

Estimación del crecimiento diamétrico en árboles de *Bursera simaruba* en una selva mediana subperennifolia de campeche, México

Estimation of diameter growth in *Bursera simaruba* trees in a medium semi-evergreen forest in Campeche, Mexico

Aquino-Ramírez, Martin ^{1*}, Ríos-Saucedo, Julio César ², Sepúlveda-Vázquez, Jerónimo¹ Fierros-Mateo, Reynol³

¹INIFAP-Campo Experimental Edzná. Carretera Campeche-Pocuyaxum km 15.1. Campeche, Camp. México. C.P. 24520

²INIFAP - Campo Experimental Valle del Guadiana. Carretera Durango - El Mezquital km 4.5. Durango, Dgo., México. C. P. 34170.

³Universidad para el Bienestar Benito Juárez García, sede Chenalhó, Carretera Ejido San Pedro, s/n., San Pedro. Chenalhó, Chiapas. C.P. 29870

*Autor para correspondencia: ramirez.aquino@inifap.gob.mx

RESUMEN

Bursera simaruba es una especie importante en el componente florístico de la Península de Yucatán debido a su abundancia como elemento primario y secundario dentro de los bosques tropicales. En la planeación y el manejo forestal sustentable se requiere de modelos para predecir los incrementos y el crecimiento de los árboles, tal es el caso de los modelos crecimiento para predecir el crecimiento del diámetro de los árboles individuales a partir de la edad. El objetivo de esta investigación fue determinar el año de formación de los anillos de crecimiento en *B. simaruba* de una selva mediana subperennifolia en Campeche mediante técnicas dendrocronológicas tradicionales y modelar el crecimiento del diámetro de árboles individuales. Un total de 10 secciones transversales (rodajas) fueron obtenidos de árboles distintos diámetros de fuste. La técnica de fechado cruzado fue utilizada para detectar patrones crecimiento de los anillos y determinar su anualidad, posteriormente, los anillos fueron medidos con el software Coorecorder para obtener series de crecimiento del diámetro. El ancho de anillo promedio fue de 2.28 ± 0.95 mm y longitud media del conjunto de series de anillos fue de 53 años. El modelo de von Bertalanffy explica el 99 % de la variabilidad registrada en los diámetros de *B. simaruba*. Bajo condiciones naturales esta especie alcanza un diámetro comercial de 30 cm a los 73 años y presenta un crecimiento medio de 0.41 cm año⁻¹. Los resultados obtenidos servirán como guía para los programas de manejo forestal en bosques tropicales.

Palabras clave: bosque tropical, dendrocronología, anillos de crecimiento, modelos de crecimiento

ABSTRACT

Bursera simaruba is an important species in the floristic component of the Yucatan Peninsula due to its abundance as a primary and secondary element within tropical forests. Models to predict tree increments and growth are necessary for sustainable forest planning and management, such as growth models to predict diameter growth of individual trees from age. The aim was to determine the year of formation of the growth rings in *B. simaruba* from a medium semi-evergreen forest in Campeche using traditional dendrochronological techniques and to model the diameter growth of individual trees. A total of 10 cross sections were obtained from trees with different stem diameters. The cross-dating technique was used to detect ring growth patterns and determine their annuality; subsequently, the rings were measured with the Coorecorder software to obtain diameter growth series. The average ring width was 2.28 ± 0.95 mm and the mean length of the set of ring series was 53 years. The mean ring width was 2.28 ± 0.95 mm and the mean length of the set of ring series was 53 years. The von Bertalanffy model explains 99% of the variability recorded in the diameters of *B. simaruba*. Under natural conditions this species achieves a commercial diameter of 30 cm at 73 years of age and presents shows an average growth of 0.41 cm year⁻¹. The results obtained will serve as a guide for forest management programs in tropical forests.

Keywords: tropical forest, dendrochronology, growth rings, growth models.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de los árboles es un proceso complejo y su estudio en bosques tropicales aumenta debido a las características ontogénicas, clima y el acceso intermitente de la luz durante el tiempo de vida de los árboles, entre otros (Inga y Del valle, 2017). Para poder entender esta complejidad se han desarrollado diversos modelos de crecimiento empíricos utilizados en el área forestal (Vanclay, 1994; West, 2024).

