



Artículo

**Crecimiento radial y sensibilidad climática de *Platymiscium ulei* Harms
(Tarara colorada) en bosques secos del Cerrado boliviano**

Radial growth and climate sensitivity of *Platymiscium ulei* Harms (Red Tarara)
in dry forests of the Bolivian Cerrado

Lidio López^{1*}, Mónica Vicente², Gualberto Zalazar³, Raquel Cárdenas⁴ & Ricardo Villalba¹

¹Laboratorio de Dendrocronología e Historia Ambiental, IANIGLA - CONICET, Mendoza 5500, Argentina

²Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, km 9 carretera al norte, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia

³Ecología Forestal, IANIGLA - CONICET, Mendoza 5500, Argentina

⁴Fundación Jacarandá, Santa Cruz de la Sierra 701, Bolivia

*Autor de correspondencia: lopez@mendoza-conicet.gob.ar

Resumen

Este estudio tiene como objetivo evaluar la sensibilidad climática del crecimiento radial de *Platymiscium ulei* en el Cerrado boliviano, con el fin de mejorar la comprensión de la dinámica de los bosques secos tropicales bajo condiciones ambientales cambiantes. La escasez de estudios dendrocronológicos en la región limita el conocimiento sobre la ecología del crecimiento arbóreo y la respuesta de estos ecosistemas a la variabilidad climática. Esta investigación contribuye a llenar ese vacío mediante el análisis del crecimiento radial de *P. ulei* (tarara colorada) en la comunidad Mercedes, a partir de una cronología de anillos de crecimiento que abarca el periodo 1923–2017. La calidad de la cronología, respaldada por una autocorrelación de 0.50, una sensibilidad media de 0.41, un R-bar de 0.30 y un EPS de 0.85, indica que las series capturan una señal común representativa. El análisis climático para el periodo 1943–2017 reveló una correlación positiva entre el crecimiento radial y la precipitación ($r = 0.48$; $p < 0.05$), y una correlación negativa con la temperatura ($r = -0.25$; $p < 0.05$) durante la estación húmeda, de octubre a enero. Las altas temperaturas intensifican la evapotranspiración, lo que reduce la tasa de crecimiento. Además, el análisis regional de las variaciones interanuales y multidecadales evidencia una respuesta sostenida a las condiciones hidroclimáticas dominantes. Se destacan dos períodos con crecimiento superior a la media (1974–1980 y 1998–2009), coincidentes con eventos de La Niña y fases húmedas regionales. En cambio, los períodos 1960–1975, 1979–1986 y 1989–1998 presentan crecimiento reducido, en asociación con eventos El Niño y sequías documentadas. A partir de 2009, se observa un marcado descenso en el crecimiento radial, posiblemente relacionado con la intensificación de las sequías estacionales y el aumento de las temperaturas extremas. Estos hallazgos proporcionan información clave sobre la sensibilidad de *P. ulei* al clima regional y fortalecen la comprensión de la dinámica ecológica de los bosques secos tropicales del Cerrado boliviano.

Palabras clave: Anillos de crecimiento, Clima -crecimiento, Evapotranspiración, Precipitación, Variaciones climáticas.

Abstract

This study aims to evaluate the climate sensitivity of radial growth in *Platymiscium ulei* in the Bolivian Cerrado, in order to improve understanding of the dynamics of tropical dry forests under changing environmental conditions. The scarcity of dendrochronological studies in the region limits knowledge about tree growth ecology and the response of these ecosystems to climate variability. This research helps to fill that gap by analyzing the radial growth of *P. ulei* (Tarara Colorada) in the Mercedes community, based on a tree-ring chronology covering the period 1923–2017. The chronology quality, supported by an autocorrelation of 0.50, a mean sensitivity of 0.41, an R-bar of 0.30, and an EPS of 0.85, indicates that the series capture a representative common signal. Climate analysis for the period 1943–2017 revealed a positive correlation between radial growth and precipitation ($r = 0.48$; $p < 0.05$), and a negative correlation with temperature ($r = -0.25$; $p < 0.05$) during the wet season (October to January). Higher temperatures increase evapotranspiration, thereby reducing growth rates. In addition, the regional analysis of interannual and multidecadal variability reveals a sustained response to dominant hydroclimatic conditions. Two periods of above-average growth stand out (1974–1980 and 1998–2009), which coincide with La Niña episodes and wetter regional phases. In contrast, the periods 1960–1975, 1979–1986, and 1989–1998 show reduced growth,

associated with El Niño events and documented droughts. Since 2009, a marked decline in radial growth has been observed, likely linked to the intensification of seasonal droughts and rising extreme temperatures. These findings provide key insights into the climate sensitivity of *P. ulei* and enhance our understanding of ecological dynamics in tropical dry forests of the Bolivian Cerrado.

Key words: Climate growth response, Climatic variations, Evapotranspiration, Growth rings, Precipitation.

Recibido: 06.03.25, Aceptado: 09.05.25

Introducción

Bolivia alberga la mayor proporción de bosques secos tropicales en América del Sur (Plumpton *et al.* 2019). No obstante, la expansión de la agricultura mecanizada y la ganadería ha generado profundos cambios en la cobertura del suelo, afectando tanto la extensión como la estructura de los bosques del Cerrado Boliviano (Killeen *et al.* 2007, Maillard *et al.* 2020). Las tasas más altas de deforestación se concentran en la región central y noreste del país, precisamente donde predominan estos ecosistemas (Müller *et al.* 2014) intensificadas por incendios forestales que, solo en 2019, afectaron más de 3.7 millones de hectáreas en el departamento de Santa Cruz (Maillard, *et al.* 2020).

Este proceso de degradación ha reducido la cobertura forestal, alterado la composición florística y disminuido la densidad de árboles de gran porte de los bosques del Cerrado (Fredericksen & Mostacedo 2000, Uslar *et al.* 2003). Diversas especies sometidas a la tala selectiva en el pasado han desaparecido de amplias zonas del bosque, entre ellas *Platymiscium ulei*, actualmente en estado crítico debido a su alto valor comercial (Albernaz & Ayres 1999, Toledo *et al.* 2008). Aunque presenta una distribución potencialmente amplia en los bosques secos tropicales de Bolivia y en las zonas de transición entre la Amazonía y el Chaco (Killeen *et al.* 1993), su explotación intensiva compromete especialmente la permanencia de las poblaciones adultas.

