para el cultivo en regiones subóptimas y áreas afectadas por el SALB (Rivano *et al.*, 2013; Cardoso *et al.*, 2014). En 2005, se seleccionaron 13 clones de la colección CIRAD-Michelin Selection “CMS” (García *et al.*, 2004), evaluados por su crecimiento, resistencia a SALB y rendimiento de látex en Brasil y Ecuador, bajo condiciones ambientales contrastantes de poblaciones de *Pseudocercospora ulei* (Rivano *et al.*, 2010, 2013).

En *H. brasiliensis* se ha evaluado crecimiento en altura y circunferencia (CIRC) en clones IRCA y GT1 en Ghana (Tangonyire, 2019), efecto de la densidad de siembra en la CIRC y la producción en clones IAN en México (Ortiz-Cervantes *et al.*, 2022) y RRIV en Vietnam (Thanh *et al.*, 2022), tolerancia a estrés abiótico en India (Ajith *et al.*, 2021) y rasgos hidráulicos para predecir el crecimiento en Malasia (Hazir *et al.*, 2022), estudios en los cuales la CIRC es una de las variables objeto de monitoreo.

En Colombia, se destacan avances para la región amazónica en *H. brasiliensis* en el departamento de Caquetá (Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, 2012, 2017, 2018, 2020a, 2020b), los

protocolos para la certificación por conformidad genética (Ruíz Avila y Tapiero, 2022), la estimulación de árboles (Hernández-Arredondo *et al.*, 2023) y la evaluación del crecimiento en campos clonales y sistemas agroforestales de Caquetá (Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, 2020b; Sterling *et al.*, 2015, 2020) y Vichada (Vélez-Sánchez y Nieto-Rodríguez, 2013). No obstante, se desconoce el desempeño de clones CMS de *H. brasiliensis* en el departamento del Meta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre las etapas de selección clonal del PMG de *Hevea brasiliensis* se encuentran los ensayos clonales a pequeña escala (CCPE) y a gran escala (CCGE) (Priyadarshan, 2017). El CCPE La Libertad se encuentra en el Centro de Investigación La Libertad de AGROSAVIA (Villavicencio, Meta), vereda La Reforma (4°3'37.43"N, 73°27'52.47"W, 335 msnm). Se estableció en octubre de 2013 con distancia de siembra de 6 x 3 m, bajo un diseño experimental en bloques completos al azar (BCA), con cuatro repeticiones, nueve

clones (CDC 312, CDC 56, FDR 4575, FDR 5597, FDR 5788, FX 3864, MDF 180, PMB 1 y RRIM 600) y 20 plantas por unidad experimental. En agosto de 2013 se estableció el CCGE Taluma en la Finca Experimental Taluma de AGROSAVIA (Puerto López, Meta), vereda Carubare (4°22'39.2"N, 72°13'49.9"W, 176 msnm); con distancia de siembra de 6 x 3 m, bajo un diseño experimental en BCA, con cuatro repeticiones, cinco clones (CDC 312, FDR 5788, FX 3864, PMB 1 y RRIM 600) y 84 plantas por unidad experimental. (Tabla 1).

El CCPE La Libertad se encuentra en el paisaje de Piedemonte llanero, en relieve plano y suelos oxisoles de textura franco-arenosa, baja fertilidad, moderadamente profundos y fuertemente ácidos, con alto contenido de aluminio, buen drenaje y baja saturación. Las condiciones climáticas promedio (2013-2022) fueron: precipitación anual de 2676 mm, temperatura de 25,92°C y humedad relativa de 77,83%. Cuatro meses secos (diciembre a marzo) con valores promedio de 68,27 mm, 27,34°C y 71,14% (Estación meteorológica C.I. La Libertad).

Tabla 1. Genotipos de *H. brasiliensis* evaluados en campos clonales a pequeña y gran escala La Libertad y Taluma.

Clon	Parentales (madre x padre)	País de origen
CDC 312	AVROS 308 x MDX 40	Guatemala
CDC 56	MDX 91 x RRIM 614	Guatemala
FDR 4575	FDR 18 x FX 3032	Liberia
FDR 5597	HAR 68 x TU 42-525	Liberia
FDR 5788	HAR 8 x MDF 180	Liberia
FX 3864*	PB 86 x FB 38	Brasil
MDF 180	Clon primario de <i>H. brasiliensis</i>	Perú
PMB 1		Brasil
RRIM 600*	Tjir 1 x PB 86	Malasia

*Testigo. AVROS (Algemene Vereniging Rubberplanters Oostkust Sumatra), CDC (Clavellinas Dothidella Cross), FB (Ford Belem), FDR (Firestone Dothidella Resistant), FX (Ford Cross), MDF (Madre de Dios Firestone), MDX (Madre de Dios Cross), HAR (Harbel Estate, Firestone Liberia), PB (Prang Besar, Malaysia), PMB (Plantação Michelin da Bahia), RRIM (Rubber Research Institute of Malaysia), Tjir (Tjirandji, Indonesia), TU (Turrialba, Costa Rica). Adaptado de: (García *et al.*, 2002; Priyadarshan *et al.*, 2009).

