



DOI: 10.29298/rmcf.v16i88.1505

Artículo de Investigación

Estimación de edad y tiempo de paso: comparación entre método de campo y dendrocronológico

Age and diameter jump estimation: a comparison between field and dendrochronological procedures

José Villanueva Díaz^{1*}, Emilia Raquel Pérez Evangelista², Arian Correa-Díaz³, Luis Ubaldo Castruita Esparza⁴, Julián Cerano Paredes¹, Gerónimo Quiñonez Barraza⁵, Aldo Rafael Martínez Sifuentes¹

Fecha de recepción/Reception date: 17 de julio de 2024.

Fecha de aceptación/Acceptance date: 21 de enero de 2025.

¹Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (Cenid-RASPA), INIFAP. México.

²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. México.

³Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (Cenid-Comef), INIFAP. México.

⁴Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. México.

⁵Campo Experimental Valle del Guadiana, Centro de Investigación Regional Norte-Centro, INIFAP. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: villanueva.jose@inifap.gob.mx

*Corresponding author; e-mail: villanueva.jose@inifap.gob.mx

Resumen

La estimación de biomasa aérea en bosques templados de coníferas en México se realiza a partir de mediciones en campo, en las cuales la edad es una variable importante; sin embargo, su determinación generalmente es imprecisa. El objetivo del presente estudio fue comparar la edad estimada y tiempo de paso (*TP*) mediante conteo directo de los anillos de crecimiento en campo, *versus* la obtenida con técnicas dendrocronológicas para dos especies de pino: *Pinus arizonica* (Pa) y *Pinus cembroides* (Pc). Se realizó un muestreo sistemático en un bosque de coníferas en el municipio Riva Palacio, Chihuahua, en el que se derribaron 25 y 17 árboles de Pa y Pc, respectivamente. Para determinar la edad de los individuos de ambas especies, los incrementos anuales se estimaron con el método tradicional de lectura directa en cortes transversales y alternativamente con técnicas dendrocronológicas. La diferencia promedio en el número de años con el método de campo y el dendrocronológico fue de 16 años para Pa ($SD=6.9$) y de 100 años para Pc ($SD=73.4$). Con respecto al *TP*, los resultados indican que en Pa, el incremento radial fue de 0.25 cm año^{-1} , mientras que para Pc de 0.12 cm año^{-1} . La prueba de comparación de medias para la edad mostró diferencia significativa ($p<0.01$) entre métodos y especies. El método de campo subestima la edad y *TP* entre categorías diamétricas, lo que implica una sobrestimación de la biomasa aérea, en particular para especies de lento crecimiento como *Pinus cembroides*.

Palabras clave: Biomasa aérea, biometría forestal, dendrocronología, edad, incremento radial, tiempo de paso.

Abstract

The aerial biomass in temperate forests of Mexico is determined in the field, where age and radial growth are important variables involved in this process; however, its determination is usually inaccurate. The objective of this study was to compare the age estimated by eye ring counting (field method) in comparison to the age determined by dendrochronological techniques for two pine species, *Pinus arizonica* (Pa), and *Pinus cembroides* (Pc). A systematic sampling design was used to select 25 Pa and 17 Pc trees in the municipality of *Riva Palacio*, *Chihuahua* state. Trees were felled and cross-sections obtained at different heights along the stem. Age of each cross-section was determined by the field method and alternatively by dendrochronological techniques. The average difference in years for cross-sections of Pa was 16 years ($SD=6.9$) and 100 years for Pc ($SD=73.4$). In terms of diameter jump age for the last 5.0 cm, the results indicated an annual radial growth rate of 0.25 cm year⁻¹ and 0.12 cm year⁻¹ for Pa and Pc, respectively. The “t” test for the estimated ages showed significant difference ($p<0.01$) among age estimation methods and species. Age determination with the field method for different diameter-size classes is inaccurate and overestimate aboveground biomass, particularly for slow-growing species such as *Pinus cembroides*.

Key words: Aboveground biomass, forest biometry, dendrochronology, age, radial increment, diameter jump age.

Introducción

Los bosques son importantes para el desarrollo económico de cualquier país, ya que generan beneficios materiales (madera, resinas, etcétera), como no materiales (servicios ecosistémicos), y crean una red de seguridad alimentaria y de provisión de recursos económicos (Jones et al., 2019; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [ONUAA], 2018). El valor económico de los bosques generalmente se refleja acorde a la producción de madera y esta se puede determinar con el uso de herramientas como la biometría forestal, cuyo objetivo es realizar estimaciones de volumen y de producción de madera. Por lo anterior, es importante una evaluación precisa de las existencias volumétricas junto con los incrementos anuales para planear un aprovechamiento forestal sustentable.

