

**Crecimiento de  
*Amburana cearensis*  
(roble) en los bosques  
chiquitanos de Santa Cruz,  
Bolivia**

Jaquelin Mamani-López y Lidio López



# Crecimiento de *Amburana cearensis* (roble), en los bosques chiquitanos de Santa Cruz, Bolivia

Enviado el 30/10/2022; aceptado el 17/11/2022

Jaquelin Mamani-López y Lidio López<sup>2</sup>

1 Carrera Ingeniería Forestal, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Santa Cruz, Bolivia

2 Laboratorio de Dendrocronología e Historia Ambiental, IANIGLA/CONICET, C.C., 330-(5500) Mendoza, Argentina.

## RESUMEN

La dendrocronología es una herramienta muy útil para evaluar la variación del crecimiento de los árboles y reconstruir la historia climática de una determinada región o bioma. Mediante técnicas tradicionales ya establecidas en dendrocronología, se evaluó la variación del crecimiento de 15 árboles de *Amburana cearensis*, en el bosque seco chiquitano (CIMAL) de Santa Cruz-Bolivia. El objetivo principal fue determinar la relación del crecimiento a las variaciones climáticas regionales. Los árboles analizados tienen anillos anuales, visibles, delimitados por parénquima marginal continuo a semi-continuo, ubicado al final de cada periodo de crecimiento. Esta especie en CIMAL tiene árboles que alcanzan una edad superior a 120 años y crecen anualmente un promedio de 0,50 cm. La autocorrelación entre árboles ( $r = 0,61$ ), la correlación media entre series ( $R\text{-bar} = 0,40$ ) y una señal poblacional media (EPS = 0,93), indican que la cronología está compuesta por una buena replica de ejemplares en todos los segmentos. El crecimiento de los árboles de *A. cearensis* es favorecido por periodos con abundantes

precipitaciones y temperaturas relativamente inferiores a los valores medios anuales. La variación interanual del crecimiento y los registros instrumentales de temperatura ( $r = -0,34$ ) y precipitación ( $r = 0,61$ ) en ambos casos son significativos. El crecimiento está correlacionado positivamente con la precipitación de diciembre a marzo, mientras la temperatura del mismo periodo tiene una correlación inversa pero significativa. Este patrón de respuesta sugiere que el crecimiento de esta especie es muy sensible a las variaciones climáticas, principalmente a los cambios interanuales en el suministro de agua. El crecimiento radial de *A. cearensis* en los bosques secos Chiquitanos está principalmente modulado por la disponibilidad de agua, como indican las relaciones positivas con la precipitación estacional y negativa con la temperatura media anual. Esta respuesta es una prueba del potencial dendrocronológico que posee esta especie para reconstruir las variaciones de las precipitaciones del pasado en las extensas formaciones forestales tropicales del Cerrado y del Chaco en Sudamérica.

**Palabras clave:** Anillos de crecimiento, Cimal, roble, chiquitanía

# Growth of *Amburana cearensis* (oak), in the chiquitano forests of Santa Cruz, Bolivia

Submitted 30/10/2022; accepted 17/11/2022

Jaquelin Mamani-López<sup>1</sup>, and Lidio López<sup>2</sup>

1 Carrera Ingeniería Forestal, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Santa Cruz, Bolivia

2 Laboratorio de Dendrocronología e Historia Ambiental, IANIGLA/CONICET, C.C., 330-(5500) Mendoza, Argentina

## ABSTRACT

Dendrochronology is a very useful tool to evaluate the variation of tree growth and to reconstruct the environmental history of a given region or biome. Using traditional techniques already established in dendrochronology, we evaluated the growth variation of 15 trees of *Amburana cearensis*, in the chiquitano dry forest (CIMAL) of Santa Cruz-Bolivia. The main objective was to determine the relationship of growth to regional climatic variations. The analyzed trees have annual rings, visible, delimited by continuous to semi-continuous marginal parenchyma, located at the end of each growth period. This species in CIMAL has trees that reach an age of more than 120 years and grow an average of 0.50 cm annually. The autocorrelation between trees ( $r = 0.61$ ), the mean correlation between series ( $R\text{-bar} = 0.40$ ) and a mean population signal ( $EPS = 0.93$ ), indicate that the chronology is composed of a good replicate of specimens in all segments. The growth of *A. cearensis* trees is favored by periods with abundant

precipitation and temperatures relatively lower than the annual mean values. The interannual variation of growth and the instrumental records of temperature ( $r = -0.34$ ) and precipitation ( $r = 0.61$ ) in both cases are significant. Growth is positively correlated with precipitation from December to March, while temperature for the same period has an inverse but significant correlation. This response pattern suggests that the growth of this species is very sensitive to climatic variations, mainly to interannual changes in water supply. The radial growth of *A. cearensis* in Chiquitano dry forests is mainly modulated by water availability, as indicated by positive relationships with seasonal precipitation and negative relationships with mean annual temperature. This response is an evidence of the dendrochronological potential of this species to reconstruct past rainfall variations in the extensive tropical forest formations of the Cerrado and Chaco in South America.