El CCGE Taluma se encuentra en paisaje de Altillanura, en relieve plano y en suelos oxisoles de textura franco-arcillo arenosa, de baja fertilidad, moderadamente profundos y fuertemente ácidos, con alto contenido de aluminio, buen drenaje y baja saturación. Las condiciones climáticas promedio (2013-2022) fueron: precipitación anual de 2806 mm, temperatura de 26,51°C y humedad relativa de 80,27%. Cuatro meses secos (diciembre a marzo) con valores promedio de 103,56 mm, 27,31°C y 73,04% (NASA, 2021).

Las prácticas de manejo realizadas fueron resiembras, control químico y mecánico de arvenses en calles y platos, aplicación de fertilizantes sintéticos conforme a los requerimientos edáficos. La región en la cual se encuentran estos campos clonales se beneficia de una presión sanitaria moderada, en particular al SALB, por sus características climáticas de época seca de cuatro meses (Gutiérrez-Vanegas *et al.*, 2020).

El crecimiento de los clones de *H. brasiliensis* se evaluó en función de la circunferencia del tronco (CIRC), la cual constituye la medida determinante del vigor de los árboles; registrada a un metro sobre el nivel del suelo con cinta métrica en el 100% de los árboles, con frecuencia semestral durante ocho años y antes de iniciar sangría. Se calculó el incremento medio anual (IMA) de CIRC, a partir del crecimiento dividido por la edad (años) (Hernández *et al.*, 2020).

Es característico de estos ensayos la toma de mediciones repetidas sobre el mismo árbol, las cuales se realizaron sistemáticamente sobre intervalos de tiempo. El análisis de la estructura de datos se realizó bajo un esquema de un modelo lineal mixto, enfoque de análisis que permite estudiar y modelar la estructura de varianza-covarianza y la posible correlación

temporal entre mediciones sucesivas en el tiempo (Piepho *et al.*, 2004; Pagliari *et al.*, 2022). El modelo lineal mixto se describe a continuación:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_k + \beta_j + \gamma_{kj} + \rho_l + (\alpha\rho)_{ik} + \epsilon_{ijkl}$$

Donde Y_{ijkl} representa la observación tomada en el i -ésimo árbol ubicado en el bloque j -ésimo, en el k -ésimo clon y registrado en la l -ésima edad; α_i es el efecto del k -ésimo clon; β_j es el efecto de bloques; ρ_l es el efecto del factor correspondiente a las medidas repetidas tomadas en el l -ésima edad; $\gamma_{(kj)}$ es el componente aleatorio correspondiente al error de "subparcela"; $(\alpha\beta\rho)_{kjl}$ es el segundo efecto aleatorio proveniente de las mediciones registradas en las subparcelas y ϵ_{ijkl} es el error experimental asociado a la observación Y_{ijkl} y el cual asume una estructura de varianzas homogéneas entre edades y no correlación entre los valores medidos entre edades.

Antes de realizar los análisis de varianza (ANAVA) correspondientes, se probaron los ajustes de diferentes estructuras de varianza-covarianza y correlaciones entre mediciones sucesivas. Para la selección de la mejor estructura de varianzas-covarianzas y/o estructura de correlación en los modelos mixtos se utilizaron los criterios de información de Akaike (Akaike, 1974) y el Bayesiano de Schwarz (Schwarz, 1978); ambos son medidas basadas en la log-verosimilitud-2 (restringida), así, los valores menores indican modelos mejores. Además, se obtuvo un coeficiente de determinación basado en los efectos fijos del modelo mixto. Dada la posibilidad de que el comportamiento de los clones evaluados en cada localidad fuera distinto a lo largo del período del crecimiento estudiado (efecto interacción clon x edad), se aplicó la prueba de comparaciones de medias marginales de cada uno de los clones

ajustadas por el modelo mixto para cada edad de crecimiento de acuerdo con la prueba de Tukey (Pinheiro y Bates, 2000). Se utilizó el software libre R (R Core Team, 2023) bajo el entorno gráfico RStudio (Posit team, 2023).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el CCPE La Libertad el valor medio de CIRC de los clones de *H. brasiliensis* a la edad de ocho años reveló que FDR 5788 presentó mayor crecimiento, seguido de RRIM 600 y CDC 312. El IMA-CIRC (cm año⁻¹) del CCPE La Libertad fue: FDR 5788 (8,20), RRIM 600 (7,51), CDC 312 (7,44), FX

3864 (7,20), PMB 1 (7,15), CDC 56 (6,63), FDR 4575 (6,33), MDF 180 (5,75) y FDR 5597 (4,68). En el CCGE Taluma PMB 1 y FDR 5788 presentaron mayor crecimiento y superaron a los testigos comerciales FX 3864 y RRIM 600 (Figura 1). El IMA-CIRC (cm año⁻¹) del CCGE Taluma fue: PMB 1 (6,93), FDR 5788 (6,87), FX 3864 (6,20), CDC 312 (6,06) y RRIM 600 (5,51). En campos clonales de Ecuador y Brasil, la CIRC fue superior en Ecuador y a la edad de cuatro años, en MDF 180, CDC 56, CDC 312 y FDR 5788 se reportó CIRC ≥ 40 cm e IMA-CIRC promedio de 10 cm año⁻¹ (Rivano *et al.*, 2013), contrario a lo registrado en CCPE La Libertad y CCGE Taluma.