Tradicionalmente, los recursos forestales en México se han evaluado por medio de inventarios forestales, al medir variables de interés para la modelación forestal. Sin embargo, en general, existe control limitado de calidad, como es el caso de la edad, la cual es una variable clave para el cálculo de la biomasa aérea, tiempos de paso,

incrementos y, en general, para un buen manejo forestal sustentable (NOM-152-SEMARNAT-2023, 2023). La edad de los árboles provee información esencial acerca de los atributos estructurales del bosque y de la dinámica de crecimiento y rendimiento; además, permite construir diversos parámetros silvícolas como índices de sitio o tablas de rendimiento (Álvarez *et al.*, 2004; Hernández-Ramos *et al.*, 2022; Hu *et al.*, 2020).

En México, se han desarrollado modelos de crecimiento y de rendimiento de especies forestales comerciales (Santiago-García *et al.*, 2020; Tamarit-Urias *et al.*, 2019). Sin embargo, en muchos de estos modelos se desconoce la confiabilidad con respecto a parámetros básicos como la edad de los árboles, lo que impacta en la propagación de errores y, por ende, conlleva a una sobreestimación de las existencias volumétricas.

Los modelos de crecimiento aplicados en el manejo forestal se fundamentan en procesos fisiológicos para la toma de decisiones; por ello es importante considerar el impacto que puedan ejercer variables climáticas en el desempeño fisiológico de las especies, particularmente debido al cambio climático (Correa-Díaz *et al.*, 2023).

De manera tradicional, en los inventarios forestales se recopila información sobre variables dasométricas como diámetro basal y edad del rodal. Esta es utilizada para estimar indicadores de productividad, como el tiempo de paso (*TP*), definido como el número de años requerido para que el árbol pase de una categoría diamétrica a la inmediata superior (Klepac, 1983).

En biometría forestal, los análisis troncales se utilizan para evaluar el crecimiento pasado de un conjunto de árboles y para inferir el crecimiento futuro del bosque. A través de dicho análisis se evalúan las etapas de crecimiento de un rodal en cuanto a diámetro y altura para estimar el *TP* (Imaña & Encinas, 2008). En este sentido, la dendrocronología como herramienta para determinar la edad de un árbol, no solo mejora la confiabilidad de tales análisis, sino que también permite el desarrollo de modelos de aprovechamiento sustentable que reflejen con certidumbre las

condiciones ecológicas y climáticas que han afectado el crecimiento de los árboles a través del tiempo (Upadhyay & Tripathi, 2019).

En México, se distribuyen 49 taxa del género *Pinus* L., distribuidos en diversas condiciones ecológicas (Gernandt & Pérez-de la Rosa, 2014). Dada su importancia en la producción forestal, es uno de los géneros más estudiados con este fin (Sánchez-González, 2008). Las Pináceas involucradas en el presente estudio fueron *Pinus arizonica* Engelm. (Pa) y *Pinus cembroides* Zucc. (Pc). En el caso de Pa, la coloración de la albura y del duramen la hacen una madera muy apreciada (Pérez-Olvera & Dávalos-Sotelo, 2016); mientras que a Pc se le considera como una de las mejores opciones para reforestar las regiones áridas y semiáridas del país (Zárate-Castrejón et al., 2021).

Esta investigación tuvo como objetivo comparar la estimación de edad de *P. arizonica* y *P. cembroides* mediante el conteo directo en campo (Método de Campo; MC), con respecto al empleo de técnicas dendrocronológicas (Método Dendrocronológico; MD) y analizar las implicaciones técnicas que la estimación de edad y tiempo de paso tienen en el manejo forestal de ambas especies.

La hipótesis de trabajo sugiere que el método de campo, en comparación al dendrocronológico, sobreestima las tasas de crecimiento anual, al no considerar microanillos o anillos perdidos en el crecimiento radial anual del árbol.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El sitio de estudio se ubica entre los 28°25'02" y 29°17'02" N, y los 106°17'45" y 106°54'45" O (Figura 1), en un intervalo altitudinal de 1 600 a 2 800 m. La precipitación anual y temperatura media anual varían de 400 a 600 mm y de 10 °C a 18 °C, respectivamente (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI], 2010). Los climas dominantes del área son templado semiseco y semiseco frío o semifrío, cubren 82.1 % y 10.0 % de la superficie municipal, respectivamente. Las clases dominantes de suelo son Leptosol (46.2 %), Luvisol (30.1 %) y Phaeozem (14.4 %) (INEGI, 2010).