Comprender la ecología del crecimiento de *Platymiscium ulei* es fundamental para proyectar su dinámica poblacional en contextos de cambio climático y una creciente presión antrópica (López *et al.* 2019, Brienen *et al.* 2020). Las tasas de crecimiento radial constituyen un indicador clave para evaluar su respuesta a las condiciones climáticas, además de ofrecer criterios técnicos valiosos para su manejo sostenible (Mostacedo & Rumiz 2010). Esto es particularmente relevante en el caso de especies de crecimiento lento, donde una explotación intensiva puede implicar riesgos ecológicos significativos. En los bosques del Cerrado boliviano, estudios dendrocronológicos estimaron una tasa de crecimiento radial promedio de 0.41 cm/año para individuos de *P. ulei* con edades cercanas a los 90 años (López 2011). El monitoreo en parcelas permanentes en la

misma región reportan tasas que oscilan entre 0.173 y 0.3 cm/año, por lo que es clasificada como una especie de crecimiento lento (Dauber *et al.* 2005).

A pesar de su valor maderero y de una aparente amplia distribución geográfica, las sobresalientes propiedades de su madera para diversos usos están comprometiendo, en el corto plazo, la permanencia de las poblaciones adultas de *P. ulei* como resultado de un aprovechamiento intensivo. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar las variaciones del crecimiento radial de *P. ulei* y su respuesta a las condiciones climáticas regionales. Para ello, se construyó una cronología mediante la medición del ancho de los anillos de crecimiento, la cual fue correlacionada con registros instrumentales de temperatura y precipitación, permitiendo identificar los períodos climáticos que condicionan el crecimiento de esta especie en los bosques del Cerrado boliviano.

Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en un bosque de llanura aluvial ubicado en Cerrado boliviano, específicamente en la comunidad Mercedes (16°38'11" S; 62°4'3" O), a 50 km al suroeste de la ciudad de Concepción (Fig. 1). Los bosques de esta región se distribuyen entre las altitudes de 450 y 700 m. Estos bosques se caracterizan por presentar suelos aluviales bien drenados y determinados por flujos hacia la antigua llanura del río San Julián (Navarro 2011). El Cerrado Boliviano se encuentra dentro de la región biogeográfica del Cerrado, considerado como uno de los biomas más extensos de Bolivia y Sudamérica (Navarro & Maldonado 2004). En esta región, los bosques secos tropicales se distinguen por una notable ausencia de elementos del bosque chiquitano. En la comunidad Mercedes, se observa la escasez de especies características y prevalentes de los bosques chiquitanos, tales como *Aspidosperma cylindrocarpon* y *Schinopsis brasiliensis*. Es evidente que los bosques de esta parte de la comunidad Mercedes exhiben especies más características de zonas de transición entre los biomas del Cerrado y el Chaco (Navarro 2011).

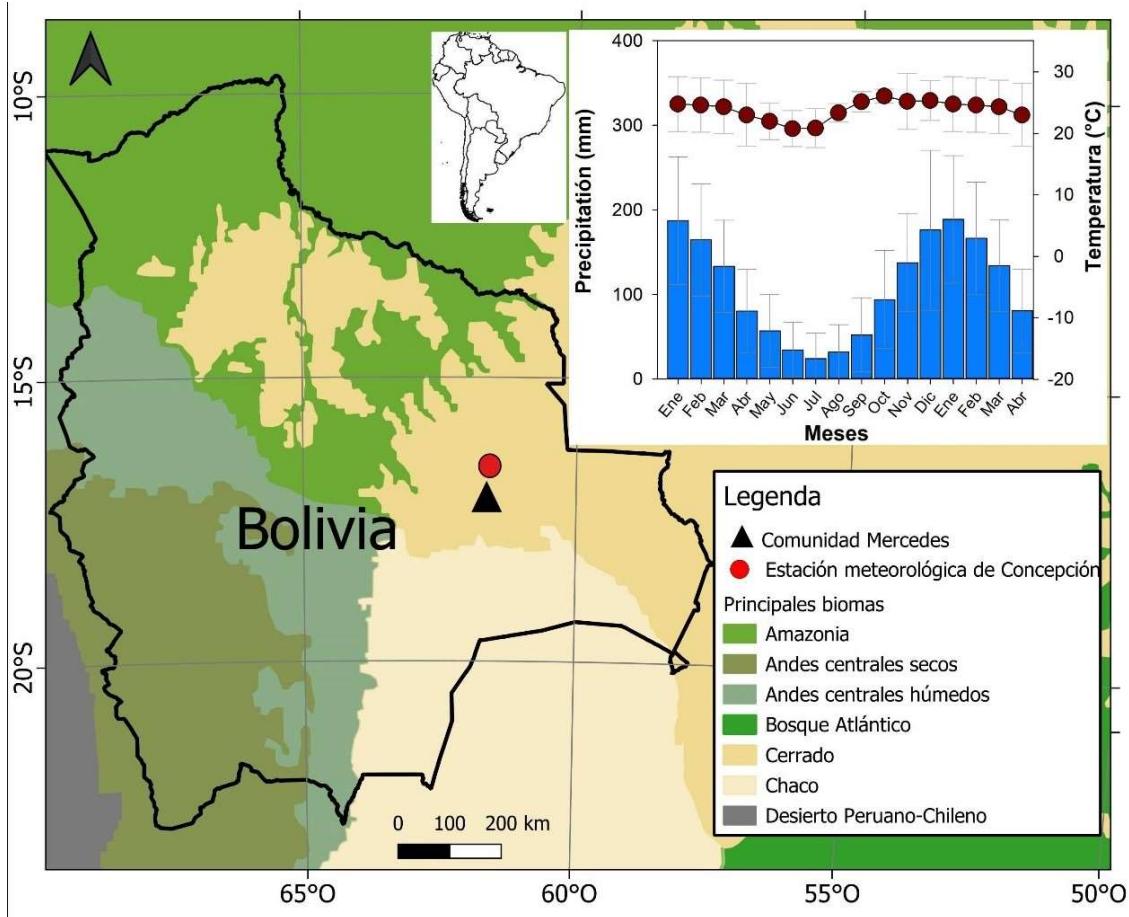


Figura 1. Ubicación del sitio de estudio en la comunidad Mercedes, Santa Cruz, Bolivia. En la parte superior derecha, se muestra la distribución mensual de la precipitación (barras) y la temperatura (línea) con sus respectivas desviaciones estándar para 16 meses de enero a abril. En rojo, la ubicación de la estación meteorológica Concepción ($16^{\circ}8'17.95''$ latitud sur y $62^{\circ}1'39.06''$ longitud oeste, a una altitud de 297 m), que cubre el periodo de 1943-2020.

