



Aplicaciones de la dendroecología en el manejo forestal: una revisión

The use of dendroecology in forest management: a review

Fabiola Rojas-García^{1*}, Armando Gómez-Guerrero¹, Genaro Gutiérrez García²

Gregorio Ángeles Pérez¹, Valentín José Reyes Hernández¹ y Bernardus H. J. de Jong³

¹ Colegio de Postgraduados. Postgrado en Ciencias Forestales. Montecillo, Texcoco, México.

* Autor de correspondencia: fabiosxto1981@gmail.com

² Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. Coyoacán, Ciudad de México, México.

³ El Colegio de la Frontera Sur. Unidad Campeche. Lerma Campeche, Campeche, México.

RESUMEN

La dendroecología es una subdisciplina de la dendrocronología, que se refiere al estudio de los procesos ecológicos en un bosque por medio del análisis de anillos de crecimiento de los árboles de un rodal. Esta subdisciplina es útil para comprender la dinámica de crecimiento en condiciones naturales y de manejo. El objetivo del presente estudio fue hacer una revisión sobre la aplicación de la dendroecología como herramienta en manejo forestal. Se identificaron 78 trabajos que involucraron 118 especies. Los países donde se ha realizado un mayor número de estudios dendroecológicos son Estados Unidos de América, España y Argentina. Las prácticas de manejo que fueron mayormente beneficiadas con el uso de métodos dendroecológicos son la estimación del tiempo de turno en la fase de planeación, el aclareo en la fase de ejecución, y las evaluaciones de crecimiento y rendimiento, así como los impactos de plagas y enfermedades sobre el crecimiento en la fase de monitoreo. La investigación en manejo forestal se sustenta principalmente en el seguimiento de parcelas permanentes de medición y puede ser fortalecida por el análisis de anillos de crecimiento. Los métodos dendrocronológicos proporcionan información relevante sobre la estructura del bosque, el estado fitosanitario, las tasas de crecimiento de especies arbóreas y su variación temporal. Las experiencias de la investigación dendroecológica llevada a cabo en otros países pueden aplicarse también en México, incluyendo el estudio de especies latifoliadas. El uso de la dendroecología como herramienta para el manejo forestal contribuiría a optimizar la producción maderable y favorecería la conservación de los ecosistemas forestales en el país.

PALABRAS CLAVE: aclareo, anillos de crecimiento, prácticas silvícolas, producción de madera, reclutamiento, tiempo de turno.

ABSTRACT

Dendroecology is a sub-discipline of dendrochronology, which refers to the study of ecological processes in a forest through the analysis of tree rings in a forest stand. This sub-discipline is useful for understanding the growth dynamics, in natural and managed conditions. The objective of this study was to review the application of dendroecology as a forest management tool. Seventy-eight papers were identified that involved 118 species. The countries where more dendroecological studies have been carried out are United States of America, Spain, and Argentina. The management practices that are mostly benefited from the use of dendroecological methods are the estimation of the rotation-time in the planning phase; thinning in the execution phase; and growth and performance assessments, as well as the impacts of pests and diseases on growth in the monitoring phase. Forest management research is mainly based on the monitoring of permanent sampling plots and can be supported by tree-ring analysis. Dendrochronological methods provide relevant information on forest structure, phytosanitary status, tree-species growth rates and their temporal variation. Dendroecological research experiences carried out in other countries can also be applied in Mexico, including the study of broadleaved species. The use of dendroecology as forest management tool would help to optimize timber production and promote the conservation of forest ecosystems in Mexico.

KEYWORDS: thinning, growth rings, silvicultural practices, wood production, forest regeneration, rotation time.

INTRODUCCIÓN

La dinámica de crecimiento de los ecosistemas forestales está afectada por un conjunto de factores ambientales y de manejo que incluyen al clima, infestaciones de insectos, incendios, competencia entre árboles (natural y resultado del manejo) y características del suelo, entre otros (Chadwick Dearing Oliver y Larson, 1996). En el caso de bosques naturales, el principal factor que regula y limita el crecimiento es el clima (Camarero, Guerrero y Gutiérrez, 1997), siendo este el factor responsable del proceso de formación de anillos de crecimiento en especies arbóreas. Las especies leñosas, particularmente las coníferas, forman anillos de crecimiento en aquellas localidades en donde existe una estacionalidad climática pronunciada, es decir en donde se presente una época seca o fría bien definida a lo largo del año (Fritts, 1976). Debido a que un árbol no es influido únicamente por el clima, los anillos de crecimiento pueden ser considerados como un registro histórico natural de procesos ecológicos. Por lo tanto, a partir del análisis de los anillos y de la aplicación de métodos dendrocronológicos es posible reconstruir dichos procesos en el pasado (Fritts y Swetnam, 1989).

La dendroecología es la rama de la dendrocronología que utiliza y analiza anillos de crecimiento fechados, en el estudio de procesos ecológicos (Schweingruber, 1996). La primera conferencia dedicada a las formas de aplicar la información fechada de anillos de crecimiento a estudios ecológicos se celebró en agosto de 1986 en Tarrytown, Nueva York (Fritts y Swetnam, 1989). Esta disciplina es de gran utilidad en estudios de dinámica de poblaciones y comunidades arbóreas, en el análisis de la estructura de edades de los bosques, y en la determinación de los patrones temporales y espaciales de especies (Gutiérrez-Ilabaca, 2002). Los métodos dendroecológicos también han sido utilizados en el estudio de las respuestas ecofisiológicas de las plantas, ya que la estructura anatómica de la madera de una especie es reflejo de su adaptación al ambiente (Schweingruber, Börner y Schulze, 2008).

Los análisis dendroecológicos permiten conocer la dinámica de rodales por medio del análisis de los patrones

de crecimiento, distinguiendo dos enfoques (Gutiérrez-Ilabaca, 2002). El primer enfoque es el de cronosecuencia, el cual asume un muestreo de rodales de diferente estructura, que representan las distintas fases de sucesión del rodal (Kitzberger, Veblen Villalba, 2000; Pickett, 1989). El segundo enfoque es el de reconstrucción histórica de rodales, el cual requiere datos espacial y temporalmente precisos combinando las técnicas dendroecológicas con la historia de un sitio en particular (*e.g.* cofecharo de tocones) (Henry y Swan, 1974; Chadwick Dearing Oliver y Stephens, 1977). En un estudio dendroecológico es recomendable la integración de ambos enfoques (Kitzberger *et al.*, 2000).

Se han realizado síntesis con relación a la investigación dendroecológica. Schweingruber (1996) describe los fundamentos biológicos de la dendroecología, entre ellos las funciones orgánicas involucradas en la formación de anillos de crecimiento y su relación con factores abióticos y las interacciones bióticas. Rozendaal y Zuidema (2011) realizaron una revisión sobre la investigación dendroecológica en ecosistemas tropicales, incluyendo mediciones de isótopos estables (^{13}C y ^{18}O); cronologías de perturbaciones de bosques tropicales y modelos de crecimiento. Amoroso, Daniels, Baker, y Camarero (2017) recopilaron el estado del arte de la dendroecología y el uso de análisis de anillos de crecimiento sobre problemas ecológicos en bosques tropicales, templados y boreales. Esta revisión destaca cómo la investigación dendroecológica ha propiciado el avance de la comprensión de las perturbaciones como un atributo vital de los bosques.

El manejo del bosque implica una perturbación en su dinámica, en este caso, producida deliberadamente por el hombre. El manejo forestal comprende la toma de decisiones y actividades encaminadas al aprovechamiento, conservación y fomento de los recursos forestales de manera ordenada; procurando satisfacer las necesidades de la sociedad actual y futura (Aguirre-Calderón, 2015). El manejo forestal involucra la ejecución de un programa de prácticas silvícolas: métodos de regeneración y todas las actividades de cultivo o tratamientos intermedios, que se realizan durante el periodo de administración del bosque (Monárez-González, Pérez-Verdín, López-González,



Márquez-Linares y González Elizondo, 2018). La dendroecología es una herramienta útil en el manejo forestal ya que proporciona información sobre la dinámica natural de crecimiento de un bosque (von Gadow, Sánchez Orois y Aguirre Calderón, 2004), y su respuesta a cambios bióticos, abióticos y antrópicos (Xiao *et al.*, 2015).

OBJETIVOS

El objetivo general del presente trabajo fue realizar una revisión de la literatura sobre la investigación dendroecológica como herramienta en manejo forestal. Los objetivos particulares fueron: (1) ubicar la tendencia temporal del uso de la dendroecología en el manejo forestal, (2) identificar las prácticas de manejo que resultan mayormente beneficiadas de la disciplina dendroecológica y (3) discutir las oportunidades de la integración de la disciplina dendroecológica como herramienta en manejo forestal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se efectuó una revisión de literatura para localizar publicaciones con información relacionada al uso de técnicas dendrocronológicas en las prácticas de manejo forestal. En el caso de publicaciones convencionales (artículos científicos, capítulos de libro y libros indizados), se utilizaron motores de búsqueda públicos: Thomson Reuters (Web of Science), Elsevier (Scopus, Science Direct), Springer (SpringerLink), Wiley (Wiley Online Library) y páginas electrónicas (SciELO, Redalyc, Dialnet, Google Académico). Adicionalmente, se realizó una búsqueda para localizar publicaciones en la llamada “literatura gris”, como tesis y resúmenes en extenso resultado de reuniones científicas. Para localizar la literatura gris se llevaron a cabo visitas virtuales a instituciones académicas (universidades e institutos de investigación). Se utilizó para ambos casos una serie de palabras clave con operadores lógicos para seleccionar la literatura relevante: dendroecología, técnicas dendroecológicas, paleoecología, manejo forestal + anillos de crecimiento, manejo forestal + dendrocronología.