El modelado del crecimiento en diámetro (medido aprox. a una altura de 1.30 m sobre el nivel del suelo) en árboles de bosques tropicales naturales es importante desde una perspectiva ecológica ya que revela rasgos importantes del historial de los árboles (por ejemplo, esperanza de vida, forma de crecimiento, tamaño máximo, vida media, etc.); así como en el manejo forestal sustentable en bosques tropicales donde se requiere información de las curvas de crecimiento de las distintas especies para evaluar los tratamientos, predecir los rendimientos y optimizar la cosecha (Lozano y Melo, 2023).

Al modelar el crecimiento del diámetro se requiere contar con información del incremento anual, por lo que es necesario estimar la edad de los árboles. Los principales métodos utilizados para conocer la edad de los árboles son mediante parcelas permanentes y técnicas dendrocronológicas (Foster et al., 2014). El empleo de parcelas permanentes tiene desventajas comparado con los anillos de crecimiento anual, tales como: a) en las parcelas permanentes inicialmente son marcados los árboles con pintura y medidos periódicamente con cinta diamétrica usualmente en intervalos de 5 años, raramente de manera anual, b) la precisión en las mediciones es de solo 1 mm y los errores en las mediciones es frecuente y c) se requiere de muchos años asociado con los altos costos para obtener resultados satisfactorios. En tanto, el uso de anillos de crecimiento tiene la ventaja de tener una resolución anual y el ancho del anillo frecuentemente es medido con una precisión de 1 μ m, además se logra la información completa de toda la vida de los árboles con menor tiempo y menores costos (Inga y Del valle, 2017; González-Cásares et al., 2022).

Distintos autores señalan la presencia de anillos de crecimiento en especies de arbustos y árboles en regiones tropicales y subtropicales (Andreu-Hayles et al., 2023; Quesada-Román et al., 2022; Zuidema et al., 2022). En el caso de México se han generado

distintas series dendrocronológicas principalmente del género *Pinus*, *Abies*, *Pseudotsuga* y *Taxodium* (Acosta-Hernández et al., 2017). Sin embargo, para especies arbóreas tropicales es casi nulo los trabajos dendrocronológicos para generar series de crecimiento, ya que solo se ha documentado un solo trabajo en bosques tropicales secos en *Bursera lancifolia* (Durán-Guerra et al., 2014). En la Península de Yucatán no se dispone de estudios publicados con registros de series dendrocronológicas de especies forestales tropicales, sin embargo, se ha descrito la anatomía de madera y el potencial dendroclimático que pueden tener las especies en esta región de México (Roing et al. 2005).

Bursera simaruba. L. Sarg. (Chaká) es una especie importante en el componente florístico de la Península de Yucatán (Pennington y Sarukhán, 2005), debido a su abundancia como elemento primario y secundario dentro de los bosques tropicales. Esta especie aporta servicios ecosistémicos de suma importancia como la conservación de suelo, captura de carbono y es ampliamente utilizada como componente de los sistemas agroforestales, por ejemplo, barreras rompevientos y cercas vivas (Alfaro Reyna et al., 2023), esto por su fácil adaptabilidad y excelente capacidad de rebrote. *B. simaruba* una especie con alto potencial para uso industrial como madera de aserrio, chapa, contrachapado para uso interior y muebles (Palma-García y Rebeles-Islas, 2018). Sin embargo, esta especie se encuentra en riesgo de ser desplazada de su hábitat natural debido al cambio de uso de suelo, la fragmentación de los ecosistemas, construcción de infraestructura, el sobrepastoreo y la deforestación (Frías, 2017). El objetivo de este trabajo fue modelar el crecimiento diamétrico de *B. simaruba* en una selva mediana subperennifolia de Campeche utilizando el modelo de von Bertalanffy.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en el predio del Campo Experimental Edzná del INIFAP, ubicado en el municipio de Campeche dentro de las coordenadas geográficas 19° 45' 01.59" N y 90° 27' 04.12" O y un intervalo altitudinal de 10 a 60 m (**Figura 1**). El clima en el área es cálido subhúmedo (Aw0) (García, 1998), con una temperatura media anual de 30.6 °C, con una temperatura máxima promedio de 39.7 °C



para el mes de mayo, en tanto, la temperatura mínima promedio es 8.4 °C para el mes de enero. El tipo de suelo que predomina en el área son leptosoles, con poca profundidad (menos de 25 cm) y alta pedregosidad (INEGI, 2015). El tipo de vegetación corresponde a una selva mediana subperennifolia y las principales especies que predominan son *Bursera simaruba*, *Lysiloma latisiliquum*, *Piscidia piscipula*, *Tabebuia chrysantha*, *Gymnopodium floribundum*, *Spondias mombin*, *Melicocus oliviformis* y *Vitex gaumeri*.