**Key words:** Growth rings, Cimal, roble, chiquitania

## INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente los estudios dendrocronológicos se han concentrado en latitudes medias y altas de ambos hemisferios donde la estacionalidad térmica (invierno y verano) facilita la formación de los anillos de crecimiento (Fritts 1976). Las coníferas poseen un leño comparativamente más simple que las latifoliadas, y por consiguiente anillos de crecimiento más demarcados (Farjon 2018, Schweingruber 1986). Por el contrario, los bosques tropicales están dominados por latifoliadas con estructuras leñosas más complejas, donde la visualización de los anillos de crecimiento no siempre es sencilla (Brienen *et al.* 2016, López and Villalba 2016, Schöngart *et al.* 2017). La falta de una marcada estacionalidad térmica en los trópicos reduce la posibilidad de encontrar especies con anillos anuales y bien demarcados. A su vez, la dinámica de crecimiento del bosque tropical es compleja y las interacciones competitivas entre árboles vecinos es mayor, introduciendo frecuentemente a anomalías en los ritmos de crecimiento radial (Villalba 1987). Si bien los estudios dendrocronológicos en las regiones tropicales de América del Sur se han intensificado en las últimas décadas, la respuesta del crecimiento de los árboles al clima no han sido plenamente estudiadas (Brienen *et al.* 2016, López *et al.* 2019). La mayoría de los estudios reportan las relaciones clima-crecimiento a nivel local, pero no para una especie a lo largo de su distribución natural con variaciones en las condiciones ambientales

(López *et al.* 2017). Las redes compuestas por numerosas cronologías aún no son comunes en las regiones tropicales como frecuentemente ocurre en los bosques templados y fríos. Las relaciones clima-crecimiento para una misma o varias especies en diferentes ambientes no han sido propiamente evaluadas (López *et al.* 2019).

En los bosques tropicales del Norte de Bolivia se estudiaron los anillos de crecimiento de *Amburana cearensis*, los resultados describen como una especie que posee un crecimiento anual, puede superar los 200 años y tiene un buen potencial para el desarrollo de cronologías sensibles al clima. Se destaca que la cronología de *A. cearensis* dentro de las seis especies estudiadas fue la con mayor correlación positiva con la precipitación durante la estación lluviosa temprana de verano y la precipitación total de la temporada lluviosa (Brienen y Zuidema 2005). Un patrón similar de respuesta fue observado entre los índices de crecimiento y las precipitaciones sobre todo durante las lluvias de la estación temprana en los bosques secos tropicales de Bolivia. La correlación positiva con la precipitación de octubre y noviembre puede explicar la alta sensibilidad de la especie al cambio en la disponibilidad del agua, tan pronto comienza a llover durante la estación lluviosa la especie inicia su crecimiento (Paredes-Villanueva *et al.* 2015). Los anillos de crecimiento de *A. cearensis* también fueron estudiados en los bosques secos tropicales del Cerrado Brasileiro, donde se

usaron datación con  $^{14}\text{C}$  en árboles que habitan diversas condiciones de sitio. Los resultados de este estudio sugieren que el crecimiento tiene una relación directa con las precipitaciones y la temperatura de primavera-verano. Entre la conclusión más importante destacan, que las condiciones más secas y cálidas afectarían al crecimiento interanual de los árboles en las regiones tropicales estacionales (Goday-Veiga *et al.* 2021). Asimismo, esta especie es considerada de alto potencial dendrocronológico para realizar estudios paleo-climáticos y dendro ecológicos en regiones tropicales de América del Sur (Schöngart *et al.* 2017).

Con el propósito de cubrir espacialmente más sitios con cronologías de especies maderables, se evaluó la información que proveen los anillos de *Amburana cearensis* para establecer la relación con las variaciones climáticas regionales de los bosques chiquitanos. Previamente se describió la estructura macroscópica más relevante que caracteriza al momento de definir los anillos y la tasa anual de crecimiento diamétrico que alcanza la especie en los bosques secos de CIMAL, provincia Ángel Sandoval, Departamento de Santa Cruz Bolivia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El presente estudio se realizó en la Autorización Transitoria Especial CIMAL de la provincia Ángel Sandoval (Ex Concesión

CIMAL), este predio tiene una superficie de 303.185 hectáreas de bosque destinadas al manejo forestal. Entre las principales pautas de aprovechamiento tiene un área anual de 500 hectáreas y un ciclo de corta de 20 años. Este sitio ( $17^{\circ}42'3.87''\text{S}$ ,  $59^{\circ}24'16.57''\text{O}$ ) geográficamente está ubicado al noroeste del Departamento de Santa Cruz, provincia Ángel Sandoval (Fig. 1).

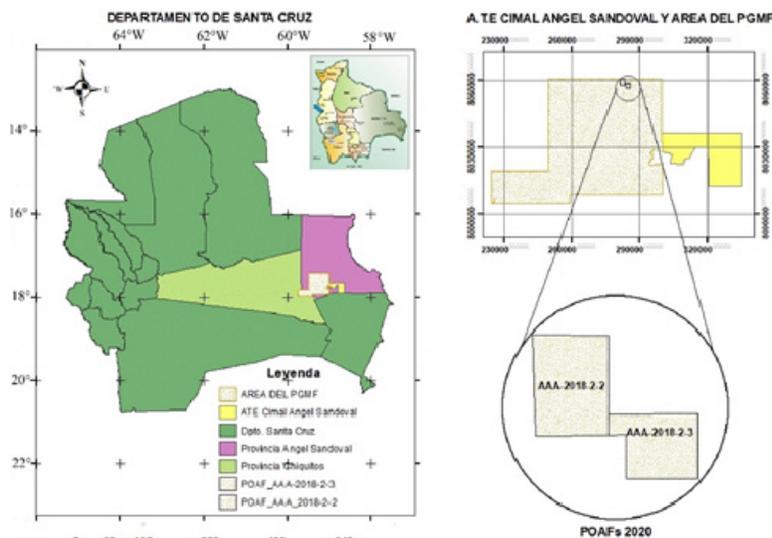
La altitud en la que se encuentran estos bosques varía entre 570-700 metros sobre el nivel del mar. En el predio CIMAL se identificaron cuatro principales tipos de estratos boscosos, un alto y denso, mediano denso, mediano disperso y sabana arbolada. Ambos estratos tienen especies características de los bosques secos tropicales como *Acosmium cardenasii*, *Anadenanthera colubrina*, *Phyllostylon rhamnoides*, *Aspidosperma* sp. *Schinopsis brasiliensis*, *Tabebuia* sp, *A. cearensis*, *Copaifera chodatiana* (Navarro 2011). Los bosques chiquitanos comprenden extensas áreas de sabanas húmedas y bosque semidecíduos situados en valles y llanuras. El bosque Chiquitano se sitúa al noroeste del Departamento de Santa Cruz, comprenden una franja climática de transición entre los biomas Amazónicos y el árido Chaqueño (Killeen *et al.* 1993, Navarro y Maldonado 2002).