Los documentos que resultaron de la búsqueda fueron analizados y se elaboró una base de datos para sintetizar y

sistematizar la información de cada documento. Inicialmente se describe el año de la publicación y el tipo de documento (artículo, capítulo de libro indizado, memoria de reunión científica). Se recuperó el nombre científico de la especie o grupo de especies estudiadas en cada investigación. Los nombres científicos se evaluaron con el paquete Taxonstand en el ambiente R (Cayuela, Granzow, Albuquerque y Golicher, 2012), con el fin de conocer la familia botánica y determinar la estructura anatómica de la madera de cada especie (coníferas o latifoliadas). También se registró el hábito de la especie investigada (árbol, arbusto, liana). Adicionalmente, se registró el continente y país donde se realizó la investigación, y se categorizó la escala espacial en que fueron efectuadas las prácticas de manejo (paisaje, rodal, sitio) (Vargas-Larreta, 2013). Se graficó la línea de tiempo de cada investigación revisada. A cada investigación se le categorizó en una fase de manejo forestal (planeación, ejecución, monitoreo) (Aguirre-Calderón, 2015). Asimismo, se registró la práctica de manejo, las técnicas dendroecológicas utilizadas y los resultados alcanzados en cada investigación.

RESULTADOS

La estrategia de búsqueda permitió encontrar 124 documentos, de los cuales se eliminaron 30 estudios que hacían referencia únicamente al potencial dendroecológico de alguna especie y no se relacionaban con prácticas de manejo forestal en árboles (Natalini *et al.*, 2016) o arbustos (Oddi y Ghermandi, 2015). Así mismo, se descartaron 19 referencias asociadas al fechado de incendios forestales (Fulé, Covington y Moore, 1997; Fulé, Villanueva-Díaz y Ramos-Gómez, 2005). La recopilación final resultó en 78 documentos que cumplían con los objetivos de la presente revisión, de los cuales 76 son artículos científicos y dos son trabajos terminales de grado (Romero-Tovar, 2006; Viguera-Moreno, 2012). Se encontraron trabajos de tesis que posteriormente fueron publicados como artículo científico, debido a que correspondía a la misma investigación, se consideró conservar la publicación convencional (Goche-Téllez *et al.*, 2003). Si bien, el uso de datos de anillos de árboles para desarrollar planes de manejo forestal no es

nuevo (Schöngart, Bräuning, Barbosa, Lisi y de Oliveira, 2017), esta revisión se concentró en el período 1996 (Motta y Nola, 1996) al 2020 (Trujillo-Martínez, Reyes-Hernández, Gómez-Guerrero y Borja-de la Rosa, 2020).

Los trabajos científicos analizados involucran 118 especies pertenecientes a 28 familias (Tabla 1). Las familias

botánicas con mayor número de publicaciones asociadas fueron Pinaceae (40), Fabaceae (20), Fagaceae (12) y Cupressaceae (5). El hábito de las especies descritas corresponde a 73 áboles (Pérez-de-Lis, García-González, Rozas y Arévalo, 2011) y cuatro especies arbustivas (Villagra *et al.*, 2005).

TABLA 1. Especies con crecimiento secundario incluidas en investigaciones dendroecológicas.

<i>Familia</i>	<i>Especie</i>
Aquifoliaceae (Latifoliada)	<i>Ilex inundata</i> Poepp. ex Reissek
Araucariaceae (Conífera)	<i>Agathis robusta</i> (C. Moore ex F. Muell.) F.M. Bailey
	<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze
	<i>Araucaria cunninghamii</i> Aiton ex D. Don
Betulaceae (Latifoliada)	<i>Betula alleghaniensis</i> Britton
	<i>Betula platyphylla</i> Sukaczev
Bignoniaceae (Latifoliada)	<i>Tabebuia barbata</i> (E. Mey.) Sandwith
	<i>Combretum glutinosum</i> Perr.
Combretaceae (Latifoliada)	<i>Terminalia ivorensis</i> A. Chev.
	<i>Terminalia macroptera</i> Guill. & Perr.
	<i>Terminalia superba</i> Engl. & Diels
Cupressaceae (Conífera)	<i>Austrocedrus chilensis</i> (D. Don) Pic. Serm. & Bizzarri
	<i>Calocedrus decurrens</i> (Torr.) Florin
	<i>Cunninghamia lanceolata</i> (Lamb.) Hook.
	<i>Juniperus thurifera</i> L.
	<i>Thuja plicata</i> Donn ex D. Don
Elaeocarpaceae (Latifoliada)	<i>Sloanea terniflora</i> (DC.) Standl.
Euphorbiaceae (Latifoliada)	<i>Piranhea trifoliata</i> Baill.
	<i>Acacia macrostachya</i> Rchb. ex DC.
	<i>Acacia seyal</i> Delile
	<i>Albizia subdimidiata</i> (Splitg.) Barneby & J.W. Grimes
	<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C. Sm.
	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Allemão) A.C. Sm.
	<i>Brachystegia eurycoma</i> Harms
	<i>Caragana korshinskii</i> Kom.
	<i>Cedrelina cateniformis</i> (Ducke) Ducke
	<i>Centrolobium microchaete</i> (Mart. ex Benth.) H.C. Lima
Fabaceae (Latifoliada)	<i>Cordyla pinnata</i> (A. Rich.) Milne-Redh.
	<i>Daniellia ogea</i> (Harms) Rolfe ex Holland
	<i>Hymenaea courbaril</i> L.
	<i>Julbernardia Pellegr.</i>
	<i>Macrolobium acaciifolium</i> (Benth.) Benth.
	<i>Peltogyne heterophylla</i> M.F. Silva
	<i>Platymiscium ulei</i> Harms
	<i>Prosopis caldenia</i> Burkart
	<i>Prosopis flexuosa</i> DC.
	<i>Pterocarpus erinaceus</i> Poir.



TABLA 1. Especies con crecimiento secundario incluidas en investigaciones dendroecológicas (Cont. 2/3)

Familia	Especie
Fagaceae	<i>Castanea sativa</i> Mill.
	<i>Fagus grandifolia</i> Ehrh.
	<i>Fagus sylvatica</i> L.
	<i>Quercus alba</i> L.
	<i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb.
	<i>Quercus montana</i> Willd.
	<i>Quercus petraea</i> (Matt.) Liebl.
	<i>Quercus prinus</i> Lam.
	<i>Quercus pyrenaica</i> Steven
	<i>Quercus robur</i> L.
Juglandaceae	<i>Quercus rubra</i> L.
	<i>Quercus velutina</i> Lam.
	<i>Carya glabra</i> (Mill.) Sweet
	<i>Eschweilera albiflora</i> (DC.) Miers
	<i>Liriodendron tulipifera</i> L.
	<i>Luehea cymulosa</i> Spruce ex Benth.
	<i>Pseudobombax munguba</i> (Mart.) Dugand
	<i>Tilia americana</i> L.
	<i>Triplochiton scleroxylon</i> K. Schum.
	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.
	<i>Entandrophragma utile</i> (Dawe & Sprague) Sprague
Moraceae	<i>Ficus boliviiana</i> C.C. Berg
	<i>Ficus insipida</i> Willd.
Myrtaceae	<i>Eucalyptus nitens</i> (Deane & Maiden) Maiden
	<i>Nothofagus dombeyi</i> (Mirb.) Oerst.
Nothofagaceae	<i>Nothofagus nervosa</i> (Phil.) Krasser
	<i>Nothofagus obliqua</i> (Mirb.) Oerst.
	<i>Nothofagus pumilio</i> (Poepp. & Endl.) Reiche
	<i>Nyssa aquatica</i> L.
Oleaceae	<i>Fraxinus mandshurica</i> Rupr.
	<i>Abies alba</i> Mill.
	<i>Abies amabilis</i> Douglas ex J. Forbes
	<i>Abies balsamea</i> (L.) Mill.
	<i>Abies concolor</i> Lindl.
	<i>Abies lasiocarpa</i> Sarg.
	<i>Abies magnifica</i> A. Murray
	<i>Abies nephrolepis</i> (Trautv. ex Maxim.) Maxim.
	<i>Larix decidua</i> Mill.
	<i>Larix laricina</i> (Du Roi) K. Koch
	<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst.
	<i>Picea engelmannii</i> Engelm.
	<i>Picea jezoensis</i> (Siebold & Zucc.) Carrière
	<i>Picea mariana</i> (Mill.) Britton, Sterns & Poggenb.
	<i>Picea rubens</i> Sarg.
	<i>Pinus banksiana</i> Lamb.
	<i>Pinus canariensis</i> C. Sm. ex DC.
Pinaceae	

TABLA 1. Especies con crecimiento secundario incluidas en investigaciones dendroecológicas (Cont. 3/3)

<i>Familia</i>	<i>Especie</i>
	<i>Pinus cembra</i> L.
	<i>Pinus contorta</i> Douglas ex Loudon
	<i>Pinus halepensis</i> Mill.
	<i>Pinus jeffreyi</i> Balf.
	<i>Pinus koraiensis</i> Siebold & Zucc.
	<i>Pinus lambertiana</i> Douglas
	<i>Pinus montezumae</i> Lamb.
	<i>Pinus monticola</i> Douglas ex D. Don
	<i>Pinus nigra</i> J.F. Arnold
	<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham.
	<i>Pinus pinaster</i> Aiton
Pinaceae	(Conífera) <i>Pinus pinea</i> L.
	<i>Pinus ponderosa</i> P. Lawson & C. Lawson
	<i>Pinus resinosa</i> Aiton
	<i>Pinus rufa</i> Endl.
	<i>Pinus strobus</i> L.
	<i>Pinus sylvestris</i> L.
	<i>Pinus taeda</i> L.
	<i>Pinus wallichiana</i> A.B. Jacks.
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco
	<i>Tsuga canadensis</i> (L.) Carrière
	<i>Tsuga heterophylla</i> (Raf.) Sarg.
	<i>Tsuga mertensiana</i> (Bong.) Carrière
Rosaceae	(Latifoliada) <i>Sorbus torminalis</i> (L.) Crantz
Rutaceae	(Latifoliada) <i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck
Salicaceae	(Latifoliada) <i>Populus davidiana</i> Dode
	<i>Populus tremuloides</i> Michx.
Sapindaceae	(Latifoliada) <i>Acer rubrum</i> L.
	<i>Acer saccharum</i> Marshall
Sapotaceae	(Latifoliada) <i>Chrysophyllum argenteum</i> Jacq.
	<i>Pouteria elegans</i> (A. DC.) Baehni
Simaroubaceae	(Latifoliada) <i>Ailanthus altissimus</i> (Mill.) Swingle
Zygophyllaceae	(Latifoliada) <i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Delile

Las especies analizadas en los estudios tienen distinta estructura celular de su madera, 36 corresponden a coníferas (compuesta por traqueidas y parénquima) (Camarero, Bernal y Gil-Pelegrín, 2002), 31 estudios incluyen maderas de especies latifoliadas (madera compuesta por vasos, fibras, fibrotraqueidas y parénquima) (Cusatis, Trazzi, Dobner Júnior y Higa, 2013), y 10 investigaciones incluyeron estudios con especies de ambos grupos (Amos-Binks y MacLean, 2016).

