

Anillos de crecimiento de *Machaerium acutifolium* (Fabaceae): Historia de crecimiento y capacidad productiva en bosques secos tropicales (E Bolivia)

Growth rings of *Machaerium acutifolium* (Fabaceae): growth history and productive capacity in the tropical dry forests (E Bolivia)

Ernesto Escalante^{1,2*}, Lidio López³ & Ricardo Villalba³

¹Departamento de Producción Vegetal y Recursos Forestales, ETS de Ingenierías Agrarias, Universidad de Valladolid, 34004, Palencia, España.

²Instituto de Investigación Forestal Sostenible, Universidad de Valladolid & INIA, Av. Madrid 44, 34004, Palencia, España.

³Laboratorio de Dendrocronología e Historia Ambiental, IANIGLA/CONICET, Mendoza, Casilla de Correo 130-5500, Mendoza, Argentina

*Autor de correspondencia: escalante.ernesto@gmail.com

Resumen

La presente contribución considera a *Machaerium acutifolium* (Fabaceae) como una especie potencialmente apta para estudios dendrocronológicos en los bosques secos tropicales de la Chiquitania. En la comunidad Palmarito de la Frontera (Departamento de Santa Cruz, este de Bolivia) se analizaron 69 radios provenientes de 21 árboles para determinar sus edades y tasas de crecimiento promedio anual. La edad máxima de los árboles de *M. acutifolium* fue de 108 años y la mínima de 45, con individuos que oscilaron entre 20–70 cm de diámetro. La edad promedio para alcanzar un diámetro de 40 cm, es de 70 años. La tasa anual de crecimiento diamétrico medio es de 0.58 cm/año. Los árboles de la especie requieren entre 15 y 20 años para superar una clase diamétrica de 10 cm. La tasa anual de crecimiento y los tiempos requeridos para alcanzar un diámetro >40cm, indican que *M. acutifolium* necesita tres veces más tiempo al establecido actualmente por la Ley 1700. A su vez, el actual sistema forestal prevé ciclos de rotación fijos para todas las especies, sin considerar los ritmos diferentes de crecimiento de cada una de las especies forestales. Existe una necesidad inmediata de revertir las políticas forestales destinadas al uso y aprovechamiento de los bosques nativos tropicales. El manejo forestal sostenible deberá considerar la capacidad real de crecimiento de cada especie y las edades con las que alcanzan cierto diámetro en los bosques secos tropicales.

Palabras clave: Chiquitania boliviana, Crecimiento biológico, Crecimiento radial, Dendrocronología, Tasa de crecimiento.

Abstract

Machaerium acutifolium (Fabaceae) is a species potentially suitable for dendrochronological studies in the tropical dry forests of Chiquitania. In the community of Palmarito de la Frontera (Santa Cruz department, Eastern Bolivia) 69 radii from 21 trees were analyzed to determine their ages and mean annual growth rates. The maximum age of the *M. acutifolium* trees sampled was 108 years and the minimum 45 years, with individuals ranging from 20-70 cm in diameter. The mean age to reach a diameter of 40 cm is 70 years. The mean annual growth rate is 0.58 cm/year. Trees of this species require between 15 and 20 years to surpass a diameter class of 10 cm. The annual growth rate and the times required to reach a diameter >40cm, indicate that *M. acutifolium* needs threefold more time than that currently established by Law 1700. There is an immediate need to reverse forest policies aimed at the use and management of native tropical forests. Sustainable forest management should consider the actual growth capacity of each species and the ages at which they reach a certain diameter in tropical dry forests.

Key words: Biological growth, Bolivian Chiquitania, Dendrochronology, Growth rate, Radial growth.

Recibido: 06.11.19, Aceptado: 24.02.20.

Introducción

Los estudios dendrocronológicos en los bosques tropicales tuvieron una evolución muy favorable en los últimos años,

sin embargo, la exploración de nuevas especies estuvo limitada a aquellas que en su momento eran explotados

maderablemente (Brienen & Zuidema 2005, Brienen & Zuidema 2006, López & Villalba 2011a). En este sentido, el avance de la dendrocronología en las regiones tropicales, pareciera requerir de la incorporación de nuevas especies maderables al mercado en respuesta a la escasez de las maderas tradicionales, tales como mara (*Swietenia macrophylla*), roble (*Amburana cearensis*), cuchi (*Astronium urundeuva*), cedro (*Cedrela odorata*) y morado (*Machaerium scleroxylon*), entre otras. En los bosques secos tropicales, la dendrocronología ha sido exitosamente utilizada para dar múltiples respuestas a interrogantes ecológicas en especies como *Centrolobium microchaete*, *Amburana cearensis*, *Schinopsis brasiliensis*, *Hymenaea courbaril*, *Cedrilinga catenaeformis* y *Cedrela fissilis* incluyendo sus ritmos de crecimiento diamétrico y su relación con su entorno ambiental (López et al. 2012, Brienen et al. 2016, López & Villalba 2016a, Locosselli et al. 2017, López et al. 2019).