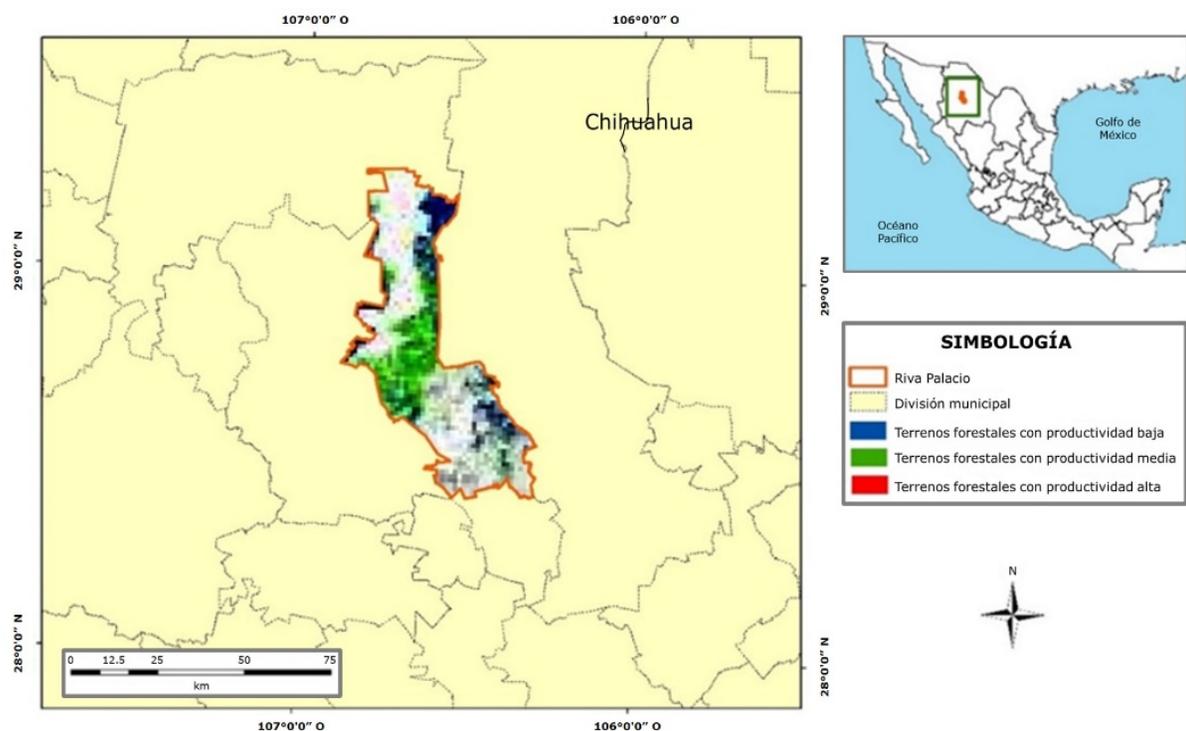


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio, municipio Riva Palacio, Chihuahua, México.

Recolección de muestras

Se seleccionaron 25 individuos de Pa y 17 de Pc en un rodal abierto de bosque mixto de coníferas, la elección se realizó en función de las clases diamétricas existentes por especie y representativas de cada una de ellas. Los árboles elegidos se derribaron, para posteriormente obtener secciones transversales de 5.0 cm de grosor. El primer corte fue a 0.30 m a partir del nivel del suelo, el siguiente a diámetro normal (1.30 m) y a continuación a diferentes longitudes a lo largo del fuste. Por ejemplo, para Pa, los espaciamientos fueron a 2.6 m, ya que los individuos seleccionados tenían un diámetro ≥ 20 cm, mientras que para Pc los cortes subsiguientes se hicieron a 1.30 m, debido a que su diámetro era menor (≤ 20 cm).

Método de campo

El MC consistió en un conteo directo en campo para obtener la información de crecimiento en diámetro y edad, realizado conforme a la metodología descrita por Quiñonez et al. (2015). Este proceso consiste en ubicar cuatro radios en cada sección transversal, de ahí se marca el centro y se hace un conteo de anillos visibles del centro a la corteza; el total de anillos se divide en categorías de edad de 10 años para definir grupos de anillos y la fracción se toma como residual. Con base en lo anterior, se contabilizan los residuales del centro a la corteza y posteriormente se dividen los anillos en grupos de dos. Debido a que el conteo de incrementos anuales (anillos de crecimiento) se hizo en el total de cada uno de los radios (desde el centro hasta la corteza), no se contabilizaron los crecimientos de los últimos 2.5 cm, de tal manera que la edad del árbol se fundamentó solo en el conteo total de crecimientos.

Método dendrocronológico

El MD consideró las secciones transversales previamente utilizadas en la fase de campo. De cada sección transversal se obtuvo una porción de madera en forma de cuña que incluyera el centro del árbol (médula), la cual se pulió progresivamente con lijas en una secuencia de gruesa a fina (260, 360, 600, 1 200), con el fin de resaltar los anillos de crecimiento. Cada cuña se fechó desde la médula hasta la corteza; para ello, se utilizó un microscopio estereoscópico con una resolución 10X (Stokes & Smiley, 1996). A continuación, el ancho de anillos se midió con un sistema de medición *Velmex*[®] de precisión 0.001 mm (Robinson & Evans, 1980).

La calidad de la datación se evaluó con el *software* COFECHA, cuya correlación crítica para un adecuado fechado debe ser mayor a 0.328 ($p < 0.01$) (Grissino-Mayer, 2001). La base de datos se estandarizó con el programa *ARSTAN* para generar índices de ancho de anillo y comparar el comportamiento interanual entre ambas especies, con base en el Coeficiente de Correlación de *Pearson* (Cook, 1987).