Los estudios relacionados con el uso de la dendroecología como herramienta en manejo forestal se han utilizado con mayor frecuencia en Estados Unidos de América (13) (Abrams, Ruffner y DeMeo, 1998); seguido de España (12) (Sangüesa-Barreda, Camarero, García-Martín, Hernández y de la Riva, 2014) y Argentina (8) (Paritsis y Veblen, 2011). Es por esta distribución que en el continente americano se encuentra un mayor número de investigaciones (Fig. 1).

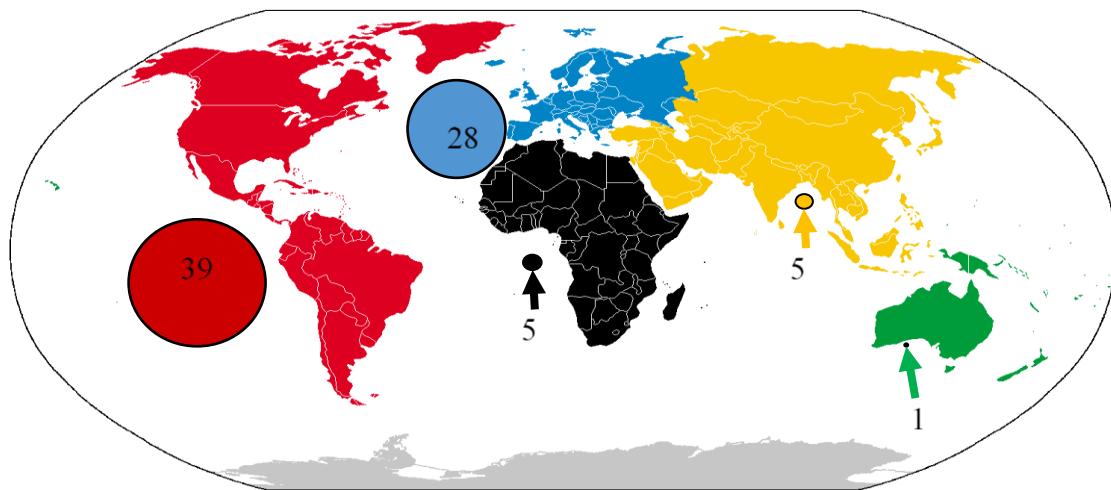


FIGURA 1. Distribución espacial de estudios que utilizan la dendroecología como herramienta en manejo forestal.
El tamaño de los círculos refiere el número de estudios revisados.

La escala espacial en que fueron desarrolladas la mayoría de las investigaciones revisadas fue rodal (69) (Boyden, Reich, Puettmann y Baker, 2009) y un reducido número a escala de paisaje (9) (De Ridder, Van den Bulcke, Van Acker y Beeckman, 2013).

Los trabajos recopilados se clasificaron en las fases de manejo forestal considerando las propuestas por Aguirre-Calderón (2015). En la fase de planeación se ubicaron 15 documentos, 26 en la fase de ejecución y 37 en la fase de control o monitoreo. Una síntesis de las prácticas de manejo que han utilizado como herramienta a la dendroecología se presenta en la tabla 2.

Se elaboró una línea de tiempo en la que se integraron 72 estudios de la presente revisión y la dimensión de las cronologías que se desarrollaron en cada uno de ellos (Fig. 2). En el eje de horizontal se presenta la longitud de la cronología del trabajo, y en el eje vertical, se incluyen las citas de cada estudio.

DISCUSIÓN

El manejo forestal consiste en la aplicación de prácticas silvícolas para que un bosque entero se mantenga saludable y vigoroso (Heiligmann, 2002). La variedad de prácticas en manejo forestal puede relacionarse con una mejora en la salud del ecosistema, o el aumento en las ganancias de las

empresas forestales (Bettinger, Boston, Siry y Grebner, 2017).

Es evidente que muchos bosques no se encuentran en estado natural y se carece de un análisis histórico completo de las prácticas de manejo aplicadas. La dendroecología utiliza los métodos dendrocronológicos para responder a interrogantes ecológicas, lo que puede derivar en información y mejores instrumentos aplicables en el manejo forestal (Amoroso y Suarez, 2015).

Uso de la dendroecología en la planeación forestal

Los sistemas de manejo forestal sustentable para los bosques requieren información sobre el crecimiento de los árboles. Una de las mayores dificultades para el manejo sostenible de los bosques, es la obtención de datos de crecimiento confiables del arbolado, lo cual es un requisito previo para determinar los volúmenes de cosecha y los ciclos de corta (Schöngart, 2008).

Determinar cuál es la longitud óptima del turno, que corresponde al tiempo requerido para producir los productos del tamaño y características deseadas, es un tema que ha sido debatido largamente. La determinación de la longitud del turno está basada en mediciones de las tasas de crecimiento de la masa forestal y, de forma tradicional, se

ha realizado mediante análisis troncales, en los cuales se efectúa un conteo de los anillos de crecimiento y en ningún momento se fechan. La presente revisión encontró 13 investigaciones relacionadas con la estimación del turno (Tabla 2). Para poder estimar el crecimiento futuro de los bosques, las mediciones del crecimiento en el pasado son de gran importancia, como aquellas que entregan los análisis de individuos maduros (Cruz-Johnson, Honeyman-Lucchini, Pezo-Correa y Schulze del Canto, 2007).

El análisis de anillos de árboles proporciona datos de crecimiento específicos de especies que pueden usarse para permitir o mejorar las proyecciones de disponibilidad de madera durante los siguientes ciclos de corta. Los datos de

crecimiento derivados del análisis de anillos de crecimiento permiten realizar proyecciones específicas para cada especie y, por lo tanto, ayudan a proporcionar la base de conocimientos necesaria para el manejo forestal sostenible (López, Villalba y Bravo, 2013).

Los escenarios durante la planeación forestal tienen que atender a las características de los bosques, los riesgos involucrados, la visión a largo plazo del administrador de la tierra o el propietario de la tierra (Korjus, 2014). Es conocido que varios factores afectan los procesos demográficos de los bosques, como el crecimiento, la supervivencia y el reclutamiento de nuevos individuos (Rozas, 2003).

TABLA 2. Prácticas de manejo forestal que han utilizado herramientas dendroecológicas.

<i>Fase de manejo</i>	<i>Práctica silvícola</i>	<i>Referencias</i>
Planeación (15)	Estimación del turno (13)	Bogino & Villalba, 2008; Brienen & Zuidema, 2006; Cruz-Johnson <i>et al.</i> , 2007; Cusatis <i>et al.</i> , 2013; Groenendijk, Bongers, & Zuidema, 2017; Hess, Ricken, & Ciarnoschi, 2018; Ligot <i>et al.</i> , 2019; López <i>et al.</i> , 2013; López <i>et al.</i> , 2012; Schöngart, 2008; Tang <i>et al.</i> , 2016; Villagra <i>et al.</i> , 2005; Xiao <i>et al.</i> , 2015
	Mantenimiento de estructura y diversidad (2)	Toigo <i>et al.</i> , 2015; Zeller <i>et al.</i> , 2017
Ejecución (22)	Aclareo (18)	Anning & McCarthy, 2013; Dobner, Nicoletti, & Arce, 2018; Druckenbrod <i>et al.</i> , 2013; Dukpa <i>et al.</i> , 2018; Goche-Télés <i>et al.</i> , 2003; Hart <i>et al.</i> , 2012; Helama, Salminen, Timonen, & Varmola, 2008; Hernández López <i>et al.</i> , 1996; Martín-Benito <i>et al.</i> , 2010; Metslaid <i>et al.</i> , 2016; Misson, Vincke, & Devillez, 2003; Muñoz <i>et al.</i> , 2010; Pérez-de-Lis <i>et al.</i> , 2011; Rozas, 2004; Stan & Daniels, 2010; Stojanović <i>et al.</i> , 2017; Vernon <i>et al.</i> , 2018; Winck <i>et al.</i> , 2015
	Corta de selección (6)	Esper <i>et al.</i> , 2012; Powers, Pregitzer, Palik, & Webster, 2010; Santilli <i>et al.</i> , 2005; Trotsiuk <i>et al.</i> , 2018; Trujillo-Martínez <i>et al.</i> , 2020
Monitoreo (37)	Extracción por eventos extremos (2)	Klesse <i>et al.</i> , 2016; Zhang <i>et al.</i> , 2014
	Análisis de tasas de mortalidad (3)	Amoroso & Larson, 2010; Vanoni <i>et al.</i> , 2019; Viguera-Moreno, 2012
	Evaluación de árboles semilleros (1)	Lucas-Borja & Vacchiano, 2018
	Evaluación de crecimiento y rendimiento (11)	Allen <i>et al.</i> , 2019; April Sahara, Sarr, Van Kirk, & Jules, 2015; Babst <i>et al.</i> , 2014; Chauchard & Sbrancia, 2003; Chidumayo, 2019; Maxwell <i>et al.</i> , 2014; Mbow, Chhin, Sambou, & Skole, 2013; Olano, Rozas, Bartolomé, & Sanz, 2008; Pretzsch <i>et al.</i> , 2014; Rozas & Olano, 2013; Xu <i>et al.</i> , 2019
	Evaluación de plantación (4)	Boyden <i>et al.</i> , 2009; De Ridder <i>et al.</i> , 2013; Jäghagen & Albrektson, 1996; Nock <i>et al.</i> , 2016
	Evaluación del reclutamiento (4)	Abrams & Copenheaver, 1999; Abrams <i>et al.</i> , 1998; Copenheaver & Abrams, 2003; Rozas, 2003
	Sanidad forestal (12)	Abrams & Hock, 2006; Amos-Binks & MacLean, 2016; Camarero <i>et al.</i> , 2002; Ferrero <i>et al.</i> , 2013; Knüsel, Conedera, Rigling, Fonti, & Wunder, 2015; Paritsis & Veblen, 2011; Robson <i>et al.</i> , 2015; Sangüesa-Barreda <i>et al.</i> , 2014; Sangüesa-Barreda <i>et al.</i> , 2015; Wang, Stenström, Boberg, Ols, & Drobshev, 2017; Zhang <i>et al.</i> , 1999

