



Efecto de cuatro tratamientos silvícolas en la producción maderable en un Bosque de Durango

Effect of four silvicultural treatments on timber production in a Forest in Durango

Jesús Alejandro Soto Cervantes¹, Jaime Roberto Padilla Martínez², Pedro Antonio Domínguez Calleros³, Artemio Carrillo Parra⁴, Rodrigo Rodríguez Laguna⁵, Marín Pompa García³, Emily García Montiel^{3*} y José Javier Corral Rivas³

Abstract

Forest management through the use of the right forestry treatments allows achieving persistence, sustained yield and maximum production of forests. The objective of this work was to assess the increment in stem volume of *Pinus durangensis* trees, from the analysis of the growth-rings by means of the stem analysis technique in stands subjected to four forestry treatments. The treatments were clear-cutting, regeneration cut with parent trees (applied in 2007), selective cut and thinning, applied in year 2010. A total of sixteen sampling trees of *Pinus durangensis* collected in sites of 100 m² distributed randomly by treatment were used in the study. From each tree sections for ring growth analysis were obtained at the base, at 1.3 m and subsequently each meter until reaching the top. The diameter and height of the trees were estimated every two growth rings and later the volume was estimated, to finally estimate the values of ICA and the IMA growth in two-year intervals. The results of the non-parametric *Kruskal Wallis* test showed significant differences ($p < 0.05$) of ICA and IMA in most of the forestry treatments. The clear-cutting turned out to be the treatment with the highest ICA and IMA values for all ages studied.

Key words: Stem analyzes, growth rings, Annual Current Increase, Average Annual Increase, clear-cutting, *Pinus durangensis* Martínez.

Resumen

El manejo forestal a través de la aplicación de tratamientos silvícolas adecuados permite lograr la persistencia, el rendimiento sostenido y la máxima producción de los bosques. El objetivo de este trabajo fue evaluar el incremento en volumen fustal de árboles de *Pinus durangensis*, a partir del análisis de los anillos de crecimiento mediante la técnica del análisis troncal en rodales sometidos a cuatro tratamientos silvícolas; los cuales fueron cortas de regeneración con árboles Padre (realizada en 2007), matarrasa, selección y de aclareo aplicados en el año 2010. Se estudiaron 16 árboles muestra de *Pinus durangensis* recolectados en sitios de 100 m², distribuidos al azar por cada tratamiento. Para el análisis troncal, por individuo se obtuvo una rodaja a la base, otra a 1.3 m sobre el nivel del suelo y posteriormente cada metro hasta llegar a la punta. Se estimó el diámetro y la altura de los árboles cada dos anillos de crecimiento y se estimó el volumen, para finalmente conocer los incrementos (ICA e IMA) en intervalos de dos años. Los resultados de la prueba no paramétrica de *Kruskal Wallis* mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el ICA e IMA en la mayoría de los tratamientos silvícolas evaluados. La matarrasa resultó ser la práctica con los mayores valores de ICA e IMA para todas las edades estudiadas.

Palabras clave: Análisis troncales, anillos de crecimiento, Incremento Corriente Anual, Incremento Medio Anual, matarrasa, *Pinus durangensis* Martínez.

Fecha de recepción/Reception date: 21 de febrero de 2021

Fecha de aceptación/Acceptance date: 11 de agosto de 2021

¹Universidad Juárez del Estado de Durango, Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales. México.

²University of Göttingen, Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology, Department of Forest Economics and Sustainable Land-use Planning. Germany.

³Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Forestales. México.

⁴Universidad Juárez del Estado de Durango, Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera. México.

⁵Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: e_garcia@ujed.mx

Introducción

El estado de Durango tiene una superficie forestal de 5.5 millones de hectáreas, de las cuales aproximadamente 2 millones están bajo aprovechamiento (SRNyMA, 2011). En el año 2017 su producción maderable neta fue de 2 559 297 m³, que representa 28.4 % del total nacional (Semarnat, 2017). Los métodos de manejo forestal más empleados en los bosques del estado de Durango son el Método de Desarrollo Silvícola (MDS), que se caracteriza por la realización de aprovechamientos periódicos para asegurar que el bosque se renueve, mediante la plantación o regeneración natural; y con ello, se inducen masas arbóreas de tipo coetáneo (Gadow *et al.*, 2004; Solís *et al.*, 2006); y el Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI) que está dirigido a la aplicación de cortas selectivas que promueven el mantenimiento de una estructura irregular, compuesta por individuos de distintas dimensiones (Gadow y Pummalainen, 2000; Lira-Tuero *et al.*, 2019).