Comparación de métodos de conteo y tiempo de paso

Para determinar las diferencias entre métodos (MC y MD), se llevó a cabo una comparación de los años contabilizados por cada uno de ellos. Después, se calculó

la diferencia promedio de las edades en el total de secciones transversales por árbol y se determinó la desviación estándar para las diferencias de conteo entre ambos métodos. La diferencia estadística entre los métodos utilizados para estimar la edad con el MC y con el MD, se determinó con base en la media y la varianza. Finalmente, se aplicó una prueba de comparación de medias con el estadístico "t" para conocer si la diferencia en la estimación de edad mostraba significancia ($p < 0.05$). Para el cálculo de estos datos, se utilizó la edad de las muestras obtenidas a 1.3 m de altura.

La determinación del tiempo de paso consideró los últimos 5.0 cm del incremento del fuste en clases diamétricas de 5.0 cm. El MC consistió en el conteo en campo del número de anillos de crecimiento presentes en dicho incremento radial. De manera similar, el MD consideró el número de anillos presentes en la misma porción del fuste, con la diferencia de que estos fueron datados al año de su formación. El incremento anual se obtuvo del resultado del cociente, al dividir los 5.0 cm entre el número de años determinados por cada método de conteo.

Para conocer la relación edad-altura se compararon las edades obtenidas con el MC *versus* las obtenidas con el MD. Las alturas en cuestión fueron 0.3 m, 1.3 m y posteriormente cada 2.6 m y 1.3 m para Pa y Pc, respectivamente.

Resultados

Calidad del fechado método dendrocronológico

Los parámetros dendrocronológicos que determinan la calidad del fechado indicaron que los crecimientos de las especies Pa y Pc se dataron correctamente al año real de su formación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Parámetros dendrocronológicos acorde al programa COFECHA, que definen la calidad del fechado de las especies *Pinus arizonica* Engelm. y *P. cembroides* Zucc.

Especie	IS	SD	SM	APO
Pa	0.69	1.09	0.40	0.54
Pc	0.63	0.40	0.44	0.51

Pa = *Pinus arizonica* Engelm.; Pc = *Pinus cembroides* Zucc.; IS = Intercorrelación entre series (debe ser superior a 0.328, $p < 0.01$); SD = Desviación estándar; SM = Sensibilidad media; APO = Autocorrelación de primer orden.

La correlación entre series dendrocronológicas de Índice de ancho de anillo de Pa y Pc fue de 0.744 ($p < 0.01$) para el periodo común de 1852 a 2014, resultado que corrobora un fechado correcto (Figura 2).

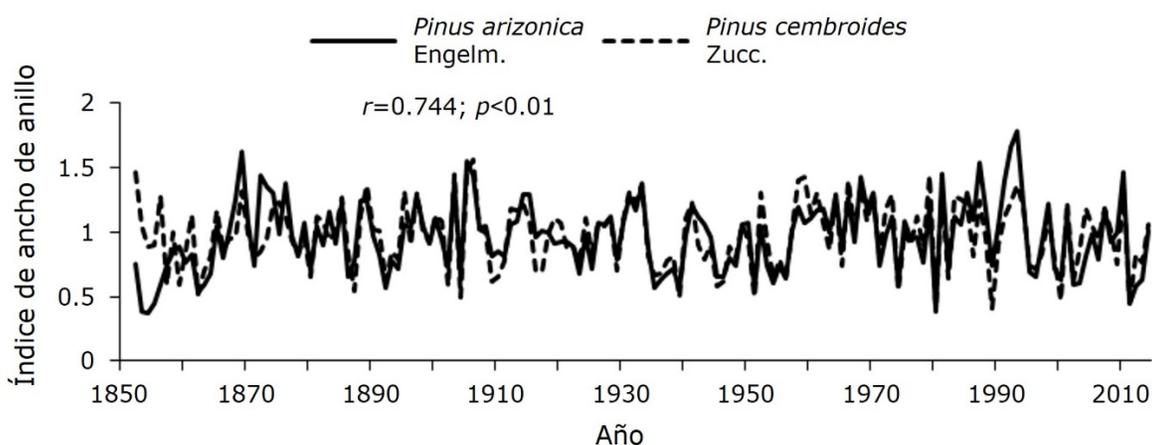


Figura 2. Serie dendrocronológica de Índice de anillo total de las especies *Pinus arizonica* Engelm. y *P. cembroides* Zucc.

Diferencia entre métodos con respecto a la edad

La estimación de la edad promedio a distintas alturas indicó que para la primera sección transversal de Pa (0.30 m a partir del suelo), se obtuvo una diferencia promedio de 36 años entre ambos métodos (Figura 3). En promedio, el MC subestimó la edad real en 16 años por sección, con una desviación estándar de 6.9 años y un intervalo de variación de 1 a 65 años en comparación con el MD.