### Especie en estudio y colección de muestras

La especie en estudio localmente es conocida como Roble, Tumi, Soriocó y

yyra-piriri-guasú, trébol (Paraguay), ishpingo, Sorioco (Perú), roble americano, roble criollo, roble del país, roble, palo trébol, trébol (Argentina) y Cerejeira, Roble Brasileño, Ishpingo (Brasil). El nombre científico es *Amburana cearensis* (Allemao) A.C. Sm. y pertenece a la familia Fabaceae (Killeen *et al.* 1993). Generalmente son árboles de hasta 40 m de altura y 150 cm de diámetro, fuste cilíndrico-cónico, generalmente recto, y corteza externa lisa marrón rojizo con exfoliaciones papiráceas (Jardim *et al.* 2003). Esta especie es característica de bosques semidecuidos, bosque amazónico y zonas de transición a bosque montano húmedo y seco. Florece de marzo a mayo; los frutos madu-

ran entre julio y septiembre (Mostacedo *et al.* 2003). En Bolivia se distribuye en los departamentos de Pando, Beni, La Paz y Santa Cruz, desde los 200 a los 1200 metros sobre el nivel del mar (Jardim *et al.* 2003). Esta especie tiene anillos de crecimiento visibles a simple vista, mejor definidos en la etapa juvenil de los árboles (Brienen y Zuidema 2005, López y Villalba 2016). A su vez, describen que las bandas anuales están delimitadas por una banda semicontinua de parénquima y una mayor proporción de tejido fibroso y paredes celulares engrosadas al final de cada período de crecimiento (Godoy-Veiga *et al.* 2021, Paredes-Villanueva *et al.* 2015).



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio en la A.T.E. CIMAL de la provincia Ángel Sandoval, Departamento de Santa Cruz, Bolivia.

El material leñoso se colectó dentro del área anual de aprovechamiento donde se aprovecharon numerosas especies forestales todas para madera, entre una de ellas *Amburana cearensis*. En esta área se colectaron 15 secciones transversales de la especie en estudio, cuyos árboles oscilaban entre 40-80 cm de diámetro y todos los fustes contaban con buenas condiciones fitosanitarias (sanos). Algunas muestras previamente clasificadas su estado sanitario fueron descartadas en el terreno por la presencia de daños en la médula y otros defectos patológicos que afectaron el color y los arreglos anatómicos, propios de esta especie en esta región (Fig. 2). En todos los casos, las muestras fueron tomadas de la primera troza (en lo posible la más cercana a la superficie del suelo).

El número de árboles de *A. cearensis* fue variado de acuerdo a las formaciones topográficas dentro una superficie de 500 hectáreas. Las muestras se obtuvieron mediante el uso de motosierra en los patios de acopio de troncos. Dada la dureza que caracteriza a la mayoría de las maderas de esta región, no pueden emplear los barrenos de incremento tradicionales, los que han sido diseñados para maderas de menor densidad (López 2011). Asimismo, la mayor dificultad en la tarea de delimitar con precisión los anillos de crecimiento en estas especies obliga a trabajar con secciones transversales del fuste de los árboles, en lugar de los tradicionales tarugos de 5 mm de espesor. Contar con secciones transversales o radios de árboles, permite tener una mejor visión del



**Figura 2.** Colección y selección de muestras transversales de la especie en estudio. El lado izquierdo saneado de una troza en busca de la parte más sana y derecho una rodaja infectada por hongos principalmente en la zona medular y cercano a la superficie del suelo en los bosques Chiquitanos de CIMAL.

plan leñoso y aumenta la precisión en la determinación y medición del espesor de los anillos de crecimiento (López 2011).

### Clima chiquitano

En CIMAL, Ángel Sandoval específicamente, no se cuenta con datos climáticos, por lo tanto, fue necesario acudir a estaciones meteorológicas cercanas, en este caso puntual se usó la de Roboré. CIMAL se encuentra aproximadamente a 120 km de la localidad Roboré, donde la temperatura media anual es de 25°C (1979-2019) y con siete meses secos estacionales que van de abril a octubre. En tanto la precipitación media anual alcanza a 1.131mm

(1.943-2.019) con un marcado periodo lluvioso distribuido durante los meses de noviembre a marzo (Fig. 3).

### Procesamiento de muestras

Las muestras en rodajas una vez secas naturalmente fueron pulidas y fechadas visualmente con lijas de granos decreciente (80 a 1200) y siguiendo los criterios ya establecidos para dendrocronología (Stokes y Smiley 1968). Se describieron macroscópicamente las características más destacadas del leño, observables a simple vista o con ayuda de lupa, así como la distribución, forma y tipo de elemento que facilita la delimitación de los anillos