El manejo forestal sustentable en la actualidad requiere de estudios que describan la dinámica de incremento y rendimiento maderable de las masas forestales (Návar-Cháidez, 2010; Fierros-Mateo *et al.*, 2017), con la finalidad de que las prácticas silvícolas favorezcan la masa residual (Monárrez-González *et al.*, 2018). Además, provee elementos para mejorar la productividad, con base en las características de composición y estructura del bosque (Solís *et al.*, 2006; Návar-Cháidez y González-Elizondo, 2009). Adicionalmente, el principal reto del manejo forestal sustentable es la correcta aplicación de las intensidades de corta que conserven la diversidad biológica de los bosques, su productividad, capacidad de regeneración y su capacidad de cumplir, en el presente y en el futuro, otras funciones ecológicas, económicas y sociales (Aguirre-Calderón, 2015; Manzanilla *et al.*, 2020). De igual manera, dichos estudios deben contemplar la conservación de la composición de especies, de la estructura forestal, del paisaje y sus valores

agregados; factores claves en los nuevos estándares del manejo forestal sustentable (Hernández-Salas *et al.*, 2013).

La evaluación de los efectos de los tratamientos silvícolas en distintos tipos de masas forestales es un elemento clave para la optimización de la productividad forestal en áreas sujetas al aprovechamiento maderable (Gadow *et al.*, 2004). El volumen y el área basal por hectárea son elementos utilizados para determinar la productividad forestal, y su control se realiza por medio de prácticas silvícolas como aclareos o cortas selectivas (Daniel *et al.*, 1982). Sin embargo, es importante considerar que el número óptimo de árboles residuales de un rodal es un aspecto que depende de factores biológicos, tecnológicos y operacionales (Diéguez-Aranda *et al.*, 2009; Cabrera-Pérez *et al.*, 2019).

Por otro lado, la calidad de estación también es un factor que influye en la producción de madera de un rodal, debido a la interacción de factores climáticos, topográficos y edáficos que combinados resultan favorables para el desarrollo de los árboles (Clutter *et al.*, 1983; Castillo *et al.*, 2013).

El Incremento Corriente Anual (ICA) y el Incremento Medio Anual (IMA) permiten conocer la edad óptima de rotación o corta de una plantación y maximizar el volumen aprovechable (Santiago-García *et al.*, 2015; Cardalliaguet *et al.*, 2019). Estas estimaciones son un elemento clave en el manejo forestal, ya que ayudan a calcular la cosecha, el turno y la periodicidad de las intervenciones silvícolas. A través de las curvas de ICA e IMA se conoce la edad con el máximo incremento en diámetro, altura y volumen (turno de máximo rendimiento) (Quiñonez-Barraza *et al.*, 2015).