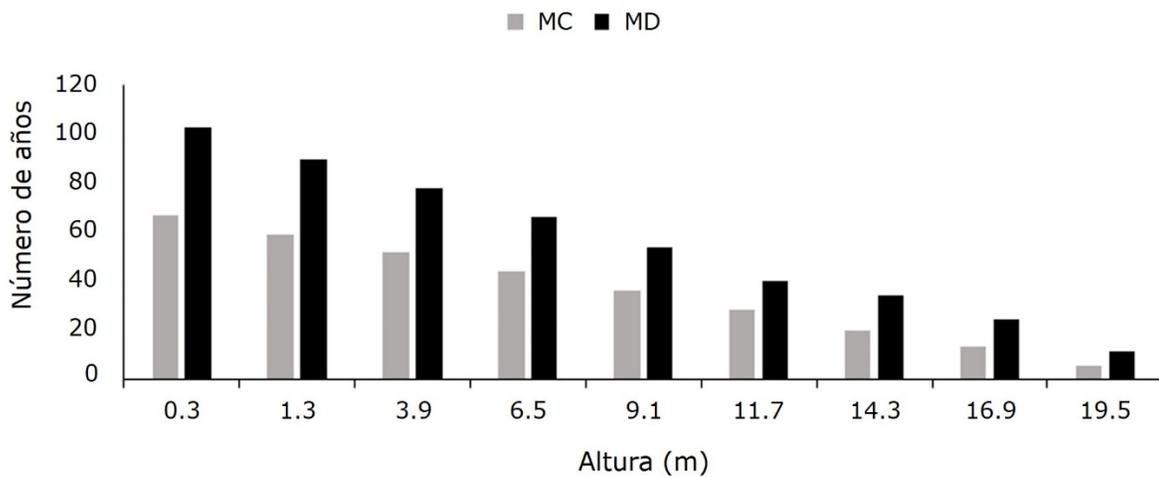


Figura 3. Años promedio determinados con el método de campo (MC) y el método dendrocronológico (MD) en secciones transversales a diferentes alturas para *Pinus arizonica* Engelm.

Para Pc se determinó una diferencia promedio de 100 años por sección entre ambos métodos, con una desviación estándar de 73.4 años y un intervalo de variación de 3 a 288 años (Figura 4).

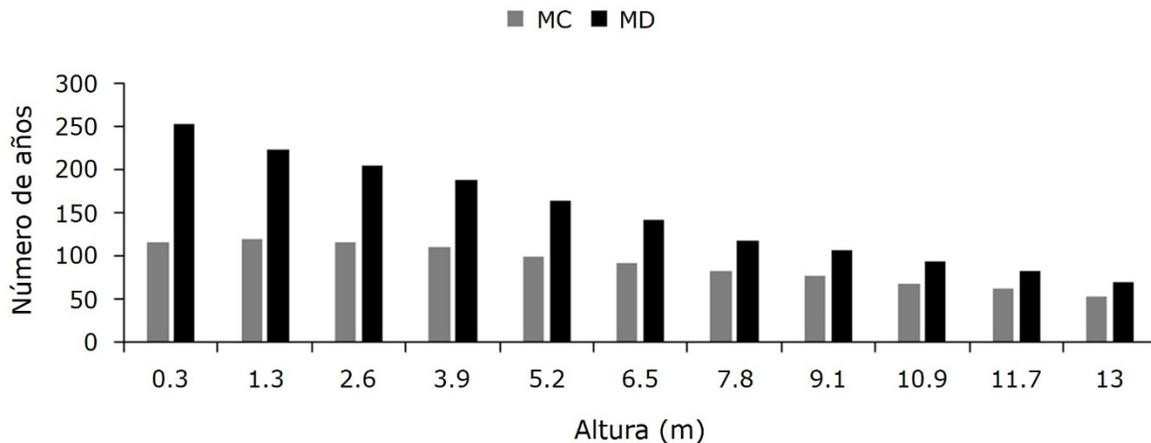


Figura 4. Años promedio determinados con el método de campo (MC) y el método dendrocronológico (MD) en secciones transversales a diferentes alturas para *Pinus cembroides* Zucc.

Tiempo de paso, número de anillos en los últimos 5.0 cm

En ambos métodos de conteo se advirtió una diferencia en la edad estimada de acuerdo con las clases diamétricas dominantes (Cuadro 2). Con el MC se determinó que los árboles de Pa en esta región tardan 10 años en promedio en pasar de una categoría diamétrica a la siguiente, con un Incremento medio anual de 0.5 cm año⁻¹. Por el contrario, el MD indicó un promedio de 20 años y un Incremento medio anual de 0.25 cm año⁻¹ para alcanzar el mismo incremento radial.

Cuadro 2. Diferencia de tiempo de paso entre el MC y el MD para *Pinus arizonica* Engelm.

CD (cm)	MC (años)	MD (años)
30.0-34.9	12	30
35.0-39.9	12	18
40.0-44.9	10	17
45.0-49.9	12	17
50.0-54.9	10	13
55.0-59.9	6	22
Media	10	20
<i>SD</i>	5	35
Varianza	2	6

CD = Clase diamétrica; MC = Método de campo; MD = Método dendrocronológico;
SD = Desviación estándar.

La media de *TP* determinada con el MD para *Pc* fue de 39 años para un incremento en diámetro de 5.0 cm, desviación estándar de 68 años y una tasa de crecimiento de 0.12 cm año⁻¹. Este resultado fue diferente al obtenido con el MC que registró una media de 16 años, desviación estándar de 2 años y una tasa de crecimiento de 0.31 cm año⁻¹ (Cuadro 3).