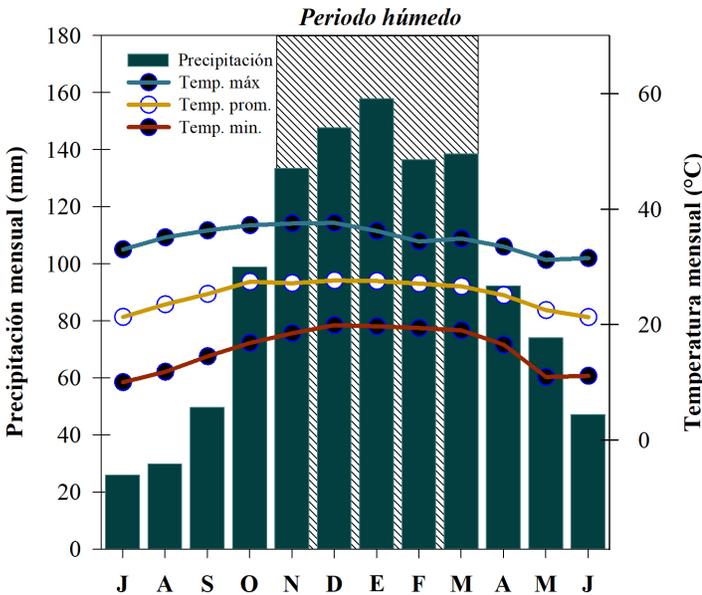
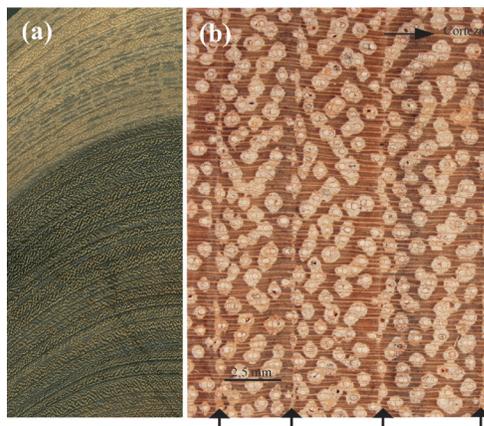


Figura 3. Climograma construido con datos de la estación meteorológica de Roboré (SENAMHI, Bolivia, 18° 19' 47" S, 59° 45' 58", altitud 127 msnm), las barras representan a la precipitación y las líneas a la temperatura.

de crecimiento (Fig. 4). Posteriormente, se procedió al fechado y co-fechado, la base de este proceso estuvo dada por la correcta visualización del patrón anatómico que delimita a los anillos de crecimiento. Este patrón fue visualmente comparado en dos radios de un mismo árbol y entre árboles de la misma especie. Los anillos anuales fueron asignados al año de comienzo de la formación del leño siguiendo la convención ya establecida para el hemisferio sur (Schulman 1956). En aquellos árboles que presentaron dificultades para realizar una precisa delimitación al año de formación de los anillos de crecimiento, se fecharon dos radios opuestos de la misma sección transversal. Si el número de anillos determinado en un radio no fue el mismo que en el radio opuesto, los radios fueron re-examinados hasta lograr una coincidencia en el número de anillos de una misma sección transversal. Una vez determinada la edad de los árboles para cada sitio se procedió a medir el espesor de los anillos de crecimiento mediante el LINTAB TM6 conectado a un estereomicroscopio y a una computadora.

La calidad del fechado visual previamente realizado fue controlada usando el programa COFECHA (Holmes 1983). Este programa calcula los índices de correlación entre las series individuales de anchos de anillos para identificar anillos ausentes o falsos. Posteriormente, las series de anchos de anillos correctamente fechadas fueron estandarizadas usando curvas negativas exponenciales o líneas rectas de tendencia con ayuda del pro-



**Figura 4.** Principales características macroscópicas de *Amburana cearensis*, (a) sección transversal contrastante entre la albu y el duramen. (b) arreglo anatómico del leño indicando los anillos de crecimiento delimitados por una banda semicircular de parénquima al final de cada periodo de crecimiento visualizados por flechas en la parte inferior y la flecha superior indica la dirección hacia la corteza.

grama ARSTAN v48c (Cook and Holmes 1999). El principal objetivo de la estandarización es maximizar el porcentaje de varianza común entre las distintas series de ancho de anillo provenientes de un mismo sitio. El ajuste de las series de anchos de anillos a curvas exponenciales o líneas rectas es para corregir las variaciones en el crecimiento de los árboles debido a la edad biológica. Los índices de crecimiento que resultan de dividir el valor observado del ancho del anillo por el estimado por las curvas de ajuste, son calculados con el propósito de otorgarle a cada serie un mismo peso en el promedio final de los árboles que integran la cronología.

Todas las series estandarizadas tienen un valor medio de uno y por lo tanto son comparables entre sí a pesar de provenir de árboles con distintas tasas de crecimiento. Los índices de crecimiento fueron finalmente promediados para obtener una cronología para el sitio de A.T.E. CIMAL, Ángel Sandoval.

La calidad de la cronología fue medida a través de la desviación estándar, la autocorrelación de primer orden y la sensibilidad media, siendo esta última una medida de la variabilidad interanual en las series de anchos de anillos relacionada con el grado de respuesta del árbol a las variaciones en el clima (Fritts 1976). Otros estudios estadísticos que incluyen el R-bar (Running series of average correlations) y el EPS (*Expressed Population Signal*). El R-bar es la media de los coeficientes de correlación que resultan de comparar todos los pares posibles de segmentos de un largo determinado entre todas las series estandarizadas que conforman la cronología (Briffa 1995). El EPS, es una medida de la proporción de la señal total existente en las series que integran la cronología desarrollada en relación a una cronología infinitamente replicada. Valores de EPS próximos o mayores a 0,85 en un punto dado de la cronología indican que el número de muestras que integra a la misma es adecuado y por lo tanto están captando un porcentaje adecuado de la señal teórica que resultaría de una replicación infinita de las muestras en la cronología. Valores menores de 0,85 estarían indicando que la replicación en ese

sector de la cronología es baja y que debería aumentarse el número de muestras para fortalecer la señal común entre los árboles (Briffa 1995).

## Relación clima-crecimiento

Para determinar las variables climáticas relacionadas con el crecimiento de *Amburana cearensis*, las variaciones interanuales, fueron comparadas con los registros instrumentales (temperatura y precipitación) de la localidad de Roboré (más cercano al sitio de muestreo), del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI-Bolivia). A partir de los registros meteorológicos anuales para ambas variables se separó en dos grupos, uno para los meses con mayor precipitación (noviembre-marzo) y otro para los considerados meses secos (abril-octubre). Posteriormente, ambos grupos fueron comparados con la cronología usando una matriz de correlación. Un método simple que consiste en una comparación entre índice de crecimiento y variaciones climáticas a través de una función de correlación (Blasing *et al.* 1984). En síntesis, este método consistió en correlacionar las variaciones interanuales en el ancho de los anillos de crecimiento con las fluctuaciones climáticas interanuales tomadas mes por mes. La relación estadística entre el ancho de anillo y la variable climática es examinada sobre el período común entre la cronología y los datos instrumentales. Como el crecimiento en un año dado puede estar influenciado por las condiciones climáticas del año pre-

vio, el período de comparación analizado comprendió 16 meses, desde diciembre de una estación previa del crecimiento hasta marzo del año en que se formaron los anillos (Fig. 6).