Los bosques del Cerrado boliviano se caracterizan por su amplia extensión territorial y su notable biodiversidad, cualidades que se observan comúnmente en ambientes tropicales estacionales. Específicamente, la comunidad Mercedes experimenta un período seco de siete meses (abril-octubre) y una estación húmeda de cinco meses (noviembre-marzo, Fig. 1). Según los datos instrumentales de la estación meteorológica de Concepción, la temperatura media en la comunidad Mercedes es de 25.4°C , y la precipitación media anual de 1150 mm (1943-2017). La temperatura media experimenta una diferencia de solo 3.72°C entre las estaciones húmeda y seca, mientras que el 68,5 % de las precipitaciones se concentran durante los meses del período húmedo (Fig. 1).

Especie en estudio

El género *Platymiscium* abarca aproximadamente 19 especies arbóreas en la familia Fabaceae, las cuales se distribuyen en la región Neotropical, extendiéndose desde México hasta el sur de Brasil y el Cerrado boliviano (Klitgaard 2005). *Platymiscium ulei* se ha registrado al noreste de Brasil (estados de Acre, Amazonas, Ceará y

Pará), en los departamentos de Madre de Dios y Huánuco en Perú y en la Guayana Francesa. Esta especie se caracteriza por presentar una amplia distribución en bosques entre altitudes de 250-2.500 m. En Bolivia, su presencia se restringe principalmente al bioma del Cerrado, con una presencia notable en las provincias de Velasco y Nuflo de Chávez dentro del departamento de Santa Cruz (Killeen *et al.* 1993).

En Bolivia, la tarara colorada (*Platymiscium ulei*) es una especie de hoja semicaducifolia que precisa de una exposición moderada a la luz solar. El período de floración se produce entre los meses de octubre y noviembre, mientras que la pérdida de hojas tiene lugar en agosto (Mostacedo *et al.* 2003). Los árboles de *P. ulei* exhiben un sistema reproductivo monoico y muestran una preferencia por los claros amplios para la regeneración. En ciertos lugares, exhiben etapas fenológicas que dependen menos de la estación que la mayoría de las otras especies de *Platymiscium* (Klitgaard 2005).

La madera de esta especie tiene una densidad de dureza entre 0.73 y 0.77 g/cm^3 , y se utiliza principalmente en la

construcción de casas, muebles, pisos y paneles. En muchos bosques tropicales, incluidos los de la Amazonía brasileña, esta especie ha sido designada como maderable en peligro de extinción y excluida de los planes de gestión forestal (Wittmann *et al.* 2009). En Bolivia, se considera como una especie pionera longeva y abundante, con una densidad entre 0.8 y 0.1 árboles con diámetros superiores a los 40 cm por hectárea (Mostacedo *et al.* 2009). Sin embargo, tras un año de aprovechamiento maderable, se ha determinado que *P. ulei* ocupa únicamente el 1% de regeneración en estos claros (Fredericksen & Licona 2000).

Colección y procesamiento de muestras

El material leñoso de los árboles de *P. ulei* se colectó en un área bajo aprovechamiento forestal en la comunidad Mercedes, municipio de Concepción, provincia Ñuflo de Chávez, departamento de Santa Cruz, Bolivia. Durante nuestra visita, la comunidad se estaba realizando un aprovechamiento forestal de árboles de *P. ulei* y otras especies maderables. En patios de acopio y saneado de troncos, la comunidad permitió tomar una sección transversal del fuste de 14 árboles ya apeados y que tenían diámetros superiores a los 40 cm. Las muestras se tomaron lo más cerca posible de la superficie del suelo, garantizando la preservación de la corteza, y que estuvieran en buen estado sanitario. Debido a la dureza de la madera, todas las muestras se obtuvieron mediante la utilización de una motosierra y luego se trasladaron en radios de 20 cm al Laboratorio de Dendrocronología e Historia Ambiental (LDHA) de Mendoza, Argentina.

Una vez completado el proceso de secado, las secciones transversales fueron procesadas mediante técnicas dendrocronológicas convencionales (Stokes & Smiley 1968). El lijado se llevó a cabo utilizando papel de lija de grano progresivamente más fino, desde 60-1.000 μ /mm, hasta visualizar los anillos de crecimiento y otros elementos de interés (Fig. 2). Los anillos de crecimiento fueron fechados y datados al año de formación utilizando una lupa binocular con una luz fría dirigida sobre la superficie de la madera. A cada anillo de crecimiento se le asignó el año en el cual se inició el crecimiento, siguiendo la convención ya establecida para el hemisferio sur (Schulman 1956).

En los 17 radios de 14 árboles examinados, no se detectaron lentes de crecimiento. En algunos radios, especialmente en la etapa juvenil, se observaron falsos anillos. Las características anatómicas de la madera asociadas a la delineación de los anillos de crecimiento se describieron de acuerdo con la metodología establecida por la Asociación Internacional de Anatomistas de la Madera (Wheeler *et al.* 1989). La datación de los anillos de crecimiento se realizó en al menos uno o dos radios por árbol. Previamente a la medición, se identificó un patrón visual de anillos indicadores, tales como anchos o estrechos. Posteriormente, se procedió a la medición del ancho de los anillos anuales de crecimiento utilizando una medidora Velmex UniSlide conectada a un contador digital (Metronics Quick-Chek QC - 10 V), a una precisión de 0.001 mm.



Figura 2. Sección transversal del leño de *Platymiscium ulei*, donde se observan los anillos de crecimiento delimitados por bandas de parénquima marginal, destacadas en la parte inferior de la imagen. La flecha en la parte superior derecha indica la dirección hacia la corteza. Escala: 2.5 mm.

Desarrollo de la cronología

El fechado manual fue verificado mediante el programa COFECHA, que examina la calidad individual de cada

serie e identifica anillos ausentes o sobrantes mediante una comparación en segmentos específicos (Holmes 1983). Una vez completado el control de calidad de cada serie, se

procedió a la estandarización mediante curvas de ajuste con el programa ARSTAN, versión ARS 41 (Cook & Holmes 1999, Cook *et al.* 2007). El proceso de estandarización tiene por objeto la eliminación de las tendencias biológicas y geométricas resultantes de las tasas absolutas de crecimiento de los árboles. En consecuencia, la estandarización maximiza el porcentaje de varianza común del ancho de los anillos entre las muestras o series que componen la cronología (Cook & Peters 1981, Cook & Holmes 1999). En este contexto, los índices estandarizados para cada radio son adimensionales y se obtienen dividiendo el valor del ancho de anillo observado por el valor de la curva ajustada para cada año. La calidad de la cronología fue verificada con una serie de medidas estadísticas utilizadas habitualmente en dendrocronología, tales como la desviación estándar, la autocorrelación entre series y la sensibilidad media. Estos estadísticos proporcionan una evaluación del cambio relativo en el ancho de los anillos de un año a otro, frecuentemente como respuesta a variaciones de los factores climáticos (Fritts 1976).