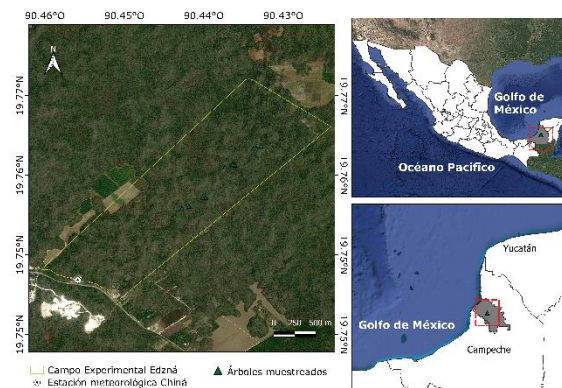


Figura 1. Localización del área de estudio y árboles seleccionados para la obtención de secciones transversales en el Campo Experimental Edzná INIFAP.

Muestreo destructivo

En verano de 2022 fueron seleccionados diez individuos de *B. simaruba* de diferentes tamaños de grosor del fuste (15 a 30 cm de diámetro) para obtener secciones transversales (rodajas). Los árboles elegidos fueron aquellos que mostraran buen vigor, sin bifurcaciones, fuste cilíndrico y sin evidencia de disturbios antropogénicos. En cada árbol se obtuvo una rodaja (sección transversal) perpendicular al fuste de 5 cm de espesor y a una altura de 1.30 m sobre el nivel del suelo con una motosierra marca Stihl® modelo MS-250.

Preparación de las muestras

Las secciones transversales fueron secadas a temperatura ambiente bajo techo, lijadas y pulidas con lijas de diferentes granulometrías (60-1200 granos cm⁻²). De 2 a 3 radios se marcaron en cada sección transversal y con la ayuda de un microscopio estereoscopio Amscope® Se306r-pz se identificaron

todos los anillos de crecimiento para asignarles el año de su formación.

Obtención de series de crecimiento

Todas las rodajas fueron escaneadas a una resolución de 2400 dpi utilizando un scanner EPSON® V39. La medición del ancho de anillo de cada radio fue realizada con el software Coorecorder v.9.8.1 con una precisión de 0.01 mm (Maxwell y Larsson, 2021). La calidad del fechado y de la medición del ancho del anillo se verificaron con el programa COFECHA (Grissino-Mayer, 1983).

Evaluación de la calidad del fechado y medición del diámetro

La precisión de la datación de la serie temporal resultante de cada radio fue verificada con la sincronización de patrones de crecimiento de los anillos de crecimiento anchos y estrechos (fechado cruzado) (Stokes y Smiley, 1968). En tanto, la calidad de la medición de las series de ancho de anillo total, anillos faltantes o anillos falsos fue controlado con el software COFECHA (Holmes, 1983).

Para la obtención del diámetro de una sección transversal generalmente se obtiene con la suma de cada uno de los anillos de crecimiento medidos de un radio y posteriormente es duplicado. Sin embargo, con este procedimiento se tienen errores de sobre o subestimación cuando el centro anatómico de una sección transversal no coincide con el centro geométrico correspondiente a un círculo perfecto. Para corregir esta situación se deben ajustar la serie (radio) antes de hacer estimaciones del diámetro, por lo cual cada ancho de anillo se debe ajustar con la siguiente fórmula (Giraldo *et al.*, 2011):

$$Aa = \left(\frac{Rc}{Rm} \right) Am$$

donde Aa=ancho de anillo ajustado; Rc=radio del círculo perfecto (perímetro de la sección transversal/2π); Rm=longitud del radio sobre el que se midieron los anchos de los anillos; Am=ancho del anillo medido.

Ajuste de modelo para estimar el crecimiento diamétrico

El crecimiento diamétrico acumulado de *B. simaruba* en función al tiempo (edad) fue representado con el modelo de von Bertalanffy (Vanclay, 2003). Este

modelo fue seleccionado por su origen teórico, versatilidad y frecuencia de uso en la silvicultura, el cual es expresado con la siguiente ecuación:

$$D = \alpha(1 - e^{-bt})^c$$

$$\alpha > 0, b > 0, c > 0 \text{ para todo } t > 0$$

donde D=diámetro normal medido a 1.30 m sobre el nivel suelo (cm), α =la asíntota (cm); b=la tasa intrínseca de crecimiento; c= parámetro de forma; t=edad de años y e=constante de Napier (2.71828).