El aprovechamiento forestal en Bolivia estuvo destinado solo a aquellas especies tradicionales, por lo que hace dos décadas era impensado la explotación de mora (*Maclura tinctoria*), el ajunau (*Pterogyne nitens*) y la tipa chiquitana (*Machaerium acutifolium*), siendo en la actualidad estas especies el sostén maderable más importante de los bosques secos tropicales de la Chiquitania. La falta de pautas claras en la gestión forestal en Bolivia, ha favorecido la explotación selectiva de especies valiosas características de la Chiquitania (p.e. el morado, *M. scleroxylon*), ocasionando una pérdida irreversible de los bosques secos tropicales. En la actualidad, *M. acutifolium* (Fabaceae y conocida localmente como tipa chiquitana) forma parte de la explotación maderable local intensiva, alentada por la demanda de materia prima en los mercados locales e internacionales. Las prácticas forestales no se han actualizado, por el contrario, la explotación actual es más selectiva e intensiva, donde las actividades de aprovechamiento se planifican en menor tiempo y en mayor superficie de bosque. Estas prácticas en gran medida han llevado a la fragmentación de miles de hectáreas de bosques con consecuencias irreversibles para especies valiosas quedando sobre el límite de la extinción (Toledo et al. 2008). Ante un escenario forestal poco favorable para la conservación a largo plazo, resulta valioso obtener información sobre el ritmo de crecimiento de *M. acutifolium* para elaborar pautas de gestión forestal orientados al uso racional y la conservación de los bosques chiquitanos.

El objetivo principal de este estudio, fue determinar la presencia de anillos de crecimiento de *M. acutifolium* para establecer la tasa anual de crecimiento y la edad promedio que alcanzan los árboles de *M. acutifolium* al momento de la corta. A su vez, mediante el uso de las tasas anuales de crecimiento se determinó en tiempo en años que requieren

los árboles de esta especie para superar una determinada clase diamétrica. En base a la información generada, se analizan la situación actual de la especie, las perspectivas ecológicas y su dinámica en función de la gestión de los bosques secos tropicales del Cerrado boliviano.

Área de estudio

Los bosques secos tropicales de la Chiquitania en Bolivia forman parte de la provincia biogeográfica del Cerrado boliviano (Navarro & Maldonado 2004). Esta región comprende extensas áreas de bosque en su mayoría bajo dominio comunal de manejo forestal administrado por comunidades nativas y originarias. El bosque seco chiquitano se encuentra en una franja transicional entre el clima húmedo de la Amazonia y el clima árido del Chaco. Estas condiciones climáticas hacen que estos bosques sean uno de los más ricos del mundo en especies de flora y fauna (Gentry 1988). Históricamente las comunidades han destinado sus actividades diarias a la recolección y aprovechamiento de productos no maderables del bosque, como cusi (*Attalea speciosa*), resinas de tipa chiquitana (*M. acutifolium*), oleorresina de copaibo (*Copaifera langsdorffii*) y frutos para alimentarse. Sin embargo, en las últimas décadas, la principal actividad de las comunidades está concentrada en la tala de árboles y la venta de madera en troza a las compañías madereras.

La comunidad Palmarito de la Frontera (15° 57'S y 61°39'O; a 420 m de altitud) se encuentra dentro del Territorio Indígena Originario y Campesino Monte Verde en la provincia Ñuflo de Chávez, Departamento de Santa Cruz, Bolivia. En Palmarito de la Frontera, la temperatura promedio anual varía entre 24–26°C y la precipitación total anual es de aproximadamente 1.100 mm, de acuerdo a los registros de la estación meteorológica más próxima ubicada en la localidad de Concepción en Bolivia. El clima de esta región es de tipo monzónico, caracterizado por un periodo seco marcado desde abril a octubre y un periodo húmedo desde noviembre a marzo (www.senamhi.gob.bo/sismet).

Especie de estudio

El género *Machaerium* de la familia Fabaceae tiene más de 300 especies (www.theplantlist.org, acceso mayo de 2019), ampliamente distribuida en América desde México a Brasil y el norte Argentino (Amen et al. 2015). En Bolivia, se han registrado más de cinco especies en los bosques de los Andes orientales, Chiquitania, Cerrado y Tucumano–Boliviano (Killeen et al. 1993). Las especies más conocidas son *M. scleroxylon* y *M. acutifolium*, históricamente la última de uso medicinal por las poblaciones nativas, actualmente ambas explotadas por su madera. La especie *M. acutifolium*, alcanza entre 8–18 m de altura y 40–60 cm de diámetro en los bosques secos tropicales de la Chiquitania. La densidad poblacional estimada para esta

especie es de alrededor de 1.6 árboles/ha para individuos ≥ 10 cm (Araujo-Murakami *et al.* 2015). Los árboles de *M. acutifolium* son caducifolios, de fuste recto y abundante resina de color rojiza en la corteza corchosa. Si bien el género es considerado endémico, la especie tiene una amplia plasticidad ecológica, encontrándose también en bosques de sabanas hasta los caducifolios del Chaco (Araujo-Murakami *et al.* 2015). Se reproduce por semillas que germinan con las primeras precipitaciones de verano, principalmente en campos abiertos en áreas y disturbios causado por incendios forestales en el bosque (Reis *et al.* 2015).

La comunidad Palmarito de la Frontera (80 km de Concepción, Bolivia), tiene cinco mil hectáreas de bosque bajo manejo forestal con un ciclo de rotación entre cosecha de 20 años y 250 hectáreas de aprovechamiento anual. *M. acutifolium* presenta una abundancia de 0.73 árboles/ha y

volumen aproximado de $0.94 \text{ m}^3/\text{ha}$ en individuos con $\text{dap} \geq 40$ cm. El aprovechamiento maderable de la comunidad está destinado a 10 especies con $\text{dap} \geq 40$ cm que rinde aproximadamente $11.25 \text{ m}^3/\text{ha}$ (POA 2017). El diámetro mínimo de corta (DMC) para los árboles de esta especie está determinado en 40 cm de diámetro según la Ley Forestal 1700.