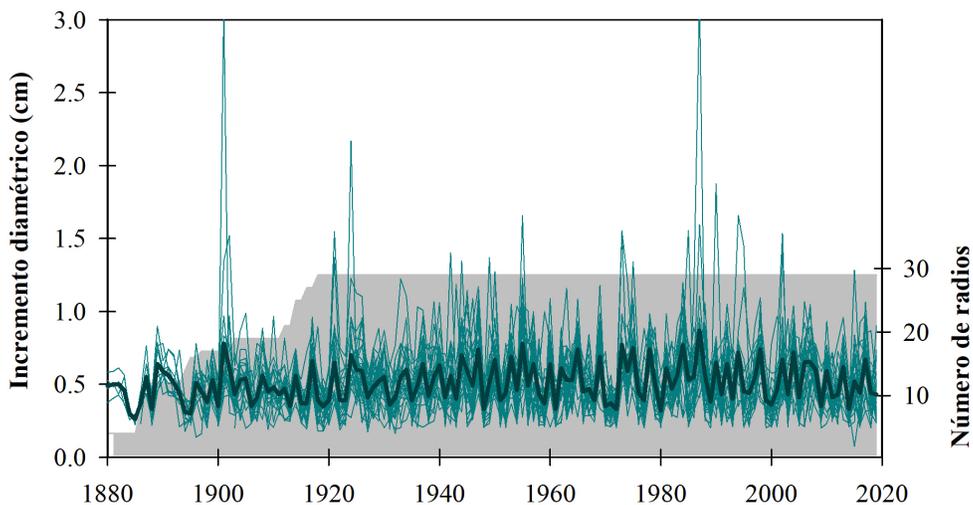
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La especie en estudio presenta una corteza interna de color grisáceo y muy contrastante entre la médula y albura, respectivamente (Fig. 4a). Los anillos anuales están delimitados en algunos sectores por una banda semicontinua de parénquima y un mayor estrechamiento de fibras con paredes celulares más gruesas al final de cada período de crecimiento. Los vasos están rodeados por una corona de tejido parenquimático, son solitarios y en algunos casos agrupados, distribuidos uniformemente y casi siempre formando hileras tangenciales (Fig. 4b).

No se observaron falsos anillos ni lentes de crecimiento. Sin embargo, en árboles de gran diámetro (> 80 cm) se observó secciones con anillos delgados o micro-anillos particularmente con mayor presencia en la albura. En estos anillos estrechos el parénquima es el tejido más abundante en la superficie del anillo y la zona fibrosa que define el límite entre los anillos contiguos está muy reducida o ausente, lo que limita el fechado correcto en estas secciones.

Los árboles de *Amburana cearensis* tienen anillos de crecimiento anual y regis-

tran una buena sensibilidad a las condiciones ambientales. Esta característica hace que la especie tenga un alto potencial para realizar estudios dendro-ecológicos y dendro-climáticos en los bosques secos chiquitanos. La cronología construida a partir del análisis de 3678 anillos correspondientes a 29 radios de 15 árboles y tiene una extensión que cubre los últimos 146 años (1.875-2.019). En este período de 146 años, los árboles analizados alcanzaron en promedio un crecimiento diamétrico anual de 0,50 cm/año (Fig. 5). Esta longevidad promedio y las tasas de crecimiento diamétrico se encuentran dentro del rango registrado para árboles de esta especie en bosques secos estacionales de América del Sur (Brienen and Zuidema 2005, Godoy-Veiga *et al.* 2021, Paredes-Villanueva *et al.* 2015). En Bolivia se encontró árboles de *A. cearensis* con edades que superan los 115-200 años y tasas anuales de crecimiento varían desde 1,8 cm en los bosques húmedos amazónicos de Riberalta, hasta 0,58; 0,57 y 0,31 en la Chiquitana (Paredes-Villanueva *et al.* 2015). Estas diferencias mínimas tanto en edad como en tasas de crecimiento claramente están marcadas por el gradiente de humedad. En sitios más húmedos la especie en estudio alcanzan tasas de crecimiento más altas que en sitios secos. Por el contrario, a pesar de la dificultad de encontrar árboles con médulas sanas, en sitios secos se registró árboles con edades más longevas que sitios húmedos (Brienen y Zuidema 2005, Paredes-Villanueva *et al.* 2015).



**Figura 5.** Variación del incremento diamétrico individual (líneas delgadas), el promedio (línea ancha) de *Amburana cearensis* y el en el número de radios (29 radios, correspondiente a 15 árboles) utilizados para la construcción de la cronología para el bosque de CIMAL, Ángel Sandoval.

