

Crecimiento, tolerancia al tizón foliar y rendimiento de clones de *Hevea brasiliensis* en Uxpanapa, Veracruz

Growth, tolerance to south american leaf blight and yield of *Hevea brasiliensis* clones in Uxpanapa, Veracruz

Elías Ortiz-Cervantes^{1*} , J. Jesús Loyola² , Carlos Alberto Martínez-Márquez¹ , Rolando Misael Tlaxcala-Méndez¹ 

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km 16 carretera Tezonapa-El Palmar. Campo Experimental El Palmar, CP.95080. Tezonapa, Veracruz, México.

²Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México - Texcoco, Chapingo, CP 56230, Texcoco, Estado de México.

*Autor de correspondencia: ortiz.elias@inifap.gob.mx

Artículo científico

Recibido: 07 de abril 2025

Aceptado: 05 de mayo 2026

RESUMEN. La producción de hule en el trópico húmedo de México enfrenta limitaciones fitosanitarias, principalmente por el tizón foliar sudamericano (*Pseudocercospora ulei*) y la escasa disponibilidad de materiales genéticos adaptados. El objetivo de este estudio fue evaluar el crecimiento, tolerancia a enfermedades y rendimiento de 20 clones de hule (*Hevea brasiliensis*) en Uxpanapa, Veracruz. Durante 10 años, se utilizó un diseño de bloques al azar con tres repeticiones para monitorear variables de sanidad vegetal, vigor y productividad. Los resultados indicaron que el vigor, medido a través de la circunferencia del tallo (CT), fue superior en los clones IAN-754 (70.22 cm), GU-198 (61.93 cm) e IAN-710 (60.15 cm). En términos de sanidad y precocidad productiva, los clones GU-198, FX-3899 e IAN-710 destacaron por su alta tolerancia al tizón foliar y mayores tasas de árboles en pica. Estos mismos genotipos presentaron los rendimientos acumulados más elevados, con medias de 1 721, 1 438 y 1 353 kg ha⁻¹, respectivamente. Se identificó una relación directa entre la resistencia foliar y el vigor vegetativo como precursores del rendimiento final por hectárea. Los clones GU-198, FX-3899 e IAN-710 son los materiales más recomendados para plantaciones comerciales bajo las condiciones agroecológicas de la región. Estos hallazgos aportan bases genéticas para mitigar el impacto de enfermedades y mejorar la rentabilidad del cultivo en áreas de alta presión del patógeno.

Palabras clave: *Hevea brasiliensis*, mejoramiento genético, vigor vegetativo, precocidad productiva, rendimiento de látex, trópico húmedo.

ABSTRACT. Rubber production in the humid tropics of Mexico faces phytosanitary limitations, mainly due to South American leaf blight (*Pseudocercospora ulei*), and the low availability of adapted genetic materials. The objective of this study was to evaluate the growth, disease tolerance, and yield of 20 rubber tree (*Hevea brasiliensis*) clones in Uxpanapa, Veracruz. Over a 10-year period, a randomized block design with three replications was used to monitor plant health, vigor, and productivity variables. Results indicated that vigor, measured through trunk circumference (TC), was led by clones IAN-754 (70.22 cm), GU-198 (61.93 cm), and IAN-710 (60.15 cm). In terms of health and early productivity, clones GU-198, FX-3899, and IAN-710 stood out due to their high tolerance to leaf blight and higher rates of trees in tapping. These same genotypes presented the highest cumulative yields, with averages of 1 721, 1 438, and 1 353 kg ha⁻¹, respectively. A direct integration between leaf resistance and vegetative vigor was identified as a precursor to final yield per hectare. It is concluded that GU-198, FX-3899, and IAN-710 are the most recommended materials for commercial plantations under the agroecological conditions of the region. These findings provide genetic bases to mitigate the impact of diseases and improve crop profitability in areas with high pathogen pressure.

Keywords: *Hevea brasiliensis*, genetic improvement, vegetative vigor, early productivity, latex yield, humid tropics.

INTRODUCCIÓN

El hule natural, que se obtiene principalmente de *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg., es un polímero de importancia estratégica cuya demanda global supera los 14 millones de toneladas (ANRPC 2026). A pesar de su relevancia económica, la producción mundial se concentra principalmente en el sudeste asiático, generando un escenario de vulnerabilidad ante la uniformidad genética de las plantaciones y la amenaza constante de patógenos foliares (Darojat *et al.* 2024). En México, este panorama se traduce en un déficit permanente, ya que la producción nacional cubre alrededor del 30% de la demanda interna, lo que obliga a la importación masiva y provoca una fuga de divisas superior a 160 millones de dólares anuales (Ortiz-Cervantes *et al.* 2022). Para cambiar la tendencia, la estrategia nacional prioriza la expansión de la superficie cultivada. No obstante, el éxito de estos proyectos depende por naturaleza de la selección de materiales genéticos que garanticen altos rendimientos y alta adaptación a las condiciones locales, una necesidad que ha sido ampliamente documentada en estudios recientes sobre el comportamiento de clones en diversas regiones productoras (Suryakumar y Sathik 2024, Reju *et al.* 2025).

