



# Efecto de una corta de saneamiento sobre el crecimiento radial del bosque de *Pinus hartwegii*

## Effect of a sanitation cut on radial growth in *Pinus hartwegii* forest

Fabiola Rojas-García<sup>1,2</sup>, Armando Gómez-Guerrero<sup>2</sup>, Ángel Rolando Endara-Agramont<sup>3</sup>, Genaro Gutiérrez García<sup>4</sup>,  
Valentín José Reyes Hernández<sup>2</sup>, Gregorio Ángeles Pérez<sup>2</sup> y Bernardus H.J. de Jong<sup>5</sup>

1 Instituto de Estudios Superiores de la Ciudad de México "Rosario Castellanos". Ciudad de México, México.

2 Colegio de Postgraduados. Postgrado en Ciencias Forestales. Montecillo, Estado de México, México.

3 Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales. Toluca, Estado de México, México.

4 Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología, Ciudad de México, México.

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

\* Autora de correspondencia.  
fabiosxtol981@gmail.com

### RESUMEN

Los bosques de *Pinus hartwegii* son susceptibles al ataque de plagas forestales, por ello las intervenciones de saneamiento en los rodales de esta especie deben ser analizadas. El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de las cortas de saneamiento sobre el crecimiento radial del arbolado residual, en rodales de *P. hartwegii* del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Se establecieron diez sitios de medición de árboles remanentes y tocones en rodales intervenidos durante 2016 (1000 m<sup>2</sup>) en las exposiciones Oeste y Este del volcán. Se consideró el período de los años 2013-2015 como previo al saneamiento, y 2016-2018 como posterior al saneamiento. Se analizaron el patrón de distribución y la estructura horizontal y vertical. Se calcularon dos índices de densidad y dos índices de competencia. Se colectaron núcleos de madera en todos los individuos y se midieron las anchuras de los anillos de crecimiento mediante técnicas dendrocronológicas. Se estandarizó el crecimiento mediante series de incremento en área basal (IAB). El crecimiento de los árboles remanentes ubicados en la periferia de los tocones fue significativamente diferente entre las exposiciones. El IAB aumentó 37.3% después del saneamiento en la exposición Oeste, mientras que en la exposición Este el IAB aumentó 61.6%. Los árboles remanentes ubicados entre los 2.5 m y 5 m con respecto al tocón tuvieron mayores IAB en ambas exposiciones. Los bosques de *Pinus hartwegii* responden de manera favorable a las cortas de saneamiento con un aumento estadísticamente significativo en el IAB.

PALABRAS CLAVE: anillos de crecimiento, dendroecología, incremento de área basal, índice de competencia, índice de densidad.

### ABSTRACT

*Pinus hartwegii* forests are susceptible to the attack of forest pests, so sanitation interventions in the stands of this species must be analyzed. The objective of this work was to evaluate the effects of sanitation cuts on the radial growth of residual trees, in monospecific stands of *P. hartwegii* of the Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Ten measuring sites of remnant trees and stumps were established in stands operated during 2016 (1000 m<sup>2</sup>) in the West and East slopes of the volcano. The period 2013-2015 was considered as prior to sanitation, and 2016-2018 as after sanitation. The distribution pattern, horizontal and vertical structure were analyzed. Two density indices and two proficiency indices were calculated. Wood cores were collected in all individuals and the widths of the growth rings were measured by dendrochronological techniques. Growth was standardized by series of basal area increment (IAB). The growth of the remaining trees located on the periphery of the stumps was significantly different between the exposures. The BAI increased 37.3% after sanitation in the West exposure, while in the East exposure the BAI increased 61.6%. The remaining trees located between 2.5 and 5 m with respect to the stump had higher BAI in both exposures. *Pinus hartwegii* forests respond positively to sanitation cuts with a statistically significant increase in IAB.

KEYWORDS: growth rings, dendroecology, basal area increment, competition index, density index.

## INTRODUCCIÓN

*Pinus hartwegii* Lindl. es una especie clave en México, constituye el límite de vegetación arbórea en regiones montañosas del centro y noreste de México, y hasta Guatemala, entre altitudes de 3000 m y 4200 m (Farjon y Styles, 1997; Perry, 1991; Viveros-Viveros et al., 2009). La importancia ecológica de estas masas forestales está relacionada con la producción de biomasa y los servicios ambientales asociados de los cuales se benefician los grandes asentamientos humanos del centro de México (Rojas-García y Villers Ruiz, 2008). La especie ha sido ampliamente estudiada por su potencial dendroclimático (Correa-Díaz et al., 2019; Gutiérrez-García y Ricker, 2019; Villanueva Díaz et al., 2015) y en la reconstrucción de incendios (Yocom et al., 2010), así como por el posible impacto del calentamiento global en el reclutamiento por encima de su límite arbóreo (Astudillo et al., 2017; Ricker et al., 2007).

La dinámica de crecimiento de los ecosistemas forestales está afectada por un conjunto de factores ambientales y bióticos que incluye clima, infestaciones de insectos, incendios, características del suelo, y competencia tanto intraespecífica como interespecífica (Navarrete Espinoza et al., 2008; Valles-Gándara y Valadez-Castro, 2006). Un ejemplo, son las plagas y enfermedades forestales que reducen el crecimiento radial de la madera en las especies forestales (Robson et al., 2015; Sangüesa-Barreda et al., 2015).

La competencia es otro factor que influye en el crecimiento de los árboles, relacionado con el acceso a un recurso de disponibilidad limitada (luz, agua o nutrientes) (Burkhart y Tomé, 2012). La competencia puede analizarse mediante índices de densidad, en donde no se requieren las coordenadas de cada árbol ya que son funciones simples de variables a escala de rodal. La competencia también puede evaluarse mediante índices de competencia (a escala de árbol individual), dependientes de la distancia, que requieren las dimensiones y las ubicaciones relativas de árboles vecinos para su cálculo (Corral Rivas et al., 2005).

Los árboles responden a los factores mencionados anteriormente con cambios en la anchura de sus anillos de crecimiento anuales (Amoroso y Suarez, 2015). La datación de los anillos proporciona un método altamente confiable para cuantificar el crecimiento radial de los árboles (Kukarskih et al., 2022). La dendroecología estudia los procesos ecológicos en un bosque por medio del análisis de anillos de crecimiento de los árboles (Manzanedo y Pederson, 2019). El uso de métodos dendroecológicos permite caracterizar de forma más precisa el crecimiento en especies de interés comercial o de conservación, y el posterior diseño de estrategias de restauración (Rojas-García et al., 2020).

El bosque de *Pinus hartwegii* se desarrolla en las laderas del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) desde los 3300 m hasta los 4375 m de altitud; a partir de los 3700 m, se presenta como un bosque monoespecífico dominante (Rojas-García et al., 2019). Este bosque se ve afectado por la presencia de *Dendroctonus adjunctus* Blandford (1897) y *Arceuthobium vaginatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) J. Presl, por ello la administración del APFFNT realizó cortas de saneamiento forestal durante 2016. Estas cortas de saneamiento consisten en la extracción de árboles muertos y en estado avanzado de afectación, presumiendo que así se reduciría el foco de infección y se controlaría la progresión de la enfermedad (Donoso et al., 2018). La presente investigación plantea la hipótesis de que las cortas de saneamiento ocasionan un mayor incremento en el crecimiento radial anual de los árboles cercanos al espécimen removido.

## OBJETIVOS

El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de las cortas de saneamiento sobre el crecimiento radial del arbolado residual, en rodales monoespecíficos de *Pinus hartwegii* que fueron saneados durante 2016. Asimismo, (1) caracterizar los cambios en estructuras horizontal y vertical; (2) calcular índices de competencia de los rodales intervenidos; e (3) identificar la distancia entre el árbol cortado y los vecinos remanentes, a partir de la que se presenta un efecto en el crecimiento.



## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El APFFNT se localiza en el Estado de México y comprende el volcán Nevado de Toluca, desde la cota de los 3000 m hasta la cima a 4680 m. El área natural protegida tiene una superficie de 53 590 ha. El tipo de suelo andosol predomina en cerca de 90% del volcán (Sotelo-Ruiz et al., 2011). El APFFNT presenta características meteorológicas y climáticas particulares, de manera general, el costado norte es más frío que el sur, además de un gradiente térmico vertical. El clima frío con régimen de lluvias es de verano ( $E(T)H_{wig}$ ), se presenta en el volcán Nevado de Toluca por encima de los 3700 m de altitud (García, 1981).

### Inventario para medición de extracción forestal

Se establecieron 10 sitios de muestreo en rodales de *Pinus hartwegii* intervenidos para saneamiento durante el año 2016. Los sitios son circulares con una superficie de 1000 m<sup>2</sup> (17.84 m de radio), cinco sitios se ubicaron en la exposición oeste del volcán (localidad Santa María del Monte, Municipio Zinacantepec) y cinco sitios se establecieron en la exposición este (localidad Zaragoza de Guadalupe, Municipio Calimaya) (Fig. 1). Los criterios de selección para el establecimiento de los sitios de muestreo fueron que la corta de saneamiento no fuera total; y que estos rodales con cortas se encuentren en la misma cota altitudinal (3880 m); los tocones, resultado de la corta, tuvieran arbolado remanente cercano y presentaran una estructura íntegra o poca pudrición (Esper et al., 2012).

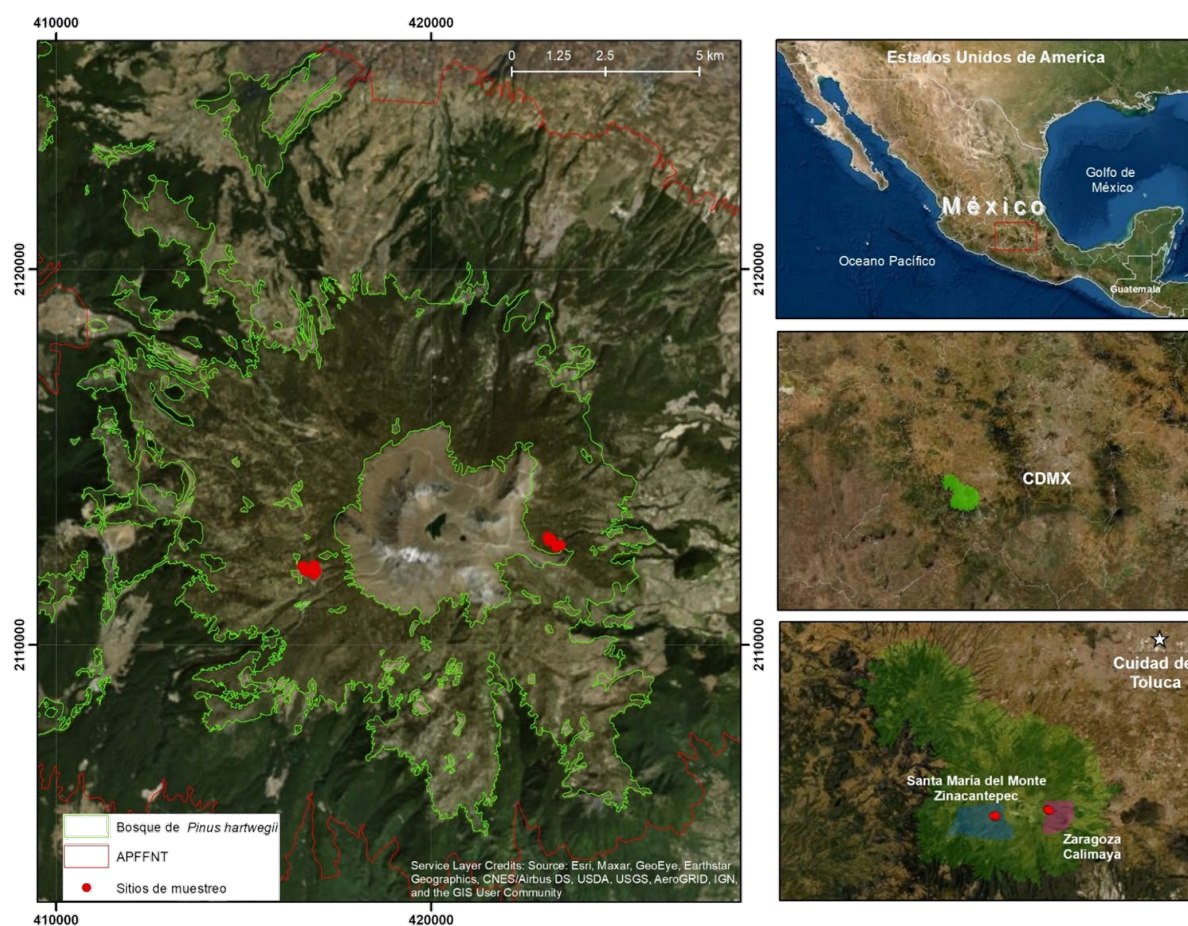


FIGURA 1. Localización de los sitios de muestreo de extracción forestal.

La línea verde claro delimita el bosque de *Pinus hartwegii* del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Los puntos rojos representan a los sitios de muestreo.

Se registró el diámetro normal (DN, cm) de todos los árboles  $\geq 7.5$  cm, altura total (HT, m), los diámetros de copa mayor y menor ( $C_1$  y  $C_2$  respectivamente, m), azimut ( $^\circ$ ) y distancia al centro del sitio (m). Además, para los tocones se registró el diámetro del tocón a 0.30 m del suelo ( $d_t$ , cm). Se contabilizó la regeneración en un círculo al centro del sitio de muestreo con una superficie de 12.56 m<sup>2</sup> (2 m de radio). Se diferenció entre plántulas pequeñas ( $< 10$  cm de altura); plántulas ( $\geq 10$  cm y  $< 30$  cm de altura); y brinzales ( $\geq 30$  cm y  $< 150$  cm de altura). Los valores de regeneración por sitio se obtuvieron al sumar los valores de cada categoría y se extrapoló a valores de hectárea (ha<sup>-1</sup>) (Comisión Nacional Forestal [Conafor], 2012).

### Análisis estructural

Se analizó el patrón de distribución horizontal de los árboles al interior del sitio de muestreo mediante la herramienta vecino más cercano promedio (índice ANN, por sus siglas en inglés *Average Nearest Neighbor*) disponible en ArcGIS (Mitchell, 2005). Se consideró la distribución de 2016, previa a la corta de saneamiento, y 2018 como posterior al saneamiento.

La estructura horizontal se determinó agrupando a los árboles por clases de diámetro en intervalos de 5 cm (7.5–12.4, 12.5–17.4, 17.5–22.4, ...) cm. Para estimar el DN de los tocones, se utilizó la ecuación para pinos desarrollada por Corral-Rivas et al. (2007), en función del diámetro del tocón ( $d_t$ , cm):

$$DN = 1.721 \times (dt^{0.8494})$$

El área basal (AB) se obtuvo a partir del DN (Mostacedo y Fredericksen, 2000):

$$AB = \pi * \left( \frac{DN^2}{4} \right)$$

Los valores de AB por sitio de muestreo se obtuvieron al sumar los valores de cada individuo en los sitios de

muestreo, y se extrapoló a valores por hectárea (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) (Padmakumar et al., 2018).

La estructura vertical se caracterizó al comparar las alturas de todos los individuos entre las clases de diámetro utilizando un análisis de varianza de una vía. Los estratos del dosel se identificaron por diferencias significativas en las alturas entre las clases de diámetro. Para caracterizar la estructura vertical de los sitios de muestreo, se elaboró un perfil de 35.7 m de longitud y 4 m de ancho.