La cronología recién a partir de 1.900 tiene una réplica superior a 10 árboles, en estos 120 años (1.900-2.019), el crecimiento tiene una marcada variación con periodos que superan la media durante 1.967-72 y 2.000-03 y otros se mantienen por debajo (Fig. 5). Asimismo, en este rango de tiempo (120 años), los estadísticos que evalúan la calidad de la cronología indican que *A. cearensis* tiene una autocorrelación entre series de 0,61, sensibilidad media de 0,31 y una desviación estándar de 0,23. Por otro lado, presentan una correlación media entre series ( $R\text{-bar}$ ) de 0,40 y una señal poblacional media ( $EPS$ ) de 0,93, estos estadísticos indican que la cronolo-

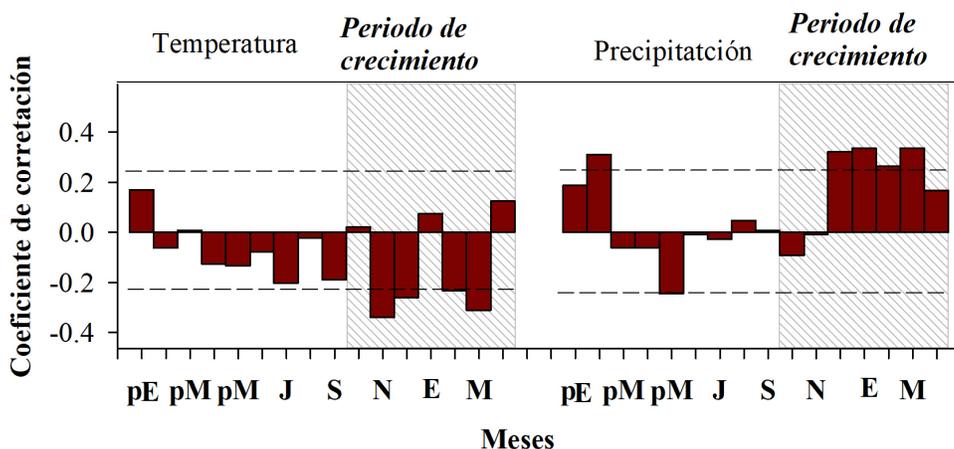
gía está compuesta por una buena replica de árboles en todos los segmentos. Por lo tanto, esta cronología tiene estadísticos confiables, incluso comparables con especies de regiones extra tropicales (Lara *et al.* 2005, Solíz *et al.* 2009).

El crecimiento de los árboles de *A. cearensis* en CIMAL, Ángel Sandoval claramente está favorecido por la ocurrencia de periodos con abundantes lluvias y temperaturas relativamente inferiores a los valores medios. El crecimiento radial está significativamente correlacionado con la precipitación durante los meses de diciembre a marzo de la estación co-

riente y con el mes febrero de la estación previa al crecimiento (Fig. 6). Por el contrario, las temperaturas elevadas durante el verano, específicamente los meses de noviembre-diciembre y febrero-marzo de la estación corriente al año de formación del anillo, están negativamente correlacionadas con el crecimiento de *Amburana cearensis* en CIMAL, Ángel Sandoval. No se observó relaciones significativas entre el crecimiento y la temperatura durante la estación previa del crecimiento como lo reportado para otras especies en los bosques chiquitanos. Es probable que estas diferencias se deban al contenido de humedad en el suelo y en la extensión del período seco anual contribuyan con

las diferentes respuestas documentadas entre la precipitación y la temperatura. Claramente el déficit hídrico juega un rol fundamental en el crecimiento sobre todo en periodos cálidos y más secos. El periodo seco se extiende hasta bien entrada la estación de crecimiento recién cuando las precipitaciones mensuales inician y superan en promedio los 120 mm, la humedad del suelo es adecuada para permitir el inicio del crecimiento (Fig. 6).

En ambos casos los valores son significativos según la variación interanual del crecimiento con los registros instrumentales de temperatura (1.978-2.019), precipitación (1.943-2.019) en 41 años y 77

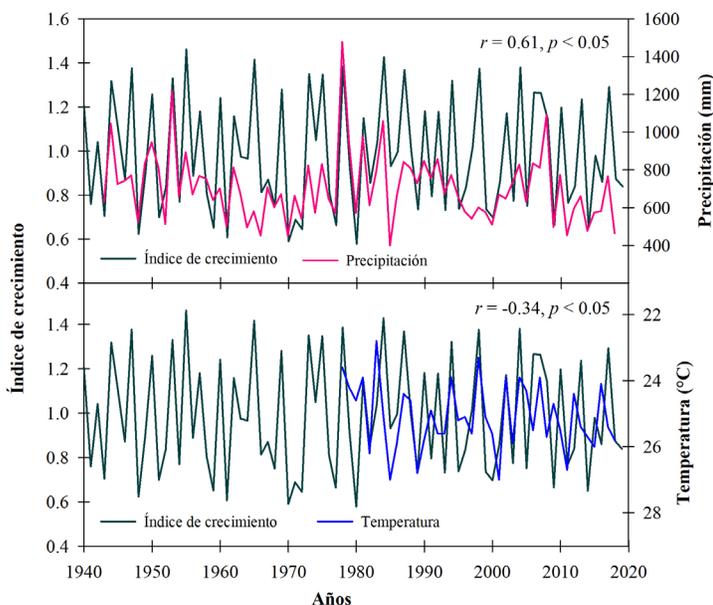


**Figura 6.** Funciones de correlación para la cronología de *A. cearensis* mostrando los coeficientes de correlación entre las variaciones mensuales de la temperatura y la precipitación con el índice de crecimiento en CIMAL, Ángel Sandoval. El período analizado es de 16 meses, que van desde diciembre de una estación previa de crecimiento hasta marzo del año en que se formaron los anillos. El período de formación de los anillos (período de crecimiento) se indica como referencia. Las líneas punteadas representan el nivel de significancia del 95% ( $p < 0,05$ ).

años, respectivamente. La comparación entre la variación interanual del crecimiento y la precipitación estuvo enfocado a la suma total desde noviembre a marzo (periodo húmedo), en este intervalo los anillos de crecimiento están correlacionadas positivamente con las variaciones estacionales ( $r = 0,61$ ;  $n=77$ ). Mientras para el promedio estacional de la temperatura (noviembre-marzo) se observó que las variaciones interanuales en el ancho de los anillos están correlacionadas de una manera inversa con la temperatura ( $r = -0,34$ ,  $n = 41$ ). Este patrón de respuesta sugiere que el crecimiento es muy sensible a las variaciones climáticas regionales, sobre todo a los cambios interanuales en

el suministro de agua. El crecimiento radial de *A. cearensis* está principalmente al parecer modulado por la disponibilidad de agua, como se observó en las relaciones positivas con la precipitación estacional y negativa con la temperatura media anual (Fig. 7).