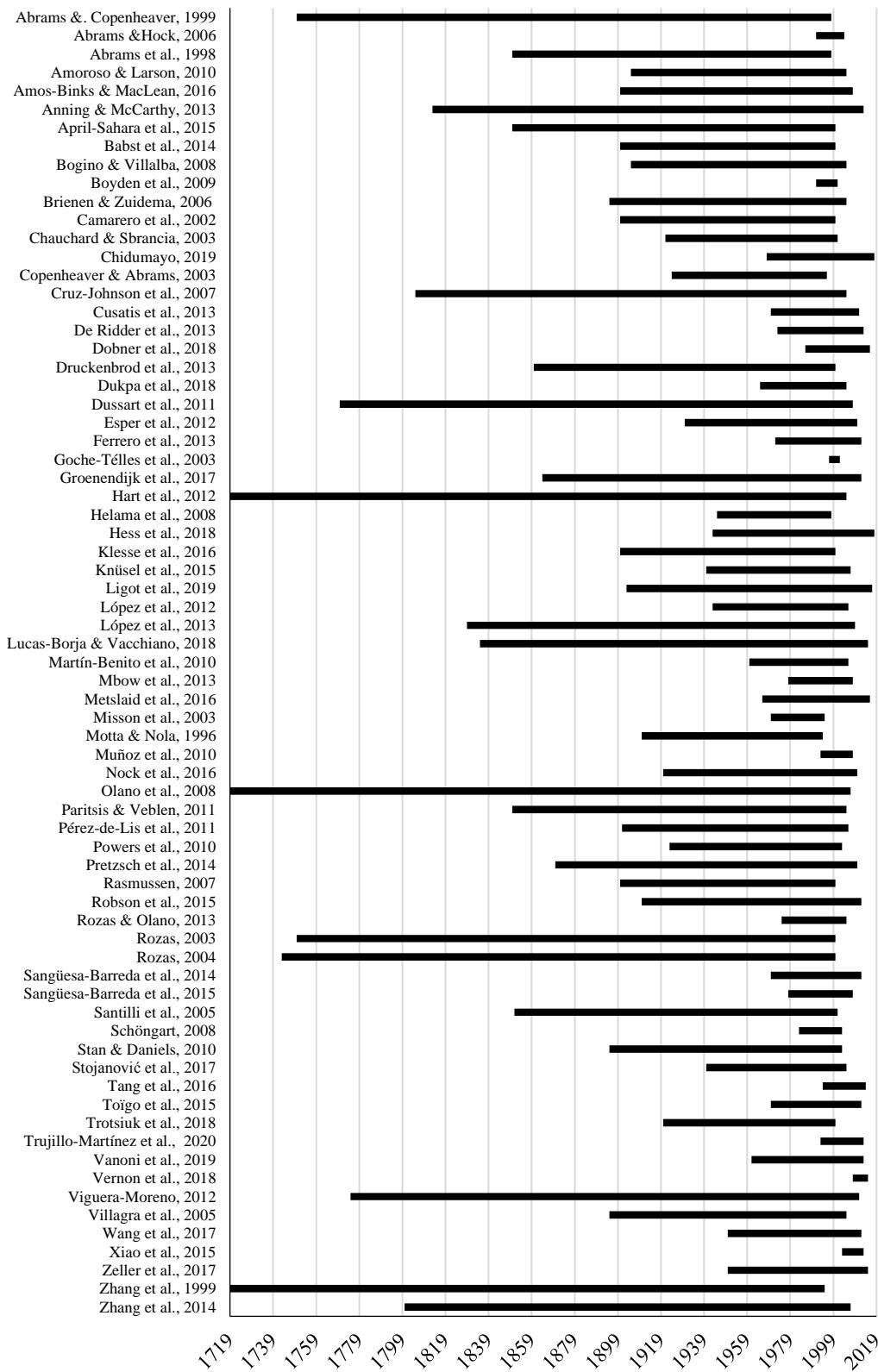


FIGURA 2. Extensión en el tiempo de cronologías desarrolladas en trabajos donde se utiliza la dendroecología como herramienta en manejo forestal.

Se ha demostrado que el crecimiento de los árboles depende de las condiciones ecológicas del sitio, la genética de los árboles y la competencia con la vegetación circundante, así como el tamaño de los árboles o la ontogenia. Sin embargo, debido a la escasez de datos disponibles, la importancia de tales factores no está clara y, por lo general, se ignora al estimar los rendimientos futuros de la madera. Un método eficaz para llenar este vacío es el uso de mediciones dendroecológicas en especies pioneras como sugiere Ligot *et al.* (2019). Aunque, Bogino y Villalba (2008) sugieren que en el desarrollo de estas mediciones deben contemplarse árboles dominantes y codominantes.

Las mediciones del incremento de anchura de anillos, permite evaluar el crecimiento de las especies a lo largo del tiempo, para obtener el ciclo de corta, planificar la producción y manejo de las especies. La estimación del turno con base en un estudio dendroecológico permite hacer una mejor planeación de las cortas, debido a que en algunos casos el turno técnico sugerido en literatura puede ser mayor o menor al biológicamente óptimo (Tang *et al.*, 2016). De igual forma, el crecimiento diamétrico puede ser más lento de lo comúnmente asumido, con variaciones importantes entre especies y entre sitios de crecimiento; además de la sobreestimación o subestimación al no contemplar anillos ausentes y falsos. Por ello, la idea de establecer pautas fijas de manejo similares para todas las especies y sitios, sin considerar las tasas reales de crecimiento, no es la recomendada, poniendo en algunos casos en riesgo la sostenibilidad de los bosques manejados para producción maderable (López, Villalba y Peña-Claros, 2012).

Prácticas de manejo forestal y dendroecología

Las actividades de extracción de madera son cruciales en la rentabilidad de un aprovechamiento forestal, ya que si no se hacen con eficiencia o adecuada tecnología pueden derivar en problemas de competitividad para los productos ofertados, lo cual tiene un impacto económico directo. La adecuada selección de árboles que cortar, permitirá maximizar las propiedades que impactan la calidad de la

madera en caso de producción (Hevia, Álvarez-González y Majada, 2016)

El crecimiento radial de los árboles dentro de las masas forestales depende en gran medida de las interacciones entre la competencia y las condiciones ambientales. Despues de aclareos es posible observar diferencias entre estratos de dosel, debido a la cantidad de luz (energía) que recibe cada árbol (Druckenbrod, Pederson, Rentch y Cook, 2013; Pretzsch, Biber, Schutze, Uhl y Rotzer, 2014; Stojanović *et al.*, 2017).

La ejecución de prácticas de aclareo conlleva cambios en la competencia por recursos como el agua y los nutrientes del suelo que se traducen en modificaciones de las propiedades de la madera. Winck, Fassola, y Área (2015) encontraron en plantaciones de *Pinus taeda* que después del aclareo se presentaron modificaciones en las propiedades anatómicas de la madera, con un incremento en la longitud de traqueidas y el espesor de pared celular.

Se ha buscado conocer los efectos del aclareo en plantaciones de especies de rápido crecimiento que sean tolerantes a una amplia variedad de condiciones ambientales. En una plantación de *Eucalyptus nitens*, el aclareo después de ocho años no tuvo efecto significativo sobre la densidad básica de la madera (Muñoz, Neira y Cancino, 2010).

En plantaciones jóvenes de *Pinus patula*, en Hidalgo, México, el aclareo tuvo una respuesta en la disminución en la anchura del anillo de crecimiento, pero el aclareo no influyó sobre la densidad básica de la madera, ya que la variación en densidad generalmente se presenta en los primeros años de edad (Goche-Télles *et al.*, 2003). Para la misma especie, en plantaciones de Puebla, México, el aclareo tuvo una respuesta en un aumento en la anchura total y de madera temprana, una reducción en la anchura de la madera tardía, y una disminución la densidad de la madera (2% - 5%) (Hernández López, Martínez Reyes, Vargas Hernández, Velázquez-Martínez y Ángeles, 1996).

La reconstrucción dendroecológica permite asociar la historia del dosel con las prácticas de aclareo ocurridas en el bosque manejado (Hart, Clark, Torreano y Buchanan, 2012; Rozas, 2004), además permite conocer la eficiencia



del uso de agua, lo cual podría ser una herramienta en la toma de decisiones de las especies a ser plantadas con miras a la resistencia o adaptaciones a sequías (Martín-Benito, del Río, Heinrich, Helle y Cañellas, 2010). El aclareo en conjunto con las quemas prescritas, forman parte de prácticas de manejo del fuego, que además contribuyen a un aumento en el crecimiento del arbolado (Anning y McCarthy, 2013; Vernon, Sherriff, van Mantgem y Kane, 2018).

Las cortas de selección también se ven reflejadas en un aumento en la anchura de los anillos de crecimiento en árboles individuales, por una disminución de la competencia (Esper, Benz y Pederson, 2012; Rasmussen, 2007). El análisis dendroecológico de un rodal permite conocer las probables condiciones de un bosque de referencia y con ello tomar decisiones para elegir las prácticas de manejo óptimas (Fulé *et al.*, 1997; Santilli, Pelfini, Citterio y Turri, 2005).

La afectación natural del bosque derivada de eventos climatológicos extremos que deterioran las copas de los árboles, como los huracanes (Zhang, Drobyshev, Gao, Zhao y Bergeron, 2014) y nevadas (Klesse, Etzold y Frank, 2016), también se traduce en la remoción de arbolado posterior a la perturbación natural y una alteración en la dinámica de crecimiento.

Monitoreo forestal y dendroecología

La fase de monitoreo en manejo forestal puede incluir una continua retroalimentación en las distintas fases de la implementación, lo que permitiría ajustar las actividades y reducir las incertidumbres asociadas a las mismas; es por ello que incluye el mayor número de investigaciones de la presente revisión (Tabla 2).

El crecimiento del árbol está regulado por una combinación de factores exógenos y endógenos. La asignación de recursos es sensible a la inversión en la reproducción. Tanto la asignación de recursos como los patrones de producción de semillas también son sensibles a la edad del árbol. Las cronologías estandarizadas de anillos de crecimiento permiten conocer que una producción alta

de semillas tiene un efecto negativo en la anchura del anillo de los árboles y debilita las relaciones clima-crecimiento en *Pinus nigra* (Lucas-Borja y Vacchiano, 2018).