### Análisis de competencia

El efecto de la competencia fue analizado mediante dos índices de densidad del rodal (independientes de la distancia entre árboles) y dos índices de competencia dependientes de la distancia entre árboles (Tabla 1). Se consideró como árbol objetivo el tocón más cercano al centro del sitio de muestreo. A partir del tocón se consideraron todos los árboles en un radio de 7.5 m, con la intención de que no se contabilizaran dos veces el mismo individuo (que pudiera competir con otros árboles).

### Muestreo de árboles individuales

Se colectaron dos núcleos de madera a la altura del DN de todos los árboles remanentes al interior del sitio de muestreo con el uso de un taladro de Pressler a 1.3 m del suelo (DN árboles  $\geq 7.5$  cm) (Abrams y Hock, 2006). Se colectaron dos núcleos de madera en los tocones, donde la estructura de la madera lo permitió a 0.30 m del suelo.

Los núcleos de madera se montaron con pegamento sobre guías de madera y se sujetaron con cinta adhesiva para evitar su torcedura durante el secado al aire libre por una semana. Los núcleos de madera fueron alineados de modo que las traqueidas quedaran completamente verticales. Se procesaron con una lijadora orbital del grano mayor al menor (lija de papel con medidas de grano 150, 360, 600 y 1500) para poder observar de manera clara los límites entre cada uno de los anillos de crecimiento (Arreola-Ortiz et al., 2010).



TABLA 1. Índices utilizados para evaluar competencia.

Índice	Expresión matemática	Clasificación
Índice de densidad de rodales de Reineke (1933)	$10^{(\log N + 1.691 \cdot \log Dg - 1.691)}$	Independientes de la distancia
Factor de competencia de copas (Krajicek, Brinkman, & Gingrich, 1961)	$\frac{\pi}{4} * \sum_{i=1}^{i=n} dc_i^2 * \frac{100}{S}$	
Hegyi (1974)	$\sum_{i \neq j} \frac{d_j}{Dist_{ij} * d_i}$	Dependientes de la distancia
Martin y Ek (1984)	$\sum_{i \neq j} \frac{d_j}{d_i} * \exp\left(\frac{16 * Dist_{ij}}{d_i + d_j}\right)$	

$N$ = número de árboles por sitio;  $S$ = superficie del sitio ( $m^2$ );  $d_i$ = diámetro normal del árbol objetivo (cm);  $\log$  = logaritmo de base 10;  $dc_i$  = diámetro de copa en proyección horizontal del árbol objetivo (m);  $d_j$  = diámetro normal del árbol competidor (cm);  $d_i$  = diámetro normal del árbol objetivo (cm);  $Dist_{ij}$ = distancia en proyección horizontal entre el árbol objetivo y el árbol competidor (m)

## Fechado y medición de la anchura de anillos de crecimiento

Las muestras fueron analizadas por medio de técnicas convencionales en dendrocronología. Se identificó el año de formación del anillo más externo de la médula según la fecha de muestreo, en relación con la temporada de crecimiento y el grado de desarrollo del anillo (Albuquerque et al., 2019). El fechado-cruzado de núcleos de madera se realizó con un estereomicroscopio mediante el método de la lista, que permite identificar patrones de crecimiento, asignar fechas tentativas a cada anillo de crecimiento, detectar ausencia de anillos y la presencia de anillos falsos (Yamaguchi, 1991).

Las muestras de madera se digitalizaron con un escáner de alta resolución (LA2400, Scanner Calibrated for Image Analysis with Regents Instruments Software). Las anchuras de los anillos de crecimiento se obtuvieron con el programa WinDendro 2016b (Guay et al., 1992; Regent-Instruments-Canada, 2016). Los valores de anchura de anillos se promediaron primero entre los dos núcleos de crecimiento muestreados por árbol y después entre árboles para reducir el riesgo de contar anillos dobles u omitir el conteo de anillos ausentes (Copenheaver et al.,

2009; Santilli et al., 2005). Se realizó la verificación del fechado de ambas mediciones con el programa COFECHA (Holmes, 1983).

## Estandarización de crecimiento mediante el incremento en área basal

Se derivaron series de incrementos anuales de área basal (IAB) a partir de la anchura del anillo, presumiendo anillos de árboles distribuidos concéntricamente. Para generar estas series de crecimiento se eliminaron los árboles menores a 15 años, debido a que la tendencia de crecimiento juvenil no permite hacer el análisis (Meza et al., 2005).

Se utilizó el IAB con la intención de hacer comparables las mediciones entre árboles al interior del sitio de muestreo (Biondi y Qeadan, 2008):

$$IAB = \pi (R_n^2 - R_{n-1}^2)$$

donde:

$R$ = radio del árbol

$n$  = año de formación del anillo

Para conocer si el saneamiento tuvo un impacto en el crecimiento posterior, se efectuó una comparación en un período igual e inmediato anterior (Trujillo-Martínez et al., 2020). Para ello, se consideró el período de los años 2013-2015 como previo al saneamiento, y 2016-2018 como posterior al saneamiento. Se realizaron análisis de varianza para conocer si existían diferencias significativas en los IAB entre exposiciones, entre períodos antes y después del saneamiento, y si el IAB era distinto en conformidad con la distancia del árbol remanente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis estructural

La administración del APFFNT realizó intervenciones de saneamiento forestal durante 2016 en los bosques de *Pinus hartwegii*, que incluyeron el derribo de árboles infestados para el combate y control de insectos descortezadores y muérdagos. En los rodales saneados se establecieron diez sitios de muestreo en dos exposiciones en la cota clímax del pino de alta montaña (3800 m) (Rojas-García et al., 2019). Las características dendrométricas de los sitios de muestreo se presentan en la tabla 2.

Los sitios ubicados en la exposición oeste presentaron un porcentaje de extracción de 38.5% de AB, y los sitios de la exposición este tuvieron 19.8% de AB extraída. La extracción de AB reduce la cobertura del dosel, que modifica la cantidad de luz que llega al sotobosque, lo que puede influir en un mayor incremento de reclutamiento de plántulas (Healey y Colin Price, 2000). Como resultado de una corta de selección, una corta de saneamiento, paulatinamente la estructura tiende a estratificarse a una forma multietánea, con una intensidad y frecuencia de intervenciones que debe adaptarse al ritmo de avance de la mortalidad (Donoso et al., 2018).

El patrón de distribución de los árboles previo al saneamiento en ambas exposiciones fue menor que el promedio de una distribución hipotética aleatoria (índice  $ANN < 1$ ), considerada como agrupada ( $P < 0.001$ ). La corta de saneamiento aumentó la distancia de un árbol respecto a su vecino más cercano en ambas exposiciones, el patrón de distribución fue mayor que la distribución hipotética aleatoria (índice  $ANN > 1$ ), y se considera dispersa ( $P < 0.001$ ) (Tabla 3).

TABLA 2. Principales variables dendrométricas de los sitios de muestreo para estimar extracción forestal.

Exposición	Oeste		Este	
Variable	2016	2018	2016	2018
N (ha <sup>-1</sup> )	246 ± 32.95	184 ± 32.80	196 ± 16.00	148 ± 15.29
AB (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	34.54 ± 5.42	21.24 ± 4.06	34.94 ± 2.29	28.03 ± 1.66
Dq (cm)	43.14 ± 4.31	39.75 ± 4.98	47.88 ± 1.65	49.55 ± 1.56
HT (m)	16.79 ± 2.51	14.87 ± 2.82	19.59 ± 1.15	19.66 ± 1.45
Regeneración				
Plántulas pequeñas (ha <sup>-1</sup> )		159.24 ± 12.62		7802.55 ± 44.38
Plántulas (ha <sup>-1</sup> )		0		5414.01 ± 50.45
Brinzales (ha <sup>-1</sup> )		477.71 ± 14.57		0

Valor promedio ± error estándar

N= número de árboles; AB = área basal; Dq= diámetro cuadrático medio; HT= altura total.