Este modelo tiene la propiedad que en su forma derivada predice el incremento en función de las dimensiones del árbol, mientras en su forma integral en tiempo se obtiene la clásica curva de crecimiento en diámetro en función de la edad del árbol, igualmente, con este modelo se parte de un incremento corriente anual de cero cuando el diámetro es igual a cero (Domínguez-Calleros et al., 2017).

El incremento corriente anual (ICA) o tasa de crecimiento absoluto fue obtenido con la primera derivada del modelo von Bertalanffy y se obtuvo la siguiente ecuación:

$$ICA = \frac{\partial D}{\partial t} = abc(1 - e^{-bt})^{c-1} e^{-bt}$$

En tanto, el incremento medio anual (IMA) o tasa de incremento medio se calculó con la siguiente expresión:

$$IMA = \frac{D}{t} = \frac{\alpha(1 - e^{-bt})^c}{t}$$

Y la tasa de incremento relativo (IR) del diámetro fue calculado con la siguiente relación:

$$IR = \frac{\partial D}{\partial t} \frac{1}{D} = \frac{abc(1 - e^{-bt})^{c-1} e^{-bt}}{D}$$

Diversos autores describen que al ajustar modelos de crecimiento diamétrico a partir de la edad se tienen principalmente dos problemas estadísticos, la heterocedasticidad y la autocorrelación temporal entre el diámetro de un año con el de años anteriores, además, los diámetros no son observaciones independientes (Giraldo y Del Valle, 2011; Inga y Del Valle, 2017). Para corregir estos

problemas se utilizó el procedimiento sugerido por Lema (2003) y Giraldo y Del Valle (2012) donde se ajustó el modelo de von Bertalanffy con los diámetros no corregidos, enseguida se verificó la presencia de heterocedasticidad, después se calcula una regresión lineal simple que relaciona los residuales estudentizados elevados al cuadrado (e_i^2) y el diámetro:

$$e_i^2 = b_0 + b_1 D$$

De esta manera se obtiene una ponderación $W_i = 1/\hat{e}_i^2$ para cada D_i , que será incluido en modelo para solventar los problemas de heterocedasticidad. El segundo problema fue resuelto al tomar del conjunto original de datos diámetro-edad (1080) una muestra aleatoria de 750 datos con los cuales se ajustaron los estimadores del modelo de crecimiento de von Bertalanffy.

Validación del modelo

Una muestra aleatoria de 108 pares de datos diámetro-edad fue seleccionada, la cual fue independiente a los pares de datos utilizados para estimar los parámetros del modelo von Bertalanffy. Con una prueba de χ^2 se comparó las diferencias estadísticas entre los diámetros de esta muestra y los estimados con el modelo ajustado.

El ajuste del modelo von Bertalanffy fue realizado con procedimiento MODEL de SAS/ETS (SAS Institute Inc., 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los anillos de crecimiento en la madera de *B. simaruba* son distinguibles y sus límites están caracterizadas por la presencia de zonas fibrosas con paredes ligeramente aplanadas radialmente y de mayor espesor que en el resto de las fibras del anillo (Figura 2a). Por el contrario, los anillos falsos presentan una marcación tenue y discontinua que los anillos verdaderos (Figura 2b). El ancho de anillo promedio fue de 2.28 ± 0.95 mm.

b)



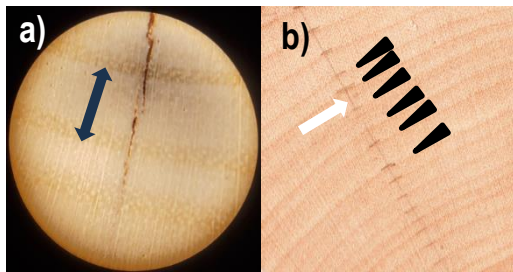


Figura 2. a) Límites de los anillos de crecimiento de *B. simaruba*, b) sección transversal con vista de los anillos de crecimiento (flechas negras) y falso anillos (flecha blanca).

