



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS



Estimulación de árboles de caucho bajo diferentes frecuencias de sangría en el Noroeste de Colombia

Stimulation of Rubber Trees with Different Tapping Frequencies in the Northwest of Colombia

Juan David Hernández-Arredondo¹ , Danilo Augusto Monsalve-García¹ ,
Juan José Guerra-Hincapié¹ , Ruddy Lizette Huertas-Beltrán¹ , Santiago López-Zuleta^{1*}  ,
Oscar de Jesús Córdoba-Gaona² 

Hernández-Arredondo, J. D., Monsalve-García, D. A., Guerra-Hincapié, J. J., Huertas-Beltrán, R. L., López-Zuleta, S., & Córdoba-Gaona, O. de J. (2023). Estimulación de árboles de caucho bajo diferentes frecuencias de sangría en el Noroeste de Colombia. *Colombia Forestal*, 26(1), 109-122.

Recepción: 18 de febrero 2022

Aprobación: 28 de septiembre 2022

Resumen

Las plantaciones de caucho natural del Bajo Cauca antioqueño requieren una alta intensidad de sangría. Esto genera un mayor costo de la mano de obra y sobreexplotación, razón por la que se evaluaron parámetros fisiológicos y de producción en árboles de caucho del clon FX3864, los cuales fueron sometidos a distintas frecuencias de sangría y estimulación química en el Nordeste de Antioquia, Colombia. Se comparó la producción de látex y el contenido de sacarosa, fósforo inorgánico, tioles y sólidos totales en plantas estimuladas con etefón al 2.5 % y sometidas a tres frecuencias de sangría (cada dos, tres y cuatro días). La mayor producción de látex se alcanzó en árboles estimulados y sangrados cada cuatro días (170.99 mL.d⁻¹ por árbol), sin indicios de sobreexplotación para esta frecuencia. La estimulación y la disminución de la intensidad de sangría del árbol de caucho aumentan el rendimiento sin alteraciones metabólicas significativas.

Palabras clave: etefón, *Hevea brasiliensis*, látex, metabolismo, parámetros fisiológicos.

Abstract

The natural rubber plantations of Bajo Cauca (Antioquia) require a high tapping intensity. This generates a higher cost of labor and overexploitation. This is why physiological and production parameters were evaluated in rubber trees clone FX3864, which were subjected to different tapping frequencies and chemical stimulation in Northeast of Antioquia, Colombia. The latex yield and the contents of sucrose, inorganic phosphorus, thiols, and total solids content were compared in rubber trees stimulated with 2.5% ethephon and subjected to three tapping frequencies (every two, three, and four days). The highest latex production was reached in trees stimulated and tapped every four days (170.99 mL.d⁻¹ per tree), without indications of overexploitation for this frequency. Stimulation and the reduction of tapping intensity in rubber trees increase the yields without significant metabolic alterations.

Keywords: ethephon, *Hevea brasiliensis*, latex, metabolism, physiological parameters.

¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, AGROSAVIA, Centro de Investigación El Nus, San Roque, Antioquia, Colombia.

² Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.

* Autor de correspondencia.

INTRODUCCIÓN

El caucho *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg. es un árbol originario de la cuenca del Amazonas, del cual se extrae látex natural (Bellacicco *et al.*, 2018; Bottier, 2020). En Colombia se identifican cinco núcleos productivos (Orinoquía, Magdalena Medio, Magdalena Centro, Cordón Cauchero Cacaotero y Amazonía), los cuales están distribuidos a lo largo de la geografía del país (Confederación Cauchera Colombiana (CCC), 2016). No obstante, el 88 % de la producción se concentra en cuatro departamentos (Meta, Caquetá, Santander y Antioquia), entre los que Antioquia participa con el 10% (Castro-Navarro *et al.*, 2020).

En las plantaciones de caucho es importante identificar el comportamiento fenológico, especialmente la dinámica estacional del crecimiento de las hojas, debido a que la defoliación reduce significativamente el índice de área foliar (IAF), lo cual afecta la capacidad de interceptación lumínica, la tasa fotosintética y, en consecuencia, la producción de látex y caucho seco (Leong *et al.*, 1982; Saelim *et al.*, 2019). Además, el árbol requiere de mayores reservas de carbohidratos para la producción de raíces finas y hojas nuevas durante la defoliación (Saelim *et al.*, 2019).

De acuerdo con Gunasekera *et al.* (2013), el látex corresponde al citoplasma celular, y su biosíntesis sucede en los vasos que se encuentran en los tejidos del floema (Purwaningrum *et al.*, 2019). En este sentido, la producción de látex y el crecimiento del árbol necesitan de los mismos asimilados derivados de la fotosíntesis, por lo que es necesario que se aproveche adecuadamente el látex para mantener el equilibrio entre la producción y el crecimiento (Chantuma *et al.*, 2006). Se sabe que las tecnologías más eficientes para la extracción de látex debilitan el estado fisiológico de los árboles, y que estas deberán adaptarse al metabolismo cada clon y a las condiciones de cada región productora (Adou *et al.*, 2018).

A nivel mundial, la explotación del caucho natural basada en sangría de baja intensidad con

aplicación de estimulantes a base de etileno (de Faÿ & Jacob, 2018) ha favorecido ampliamente la disminución en los costos de producción y la mano de obra (Rodrigo *et al.*, 2012; Vijayakumar *et al.*, 2001). Por ejemplo, mediante la aplicación del ácido 2-cloroetil fosfónico (etefón), se retrasa el cierre de los vasos laticíferos, pues esto aumenta la permeabilidad de las membranas, prolonga la salida del látex y, por consiguiente, aumenta la producción (Liu, 2016).

Rivano *et al.* (2015) mencionan que la estimulación hormonal con etefón permite mejorar la productividad mediante la reducción de la frecuencia de sangría. También aclaran que, para no sobrepasar el potencial de producción de los clones y evitar su colapso fisiológico, es necesario conocer su metabolismo. Esto, debido a que la sobreestimulación puede inducir un estrés oxidativo al interior de las células laticíferas, lo cual conlleva a un desorden fisiológico conocido como panel seco o *tapping pannel dryness* (TPD), que da como resultado el cese de la producción de látex (Jacob *et al.*, 1994). Lo anterior es causado por la producción de compuestos que deterioran tanto las membranas como la paredes de las células laticíferas, alteración que conduce a un desorden en el sistema laticífero del árbol (Liu, 2016; Putranto *et al.*, 2015), principalmente mediante la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS). Por lo tanto, el éxito de la estimulación enfocada al aumento de la producción sin ocasionar problemas de secamiento del panel dependerá de conocimientos relacionados con el material genético, los parámetros fisiológicos del látex, la edad de la plantación, la fenología, el estado nutricional, la frecuencia de sangría, la dosificación y el estado del clima y el tiempo (oportunidad de la aplicación) (Rivano *et al.*, 2015).