Cuadro 3. Diferencia de tiempo de paso en el MC y el MD para *Pinus cembroides* Zucc.

CD (cm)	MC (años)	MD (años)
30.0-34.9	15	30
35.0-39.9	17	39
40.0-44.9	17	47
Media	16	38

<i>SD</i>	2	68
Varianza	2	8

CD = Clase diamétrica; MC = Método de campo; MD = Método dendrocronológico;
SD = Desviación estándar.

Análisis de las clases diamétricas de las secciones transversales

El análisis sugiere que Pa podría aprovecharse una vez que los árboles alcancen 30 cm de diámetro en 56 años, acorde al MD; mientras que, para un diámetro de 40 cm, el mismo método indica que deben de transcurrir 72 años. Esto se contrapone con el MC, que indica 43 y 57 años para 30 y 40 cm, respectivamente; es decir, 13 y 15 años de diferencia para los parámetros señalados (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de edad por clases diamétricas para individuos de *Pinus arizonica* Engelm.

CD (cm)	Frecuencia	MC (años)	MD (años)	Diferencia (años)
10.1-15.0	2	21	26	5
15.1-20.0	3	34	42	8
20.1-25.0	8	39	47	8
25.1-30.0	19	32	43	11
30.1-35.0	34	43	56	13
35.1-40.0	41	57	72	15
40.1-45.0	34	68	86	18
45.1-50.0	19	82	99	17
50.1-55.0	6	82	109	27

CD = Clase diamétrica; MC = Método de campo; MD = Método dendrocronológico.

El análisis de las clases diamétricas de Pc sugiere que a partir de la clase de 15.1 a 20.0 cm (144 años), se pueden aprovechar los árboles (Cuadro 5). Debido a que Pc es una especie longeva, la diferencia en volumen es mínima entre una clase diamétrica y una posterior.

Cuadro 5. Análisis de edad por clases diamétricas para individuos de Pc.

CD (cm)	Frecuencia	MC (años)	MD (años)	Diferencia (años)
5.1-10.0	14	24	82	58
10.1-15.0	26	34	115	81
15.1-20.0	19	52	144	92
20.1-25.0	23	75	177	42
25.1-30.0	22	93	202	109
30.1-35.0	21	98	228	130
35.1-40.0	9	113	286	173
40.1-45.0	2	107	319	212
45.1-50.0	1	100	388	288

CD = Clase diamétrica; MC = Método de campo; MD = Método dendrocronológico.

Comparación estadística entre ambos métodos para estimar edad

Los datos derivados de la comparación entre ambos métodos se reúnen en los cuadros 5 y 6. En promedio, el MC subestima en más del doble la edad promedio del arbolado para ambas especies (Cuadro 6).

Cuadro 6. Estadísticas descriptivas de la edad (media y varianza), al comparar el MC *versus* el MD para las dos especies en estudio.

Especie	MC promedio (años)	MD promedio (años)	MC varianza (años²)	MD varianza (años²)
Pa	90.2	210.6	942.126	3 805.083
Pc	89.8	206.1	753.360	4 984.295

Pa = *Pinus arizonica* Engelm.; Pc = *Pinus cembroides* Zucc.; MC = Método de campo; MD = Método dendrocronológico.

Los resultados estadísticos sugieren una diferencia significativa entre ambos métodos de conteo ($p < 0.01$) (Cuadro 7).

Cuadro 7. Estadísticas de la prueba de comparación de medias pareadas entre métodos de conteo, aplicada a cada especie.

Especie	Valor crítico de <i>t</i> (dos colas)	Grados de libertad	Estadístico <i>t</i>	<i>P</i> ($T \leq t$) dos colas
Pa (MC vs. MD)	2.0106	48	-8.7322	0.000002
Pc (MC vs. MD)	2.0930	19	-6.1661	0.000006

Pa = *Pinus arizonica* Engelm.; Pc = *Pinus cembroides* Zucc.; MC = Método de campo; MD = Método dendrocronológico.

Discusión

El número de anillos de crecimiento anual en una sección transversal se puede determinar con precisión mediante un análisis dendrocronológico, a diferencia del

método de campo que, en general, subestima el número de anillos de crecimiento presentes, particularmente en la parte externa donde los anillos se comprimen (Alteyrac et al., 2005).

La principal ventaja de la datación dendrocronológica es que permite identificar con precisión los límites del crecimiento anual y, por ende, proporciona un datado correcto del número de crecimientos en un incremento radial (Fritts, 1976; Schweingruber, 1996). En contraposición, la estimación del número de anillos con el MC conlleva a errores derivados de una pobre definición de los límites del crecimiento anual, como es el caso de Pc en el que los anillos de crecimiento difícilmente se diferencian visualmente, por lo que deben visualizarse mediante un microscopio.