La productividad del hule está determinada por la interacción entre el potencial genético y el ambiente; el vigor vegetativo y la sanidad foliar son factores críticos para el rendimiento final (Ajith *et al.* 2024). En México, el Tizón Foliar Sudamericano (SALB), ocasionado por *Pseudocercospora ulei*, es la limitante biótica más fuerte, ya que reduce fuertemente el área fotosintética y, por consecuencia, la acumulación de materia orgánica y látex. Aunque la región de Uxpanapa, Veracruz, presenta condiciones climáticas adecuadas para cultivar hule, estas mismas características favorecen la incidencia de enfermedades foliares (Ortiz-Cervantes 2017), lo que vuelve urgente la necesidad de identificar genotipos con bases genéticas de resistencia (Darojat y Oktavia 2025).

Actualmente, no se sabe cómo responderán a largo plazo los diferentes clones ante los hongos que atacan específicamente a esta región, especialmente durante el cambio de la etapa preproductiva a la productiva. El seguimiento de materiales genéticos durante una década es esencial para observar la consolidación de la tolerancia y el vigor en condiciones de campo. Por ello, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el crecimiento vegetativo, la tolerancia al tizón foliar y el rendimiento de látex de 20 clones de *H. brasiliensis* en Uxpanapa, Veracruz. Se espera identificar clones con un balance superior entre vigor y resistencia, que contribuya al cambio de la base genética regional y a la sostenibilidad de la producción nacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

La investigación se fundamentó en datos obtenidos durante una década (2014-2024) en una parcela experimental establecida en el ejido Monterrey, municipio de Uxpanapa, Veracruz (17° 18' LN y 94° 35' LO), a una altitud de 120 m. El clima de la región es cálido húmedo con lluvias todo el año Af(m)w(e)g, con una precipitación media anual de 3 800 mm y temperatura media de 24 °C (García

2004). Los suelos corresponden a la unidad Acrisol ócrico, de origen volcánico-sedimentario, textura arcillosa y pH ácido de 4.5 a 5.5 (FAO 1994).

Diseño experimental y material vegetativo

Se evaluaron 20 clones de *H. brasiliensis* (Tabla 1) utilizando un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental consistió en una parcela de 42 árboles, con una parcela útil de los 20 árboles centrales evaluados individualmente. El establecimiento se realizó mediante tocones a raíz desnuda y yema dormida, injertados sobre patrones de 10 meses de edad. El manejo agronómico fue uniforme, se limitó al control manual y mecánico de malezas, sin aplicación de fertilizantes químicos ni fungicidas, con el objetivo de evaluar la adaptación natural y la respuesta de los materiales bajo la presión del patógeno de *P. ulei*, característica de la zona.

Tabla 1. Número de tratamiento, nombre y progenitores del material genético de *Hevea brasiliensis* evaluado en Uxpanapa, Veracruz.

| No. | Clon | Progenitores | No. | Clon | Progenitores |
|-----|----------|---------------------|-----|-----------|-------------------|
| 1 | GU-198 | FX-16 X GT-711 | 11 | HARBEL-1 | Clon primario |
| 2 | IAN-873 | PB-86 X F-1717 | 12 | RRIM-614 | TJIR-1 X RRIM-509 |
| 3 | GU-40 | FX-2865 X GV-31 | 13 | PB-252 | PB-86 X PB-32/36 |
| 4 | RRIM-701 | 44/553 X RRIM-501 | 14 | GU-467 | FX-25 X GT-711 |
| 5 | FX-3899 | PB-86 X FB-110 | 15 | GU-477 | FX-25 X GT-711 |
| 6 | PR-252 | PIL-A44 X PR-107 | 16 | PB-235 | PB-5/51 X PB-5/78 |
| 7 | MEX-23 | TJIR-1 X TJIR-16 | 17 | HARBEL-10 | Clon primario |
| 8 | RRIM-600 | TJIR-1 X PB-86 | 18 | IAN-710 | PB-86 X F-409 |
| 9 | RRIM-703 | RRIM-600 X RRIM-500 | 19 | RRIC-102 | RRIC-52 X RRIC-7 |
| 10 | GU-11 | IAN-633 X GA-1581 | 20 | IAN-754 | F-4542 X PB-86 |

IAN: Instituto Agronômico do Norte (Brasil); RRIM: Rubber Research Institute of Malaysia (Malasia); GU: Guatemala; MEX: INIFAP (México); PB: Prang Besar (Malasia); RRIC: Rubber Research Institute of Ceylon (Sri Lanka); PR: Proefstation voor Rubber (Indonesia); F: Ford (Brasil); FB: Ford Belém (Brasil); FX: Ford Cross (Brasil); TJIR: Tjidranji (Indonesia); PIL: Pilmoore (Malasia); HARBEL: Estación Experimental Harbel (Liberia). El símbolo "X" indica el cruzamiento entre los progenitores.