Los contenidos de sacarosa, fósforo inorgánico, tioles y sólidos totales (parámetros fisiológicos) intervienen en el flujo de látex y la regeneración celular entre sangrías, lo cual es determinante para su producción. Por medio de la determinación de los parámetros fisiológicos, se han podido establecer

las condiciones de sub- o sobreexplotación de las plantaciones de caucho natural, así como la posibilidad de implementar un programa de estimulación (Lacote et al., 2010; Nguyen et al., 2017). Lacote et al. (2010) reportan que la estimulación con etefón es esencial para incrementar la producción de látex tanto en grandes como en pequeños productores. Sin embargo, en Colombia, el estudio de los parámetros fisiológicos que permiten conocer el estado metabólico de los árboles es escaso. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar distintos parámetros fisiológicos y de producción en árboles de caucho del clon FX3864, los cuales fueron sometidos a distintas frecuencias de sangría con y sin estimulación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y generalidades de la zona de estudio

El estudio se realizó en una parcela ubicada en el municipio de El Bagre, Antioquia, Colombia. El suelo tenía textura arcillosa y un pH de 4.4. El régimen de lluvias era bimodal, con periodos secos entre diciembre y febrero y entre junio y agosto. La precipitación acumulada media anual fue de 4481 mm, con una temperatura máxima de 29 °C y una mínima de 23 °C (IDEAM, 2021).

Características de la plantación

Las observaciones de campo se llevaron a cabo durante el año 2021 en una plantación de caucho de 12 años, que inició la etapa productiva a los 8 años de establecida y bajo un sistema de explotación S/2 (media espiral), con sangría cada tres días (d3), siete días a la semana (7d/7), doce meses al año (12m/12). El material vegetal correspondió en un 80 % al clon FX3864, corroborado mediante pruebas de identidad genética a través de los cinco microsatélites más polimórficos (SSR). En 2020 se realizaron aportes de correctivos y fertilizantes al suelo, así: cal dolomita (333 kg.ha⁻¹), diamonio fosfato (50

kg.ha⁻¹), urea (100 kg.ha⁻¹), cloruro de potasio (83 kg.ha⁻¹), sulfato de magnesio (33 kg.ha⁻¹) y agrimins (50 kg.ha⁻¹). Las cantidades indicadas se repartieron en un total de 504 árboles (1 ha).

Descripción del estudio

Como factores fijos se establecieron cuatro frecuencias de sangría (FS): d3 (cada tres días, usado convencionalmente en la finca), d4 (cada cuatro días) y d5 (cada cinco días); y la aplicación del ácido 2-cloroetilfosfónico (etefón) al 2.5 % en el 50 % de los árboles, a razón de 1 mL por árbol. Esta mitad recibió estimulación (ET), y la otra permaneció sin aplicación ni estimulación (NET). Las fechas de aplicación correspondieron a los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2020, así como marzo, abril y mayo de 2021 (una por mes).

Ontogenia foliar y parámetros fisiológicos

Para definir las épocas de defoliación y renovación foliar, entre noviembre de 2019 y mayo de 2021 se realizó una evaluación de la densidad foliar a partir de una escala de 0 a 10, en donde 0 corresponde al árbol completamente defoliado y 10 corresponde al 100 % de las hojas en el dosel (Cevallos et al., 2012; Rivano et al., 2016). En paralelo, se caracterizó la ontogenia foliar mediante la cuantificación del porcentaje de los estados de desarrollo (A, B, C, D) de las hojas (Lieberei, 2007). El ciclo foliar de cada año se representó con un número consecutivo (Gutiérrez-Vanegas et al., 2020). Así, los estados D1, D2 y D3 correspondían a los ciclos anuales de la plantación para los años 2019, 2020, y 2021 respectivamente. Entre julio de 2020 y abril de 2021 se registró la producción de látex en todos los árboles objeto de estudio. Para ello se empleó una probeta graduada y se cuantificó el volumen de látex por árbol. Además, se utilizaron los registros de precipitación media mensual, obtenidos de la base histórica de datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM, 2021).

Para conocer el estado metabólico de los árboles y evaluar el efecto del estimulante en cada FS, se cuantificaron los siguientes parámetros fisiológicos: sacarosa (SAC) en mmol.L^{-1} como insumo inicial para la biosíntesis de la molécula de caucho, fósforo inorgánico (Pi) en mmol.L^{-1} como indicador del gasto energético de las células y tioles (RSH) en mmol.L^{-1} como agente protector de las membranas de las células para disminuir el estrés oxidativo. Además, se midió el contenido de sólidos totales en porcentaje (CST). Los registros se suspendieron durante el período de defoliación/renovación foliar (enero a marzo de 2021). Para evitar síntomas de sobreexplotación que provocaran un deterioro de la plantación, se utilizaron los rangos descritos por D'Auzac y Jacob (1989), en los que se considera que una plantación está sobreexplotada si presenta un contenido de sólidos totales $< 30.00\%$, de sacarosa $< 5.00 \text{ mmol.L}^{-1}$, de Pi $> 20.00 \text{ mmol.L}^{-1}$ y de RSH > 0.90 o $< 0.40 \text{ mmol.L}^{-1}$. Esto, aunado al secamiento de panel.

Para caracterizar los parámetros fisiológicos del látex se realizaron colectas mensuales mediante punción cerca al panel de sangría en diferentes árboles de cada unidad de observación (entre 8 y 12 árboles), en aras de conformar una sola muestra por tratamiento, de acuerdo con la metodología de Sainoi *et al.* (2017). Para la medición de los parámetros fisiológicos, se emplearon los métodos desarrollados por CIRAD y CNRA, adaptados en 1995 por IRRDB (Jacob *et al.*, 1988). El contenido de SAC se obtuvo mediante el método de Antrona (Ashwell, 1957), y el de Pi a través del de Taussky y Shorr (1953).

Análisis de datos

Para determinar el efecto de la estimulación y la frecuencia de sangría sobre la fisiología del látex, se usó la ecuación: $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varphi_j + \tau_i * \varphi_j + e_{ij}$, donde Y_{ij} corresponde a cada una de las variables, μ es la media general, τ_i es el efecto de la i -ésima estimulación, φ_j es el efecto de la j -ésima frecuencia de

sangría, $\tau_i * \varphi_j$ es la interacción entre niveles de estimulación y frecuencias de sangría, y e_{ij} representa los residuales. A partir de esto, se realizó un análisis de varianza (ANOVA, $\alpha = 0.05$) de dos vías con la ayuda del paquete *agricolae* (Mediburu, 2020) del entorno estadístico R (R Core Team, 2020). Cuando se presentó interacción entre los niveles, se analizaron los efectos simples; y cuando no, los efectos principales por el método de Tukey ($\alpha = 0.05$) para comparar las medias. También se hizo un análisis de componentes principales (ACP) con las variables originales previamente descritas y, posteriormente, se realizó una representación Biplot, lo cual permitió observar la agrupación de los datos con base en las variables originales y el factor discriminatorio de estimulación (paquete *ggplot2*; Wickham, 2016) del entorno estadístico R (R Core Team, 2020).