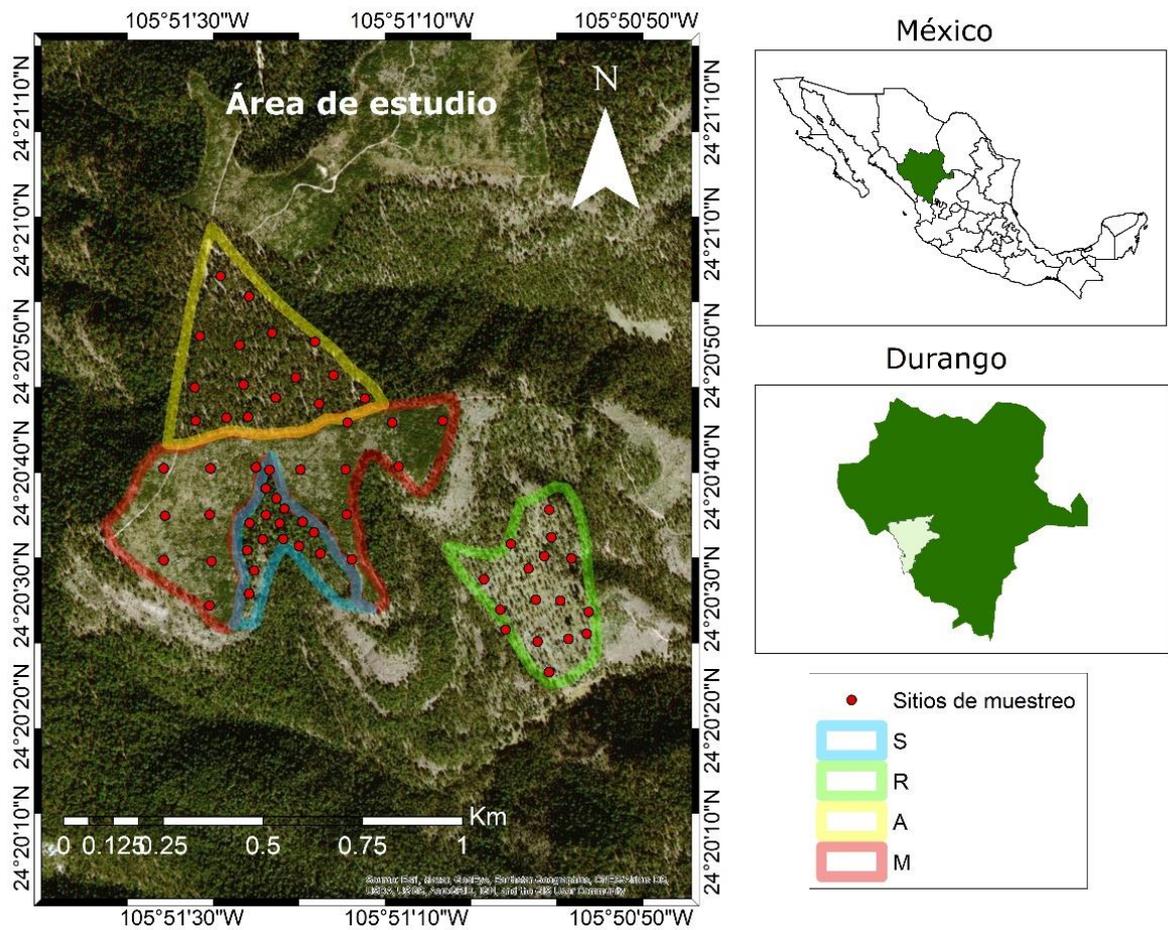
El objetivo de la presente investigación fue evaluar el incremento en volumen fustal a partir del análisis de los anillos de crecimiento de árboles en rodales manejados con cuatro tratamientos silvícolas.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El área de estudio correspondió al predio particular Las Veredas, municipio San Dimas, Durango, México (Figura 1). Se ubica en las coordenadas 24°20'40" N y 105°51'20" O, en la provincia fisiográfica denominada Sierra Madre Occidental, subprovincia 16 Mesetas y Cañadas del Sur. El área presenta un intervalo altitudinal de 2 600 a 2 800 m; el clima es templado, con lluvias en verano (C_w) (García, 2004), la cual ocurre comúnmente entre los meses de julio y septiembre, con precipitación media anual acumulada de 1 034.5 mm, conforme a la estación climatológica de la localidad Vencedores, localizada a 15 km del área de estudio. La temperatura varía de -3 a 18 °C, su topografía es de sierra con laderas definidas u onduladas, pendientes de 0 a 50 % (Silva-Flores *et al.*, 2014). La vegetación está caracterizada por bosques mixtos de coníferas y latifoliadas, las especies de pino dominantes son *Pinus durangensis* Martínez, *Pinus cooperi* Blanco, *Pinus teocote* Schiede ex Schldl. y *Pinus strobiformis* Engelm. Los taxa de encino característicos son: *Quercus rugosa* Née y *Quercus sideroxylla* Bonpl, además existe presencia de árboles de los géneros *Juniperus* spp., *Arbutus* spp., y *Alnus* spp., entre otras (González-Elizondo *et al.*, 2012).





M = Matarrasa; R = Corta de regeneración con árboles padre; A = Aclareo, S = Selección.

Figura 1. Localización del área de estudio.