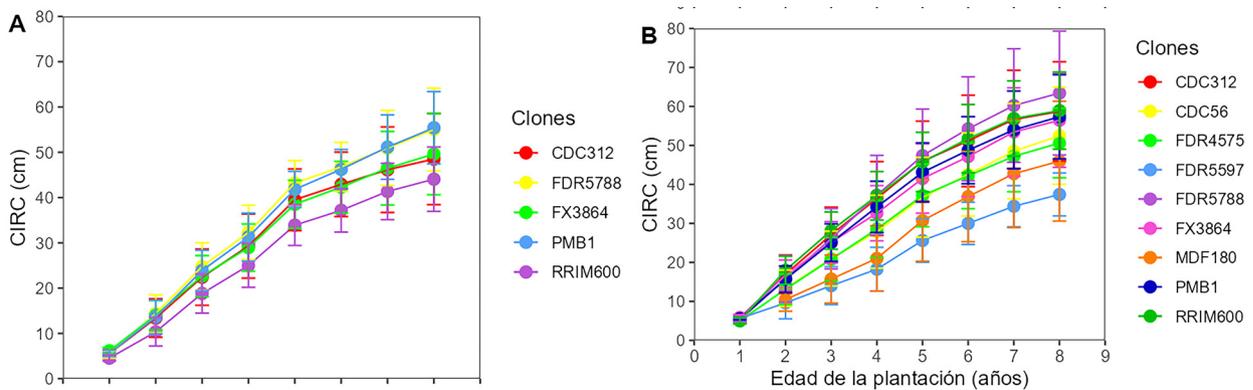


Figura 1. Crecimiento promedio en circunferencia del tronco (CIRC) de clones de *H. brasiliensis* en campos clonales a pequeña y gran escala La Libertad (A) y Taluma (B).

En las dos localidades las estructuras de varianza-covarianza y correlaciones entre mediciones sucesivas indicó que el mejor modelo fue ARH y se obtuvo el mayor R² (Tabla 2). Se observó diferencia significativa en los efectos de clon, edad e interacción clon x edad para la variable CIRC (Tabla 3), acorde a lo observado en etapa juvenil y madura de genotipos IAC, RRIM, PB y PR en un CCPE de São Paulo-Brasil (Gonçalves *et al.*, 2005). Esta interacción significativa implica que las tasas de crecimiento o los cambios promedio entre periodos de medición fueron diferentes entre clones (Figura 2 y Figura 3), similar a lo observado en pre-sangría al tercer, quinto y séptimo año en genotipos IAC, IRCA, PB y

RRIM en CCPE en São Paulo-Brasil (Alem *et al.*, 2015).

En CCPE La Libertad el mayor vigor en CIRC se registró desde el cuarto hasta el octavo año en FDR 5788 (Figura 2), con un IMA-CIRC promedio de 8,94 cm año⁻¹. Mientras que en CCGE Taluma (Figura 3), FDR 5788 fue superior entre el segundo y sexto año (IMA-CIRC promedio de 7,98 cm año⁻¹); no obstante, en el séptimo y octavo año se destacó PMB 1 (IMA-CIRC promedio de 7,11 cm año⁻¹). Los clones menos vigorosos fueron FDR 5597 (CCPE La Libertad) y RRIM 600 (CCGE Taluma). FDR 5597 también presentó menor crecimiento en Brasil y Ecuador (Rivano *et al.*, 2013).

Tabla 2. Comparación entre las estructuras varianza/correlación ajustados a los modelos mixtos en clones de *H. brasiliensis*.

Estructura de Varianza/ correlación	AIC	BIC	R ²	AIC	BIC	R ²
SC	30398,1	30880,8	0,761	62740,5	63221,6	0,852
AR1	30274,1	30432,7	0,793	62742,5	63230,8	0,853
ARH	29176,9	29330,5	0,876	61036,6	61524,9	0,967

SC: simetría compuesta; AR1: autoregresivo de orden 1; ARH: autoregresivo con varianzas heterogéneas a través de las edades.

Tabla 3. ANAVA a partir de los modelos lineales mixtos ajustados para clones de *H. brasiliensis*.

Efectos fijos	CCPE La Libertad			CCGE Taluma		
	Prueba F	gL	P	Prueba F	gL	P
Bloque	2,90	3/29	0,0563	0,25	3/12	0,8601
Clon	22,40	8/28	≤0,001	4439,70	4/12	≤0,001
Edad	1477,00	7/4138	≤0,001	7944,40	7/85	≤0,001
Clon x Edad	3,70	54/4138	≤0,001	13,90	28/85	≤0,001
σ ² parcela		22,943			0,520	
σ ² subparcela		5,780			0,131	
σ ² residuales		77,231			7,409	
R ²		0,761			0,967	

Efectos aleatorios

gL: grados de libertad (numerado/denominador); P: probabilidad del estadístico F; R²: coeficiente de determinación (solo considera efectos fijos). CCPE: campo clonal a pequeña escala; CCGE: campo clonal a gran escala.