El potencial dendrocronológico de *P. ulei* también fue controlado mediante la correlación media entre series (R-bar) y la señal expresada por la población (EPS). El R-bar es una medida de la señal común entre la variación de los anillos de crecimiento, calculada como el coeficiente de correlación media entre todos los pares posibles de segmentos de una determinada longitud de la cronología (Briffa 1995). Por su parte, 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 series en la cronología (Wigley *et al.* 1984). 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 & Jones 1990, Buras 2017).

Análisis de respuesta clima – crecimiento

Para determinar la relación entre el crecimiento radial de *P. ulei* y las condiciones climáticas, se ha comparado con los registros mensuales de precipitación y temperatura de la estación meteorológica más cercana a la comunidad Mercedes, que es Concepción (Servicio de Meteorología e Hidrología SENAMHI, periodo 1943-2020). Por medio de una matriz de correlación, los índices de crecimiento se compararon con la temperatura y precipitación mensuales para determinar los coeficientes de correlación entre ambas variables. Este proceso se realiza mediante 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). El crecimiento de *P. ulei* de un determinado año puede estar influenciando por condiciones climáticas de la estación previa al crecimiento. Por lo tanto, la comparación comprendió un periodo de 16 meses, desde enero de una estación previa del crecimiento hasta abril del año en que se formaron los anillos. 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 fue examinada sobre el período común entre la cronología y los datos instrumentales.

Resultados

Anillos de crecimiento de *P. ulei*

La madera de *P. ulei* tiene diferentes colores dentro del xilema, con un mayor contraste entre la albura y el duramen. Este último tiene colores más notables que van del marrón al rojizo oscuro, mientras que la albura presenta un color más claro. Los anillos de crecimiento son visibles a simple vista, sobre todo en la parte de albura y sectores con anillos más anchos. En algunas zonas es necesario el uso de una lupa con un aumento mayor de 10 x para identificar y delimitarlos. El límite entre anillos de crecimiento se define por la presencia de una banda de parénquima axial marginal acompañada de un engrosamiento de las paredes fibrosas. Además de estas características, existe una diferencia en el tamaño de los vasos, que son de diámetros mayores al comienzo de cada período de crecimiento. La mayoría de los vasos son solitarios y raramente se agrupan entre dos o más, y se distribuyen en forma diagonal y radialmente. Las fibras son de paredes gruesas, especialmente al final del anillo de crecimiento y se observaron parénquima paratraqueal axial, parénquima confluente axial y parénquima marginal axial rodeando los vasos (Fig. 2).

Construcción de la cronología

La cronología de *P. ulei* en la comunidad Mercedes cubre el periodo 1923-2017 y está compuesta por 17 radios de 14 árboles analizados. A partir de 1950 (67 años), la cronología tiene un número mayor a diez árboles. Este segmento es considerado robusto y bien replicado (Fig. 3). La cronología presenta variaciones en el crecimiento. Los períodos más destacados son el 1974 a 1980 y de 1998 a 2009, donde el crecimiento es superior a la media. Hay otros períodos muy marcados como 1960-1975, 1979-1986 y 1979-1998, cuando el crecimiento es inferior y se sitúan por debajo de la media. A partir de 2009 se produce un marcado descenso en el crecimiento de *P. ulei* en la comunidad Mercedes (Fig. 3).

La cronología tiene una buena autocorrelación entre árboles y una sensibilidad media aceptable, la cual representa una variabilidad interanual común en el ancho de los anillos de crecimiento. La cronología normalizada tiene una correlación media entre serie de 0.30 (R-bar) y una señal de población media (EPS) de 0.85 (Tabla 1). Sin embargo, algunos radios correctamente datados se observó una baja autocorrelación debido a la falta de concentricidad del fuste de los árboles.

Relaciones clima-crecimiento

El crecimiento radial de *P. ulei* en la comunidad Mercedes está principalmente determinado por las precipitaciones de octubre a diciembre, mientras las altas temperaturas de diciembre presentan una correlación significativa pero negativa (Fig. 4). Los meses con correlaciones significativas coinciden con los meses más lluviosos y cálidos del verano. Durante la comparación del crecimiento radial de *P. ulei* con los registros instrumentales de precipitación y temperatura para un periodo común 1943-2017 (74 años), se encontró una correlación positiva con la precipitación y negativa con la temperatura. El crecimiento de *P. ulei* está directamente correlacionado ($r = 0.48$; $p < 0.05$) con la precipitación acumulada de octubre a enero, mientras que la correlación con la temperatura durante estos meses ($r = -0.25$; $p < 0.05$) también es significativa, pero está inversamente relacionada con el crecimiento (Fig. 5).

Discusión

La madera de los árboles de *P. ulei*, debido a su color y diseño, es utilizada ampliamente en la construcción de casas, tejados, revestimientos y pisos, y se considera que tiene excelentes cualidades decorativas (Zenid *et al.* 2009). Esta especie tiene una amplia distribución en Bolivia, principalmente en bosques de transición Cerrado-Amazónico. Sin embargo, la presencia de árboles adultos es

cada vez más escasa. Los anillos de crecimiento son visibles y tienen una tasa media anual de 2.69 mm/año (Tabla 1). Estos valores de crecimiento, junto con otras estimaciones como los turnos biológicos de corte (TBC) establecido en 112 años para esta especie (López & Villalba 2015, López & Villalba 2016), sugieren que *P. ulei* crece lentamente y es considerada de reducido crecimiento (Dauber *et al.* 2005). Estas características de crecimiento y el acelerado proceso de degradación del hábitat de la especie sugieren que se requieren décadas para recuperar áreas y obtener ejemplares adultos.

Las especies caducifolias de los bosques estacionales tropicales del Cerrado presentan anillos anuales de crecimiento y están generalmente delimitados por una banda de parénquima marginal (Paredes-Villanueva *et al.* 2015, Mendivelso *et al.* 2016, López *et al.* 2019). Este patrón anatómico también se observó en el leño de *P. ulei*, donde los anillos están demarcados por parénquima marginal y una porosidad difusa contrastante entre en inicio y final del crecimiento (Fig. 2). Asimismo, en bosques tropicales premontanos del Perú, también encontraron el mismo patrón anatómico para árboles de *Platymicium pinnatum* var., donde los anillos de crecimiento escasamente visibles eran delimitados por un cambio en el grosor de las paredes de las fibras y por parénquima marginal (Marcelo-Peña *et al.* 2020). Para la misma especie en bosques venezolanos, los anillos de crecimiento son bien definidos por bandas estrechas de parénquima marginal y con porosidad difusa (Leon 2014). Así, los árboles de *Platymicium* tienen un buen potencial para realizar estudios dendrocronológicos. La información proxy-climática puede ayudar a responder interrogantes ecológicos y ambientales sobre la especie en ecosistemas cambiantes e intensamente explotados.