2016 indica las condiciones del sitio de muestreo antes de la corta y el 2018 indica las condiciones después de la corta.



TABLA 3. Patrón de distribución, índices de densidad en rodales e índices de competencia dependientes de la distancia de los sitios de muestreo antes y después de la intervención de saneamiento.

Exposición	Oeste		Este	
Variable	2016	2018	2016	2018
Índice ANN	0.998 ± 0.07	1.177 ± 0.16	0.961 ± 0.13	1.191 ± 0.07
Patrón de distribución	Agrupada	Dispersa	Agrupada	Dispersa
Índice de densidad de rodales de Reineke	252.81 ± 32.05	150.83 ± 26.09	242.08 ± 15.09	187.91 ± 10.94
Factor de competencia de copa	78.12 ± 10.05	48.39 ± 7.03	74.55 ± 4.03	61.12 ± 4.45
Índice de Hegyi		2.62 ± 0.88		1.59 ± 0.38
Índice de Martin & Ek		81.60 ± 48.07		15.98 ± 2.69

Valor promedio ± error estándar

ANN = vecino más cercano promedio, por sus siglas en inglés *Average Nearest Neighbor*.

2016 indica las condiciones del sitio de muestreo antes de la corta y el 2018 indica las condiciones después de la corta.

El índice ANN es un resultado manifiesto del efecto de la corta de saneamiento, aun cuando los bosques de *Pinus hartwegii* son considerados medianamente densos a francamente abiertos (Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2005). De acuerdo con las clases de densidad propuestas por Rojas-García et al. (2019); los sitios de muestreo de la exposición oeste antes y después de la corta de saneamiento se conservaron como bosque semidenso (150-335 árboles). A diferencia de los sitios de muestreo de la exposición este, que pasaron de un bosque semidenso a un bosque fragmentado (20-149 árboles) después de la intervención de saneamiento.

La figura 2 presenta la distribución vertical (a), distribución horizontal (b) y distribución diamétrica (c) de los sitios de medición de extracción forestal en dos exposiciones del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. La estructura vertical del bosque de *Pinus hartwegii* está conformada por tres estratos con diferencias significativas entre las alturas de los árboles ( $P <$

0.005), consistentes con las categorías de altura registradas por Endara-Agramont et al. (2012).

Los perfiles de la figura 2 presentan las dimensiones promedio en DN, HT,  $d_t$ ,  $d_c$  para cada estrato, en una línea de Oeste a Este que pasa por el centro del sitio de medición. En el apartado del inciso b de la figura 2, se presenta la distribución de copas después del saneamiento; los círculos de color verde claro con un punto al centro representan los tocones resultados de la corta de saneamiento.

Los sitios de muestro ubicados en la exposición oeste presentaron una HT promedio de 16.79 m ± 2.5 m previo a la intervención y en 2018 la HT promedio fue 14.87 m ± 2.8 m. La altura promedio fue 5 m en el estrato inferior, 15.3 m en el estrato medio y 24.3 m en el estrato superior. Los sitios de muestreo de la exposición este tenían una HT promedio de 19.59 m ± 1.15 m y pasada la corta de saneamiento la HT promedio fue de 19.66 m ± 1.45 m. La altura promedio fue 7.2 m del estrato inferior, 16.9 m en el estrato medio y 22.6 m en el estrato superior.



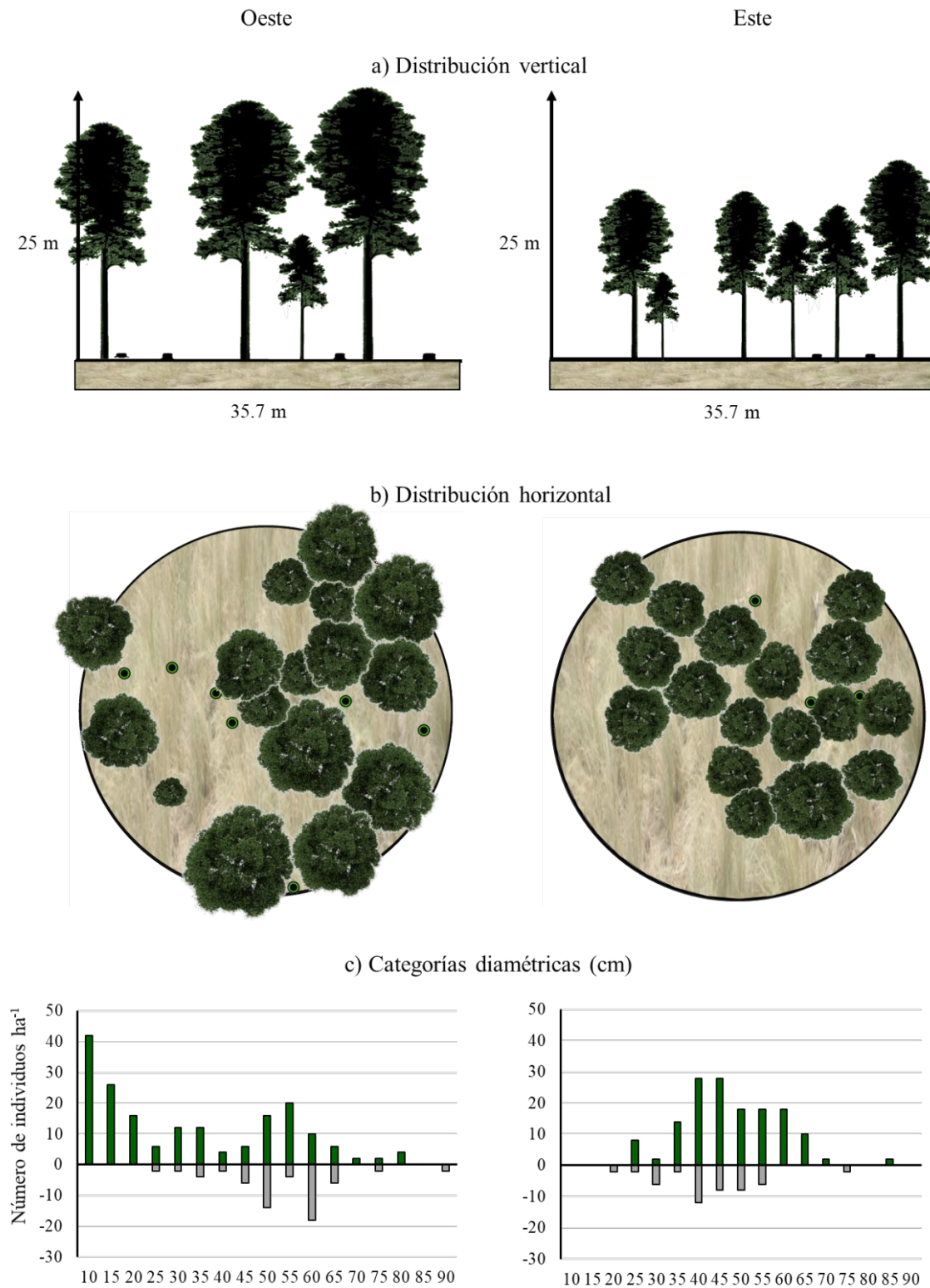


FIGURA 2. Estructura vertical (a), estructura horizontal (b), y distribución diamétrica de los sitios de medición de extracción forestal (c), en dos exposiciones del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca.

Los círculos de color verde claro con un punto al centro representan los tocones resultantes de la corta de saneamiento.





La distribución de los diámetros después de la corta de saneamiento de 2016 se modificó para las dos exposiciones (c). La figura 2 esquematiza la distribución diamétrica en intervalos de clase de 5 cm, donde las barras en números positivos representan a los árboles vivos (color verde) y las barras en números negativos (color gris) representan los diámetros que tenían los árboles que fueron removidos por el saneamiento.