En el predio se identificaron cuatro áreas de corta, en las cuales se registró el tratamiento y el año de aplicación. A continuación, se describen los tratamientos evaluados: (i) matarrasa 2010, con plantación inmediata de *Pinus durangensis* y *Pinus cooperi*, con densidad de 2 500 plantas ha⁻¹ (2 m × 2 m); (ii) corta de regeneración con árboles Padre 2007, intensidad de corta de 70 %; (iii) corta de selección 2010, con intensidad de corta de 30 %; y (iv) aclareo 2010 (tercero de acuerdo con el programa de manejo), con una intensidad de corta de 35 %.

Sitios de muestreo

Para el establecimiento y distribución de los sitios se consideró como referencia la metodología de la Comisión Nacional Forestal (Conafor, 2013) para evaluar la supervivencia inicial en plantaciones. Esta metodología solo se utilizó en el subrodal de la matarrasa, ya que en los otros tratamientos, únicamente se buscó tener el mismo número de árboles con características similares. El tipo de muestreo usado para evaluar el incremento fustal fue destructivo; para ello, se seleccionaron 16 árboles o repeticiones de *Pinus durangensis* por tratamiento (uno de cada sitio de muestreo de 100 m²) para sumar un total de 64 árboles.

La intensidad de muestreo aplicada en los tratamientos para la caracterización de los subrodales varió de 0.74 a 3.07 %, considerada adecuada debido a que la finalidad del estudio es la comparación del incremento fustal entre tratamientos con una cantidad suficiente de repeticiones, y no la estimación de variables de rodal tales como el volumen o el área basal. Los árboles muestreados se seccionaron para obtener rodajas de cinco cm de ancho a las siguientes alturas: (i) corte a nivel del suelo, (ii) corte a la altura de 1.3 m sobre al nivel del suelo, y (iii) cortes posteriores a lo largo del fuste a cada metro de longitud. Las mediciones se obtuvieron utilizando un longímetro marca Truper.

El diámetro normal por individuo se consideró como el promedio de dos mediciones en cruz de la rodaja recolectada a la altura de 1.3 m sobre el nivel del suelo; mientras que, la altura total se calculó a partir de la sumatoria de todas las secciones muestreadas (Cuadro 1). Estas mediciones se realizaron mediante una regla milimetrada.



Cuadro 1. Estadísticos descriptivos de los sitios de estudio y los árboles muestreados.

Tratamiento silvícola	Superficie (ha)	Subrodal				Árboles muestreados					
		N		G (m ²)		Edad (años)		Diámetro (cm)		Altura (m)	
		Prom	Desv	Prom	Desv	Prom	Desv	Prom	Desv	Prom	Desv
M	21.4	1 881	389	7.41	2.85	8	0	6.7	0.9	3.7	0.5
R	10.2	725	420	10.58	10.01	11	1.45	7.2	1.7	4.5	1.2
A	15.2	1 412	291	30.77	11.35	51	17.8	11.4	1.8	10.0	2.2
S	5.21	1 343	329	42.15	19.47	43	13.01	10.3	1.9	8.9	2.0

M = Matarrasa; R = Corta de regeneración con árboles padre; A = Tercer aclareo; S = Selección; N = Número de árboles por hectárea; G = Área basal por hectárea (m²); Prom = Promedio; Desv = Desviación estándar.

Determinación del diámetro a distintas edades

En las rodajas se marcaron grupos de anillos de la periferia hacia adentro en periodos de dos años, esto debido a la poca edad de los árboles muestra de los tratamientos de matarrasa y de corta de regeneración; para cada clase de edad se registró el diámetro, estimado como el promedio de la medición con mayor y menor diámetro, respectivamente. Estas mediciones se realizaron mediante una regla milimetrada.