Los anillos de crecimiento de *B. simaruba* son visibles a nivel macroscópico, al igual que otras especies arbóreas tropicales, tales como *Tabebuia chrysanta* (Volland-Voigt et al., 2011), *Bursera lancifolia* (Duran et al., 2014), *Cedrela odorata* (Menezes et al., 2021), *Aspidosperma castroanum*, *Aspidosperma subincanum*, *Handroanthus serratifolius*, *Handroanthus ochraceus* (Aragão et al., 2021). Sin embargo, estas presentan ciertas limitaciones que deben ser consideradas al momento del fechado, por ejemplo, la presencia de anillos falsos (Escalante et al., 2020). Por tal razón es importante el uso de secciones transversales que provean un mayor campo de visibilidad permitiendo un adecuado fechado (López y Villalba, 2015). En otras especies del género *Bursera* los anillos de los árboles están definidos por el cambio en el grosor de las fibras, con paredes delgadas en la zona de crecimiento y de mayor espesor en el resto de las fibras del anillo. Por ejemplo, *B. lancifolia*, *Bursera longipe*, *Bursera tomentosa*, *Bursera copallifera* (Castillo et al., 2005; Duran et al., 2014) y *Bursera graveolens* (Marcelo-Peña et al., 2020), las cuales son especies que crecen en bosques tropicales.

La longitud media del conjunto de series de anillos fue de 53 años. El valor del parámetro de la intercorrelación entre series fue de 0.57. Este valor fue alto en comparación al estudio realizado en *B. lancifolia* (0.339) en un bosque tropical seco de Morelos (Duran et al., 2014), esto se debe a que en este estudio se tuvo un mayor número de series dendrocronológicas; y similar al reportado en *B. graveolens* (0.55) en el sur de Ecuador (Pucha-

Cofrep et al., 2015). Los años que mostraron mayor crecimiento en ancho de anillo fueron 1993-1994, 2001-2006, 2013 y 2016, y aquellos que presentaron menor crecimiento ocurrieron en 1974, 1977, 1995-1998, 2000, 2007-2009 y 2011 (Figura 3).

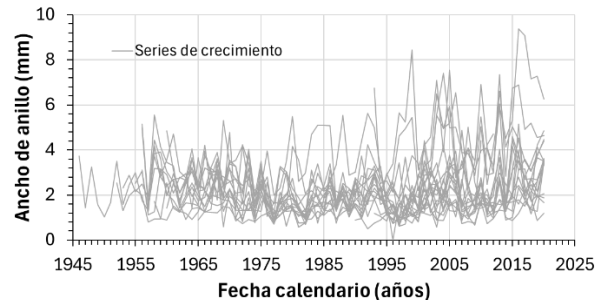


Figura 3. Ancho de anillo de las series de crecimiento de *B. simaruba*.

En la Figura 4 se observan las trayectorias de las series de crecimiento diamétrico de *B. simaruba*. El individuo con más edad fue de 75 años y el de menor fue de 27 años. No se observan diferencias importantes en las trayectorias del crecimiento diamétrico debido a que el centro anatómico no se encuentra muy distante del centro geométrico.

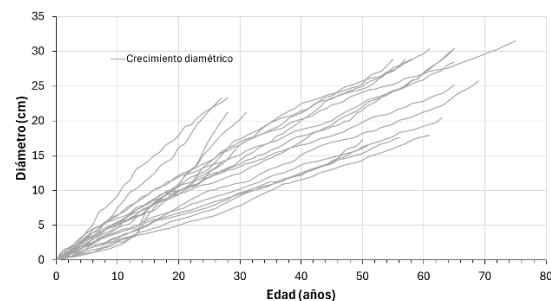


Figura 4. Trayectorias del crecimiento diamétrico acumulado de los árboles muestreados de *B. simaruba*. Cada línea representa una serie de una sección transversal.

Todos los parámetros del modelo ajustado fueron significativos ($p < 0.001$) (Cuadro 1), además, se obtuvieron los siguientes estadísticos: un coeficiente de correlación ajustado de 0.9984, raíz del cuadrado medio del error (RMSE) 0.9916 y un valor de Durbin-Watson de 2. El diagnóstico gráfico de los residuales contra valores predichos no mostró tendencias visibles que indiquen heterocedasticidad (Figura 5). El modelo proyecta crecimientos diamétricos altos al inicio y converge en la clásica asíntota del diámetro en el tiempo (Figura 6).

Cuadro 1. Parámetros estimados del modelo de von Bertalanffy para estimar el diámetro a partir de la edad en *B. simaruba* en una selva mediana subperennifolia.

Par.	Est.	E.E.	valor t	Pr > t
α	119.1695	9.6079	12.4	<.0001
b	0.003392	0.00036	9.41	<.0001
c	0.904173	0.00451	200.36	<.0001

Par = Parámetros del modelo, Est. = valor de los parámetros estimados, E.E. = Error estándar aproximado.