RESULTADOS

Ontogenia foliar

Durante los meses de diciembre de 2019 y enero y febrero de 2020 y 2021, se registraron las menores precipitaciones (aproximadamente 100 mm.mes^{-1}), fechas que coinciden con las épocas de defoliación y renovación foliar. No obstante, en el mes de julio de 2020 ocurrió una leve disminución en la precipitación, cercana a 440 mm.mes^{-1} , pero no se generó un estímulo que causara defoliación. Para los años 2020 y 2021, el período de defoliación estuvo concentrado entre los meses de enero y febrero (Figura 1). En febrero de 2020 y marzo de 2021, posterior al período de defoliación, se presentó la brotación foliar; se encontraron todos los estados: hojas en estado D del ciclo anterior, ausencia de hojas, y todos los estados ontogénicos de las hojas, desde el estado A (desarrollo del meristemo) hasta el D (maduración total de la hoja). Este proceso tuvo una duración de un mes; en los meses posteriores a la renovación foliar, la densidad foliar estuvo entre 80 y 90 %.

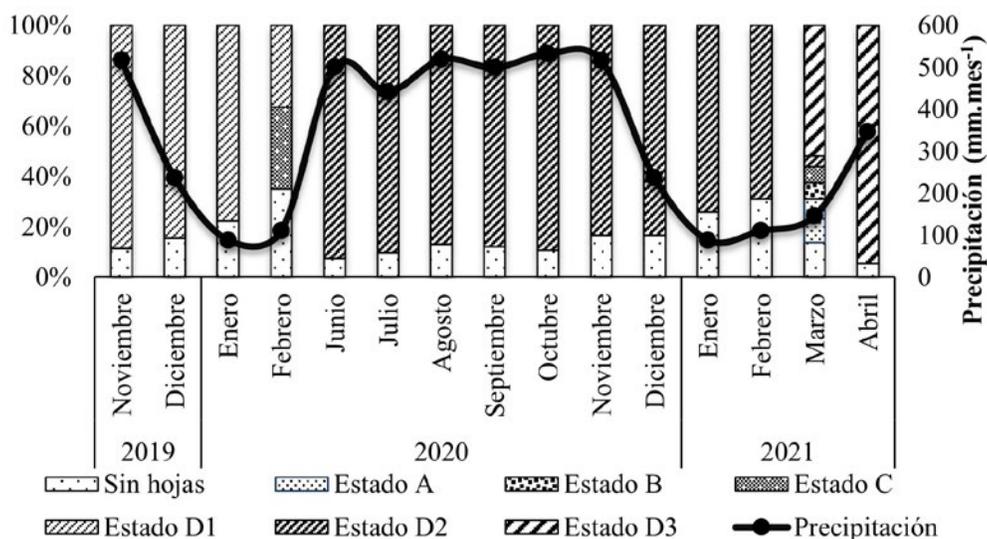


Figura 1. Densidad y ontogenia foliar de *H. brasiliensis* para los estados de desarrollo A (desarrollo inicial del meristemo foliar), B (hojas rojas inmaduras), C (hojas verde claro inmaduras), D1 (hojas maduras 2019), D2 (hojas maduras 2020) y D3 (hojas maduras 2021); y precipitación media mensual histórica en el municipio de El Bagre, Antioquia.

Parámetros fisiológicos del látex

Para la variable SAC, la interacción entre la frecuencia de sangría y la estimulación resultó significativa ($p < 0.05$) (Figura 2a). Al evaluar los efectos simples, se encontró que las plantas con frecuencia de sangría d3 estimuladas tuvieron un contenido de SAC inferior (6.14 mmol.L^{-1}) en comparación con las plantas en d4 estimuladas ($13.26 \text{ mmol.L}^{-1}$), d5 estimuladas ($10.57 \text{ mmol.L}^{-1}$), y d5 sin estimular ($18.89 \text{ mmol.L}^{-1}$).

Respecto a la variable contenido de Pi, no se observó una interacción significativa entre los factores FS y ET ($p > 0.05$). Al evaluar los efectos principales, la estimulación resultó ser el único factor significativo ($p < 0.05$). Así, independientemente de la FS utilizada, las plantas tratadas con etefón al 2.5 % presentaron valores medios de $11.32 \text{ mmol.L}^{-1}$, los cuales fueron significativamente superiores ($p < 0.05$) a la media encontrada en los árboles NET (7.60 mmol.L^{-1}).

Para los RSH, la interacción entre los factores FS y ET resultó significativa ($p < 0.05$) (Figura 1b), razón por la cual se procedió con la evaluación de los efectos simples. El mayor contenido de RSH se registró en la frecuencia d5 con y sin estimulante (0.28 y 0.28 mmol.L^{-1} respectivamente), superior a lo encontrado en los demás tratamientos (Tabla 1). Para el caso de la frecuencia d4 sin estimular, se obtuvo el menor valor medio, cercano a la mitad con respecto a los demás tratamientos (0.14 mmol.L^{-1}).

El CST no presentó diferencias significativas para la interacción de los tratamientos ($p > 0.05$). Al evaluar los efectos principales, la ET y la FS resultaron significativas ($p < 0.05$), lo cual permite resaltar un valor superior en las plantas sin estimular, con un CST del 52 % en comparación con las estimuladas, que alcanzaron una media del 48 %. Sumado a esto, el CST de las frecuencias de sangría d4 (52 %) y d5 (49 %) fueron significativamente diferentes con respecto a d3 (47 %) ($p < 0.05$).