Los mayores avances en evaluación de crecimiento en *H. brasiliensis* en Colombia, se encuentran en la región de la Amazonía, en la cual, nueve clones de las series ECC (Élite Caquetá Colombia) e IAN 873 se evaluaron (edad: 1 año) en función de la CIRC y la altura de planta en un CCGE de la Estación Experimental La Siringa (Caquetá); estudio que arrojó diferencias significativas y mayores valores en clones ECC (entre 4,58 y 5,98 cm) superando al testigo IAN 873 (3,64 cm) (Sterling, Galindo-Rodríguez, *et al.*, 2019).

En un CCGE en Puerto Carreño (Vichada), se evaluó la CIRC (edad: 12 y 36 meses) en FX 3864 (6,69 cm y 10,99 cm) y RRIM 600 (5,43 cm y 10,03 cm), ubicándolos en primer y segundo grupo de genotipos; IAN 710 presentó mejor vigor al tercer año y se observó diferencia significativa entre clones (Vélez-Sánchez y Nieto-Rodríguez, 2013). En condiciones edafoclimáticas del CCPE La Libertad (Piedemonte), la CIRC de FX 3864 y RRIM 600 fue superior a los 36 meses (25,15 y 28,17 cm), mientras que en el CCGE Taluma (Altillanura) fue inferior (8,47 y 8,61 cm).

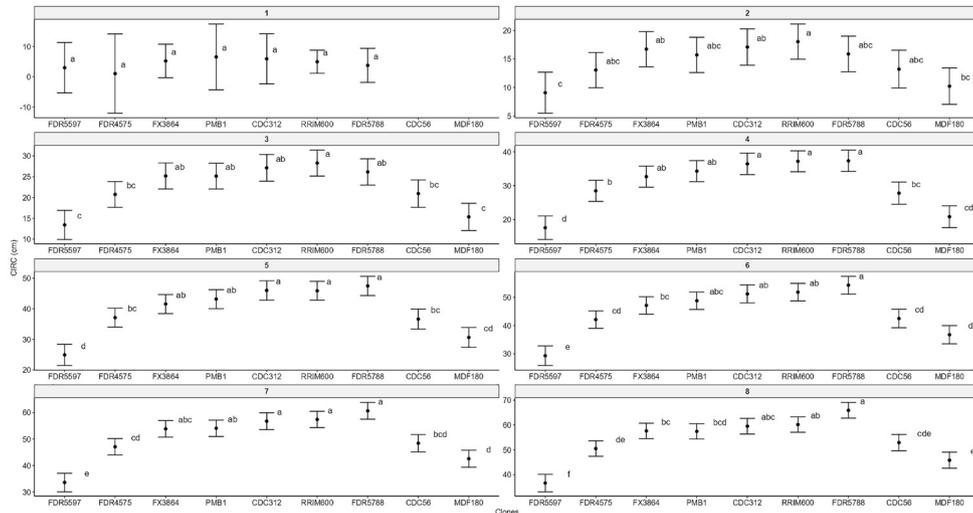


Figura 2. Agrupamiento de medias estimadas por el modelo lineal mixto para circunferencia del tronco (CIRC) de clones de *H. brasiliensis* en el campo clonal a pequeña escala La Libertad (Villavicencio, Meta). Medias con la misma letra son estadísticamente iguales al 5% de significancia.