La evaluación de crecimiento y rendimiento de una especie es una de las prácticas de monitoreo forestal que más se ha beneficiado de la disciplina dendroecológica (Tabla 2). A través de la generación de cronologías donde se identifican eventos de liberación y supresión del arbolado es posible reconstruir la historia de la dinámica de crecimiento de un rodal (Abrams *et al.*, 1998). Las evaluaciones de crecimiento y rendimiento sustentados en estudios dendroecológicos, ayudan a comprender la condición actual y generar proyecciones dirigidas a entender diferentes regímenes de manejo (Allen, Keim y Dean, 2019).

El estudio de los tocones permite a través de técnicas de fechado-cruzado investigar las causas de mortalidad, entre ellas las relacionadas con actividades humanas (Grabner, Wimmer y Weichenberger, 2004). La mortalidad en árboles es causada por complejas interacciones entre múltiples factores bióticos y abióticos. Los eventos de mortalidad que no son inducidos por perturbaciones naturales frecuentemente pueden ser identificados en patrones de crecimiento radial de los árboles, que suelen servir como indicadores de la vulnerabilidad a eventos de mortalidad futuros (Vanoni, Cailleret, Hülsmann, Bugmann y Bigler, 2019).

El estudio de las tasas de mortalidad da como resultado un experimento natural que permite estimar el éxito de regeneración que seguiría después de diferentes porcentajes de aclareo, permitiendo la dirección intencional del proceso de regeneración. Amoroso y Larson (2010) evaluaron ocho rodales dominados por *Austrocedrus chilensis* y encontraron que la mortalidad excesiva tuvo un efecto en el reclutamiento y la composición de la regeneración al permitir el establecimiento de diferentes especies dependiendo del grado de mortalidad.

Los anillos de crecimiento proporcionan información sobre los patrones temporales del establecimiento de los árboles y, por lo tanto, sobre las influencias de las alteraciones y las condiciones abióticas en la estructura

forestal (Boyden *et al.*, 2009; Nock, Metcalfe y Hietz, 2016). La evaluación del tamaño de las plántulas se ha relacionado con la talla futura del árbol y la anchura de los anillos de crecimiento, estos caracteres son importantes para la calidad de la madera. Esto sugiere que la capacidad competitiva de un árbol se establece en gran medida al principio del desarrollo del rodal (Jäghagen y Albrektson, 1996). Estos patrones han sido contrastados en plantaciones y bosques naturales (De Ridder *et al.*, 2013).

Los métodos dendroecológicos tienen un amplio potencial para estudiar la dinámica de los rodales jóvenes. Copenheaver y Abrams (2003) evaluaron ocho rodales de *Pinus banksiana* a fin de identificar supresiones y liberaciones a escala de árbol individual y a escala de rodal. Ellos encontraron que las cronologías de anchuras de anillos son útiles para identificar patrones comunes de crecimiento a escala de rodal dentro de las plantaciones, pero las cronologías de árboles individuales son más útiles dentro de los rodales regenerados naturalmente. El estudio dendroecológico de patrones de reclutamiento puede contribuir al entendimiento de la sucesión ecológica de especies (Abrams *et al.*, 1998).

Se ubicaron 12 estudios relacionados con sanidad forestal. Sangüesa-Barreda *et al.* (2015) evaluaron mediante técnicas dendroecológicas la historia de tres plagas (muérdago, insectos, hongos). De forma general, las plagas y enfermedades reducen el crecimiento radial de la madera en las especies forestales: insectos defoliadores (Robson, Conciatori, Tardif y Knowles, 2015), escarabajos barrenadores (Ferrero, Coirini y Díaz, 2013) y escarabajos descortezadores (Zhang, Alfaro y Hebda, 1999). La cronología más larga localizada en la presente revisión fue desarrollada por Zhang *et al.* (1999), y permitió conocer la relación del incremento de la humedad ambiental en primavera con los brotes de un coleóptero (*Dendroctonus rufipennis* Kirby) y sus efectos sobre el crecimiento de *Pseudotsuga menziesii* var. *glaucia* (Beissn.) Franco. Esta cronología abarcó 581 años (1414-1995) y ubica temporalmente reducciones del crecimiento en las décadas 1720, 1810s-1820s, y 1960s-principios de 1980s (Fig. 2).

Perspectivas del manejo forestal asistido por dendroecología

Un plan de manejo forestal puede ser óptimo para un rodal individual, pero esto no significa necesariamente que sea óptimo para un paisaje en su conjunto (von Gadow *et al.*, 2004). Por esta razón, se requiere conocer la información precisa de crecimiento, establecimiento y mortalidad (Kitzberger *et al.*, 2000).

Existen varios esquemas de certificación para garantizar un aprovechamiento forestal sostenible, los cuales certifican grandes áreas de producción de bosques. Bajo dichos esquemas, las empresas madereras deben evaluar si las especies no están sobreexplotadas y, si es necesario, adaptar sus actividades de corta. Sin embargo, la información necesaria para proyectar las intensidades de aprovechamiento (crecimiento, mortalidad y tasas de regeneración de los árboles) es escasa o inexistentes (López *et al.*, 2013).

Los inventarios forestales permiten comprender las condiciones actuales del bosque. Se necesitan proyecciones para estimar la dirección de los recursos forestales bajo diferentes regímenes de manejo (Bettinger *et al.*, 2017). Frecuentemente, las tasas de crecimiento de las especies arbóreas se derivan de mediciones repetidas en parcelas permanentes de medición. El uso del análisis de anillos de crecimiento permite calcular edades directamente, sin hacer uso de simulaciones, y por lo tanto son más precisas. Además, los patrones de crecimiento obtenidos a partir de mediciones de anillos de crecimiento permiten una evaluación precisa de la variación entre árboles en el crecimiento a largo plazo y la incorporación de esta variación de crecimiento intraespecífica (Brienen y Zuidema, 2006).

La investigación de manejo forestal sustentada básicamente en el monitoreo de parcelas permanentes de medición, y puede ser reforzada con el análisis de anillos de crecimiento que proporciona información relevante sobre la estructura del bosque, daños por agentes externos y las tasas de crecimiento de especies arbóreas. Chauchard y Sbrancia (2003) evaluaron el crecimiento diamétrico para *Nothofagus obliqua*, a partir de tres fuentes de datos: parcelas



permanentes de medición, análisis troncales y núcleos de incremento. Los datos que provenían principalmente de las parcelas de muestreo permitieron obtener modelos de interés para la predicción del incremento diamétrico en el corto plazo, mientras que las series de crecimiento proveniente de núcleos permitieron obtener mejores modelos que, a su vez, permitían una mejor interpretación bajo diferentes condiciones de competencia.

Las futuras condiciones estructurales de los bosques son importantes para evaluar el impacto de los nuevos regímenes forestales en los rendimientos, para determinar los turnos de los rodales existentes (Bettinger *et al.*, 2017). Es por ello que la información generada con métodos dendroecológicos, pueden ayudar en la proyección de la estructura y composición del bosque futuro (Toigo *et al.*, 2015; Zeller *et al.*, 2017).

La disciplina dendroecológica como herramienta para el manejo forestal en México

Los análisis de anillos de árboles de árboles vivos o muertos pueden describir eventos y procesos que abarcan décadas, siglos y milenios. En términos de escalas espaciales, un estudio dendroecológico puede proporcionar una comprensión detallada de los procesos que ocurren en la escala de árboles individuales, bosques, continentes o globalmente (Amoroso *et al.*, 2017). En este contexto, el uso de la dendroecología como herramienta para el manejo forestal en México tiene un amplio potencial, debido a la diversidad de ecosistemas forestales que presentan especies con anillos de crecimiento, distintas etapas de sucesión y distintos estados de conservación. La revisión efectuada ubico cuatro estudios dendroecológicos relacionados con una práctica de manejo forestal en bosques de *Pinus*, tres corresponden a la fase de ejecución (Goche-Téllez *et al.*, 2003; Hernández López *et al.*, 1996; Trujillo-Martínez *et al.*, 2020) y uno a monitoreo (Romero-Tovar, 2006).

Una de las áreas de oportunidad de la dendroecología es el uso de los núcleos de crecimiento colectados en inventarios de manejo, inventarios estatales e incluso el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS). Estas

muestras de madera generalmente se utilizan para la estimación de la edad, incremento corriente anual y tiempo de paso, concentrándose en los 2.5 cm de madera inmediatos a la corteza (Comisión Nacional Forestal [Conafor], 2012). Si bien los objetivos del INFyS, inventarios estatales e inventarios de manejo son diferentes, la evaluación desde la perspectiva dendroecológica de muestras de madera a escala nacional permitirían conocer tasas de crecimiento de diferentes especies a escala de paisaje y/o de ecoregión; mientras que el acercamiento dendroecológico en inventarios estatales o de manejo podría responder a las necesidades específicas de cada entidad federativa en materia de manejo forestal.

Las áreas de oportunidad utilizando métodos dendroecológicos en México, podrían enfocarse en las estimaciones de tasas de crecimiento y tiempos de turno; considerando los índices de sitio en que se desarrollan los bosques. De esta forma, tendrían una evaluación más precisa de los incrementos de biomasa forestal y los reservorios de carbono a través del tiempo. El uso de métodos dendroecológicos, incluyendo el cofechado de las muestras de anillos de crecimiento, podría reducir las incertidumbres en las proyecciones de biomasa, en los incipientes mercados de carbono.

Las experiencias de la disciplina dendroecológica desarrolladas en otros países pueden aplicarse en México, incluso en el estudio de especies latifoliadas, grupo botánico que desde este enfoque no ha sido estudiado. Por otro lado, la revisión bibliográfica indica una disminución del crecimiento, resultado de la presencia de plagas y enfermedades forestales. Asimismo, las cortas de selección promueven el reclutamiento y pulsos de crecimiento importantes en los árboles remanentes. La dendroecología garantiza el control temporal de estos procesos, aunado al adecuado manejo de bosques, que propiciaría las condiciones deseadas de producción y conservación en México. Los próximos ejes de investigación dendroecológica podrían incluir la caracterización más precisa del crecimiento en especies de interés comercial o de conservación, la planeación de prácticas silvícolas y el

diseño de estrategias de restauración, entre las prácticas de ejecución del manejo forestal.