Métodos

Muestreo y análisis del leño

La colección de material leñoso se realizó en rodeos y patios de acopio de trozas dentro del área de aprovechamiento 2 del año 2017. En este sitio se colectaron 69 secciones transversales que corresponden a 21 árboles de *M. acutifolium*. Las secciones trasversales fueron extraídas de trozas descartadas durante el troceado del fuste principal (saneo), pero que al momento del muestreo contaban con duramen y corteza (Fig. 1).



Figura 1. Colección de secciones transversales de árboles de *Machaerium acutifolium* en áreas de saneado de trozas en la comunidad Palmarito de la Frontera, Departamento de Santa Cruz, Bolivia.

Las muestras fueron pulidas siguiendo los criterios ya establecidos en dendrocronología (Stokes & Smiley 1968). Sobre secciones transversales del fuste se describieron características destacadas del leño, entre estos, la distribución de vasos, el tamaño y tipo de parénquima, la presencia de fibras y otras características anatómicas que facilitan la delimitación de los anillos de crecimiento. Una vez definido el patrón anatómico que delimita a los anillos de crecimiento, se procedió al fechado y co-fechado de los mismos. Se fecharon dos a tres radios opuestos en cada sección transversal con el objetivo de aumentar la

confiabilidad del fechado a través de la identificación del mismo número de anillos en los radios seleccionados. Los anillos anuales fueron asignados al año de comienzo de la formación del leño siguiendo la convención para el Hemisferio Sur (Schulman 1956). Una vez fechadas las secciones se procedió a medir el ancho de los anillos de crecimiento en al menos dos radios, mediante una tableta Velmex UniSlide conectada a un contador digital Metronics Quick-Chek QC-10V con una precisión de 0.001 mm. A partir de las mediciones radiales del ancho de los anillos de crecimiento, los datos de crecimiento

originalmente expresados en milímetros (mm) fueron convertidos a centímetros (cm), y posteriormente a área basimétrica en función a su edad biológica. Para este proceso se empleó el programa de crecimiento de los árboles por la edad (AGE), de la Librería de Programas para Dendrocronología (DPL) (Holmes 1983).

El crecimiento diamétrico medio acumulado fue determinado promediando los crecimientos individuales donde se consideró la edad biológica de cada serie. Para ello, independiente de la fecha calendario, se asignó al anillo central (en contacto con la médula) en cada sección transversal el año uno. De esta forma, el crecimiento diamétrico medio acumulado resultó de promediar todos los crecimientos acumulados en base a la edad biológica de cada serie. En función al crecimiento corriente anual, se determinó el incremento de área basal (IAB) y el tiempo necesario para pasar de una clase diamétrica a la siguiente.

Resultados

Descripción de la madera

La madera de *M. acutifolium* tiene albura de color amarillo claro y un duramen oscuro con vetas de distintas

tonalidades desde marrón, rojizo, violeta a gris verdoso. La madera presenta una textura fina y muy brillante principalmente en el duramen.

En el plano transversal, la estructura leñosa de *M. acutifolium* está caracterizada por la presencia de parénquima en bandas semicirculares paralelas a los anillos de crecimiento (Fig. 2). Los vasos están distribuidos en el leño de forma irregular, en algunos casos agrupados entre sí, en otros formando una línea semicircular de mayor diámetro al inicio del periodo de crecimiento, luego reduciéndose en tamaño y cantidad hacia el final del leño tardío (Fig. 2c). Los vasos están rodeados de parénquima paratraqueal vasicéntrico, aunque también existen de tipo aliforme rodeando uno o más vasos. El parénquima es muy visible de color claro en bandas circulares a semi-circulares distribuidos difusamente, en general resalta ante los demás elementos celulares, en algunos casos con mayor presencia en el leño tardío. Los radios son visibles multiseriados y angostos, bien demarcados de color claro opuestamente ubicados en la sección transversal de los anillos de crecimiento y bandas de parénquima (Figs. 2b-c).