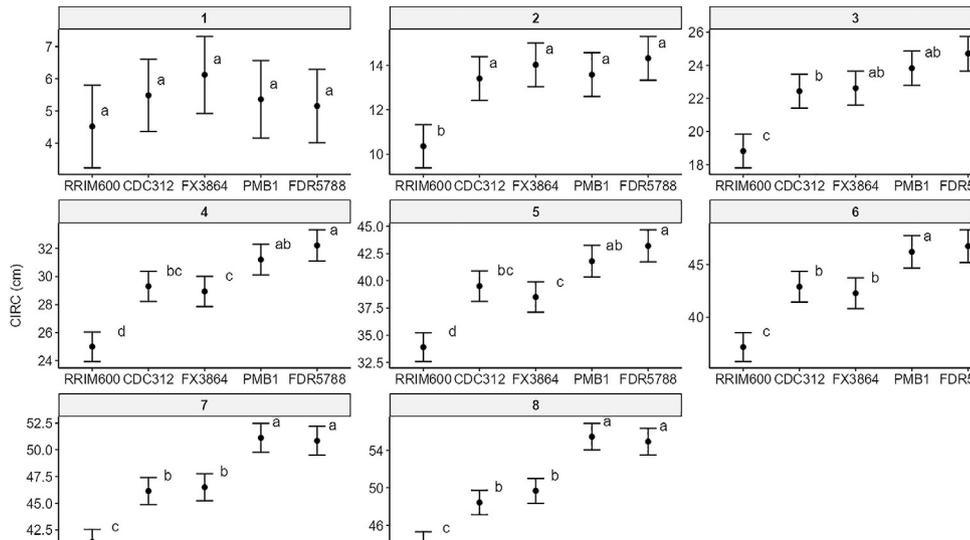


Figura 3. Agrupamiento de medias estimadas por el modelo lineal mixto para circunferencia del tronco (CIRC) de clones de *H. brasiliensis* en el campo clonal a gran escala Taluma (Puerto López, Meta). Medias con la misma letra son estadísticamente iguales al 5% de significancia.

En la Amazonía noroccidental colombiana, en CCGE establecidos en Belén de los Andaquíes, Florencia y San Vicente del Caguán (Caquetá), los valores medios de CIRC (cm) a la edad de 2 años fueron: FX 4098 (9,14), FDR 4575 (7,96), FDR 5788 (7,82), CDC 56 (6,99), MDF 180 (6,87), FDR 5597 (6,84) y CDC 312 (6,43) (Sterling *et al.*, 2012). Los materiales más vigorosos se encontraron en el CCGE de Belén

(8,59), que difirió significativamente de lo observado en CCGE Florencia y San Vicente. En el CCGE Belén de los Andaquíes, a la edad de ocho años la CIRC (cm) fue: CDC 312 (36,16), CDC 56 (38,21), FDR 5597 (42,75), FDR 4575 (36,97), FDR 5788 (44,04) y MDF 180 (36,30) (Sterling, Martinez, *et al.*, 2019). Al contrastar estos datos con los obtenidos en diferente localidad, la CIRC en FDR 5788 (7,82) y

CDC 312 (6,43) fue superior en el CCGE Taluma a esas mismas edades; allí un posible efecto del ambiente en el crecimiento. Como referencia para el Piedemonte y bajo las condiciones edafoclimáticas del CCPE La Libertad, la CIRC a la edad de dos años fue: FDR 5788 (15,80), RRIM 600 (17,99), (CDC 312, 16,98), FX 3864 (16,72), PMB 1 (15,70), CDC 56 (13,36), FDR 4575 (13,12), MDF 180 (10,48) y FDR 5597 (9,62).

En el CCGE de la Estación Experimental de Santo Domingo (Ecuador), la CIRC (cm) registrada en el primer año fue: CDC 312 (10,59), FX 3864 (10,12), FDR 5788 (9,96), CDC 56 (9,52), MDF 180 (9,39), FDR 5597 y FDR 4575 (9,36), y la sangría inició a los seis años (Rivano *et al.*, 2010). Bajo condiciones de la Altillanura Colombiana en el CCGE Taluma y a esa edad, los clones presentaron menores valores: FDR 5788 (5,28), RRIM 600 (4,53), CDC 312 (5,59), FX 3864 (6,16) y PMB 1 (5,40). En el CCGE de Ecuador, en el primer año se obtuvo diferencia estadística significativa entre los clones (Rivano *et al.*, 2010), contrario a lo observado en CCPE La Libertad y CCGE Taluma.

Referente al aprovechamiento, “el caucho necesita un considerable periodo para iniciar la cosecha de látex y los árboles tardan aproximadamente seis años para alcanzar 50 cm de circunferencia a 120 cm por encima de la unión del injerto para abrir el panel de sangría” (Nadeeshani *et al.*, 2021). En un CCGE en Bahía (Brasil) los clones más vigorosos en función de CIRC fueron FDR 5788 y FDR 4461, seguidos de CDC 312, MDF 180 y MDX 608. El desarrollo de la mayoría de los clones CMS permitió iniciar la sangría a los 6,5 años, mientras que en PMB 1 se esperó hasta el séptimo año (CIRC: 50 cm) y a los 10 años, FX 3864 no alcanzó la CIRC mínima (Cardoso *et al.*, 2014). En el CCPE La Libertad, los clones que superaron

50 cm de CIRC al sexto año fueron FDR 5788 (54,26), RRIM 600 (51,74) y CDC 312 (51,17), seguidos de FX 3864 (53,67) y PMB1 (54) al séptimo año, CDC 56 (53) y FDR 4575 (50,64) al octavo año; mientras que en el CCGE Taluma esto se evidenció al séptimo año en PMB 1 (51,12) y FDR 5788 (50,86).

Desde otra perspectiva, aunque los campos clonales de AGROSAVIA La Libertad y Taluma, se establecieron en el mismo año y semestre, el crecimiento en CIRC de los clones CDC 312, FDR 5788, FX 3864, PMB 1 y RRIM 600 fue disímil. Referente a los testigos comerciales, a la edad de ocho años, en el CCPE La Libertad RRIM 600 superó en CIRC a FX 3864, contrario a lo observado en el CCGE Taluma donde RRIM 600 tuvo el menor desempeño (Figura 2 y Figura 3). Para la selección de nuevos clones de *H. brasiliensis* es importante la evaluación de testigos comerciales, entre los que se han incluido FX 3864 (Rivano *et al.*, 2010, 2013; Cardoso *et al.*, 2014) y RRIM 600 (Alem *et al.*, 2015; Pereira *et al.*, 2019).