VARIABLES EVALUADAS

Vigor vegetativo y sanidad (Etapa preproductiva)

Se midió la altura de planta (AP, cm) semestralmente hasta los 24 meses. La circunferencia del tallo (CT, cm) se registró a una altura de 1.20 m desde los 18 meses hasta los 10 años. La severidad del Tizón Foliar Sudamericano (SALB) se evaluó anualmente durante la época de máximo rebrote de hojas, se usó la escala visual de Langford (1945). Esta escala clasifica el daño en niveles del 1 al 10, donde 1 representa folíolos sanos sin infección visible; del 2 al 5, grados progresivos de lesiones necróticas; y del 6 al 10, niveles críticos de esporulación, deformación y defoliación severa ($\geq 50\%$).

Productividad y precocidad (Etapa productiva)

A partir del séptimo año, se evaluó el rendimiento mediante la variable gramos de hule seco por árbol por pica (GAP), se consideraron solo individuos con CT mayor igual a 45 cm. El sistema de

pica fue en semiespiral descendente en días alternos (S/2 d/2 6d/7) sin estimulación química. Se determinó el número de árboles aptos para pica (NAP) y se calculó el rendimiento anual extrapolado (kg ha^{-1}) basado en 90 picas anuales por ciclo.

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) independientes para cada ciclo anual bajo el siguiente modelo lineal aditivo:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde: Y_{ij} es la variable observada, μ la media general, β el efecto del bloque, τ el efecto del clon y ε el error experimental. Previo al análisis, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas; los datos de severidad fueron transformados mediante la raíz cuadrada del arco seno cuando fue necesario. Para la comparación de medias de todas las variables se utilizó la prueba de Tukey (≤ 0.05). Los análisis de correlación de Pearson se emplearon para determinar el grado de asociación entre las variables sanidad, vigor y rendimiento. Todas las variables evaluadas se analizaron mediante el software SAS v. 9.4.

RESULTADOS

Respuesta al tizón foliar sudamericano (SALB)

El análisis de varianza para la severidad de *P. ulei* reveló diferencias altamente significativas entre clones ($p < 0.0001$). El promedio general de daño en la plantación experimental fue 5.41, de acuerdo con la escala de Langford. Los clones introducidos de los países asiáticos, tales como RRIM-600 y PB-235, presentaron los mayores niveles de daño en las hojas e integran el grupo más susceptible a la enfermedad (Tabla 2). Por otro lado, los clones de origen americano FX-3899, GU-198 y RRIC-102 (asiático), exhibieron la mayor tolerancia, presentando un follaje más sano bajo la presión del patógeno. De igual forma, se detectó una tendencia de los clones de la serie Ford (series FX e IAN) a presentar niveles de severidad inferiores a la media general, lo que reafirma la tolerancia de los clones de ese origen.

Vigor y crecimiento vegetativo

Se encontraron diferencias significativas para la variable altura de planta (AP) a los 24 meses, de igual forma para circunferencia del tallo (CT) a los seis y 10 años ($p < 0.0001$). Durante la etapa inicial de desarrollo, los clones FX-3899 y RRIM-600 fueron los más vigorosos; sin embargo, este vigor en altura no siempre coincidió con un mayor desarrollo en circunferencia del tallo. Al analizar el crecimiento en circunferencia del tallo (Tabla 2), se encontró que el clon IAN-754 fue el más sobresaliente en ambas etapas de crecimiento (CT6: 46.3 cm; CT10: 70.3 cm). Los clones GU-198 e IAN-710 también se ubicaron en las primeras posiciones del crecimiento en circunferencia del tallo. Durante el periodo preproductivo el incremento promedio anual en CT fue de 5.96 cm, lo que significó la reducción de 3.45 cm para el inicio de la pica, lo que hace evidente la competencia fisiológica por fotosintatos entre el crecimiento en grosor del tallo y la biosíntesis de látex.