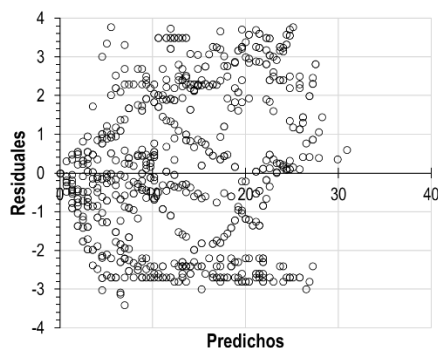


Figura 5. Distribución de los residuales al corregir por heterocedasticidad.

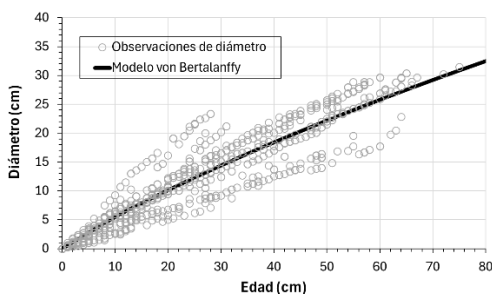


Figura 6. Crecimiento en diámetro en función a la edad empleando el modelo de von Bertalanffy.

Las tasas de ICA, IMA e IR de crecimiento son presentados en la Figura 8 y corresponden, a las siguientes ecuaciones:

$$ICA = \frac{\partial D}{\partial t} = 0.3654(1 - e^{-(0.003392)t})^{(-0.0958)} e^{-(0.003392)t}$$

$$IMA = \frac{D}{t} = \frac{119.1695(1 - e^{-(0.003392)t})^{(0.904173)}}{t}$$

$$IR = \frac{\partial D}{\partial t} \frac{1}{D} = \frac{0.3654(1 - e^{-(0.003392)t})^{(-0.0958)} e^{-(0.003392)t}}{D}$$

El ICA se maximiza cerca de los 10 años con 0.49 cm año⁻¹ con un diámetro de 5 cm. El punto máximo donde el ICA=IMA se alcanza a los 29 años con tasas de 0.41 cm año⁻¹ y un diámetro de 14 cm. Por otro lado, el comportamiento del IR presenta una tasa de crecimiento que decrece abruptamente hasta la edad de 9 años cuando los árboles alcanzan un diámetro de 5 cm y de ahí el IR continúa decreciendo, pero a tasas menores.

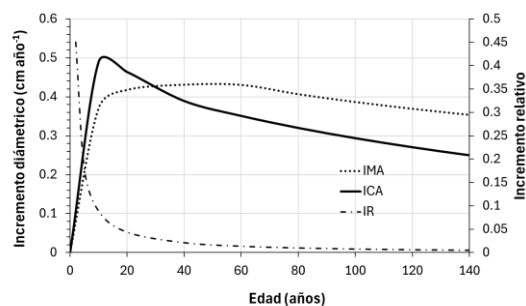


Figura 6. Tasas de crecimiento diamétrico (ICA, IMA, IR) calculadas con el modelo de von Bertalanffy en *Bursera simaruba*.

Los resultados de la prueba de χ^2 en la prueba de validación del modelo de crecimiento diamétrico indicó que los diámetros estimados no presentan diferencias estadísticas a los valores observados con un nivel de significancia de 0.05 y 107 grados de libertad, el valor de tablas $\chi^2_{(0.05,107)} = 132.14$ fue superior al χ^2 calculado=68.14.

La tasa de crecimiento encontrada en *B. simaruba* fue similar a la reportada en otros estudios de árboles tropicales, por ejemplo, en *Cedrela odorata* (22 mm año⁻¹) y *Juglans neotropica* (0.25 mm año⁻¹) en el bosque central de Perú (Inga y Del Valle, 2017), pero inferior al reportado en *Cedrela nebulosa* (0.32 mm año⁻¹) en bosques tropicales montañosos de Perú (Layme-Huaman et al., 2018). Las distintas tasas de crecimiento en los bosques tropicales se deben a las condiciones de sitio, así como las características intrínsecas de la especie como la densidad de la madera, competencia, genética, tasas fotosintéticas, entre otros. En el trabajo realizado por Domínguez-Caballeros et al. (2017) ajustaron modelos para predecir el diámetro con el modelo de Chapman-Richards para *Bursera simaruba* y *Cordia alliodora* indicando que para alcanzar un diámetro de 30 cm se requiere una edad de 100 años, esta predicción es superior a lo estimado con



el modelo de esta investigación ya que para alcanzar esos 30 cm de diámetro se necesitan de 73 años. Las diferencias encontradas se deben a que los incrementos diamétricos fueron obtenidos de bandas dendrométricas y no con datos de anillos de crecimiento como los obtenidos en este trabajo.