CONCLUSIONES

En clones de *H. brasiliensis* evaluados en función del crecimiento de la circunferencia del tronco, en la etapa juvenil y hasta la edad de ocho años, se observó crecimiento diferencial y efecto de clon, edad e interacción clon x edad, en los campos clonales La Libertad (Villavicencio, Meta) y Taluma (Puerto López, Meta) ubicados en la región de la Orinoquia colombiana.

Los clones de *H. brasiliensis* de la colección CMS de mayor vigor en función de la circunferencia de tronco mínima para abrir panel de sangría a una edad inferior de siete años fueron FDR 5788, CDC 312 y PMB 1 en el campo clonal La Libertad (Villavicencio, Meta) y en el campo clonal Taluma (Puerto López, Meta) fueron PMB

1 y FDR 5788. En una próxima etapa se evaluará el potencial de producción, se integrarán los resultados de monitoreo a la reacción a las principales enfermedades limitantes y se realizará análisis interacción genotipo x ambiente.

Conflictos de intereses

Los autores declaran que es un trabajo original y no existe conflicto de intereses de ningún tipo en la elaboración y publicación del manuscrito.

AGRADECIMIENTOS

Esta publicación se deriva de los resultados e información obtenidos en desarrollo del proyecto “Evaluación del comportamiento de clones de caucho en etapa productiva temprana, en cuatro regiones caucheras de Colombia”, en el convenio marco N° 494 y 498 “Convenio Marco de Cooperación”; ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA y Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement – CIRAD, en el ámbito de la Agenda Dinámica Corporativa, financiado con recursos públicos a través del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Al consorcio CIRAD-Michelin por la puesta a disposición de los clones CMS para su evaluación en Colombia. A Aníbal Tapiero por la gestión del proyecto en su fase inicial, Ferney López, David Hernández, Maribel Tarazona, Hernán Camacho y Oscar Triana por su apoyo en la toma de datos en campo.

REFERENCIAS

- Ajith, S. V., Nair, N. N., Sathik, M. B. M. y Meenakumari, T. 2021.** Breeding for low-temperature stress tolerance in *Hevea brasiliensis*: Screening of newly developed clones using latex biochemical parameters. *Journal of Rubber Research*, 24(5): 819-828. <https://doi.org/10.1007/s42464-021-00143-2>
- Akaike, H. 1974.** A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6): 716-723. <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>.
- Alem, H. M., Gouvêa, L. R. L., Silva, G. A. P., Oliveira, A. L. B. de y Gonçalves, P. de S. 2015.** Avaliação de clones de seringueira para a região noroeste do Estado de São Paulo. *Revista Ceres*, 62, 430-437. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562050002>
- Cardoso, S. E. A., Freitas, T. A., Silva, D. da C., Gouvêa, L. R. L., Gonçalves, P. de S., Mattos, C. R. R. y Garcia, D. 2014.** Comparison of growth, yield and related traits of resistant Hevea genotypes under high South American leaf blight pressure. *Industrial Crops and Products*, 53, 337-349. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.12.033>
- Garcia, D., Le Guen, V., Mattos, C. R. R., Gonçalves, P. S. y Clément-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(2): 307-318.
- Garcia, D., Mattos, C. R. R., Gonçalves, P. S. y Le Guen, V. 2004.** Selection of rubber clones for resistance to South American leaf blight and latex yield in the germplasm of the Michelin plantation of Bahia (Brazil). *Journal of Rubber Research*, 7(3): 188-198.
- Gonçalves, P. D. S., Bataglia, O. C., Ortolini, A. A. y Fonseca, F. de S. 2001.** Manual de heveicultura para o estado de São Paulo. Serie Tecnológica APTA. Boletín técnico 189. Instituto Agrônômico - IAC.