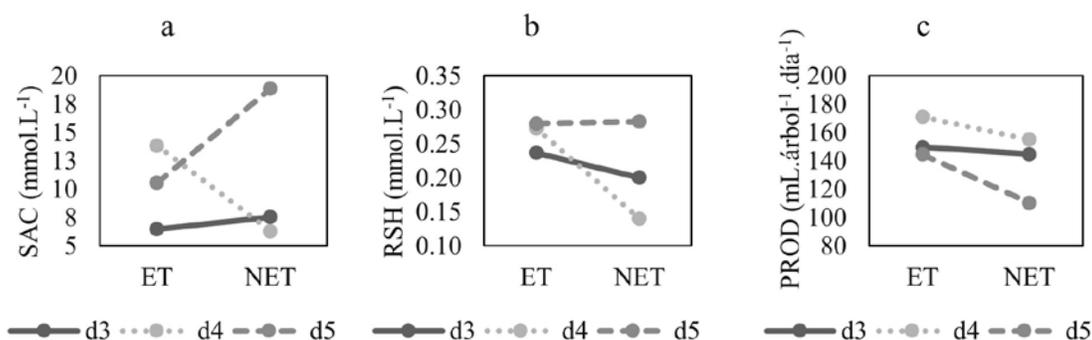


Figura 2. Representación gráfica de la interacción entre los factores de estimulación y la frecuencia de sangría. a: sacarosa (SAC) en mmol.L⁻¹; b: tioles (RSH) en mmol.L⁻¹; c: producción (PROD) en mL.árbol⁻¹ día⁻¹. ET: árboles estimulados; NET: árboles sin estimulación.

Tabla 1. Valores medios de producción y parámetros fisiológicos del látex (sacarosa, fósforo inorgánico, tioles y contenido de sólidos totales) en árboles de caucho natural del clon FX3864

FRECUENCIA	ESTIMULACIÓN	PROD (mmol.L ⁻¹ árbol ⁻¹ día ⁻¹)	SAC (mmol.L ⁻¹)	Pi (mmol ⁻¹ L ⁻¹)	RSH (mmol ⁻¹ L ⁻¹)	CST (%)
d3	ET	149.61	6.14	10.83	0.24	46
d3	NET	144.76	7.56	8.36	0.20	49
d4	ET	170.99	13.26	11.72	0.27	50
d4	NET	155.09	6.04	5.62	0.14	53
d5	ET	144.65	10.57	11.44	0.28	46
d5	NET	110.46	18.89	8.84	0.28	52

PROD: Producción de látex fresco; SAC: contenido de sacarosa; Pi: contenido de fósforo inorgánico; RSH: contenido de tioles; CST: contenido de sólidos totales; d3: sangrado cada 3 días; d4: sangrado cada 4 días; d5: sangrado cada 5 días; ET: árboles estimulados; NET: árboles sin estimulación.

La producción de caucho presentó diferencias significativas para la interacción entre la FS y la ET. Como se observa en la [Figura 2c](#), las plantas estimuladas con etefón y sangradas cada cuatro días (d4) tuvieron una producción superior (170.99 mL.d⁻¹ por árbol) en comparación con las demás frecuencias con o sin estimulación. También se destaca que, para todas las frecuencias de sangría, las plantas estimuladas tuvieron una producción superior cuando se aplicó el etefón, en contraste con aquellas que no recibieron el estimulante.

En la representación Biplot ([Figura 3](#)) se observa una separación (con algunos traslapes) entre los individuos estimulados y los no estimulados. Los

individuos estimulados tuvieron una mayor producción y contenido de Pi, mientras que, en la mayoría de los casos, los individuos no estimulados tuvieron un mayor contenido SAC y CST. Al agrupar todas las variables, el contenido de RSH fue independiente a la estimulación.

DISCUSIÓN

Se observó una reducción en la precipitación, la cual, según el trabajo de [Guerra-Hincapié et al. \(2020\)](#) en la zona de estudio, está asociada a un déficit hídrico paralelo a la época de defoliación y

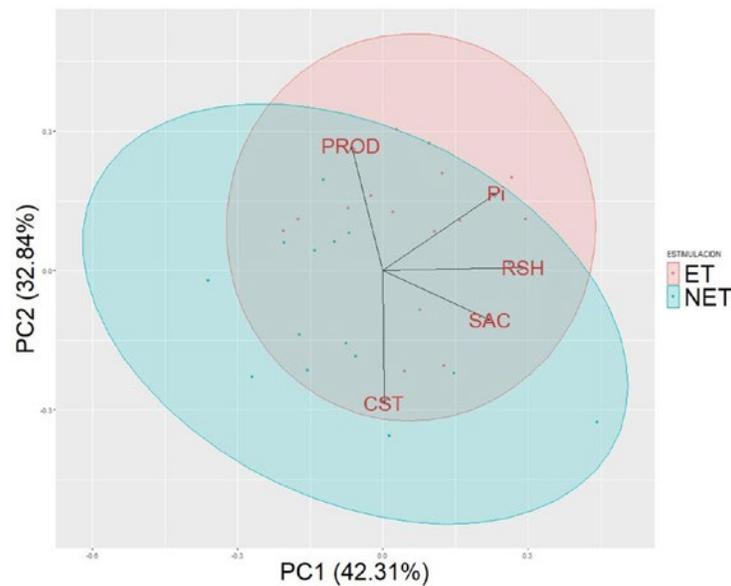


Figura 3. Representación Biplot a partir de un análisis de componentes principales con base en los parámetros fisiológicos del látex y el rendimiento. El factor de discriminación fue la estimulación. La explicación de la variabilidad de la información fue del 75.15 %. PROD: producción de látex fresco; SAC: contenido de sacarosa; Pi: contenido de fósforo inorgánico; RSH: contenido de tioles; CST: contenido de sólidos totales; ET: árboles estimulados; NET: árboles sin estimulación.

renovación foliar en el clon FX3864. En este sentido, [Paranjothy \(2018\)](#) indica que la fenología foliar varía en respuesta a estímulos hídricos deficitarios, lo cual puede ocurrir en diferentes momentos y localidades, especialmente con relación a la ubicación geográfica, que está dada principalmente por la latitud. De acuerdo con los resultados, los procesos de defoliación y renovación foliar se presentaron en los meses de febrero y marzo respectivamente, con intervalos cortos de aproximadamente cuatro semanas cada uno. Se observaron resultados similares en la investigación de [Guyot y Le Guen \(2018\)](#), quienes afirman que este proceso podría tardar hasta 1.5 o 2 meses bajo diferentes condiciones ambientales, tal como lo reportan [Gutiérrez-Vanegas et al. \(2020\)](#) para los clones FX3864 e IAN873 en la Orinoquía colombiana.

Según [Righi et al. \(2001\)](#), en el trópico, los árboles de caucho producen látex durante todo el año. Sin embargo, en épocas de defoliación y renovación foliar, el área fotosintéticamente activa se

reduce, disminuyendo así la fotosíntesis y la producción de látex. Conforme lo anterior, durante este período, el aprovechamiento productivo de la plantación agota la cantidad de reservas (carbohidratos), condición que puede alterar la renovación foliar y la calidad de las hojas nuevas que serán utilizadas como fuente de compuestos orgánicos para el crecimiento y mantenimiento de las plantas.