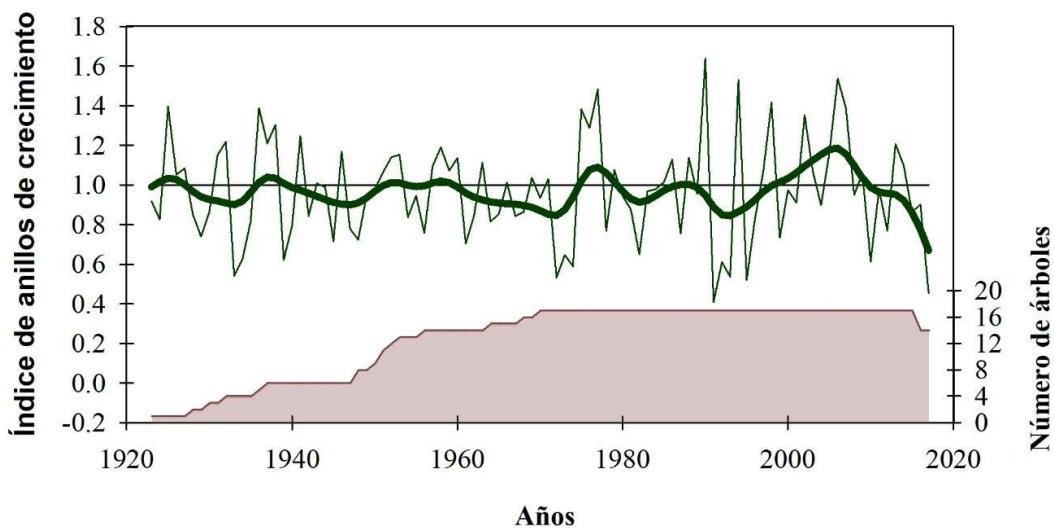


Figura 3. Variabilidad del índice de ancho de los anillos de crecimiento de *P. ulei* durante 1923-2017, la línea más gruesa corresponde a un *spline* (curva suavizada) de 25 años. Abajo la extensión del número de árboles que se utilizaron para la construcción de la cronología en la comunidad Mercedes, Santa Cruz, Bolivia.

Tabla 1. Estadísticas para la cronología de *e Platymiscium ulei* en la comunidad Mercedes, Santa Cruz, Bolivia. RES = cronología residual y STD = a la cronología estándar.

Parámetro	Valores
Período de datación	1923-2017 (94 años)
Árboles / radios datados	14/17
Estadísticas de series individuales	
Crecimiento medio radial (mm)	2.69 (Mín = 1.07; Máx= 5.49; SD = ± 0.91 mm)
Índice de la sensibilidad media	0.41
Inter correlación entre series	0.51
Estadísticos de la cronológica estandarizada	
RES correlación media entre las series (R -bar)	0.27
STD correlación media entre series (R -bar)	0.28
Señal media expresada por la población STD/RES	0.86/0.85
Índice de sensibilidad media STD/RES	0.29 / 0.29

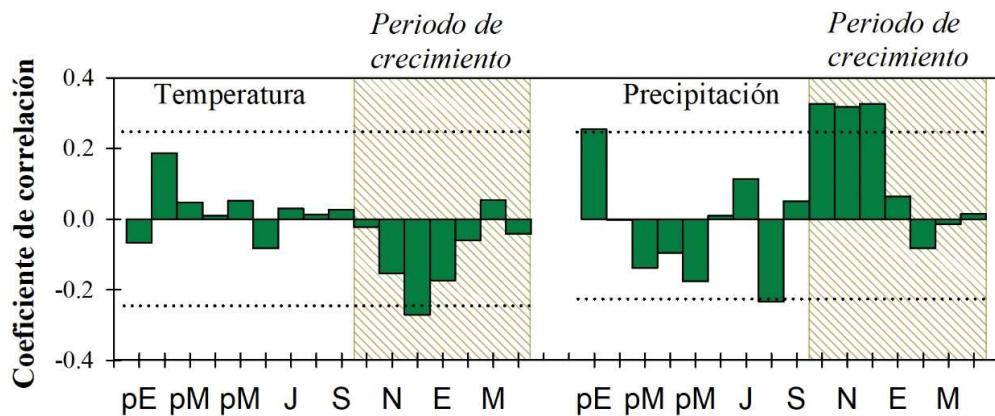


Figura 4. Relaciones entre el crecimiento de *Platymiscium ulei* y el clima (temperatura a la izquierda y precipitación a la derecha) de enero de la temporada previa a abril del período actual de crecimiento. Los coeficientes de correlación $r > 0.267$ (línea de puntos) son estadísticamente significativos ($p < 0.05$; período común 1943-2017). Las barras verticales verdes indican (octubre-abril) la estación húmeda para el sitio de estudio.

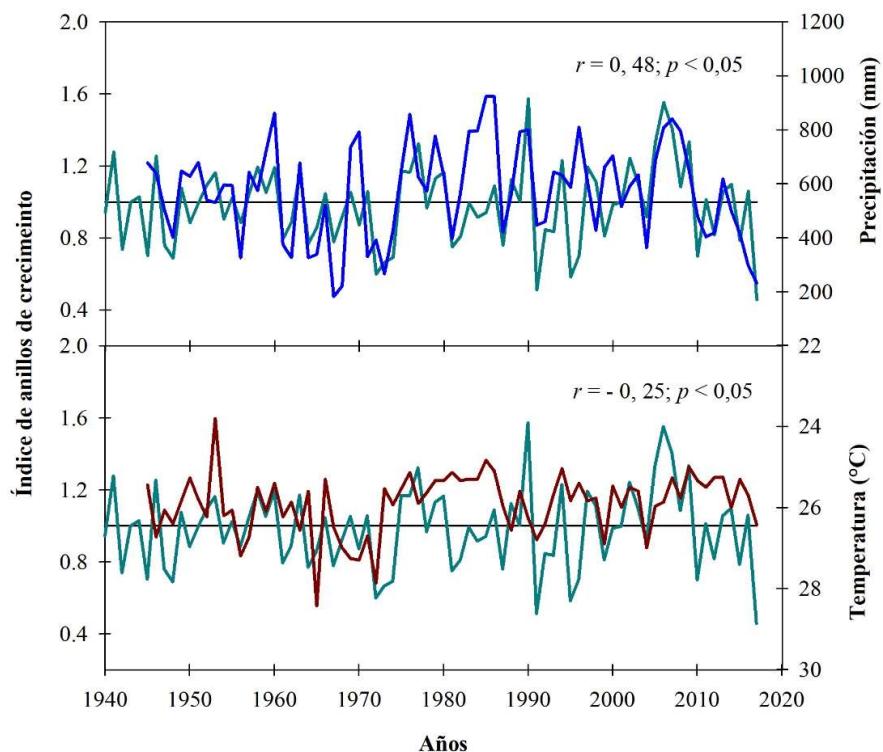


Figura 5. Comparaciones entre las variaciones interanuales en el crecimiento radial de *Platymiscium ulei* de la comunidad Mercedes (línea verde) con las precipitaciones de octubre-enero (línea azul) y la temperatura de octubre-enero (línea roja) para el período 1943-2017.