- Gonçalves, P. de S., Bortoletto, N., Cardinal, Á. B. B., Gouvêa, L. R. L., Costa, R. B. da. y Moraes, M. L. T. de. 2005.** Age-age correlation for early selection of rubber tree genotypes in São Paulo State, Brazil. *Genetics and Molecular Biology*, 28, 758-764. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572005000500018>
- Gutiérrez, A. J., Correa Pinilla, D. E., Gómez Valderrama, J. A., Amado Saavedra, G. M., Martínez Atencia, J., Álvarez-Láinez, M. L., Córdoba Gaona, O. de J., Tapiero Ortiz, A. L., Monsalve García, D. A. y Gil Restrepo, J. P. 2022.** Modelo productivo para el cultivo de caucho natural (*Hevea brasiliensis*) en el bajo Cauca antioqueño y en el sur de Córdoba (Primera). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7405828>
- Gutiérrez-Vanegas, A. J., Correa-Pinilla, D. E., Gil-Restrepo, J. P., López-Hernández, F. G., Guerra-Hincapié, J. J. y Córdoba-Gaona, O. de J. 2020.** Foliar and flowering phenology of three rubber (*Hevea brasiliensis*) clones in the eastern plains of Colombia. *Brazilian Journal of Botany*, 43(4), 813-821. <https://doi.org/10.1007/s40415-020-00644-1>
- Hazir, M. H. M., Gloor, E. y Galbraith, D. 2022.** Hydraulic traits predict stem growth across *Hevea brasiliensis* clones in a Malaysian climatically marginal area. *Forest Ecology and Management*, 504, 119864. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119864>
- Hernández, F. J., Meraz Aragón, J. C., Larreta, B. V. y Nájera Luna, J. A. 2020.** Crecimiento en diámetro, altura, área basal y volumen para tres especies de pino en Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(60), Art. 60. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i60.711>
- Hernández-Arredondo, J. D., García, D. A. M., Hincapié, J. J. G., Beltrán, R. L. H., Zuleta, S. L. y Gaona, O. de J. C. 2023.** Estimulación de árboles de caucho bajo diferentes frecuencias de sangría en el Noroeste de Colombia. *Colombia forestal*, 26(1):1. <https://doi.org/10.14483/2256201X.19106>
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas. 2012.** Ampliación de la base genética de caucho natural con proyección para la Amazonia colombiana: Fase de evaluación en periodo improductivo a gran escala (A. Sterling Cuéllar & C. H. Rodríguez León, Eds.). Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – SINCHI. <https://sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/Ampliacion%20BG%20del%20Caucho%20Natural%20web.pdf>
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas. 2017.** Bases técnicas para la selección, propagación y establecimiento de materiales regionales élite de caucho en Caquetá (A. Sterling Cuéllar & C. H. Rodríguez León, Eds.; Primera edición). Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI. [https://sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/Manual%20Caucho%20SGR%20-%20Web%20\(1\).pdf](https://sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/Manual%20Caucho%20SGR%20-%20Web%20(1).pdf)
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas. 2018.** Estrategias de manejo para las principales enfermedades y plagas del cultivo del caucho con énfasis en la Amazonia Colombiana (A. Sterling Cuéllar & C. H. Rodríguez, Eds.). Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – SINCHI. <https://sinchi.org.co/estrategias-de-manejo-para-las-principales-enfermedades-y-plagas-del-cultivo-del-caucho-con-enfasis-en-la-amazonia-colombiana>

- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas. 2020a.** Valoración de nuevos clones de *Hevea brasiliensis* con proyección para la Amazonia colombiana: Fases de pre y post-sangría temprana en el Caquetá (A. Sterling Cuéllar & C. H. Rodríguez, Eds.). <https://sinchi.org.co/files/publicaciones/novedades%20editoriales/pdf/Valoracion%20Nuevos%20Clones.pdf>
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas. 2020b.** Valoración inicial del potencial productivo de *Hevea brasiliensis* en la Amazonia colombiana mediante la evaluación de nuevos clones promisorios para la región (A. Sterling Cuéllar & Rodríguez León, Eds.). <https://sinchi.org.co/valoracion-inicial-del-potencial-productivo-de-hevea-brasiliensis-en-la-amazonia-colombiana-mediante-la-evaluacion-de-nuevos- clones-promisorios-para-la-region>
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. 2020.** Evaluaciones Agropecuarias Municipales EVA | Datos Abiertos Colombia. Datos Abiertos. <https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-Agropecuarias-Municipales-EVA/2pnw-mmge>
- Nadeeshani, A. a. A., Palihakkara, I. R. y Kudaligama, K. V. V. S. 2021.** Assessing Growth and Physiological Parameters of Young *Hevea brasiliensis* to Identify Adaptable Clones for WL1a Agroecological Region in Sri Lanka (2). 14(2): 2. <https://doi.org/10.4038/jfa.v14i2.5261>
- NASA. 2021.** NASA POWER | Prediction Of Worldwide Energy Resources. <https://power.larc.nasa.gov/>
- Ortiz-Cervantes, E., Hernández-Cruz, J. M. y Moctezuma-López, G. 2022.** Efecto de densidades de población sobre crecimiento y rendimiento de hule en Veracruz. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 13(7): 1221-1231. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i7.2652>
- Pagliari, P., Galindo, F. S., Strock, J. y Rosen, C. 2022.** Use of repeated measures data analysis for field trials with annual and perennial crops. Plants, 11(13): 13. <https://doi.org/10.3390/plants11131783>
- Pereira, A. V., Pereira, E. B. C., Martins, M. A. y Mattoso, L. H. C. 2019.** Avaliação de clones de seringueira na região de Goianesia/GO. 4. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1113936/1/Ailton.pdf>
- Piepho, H. P., Büchse, A. y Richter, C. 2004.** A Mixed Modelling Approach for Randomized Experiments with Repeated Measures. Journal of Agronomy and Crop Science, 190(4): 230-247. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2004.00097.x>
- Pinheiro, J. C. y Bates, D. M. 2000.** Mixed-Effects Models in S and S-PLUS. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/b98882>
- Posit team. 2023.** RStudio: Integrated Development Environment for R. Posit Software, PBC, Boston, MA. Posit. <https://www.posit.co/>
- Priyadarshan, P. M. 2017.** Refinements to *Hevea* rubber breeding. Tree Genetics & Genomes, 13(1): 20. <https://doi.org/10.1007/s11295-017-1101-8>
- Priyadarshan, P. M., Gonçalves, P. S. y Omokhafa, K. O. 2009.** Breeding *Hevea* Rubber. En S. M. Jain & P. M. Priyadarshan (Eds.), Breeding Plantation Tree Crops: Tropical Species (pp. 469-522). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-71201-7_13
- R Core Team. 2023.** R: A Language and Environment for Statistical Computing. R: The R Project for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>