Como lo mencionan [Silva et al. \(2012\)](#), la reducción del área foliar por la defoliación influye directamente sobre la fotosíntesis neta y, por consiguiente, en el contenido de la sacarosa, que provee la energía requerida para la biosíntesis del látex y que además será demandada durante la renovación foliar y la floración. [Seneviratne et al. \(2020\)](#) evaluaron la producción de látex con periodos de descanso de sangría en árboles estimulados, y encontraron que el rendimiento del cultivo se ve significativamente reducido cuando se realiza el sangrado en épocas de defoliación, llegando al máximo en la renovación foliar y floración debido a la utilización de reservas. Además,

existe el riesgo de mayor incidencia de TPD, al tener un estrés generado por el consecutivo aprovechamiento de los árboles en esta época.

Como la defoliación comienza en el mes de diciembre, es necesario suspender la estimulación para no generar desbalances metabólicos que conlleven a la utilización de las reservas indispensables para el brote de hojas nuevas. Así mismo, llegado el mes de enero, es necesario suspender el aprovechamiento de los árboles, ya que, en esta época, la defoliación se hace más intensa y los árboles modifican su fisiología para favorecer la renovación foliar. La reanudación del sangrado dependerá de la maduración de las hojas y estará sujeta al estado de desarrollo D. En la zona de estudio, la época de defoliación y renovación foliar se presentó durante los primeros meses del año, resultado que permitirá planear correctamente los tiempos de sangría y de aplicación del estimulante, con el fin de no generar un agotamiento en los árboles, principalmente de las reservas de azúcar.

De acuerdo con lo obtenido en las plantas sangradas en d3 estimuladas (6.14 mmol.L^{-1}) y d4 sin estimular (6.04 mmol.L^{-1}), las cuales representan los menores contenidos, no se alcanzaron niveles considerablemente bajos para el contenido de sacarosa, teniendo en cuenta, que por ejemplo, para esta misma frecuencia de sangría y en plantas estimuladas del clon PB260 en Indonesia, [Purwaningrum et al. \(2019\)](#) encontraron que los contenidos de SAC no superaban los 3.63 mmol.L^{-1} . En contraste, estudios realizados en Brasil con el clon FX3864 bajo la frecuencia de sangría d3 sin estimular reportaron un contenido de SAC de 10.7 mmol.L^{-1} ([Moraes et al., 2011](#)).

Al respecto, [Gohet et al. \(2019\)](#) informan que la aplicación de etefón en la mayoría de los casos resulta en cantidades de SAC bajas, dado su alto consumo para regenerar el látex. De igual manera, [Obouayeba et al. \(2009\)](#) mencionan que los bajos contenidos de SAC podrían deberse a que la aplicación de estimulantes incide sobre el metabolismo de las células especializadas en la producción de látex, en vista de que esta es la materia prima

que se sintetiza durante la producción del caucho natural. Conforme lo anterior, y con base en los rangos establecidos por [D'Auzac y Jacob \(1989\)](#), se indica que el resultado de este parámetro fisiológico no evidencia síntomas de sobreexplotación para las condiciones y zona de estudio evaluados, debido a que, bajo ningún tratamiento, el contenido de SAC fue inferior a 5 mmol.L^{-1} .

En cuanto al Pi, la aplicación de etefón produjo un aumento en su contenido, independientemente de la frecuencia utilizada, respuesta análoga a las descripciones realizadas por algunos autores ([Atsin et al., 2016](#); [Lacote et al., 2010](#); [Purwaningrum et al., 2019](#)), quienes mencionan que este parámetro es un indicador del incremento de la actividad metabólica cuando se registran concentraciones más altas. Como se observa en la [Tabla 1](#), el contenido de Pi en las plantas ET siempre fue superior, lo cual concuerda con los hallazgos de [Atsin et al. \(2016\)](#) para el clon PB260, quienes encontraron que el contenido medio Pi en el látex estuvo influenciado significativamente por la estimulación, que pasó de los $20.01 \text{ mmol.L}^{-1}$ para los no estimulados hasta los $35.66 \text{ mmol.L}^{-1}$ para los más estimulados, observándose una fuerte tendencia al aumento con la aplicación del regulador de crecimiento. A pesar de que el tratamiento d4 estimulado arrojó el valor más alto ($11.72 \text{ mmol.L}^{-1}$), para este parámetro, y bajo las particularidades del estudio, el clon FX3864 en ningún momento experimentó síntomas de sobreestimulación, pues no superó el límite de los 20 mmol.L^{-1} , concentración límite establecida por [D'Auzac y Jacob \(1989\)](#).

[D'Auzac y Jacob \(1989\)](#) indican que valores de tioles por debajo de 0.3 mmol.L^{-1} podrían representar algún riesgo de sobreexplotación. Adicionalmente, [Jacob et al. \(1995\)](#) exponen que, cuando la intensidad de sangrado es menor, el nivel de tioles es mayor. Con respecto a lo anterior, el mayor contenido de tioles (0.28 mmol.L^{-1}) se registró con la menor intensidad (d5), pero nunca alcanzó los 0.3 mmol.L^{-1} bajo ningún tratamiento. Coincide lo encontrado en este estudio con en el trabajo realizado por [Sainoi et al. \(2017\)](#), en el que se informa sobre contenidos de tioles de

entre 0.17 y 0.24 mmol.L⁻¹ para árboles de 8 años del clon RRIM600 con aplicación de estimulante. Además, [Nor Mayati y Mohd \(2020\)](#) observaron niveles bajos (menores a 1 mmol.L⁻¹) en los clones RRIM2025 y PB350, mientras que [Moraes et al. \(2011\)](#) refieren un contenido medio de tioles de 0.29 mmol.L⁻¹ para el clon FX3864 sin estimular y con una frecuencia de sangría d3. Por lo anterior, la cantidad de tioles obtenida en todos los tratamientos expone la necesidad de profundizar en estudios con respecto a este parámetro, con el fin de generar nuevas categorías para los materiales de origen suramericano plantados en Colombia.

Como lo mencionan [Atsin et al. \(2016\)](#), la sensibilidad de los clones al secamiento del panel está relacionada con bajos niveles de tioles, ya que esto provoca la pérdida de integridad de los lutoles, además de que este parámetro se relaciona con la protección de las membranas, actuando como un compuesto que evita la senescencia. En consecuencia, cabe la posibilidad que se haya generado alguna condición de estrés, principalmente en las plantas con frecuencia d4 sin estimular (0.14 mmol.L⁻¹), probablemente debido a una práctica inadecuada del sangrado. Sin embargo, al observarse que dichos valores fueron inferiores a 0.3 mmol.L⁻¹ ([Tabla 1](#)) en todos los tratamientos, se expone la necesidad de realizar un estudio más profundo de los tioles para clones de origen suramericano como el FX3864, posibilitando la construcción de un rango que se ajuste mejor a las condiciones de Colombia, pues los demás parámetros evaluados (SAC, Pi y CST) no arrojaron indicios de sobreexplotación.