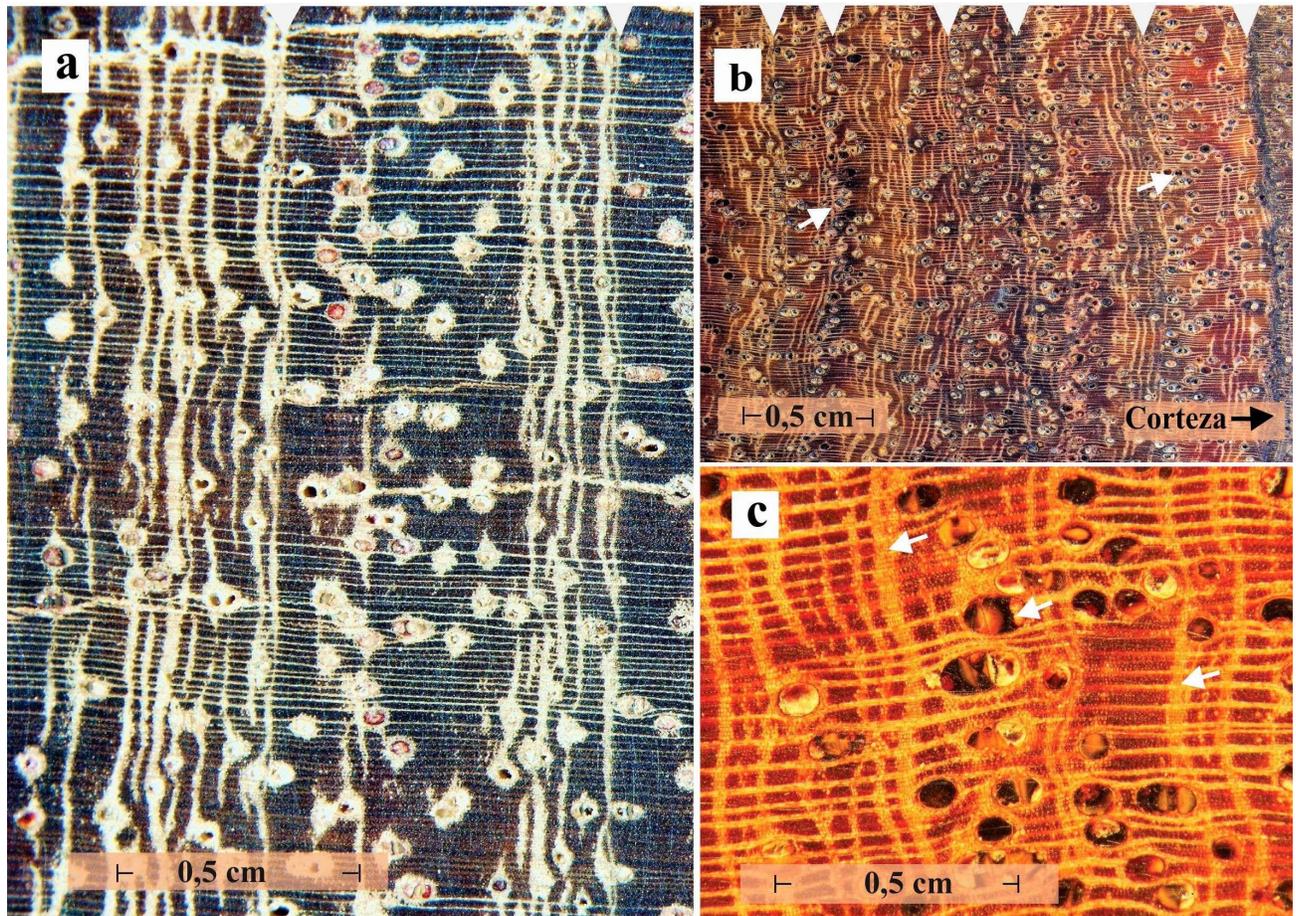


Figura 2. Sección transversal del leño de *M. acutifolium* donde se observa: a. el límite entre anillos de crecimiento demarcado por una línea continua y angosta de parénquima marginal (flechas vertical hacia abajo), b. la presencia de vasos distribuidos en forma semicircular de mayor diámetro en el leño temprano y más pequeños y menos numerosos en el leño tardío (flechas diagonal hacia arriba) y c. detalle más cercano del arreglo anatómico indicando la distribución de parénquima, vasos y radios (flechas diagonal hacia abajo).

Los anillos de crecimiento son visibles a simple vista en algunos ejemplares y en otros con cierta dificultad, sobre todo en aquellos árboles con anillos estrechos donde las bandas parenquimáticas de años consecutivos se mezclan entre sí y forman sectores completamente dominados por parénquima (Figs. 2a-b). En algunos ejemplares, se observaron bandas semicirculares o lentes de crecimiento, denominado también falsos anillos originado por estimulaciones específicas del cambium. Los anillos de *M. acutifolium* están definidos por una banda fina y continua de parénquima marginal situada al final de cada periodo de crecimiento. Esta característica es acompañada en ciertos años por la presencia de vasos de diámetros más grandes en

el leño temprano y más pequeños y menos numerosos en el leño tardío (Fig. 2).

Tasa de crecimiento radial

Los árboles muestreados de esta especie alcanzan una edad promedio de 68 años, con algunos individuos que superan los 100 años. Para alcanzar un crecimiento de 40 cm de diámetro, los árboles de esta especie requieren edades de 70 años (Fig. 3). Los individuos de *M. acutifolium* tienen una variación considerable en el crecimiento en diámetro con respecto a la edad. Por ejemplo, a una edad de 40 años, existen individuos con diámetros entre 12 y 42 cm, mientras que individuos de 20 cm de diámetro pueden tener edades que varían entre 20-70 años.