La datación exacta de los anillos de crecimiento facilita el análisis de un gran número de procesos ecológicos en una extensión de tiempo variable (Santiago-García et al., 2020). En el caso de los taxa analizados, la diferencia para el *TP* entre los dos métodos fue superior a 10 años en ambas especies (cuadros 1 y 2). La diferencia de medias destacó que la estimación de edad evidenció menor discrepancia entre métodos a una altura del arbolado posterior a los 7.8 m en Pc (Figura 3).

La edad de turno detectada para Pc fue de 144 años (Cuadro 4), lo cual muestra cierta coincidencia con especies de lento crecimiento como *Pinus strobiformis* Engelm., *P. lumholtzii* B. L. Rob. & Fernald y *P. leiophylla* Schiede ex Schltld. & Cham. presentes en bosques mixtos de la Sierra Madre Occidental (Hernández et al., 2020).

El uso de técnicas dendrocronológicas puede fortalecer los programas de manejo sustentable de las especies en proceso de aprovechamiento, ya que permite incrementar la certeza en los turnos de corta. De esta manera, la precisión en el conteo de los anillos de crecimiento y el Incremento Radial Anual deben considerarse en la toma de decisiones, a través de la estimación correcta del *TP*; aunque es preciso señalar que la metodología conlleva a un mayor tiempo en el procesamiento de las muestras, requiere de personal capacitado para el datado, además de la infraestructura requerida para este propósito. El problema se puede

subsanan si el proceso se realiza en centros especializados con el equipamiento y el personal capacitado en ese tipo de análisis.

Conclusiones

A pesar de la creencia generalizada de que la estimación de la edad por medio del conteo directo de anillos de crecimiento en campo es confiable, los resultados del presente estudio demuestran que el conteo directo conlleva a importantes sesgos con implicaciones en la proyección de variables como el volumen, tiempo de paso o biomasa aérea disponible.

La sobreestimación del incremento anual con el método de campo (MC) favorece la reducción de los turnos de corta y en consecuencia a sobrexplotar el recurso.

El método dendrocronológico (MD) proporciona estimaciones precisas de la edad y de los tiempos de paso; sin embargo, a pesar de que requiere cierta especialización para su aplicación, debe ser favorecido sobre el MC, particularmente para planear un manejo sustentable de los recursos forestales.

Agradecimientos

El presente estudio recibió apoyo del proyecto FOINS SEP-CONACYT CB 2016-1, No. 283134, "Red dendrocronológica mexicana y aplicaciones hidroclimáticas y ecológicas".

Se agradece a los técnicos forestales y autoridades de la Umafor Centro Norte A.C. por haber facilitado las secciones transversales del área de estudio, provenientes del estudio Sistema Biométrico Forestal para el estado de Chihuahua.

Conflicto de intereses

Los autores manifiestan no tener conflicto de intereses. Los doctores Arian Correa Díaz y Gerónimo Quiñonez Barraza, editores de sección de la Revista Mexicana de Ciencias Forestales, manifiestan no haber participado en el proceso editorial del presente manuscrito.

Contribución por autor

José Villanueva Díaz: conceptualización, redacción y análisis de información; Emilia Raquel Pérez Evangelista: datado de muestras, redacción y análisis dendrocronológico; Arian Correa-Díaz: análisis de datos, revisión y corrección del manuscrito; Luis Ubaldo Castruita Esparza: ubicación de sitios de estudio y muestreo; Julián Cerano Paredes: análisis de información dendrocronológica; Gerónimo Quiñonez Barraza: metodología y análisis de información; Aldo Rafael Martínez Sifuentes: análisis de datos y corrección del manuscrito.

Referencias

- Alteyrac, J., Zhang, S. Y., Cloutier, A., & Ruel, J. C. (2005). Influence of stand density on ring width and wood density at different sampling heights in black spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.). *Wood and Fiber Science*, 37(1), 83-94. <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/220>
- Álvarez G., J. G., Barrio A., M., Diéguez A., U., y Rojo A., A. (2004). Metodología para la construcción de curvas de calidad de estación. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (18), 303-309. <https://doi.org/10.31167/csef.v0i18.9475>

- Cook, E. R. (1987). The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-Ring Bulletin*, 47, 37-59. <https://repository.arizona.edu/handle/10150/261788>
- Correa-Díaz, A., Villanueva-Díaz, J., Gómez-Guerrero, A., Martínez-Bautista, H., Castruita-Esparza, L. U., Horwath, W. R., & Silva, L. C. R. (2023). A comprehensive resilience assessment of Mexican tree species and their relationship with drought events over the last century. *Global Change Biology*, 29(13), 3652-3666. <https://doi.org/10.1111/gcb.16705>
- Fritts, H. C. (1976). *Tree rings and climate*. Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/book/9780122684500/tree-rings-and-climate>
- Gernandt, D. S., y Pérez-de la Rosa, J. A. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, (Supl. 85), S126-S133. <https://doi.org/10.7550/rmb.32195>
- Grissino-Mayer, H. D. (2001). Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Bulletin*, 57(2), 205-221. <https://repository.arizona.edu/handle/10150/251654>
- Hernández, F. J., Meraz A., J. C., Vargas L., B., y Najera L., J. A. (2020). Crecimiento en diámetro, altura, área basal y volumen para tres especies de pino en Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*1, 1(60), 120-143. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i60.711>
- Hernández-Ramos, J., Hernández-Ramos, A., Ordaz-Ruiz, G., García-Espinoza, G. G., García-Magaña, J. J., y García-Cuevas, X. (2022). Índice de sitio para plantaciones forestales de *Pinus patula* en el Estado de México. *Madera y Bosques*, 28(2), Artículo e2822308. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2822308>
- Hu, M., Lehtonen, A., Minunno, F., & Mäkelä, A. (2020). Age effect on tree structure and biomass allocation in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.). *Annals of Forest Science*, 77, Article 90. <https://doi.org/10.1007/s13595-020-00988-4>