Las categorías diamétricas más afectadas en la exposición oeste por la presencia de plagas y plantas parásitas son 50 (47.5 cm - 52.4 cm) y 60 (57.5 cm - 62.4 cm). Por ello, presentan un número alto de individuos en las categorías de menor talla correspondiente a 10 (7.5 cm - 12.4 cm), 15 (12.5 cm - 17.4 cm) y 20 (17.5 cm - 22.4 cm). En la exposición este los individuos saneados correspondían a las categorías 40 (37.5 cm - 42.4 cm), 45 (42.5 cm - 47.4 cm) y 50 (47.5 cm - 52.4 cm). La intervención dejó una distribución de tipo normal, que sugiere poblaciones cuya regeneración ha sido temporalmente interrumpida por pastoreo o extracción forestal (Endara-Agramont et al., 2012).

### Análisis de competencia

El índice de densidad de rodales de Reineke (IDRR) previo al saneamiento corresponde a rodales con un grado de densidad suficiente, esta condición permite prescribir aclareos u otras cortas (no totales) para *Pinus hartwegii* (Musálem-Santiago y Solís Pérez, 2000; Tabla 3). Además, refiere una condición de la densidad que un rodal puede soportar, independiente de la edad y de la calidad de sitio (Hernández Ramos et al., 2013).

Una vez ocurrida la intervención de saneamiento, los sitios de la exposición oeste cambiaron a un IDRR deficiente. Los valores del factor de competencia de copa se redujeron de forma más drástica también en los sitios de la exposición oeste, debido a que los individuos extraídos por el saneamiento correspondían a clases diamétricas mayores.

Los índices de competencia presentaron valores mayores en los sitios de la exposición oeste (Tabla 3). Se encontró que el patrón de distribución obtenido a partir de ANN está estrechamente relacionado con el comporta-

miento de los índices de competencia de Hegyi y Martin & Ek. Para ambos índices los valores altos de competencia se asociaron a sitios con patrón de distribución agrupada, y los valores bajos de competencia corresponden a sitios con un patrón de distribución dispersa (Hegyi, 1974; Martin y Ek, 1984).

### Estandarización de crecimiento mediante el incremento en área basal

La presente investigación se fundamentó en la colecta de núcleos de crecimiento de todos los árboles al interior del sitio de muestreo (Abrams y Hock, 2006). Con base en una perspectiva dendroecológica, se efectuó la medición de anchuras de anillos de crecimiento de 221 núcleos de crecimiento, que correspondieron a 166 árboles vivos y 45 muestras de tocones (en diez tocones la pudrición del tocón no permitió coleccionar la muestra de madera). En los sitios de la exposición oeste se midieron 123 muestras, 92 corresponden a árboles vivos y 31 a tocones. En la exposición este se midieron 98 núcleos de crecimiento, de los cuales 74 pertenecen a árboles vivos y 24 a tocones.

El crecimiento se evaluó en los árboles no competidores con el árbol extraído (ubicados en un radio mayor a 7.5 m del tocón). Estos árboles se consideraron como muestras testigo, porque no se esperaba un efecto relacionado con el saneamiento ocurrido en 2016. La extensión máxima de las series de crecimiento fue de 170 años para las dos exposiciones evaluadas. Las series de crecimiento permitieron conocer que las mayores anchuras de anillo en *Pinus hartwegii* se presentan durante los primeros 30 años (Mansfield et al., 2007).

El incremento en el crecimiento de los árboles remanentes después de intervenciones de manejo puede ser verificado en escalas de tiempo amplias mediante estudio de anillos de crecimiento (Rozas, 2004). *Pinus hartwegii* al desarrollarse en condiciones extremas responde con correlaciones estadísticamente significativas de clima-crecimiento en el centro y norte de México (Villanueva Díaz et al., 2015). Los árboles que mejor captan la señal climática se localizan en terrenos de ladera con poca disponibilidad

de humedad, generalmente tienen la punta seca, tallo y corteza torcida, copa no cónica, ramas caídas (Villanueva Díaz et al., 2004) o árboles dominantes de apariencia longeva (Gutiérrez García y Ricker, 2019).

El IAB se usó directamente en lugar de la anchura del anillo, porque es menos dependiente de la edad (Biondi y Qeadan, 2008). El efecto de la edad cambial en las propiedades del anillo de crecimiento interactúa con factores como manejo, la ubicación geográfica y/o el sitio (Gullett et al., 2012). En las series de anillos de crecimiento mayores de 15 años, el efecto de la edad cambial disminuye (Ivković et al., 2013), por ello los árboles menores a 15 años no fueron considerados en el análisis de IAB del presente estudio.

Se encontraron diferencias altamente significativas en el IAB entre las exposiciones evaluadas ( $F = 2.147$ ;  $g.l. = 4646$ ;  $P < 0.0001$ ). Se compararon dos periodos de crecimiento, previo y después del saneamiento. La exposición oeste previo al saneamiento tuvo IAB de  $301.67 \text{ mm}^2 \pm 27 \text{ mm}^2$ , y después de la intervención  $414.25 \text{ mm}^2 \pm 30 \text{ mm}^2$  (aumentó en 37.3 %). La exposición este del volcán antes del saneamiento tuvo un IAB de  $296.10 \text{ mm}^2 \pm 9.8 \text{ mm}^2$ , y pasada la corta de árboles  $478.57 \text{ mm}^2 \pm 42$

$\text{mm}^2$  (aumentó en 61.62%). Es posible que el registro de anillos de árboles sea en gran medida, un reflejo del desarrollo del rodal (Copenheaver y Abrams, 2003).

La figura 3 muestra que en ambas exposiciones el IAB de los árboles remanentes circundantes y cercanos a los tocones aumentó significativamente después de la corta de saneamiento (línea verde). El IAB de los árboles plagados (línea café) era menor que el de los árboles sanos, esto se explica porque la presencia de muérdagos y escarabajos descortezadores reducen el crecimiento radial de la madera en las especies forestales (Sangüesa-Barreda et al., 2015). Se presenta el IAB de los árboles no competidores con el árbol extraído, ubicados en un radio mayor a los 7.5 m del tocón (línea azul).

Una forma de evaluar la mayor o menor competencia de los árboles remanentes es considerar su distancia al tocón (Esper et al., 2012). El IAB de los árboles remanentes como respuesta al saneamiento fue diferente con relación al número de árboles competidores, el diámetro del árbol extraído y la distancia al tocón. En la figura 4 se presenta el IAB para cada exposición analizada, las barras representan los núcleos de crecimiento, el anillo de color gris corresponde al año de extracción para saneamiento.

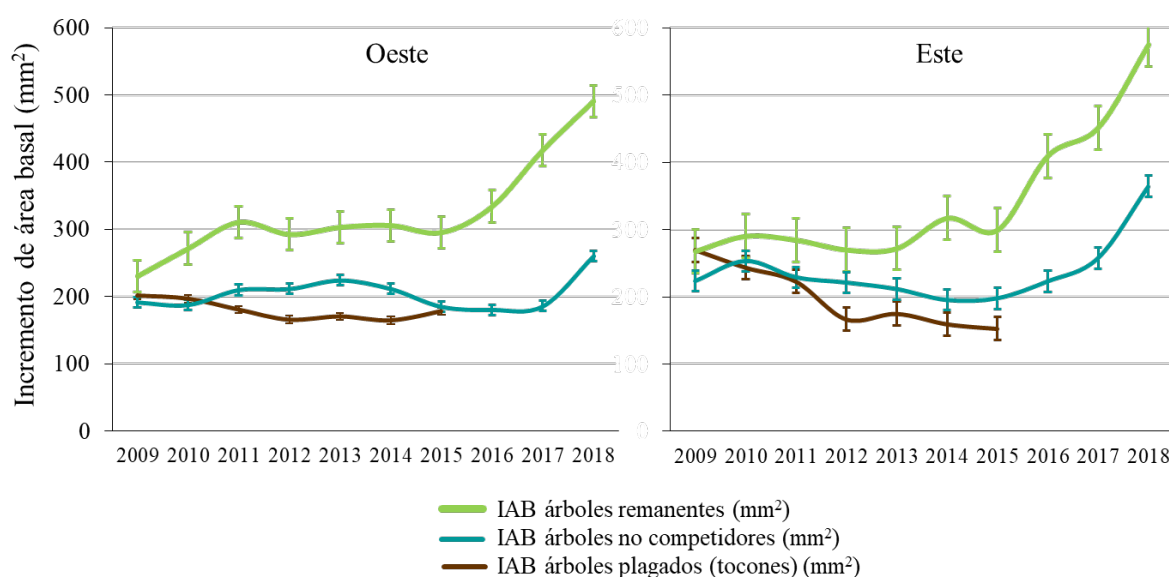


FIGURA 3. Series de crecimientos estandarizadas en incremento en área basal sobrepuestas a variables climáticas en dos exposiciones del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca.