Los bosques chiquitanos más allá del impacto por el aprovechamiento forestal, están sometidos a diferentes alteraciones antrópicas e incendios forestales, lo que les ha convertido en bosques con árboles cada vez más sensibles (Clark 2007). La reacción y adaptación es diferente entre especies, y una misma especie creciendo en sitios distintos (Clark 2007, López



**Figura 7.** Comparación entre las variaciones interanuales de la precipitación (intervalo 1.943–2.019 (superior) y la temperatura 1.978-2.019 (inferior) con el crecimiento de *Amburana cearensis* de noviembre a marzo durante la estación corriente en CIMAL, Ángel Sandoval.

*et al.* 2019). La directa dependencia del crecimiento a las variaciones climáticas, sugieren que el cambio climático en el futuro podría influir positivamente o negativamente en el crecimiento de los árboles. Dependiendo de los escenarios y niveles de emisión, se prevé para la región del bosque chiquitano exista un aumento de 3-4°C en la temperatura media anual lo largo del siglo XXI (*Urrutia and Vuille* 2009). Por su parte, las proyecciones de los cambios de las precipitaciones son más variables en el espacio y mucho menos coherentes en el tiempo. Sin embargo, las tendencias a escala continental se proyecta mayores precipitaciones durante la estación cálida en el sur de la Amazonia (*López et al.* 2017).

Sin duda existen otros factores adicionales de menor impacto más allá del clima, sin embargo, es más complejo y difícil de evaluar, y no pueden dejarse de lado en las estimaciones del crecimiento futuro de los árboles de *Amburana cearensis*. Las proyecciones del clima muestran un aumento significativo en la variabilidad interanual, en combinación con los efectos potenciales del aumento del CO<sub>2</sub> y el uso más deficiente del agua aumentaría la incertidumbre en las predicciones de los cambios en el crecimiento de los árboles (*Huang et al.* 2007, *Nepstad et al.* 1994). Estudios recientes mostraron indicios que el aumento de las tasas de crecimiento puede acortar la vida de los árboles y, por tanto, los aumentos de las reservas de carbono en los bosques pueden ser transitorios (*Brienen et al.* 2020, *Nepstad et al.*

1994). Por consiguiente será necesario contar con un monitoreo más profundo de los cambios en el crecimiento de los árboles basados en los resultados hacer proyecciones de conservación a largo plazo y un aprovechamiento racional de los bosques chiquitanos.

## CONCLUSIONES

Los bosques chiquitanos más allá de proveer maderas finas a los mercados, alimentación a las comunidades locales y otros servicios ambientales, poseen especies con alto potencial dendrocronológico que brindan información de aplicación inmediata para dar respuesta a muchas interrogantes ecológicas y dendroclimáticas. Los árboles de *Amburana cearensis* tienen un leño con anillos anuales, visibles y fáciles de distinguir, están delimitados por una banda de parénquima marginal continuo a semicontinuo ubicado al final de cada periodo de crecimiento.

A través del análisis de 3.678 anillos correspondientes a 15 árboles (29 radios), con edades que superan los 120 años y donde alcanzan un crecimiento promedio anual de 0,50 cm de diámetro presentan un patrón común en el ancho de sus anillos. Se construyó una cronología para determinar la respuesta del crecimiento a las variaciones climáticas en los bosques de CIMAL, Ángel Sandoval. Esta cronología es estadísticamente confiable, con alta replica de ejemplares, indica que la variabilidad del crecimiento es sensible a las condiciones climáticas regionales,

principalmente al periodo húmedo (noviembre-marzo).

El crecimiento es favorecido por periodos con abundantes lluvias y temperaturas relativamente más bajas a los valores medios anuales. La variación interanual del crecimiento y los registros instrumentales de temperatura y precipitación de Roboré en ambos casos, son significativos. De acuerdo a la comparación entre el crecimiento de la especie en estudio y precipitación en 77 años están correlacionadas positivamente con las variaciones estacionales de noviembre a marzo. Mientras con la temperatura estacional del mismo periodo en 41 años de comparación, se observó que las variaciones interanuales del crecimiento están correlacionadas de una manera inversa pero significativa.

Este patrón de respuesta sugiere que el crecimiento de *A. cearensis* es muy sensible a las variaciones climáticas, principalmente a los cambios interanuales en la humedad del suelo. El crecimiento radial en los bosques secos chiquitanos está principalmente modulado por la disponibilidad de agua, como indican las relaciones positivas con la precipitación estacional y negativa con la temperatura media anual. La directa dependencia del crecimiento de esta especie a las variaciones climáticas, sugieren que el cambio climático en el futuro influirá negativamente en el crecimiento de los árboles en los bosques chiquitanos de Santa Cruz, Bolivia.

## BIBLIOGRAFÍA

- Blasing, T.J.; Solomon, A.M. y Duvick, D.N. 1984. Response functions revisited. *Tree-Ring Bulletin* 44, 1–15.
- Brienen, R.J.W.; Caldwell, L.; Duchesne, L.; Voelker, S.; Barichivich, J.; Baliva, M.; Ceccantini, G.; Di Filippo, A.; Hellama, S.; Locosselli, G.M.; Lopez, L.; Piovesan, G.; Schöngart, J.; Villalba, R. and Gloor, E. 2020. Forest carbon sink neutralized by pervasive growth-lifespan trade-offs. *Nature Communications* 11, 4241.10.1038/s41467-020-17966-z
- Brienen, R.J.W.; Schöngart, J. y Zuidema, P.A. 2016. Tree rings in the tropics: insights into the ecology and climate sensitivity of tropical trees. In: Goldstein, G., Santiago, L.S. (Eds.). *Tropical Tree Physiology*. Springer International Publishing, Cham.439–461 pp.
- Brienen, R.J.W. y Zuidema, P.A. 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. *Oecologia* 146, 1–12.
- Briffa, K.R. 1995. Interpreting high-resolution proxy climate data: The example of dendroclimatology. In: von Storch, H., Navarra, A. (Eds.). *Analysis of climate variability, applications of statistical techniques*. Springer, Heidelberg.77–94. pp.