Imaña E., J., y Encinas B., O. (2008). *Epidometría forestal*. Universidad de Brasilia. <https://www.monografias.com/trabajos-pdf2/epidometria-forestal/epidometria-forestal.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010*. Riva Palacio, Chihuahua. Clave geoestadística 08054. INEGI. http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/08/08054.pdf

Jones, K. W., Avila F., S., Pischke, E. C., Salcone, J., Torrez, D., Selfa, T., & Halvorsen, K. E. (2019). Exploring the connections between participation in and benefits from payments for hydrological services programs in Veracruz state, Mexico. *Ecosystem Services*, 35, 32-42. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.11.004>

Klepac, D. (1983). *Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales*. Universidad Autónoma Chapingo. http://dicifo.chapingo.mx/pdf/publicaciones/crecimiento_e_incremento_klepac_dusan.pdf

NOM-152-SEMARNAT-2023. (2023, 16 de junio). NORMA Oficial Mexicana NOM-152-SEMARNAT-2023, Que establece los criterios y especificaciones del contenido de los programas de manejo forestal sustentable para el aprovechamiento de recursos forestales maderables en bosques, selvas y vegetación de zonas áridas. *Diario Oficial de la Federación*, 24 de julio de 2023.

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5696430&fecha=24/07/2023#gsc.tab=0
Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). *El estado de los bosques del mundo. Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible*. ONUAA. <https://openknowledge.fao.org/items/7209f244-84c9-4191-b2f9-51d7449fcc62>

Pérez-Olvera, C. de la P., y Dávalos-Sotelo, R. (2016). Anatomía de la madera de seis especies de *Pinus* (Pinaceae) del estado de Durango, México. *Madera y Bosques*, 22(3), 113-132. <https://doi.org/10.21829/myb.2016.2231460>

- Quiñonez B., G., De los Santos P., H. M., y Álvarez G., J. G. (2015). Crecimiento en diámetro normal para *Pinus* en Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(29), 108-125. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i29.220>
- Robinson, W. J., & Evans, R. (1980). A microcomputer-based tree-ring measuring system. *Tree-Ring Bulletin*, 40, 59-64. <https://repository.arizona.edu/handle/10150/260443>
- Sánchez-González, A. (2008). Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques*, 14(1), 107-120. <https://doi.org/10.21829/myb.2008.1411222>
- Santiago-García, W., Ángeles-Pérez, G., Quiñonez-Barraza, G., De los Santos-Posadas, H. M., y Rodríguez-Ortíz, G. (2020). Avances y perspectivas en la modelación aplicada a la planeación forestal en México. *Madera y Bosques*, 26(2), Artículo e2622004. <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2622004>
- Schweingruber, F. H. (1996). *Tree rings and environment. Dendroecology*. University of Minnesota. https://books.google.com.mx/books/about/Tree_Rings_and_Environment_Dendroecology.html?id=zNYsAQAAAJ&redir_esc=y
- Stokes, M. A., & Smiley, T. L. (1996). *An introduction to tree-ring dating*. The University of Arizona Press. https://books.google.com.mx/books?id=SvBF2Ora-eUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Tamarit-Urias, J. C., De los Santos-Posadas, H. M., Aldrete, A., Valdez-Lazalde, J. R., Ramírez-Maldonado, H., y Guerra-De la Cruz, V. (2019). Sistema de crecimiento y rendimiento maderable para plantaciones de teca (*Tectona grandis* L. f.) en Campeche, México. *Madera y Bosques*, 25(3), Artículo e2531908. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531908>
- Upadhyay, K. K., & Tripathi, S. K. (2019). Sustainable forest management under climate change: a dendrochronological approach. *Environment and Ecology*, 37(3B), 998-1006.

https://www.researchgate.net/publication/350724375_Sustainable_Forest_Management_under_Climate_Change_A_Dendrochronological_Approach

Zárate-Castrejón, J., González-Pacheco, B., Ruiz-Nieto, J., Ávila-Ramos, L., y Ávila-Ramos, F. (2021). El árbol *Pinus cembroides* como alternativa para reforestar ciudades, parques y jardines. *Abanico Agroforestal*, 3, 1-12. <http://dx.doi.org/10.37114/abaagrof/202.1>



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.