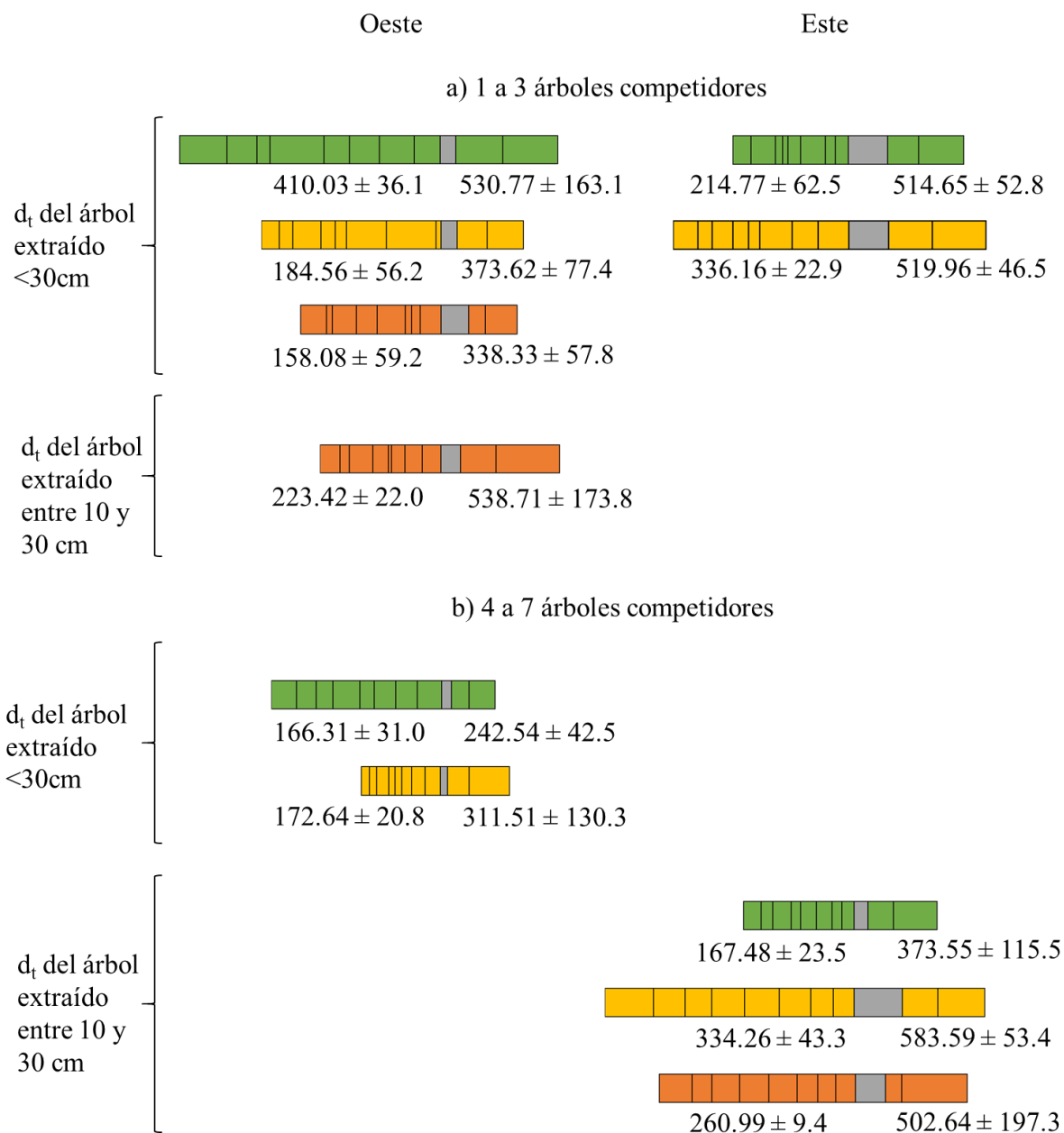


FIGURA 4. Incremento en área basal ( $\text{mm}^2$ ) para dos exposiciones del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Las barras representan los núcleos de crecimiento de los árboles remanentes alrededor del tocón del árbol extraído (naranja entre 0 a 2.5 m, amarillo de 2.6 a verde de 5.1 a 7.5 m). El anillo gris corresponde al año de extracción.

Se presentan dos condiciones de competencia, la primera es cuando en el radio de 7.5 m alrededor del tocón había de 1 a 3 árboles (a), y en la segunda condición había de 4 a 7 árboles (b). Se categorizaron las distancias de los árboles remanentes, de 0 m a 2.5 m (color naranja), de 2.6 m a 5 m (color amarillo), y de 5.1 m a 7.5 m (color verde). También

se consideró el diámetro del tocón del árbol extraído, cuando midió entre 10 cm y 30 cm, y cuando el  $d_t$  era mayor a 30 cm.

El IAB de los árboles remanentes en el período posterior al saneamiento fue mayor que el período previo en todos los casos. Este aumento en el crecimiento tiene

diferencias significativas de conformidad con la distancia del tocón en las dos exposiciones (exposición oeste  $F=4.092$ ,  $g.l.=56$ ,  $P<0.002$ ; y en la exposición Este  $F=6.357$ ,  $g.l.=56$ ,  $P<0.003$ ). Los árboles remanentes ubicados en la periferia entre los 2.6 m y 5 m con respecto al tocón presentaron los mayores incrementos de IAB.

### Las cortas de saneamiento en el bosque de *Pinus hartwegii*

El manejo de la densidad mediante las cortas de saneamiento permite reducir la competencia para obtener estabilidad biológica y mejorar la salud, mantener la composición y preparar los rodales para la regeneración natural, e incrementar las dimensiones de los árboles remanentes (Montero et al., 2000).

Amoroso y Larson (2010) han propuesto imitar los procesos que inducen la mortalidad mediante cortas parciales y estimular el proceso de regeneración natural en claros ampliando la corta alrededor de árboles muertos y enfermos, como un sistema de selección en grupos (cortas en claros de dosel) antes de que los árboles mueran o manifiesten la defoliación, procurando lograr bosques más sanos. La corta de saneamiento sobre el crecimiento radial del arbolado en el bosque de *Pinus hartwegii* del APFFNT incrementó el crecimiento de los árboles remanentes.

Sosa Díaz et al. (2018) refieren que, si bien la distribución de plagas forestales en México es incierta, el análisis sobre las áreas potenciales de bosques por ser afectados encuentra a bosques con pocas especies hospederas, densidades bajas y diámetros pequeños como un blanco idóneo. Estas particularidades se ajustan a las características de los bosques de *Pinus hartwegii* (Musálem-Santiago y Solís Pérez, 2000). Los árboles afectados por la presencia de plagas y enfermedades forestales presentaron una disminución del crecimiento y la corta de saneamiento realizada en 2016 promovió el reclutamiento y pulsos de crecimiento importantes en los árboles remanentes.