En este estudio se encontró que las diferencias en el CST estuvieron ligadas de manera independiente a los tratamientos de estimulación y frecuencia de sangría, lo que permitió que la aplicación de etefón generara una reducción en su contenido por sí sola. Lo mismo ocurrió cuando la frecuencia fue d3. En el primer caso, las diferencias en los contenidos de CST están asociadas al aumento en la producción de látex ([Tabla 1](#)), y en el segundo, a lo repetitivo del proceso de sangrado, hecho que probablemente generó una mayor demanda de partículas de

caucho durante cada sangría. Al respecto, [An et al. \(2016\)](#) informan que la estimulación con etefón aumenta el rendimiento del látex tan pronto como se realiza su aplicación, el cual generalmente alcanza su máximo un tiempo después (7 días). Los estudios realizados por [Attanayake et al. \(2018\)](#), donde se probaron diferentes concentraciones de etefón, señalan que los valores del CST en tratamientos estimulados disminuyeron significativamente, pasando de un 46 % sin estimulación a un 34 % cuando la concentración del estimulante fue del 5 %. Sin embargo, otros autores no han evidenciado respuestas significativas ante la aplicación del estimulante, tal como ocurrió en el estudio de [Sainoi et al. \(2017\)](#), quienes probaron distintas frecuencias de aplicación de estimulante en plantas de caucho del clon PB261 y obtuvieron CST entre 52 y 55 %. De acuerdo con los rangos establecidos por [D'Auzac y Jacob \(1989\)](#), el límite inferior del CST corresponde al 30 %; en las condiciones de este estudio, el CST nunca disminuyó por debajo del límite aludido, por lo que se descartan posibles síntomas de sobreexplotación con respecto a este parámetro fisiológico.

En términos productivos, los resultados muestran que la frecuencia d4 estimulada presentó la mayor producción (170.99 mL d⁻¹ por árbol), lo cual concuerda con lo mencionado por [Rojas M. et al. \(2017\)](#), quienes hallaron que la frecuencia d4 tuvo una mayor producción en comparación con frecuencias de menor y mayor intensidad. Según los autores, con esa frecuencia se alcanza un equilibrio económico entre el rendimiento y el número de cortes. Aun así, es importante recordar que la producción en el árbol de caucho varía según el genotipo, el sistema de recolección, el uso de estimulantes y la frecuencia de sangría.

CONCLUSIONES

La producción de látex por sangría aumentó cuando los árboles fueron estimulados, y en mayor cantidad cuando la frecuencia de sangría fue d4 (cada cuatro días). Esto sugiere que es posible

iniciar esta práctica en el clon FX3864 para las condiciones del Bajo Cauca antioqueño. El análisis de los parámetros fisiológicos del látex (sacarosa, fósforo inorgánico y sólidos totales) y sus registros de producción no arrojaron evidencias de sobreexplotación cuando se aplicó estimulante en las plantas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Sistema General de Regalías del departamento de Antioquia por financiar el estudio, enmarcado en la convocatoria 805 del Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación (cierre de brechas); a los investigadores Régis Lacote y Franck Rivano del Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agrícola para el Desarrollo (CIRAD) por sus aportes científicos; a los colaboradores Juan Pablo Gil Restrepo, Manuela Walteros León y María Mercedes Almanzar Agudelo por su apoyo en campo y laboratorio; a Sandra Zarza Suárez (Asobosques), Nohemí Esther de Hoyos Contreras (Rubbercorp) y Carlos Zarza (productor) por el trabajo de campo; y, finalmente, a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia) y la Universidad Eafit por el apoyo para el desarrollo del proyecto *Valor agregado y alternativas de aprovechamiento para el látex del Bajo Cauca antioqueño*, a través del convenio 1963 de 2019.

CONFLICTO DE INTERESES

Este estudio cuenta con aportes significativos de todos los autores, quienes están de acuerdo con su publicación y manifiestan que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES POR AUTOR

J. D. H., D. A. M., O. C.: Ideación, formulación del proyecto.

J. D. H., D. A. M., O. C., J. J. G.: Diseño metodológico y estadístico.

J. D. H., D. A. M., J. J. G., R. L. H., S. L.: Recolección de la información en campo y laboratorio.

D. A. M., J. D. H., J. J. G.: Análisis e interpretación de los resultados.

Todos los autores contribuyeron en la escritura, ajuste y aprobación de la versión final de la obra.

REFERENCIAS

- Adou, C. Y. B., Atsin, O. J. G., Essehi, J.-L., Ballo, K. E., Soumahin, F. E., Obouayeba, P. A., Kouakou, H. T., & Obouayeba, S.** (2018). Latex micro diagnosis, modern management tool of rubber plantations of clones with moderate metabolism GT 1, RRIC 100 and BPM 24. *Journal of Applied Biosciences*, 121(1), 12098.
<https://doi.org/10.4314/jab.v121i1.1>
- An, F., Rookes, J., Xie, G., Cahill, D., Cai, X., Zou, Z., & Kong, L.** (2016). Ethephon increases rubber tree latex yield by regulating aquaporins and alleviating the tapping-induced local increase in latex total solid content. *Journal of Plant Growth Regulation*, 35(3), 701-709.
<https://doi.org/10.1007/s00344-016-9573-6>
- Ashwell, G.** (1957). [12] Colorimetric analysis of sugars. *Methods in Enzymology*, 3(C), 73-105.
[https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(57\)03350-9](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(57)03350-9)
- Atsin, G., Soumahin, E., Kouakou, T., Elabo, A., Okoma, K., & Obouayeba, S.** (2016). Agronomic potential of some rubber tree clones (*Hevea brasiliensis*) of the fast metabolic activity class in the absence of hormonal stimulation in Southwestern of Côte d'Ivoire. *American Journal of Experimental Agriculture*, 13(4), 1-13.
<https://doi.org/10.9734/ajea/2016/26930>
- Attanayake, A. P., Karunanayake, L., & Nilmini, A. H. R. L.** (2018). Effect of ethephon stimulation on natural rubber latex properties; new insight into ethephon stimulation. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, 46(2), 179-185.
<https://doi.org/10.4038/jnsfsr.v46i2.8418>