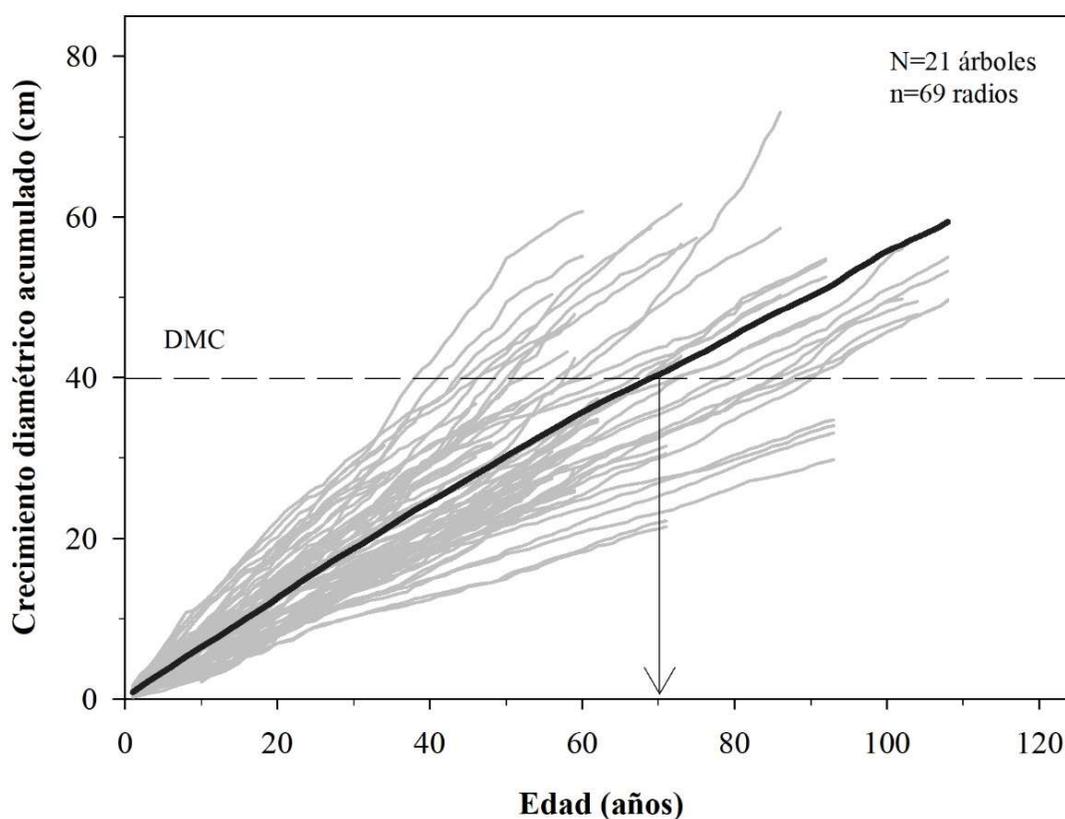


Figura 3. Distribución del crecimiento diámetro acumulado de *M. acutifolium* en la comunidad Palmarito de la Frontera. El crecimiento de cada individuo está representado por una línea gris, en tanto que la línea negra corresponde al promedio de los árboles muestreados. La línea horizontal discontinua indica el diámetro mínimo de corta (DMC=40 cm) establecido por la Ley Forestal 1700 para esta especie y la flecha vertical señala el tiempo requerido para alcanzar el diámetro indicado (aproximadamente 70 años).

Con base a la medición de 21 árboles y 69 radios de *M. acutifolium*, el crecimiento medio anual de *M. acutifolium* osciló entre 0.37-0.87 cm/año, con un promedio de 0.58 cm/año. Para el intervalo de 108 años (1910-2017), el crecimiento medio anual fue variable con incrementos más altos en la etapa inicial con respecto a los últimos años. Si bien, el incremento medio anual (IMA) cubre el intervalo de 1910 a 2017 años, el número de series superior a 30

radios inicia a partir del año 1950–2017. En este intervalo, el crecimiento presenta una variación con incrementos inferiores a la media durante 1952–1956 y descenso muy marcado desde 2008 a la actualidad. También, existen periodos con crecimiento por encima de la media como en los periodos 1958–1962 y 2004–2006 (Fig. 4).

En función a la edad biológica, el crecimiento por clase diámetro en un rango de 10 cm incrementó

progresivamente el área basimétrica en las clases superiores (Tabla 1). De acuerdo a los resultados obtenidos, los árboles de *M. acutifolium* necesitan un periodo de 20 años

para incrementar entre 30-40 cm de diámetro, mientras que, para lograr un diámetro de 60 cm, se requiere un tiempo aproximado de más de 100 años.