El análisis de anillos de crecimiento es una herramienta valiosa y confiable para evaluar la sustentabilidad de los regímenes de tala y para proyectar los rendimientos de

madera (Brienen y Zuidema, 2006). El desarrollo de investigación dendroecológica en el pino de alta montaña es un punto de partida para la implementar estrategias de manejo encaminadas a la conservación, el saneamiento y la restauración de estos ecosistemas.

## CONCLUSIONES

Las cortas de saneamiento al interior de los rodales de *Pinus hartwegii* trajeron consigo cambios estructurales en la distribución de individuos entre las clases de diámetro y la disposición de los individuos en diferentes estratos de dosel.

El crecimiento radial posterior a las cortas de saneamiento en rodales de *Pinus hartwegii* obedece en gran medida a la reducción de competencia. La estandarización del crecimiento mediante el IAB permitió encontrar que, comparado con el registrado previo al saneamiento forestal, este aumentó significativamente en los árboles remanentes alrededor del tocón. Los árboles remanentes ubicados entre 2.6 m y 5 m con respecto al tocón registraron los mayores incrementos.

*Pinus hartwegii* es una especie propensa a plagas forestales, que limitan su crecimiento, realizar cortas de saneamiento en estos bosques ayuda a la restauración y conservación de estos bosques residuales, al promover una mayor disponibilidad de luz, factor esencial para producir rendimientos óptimos en el incremento de plantas heliófilas.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por la beca de doctorado 175495. Así mismo, al financiamiento parcial para el desarrollo de este trabajo otorgado por el Proyecto CONAFOR-UAEMex 3668/2014E.

## REFERENCIAS

- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.02.019>



- Albuquerque, R. P., Brandes, A. F. N., Lisi, C. S., Moraes, L. F. D. D., & Barros, C. F. (2019). Tree-ring formation, radial increment and climate-growth relationship: assessing two potential tree species used in Brazilian Atlantic forest restoration projects. *Trees*, 33(3), 877-892. <https://doi.org/10.1007/s00468-019-01825-6>
- Amoroso, M., & Larson, B. C. (2010). Stand development patterns as a consequence of the mortality in *Austrocedrus chilensis* forests. *Forest Ecology and Management*, 259(10), 1981-1992. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.02.009>
- 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. <https://doi.org/10.7818/ecos.2015.24-2.01>
- Arreola-Ortiz, M. R., González-Elizondo, M., & Nívar-Cháidez, J. J. (2010). Dendrocronología de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco de la Sierra Madre Oriental en Nuevo León, México. *Madera y Bosques*, 16(1), 71-84. <https://doi.org/10.21829/myb.2010.1611180>
- Astudillo, C., Villanueva Diaz, J., Endara Agramont, A. R., Nava Bernal, G., & Gómez Albores, M. (2017). Influencia climática en el reclutamiento de *Pinus hartwegii* Lindl. del ecotono bosque-pastizal alpino en Monte Tláloc, México. *Agrociencia*, 51(105-118).
- Biondi, F., & Qeadan, F. (2008). A Theory-Driven Approach to Tree-Ring Standardization: Defining the Biological Trend from Expected Basal Area Increment. *Tree-Ring Research*, 64(2), 81-96. <https://doi.org/10.3959/2008-6.1>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.01.038>
- Burkhardt, H. E., & Tomé, M. (2012). *Modeling Forest Trees and Stands*. Netherlands: Springer.
- Calderón de Rzedowski, G., & Rzedowski, J. (2005). *Flora fanerogámica del Valle de México*. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Comisión Nacional Forestal [Conafor] (2012). *Inventario Nacional Forestal y de Suelos Informe de Resultados 2004-2009*. Coordinación General de Planeación e Información-Gerencia de Inventario Forestal y Geomática de la Comisión Nacional Forestal <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. [https://doi.org/10.1016/s0378-1127\(03\)00049-5](https://doi.org/10.1016/s0378-1127(03)00049-5)
- Copenheaver, C. A., Black, B. A., Stine, M. B., McManamay, R. H., & Bartens, J. (2009). Identifying dendroecological growth releases in American beech, jack pine, and white oak: Within-tree sampling strategy. *Forest Ecology and Management*, 257(11), 2235-2240. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.02.031>
- Corral-Rivas, J. J., Barrio-Anta, M., Aguirre-Calderon, O. A., & Dieguez-Aranda, U. (2007). Use of stump diameter to estimate diameter at breast height and tree volume for major pine species in El Salto, Durango (Mexico). *Forestry*, 80(1), 29-40. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpl048>
- Corral Rivas, J., Álvarez. González, J., Aguirre Calderón, O. A., & Hernández, F. J. (2005). The effect of competition on individual tree basal area growth in mature stands of *Pinus cooperi* Blanco in Durango (Mexico). *European Journal of Forest Research*, 124, 133-142. <https://doi.org/10.1007/s10342-005-0061-y>
- Correa-Díaz, A., Silva, L. C. R., Horwath, W. R., Gómez-Guerrero, A., Vargas Hernández, J., Villanueva-Díaz, J., . . . Suárez-Espinoza, J. (2019). Linking Remote Sensing and Dendrochronology to Quantify Climate-Induced Shifts in High-Elevation Forests Over Space and Time. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 124(1), 166-183. <https://doi.org/10.1029/2018jg004687>
- Donoso, P., Promis, Á., & Soto, D. (2018). *Silvicultura en bosques nativos Experiencias en silvicultura y restauración en Chile, Argentina y el oeste de Estados Unidos*. The Chile Initiative, OSU College of Forestry.
- Endara-Agramont, A. R., Maass, S. F., Bernal, G. N., Hernández, J. I. V., & Fredericksen, T. S. (2012). Effect of human disturbance on the structure and regeneration of forests in the Nevado de Toluca National Park, Mexico. *Journal of Forestry Research*, 23(1), 39-44. <https://doi.org/10.1007/s11676-012-0226-8>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.07.047>
- Farjon, A., & Styles, B. T. (1997). *Pinus (Pinaceae) Flora Neotropica*. New York Botanical Garden.
- García, E. (1981). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Guay, R., Gagnon, R., & Morin, H. (1992). A new automatic and interactive tree ring measurement system based on a line scan camera. *The Forestry Chronicle*, 68(1), 138-141. <https://doi.org/10.5558/tfc68138-1>
- Guller, B., Isik, K., & Cetinay, S. (2012). Variations in the radial growth and wood density components in relation to cambial age in 30-