Tabla 2. Medias de altura (AP), severidad de tizón (SALB), circunferencia del tallo (CT6, CT10), sobrevivencia (NA) y aptitud para la pica (NAP) en 20 clones de *Hevea brasiliensis*.

| Clon | AP (cm) | SALB | CT6 (cm) | CT10 (cm) | NA (ha ⁻¹) | NAP (ha ⁻¹) |
|-------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|
| IAN-754 | 332.7 ^{cdef} | 4.6 ^{de} | 46.3 ^a | 70.3 ^a | 509 ^{abc} | 491 ^a |
| GU-198 | 367.6 ^{abcd} | 3.9 ^e | 45.9 ^a | 61.9 ^b | 528 ^{ab} | 472 ^{ab} |
| IAN-710 | 279.8 ^{efgh} | 5.0 ^{bcde} | 43.7 ^{ab} | 60.1 ^{bc} | 547 ^a | 472 ^{ab} |
| IAN-873 | 273.3 ^{fgh} | 4.4 ^{de} | 41.1 ^{bc} | 59.5 ^{bc} | 528 ^{ab} | 435 ^{ab} |
| GU-40 | 394.0 ^{abc} | 4.7 ^{de} | 40.2 ^{bc} | 57.6 ^{cd} | 519 ^{ab} | 463 ^{ab} |
| FX-3899 | 421.6 ^a | 3.9 ^e | 40.8 ^{bc} | 56.1 ^{cd} | 500 ^{abc} | 380 ^{abc} |
| RRIC-102 | 273.4 ^{fgh} | 3.9 ^e | 38.2 ^{cd} | 54.3 ^{de} | 445 ^{abc} | 361 ^{bcd} |
| GU-477 | 274.8 ^{fgh} | 5.0 ^{bcde} | 36.5 ^{de} | 53.4 ^{def} | 547 ^a | 259 ^{def} |
| PB-252 | 340.2 ^{bcde} | 4.4 ^{de} | 35.8 ^{def} | 51.1 ^{efg} | 444 ^{abc} | 315 ^{cde} |
| GU-467 | 260.0 ^{ghi} | 4.8 ^{cde} | 34.1 ^{ef} | 50.3 ^{efg} | 509 ^{abc} | 315 ^{cde} |
| GU-11 | 364.1 ^{abcd} | 4.4 ^{de} | 33.9 ^{ef} | 49.8 ^{fgh} | 528 ^{ab} | 426 ^{abc} |
| RRIM-614 | 277.9 ^{efgh} | 5.8 ^{abcde} | 32.1 ^{fg} | 48.7 ^{ghi} | 444 ^{abc} | 222 ^{efg} |
| PR-252 | 323.3 ^{defg} | 6.0 ^{abcde} | 31.4 ^{fg} | 47.1 ^{hij} | 426 ^{bc} | 130 ^{ghi} |
| RRIM-701 | 278.6 ^{efgh} | 7.1 ^{abc} | 30.2 ^{gh} | 46.3 ^{ijk} | 509 ^{abc} | 130 ^{ghi} |
| HARBEL-10 | 336.5 ^{cdef} | 6.7 ^{abcd} | 29.5 ^h | 45.9 ^{ijk} | 500 ^{abc} | 213 ^{efgh} |
| RRIM-600 | 401.5 ^{ab} | 7.5 ^a | 28.1 ^{hi} | 45.1 ^{jk} | 519 ^{ab} | 259 ^{def} |
| RRIM-703 | 375.3 ^{abcd} | 7.2 ^{abc} | 27.4 ⁱ | 44.2 ^k | 537 ^a | 93 ⁱ |
| PB-235 | 318.0 ^{defg} | 7.3 ^{ab} | 26.8 ⁱ | 40.1 ^l | 528 ^{ab} | 167 ^{fghi} |
| HARBEL-1 | 234.5 ^{hi} | 5.5 ^{abcde} | 25.1 ^j | 38.4 ^{lm} | 426 ^{bc} | 102 ^{hi} |
| MEX-23 | 211.5 ⁱ | 6.0 ^{abcde} | 22.4 ^k | 32.3 ⁿ | 407 ^c | 83 ⁱ |
| Media | 316.9 | 5.4 | 34.5 | 52.1 | 495.0 | 289.4 |
| C.V. (%) | 10.6 | 22.9 | 8.4 | 9.2 | 11.2 | 21.5 |
| Valor de <i>p</i> | < .0001 | < .0001 | < .0001 | < .0001 | < .0001 | < .0001 |

Medias con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.01$). AP: altura de planta; SALB: severidad de tizón (escala 1-10); CT6 y CT10: circunferencia a los 6 y 10 años; NA: sobrevivencia; NAP: aptitud de pica (≥ 45 cm).

Precocidad productiva y densidad de árboles

La sobrevivencia de los árboles al décimo año (NA) fue de 495 árboles ha⁻¹, con una estabilidad notable entre la mayoría de los clones. La precocidad productiva, expresada como el número de árboles aptos para pica (NAP), mostró variaciones determinantes ($p < 0.0001$). Los materiales que conjugaron mayor circunferencia del tallo y tolerancia sanitaria (IAN-754, GU-198 e IAN-710) lograron que más del 80% de su población alcanzara los parámetros de pica ($CT \geq 45$ cm) al séptimo año (Tabla 2). En el extremo contrario, los clones altamente susceptibles como MEX-23 y RRIM-703 presentaron densidades productivas mínimas, lo que representa un retraso tecnológico y económico de al menos tres años para alcanzar la madurez de explotación.