CONCLUSIONES

Una de las razones clave por las que ha prosperado la dendroecología en las últimas décadas es la relevancia directa de los conocimientos proporcionados para el manejo forestal, en sus tres etapas: planeación, ejecución y monitoreo.

La producción científica relacionada con las edades y los patrones de crecimiento de los árboles a largo plazo es esencial para comprender las condiciones del rodal y la perturbación en los bosques.

La dendroecología tiene amplias áreas de oportunidad, entre ellas, la determinación de tasas de crecimiento y turnos para especies forestales, incluyendo especies de coníferas y latifoliadas. Este acercamiento traería beneficios para la generación de escenarios de incrementos de biomasa forestal y los reservorios de carbono ante problemáticas como la presencia de plagas y enfermedades forestales; así como para el diseño de mejores prácticas de manejo forestal sustentable.

RECONOCIMIENTOS

El estudio fue parcialmente financiado por la beca 175495 otorgada por Conacyt a través del Postgrado en Ciencias Forestales del Colegio de Postgraduados.

REFERENCIAS

- Abrams, M. D., & Copenheaver, C. A. (1999). Temporal variation in species recruitment and dendroecology of an old-growth white oak forest in the Virginia Piedmont, USA. *Forest Ecology and Management*, 124(2-3), 275-284.
- Abrams, M. D., & Hock, W. K. (2006). Annual growth rings and the impact of Benlate 50 DF fungicide on citrus trees in seasonally dry tropical plantations of northern Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 227(1-2), 96-101. doi: 10.1016/j.foreco.2006.02.019
- Abrams, M. D., Ruffner, C., & DeMeo, T. (1998). Dendroecology and species co-existence in an old-growth *Quercus-Acer-Tilia* talus slope forest in the central Appalachians, USA. *Forest Ecology and Management*, 106(1), 9-18. doi: 10.1016/S0378-1127(97)00234-X
- Aguirre-Calderón, O. A. (2015). Manejo forestal en el Siglo XXI. *Madera y Bosques*, 21, 17-28. doi: 10.21829/myb.2015.210423
- Allen, S. T., Keim, R. F., & Dean, T. J. (2019). Contrasting effects of flooding on tree growth and stand density determine aboveground production in baldcypress forests. *Forest Ecology and Management*, 432, 345-355. doi: 10.1016/j.foreco.2018.09.041
- Amoroso, M., Daniels, L., Baker, P., & Camarero, J. J. (2017). *Dendroecology Tree-ring analyses applied to ecological studies*. Switzerland: Springer Nature.
- Amoroso, M., & Larson, B. C. (2010). Can a natural experiment be used as a tool to design partial cutting regimes? The decline of *Austrocedrus chilensis* forests, an example. *Journal of Forest Research*, 15(1), 38-45. doi: 10.1007/s10310-009-0139-3
- Amoroso, M., & Suarez, M. L. (2015). La aplicación del análisis de los anillos de crecimiento a interrogantes ecológicos: Un breve repaso de la Dendroecología en Hispanoamérica. *Ecosistemas*, 24(2), 1-6. doi: 10.7818/ecos.2015.24-2.01
- Amos-Binks, L. J., & MacLean, D. A. (2016). The influence of natural disturbances on developmental patterns in *Acadian* mixedwood forests from 1946 to 2008. *Dendrochronologia*, 37, 9-16. doi: 10.1016/j.dendro.2015.11.002
- Anning, A. K., & McCarthy, B. C. (2013). Competition, size and age affect tree growth response to fuel reduction treatments in mixed-oak forests of Ohio. *Forest Ecology and Management*, 307, 74-83. doi: 10.1016/j.foreco.2013.07.008
- April Sahara, E., Sarr, D. A., Van Kirk, R. W., & Jules, E. S. (2015). Quantifying habitat loss: Assessing tree encroachment into a serpentine savanna using dendroecology and remote sensing. *Forest Ecology and Management*, 340, 9-21. doi: 10.1016/j.foreco.2014.12.019
- Babst, F., Alexander, M. R., Szejner, P., Bouriaud, O., Klesse, S., Roden, J., . . ., & Trouet, V. (2014). A tree-ring perspective on the terrestrial carbon cycle. *Oecologia*, 176(2), 307-322. doi: 10.1007/s00442-014-3031-6
- Bettinger, P., Boston, K., Siry, J., & Grebner, D. L. (2017). *Forest Management and Planning*. United Kingdom: Elsevier.
- Bogino, S. M., & Villalba, R. (2008). Radial growth and biological rotation age of *Prosopis caldenia* Burkart in Central Argentina. *Journal of Arid Environments*, 72(1), 16-23. doi: 10.1016/j.jaridenv.2007.04.008
- Boyden, S. B., Reich, P. B., Puettmann, K. J., & Baker, T. R. (2009). Effects of density and ontogeny on size and growth ranks of three competing tree species. *Journal of Ecology*, 97(2), 277-288. doi: 10.1111/j.1365-2745.2008.01477.x



- Brienen, R. J. W., & Zuidema, P. A. (2006). The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species. *Forest Ecology and Management*, 226(1-3), 256-267. doi: 10.1016/j.foreco.2006.01.038
- Camarero, J. J., Bernal, E., & Gil-Pelegrín, E. (2002). Estudio dendroecológico del ataque de Epinotia subsequana Hw. (Lepidoptera: Tortricidae) sobre un abetar (*Abies alba* Mill.) del Pirineo aragonés (Dizas, Torla). *Forest Systems*, 11(2), 395—407. Recuperado de <http://www.inia.es/IASPF/2002/vol11-2/camarero.PDF>
- Camarero, J. J., Guerrero, J., & Gutiérrez, E. (1997). Formación del anillo de crecimiento y clima: un ejemplo de modelos para *Pinus uncinata* Ram. y *Pinus sylvestris* L. en los Pirineos centrales. *Ecología*(11), 235-254.
- Cayuela, L., Granzow, I., Albuquerque, F., & Golicher, D. S. (2012). Taxonstand: An R package for species names standardization in vegetation databases. *Methods in Ecology and Evolution*, 3, 1078-1083. doi: 10.1111/j.2041-210X.2012.00232.x
- Chauchard, L., & Sbrancia, R. (2003). Modelos de crecimiento diamétrico para *Nothofagus obliqua*. *Bosque*, 24(3), 3-16. doi: 10.4067/S0717-92002003000300001
- Chidumayo, E. N. (2019). Management implications of tree growth patterns in miombo woodlands of Zambia. *Forest Ecology and Management*, 436, 105-116. doi: 10.1016/j.foreco.2019.01.018
- Comisión Nacional Forestal [CONAFOR]. (2012). *Inventario Nacional Forestal y de Suelos Informe de Resultados 2004-2009*. Jalisco, México: Coordinación General de Planeación e Información-Gerencia de Inventario Forestal y Geomática de la Comisión Nacional Forestal. Recuperado de <http://www.cnf.gob.mx:8090/snif/portal/infys/temas/resultados-2004-2009>
- Copenheaver, C. A., & Abrams, M. D. (2003). Dendroecology in young stands: case studies from jack pine in northern lower Michigan. *Forest Ecology and Management*, 182(1-3), 247-257. doi: 10.1016/s0378-1127(03)00049-5
- Cruz-Johnson, P., Honeyman-Lucchini, P., Pezo-Correa, A., & Schulze del Canto, C. (2007). Análisis de crecimiento de árboles maduros de lenga (*Nothofagus pumilio*) en bosques de la XII Región, Chile. *Bosque*, 28(1), 18-24. doi: 10.4067/S0717-92002007000100004
- Cusatis, A. C., Trazzi, P. A., Dobner Júnior, M., & Higa, A. R. (2013). Dendroecología de *Cedrela fissilis* na Floresta Ombrófila Mista. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 33(75), 287-297. doi: 10.4336/2013.pfb.33.75.474
- De Ridder, M., Van den Bulcke, J., Van Acker, J., & Beeckman, H. (2013). Tree-ring analysis of an African long-lived pioneer species as a tool for sustainable forest management. *Forest Ecology and Management*, 304, 417-426. doi: 10.1016/j.foreco.2013.05.007
- Dobner, M., Nicoletti, M. F., & Arce, J. E. (2018). Influence of crown thinning on radial growth pattern of *Pinus taeda* in southern Brazil. *New Forests*. doi: 10.1007/s11056-018-9669-x
- Druckenbrod, D. L., Pederson, N., Rentch, J., & Cook, E. R. (2013). A comparison of times series approaches for dendroecological reconstructions of past canopy disturbance events. *Forest Ecology and Management*, 302, 23-33. doi: 10.1016/j.foreco.2013.03.040
- Dukpa, D., Cook, E. R., Krusic, P. J., Rai, P. B., Darabant, A., & Tshering, U. (2018). Applied dendroecology informs the sustainable management of Blue Pine forests in Bhutan. *Dendrochronologia*, 49, 89-93. doi: 10.1016/j.dendro.2018.03.003
- Dussart, E., Chirino, C., Morici, E., & Peinetti, R. (2011). Reconstrucción del paisaje del caldenal pampeano en los últimos 250 años. *Quebracho*, 19((1,2)), 54-65. Recuperado de https://www.academia.edu/7324295/Historia_caldenal
- Esper, J., Benz, M., & Pederson, N. (2012). Influence of wood harvest on tree-ring time-series of *Picea abies* in a temperate forest. *Forest Ecology and Management*, 284, 86-92. doi: 10.1016/j.foreco.2012.07.047
- Ferrero, M. E., Coirini, R. O., & Díaz, M. P. (2013). The effect of wood-boring beetles on the radial growth of *Prosopis flexuosa* DC. in the arid Chaco of Argentina. *Journal of Arid Environments*, 88, 141-146. doi: 10.1016/j.jaridenv.2012.07.004
- Fritts, H. (1976). *Tree rings and climate*. London: Academic Press.
- Fritts, H., & Swetnam, T. W. (1989). Dendroecology: a tool for evaluating variations in past and present forest environments. *Advances in Ecological Research*, 19, 111—188. doi: 10.1016/S0065-2504(08)60158-0
- Fulé, P. Z., Covington, W., & Moore, M. (1997). Determining reference conditions for ecosystem management of southwestern ponderosa pine forests. *Ecological Applications*, 7(3), 895–908. doi: 10.1890/1051-0761(1997)007[0895:DRCFEM]2.0.CO;2
- Fulé, P. Z., Villanueva-Díaz, J., & Ramos-Gómez, M. (2005). Fire regime in a conservation reserve in Chihuahua, Mexico. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(2), 320-330. doi: 10.1139/x04-173
- Goche-Téllez, R., Velázquez-Martínez, A., Borja-de la Rosa, A., Terrazas, T., Cervantes-Martínez, C., & Trinidad-Santos, A. (2003). Densidad básica y ancho de anillos de la madera de *Pinus patula* antes y después de un aclareo. *Interciencia*, 28(12), 705-709.
- Grabner, M., Wimmer, R., & Weichenberger, J. (2004). Reconstructing the history of log-drifting in the Reichraminger Hintergebirge,