CONCLUSIONES

Aplicando técnicas dendrocronológicas tradicionales se pudo fechar el año exacto de formación de los anillos de crecimiento de *B. simaruba*. El modelo de von Bertalanffy proyecta de manera confiable el crecimiento del diámetro de los árboles individuales y servirá de guía para elaborar planes de manejo forestal donde *B. simaruba* sea parte del aprovechamiento maderable.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó con financiamiento de recursos externos del INIFAP a través del proyecto "Transferencia de tecnología en la producción de carbón vegetal con el horno metálico tipo CEVAG (NCPA Sudzal Chico)" con número de registro SIGI: 437635545.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Hernández A. C., Pompa-García M., Camarero J. J. 2017. An updated review of dendrochronological investigations in Mexico, a megadiverse country with a high potential for tree-ring sciences. *Forests*, 8(5), 160.
- Alfaro-Reyna T., Saturnino-Duran M., García Cuevas X., Delgado Balbuena J., Yuridia López C., Arellano Martín F. 2022. Árboles multipropósito de la península de Yucatán de importancia agroforestal. CONAFOR. México. 133 p.
- Andreu-Hayles, L., Tejedor, E., D'Arrigo, R., Locosselli, G. M., Rodríguez-Catón, M., Daux, V., Oelkers, R., Pacheco-Solana, A., Paredes-Villanueva, K., y Rodríguez-Morata, C. 2023. Dendrochronological advances in the tropical and subtropical Americas: Research priorities and future directions. *Dendrochronologia*, 81, 126124.
- Aragão J. R. V., Zuidema P. A., Groenendijk P. 2022. Climate-growth relations of congeneric tree species vary across a tropical vegetation gradient in Brazil. *Dendrochronologia*, 71, 125913.
- Castillo M., Sanabria M. E., Hidalgo C., Perozo Y. 2005. Características anatómicas del tallo de bálsamo de incienso (*Bursera tomentosa* Jacq. Tr. & Planch). *Bioagro*, 17(1), 17-23.
- Domínguez-Calleros P. A., Rodríguez-Flores F. D. J., Lizárraga-Mendiola L., Jiménez-Gómez M. A., Navar J. 2017. Aplicaciones y ejemplos de modelos de crecimiento diamétrico para árboles tropicales. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 4(11), 265-274.
- Durán-Guerra O., Quintanar Isaías A., Villanueva Díaz J., Jaramillo-Pérez A. T., Cerano Paredes J. 2014. Características anatómicas de la madera de *Bursera lancifolia* (Schltdl.) Engl. con potencial dendrocronológico. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5(26), 76-89.
- Escalante E., López L., Villalba R. 2020. Anillos de crecimiento de *Machaerium acutifolium* (Fabaceae): Historia de crecimiento y capacidad productiva en bosques secos tropicales. *Ecología en Bolivia*, 55(2), 85-93.
- Foster J.R., D'Amato A.W., Bradford J.B. 2014. Looking for age-related growth decline in natural forests: unexpected biomass patterns from tree rings and simulated mortality. *Oecologia* 175, 363–374.
- Frias Castro A. 2017. Papelillos y copales (familia Burseraceae) en la biodiversidad en Jalisco. *Conabio México*, 2, 187-190.
- García E. 1998. Climas (Clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1000000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio).
- Giraldo J. A., Del Valle J. I., Sierra C. A., Melo O. 2020. Dendrochronological potential of trees from America's rainiest region. In M. Pompa-García y J. J. Camarero (Eds.), *Latin American Dendroecology* (pp. 79–119). Springer International Publishing.
- Giraldo Jiménez, J. A., Del Valle Arango J. I. 2011. Estudio del crecimiento de *Prioria copaifera* (Caesalpinaceae) mediante técnicas dendrocronológicas. *Revista de Biología Tropical*, 59(4), 1813-1831.
- González-Cásares, M., Pompa-García M., Padilla-Martínez J. R. 2022. Pith eccentricity, basal area increments and disturbances inferred from tree-ring growth. *Tree-Ring Research*, 78(1), 25-35.