Rendimiento de hule seco

El rendimiento individual (GAP) presentó un incremento progresivo a través de los tres años de evaluación, destacaron los clones FX-3899 y GU-198 con los valores más altos de productividad por

pica (Tabla 3). Al integrar la producción individual con la densidad de árboles en pica (NAP), la productividad anual extrapolada (KHA) favoreció significativamente a los clones de origen americano. El grupo de mayor rendimiento acumulado (Σ KHA) estuvo dominado por el clon GU-198 (5 164 kg ha⁻¹), seguido por FX-3899 e IAN-710, todos superaron la media general (Tabla 3). Resultó notable el desempeño del clon RRIC-102, el cual, a pesar de registrar un rendimiento individual intermedio, alcanzó una productividad por hectárea competitiva (3 552 kg ha⁻¹), gracias a su alta tasa de árboles aptos y la notable tolerancia al tizón foliar.

Tabla 3. Rendimiento individual (g árbol⁻¹ pica⁻¹) y rendimiento anual extrapolado (kg ha⁻¹ año⁻¹) de 20 clones de *Hevea brasiliensis* durante tres años de explotación.

| Clon | Rendimiento por árbol por pica (g). | | | Rendimiento por hectárea (kg) | | | Σ KHA |
|-------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| | GAP 1 | GAP 2 | GAP 3 | KHA 1 | KHA 2 | KHA 3 | |
| GU-198 | 28.2 ^{abcd} | 42.0 ^{ab} | 58.0 ^a | 1295 ^a | 1582 ^a | 2288 ^a | 5164 ^a |
| FX-3899 | 36.3 ^{ab} | 48.2 ^a | 48.5 ^{ab} | 1279 ^a | 1497 ^{ab} | 1539 ^{bc} | 4315 ^{ab} |
| IAN-710 | 23.6 ^{bcdef} | 31.1 ^{abcde} | 41.6 ^{ab} | 1060 ^{ab} | 1270 ^{abc} | 1728 ^{ab} | 4059 ^{ab} |
| GU-11 | 33.4 ^{abc} | 31.0 ^{abcde} | 32.9 ^{abc} | 1257 ^a | 1071 ^{abcd} | 1250 ^{bcd} | 3578 ^{bc} |
| RRIC-102 | 26.1 ^{abcde} | 37.9 ^{abcd} | 58.3 ^a | 797 ^{abc} | 1036 ^{bcd} | 1718 ^{ab} | 3552 ^{abc} |
| IAN-754 | 14.5 ^{defg} | 20.4 ^{def} | 44.1 ^{ab} | 725 ^{bc} | 886 ^{cde} | 1823 ^{ab} | 3435 ^{bc} |
| IAN-873 | 19.1 ^{cdef} | 30.2 ^{abcde} | 42.5 ^{ab} | 723 ^{bc} | 1024 ^{bcd} | 1575 ^{bc} | 3322 ^{bcd} |
| GU-40 | 21.2 ^{bcdef} | 20.0 ^{def} | 23.7 ^{bcd} | 972 ^{ab} | 880 ^{cde} | 997 ^{cdef} | 2850 ^{bcd} |
| PB-252 | 23.6 ^{bcdef} | 30.4 ^{abcde} | 41.0 ^{ab} | 603 ^{bcd} | 712 ^{de} | 1022 ^{cdef} | 2337 ^{cde} |
| RRIM-614 | 39.1 ^a | 41.2 ^{abc} | 36.2 ^{abc} | 577 ^{bcdef} | 632 ^{def} | 748 ^{defg} | 1956 ^{cdef} |
| GU-467 | 24.9 ^{abcde} | 22.4 ^{cdef} | 25.5 ^{bcd} | 582 ^{bcdef} | 485 ^{efg} | 683 ^{defg} | 1750 ^{cdefg} |
| RRIM-600 | 23.9 ^{abcdef} | 25.1 ^{bcde} | 32.2 ^{abc} | 366 ^{defg} | 423 ^{efg} | 726 ^{defg} | 1516 ^{efg} |
| HARBEL-10 | 29.8 ^{abc} | 30.6 ^{abcde} | 35.1 ^{abc} | 373 ^{cdefg} | 373 ^{efg} | 646 ^{defg} | 1392 ^{efg} |
| PR-252 | 23.0 ^{bcdef} | 31.6 ^{abcde} | 29.1 ^{bcd} | 97 ^{defg} | 149 ^{fg} | 325 ^{fg} | 572 ^{fg} |
| HARBEL-1 | 19.2 ^{cdef} | 31.9 ^{abcde} | 33.7 ^{abc} | 57 ^{efg} | 139 ^{fg} | 268 ^g | 465 ^{fg} |
| RRIM-703 | 0.0 ^g | 22.1 ^{def} | 49.4 ^{ab} | 0 ^g | 88 ^g | 349 ^{efg} | 437 ^{fg} |
| PB-235 | 8.7 ^{fg} | 13.8 ^{ef} | 13.3 ^{cd} | 85 ^{defg} | 149 ^{fg} | 200 ^g | 433 ^{fg} |
| RRIM-701 | 13.2 ^{defg} | 17.5 ^{ef} | 13.0 ^{cd} | 51 ^{efg} | 97 ^g | 150 ^g | 299 ^g |
| GU-477 | 2.5 ^g | 5.7 ^f | 5.3 ^d | 49 ^{fg} | 109 ^{fg} | 125 ^g | 283 ^g |
| MEX-23 | 12.2 ^{efg} | 14.4 ^{ef} | 12.5 ^{cd} | 36 ^g | 65 ^g | 101 ^g | 202 ^g |
| Media | 21.1 | 27.4 | 33.8 | 549 | 633 | 913 | 2 096 |
| C.V. (%) | 23.3 | 22.1 | 25.3 | 31.1 | 26.7 | 24.3 | 25.3 |
| Valor de <i>p</i> | < .0001 | < .0001 | < .0001 | < .0001 | < .0001 | < .0001 | < .0001 |