- Austria. *Dendrochronología*, 21(3), 131-137. doi: 10.1078/1125.7865.00045
- Groenendijk, P., Bongers, F., & Zuidema, P. A. (2017). Using tree-ring data to improve timber-yield projections for African wet tropical forest tree species. *Forest Ecology and Management*, 400, 396-407. doi: 10.1016/j.foreco.2017.05.054
- Gutiérrez-Ilabaca, A. (2002). *Aplicación de una metodología dendroecológica en un rodal del Tipo Forestal Siempreverde en la Isla Grande de Chiloé (Comuna de Ancud, X Región de Los Lagos)*. Tesis de licenciatura, Universidad de Chile, Chile.
- Hart, J. L., Clark, S. L., Torreano, S. J., & Buchanan, M. L. (2012). Composition, structure, and dendroecology of an old-growth *Quercus* forest on the tablelands of the Cumberland Plateau, USA. *Forest Ecology and Management*, 266, 11-24. doi: 10.1016/j.foreco.2011.11.001
- Heiligmann, R. B. (2002). Developing a plan to care for your forest. Recuperado de <http://www.timbermanagement.org/timber-management/developing-a-plan-to-care-for-your-forest/>
- Helama, S., Salminen, H., Timonen, M., & Varmola, M. (2008). Dendroclimatological analysis of seeded and thinned Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands at the coniferous timberline. *New Forests*, 35(3), 267-284. doi: 10.1007/s11056-007-9076-1
- Henry, J., & Swan, J. (1974). Reconstructing forest history from live and dead plant material - An approach to the study of forest succession in Southwest New Hampshire. *Ecology*, 55(4), 772-783. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/1934413?origin=JSTOR-pdf>
- Hernández López, A., Martínez Reyes, M., Vargas Hernández, J., Velázquez-Martínez, A., & Ángeles, G. (1996). Características de los anillos y densidad de la madera a diferentes alturas del fuste en rodales aclareacados de *Pinus patula* Schl. et Cham. *Revista Ciencia Forestal en México*, 21(80), 39-55.
- Hess, A. F., Ricken, P., & Ciarnoschi, L. D. (2018). Dendrocronología, incremento e manejo florestal em floresta de Araucária-Sc. *Ciência Florestal*, 28(4). doi: 10.5902/1980509835104
- Hevia, A., Álvarez-González, J. G., & Majada, J. (2016). Comparison of pruning effects on tree growth, productivity and dominance of two major timber conifer species. *Forest Ecology and Management*, 374, 82-92. doi: 10.1016/j.foreco.2016.05.001
- Jäghagen, K., & Albrektson, A. (1996). Induced competition among scots pine seedlings and its effect on future timber quality. *New Forests*, 12, 163—174. doi: 10.1007/BF00036627
- Kitzberger, T., Veblen, T., & Villalba, R. (2000). Métodos dendrocronológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados de Sudamérica. In F. Roig (Ed.), *Dendrocronología en América Latina* (pp. 17-78). Argentina: Ediunc.
- Klesse, S., Etzold, S., & Frank, D. (2016). Integrating tree-ring and inventory-based measurements of aboveground biomass growth: research opportunities and carbon cycle consequences from a large snow breakage event in the Swiss Alps. *European Journal of Forest Research*, 135(2), 297-311. doi: 10.1007/s10342-015-0936-5
- Knüsel, S., Conedera, M., Rigling, A., Fonti, P., & Wunder, J. (2015). A tree-ring perspective on the invasion of *Ailanthus altissima* in protection forests. *Forest Ecology and Management*, 354, 334-343. doi: 10.1016/j.foreco.2015.05.010
- Korjus, H. (2014). Challenges in Forest Management Planning. *Forest Research Open Access*, 3, 3. doi: 10.4172/2168-9776.1000e110
- Ligot, G., Fayolle, A., Gourlet-Fleury, S., Dainou, K., Gillet, J.-F., De Ridder, M., . . ., & Doucet, J.-L. (2019). Growth determinants of timber species *Triplochiton scleroxylon* and implications for forest management in central Africa. *Forest Ecology and Management*, 437, 211-221. doi: 10.1016/j.foreco.2019.01.042
- López, L., Villalba, R., & Bravo, F. (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. doi: 10.1016/j.foreco.2012.12.011
- López, L., Villalba, R., & Peña-Claros, M. (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(2), 21-22. doi: 10.4067/s0717-92002012000200011
- Lucas-Borja, M. E., & Vacchiano, G. (2018). Interactions between climate, growth and seed production in Spanish black pine (*Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii*) forests in Cuenca Mountains (Spain). *New Forests*, 49(3), 399-414. doi: 10.1007/s11056-018-9626-8
- Martín-Benito, D., del Río, M., Heinrich, I., Helle, G., & Cañellas, I. (2010). Response of climate-growth relationships and water use efficiency to thinning in a *Pinus nigra* afforestation. *Forest Ecology and Management*, 259(5), 967-975. doi: 10.1016/j.foreco.2009.12.001
- Maxwell, R. S., Taylor, A. H., Skinner, C. N., Safford, H. D., Isaacs, R. E., Airey, C., & Young, A. B. (2014). Landscape-scale modeling of reference period forest conditions and fire behavior on heavily logged lands. *Ecosphere*, 5(3). doi: 10.1890/es13-00294.1
- Mbow, C., Chhin, S., Sambou, B., & Skole, D. (2013). Potential of dendrochronology to assess annual rates of biomass productivity in savanna trees of West Africa. *Dendrochronologia*, 31(1), 41-51. doi: 10.1016/j.dendro.2012.06.001



- Metslaid, S., Stanturf, J. A., Hordo, M., Korjus, H., Laarmann, D., & Kiviste, A. (2016). Growth responses of Scots pine to climatic factors on reclaimed oil shale mined land. *Environ Sci Pollut Res Int*, 23(14), 13637-13652. doi: 10.1007/s11356-015-5647-4
- Misson, L., Vincke, C., & Devillez, F. (2003). Frequency responses of radial growth series after different thinning intensities in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands. *Forest Ecology and Management*, 177(1-3), 51-63. doi: 10.1016/s0378-1127(02)00324-9
- Monárrez-González, J. C., Pérez-Verdín, G., López-González, C., Márquez-Linares, M. A., & González Elizondo, M. D. S. (2018). Efecto del manejo forestal sobre algunos servicios ecosistémicos en los bosques templados de México. *Madera y Bosques*, 24(2), e2421569. doi: 10.21829/myb.2018.2421569
- Motta, R., & Nola, P. (1996). Fraying damages in the subalpine forest of Paneveggio (Trento, Italy): a dendroecological approach. *Forest Ecology and Management*, 88(1-2), 81-86. doi: 10.1016/S0378-1127(96)03812-1
- Muñoz, F., Neira, A., & Cancino, J. (2010). Efecto del raleo en la densidad básica de la madera de *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden. *Interciencia*, 35(8), 581-585. Recuperado de <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/581-c-MU%C3%91OZ-5.pdf>
- Natalini, F., Alejano, R., Vázquez-Piqué, J., Pardos, M., Calama, R., & Büntgen, U. (2016). Spatio temporal variability of stone pine (*Pinus pinea* L.) growth response to climate across the Iberian Peninsula. *Dendrochronologia*, 40, 72-84. doi: 10.1016/j.dendro.2016.07.001
- Nock, C. A., Metcalfe, D. J., & Hietz, P. (2016). Examining the influences of site conditions and disturbance on rainforest structure through tree ring analyses in two Araucariaceae species. *Forest Ecology and Management*, 366, 65-72. doi: 10.1016/j.foreco.2016.02.008
- Oddi, F., & Ghermandi, L. (2015). Dendroecological potential of shrubs for reconstructing fire history at landscape scale in Mediterranean-type climate grasslands: The case of *Fabiana imbricata*. *Dendrochronologia*, 33, 16-24. doi: 10.1016/j.dendro.2014.11.002
- Olano, J. M., Rozas, V., Bartolomé, D., & Sanz, D. (2008). Effects of changes in traditional management on height and radial growth patterns in a *Juniperus thurifera* L. woodland. *Forest Ecology and Management*, 255(3-4), 506-512. doi: 10.1016/j.foreco.2007.09.015
- Oliver, C. D., & Larson, B. C. (1996). *Forest Stand Dynamics*. New York: Wiley.
- Oliver, C. D., & Stephens, E. P. (1977). Reconstruction of a mixed-species forest in Central New England. *Ecology*, 58(3), 562-572. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/1939005>
- Paritsis, J., & Veblen, T. T. (2011). Dendroecological analysis of defoliator outbreaks on *Nothofagus pumilio* and their relation to climate variability in the Patagonian Andes. *Global Change Biology*, 17(1), 239-253. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02255.x
- Pérez-de-Lis, G., García-González, I., Rozas, V., & Arévalo, J. R. (2011). Effects of thinning intensity on radial growth patterns and temperature sensitivity in *Pinus canariensis* afforestations on Tenerife Island, Spain. *Annals of Forest Science*, 68(6), 1093-1104. doi: 10.1007/s13595-011-0125-8
- Pickett, S. (1989). Space-for-time substitution as an alternative to long-term studies. *Long term studies in ecology*, 110-135. Recuperado de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-7358-6_5
- Powers, M. D., Pregitzer, K. S., Palik, B. J., & Webster, C. R. (2010). Wood δ¹³C, δ¹⁸O and radial growth responses of residual red pine to variable retention harvesting. *Tree Physiology*, 30(3), 326-334. doi: 10.1093/treephys/tpp119
- Pretzsch, H., Biber, P., Schutze, G., Uhl, E., & Rotzer, T. (2014). Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. *Nature*, 5, 4967. doi: 10.1038/ncomms5967
- Rasmussen, K. K. (2007). Dendroecological analysis of a rare sub-canopy tree: Effects of climate, latitude, habitat conditions and forest history. *Dendrochronologia*, 25(1), 3-17. doi: 10.1016/j.dendro.2007.01.002
- Robson, J. R. M., Conciatori, F., Tardif, J. C., & Knowles, K. (2015). Tree-ring response of jack pine and scots pine to budworm defoliation in central Canada. *Forest Ecology and Management*, 347, 83-95. doi: 10.1016/j.foreco.2015.03.018
- Romero-Tovar, A. (2006). *Influencia del muérdago enano (*Arcethobium spp.*) en densidad básica, ancho de anillo, porcentaje de madera temprana y madera tardía, en dos especies de pino de Singuilcan, Hidalgo*. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.
- Rozas, V. (2003). Regeneration patterns, dendroecology, and forest-use history in an old-growth beech-oak lowland forest in Northern Spain. *Forest Ecology and Management*, 182(1-3), 175-194. doi: 10.1016/s0378-1127(03)00070-7
- Rozas, V. (2004). A dendroecological reconstruction of age structure and past management in an old-growth pollarded parkland in northern Spain. *Forest Ecology and Management*, 195(1-2), 205-219. doi: 10.1016/j.foreco.2004.02.058