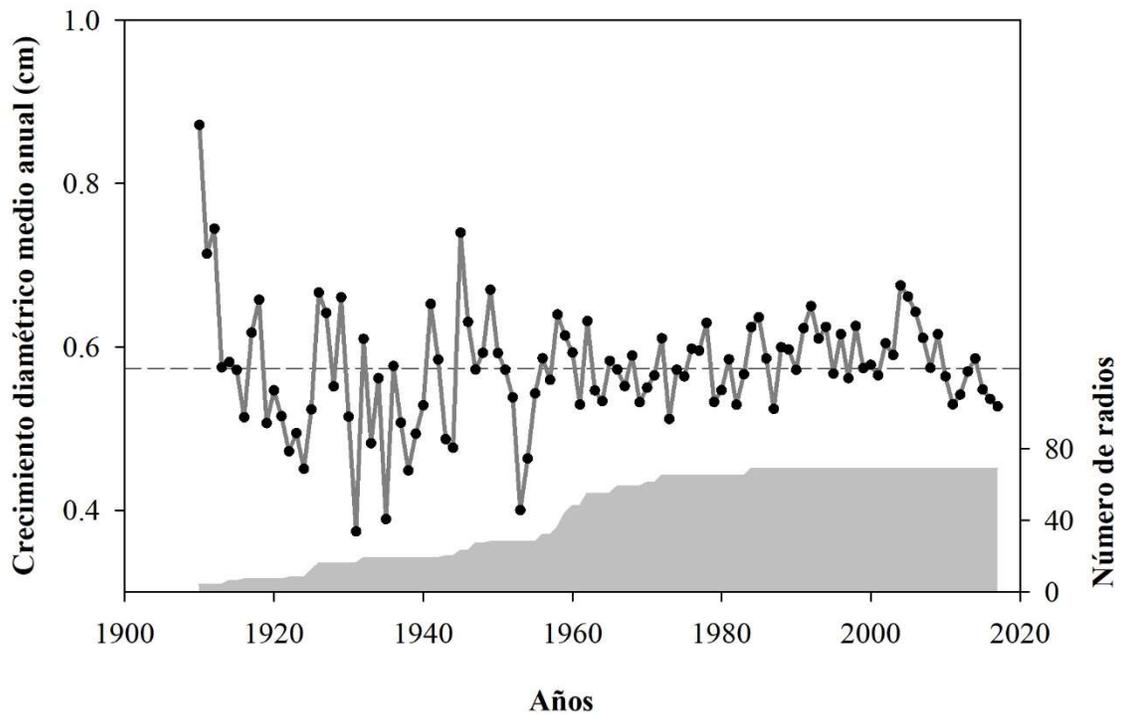


Figura 4. Variación del crecimiento medio anual para los árboles de *M. acutifolium* (tipa chiquitana) en el bosque seco tropical de la comunidad Palmarito de la Frontera en la Chiquitania. Las variaciones en el incremento medio anual (IMA) están representadas por una línea continua (IMA=0.58 cm, línea horizontal discontinua). El número de radios es indicado en el gráfico de área en la parte inferior del mismo.

Tabla 1. Variación del crecimiento por clase diamétrica de *M. acutifolium*. El incremento de área basal (IAB) corresponde a la edad biológica y los tiempos requeridos para pasar de una clase a la siguiente en los bosques secos tropicales, comunidad Palmarito de la Frontera.

Variables	Clase diamétrica (cm)					
Rango de clase	0-9.9	10-19.9	20-29.9	30-39.9	40-49.9	50-59.9
IAB promedio (m ²)	0.0030	0.0200	0.0514	0.0957	0.1369	0.1807
Tiempo requerido (años)	15	17	17	20	20	19
Tiempo acumulado (años)	15	32	49	69	89	108
Número de radios (n)	68	69	69	59	27	16
Número de árboles (N)	21	21	21	18	9	5

Discusión

El presente estudio describe las características anatómicas más consistente que facilitan la identificación de las bandas de crecimiento anual de los árboles de *M. acutifolium*. Esta descripción permitió identificar con exactitud los anillos anuales de crecimiento y proceder a la datación precisa de las secciones colectadas en la comunidad Palmarito de la Frontera, Bolivia. El fechado y la medición de los anillos permitió conocer la dinámica del crecimiento de esta especie a lo largo del periodo analizado. Si bien los anillos de crecimiento de *M. acutifolium* son visibles a simple vista,

al igual que la mayoría de las especies tropicales, presentan ciertas limitaciones que deben ser consideradas al momento del fechado preciso de los anillos de crecimiento (López & Villalba 2016b, Paredes-Villanueva 2015).

La presencia de anillos lentos y/o falsos anillos, así como sectores del fuste con grupos de anillos angostos, impiden establecer con gran precisión el patrón común del ancho de los anillos de crecimiento. Estas limitaciones también fueron observadas en *M. scleroxylom*, una especie de la misma familia, para la cual también se describen que estos patrones de crecimiento dificultan la datación correcta de

los anillos de crecimiento (Paredes-Villanueva *et al.* 2013). En especies tropicales con estas limitaciones, el uso de secciones que proveen mayor campo de visibilidad y el fechado en al menos dos radios opuestos por árbol han permitido proceder a una correcta datación del material colectado (López & Villalba 2011b). La delimitación de los anillos de crecimiento por bandas de parénquima marginal es una característica común en especies leñosas de la familia Fabaceae, facilitando la datación principalmente en árboles jóvenes (López & Villalba 2016b). En especies con parénquima de tipo aliforme y ejemplares con edades superiores a los 50 años, es común encontrar anillos angostos donde el parénquima forma numerosas bandas principalmente en el sector de leño tardío que pueden confundirse con bandas de crecimiento (Fig. 2). En estas áreas, es recomendable reafirmar el datado constatando la presencia y distribución de los elementos como el tipo de porosidad, el diámetro de vasos y la continuidad de la banda parenquimática marginal para asegurar la determinación precisa de los anillos de crecimiento.