Medias con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).
 GAP: g árbol⁻¹ pica⁻¹; KHA: kg ha⁻¹ año⁻¹; Σ KHA: rendimiento acumulado de tres años.

DISCUSIÓN

Sanidad de las hojas y su impacto en el vigor vegetativo de los árboles

La severidad del Tizón Foliar Sudamericano (SALB) se consolida como un factor limitante para la producción de hule en el trópico húmedo de México (Sterling *et al.* 2020). En la región de Uxpanapa, la fuerte susceptibilidad de clones asiáticos (RRIM-600 y PB-235) confirma que estos materiales

dependen de condiciones de escape, tales como periodos secos prolongados para expresar su potencial productivo (Suarez *et al.* 2015). La evaluación del comportamiento genético ante esta patología es compleja por la alta variabilidad en las bases genéticas de resistencia, que es una constante encontrada en estudios recientes sobre patógenos foliares (Darojat y Oktavia 2025).

El daño frecuente al follaje por *P. ulei* no solo disminuye el área fotosintética activa, sino que significa un costo metabólico elevado para la planta, ya que tiene que canalizar nuevamente carbohidratos de reserva para la recuperación de sus hojas. La demanda por nutrientes compite con el desarrollo del cambium vascular, lo cual explica la alta correlación negativa encontrada en este estudio entre la severidad de SALB y el crecimiento en circunferencia ($r = -0.51$) y altura ($r = -0.61$). Por otro lado, los clones americanos FX-3899 y GU-198 tuvieron bajos niveles de daño lo que podría indicar mecanismos de resistencia en campo que preservan la integridad de las hojas. La interacción entre la fenología y la enfermedad coincide con lo que reportan Zhai *et al.* (2023), los cuales hacen hincapié en cuanto a que el rendimiento es altamente sensible a la presión de enfermedades durante las fases críticas de desarrollo de las hojas.

Vigor en circunferencia del tallo como factor que define la precocidad en la etapa productiva

Las diferencias en la circunferencia del tallo (CT) se reflejan en la interacción de los clones con el ambiente y sus características para el inicio de la etapa explotación. Los resultados sobre vigor vegetativo coinciden con lo reportado por Além *et al.* (2015) y también concuerdan con los resultados de Reju *et al.* (2025), quienes identificaron al vigor posterior a la plantación como un indicador confiable para predecir la selección de material genético sobresaliente. En este experimento, el clon IAN-754 sobresalió por su mayor CT a los 10 años (70.3 cm), confirmando su excelente vigor en condiciones de elevada precipitación (Ortiz-Cervantes *et al.* 2022). Un resultado importante es la estrecha relación entre la CT10 y el número de árboles en pica (NAP: $r = 0.90$; Tabla 4), lo que enfatiza que la precocidad no es una característica aislada, sino una respuesta del clon para alcanzar las dimensiones de 45 cm de circunferencia bajo estrés sanitario.

Tabla 4. Coeficientes de correlación de Pearson entre la sanidad, el crecimiento y el rendimiento de 20 clones de *Hevea brasiliensis*.

| Variable | SALB | AP | NA10 | NAP | CT10 | GAP \bar{x} |
|---------------|---------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| AP | -0.61** | - | | | | |
| NA10 | 0.01 | 0.57** | - | | | |
| NAP | -0.53** | 0.71** | 0.46** | - | | |
| CT10 | -0.51** | 0.72** | 0.29* | 0.90** | - | |
| GAP \bar{x} | -0.31* | 0.11 | -0.15 | 0.30* | 0.30* | - |
| Σ KHA | -0.54** | 0.59** | 0.28* | 0.87** | 0.82** | 0.65** |

** y *: Significancia a ≤ 0.01 y $p \leq 0.05$, respectivamente. SALB: severidad del tizón; AP: altura; NA10: sobrevivencia; NAP: árboles en pica; CT10: circunferencia a los 10 años; GAP \bar{x} : promedio gramos/pica; Σ KHA: rendimiento acumulado.