Estimación de la altura real del árbol a la edad de corte

La altura real de un árbol a cierta edad rara vez puede obtenerse de manera directa, a través del conteo de anillos de rodajas a distintas alturas, ya que la sección del corte no coincide con el comienzo de un año (Fabbio *et al.*, 1994). Para estimar la altura real o verdadera de un árbol a cierta edad se empleó el método de Carmean (1972) modificado por Newberry (1991) (ecuaciones 1, 2 y 3), el cual se basa en los supuestos: (i) entre dos secciones, el árbol crece a un ritmo constante, y (ii) el corte se realiza, como promedio, en el centro del crecimiento en altura de un año (Machado *et al.*, 2010). Las ecuaciones empleadas para calcular la altura verdadera se muestran a continuación y varían según la sección del árbol.

$$\text{Tocón:} \quad H_{ij} = j * \frac{h_{i+1}}{0.5 + (r_i - r_{i+1})} \quad (1)$$

$$\text{Troza:} \quad H_{ij} = h_i + \frac{h_{i+1} - h_i}{2 * (r_i - r_{i+1})} + (j - 1) * \frac{h_{i+1} - h_i}{r_i - r_{i+1}} \quad (2)$$

$$\text{Punta:} \quad H_{ij} = h_i + \frac{h_{i+1} - h_i}{2 * (r_i - r_{i+1} - 0.5)} + (j - 1) * \frac{h_{i+1} - h_i}{r_i - r_{i+1} - 0.5} \quad (3)$$

Donde:

H_{ij} = Altura real o verdadera del árbol a la altura de corte de la sección i

h_i y h_{i+1} = Alturas de las secciones inferior y superior de la troza

r_i y r_{i+1} = Número de anillos de las secciones inferior y superior de la troza

j = Número de anillos o edad de la sección superior de la troza ($j=1,2, \dots, r_i$)



Con la finalidad de facilitar la comparación entre tratamientos del incremento en volumen fustal, también se estimaron las alturas reales de los árboles muestra en intervalos de dos años, por medio de una interpolación lineal. Para ello, se usaron como referencia las alturas verdaderas estimadas a las edades y diámetros de corte registrados en las secciones de los árboles muestra; y la altura real para cada individuo en intervalos de dos años, se estimó por medio de una interpolación lineal (ecuaciones 4 y 5).

$$P = \frac{h_{i+1} - h_i}{r_{i+1} - r_i} \quad (4)$$

$$H_{ik} = P * (e_i - r_i) + h_i \quad (5)$$

Donde:

P = Valor de la pendiente

H_{ik} = Altura verdadera de la sección del árbol i en intervalos de dos años

e_i = Edad de referencia de la sección del árbol i (cada dos años)

h_i y r_i = Alturas y edades conocidas en el tiempo i

Estimación del volumen

Con las estimaciones de diámetro a diferentes alturas y de altura por árbol en intervalos de dos años, se calculó el volumen por individuo individuo, mediante la cubicación de las secciones intermedias con la fórmula de *Smalian* y de la punta con la ecuación del cono. El volumen total se consideró como la sumatoria de todas las secciones, más el volumen de la punta.

Estimación del ICA y del IMA

Con fines de garantizar la comparabilidad para cada árbol muestra independiente del tratamiento silvícola, se estimaron el incremento corriente anual (ICA) y el incremento medio anual (IMA) (ecuaciones 6 y 7), en intervalos de dos años (dos, cuatro, seis y ocho años). El ICA correspondió al incremento producido cada dos años, mientras que el IMA es la media del incremento total a cierta edad de un árbol (Cardalliaguet *et al.*, 2019).

$$ICA_i = \frac{v_{i+1} - v_i}{2} \quad (6)$$

$$IMA_i = \frac{v_i}{2} \quad (7)$$

Donde:

v_{i+1} y v_i = Volumen total del árbol i en dm^3 para las clases de edad superior e inferior, respectivamente