A través de la determinación del crecimiento acumulado por edad biológica en los árboles de *M. acutifolium*, se pudo determinar que solo el 39% de los individuos alcanzaron 40 cm, DMC establecido en la Ley 1700 (MDSMA 1997). Los árboles que superan esta barrera comercial en diámetro, en promedio requieren edades superiores a los 70 años para alcanzarlo (Fig. 3). Los árboles de *M. acutifolium* en Palmarito de la Frontera muestran tasas de crecimiento corriente promedio de 0.58 cm/año, muy superiores a las reportada para *M. scleroxylon*, una especie maderable de la misma familia, que solo alcanza 0.14 y 0.237 cm/año en la parte sur y Central del Cerrado Boliviano, respectivamente (Dauber *et al.* 2003, Paredes-Villanueva *et al.* 2013). Si bien existe una marcada diferencia en el crecimiento diamétrico promedio, los mismos pueden estar influenciados por los métodos usados, número de ejemplares analizados y el tiempo de monitoreo. Sin embargo, el valor de 0.58 cm/año es similar al reportado para *Amburana cearensis* (0.58 cm/año), *Anadenanthera colubrina* (0.49 cm/año) y *Platimiscium ulei* (0.45 cm/año), especies representativas de la región Chiquitana (López *et al.* 2013). Aun cuando la mayoría de las especies maderables de los bosques de la Chiquitania presentan variaciones considerables en el crecimiento entre especies, el crecimiento de una misma especie varía entre sitios con diferentes condiciones ambientales (López *et al.* 2012). Sin embargo, hasta el momento no se ha registrado ninguna especie en los bosques secos tropicales que alcance 40 cm a edades menores de 60 años (López & Villalba 2015). Este periodo de 60 años, enfatiza la necesidad de hacer un replanteo general sobre pautas básicas de gestión forestal y los turnos de rotación entre cosechas consecutivas basados en la capacidad productiva de cada especie.

Otra de las ventajas que brinda el uso de la dendrocronología es la de conocer con exactitud el tiempo necesario para pasar de clase diamétrica, información relevante para estimar el estadio en el cual los individuos de una especie alcanzan un crecimiento óptimo. Sin duda *M. acutifolium* aumenta su crecimiento en diámetro en la medida de su establecimiento en el bosque, lo que en promedio indica a mayor área basal mayor diámetro del árbol (Tabla 1). Esta relación asociada a la altura del fuste comercial genera el volumen de madera de la especie, información de alto interés para las comunidades ya que buscan la mayor oferta anual para la venta de madera del plan de manejo forestal.

Las variaciones en el crecimiento a lo largo de los 108 años analizados, indican que *M. acutifolium* muestra una alta sensibilidad a eventos que favorecen o limitan el crecimiento, característica similar a las observadas en especies del bosque seco tropical de la región Chiquitana (López *et al.* 2013, Paredes-Villanueva *et al.* 2013). En nuestro estudio, las trayectorias de crecimiento de *M. acutifolium* muestran variaciones en el crecimiento entre árboles en el sitio de estudio (comunidad Palmarito de la Frontera). Nuestros resultados también coinciden con las trayectorias de crecimiento que fueron observadas en especies del bosque subhúmedo (Romero-Seas *et al.* 2015) y bosque seco tropical en Bolivia.

En definitiva, los resultados obtenidos a partir del análisis dendrocronológico de *M. acutifolium*, sugieren al igual que otras investigaciones en bosques tropicales, cuantificar el crecimiento real de cada especie para evaluar las pautas vigentes que regulan el uso racional de los bosques secos tropicales. De mantener el régimen actual con el cual se regulan millones de hectáreas, mucho de los bosques nativos bajo manejo forestal, en la práctica no lograrán la segunda cosecha, menos con los volúmenes iniciales de aprovechamiento. La aplicación de las técnicas dendrocronológicas, permiten obtener datos precisos y aplicables y, además, documentar la historia del crecimiento de una determinada especie, cuya conservación se ve comprometida por la intensa explotación maderera en los bosques secos tropicales.

Conclusiones

El leño de *M. acutifolium* presenta una delimitación clara y visible de los anillos de crecimiento en la mayoría de los árboles muestreados, esta característica permitió establecer la edad y el ritmo de crecimiento. Los anillos de crecimiento están definidos por una banda fina y continua de parénquima marginal en combinación con la presencia de numerosos vasos de mayor diámetro al inicio del crecimiento. A través de medición de 21 árboles y 69 radios, *M. acutifolium* alcanza un medio anual de 0.58 cm/año en bosques secos tropicales de Palmarito de la

Frontera. Los individuos más longevos tienen edades mayores a los 100 años. Durante el periodo analizado, los árboles de *M. acutifolium* presenta un marcado patrón de variabilidad indicando periodos favorables y desfavorables en su el crecimiento. Los árboles de *M. acutifolium* para alcanzar un diámetro de 40 cm requieren una edad promedio de 70 años. La medición de los anillos de crecimiento permitió documentar información valiosa y precisa en el corto plazo, aplicable para la gestión forestal, dado el alto valor maderable de *M. acutifolium* en los bosques secos tropicales de Bolivia.

Agradecimientos

Al personal del laboratorio de dendrocronología del IANIGLA/CONICET, Mendoza. A la comunidad Palmarito de la Frontera por el apoyo logístico durante la colección del material leñoso. A Mónica Vicente de la Universidad Autónoma Gabriel René Moreno por su asistencia en las tareas de recolección de muestras en campo.