El vigor vegetativo es un indicador de la rentabilidad futura de las plantaciones tal como lo reafirma el crecimiento en altura y circunferencia de los clones IAN-754, GU-198 e IAN-710 (Gonçalves *et al.*, 2011), los cuales lograron que más del 80% de sus árboles iniciaran la fase productiva al séptimo año. Por otro lado, en los materiales muy susceptibles el deficiente crecimiento provoca una reducción del NAP, haciendo poco viable la explotación comercial a pesar de lograr alta sobrevivencia (NA10) como lo demuestra la reducida correlación entre SALB y NA10 ($r = 0.01$).

Productividad por hectárea como resultado de la sanidad, vigor y rendimiento

El rendimiento acumulado de hule ($\sum KHA$) se interpreta como el resultado conjunto del flujo de látex individual (GAP) y la densidad de árboles productivos (NAP). Los resultados demuestran que un elevado rendimiento en GAP, como el encontrado en el clon asiático RRIM-614, puede neutralizarse mediante un NAP bajo, que es consecuencia de un alto número de árboles enfermos o dominados. Lo anterior, respalda el enfoque de selección por múltiples variables propuesto por Ajith *et al.* (2024), quienes indican que la acción conjunta del vigor, resistencia y rendimiento es el camino más adecuado para asegurar la permanencia del cultivo. Por otro lado, Sayurandi *et al.* (2025) probaron que, en condiciones de alta precipitación, el rendimiento por hectárea de los clones depende tanto el rendimiento por árbol como su capacidad de recuperación ante los cambios ambientales.

El alto rendimiento de los clones GU-198 ($5\ 164\ \text{kg ha}^{-1}$) y FX-3899 se debió a un balance entre variables: una alta producción por pica apuntalada por una alta población de árboles aptos ($r = 0.87$ entre NAP y $\sum KHA$). De igual forma, la reducción observada en el incremento anual de CT (de 5.96 cm en etapa temprana a 3.45 cm en pica) hace evidente una reasignación de fotoasimilados hacia el sistema laticífero; una vez iniciada la pica, el látex se convierte en la demanda metabólica principal, lo que está documentado en diferentes especies de *Hevea* (Bottier, 2020). Bajo estas condiciones, se concluye que, para la región de Uxpanapa, la selección genotípica debe considerar materiales que tengan una alta tasa de incremento en circunferencia y alto grado de resistencia a las enfermedades foliares, que garantice un NAP elevado para compensar los rendimientos individuales bajos durante el inicio de la vida productiva (Sterling *et al.* 2020).

Limitaciones del estudio

Los resultados deben tomar en cuenta que el ensayo se estableció en un sitio experimental único, lo cual puede limitar la extrapolación de los resultados a regiones con suelos y climas diferentes. De igual manera, la evaluación del comportamiento por diez años está sujeto a la variabilidad climática entre y dentro de años, incluyendo eventos poco comunes de precipitación que influyen en la dinámica del patógeno causante de SALB. Finalmente, se recomienda tomar la información con reserva al generalizar las tasas de incremento de los árboles, se sugiere que para futuros trabajos se integren modelos de análisis continuos a través de los años para hacer el desglose con mayor precisión de la varianza estadística debida a la interacción año-clon.

CONCLUSIONES

Después de 10 años de evaluación en las condiciones agroecológicas de Uxpanapa, Veracruz, se concluye que el objetivo de incrementar la productividad y resistencia al tizón foliar (*Pseudocercospora ulei*) se cumple mediante la selección de genotipos que al mismo tiempo integran sanidad foliar, vigor en circunferencia del tallo y precocidad al inicio de la pica. Los resultados demuestran que la productividad de la región, depende del equilibrio entre la densidad de los árboles aptos para pica (NAP) y la resistencia a SALB, se identificó a GU-198, FX-3899 e IAN-710 como los materiales más eficientes debido a su estabilidad ante la presión de la enfermedad, mientras que, IAN-754 destaca por sus altas tasas de crecimiento en circunferencia del tallo y altura de planta. Bajo este enfoque, el mejoramiento de la base genética del hule en el trópico húmedo mexicano debe dar prioridad a clones que tengan un dosel resistente y una tasa de incremento en circunferencia del tallo elevada; estos resultados constituyen una base técnica sólida para el fomento regional, se recomienda la validación de estos clones en diferentes ambientes para confirmar su estabilidad y potencial productivo a gran escala.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Sr. Andrés Juan Roque, silvicultor cooperante del ejido Monterrey, Uxpanapa, Veracruz, por su invaluable apoyo en el establecimiento, custodia y mantenimiento de la parcela experimental durante los diez años de este estudio. Su colaboración fue fundamental para la generación de los datos longitudinales presentados en esta investigación.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