- Bellacicco, S., Prades, A., Char, C., Vaysse, L., Granet, F., Lacote, R., Gohet, E., Flori, A., Sainte Beuve, J., & Bonfils, F.** (2018). The sugar and polyol composition of *Hevea brasiliensis* latex depends on the clonal origin of the tree. *Journal of Rubber Research*, 21(3), 224-235.
<https://doi.org/10.1007/bf03449172>
- Bottier, C.** (2020). Biochemical composition of *Hevea brasiliensis* latex: A focus on the protein, lipid, carbohydrate and mineral contents. En R. Nawrot (Ed.), *Advances in Botanical Research* (vol. 93, pp. 201-237). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/bs.abr.2019.11.003>
- Castro-Navarro, O. M., Riascos-Ortiz, D. H., Hoyos-Carvajal, L. M., & Tapiero-Ortiz, A. L.** (2020). Histological disturbances caused by microcyclus ulei and colletotrichum spp. in rubber trees (*Hevea brasiliensis*). *Summa Phytopathologica*, 46(2), 105-112.
<https://doi.org/10.1590/0100-5405/229849>
- Cevallos, V., Maldonado, L., & Rivano, F.** (2012). *Zonas de escape: estudio del comportamiento de tres clones comerciales de caucho Hevea brasiliensis en tres zonas caucheras del litoral ecuatoriano*. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias.
- Chantuma, P., Thanisawanyangkura, S., Kasemsap, P., Gohet, E., & Thaler, P.** (2006). Distribution patterns of latex sucrose content and concurrent metabolic activity at the trunk level with different tapping systems and in latex production bark of *Hevea brasiliensis*. *Kasetsart Journal - Natural Science*, 40(3), 634-642.
<https://li01.tci-thaijo.org/index.php/anres/article/view/243718>
- Confederación Cauchera Colombiana (CCC).** (2016). Zonas caucheras. *Revista El Cauchero*, Mayo 2016(1), 19.
https://docs.wixstatic.com/ugd/e90b5c_b06fc0fea-162488cb73f7bb8bc70ad31.pdf
- Conte, M. Lo, & Carroll, K. S.** (2013). The chemistry of thiol oxidation and detection. In U. Jakob & D. Reichmann (Eds.), *Oxidative Stress and Redox Regulation* (pp. 1-42). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-94-007-5787-5_1
- D'Auzac, J., & Jacob, J. L.** (1989). The composition of latex from *Hevea brasiliensis* as a laticiferous cytoplasm. En J. D'Auzac, J. L. Jacob, & H. Cherestín (Eds.), *Physiology of Rubber Tree Latex: The Laticiferous Cell and Latex - A Model of Cytoplasm* (pp. 59-96). CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9781351075695>
- de Fay, E., & Jacob, J.-L.** (2018). Anatomical organization of the laticiferous system in the bark. En J. D'Auzac, J. L. Jacob, & H. Cherestín (Eds.), *Physiology of Rubber Tree Latex: The Laticiferous Cell and Latex - A Model of Cytoplasm* (pp. 3-14). CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9781351075695-1>
- Gohet, E., Cauchy, T., Soumahoro, M., Kotochi, C., Chegbene, P., Njoku, A., & Lesturgez, G.** (2019, septiembre 30 - octubre 1). *Meta-analysis of a large industrial latex diagnosis database provides insight on Hevea brasiliensis clonal adaptation and site-specific yield potential in Western Africa* [Presentación en conferencia]. 2019 International Rubber Conference (IRRDB), Nay Pyi Taw, Myanmar.
<https://agritrop.cirad.fr/593887/1/Gohet%20et%20al.%202019.pdf>
- Guerra-Hincapié, J. J., Córdoba-Gaona, O. de J., Gil-Restrepo, J. P., Monsalve-García, D. A., Hernández-Arredondo, J. D., & Martínez-Bustamante, E. G.** (2020). Phenological patterns of defoliation and refoliation processes of rubber tree clones in the colombian northwest. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 73(3), 9293-9303.
<https://doi.org/10.15446/rfam.v73n3.80546>
- Gunasekera, H. K. L. K., Costa, W. A. J. M. De, & A. Nugawela.** (2013). Effect of opening girth and some latex physiological parameters on yield of Rubber (*Hevea brasiliensis*). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 4(1), 88-100.
<http://www.issr-journals.org/ijias/abstract.php?article=IJIAS-13-197-03>
- Gutiérrez-Vanegas, A. J., Correa-Pinilla, D. E., Gil-Restrepo, J. P., López-Hernández, F. G., Guerra-Hincapié, J. J., & Córdoba-Gaona, O. de J.** (2020). Foliar and flowering phenology of three rubber (*Hevea brasiliensis*) clones in the eastern plains of

- Colombia. *Revista Brasileira de Botanica*, 43(4), 813-821.
<https://doi.org/10.1007/s40415-020-00644-1>
- Guyot, J., & Le Guen, V.** (2018). A review of a century of studies on south american leaf blight of the rubber tree. *Plant Disease*, 102(6), 1052-1065.
<https://doi.org/10.1094/PDIS-04-17-0592-FE>
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM)** (2021). *Promedios climatológicos 1971-2000*.
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/553571/Promedios+Climatológicos+1971+-+2000.xlsx/857942de-f9d7-4d5e-bb75-df984aabe55f>
- Jacob, J. L., Prévôt, J. C., & Lacrotte, R.** (1994). L'encoche sèche chez *Hevea brasiliensis*. *Plantations, Recherche, Développement*, 1(3), 15-24.
<https://agritrop.cirad.fr/387370/>
- Jacob, J. L., Prévôt, J. C., Lacrotte, R., & Eschbach, J. M.** (1995). Le diagnostic latex. *Plantations, Recherche, Développement*, 2(2), 33-37.
<https://agritrop.cirad.fr/387485/>
- Jacob, J. L., Serres, E., Prévôt, J. C., Lacrotte, R., Vidal, A., Eschbach, J. M., & D'Auzac, J.** (1988). Mise au point du diagnostic latex chez l'hévéa. *Agritrop*, 12(2), 97-118.
<https://agritrop.cirad.fr/452795/>
- Kudaligama, K. V. V. S., Rodrigo, V. H. L., Fernando, K. M. E. P., & Yapa, P. A. J.** (2012). Effect of low frequency harvesting in *Hevea brasiliensis* on major raw rubber properties. *Journal of the Rubber Research Institute of Sri Lanka*, 92(0), 1856.
<https://doi.org/10.4038/jrrisl.v92i0.1856>
- Lacote, R., Gabla, O., Obouayeba, S., Eschbach, J. M., Rivano, F., Dian, K., & Gohet, E.** (2010). Long-term effect of ethylene stimulation on the yield of rubber trees is linked to latex cell biochemistry. *Field Crops Research*, 115(1), 94-98.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.10.007>
- Leong, S. K., Leong, W., & Yoon, P. K.** (1982). Harvesting of shoots for rubber extraction in *Hevea*. *Journal of the Rubber Research Institute of Malaysia*, 30(3), 117-122.
<http://vitaldoc.lgm.gov.my:8060/vital/access/services/Download/vital1:24018/ARTICLE>
- 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(6), 1125-1142.
<https://doi.org/10.1093/aob/mcm133>
- Liu, J. P.** (2016). Molecular mechanism underlying ethylene stimulation of latex production in rubber tree (*Hevea brasiliensis*). *Trees - Structure and Function*, 30(6), 1913-1921.
<https://doi.org/10.1007/s00468-016-1455-9>
- Mediburu, F.** (2020). *agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.3-3*.
<https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
- Moraes, L. A. C., Moreira, A., Fontes, J. R. A., Cordeiro, E. R., & Moraes, V. H. de F.** (2011). Assessment of rubber tree panels under crowns resistant to South American leaf blight. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 46(5), 466-473.
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000500003>
- Nguyen, V. H. T., Pham, G. N. T., Le, D. N. V., Tran, N. M. T., Nguyen, T. T. T., Kim, T. T., Luong, T. H., Truong, H. V., Nguyen, N., Nguyen, K. M., Truong, T. V., Truong, H. V., & Do, T. K.** (2017). The hevea latex diagnosis as a crop harvest management technique: consequences of study and implementations on pb 260 in south east of Vietnam. En IRC (Eds.), *International Proceedings of IRC 2017* (pp. 387-388).
<https://doi.org/10.22302/ppk.procirc2017.v1i1.496>
- Nor Mayati, C. H., & Mohd, F. K.** (2020). Physiological and productivity impact of mechanical wounding and mortex stimulation on rubber clones RRIM 2025 and PB 350. *Journal of Tropical Plant Physiology*, 12(1985), 8-22.
https://jtpp.org.my/volume/12_2/vol12_2_article2.pdf
- Obouayeba, S., Soumahin, E. F., Dobo, M., Lacote, R., Gabla, O. R., & Doumbia, A.** (2009). Agronomic performance of the clone IRCA 111 of *Hevea brasiliensis* under different frequencies of tapping and