- Clark, D.A. 2007. Detecting tropical forests' responses to global climatic and atmospheric change: Current challenges and a way forward. *Biotropica* 39, 4–19.
- Cook, R.E. y Holmes, R.L. 1999. Users Manual for Program Arstan. Laboratory Of Tree-Ring Research, University Of Arizona, Tucson, Arizona, USA. 16 pp.
- Farjon, A. 2018. The Kew Review: Conifers of the World. *Kew Bulletin* 73, 8
- Fritts, H.C. 1976. Tree rings and climate. Academic Press, London. 567 pp.
- Godoy-Veiga, M.; Cintra, B.B.L.; Stríkis, N.M.; Cruz, F.W.; Grohmann, C.H.; Santos, M.S.; Regev, L.; Boaretto, E.; Ceccantini, G. y Locosselli, G.M. 2021. The value of climate responses of individual trees to detect areas of climate-change refugia, a tree-ring study in the Brazilian seasonally dry tropical forests. *Forest Ecology and Management* 488, 118971.
- Holmes, R.L. 1983. Dendrochronology Program Library (DPL). Use manual by laboratory of tree-ring research. University of Arizona, Tucson. Arizona. 16 pp.
- Huang, J.G.; Bergeron, Y.; Denneler, B.; Berninger, F. y Tardif, J. 2007. Response of forest trees to increased atmospheric CO<sub>2</sub>. *Crit. Rev. Plant Sci.* 26, 265-283
- Jardim, A.; Killeen, T.J. y Fuentes, A. 2003. Guía de los Árboles y Arbustos del Bosque Seco Chiquitano Bolivia. Fundación para la conservación del Bosques Chiquitanos (FCBC), FAN, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 324 pp.
- Killeen, J.T.; Garcia, E. y Beck, G.S. 1993. Guía de arboles de Bolivia. Herbario Nacional de Bolivia, Missouri Botanical Garden. Quipus S.R.L, La Paz. 958 pp.
- Lara, A.; Villalba, R.; Wolodarsky-Franke, A.; Aravena, J.C.; Luckman, B.H. and Cuq, E. 2005. Spatial and temporal variation in *Nothofagus pumilio* growth at tree line along its latitudinal range (35°40'-55° S) in the Chilean Andes. *Journal of Biogeography* 32, 879–893
- López, L., 2011. Una aproximación dendrocronológica a la ecología y el manejo de los bosques tropicales secos del Cerrado Boliviano. Doctorado en Biología. Universidad Nacional del Comahue, San Carlos de Bariloche, Rio Negro, Argentina. Page spp.
- López, L.; Rodríguez-Catón, M. y Villalba, R. 2019. Convergence in growth responses of tropical trees to climate driven by water stress. *Ecography* 42, 1-14.
- López, L.; Stahle, D.; Villalba, R.; Torben-son, M.; Feng, S. y Cook, E. 2017.

- Tree ring reconstructed rainfall over the southern Amazon Basin. *Geophysical Research Letters* 44, 7410–7418.
- López, L. and 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.
- Mostacedo, B.; Justiniano, M.J.; Toledo, M. y Fredericksen, T. 2003. Guía Dendrológica de Especies Forestales en Bolivia. El país, 2da. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible BOLFOR, Santa Cruz. 231 pp.
- Navarro, G. 2011. Clasificación de la Vegetación de Bolivia. Centro de Ecología Difusión Simón I. Patiño, Santa Cruz, Bolivia. 713 pp.
- Navarro, G. y Maldonado, M. 2002. Geografía Ecológica de Bolivia. Vegetación y Ambientes Acuáticos.
- Nepstad, D.C.; de Carvalho, C.J.R.; Davidson, E.A.; Jipp, P.; Lefebvre, P.A.; de Negreiros, G.H.; da Silva, E.D.; Stone, T.A.; Trumbore, S.E. y Viera, S. 1994. The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures. *Nature* 372, 666–669
- Paredes-Villanueva, K.; López, L.; Brookhouse, M. and Navarro Cerrillo, R.M. 2015. Rainfall y temperature variability in Bolivia derived from the tree-ring width of *Amburana cearensis* (Fr. Allem.) A.C. Smith. *Dendrochronologia* 35, 80–86
- Schöngart, J.; Bräuning, A.; Barbosa, A.C.M.C.; Lisi, C.S. y de Oliveira, J.M. 2017. Dendroecological Studies in the Neotropics: History, Status and Future Challenges. In: Amoroso, M.M., Daniels, L.D., Baker, P.J., Camarero, J.J. (Eds.). *Dendroecology: Tree-Ring Analyses Applied to Ecological Studies*. Springer International Publishing, Cham. 35–73 pp.
- Schulman, E. 1956. *Dendroclimatic Changes in Semiarid America*. University of Arizona Press, Tucson. 142 pp.
- Schweingruber, F. 1986. Abrupt Growth Changes In Conifers. *IAWA Journal* 7, 277–283
- Solíz, C.; Villalba, R.; Argollo, J.; Morales, M.S.; Christie, D.A.; Moya, J. y Pacajes, J. 2009. Spatio-temporal variations in *Polylepis tarapacana* radial growth across the Bolivian Altiplano during the 20th century. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281, 296–308
- Stokes, M.A. y Smiley, T.L. 1968. *An introduction to tree-ring dating*. University of Chicago Press, Chicago. 73 pp.
- Urrutia, R. y Vuille, M. 2009. Climate change projections for the tropical Andes using a regional climate model: Temperature and precipitation simulations for the end of the 21st century. *Geophysical Research Letters* 114:D02108.
- Villalba, R. 1987. El árbol ante el clima y los años. *Series científica* 35, 44–47.