Los estadísticos presentados en la tabla 1, como R-bar = 0.30 y EPS = 0.85, indican que la cronología posee una buena calidad y refleja una señal común robusta entre los árboles de *P. ulei* que crecen en los bosques del Cerrado boliviano. Considerando que, a partir de 1950 (67 años), la cronología está compuesta por más de diez árboles (Fig. 3), durante la comparación para un común 1943–2017 (74 años), la misma estará representada por el mayor número de ejemplares. Por lo tanto, los coeficientes de correlación representan la respuesta directa entre el crecimiento de *P. ulei* con la precipitación y la temperatura (Fig. 4). El crecimiento radial se ve directamente favorecido por las precipitaciones de octubre a diciembre, mientras que la temperatura de diciembre tiene un efecto inverso pero significativo. Las lluvias de primavera y verano saturan el suelo de agua y favorecen el crecimiento de los árboles en los bosques secos del Cerrado. Por el contrario, las temperaturas estivales por encima del promedio tienen un efecto negativo sobre el crecimiento radial, ya que intensifican la evapotranspiración, agravan el déficit hídrico y, en consecuencia, reducen la tasa de incremento anual. Este patrón de respuesta ya se observó en cronologías de *Centrolobium microchaete* realizadas para el bosque seco tropical del Cerrado boliviano (López & Villalba 2011). La combinación de precipitaciones abundantes al inicio de la estación de crecimiento y temperaturas inferiores a la media podría ser una combinación ideal para el crecimiento de *P. ulei* en estos biomas. En cuatro cronologías de *Amburana cearensis* construidas para los bosques del Cerrado de Bolivia, encontraron que las variaciones interanuales están positivamente correlacionadas con la precipitación y negativamente con la temperatura durante la estación seca tardía (López *et al.* 2022). Este patrón refleja una respuesta clásica del crecimiento a la humedad, como se observa en los bosques tropicales y templados secos de todo el mundo. Este concepto indicaría que, en los bosques secos tropicales, la sequía puede inducir períodos de latencia del crecimiento radial, reduciendo sustancialmente la capacidad de producción (Mendivelso *et al.* 2016). En el caso de los bosques secos, se ha desarrollado la teoría de que las especies forestales crecen de acuerdo con la disponibilidad de agua en el suelo. Existen períodos de crecimiento en la época lluviosa y períodos de pausa o contracción del crecimiento en la época seca (Clark & Clark 1994).

Al realizar un análisis más regional de las variaciones interanuales y multidecadales en la cronología de crecimiento radial de *Platymiscium ulei* en la comunidad Mercedes, se evidencia una respuesta directa y sostenida a las condiciones hidroclimáticas dominantes a lo largo del tiempo. Se destacan dos períodos de crecimiento superior a la media: 1974–1980 y 1998–2009 (Fig. 3). El primero coincide con un episodio prolongado de La Niña (1973–1976), caracterizado por mayores precipitaciones en gran

parte del trópico sudamericano (Ropelewski & Halpert 1987, Garreaud *et al.* 2009). El segundo periodo se inicia tras el evento La Niña de 1998–2000, y se mantiene durante una fase relativamente húmeda, lo que sugiere que *P. ulei* responde positivamente a una mayor disponibilidad hídrica. Por el contrario, se identifican fases de crecimiento reducido, con valores por debajo del promedio, durante 1960–1975, 1979–1986 y 1989–1998. Estos períodos comprenden varios eventos El Niño (1965, 1972, 1982–83, 1991–92, 1997–98), asociados a sequías recurrentes en el sur de la Amazonía y el Cerrado (Marengo 2004, Espinoza Villar *et al.* 2009, Jiménez-Muñoz *et al.* 2016). La disminución sostenida del índice de crecimiento en estas fases sugiere que *P. ulei* es sensible al estrés hídrico prolongado inducido por estas anomalías oceánico-atmosféricas.

A partir de 2009, se observa un marcado descenso en el crecimiento radial, lo cual puede atribuirse a la intensificación de sequías estacionales, el aumento de las temperaturas extremas y posiblemente a cambios estructurales en el ecosistema forestal (Phillips *et al.* 2009, Lewis *et al.* 2011, Aragão *et al.* 2018). Esta tendencia descendente en la última década refuerza la hipótesis de una vulnerabilidad creciente de la especie frente al cambio climático, particularmente en escenarios de mayor recurrencia de eventos extremos.

Finalmente, comprender la relación real entre los factores climáticos y el crecimiento arbóreo resulta fundamental para predecir los impactos del cambio climático en los bosques tropicales (Clark & Clark 1994). La marcada dependencia climática del crecimiento de *P. ulei* observada en este estudio respalda esta premisa, y sugiere que los cambios climáticos proyectados para la región podrían ejercer una influencia negativa sobre la productividad forestal a lo largo del siglo XXI (López & Villalba 2011). En este contexto, resulta imperativo establecer lineamientos integrales para el manejo, conservación y restauración de especies vulnerables a eventos climáticos extremos, incendios forestales de gran magnitud y la creciente presión por deforestación en los bosques del Cerrado boliviano (López & Villalba 2020). Reconocer la correlación directa entre la capacidad adaptativa y productiva de las especies forestales frente a la variabilidad climática es crucial para diseñar estrategias efectivas de mitigación (Pucha-Cofrep *et al.* 2021). Alteraciones estacionales como la prolongación del período seco durante los meses de verano y el aumento sostenido de las temperaturas podrían tener consecuencias severas sobre las tasas, duración y calidad del crecimiento radial de *P. ulei* en ambientes tropicales secos.