- Rivano, F., Martínez, M., Cevallos, V. y 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 of Plant Pathology*, 126(4), Art. 4. <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9563-7>
- Rivano, F., Mattos, C. R. R., Cardoso, S. E. A., Martínez, M., Cevallos, V., Le Guen, V. y García, D. 2013.** Breeding *Hevea brasiliensis* for yield, growth and SALB resistance for high disease environments. *Industrial Crops and Products*, 44, 659-670. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.09.005>
- Ruíz Avila, C. A. y Tapiero, A. L. 2022.** Protocolo para la certificación por conformidad genética de clones en jardines de propagación de caucho (*Hevea brasiliensis*). *Revista Colombiana de Biotecnología*, 24(1), 56-61. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v24n1.83584>
- Schwarz, G. 1978.** Estimating the dimension of a model. *The Annals of Statistics*, 6(2), 461-464. <https://doi.org/10.1214/aos/1176344136>
- Sterling, A., Galindo-Rodríguez, L. C., Suárez-Córdoba, Y. D., Velasco-Anacona, G., Andrade-Ramírez, T. y Gómez-Torres, A. K. 2019.** Early assessing performance and resistance of Colombian rubber tree genotypes under high South American Leaf Blight pressure in Amazon. *Industrial Crops and Products*, 141, 111775. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111775>
- Sterling, A., Martínez, E., Pimentel Parra, G., Suarez Cordoba, Y., Fonseca-Restrepo, J. y Diaz, Y. 2019.** Dynamics of adaptive responses in growth and resistance of rubber tree clones under South American leaf blight non-escape conditions in the Colombian Amazon. *Industrial Crops and Products*, 141, 111811. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111811>
- Sterling, A., Martínez-Viuche, E. J., Suárez-Córdoba, Y. D., Agudelo-Sánchez, A. A., Fonseca-Restrepo, J. A., Andrade-Ramírez, T. K. y Virguez-Díaz, Y. R. 2020.** Assessing growth, early yielding and resistance in rubber tree clones under low South American Leaf Blight pressure in the Amazon region, Colombia. *Industrial Crops and Products*, 158, 112958. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112958>
- Sterling, A., Rodríguez León, C. H., Dussán Huaca, I., Castillo Ospina, J. O., Ruiz Torres, P. N. y Jara Jimenez, L. Y. 2012.** Desempeño de diez clones de caucho natural en campo clonal a gran escala en condiciones de la Amazonía Colombiana. *Revista Colombia Amazónica*, 5, 161-175.
- Sterling, A., Suárez, J. C., Rodríguez, D. F. C., Rodríguez León, C. H., Salas-Tobón, Y. M. y Virgüez-Díaz, Y. R. 2015.** Crecimiento inicial de clones promisorios de *Hevea brasiliensis* (Willd. Ex A. Juss.) Müll. Arg. En sistema agroforestal en Caquetá, Colombia. *Colombia forestal*, 18(2), Art. 2. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2015.2.a01>
- Tangonyire, D. F. 2019.** Assessing the growth performance of two different *Hevea brasiliensis* clones (IRCA 41 and GT 1) in the Guinea savanna soil in the northern region of Ghana. *Malaysian Journal of Sustainable Agriculture*, 3(2): 46-55. <https://doi.org/10.26480/mjsa.02.2019.46.55>
- Thanh, T., Thanh Nhan, N., Van Truong, V. y Dinh Minh, T. 2022.** Effects of planting density on growth and yield attributes of rubber trees (*Hevea brasiliensis*). *J. Trop. Agric. Sci.*, 45(1): 245-256. <https://doi.org/10.47836/pjtas.45.1.14>

Universidad Nacional de Colombia , Sede Bogotá. 2016. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia: Vol. I Capítulos introductorios-Líquenes a Lythraceae (R. Bernal, S. R. Gradstein, & M. Celis, Eds.). Universidad Nacional de Colombia.

Vélez-Sánchez, D. F. V. y Nieto-Rodríguez, V. M. 2013. Desempeño inicial de clones de caucho en el municipio de Puerto Carreño – Vichada, Colombia. Colombia forestal, 16(2): Art. 2. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2013.2.a05>