- Grissino-Mayer H. D. 2001. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Res* 57(2):205–221.
- Holmes R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 43, 51-67.
- Inga, J. G., Del Valle, J. I. 2017. Log-relative growth: A new dendrochronological approach to study diameter growth in *Cedrela odorata* and *Juglans neotropica*, Central Forest, Peru. *Dendrochronologia*, 44, 117-129.
- Layme-Huaman E.T., Ferrero M.E., Palacios-Lazaro K.S. 2018. *Cedrela nebulosa*: a novel species for dendroclimatological studies in the Montane tropics of South America. *Dendrochronologia* 50:105–112.
- Lema, A. 2003. Elementos estadísticos de dasometría y medición forestal. Silvano, Medellín, Colombia.
- Lopez L., Villalba R. 2016. Reliable estimates of radial growth for eight tropical species based on wood anatomical patterns. *Journal of Tropical Forest Science*, 28(2), 139-152.
- Lozano B., L. A., Melo C., O. A. 2023. Crecimiento diamétrico de *Guarea guidonia* (L.) estimado con modelos no lineales. bosque seco tropical en el norte de Tolima. Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 1(35).
- Marcelo-Peña J. L., Roig F. A., Goodwin Z. A., Tomazello-Filho M. 2020. Characterizing growth rings in the trees of Perú: A wood anatomical overview for potential applications in dendroecological-related fields. *Dendrochronologia*, 62, 125728.
- Maxwell R.S., Larsson L.A. 2021. Measuring Tree-Ring Widths Using the CooRecorder Software Application. *Dendrochronologia*, 67, 125841
- Menezes I. R. N., Aragao J. R. V., Pagotto M. A., Lisi C. S. 2022. Teleconnections and edaphoclimatic effects on tree growth of *Cedrela odorata* L. in a seasonally dry tropical forest in Brazil. *Dendrochronologia*, 72, 125923.
- Palma-García, J. M., Rebeles-Islas C. G. 2018. Recursos arbóreos y arbustivos tropicales para una ganadería bovina sustentable. Universidad de Colima.
- Pennington T.D., J. Sarukhán. 2005. Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. 3a. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica, México, 290.
- Pucha-Cofrep D., Peters T., Bräuning, A. 2015. Wet season precipitation during the past century reconstructed from tree-rings of a tropical dry forest in Southern Ecuador. *Global and Planetary Change*, 133, 65-78.
- Quesada-Román A., Bellesteros-Cánovas J. A., George S. S., Stoffel M. 2022. Tropical and subtropical dendrochronology: Approaches, applications, and prospects. *Ecological Indicators*, 144, 109506.
- Roig F. A., Osornio J. J. J., Diaz J. V., Luckman B., Tiessen H., Medina A. Noellemeier E. J. 2005. Anatomy of growth rings at the Yucatán Peninsula. *Dendrochronologia*, 22(3), 187-193.
- SAS Institute Inc. 2004. SAS/STAT® 14.1 User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, NC, United States of America. 10380 p.
- Stokes M. Smiley A. 1968. An Introduction to tree-Ring Dating. The University of Arizona Press, Tucson.
- Vanclay J. 2003. Growth modelling and yield prediction for sustainable forest management. *Malaysian Forester* 66: 58-69.
- Vanclay, J.K., 1994. Modelling Forest Growth and Yield: Applications to Mixed Tropical Forests. CAB International, Wallingford UK CAB International, Wallingford UK, Australia, 312 pp.
- Volland-Voigt F., Bräuning A., Ganzhi, O., Peters T., Maza, H. 2011. Radial stem variations of *Tabebuia chrysantha* (Bignoniaceae) in different tropical forest ecosystems of southern Ecuador. *Trees*, 25, 39-48
- West, P. W. 2024. A review of the growth behaviour of stands and trees in even-aged, monospecific forest. *Annals of Forest Science*, 81(1), 34.
- Zuidema P. A., Babst F., Groenendijk P., Trouet V., Abiyu A., Acuña-Soto R., Adenesky-Filho E., Alfaro-Sánchez R., Aragão J. R. V., Assis-Pereira G., Bai X., Barbosa A. C., Battipaglia G., Beeckman H., Botosso P. C., Bradley, T., Bräuning A., Brien R., Buckley B. M., Zhou Z.-K. 2022. Tropical tree growth driven by dry-season climate variability. *Nature Geoscience*, March, 15(4), 268-276.