- stimulation in South-West Cote D'Ivoire. *Journal of Rubber Research*, 12(2), 93-102.
<https://agritrop.cirad.fr/549905/>
- Paranjothy, K.** (2018). Hevea. En A. H. Halevy (Ed.), *Handbook of Flowering* (vol. 5, pp. 133-141). CRC Press.
<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781351072571-22/hevea-paranjothy>
- Priyadarshan, P. M.** (2017). *Biology of Hevea rubber*. Springer.
<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-54506-6>
- Purwaningrum, Y., Asbur, Y., & Junaidi.** (2019). Latex quality and yield parameters of *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg. clone PB 260 for different tapping and stimulant application frequencies. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 79(3), 347-355.
<https://doi.org/10.4067/S0718-58392019000300347>
- Putranto, R. A., Herlinawati, E., Rio, M., Leclercq, J., Piyatrakul, P., Gohet, E., Sanier, C., Oktavia, F., Pirrello, J., Kuswanhadi, & Montoro, P.** (2015). Involvement of ethylene in the latex metabolism and tapping panel dryness of *Hevea brasiliensis*. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(8), 17885-17908.
<https://doi.org/10.3390/ijms160817885>
- R Core Team** (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.
<https://www.R-project.org/>
- Righi, C. A., Bernardes, M. S., Castro, D. S., & Abbud, D. M.** (2001). Fenologia e variação temporal do índice de área foliar de três cultivares de seringueira (*Hevea* spp.). *Agrotropica*, 13, 125-132.
<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/ceplac/publicacoes/revista-agrotropica/revista/agrotropica-2001v13n3.pdf/view>
- Rivano, F., Gohet, E., Lacote, R., Chapuset, T., & Leconte, A.** (2015). *Optimización de la producción del árbol de caucho con el diagnóstico látex*.
http://publications.cirad.fr/une_notice.php?dk=579080
- Rivano, F., Vera, J., Cevallos, V., Almeida, D., Maldonado, L., & Flori, A.** (2016). Performance of 10 *Hevea brasiliensis* clones in Ecuador, under South American Leaf Blight escape conditions. *Industrial Crops and Products*, 94, 762-773.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.035>
- Rodrigo, V. H. L., Kudaligama, K. V. V. S., Fernando, K. M. E. P., & Yapa, P. A. J.** (2012). Replacing traditional half spiral cut by a quarter cut with ethephon; a simple approach to solve current issues related to latex harvesting in rubber industry. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, 40(4), 283-291.
<https://doi.org/10.4038/jnsfsr.v40i4.5042>
- Rojas M., J., Rojas, M., Rueda, G. H., Suárez, Y. J., & Furtado, E. L.** (2017). Efecto de sistemas de sangría sobre la productividad de *Hevea brasiliensis* en el Magdalena Medio Santandereano. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 184-192.
<https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6160>
- Saelim, S., Sdoodee, S., & Chiarawipa, R.** (2019). Monitoring seasonal fine root dynamics of *Hevea brasiliensis* clone RRIM 600 in Southern Thailand using Minirhizotron technique. *Songklanakar Journal of Science and Technology*, 41(2), 341-384.
<https://doi.org/10.14456/sjst-psu.2019.43>
- Sainoi, T., Sdoodee, S., Lacote, R., & Gohet, E.** (2017). Low frequency tapping systems applied to young-tapped trees of *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg. in Southern Thailand. *Agriculture and Natural Resources*, 51(4), 268-272.
<https://doi.org/10.1016/j.anres.2017.03.001>
- Seneviratne, P., Nayanakantha, N. M. C., Samarasekara, R. K., & Watawala, W. K. S. W.** (2020). Effect of tapping rest during wintering months on latex yield and tapping panel dryness in three rubber (*Hevea brasiliensis*) clones. *Journal of the Rubber Research Institute of Sri Lanka*, 100, 1-21.
<https://doi.org/http://doi.org/10.4038/jrrisl.v100i0.1896>
- Silva, J. Q., Scaloppi Júnior, E. J., Moreno, R. M. B., de Souza, G. B., Gonçalves, P. de S., & Filho, J. A. S.** (2012). Producción y propiedades químicas del caucho en clones de *Hevea* según los estados

fenológicos. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 47(8), 1066-1076.

<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000800006>

Simbo, D. J., Van den Bilcke, N., & Samson, R. (2013). Contribution of corticular photosynthesis to bud development in African baobab (*Adansonia digitata* L.) and Castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings. *Environmental and Experimental Botany*, 95(2013), 1-5.

<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.07.002>

Taussky, H. H., & Shorr, E. (1953). A microcolorimetric method for the determination of inorganic phosphorus. *Journal of Biological Chemistry*, 20(2), 675-685.

Vijayakumar, K. R., Thomas, K. U., Rajagopal, R., & Karunaichamy, K. (2001). Low frequency tapping systems for reduction in cost of production of natural rubber. *The Planters' Chronicle*, 97(11), 451-454.

Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer-Verlag.

<https://ggplot2.tidyverse.org>