Referencias

- Amen, Y.M., A.M. Marzouk, M.G. Zaghoul & M.S. Afifi. 2015. The genus *Machaerium* (Fabaceae): taxonomy, phytochemistry, traditional uses and biological activities. *Natural Product Research* 29(15): 1388-1405.
- Araujo-Murakami, A., D. Villarroel, G. Pardo, V.A. Vos, G.A. Parada, L. Arroyo & T.J. Killeen. 2015. Diversidad arborea de los bosques de tierra firme de la Amazonía boliviana. *Kemppfiana* 11(1): 1-28.
- Brienen, R.J.W., J. Schöngart & P.A. Zuidema. 2016. Tree rings in the tropics: insights into the ecology and climate sensitivity of tropical trees. pp. 439-461. En: Goldstein, G. & L.S. Santiago (eds.) *Tropical Tree Physiology*, Springer International Publishing.
- Brienen, R.J.W. & P.A. Zuidema. 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. *Oecologia* 146: 1-12.
- Brienen, R.J.W. & P.A. Zuidema. 2006. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. *Journal of Ecology* 94: 481-493.
- Dauber, E., T. Fredericksen, M. Peña-Claros, C. Leño, J.C. Licona & F. Contreras. 2003. Tasas de incremento diamétrico, mortalidad y reclutamiento con base en las parcelas permanentes instaladas en diferentes regiones de Bolivia, Proyecto de Manejo Forestal Sostenible BOLFOR, Santa Cruz.
- Gentry, A.H. 1988. Tree species richness in Amazonian forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 95: 156-159.
- Holmes, R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78.
- Killeen, T.J., E. García & S. Beck. 1993. Guía de árboles de Bolivia. Herbario Nacional de Bolivia Missouri Botanical Garden, Edit. Quipus, La Paz.
- Locosselli, G.M., S. Krottenthaler, P. Pitsch, D. Anhuf & G. Ceccantini. 2017. Age and growth rate of congeneric tree species (*Hymenaea* spp. - Leguminosae) inhabiting different tropical biomes. *Erdkunde* 71(1): 45-57.
- López, L., M. Rodríguez-Cantón & R. Villalba. 2019. Convergence in growth responses of tropical trees to climate driven by water stress. *Ecography* 42: 1-14.
- López, L. & R. Villalba. 2011a. Climate Influences on the radial growth of *Centrolobium microchaete*, a valuable timber species from the tropical dry forests in Bolivia. *Biotropica* 43(1): 41-49.
- López, L. & R. Villalba. 2011b. Los anillos de crecimiento de *Centrolobium microchaete* (Fabaceae, Papilionoideae), una herramienta para evaluar el manejo forestal de los bosques secos tropicales del Cerrado boliviano. *Ecología en Bolivia* 46(2): 77-94.
- López, L. & R. Villalba. 2015. Criterios de gestión forestal para 12 especies de los bosques nativos tropicales de Bolivia a través de métodos dendrocronológicos. *Ecosistemas* 24(2): 24-29.
- López, L. & R. Villalba. 2016a. An assessment of *Schinopsis brasiliensis* Engler (Anacardiaceae) for dendroclimatological applications in the tropical Cerrado and Chaco forests, Bolivia. *Dendrochronologia* 40: 85-92.
- López, L. & R. Villalba. 2016b. Realible estimates of radial growth for eight tropical species based on wood anatomical patterns. *Journal of Tropical Forest Science* 28(2): 139-152.
- López, L., R. Villalba & F. Bravo. 2013. Cumulative diameter growth and biological rotation age for seven tree species in the Cerrado biogeographical province of Bolivia. *Forest Ecology and Management* 292: 49-55.
- López, L., R. Villalba & M. Peña-Claros. 2012. Ritmos de crecimiento diamétrico en los bosques secos tropicales: aportes al manejo sostenible de los bosques de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano. *Bosque* 33: 211-219.
- MDSMA (Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente). 1997. Nueva Ley Forestal. Ley N° 1700 de 12 de julio de 1996. La Paz.
- Navarro, G. & M. Maldonado. 2004. Geografía ecológica de Bolivia: vegetación y ambientes acuáticos. Centro de Ecología y Difusión Simón I. Patiño, Santa Cruz.
- Paredes-Villanueva, K. 2015. Dendrochronological growth characterization of timber species from moist

- to dry tropical forests in Bolivia. Tesis de doctorado, Universidad de Córdoba, Córdoba. 136 p.
- Paredes-Villanueva, K., R. Sánchez-Salguero, R.D. Manzanedo, R. Quevedo Sopepi, G. Palacios & R.M. Navarro Cerrillo. 2013. Growth rate and climate response of *Machaerium scleroxylon* in dry tropical forest in southeastern Santa Cruz, Bolivia. *Tree-Ring Research* 69(2): 63-79.
- Reis, S.M., E. Lenza, B.S. Marimon, L. Gomes, M. Forsthofer, P.S. Morandi, B.H. Marimon, T.R. Feldpausch & F. Elias. 2015. Post-fire dynamics of the woody vegetation of a savanna forest (Cerradão) in the Cerrado-Amazon transition zone. *Acta Botanica Brasílica* 29(3): 408-416.
- Romero-Seas, A., M. Toledo, P.A. Zuidema & P. van der Sleen. 2015. Trayectorias de crecimiento radial de especies maderables, yesquero blanco (*Cariniana ianeirensis*) y serebó (*Schizolobium parahyba*) en un bosque subhúmedo de la provincia Guarayos (Santa Cruz – Bolivia). *Ecología en Bolivia* 50(1): 25-38.
- Schulman, E. 1956. Dendroclimatic changes in semiarid America. University of Arizona Press, Tucson.
- Stokes, M.A. & T.L. Smiley. 1968. An introduction to tree-ring dating. University of Chicago Press, Chicago.
- Toledo, M., B. Chevallier, D. Villarroel & B. Mostacedo. 2008. Ecología y silvicultura de especies menos conocidas Cedro, *Cedrela* spp. Instituto Boliviano de Investigación Forestal, Santa Cruz.