- Rozas, V., & Olano, J. M. (2013). Environmental heterogeneity and neighbourhood interference modulate the individual response of *Juniperus thurifera* tree-ring growth to climate. *Dendrochronologia*, 31(2), 105-113. doi: 10.1016/j.dendro.2012.09.001
- Rozendaal, D., & Zuidema, P. A. (2011). Dendroecology in the tropics: a review. *Trees*, 25, 3-16. doi: 10.1007/s00468-010-0480-3
- Sangüesa-Barreda, G., Camarero, J. J., García-Martín, A., Hernández, R., & de la Riva, J. (2014). Remote-sensing and tree-ring based characterization of forest defoliation and growth loss due to the Mediterranean pine processionary moth. *Forest Ecology and Management*, 320, 171-181. doi: 10.1016/j.foreco.2014.03.008
- Sangüesa-Barreda, G., Camarero, J. J., Linares, J. C., Hernández, R., Oliva, J., Gazol, A., . . . de la Riva, J. (2015). Role of biotic factors and droughts in the forest decline: contributions from dendroecology. *Ecosistemas*, 24(2), 15-23. doi: 10.7818/ecos.2015.24-2.03
- Santilli, M., Pelfini, M., Citterio, M., & Turri, S. (2005). Landscape history in the subalpine karst region of Moncodeno (Lombardy Prealps, Northern Italy). *Dendrochronologia*, 23(1), 19-27. doi: 10.1016/j.dendro.2005.07.001
- Schöngart, J. (2008). Growth-Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. *Forest Ecology and Management*, 256(1-2), 46-58. doi: 10.1016/j.foreco.2008.03.037
- Schöngart, J., Bräuning, A., Barbosa, A. C. M. C., Lisi, C. S., & de Oliveira, J. M. (2017). Dendroecological Studies in the Neotropics: History, Status and Future Challenges. In *Dendroecology* (pp. 35-73).
- Schweingruber, F. H. (1996). *Tree rings and environment dendroecology*. Switzerland: Haupt.
- Schweingruber, F. H., Börner, A., & Schulze, E. D. (2008). *Atlas of woody plant stems. Evolution, structure, and environmental modifications*. Berlin: Springer-Verlag.
- Stan, A. B., & Daniels, L. D. (2010). Calibrating the radial-growth averaging method for detecting releases in old-growth forests of coastal British Columbia, Canada. *Dendrochronologia*, 28(3), 135-147. doi: 10.1016/j.dendro.2009.10.003
- Stojanović, M., Sánchez-Salguero, R., Levančić, T., Szatniewska, J., Pokorný, R., & Linares, J. C. (2017). Forecasting tree growth in coppiced and high forests in the Czech Republic. The legacy of management drives the coming *Quercus petraea* climate responses. *Forest Ecology and Management*, 405, 56-68. doi: 10.1016/j.foreco.2017.09.021
- Tang, X., Lu, Y., Fehrman, L., Forrester, D. I., Guisasola-Rodríguez, R., Pérez-Cruzado, C., & Kleinn, C. (2016). Estimation of stand-level aboveground biomass dynamics using tree ring analysis in a Chinese fir plantation in Shitai County, Anhui Province, China. *New Forests*, 47(2), 319-332. doi: 10.1007/s11056-015-9518-0
- Toigo, M., Vallet, P., Tuilleras, V., Lebourgeois, F., Rozenberg, P., Perret, S., . . . , & Perot, T. (2015). Species mixture increases the effect of drought on tree ring density, but not on ring width, in *Quercus petraea*-*Pinus sylvestris* stands. *Forest Ecology and Management*, 345, 73-82. doi: 10.1016/j.foreco.2015.02.019
- Trotsiuk, V., Pederson, N., Druckenbrod, D. L., Orwig, D. A., Bishop, D. A., Barker-Plotkin, A., . . . , & Martin-Benito, D. (2018). Testing the efficacy of tree-ring methods for detecting past disturbances. *Forest Ecology and Management*, 425, 59-67. doi: 10.1016/j.foreco.2018.05.045
- Trujillo-Martínez, H., Reyes-Hernández, V., Gómez-Guerrero, A., & Borja-de la Rosa, A. (2020). Crecimiento radial de especies de pino en rodales sujetos a cortas de selección en Santa María Lachixío, Oaxaca, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, XXVI(1). doi: 10.5154/r.rchscfa.2018.09.064
- Vanoni, M., Cailleret, M., Hülsmann, L., Bugmann, H., & Bigler, C. (2019). How do tree mortality models from combined tree-ring and inventory data affect projections of forest succession? *Forest Ecology and Management*, 433, 606-617. doi: 10.1016/j.foreco.2018.11.042
- Vargas-Larreta, B. (2013). *Manual de mejores prácticas de manejo forestal para la conservación de la biodiversidad en ecosistemas templados de la región norte de México*. Zapopan, México: Comisión Nacional Forestal.
- Vernon, M. J., Sherriff, R. L., van Mantgem, P., & Kane, J. M. (2018). Thinning, tree-growth, and resistance to multi-year drought in a mixed-conifer forest of northern California. *Forest Ecology and Management*, 422, 190-198. doi: 10.1016/j.foreco.2018.03.043
- Viguera-Moreno, B. (2012). *Análisis dendroecológico de las tendencias de crecimiento de árboles muertos y su aplicabilidad para la detección del declive de masas forestales como respuesta al cambio global*. Tesis de Maestría, Universidad de Valladolid, España.
- Villagra, P. E., Boninsegna, J. A., Alvarez, J. A., Cony, M., Cesca, E., & Villalba, R. (2005). Dendroecology of *Prosopis flexuosa* woodlands in the Monte desert: Implications for their management. *Dendrochronologia*, 22(3), 209-213. doi: 10.1016/j.dendro.2005.05.005
- von Gadow, K., Sánchez Orois, S., & Aguirre Calderón, Ó. A. (2004). Manejo forestal con bases científicas. *Madera y Bosques*, 10(2), 3-16. doi: 10.21829/myb.2004.1021271
- Wang, X., Stenström, E., Boberg, J., Ols, C., & Drobyshev, I. (2017). Outbreaks of *Gremmeniella abietina* cause considerable decline



in stem growth of surviving Scots pine trees. *Dendrochronologia*, 44, 39-47. doi: 10.1016/j.dendro.2017.03.006

Winck, R. Á., Fassola, H. E., & Área, M. C. (2015). Efecto del raleo sobre las propiedades anatómicas de la madera de *Pinus taeda*. *Maderas. Ciencia y tecnología*(ahead), 0-0. doi: 10.4067/s0718-221x2015005000037

Xiao, S., Xiao, H., Peng, X., Wang, W., Chen, X., & Tian, Q. (2015). Dendroecological assessment of Korshinsk peashrub (*Caragana korshinskii* Kom.) from the perspective of interactions among growth, climate, and topography in the western Loess Plateau, China. *Dendrochronologia*, 33, 61-68. doi: 10.1016/j.dendro.2015.01.001

Xu, K., Wang, X., Liang, P., Wu, Y., An, H., Sun, H., . . . , & Fan, D. (2019). A new tree-ring sampling method to estimate forest productivity and its temporal variation accurately in natural forests. *Forest Ecology and Management*, 433, 217-227. doi: 10.1016/j.foreco.2018.10.066

Zeller, L., Ammer, C., Annighöfer, P., Biber, P., Marshall, J., Schütze, G., . . . , & Pretzsch, H. (2017). Tree ring wood density of Scots pine and European beech lower in mixed-species stands compared with monocultures. *Forest Ecology and Management*, 400, 363-374. doi: 10.1016/j.foreco.2017.06.018

Zhang, Q., Alfaro, R., & Hebda, R. (1999). Dendroecological studies of tree growth, climate and spruce beetle outbreaks in Central British Columbia, Canada. *Forest Ecology and Management*, 121(3), 215-225. doi: 10.1016/S0378-1127(98)00552-0

Zhang, Y., Drobyshev, I., Gao, L., Zhao, X., & Bergeron, Y. (2014). Disturbance and regeneration dynamics of a mixed Korean pine dominated forest on Changbai Mountain, North-Eastern China. *Dendrochronologia*, 32(1), 21-31. doi: 10.1016/j.dendro.2013.06.003

Manuscrito recibido el 06 de febrero de 2020

Aceptado el 28 de abril de 2020

Publicado el 17 de diciembre de 2020

Este documento se debe citar como:

Rojas-García, F., Gómez-Guerrero, A., Gutiérrez G., G., Ángeles P., G., Reyes H., V. J., & de Jong, B. H. J. (2020). Aplicaciones de la dendroecología en el manejo forestal: una revisión. *Madera y Bosques*, 26(3), e2632116. doi: 10.21829/myb.2020.2632116



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercialCompartirIgual 4.0 Internacional.