Conclusiones

Este estudio demuestra que *Platymiscium ulei* presenta una alta sensibilidad al clima, reflejada en una fuerte relación

entre su crecimiento radial y las variaciones interanuales de precipitación y temperatura. La cronología desarrollada para la comunidad Mercedes revela que los períodos de mayor crecimiento coinciden con eventos de La Niña y fases húmedas, mientras que los descensos más pronunciados se asocian con eventos El Niño y sequías prolongadas. A partir de 2009, se observa una tendencia decreciente en el crecimiento, posiblemente influenciada por el aumento de eventos climáticos extremos y cambios estructurales en el ecosistema.

Estos resultados destacan el valor de *P. ulei* como especie indicadora para reconstrucciones climáticas en bosques tropicales secos y refuerzan la necesidad urgente de integrar el monitoreo dendrocronológico en estrategias de conservación. Frente al escenario de cambio climático proyectado para el siglo XXI, es esencial promover políticas de manejo forestal adaptativas que consideren la vulnerabilidad climática de las especies nativas, especialmente en regiones ecológicamente frágiles como el Cerrado boliviano.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la comunidad de Mercedes por su ayuda en el muestreo de árboles en su área de Forestación Comunitaria, particularmente al Ing. Jimmy Sotelo. Los autores también desean agradecer el apoyo financiero del CONICET, Argentina, a la Fundación Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (NSF 12-573), la Fundación BNP-PARIBAS y el premio NSF-PIRE (OISE-1743738) y PAGES-IAI. Red BOSQUE-CLIMA contribución número 13. También agradecemos a los revisores por los comentarios y sugerencias que mejoraron esta versión final.

Referencias

- Albernaz, A.L. K.M. & J.M. Ayres. 1999. Selective logging along the middle Solimões River. Pp. 135-151. En: Padoch, C., J.M. Ayres, M. Pinedo-Vasquez & A. Henderson (eds.). Várzea: Diversity, Development, and Conservation of Amazonia's Whitewater Floodplains. New York Botanical Garden Press, Nueva York.
- Aragão, L.E.O.C., L.O. Anderson, M.G. Fonseca, T.M. Rosan, L.B. Vedovato, F.H. Wagner, C.V.J. Silva, C.H.L. Silva Junior, E. Arai, A.P. Aguiar, *et al.* 2018. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nature Communications* 9(1): 536. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y>
- Blasing, T.J., A.M. Solomon & D.N. Duvick. 1984. Response functions revisited. *Tree-Ring Bulletin* 44: 1-15. <http://hdl.handle.net/10150/261260>
- Brienen, R.J. W., L. Caldwell, L. Duchesne, S. Voelker, J. Barichivich, M. Baliva, G. Ceccantini, A. DiFilippo, S. Helama, G.M. Locosselli, *et al.* 2020. Forest carbon sink neutralized by pervasive growth-lifespan trade-offs. *Nature Communications* 11(1): 4241. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17966-z>
- Briffa, K. & P.D. Jones. 1990. Basic chronology statistics and assessment. Pp. 137-152. En: Cook, E.R. & L.A. Kairiukstis (eds.). *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Kluwer, Dordrecht.
- Briffa, K.R. 1995. Interpreting high-resolution proxy climate data: the example of dendroclimatology. Pp. 77-94. En: von Storch, H. & A. Navarra (eds.). *Analysis of Climate Variability, Applications of Statistical Techniques*. Springer, Heidelberg.
- Buras, A. 2017. A comment on the expressed population signal. *Dendrochronologia* 44: 130-132. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.03.005>
- Clark, D. & D. Clark. 1994. Climate-induced annual variation in canopy tree growth in a Costa Rican tropical rain forest. *Journal of Ecology* 82: 865. <https://doi.org/10.2307/2261450>
- Cook, E.R., P.J. Krusic, R.H. Holmes & K. Peters. 2007. Program ARSTAN, version 41d, 2007. Tree-ring laboratory. <http://www.ldeo.columbia.edu/tree-ring-laboratory>
- Cook, E.R. & K. Peters. 1981. The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-Ring Bulletin* 41: 45-53. <http://www.treeringssociety.org>
- Cook, R.E. & R.L. Holmes. 1999. Users manual for program Arstan. Laboratory Of Tree-Ring Research, University Of Arizona, Tucson.
- Dauber, E., T.S. Fredericksen & M. Peña. 2005. Sustainability of timber harvesting in Bolivian tropical forests. *Forest Ecology and Management* 214: 294-304. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.04.019>
- Espinosa Villar, J.C., J. Ronchail, J.L. Guyot, G. Cochonneau, F. Naziano, W. Lavado, E. De Oliveira, R. Pombosa & P. Vauchel. 2009. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). *International Journal of Climatology* 29(11): 1574-1594. <https://doi.org/10.1002/joc.1791>
- Fredericksen, T.S. & J.C. Licona. 2000. Encroachment of non-commercial tree species after selection logging in a Bolivian tropical forest. *Journal of Sustainable Forestry* 11: 113-123. https://doi.org/10.1300/J091v11n03_07
- Fredericksen, T.S. & B. Mostacedo. 2000. Regeneration of timber species following selective logging in a Bolivian tropical forest. *Forest Ecology and Management* 131:

- 47-55. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00199-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00199-1)
- Fritts, H.C. 1976. Tree rings and climate. Academic Press, Londres.
- Garreaud, R.D., M. Vuille, R. Compagnucci & J. Marengo. 2009. Present-day South American climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281(3): 180-195. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.10.032>
- Holmes, R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78. <https://doi.org/10.1509/261223>
- Jiménez-Muñoz, J.C., C. Mattar, J. Barichivich, A. Santamaría-Artigas, K. Takahashi, Y. Malhi, J.A. Sobrino & G. Schrier. 2016. Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015-2016. *Scientific Reports* 6: 33130. <https://doi.org/10.1038/srep33130>
- Killeen, J.T., E. Garcia & S.G. Beck. 1993. Guía de árboles de Bolivia. Herbario Nacional de Bolivia, Missouri Botanical Garden. Quipus S.R.L, La Paz.
- Killeen, T.J., V. Calderón, L. Soria, B. Quesada, M. Steininger, G. Harper, L.A. Solorzano & C.J. Tucker. 2007. Thirty years of land-cover change in Bolivia. *Ambio* 36(7): 600-606. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[600:TOLCI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[600:TOLCI]2.0.CO;2)
- Klitgaard, B.B. 2005. *Ptatumiscium* (Leguminosae: Dalbergieae): biogeography systematics, morphology, taxonomy and uses. *Kew Bulletin* 60(3): 321-400.
- Leon, W. 2014. Anatomía de la madera de 108 especies de Venezuela. Pittieria Serie Publicaciones Especiales, Caracas.
- Lewis, S.L., P.M. Brando, O.L. Phillips, G.M.F. Van Der Heijden & D. Nepstad. 2011. The 2010 Amazon drought. *Science* 331: <https://doi.org/10.1126/science.1200807>
- López, L. 2011. Una aproximación dendrocronológica a la ecología y el manejo de los bosques tropicales secos del Cerrado boliviano. Tesis de doctorado en biología, Universidad Nacional del Comahue, San Carlos de Bariloche, Rio Negro.
- López, L., M. Rodríguez-Catón & R. Villalba. 2019. Convergence in growth responses of tropical trees to climate driven by water stress. *Ecography* 42: 1-14. <https://doi.org/10.1111/ecog.04296>
- López, L. & R. Villalba. 2011. Climate influences on the radial growth of *Centrolobium microchaete*, a valuable timber species from the tropical dry forests in Bolivia. *Biotropica* 43: 41-49. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2010.00653.x>
- 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. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2015.24-2.04>
- López, L. & R. Villalba. 2016. An assessment of *Schinopsis brasiliensis* Engler (Anacardiaceae) for dendroclimatological applications in the tropical Cerrado and Chaco forests, Bolivia. *Dendrochronologia* 40: 85-92. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2016.07.002>
- López, L. & R. Villalba. 2020. Climate-growth relationships for *Aspidosperma tomentosum* Mart. in South American tropical dry forests. *Annals of Forest Science* 77(4): 96. <https://doi.org/10.1007/s13595-020-01001-8>
- López, L., R. Villalba & D. Stahle. 2022. High-fidelity representation of climate variations by *Amburana cearensis* tree-ring chronologies across a tropical forest transition in South America. *Dendrochronologia* 72: 125932. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2022.125932>
- Maillard, O., R. Vides-Almonacid, M. Flores-Valencia, R. Coronado, P. Vogt, S. Vicente-Serrano, H. Azurduy, R. Anívarro & R. Cuellar. 2020. Relationship of forest cover fragmentation and drought with the occurrence of forest fires in the Department of Santa Cruz, Bolivia. *Forests* 11: 910. <https://doi.org/10.3390/f11090910>
- Marcelo-Peña, J.L., F.A. Roig, Z.A. Goodwin & M. Tomazello-Filho. 2020. Characterizing growth rings in the trees of Perú: A wood anatomical overview for potential applications in dendroecological-related fields. *Dendrochronologia* 62: 125728. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2020.125728>
- Marengo, J.A. 2004. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology* 78(1): 79-96. <https://doi.org/10.1007/s00704-004-0045-8>
- Mendivilso, H.A., J.J. Camarero & E. Gutiérrez. 2016. Dendrocronología en bosques neotropicales secos: métodos, avances y aplicaciones. *Ecosistemas* 25(2): 66-75. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-2.08>
- Mostacedo, B., M. J. Justiniano, M. Toledo & T. Fredericksen. 2003. Guía dendrológica de especies forestales en Bolivia. El País, 2da. Bolivia Sustainable Forest Management Project, Santa Cruz.
- Mostacedo, B. & D. Rumiz. 2010. Estimación del estado de conservación de las especies maderables de la Chiquitanía en Bolivia. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental* 28: 43-52.
- Mostacedo, B., Z. Villegas, J.C. Licona, A. Alarcón, D. Villarroel, M. Peña-Claros & T.S. Fredericksen. 2009. Ecología y silvicultura de los principales bosques tropicales de Bolivia. Instituto Boliviano de Investigación Forestal, Santa Cruz.

- Müller, R., P. Pacheco & J.C. Montero. 2014. El contexto de la deforestación y degradación de los bosques en Bolivia: Causas, actores e instituciones. Center for International Forestry Research, Bogor.
- Navarro, G. 2011. Clasificación de la vegetación de Bolivia. Centro de Ecología Difusión Simón I. Patiño, Santa Cruz.
- Navarro, G. & M. Maldonado. 2004. Geografía ecológica de Bolivia: Vegetación y ambientes acuáticos. Centro de Ecología Simón Patiño, Santa Cruz.
- Paredes-Villanueva, K., L. López, M. Brookhouse & R.M. Navarro Cerrillo. 2015. Rainfall and temperature variability in Bolivia derived from the tree-ring width of *Amburana cearensis* (Fr. Allem.) A.C. Smith. *Dendrochronologia* 35: 80-86. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2015.04.003>
- Phillips, O. L., L.E.O.C. Aragão, S.L. Lewis, J.B. Fisher, J. Lloyd, G. López-González, Y. Malhi, A. Monteagudo, J. Peacock, C.A. Quesada, *et al.* 2009. Drought sensitivity of the Amazon rainforest. *Science* 323(5919): 1344-1347. <https://doi.org/10.1126/science.1164033>
- Plumpton, H.J., F.E. Mayle & B.S. Whitney. 2019. Long-term impacts of mid-Holocene drier climatic conditions on Bolivian tropical dry forests. *Quaternary Research* 93: 204-224. <https://doi.org/10.1017/qua.2019.55>
- Pucha-Cofrep, D.A., C.E. Feijoo, M. Yaguana Arévalo & V.H. Eras Guamán. 2021. Sensibilidad de *Cinchona officinalis* L. al estrés hídrico: cambios morfológicos y anatómicos de la madera. *Bosques Latitud Cero* 10(2): 27-43. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/860>
- Ropelewski, C.F. & M.S. Halpert. 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Monthly Weather Review* 115(8): 1606-1626.
- 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. Proyecto BOLFOR II/ Instituto Boliviano de Investigación Forestal, Santa Cruz.
- Uslar, Y.V., B. Mostacedo & M. Saldías. 2003. Composición, estructura y dinámica de un bosque seco, semideciduo en Santa Cruz, Bolivia. Documento Técnico 114/2003. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible BOLFOR, Santa Cruz.
- Wheeler, E., P. Baas & P. Gasson. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. International Association of Wood Anatomists 10: 219-332.
- Wigley, T.M.L., K.R. Briffa & P.D. Jones. 1984. On the value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 23: 201-213. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1984\)023](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1984)023)
- Wittmann, F., J. Schöngart, H. Queiroz, A. Oliveira Wittmann, A. Conserva, M.T. Piedade, J. Kesselmeier & W. Junk. 2009. The Amazon floodplain demonstration site: sustainable timber production and management of Central Amazonian white-water floodplains. *Ecohydrology & Hydrobiology* 2: 1-14 (2009) 9. <https://doi.org/10.2478/v10104-009-0038-4>
- Zenid, G.J., L.F.T. Romagnano & M.A.R. Nahuz. 2009. Madeira: uso sustentável na construção civil. Instituto de Pesquisas Tecnológicas— Secretaria do Verde e do Meio Ambiente, São Paulo.