DECLARACIÓN SOBRE USO DE HERRAMIENTAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA

En la investigación y/o preparación de este manuscrito, los autores del documento utilizaron GOGLE con el objetivo de corregir la redacción de algunas fracciones del texto. La revisión, verificación, edición e interpretación de lo aportado por GOGLE fue realizada por los autores, quienes asumen la total responsabilidad por el contenido publicado

LITERATURA CITADA

Ajith VS, Sathik MBM, Nair NN, Maryson M, Abraham T, Meenakumari T (2024) Multi-trait selection for identifying potential drought tolerant clones of *Hevea brasiliensis*. *Rubber Science* 37(2): 166-184.

- Além HM, Gouvêa LRL, Silva GAP, Oliveira ALB, Gonçalves PS (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>
- ANRPC (2026) Natural rubber trends and statistics. Association of Natural Rubber Producing Countries. Kuala Lumpur, Malaysia. <https://www.anrpc.org/news/top-10-rubber-producing-countries-2025>. Fecha de consulta: 11 de abril de 2026.
- Bottier C (2020) Biochemical composition of *Hevea brasiliensis* latex: A focus on the protein, lipid, carbohydrate and mineral contents. In: Nawrot R (ed) *Advances in botanical research*. Academic Press. Cambridge, Reino Unido. pp: 201-237. <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2019.11.003>
- Darojat MR, Oktavia F (2025) Genetic evaluation of several rubber tree clones to circular leaf fall disease. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1526: 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1526/1/012012>
- Darojat MR, Oktavia F, Zulkarnain, Kusdiana APJ (2024) Bioassays and field observations reveal complex and different genetic bases in *Pestalotiopsis* and circular leaf fall disease in *Hevea brasiliensis*. *Industrial Crops and Products* 222: 119829. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119829>
- FAO (1994) FAO/Unesco Soil Map of the World, Revised Legend, with corrections. World Resources Report 60. FAO. Roma, Italia. 140p.
- García E (2004) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ta ed. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México. 217p.
- Gonçalves PS, Scaloppi EJ, Martins MA, Moreno RMB, Branco RBF, Gonçalves ECP (2011) Assessment of growth and yield performance of rubber tree clones of the IAC 500 series. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 46(12): 1643-1649. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001200009>
- Langford MH (1945) South American leaf blight of *Hevea* rubber trees. Technical Bulletin No. 882. U.S. Department of Agriculture. Washington, D.C., EUA. 31p.
- Ortiz-Cervantes E, Hernández-Cruz JM, Moctezuma-López G (2022) Efecto de densidades de población sobre crecimiento y rendimiento de hule en Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13: 1221-1231. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i7.2652>
- Ortiz-Cervantes E (2017) Clones recomendados para el establecimiento de plantaciones de hule. En: Zamora-Martínez MC, Sánchez CR, Zamora MBP, Nieto de Pascual PMC (Comps) *Paquete tecnológico para el cultivo del hule*. Libro Técnico Núm. 13. Cenid-Comef, INIFAP. Ciudad de México, México. pp: 45-46.
- Reju MJ, Arunima PL, Gireesh T (2025) Variability assessment and performance evaluation of 49 *Hevea* genotypes in clonal nursery with special reference to polyclonal selections. *Rubber Science* 38(2): 203-214.
- Sayurandi, Darojat MR, Saban (2025) Growth performance and productivity of IRR 200 series rubber clones in wet climates. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1526: 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1526/1/012015>
- Sterling A, Clavijo-Arias EA, Andrade-Ramírez TK, Losada DL, Góngora-Ocampo H, Rodríguez CH, Caicedo DF (2020) Evaluación inicial de la producción en microsangría de genotipos caquetenses de caucho (*Hevea brasiliensis*) en campo clonal a pequeña escala en el departamento del Caquetá. En: Sterling A, Rodríguez CH (Eds) *Valoración inicial del potencial productivo de Hevea brasiliensis en la Amazonia colombiana mediante la evaluación de nuevos clones promisorios para la región*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Bogotá, Colombia. pp. 39-62.
- Suarez YYJ, Molina JR, Furtado EL (2015) Clones de *Hevea brasiliensis* de alta productividad e resistentes a *Microcyclus ulei*, em jardim clonal na região do Magdalena Medio Colombiano. *Summa Phytopathologica* 41(2): 115-120. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/1985>

Suryakumar M, Sathik MBM (2024) Evaluation of hybrid and polycross progeny populations of *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. for evolving superior clones in Kanyakumari district. *Rubber Science* 37(2): 235-242.

Zhai DL, Thaler P, Worthy FR, Xu J (2023) Rubber latex yield is affected by interactions between antecedent temperature, rubber phenology, and powdery mildew disease. *International Journal of Biometeorology* 67(10): 1569-1579. <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02515-2>