- year-old *Pinus brutia* Ten. at two test sites. *Trees*, 26(3), 975-986. <https://doi.org/10.1007/s00468-011-0675-2>
- Gutiérrez García, G., & Ricker, M. (2019). Influencia del clima en el crecimiento radial en cuatro especies de coníferas en la sierra de San Antonio Peña Nevada (Nuevo León, México). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90, e902676. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2676>
- Healey, J., & Colin Price, J. (2000). The cost of carbon retention by reduced impact logging. *Forest Ecology and Management*, 139(1-3), 237-255. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00385-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00385-6)
- Hegyí, F. (1974). A simulation model for managing jack-pine stands. En Bravo, F. (Coord.), *Growth models for tree and stand simulation* (pp. 74-90). IUFRO.
- Hernández Ramos, J., García Magaña, J. J., Muñoz Flores, J., García Cuevas, X., Sáenz Reyes, T., Flores López, C., & Hernández Ramos, A. (2013). Guía de densidad para manejo de bosques naturales de *Pinus teocote* Schlecht. et Cham. en Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(19), 62-77.
- Holmes, R. (1983). Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 43, 69-78.
- Ivković, M., Gapare, W., Wu, H., Espinoza, S., & Rozenberg, P. (2013). Influence of cambial age and climate on ring width and wood density in *Pinus radiata* families. *Annals of Forest Science*, 70(5), 525-534. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0290-z>
- Krajicek, J., Brinkman, K., & Gingrich, S. (1961). Crown competition, a measure of density. *Forest Science*, 7(1), 5-42. <https://cmappublic3.ihmc.us/rid=1N4TSFQX6-GWW4BN-14PZ/Crown%20competition%20-%20A%20measure%20of%20density.pdf>
- Kukarskih, V. V., Devi, N. M., Bubnov, M. O., Komarova, A. V., & Agafonov, L. I. (2022). Radial growth of Scots pine in urban and rural populations of Ekaterinburg megalopolis. *Dendrochronologia*, 74. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2022.125974>
- Mansfield, S. D., Parish, R., Goudie, J. W., Kang, K.-Y., & Ott, P. (2007). The effects of crown ratio on the transition from juvenile to mature wood production in lodgepole pine in western Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 37(8), 1450-1459. <https://doi.org/10.1139/x06-299>
- Manzanedo, R., & Pederson, N. (2019). Towards a More Ecological Dendroecology. *Tree-Ring Research*, 75(2), 152-159. <https://doi.org/10.3959/1536-1098-75.2.152>
- Martin, G. L., & Ek, A. R. (1984). A comparison of competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth. *Forest Science*, 30(3), 731-743. <https://doi.org/10.1093/forestscience/30.3.731>
- Meza, J., Vargas Hernández, J., López Upton, J., Vaquera, H., & Borja de la Rosa, A. (2005). Determinación de la edad de transición de madera juvenil a madura en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Ra Ximhai*, 1(2), 305-324.
- Mitchell, A. (2005). La Guía de ESRI para el análisis SIG (Version 2). Madrid: ESRI Press.
- Montero, G., Del Río Gaztelurrutia, M., & Ortega, C. (2000). Ensayo de claras en una masa natural de *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Central. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, 9(1), 147-168. <https://recyt.fecyt.es/index.php/IA/article/view/2618>
- Mostacedo, B., & Fredericksen, T. S. (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR).
- Musálem-Santiago, M. Á., & Solís Pérez, M. A. (2000). *Monografía de Pinus hartwegii* (Vol. Libro Técnico No. 3). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Navarrete Espinoza, E., Cárcamo Ojeda, J., & Novoa Barra, P. (2008). Modelos de crecimiento diametral para *Austrocedrus chilensis* en la cordillera de Nahuelbuta, Chile: una interpretación biológica. *Ciencia e Investigación Agraria*, 33(3), 311-320.
- Padmakumar, B., Sreekanth, N. P., Shanthiprabha, V., Paul, J., Sreedharan, K., Augustine, T., Jayasooryan, K. K., Rameshan, M., Mohan, M., Ramasamy E. V., & Thomas, A. P. (2018). Tree biomass and carbon density estimation in the tropical dry forest of Southern Western Ghats, India. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 11(4), 534-541. <https://doi.org/10.3832/ifor2190-011>
- Perry, J. (1991). *The pines of Mexico and Central America*. Timber Press.
- Regent-Instruments-Canada. (2016). WinDENDRO 2016a for tree-ring analysis (Version 2016B). Regent Instruments Canada Inc. <http://www.regentinstruments.com/>
- Reineke, L. (1933). Perfecting a stand density index for even-aged forests. *Journal of Agricultural Research*, 46(12), 627-638. <https://naldc.nal.usda.gov/download/IND43968212/PDF>
- Ricker, M., Gutiérrez-García, G., & Daly, D. (2007). Modeling long-term tree growth curves in response to warming climate: test cases from a subtropical mountain forest and a tropical rainforest in Mexico. *Canadian Journal of Forest Research*, 37(5), 977-989. <https://doi.org/10.1139/X06-304>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.03.018>
- Rojas-García, F., Gómez-Guerrero, A., Gutiérrez García, G., Ángeles Pérez, G., Reyes Hernández, V. J., & De Jong, B. H.





- J. (2020). Aplicaciones de la dendroecología en el manejo forestal: una revisión. *Madera y Bosques*, 26(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2632116>
- Rojas-García, F., & Villers Ruiz, L. (2008). Estimación de la biomasa forestal del Parque Nacional Malinche: Tlaxcala-Puebla. *Revista Ciencia Forestal en México*, 33(104), 59-86.
- Rojas-García, F., Fredericksen, T. S., Vázquez Lozada, S., & Endara Agramont, A. R. (2019). Impact of timber harvesting on carbon storage in montane forests of central Mexico. *New Forests*, 50, 1043-1061. <https://doi.org/10.1007/s11056-019-09714-z>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.02.058>
- Sangüesa-Barreda, G., Camarero, J. J., Linares, J. C., Hernández, R., Oliva, J., Gazol, A., González de Andrés, E., Montes, F., García-Martín, A., & de la Riva, J. (2015). Papel de los factores bióticos y las sequías en el decaimiento del bosque: aportaciones desde la dendroecología. *Ecosistemas*, 24(2), 15-23. <https://doi.org/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. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2005.07.001>
- Sosa Díaz, L., Méndez González, J., García Aranda, M. A., Cambrón Sandoval, V. H., Villarreal Quintanilla, J. Á., Ruiz González, C. G., & Montoya Jiménez, J. C. (2018). Distribución potencial de barrenadores, defoliadores, descortezadores y muérdagos en bosques de coníferas de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(47), 187-208. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.159>
- Sotelo-Ruiz, E., González Hernández, A., Cruz Bello, G., Moreno Sánchez, F., & Cruz Cárdenas, G. (2011). Los suelos del Estado de México y su actualización a la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo 2006. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(8), 71-84.
- 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). <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2018.09.064>
- Valles-Gándara, A. G., & Valadez-Castro, R. C. (2006). Evaluación de índices de competencia independientes de la distancia para predecir el crecimiento de bosques mezclados en San Dimas, Durango. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 12(1), 39-44.
- Villanueva Díaz, J., Cerano Paredes, J., Stahle, D. W., Therrell, M., Cleaveland, M., & Sánchez Cohen, I. (2004). *Elementos básicos de la dendrocronología y sus aplicaciones en México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.
- Villanueva Díaz, J., Cerano Paredes, J., Vázquez Selem, L., Stahle, D. W., Fulé, P. Z., Yocom, L., Franco Ramos, O., & Ruiz Corral, J. A. (2015). Red dendrocronológica del pino de altura (*Pinus hartwegii* Lindl.) para estudios dendroclimáticos en el noreste y centro de México. *Investigaciones Geográficas*, 86, 5-14. <https://doi.org/10.14350/rig.42003>
- Viveros-Viveros, H., Sáenz-Romero, C., Vargas Hernández, J., López Upton, J., Ramírez Valverde, G., & Santacruz-Varela, A. (2009). Altitudinal genetic variation in *Pinus hartwegii* Lindl. I: Height growth, shoot phenology, and frost damage in seedlings. *Forest Ecology and Management*, 257, 836-842. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.10.021>
- Yamaguchi, D. (1991). A simple method for cross-dating increment cores from living trees. *Canadian Journal of Forest Research*, 21(3), 414-416. <https://doi.org/10.1139/x91-053>
- Yocom, L., Fulé, P. Z., Brown, P. M., Cerano, J., Villanueva-Díaz, J., Falk, D., & Cornejo-Oviedo, E. H. (2010). El Niño-Southern Oscillation effect on a fire regime in northeastern Mexico has changed over time. *Ecology*, 91(6), 1660-1671. <https://doi.org/10.1890/09-0845.1>

Manuscrito recibido el 16 de julio de 2021

Aceptado el 28 de mayo de 2022

Publicado el 16 de noviembre de 2022

Este documento se debe citar como:

Rojas-García, F., Gómez-Guerrero, A., Endara-Agramont, Á. R., Gutiérrez García, G., Reyes Hernández, V. J., Ángeles Pérez, G., & de Jong, B. H. J. (2022). Efecto de corta de saneamiento sobre el crecimiento radial del bosque de *Pinus hartwegii*. *Madera y Bosques*, 28(2), e2822402. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2822402>



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