Análisis estadístico

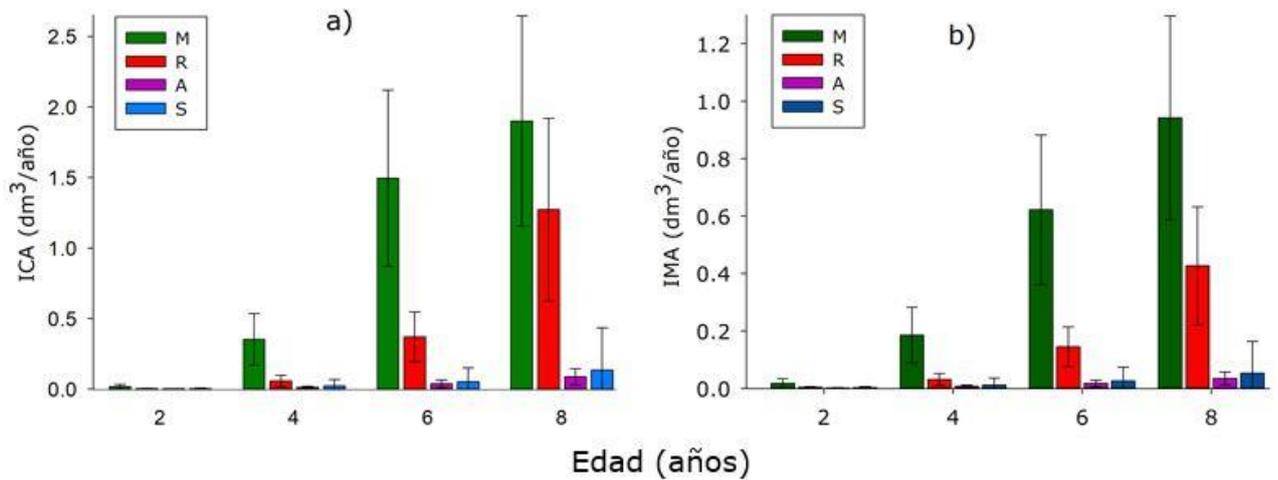
Los datos de ICA e IMA de los árboles muestreados se clasificaron por clase de edad y por tipo de tratamiento silvícola; además, se analizaron estadísticamente mediante un diseño experimental de un solo bloque completamente al azar por subrodal o área de estudio. Se usó este diseño experimental, ya que a través de bloques se separan posibles factores de confusión (por ejemplo, diferencias en edad o densidades) que pueden afectar de manera negativa los valores de las variables respuesta de los tratamientos. Se utilizó la prueba de *Shapiro-Wilks* ($P \geq$

0.05) para evaluar, si los datos de incremento de los árboles correspondían con una distribución normal; no obstante, el supuesto de normalidad fue rechazado en todos los tratamientos silvícolas evaluados, por lo que se empleó la prueba no paramétrica de *Kruskal-Wallis* para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos comparables, mediante la prueba de comparaciones de medias de *Bonferroni* ($\alpha=0.05$). Los análisis estadísticos se realizaron con el programa estadístico R® versión 3.5.3 (R Core Team, 2019).

Resultados y Discusión

El promedio y la desviación estándar del ICA e IMA para los diferentes tratamientos silvícolas a los dos, cuatro, seis y ocho años se muestran en la Figura 2, en donde se observa que la matarrasa presentó mayores valores de ICA e IMA para todas las clases de edad estudiadas; destaca su incremento a partir de los cuatro años y los valores más altos ($1.9 \text{ dm}^3 \text{ año}^{-1}$ y $0.9 \text{ dm}^3 \text{ año}^{-1}$, respectivamente) a los ocho años. Siguen en orden de importancia la corta de regeneración, también a los ocho años con registros de $1.27 \text{ dm}^3 \text{ año}^{-1}$ (ICA) y $0.46 \text{ dm}^3 \text{ año}^{-1}$ (IMA).





a) Incremento Corriente Anual (ICA); b) Incremento Medio Anual (IMA); M = Matarrasa; R = Corta de regeneración con árboles padre; A = Tercer aclareo; S = Selección.

Figura 2. Promedio (barra) y desviación estándar (línea) de los incrementos observados para los tratamientos evaluados.

Los mayores valores de ICA e IMA correspondieron a los tratamientos de matarrasa y corta de regeneración con árboles Padre, respectivamente; situación que se explica porque promueven más disponibilidad de luz, factor esencial para producir rendimientos óptimos en el incremento de plantas heliófilas, como es el caso de la especie de pino evaluada (Stuiver *et al.*, 2016; Ruslandi *et al.*, 2017; Plateros-Gastélum *et al.*, 2018).

Los resultados de la prueba de *Kruskal-Wallis* indicaron que existen diferencias significativas en el incremento medio observado entre los tratamientos silvícolas y en la mayoría de las edades ($p < 0.05$ y $p < 0.01$). En el Cuadro 2 se presenta una comparación entre tratamientos silvícolas mediante el método de comparación de medias de *Bonferroni*.

Cuadro 2. Comparación estadística del ICA e IMA entre los diferentes tratamientos silvícolas evaluados según la prueba de comparación de medias de *Bonferroni*.

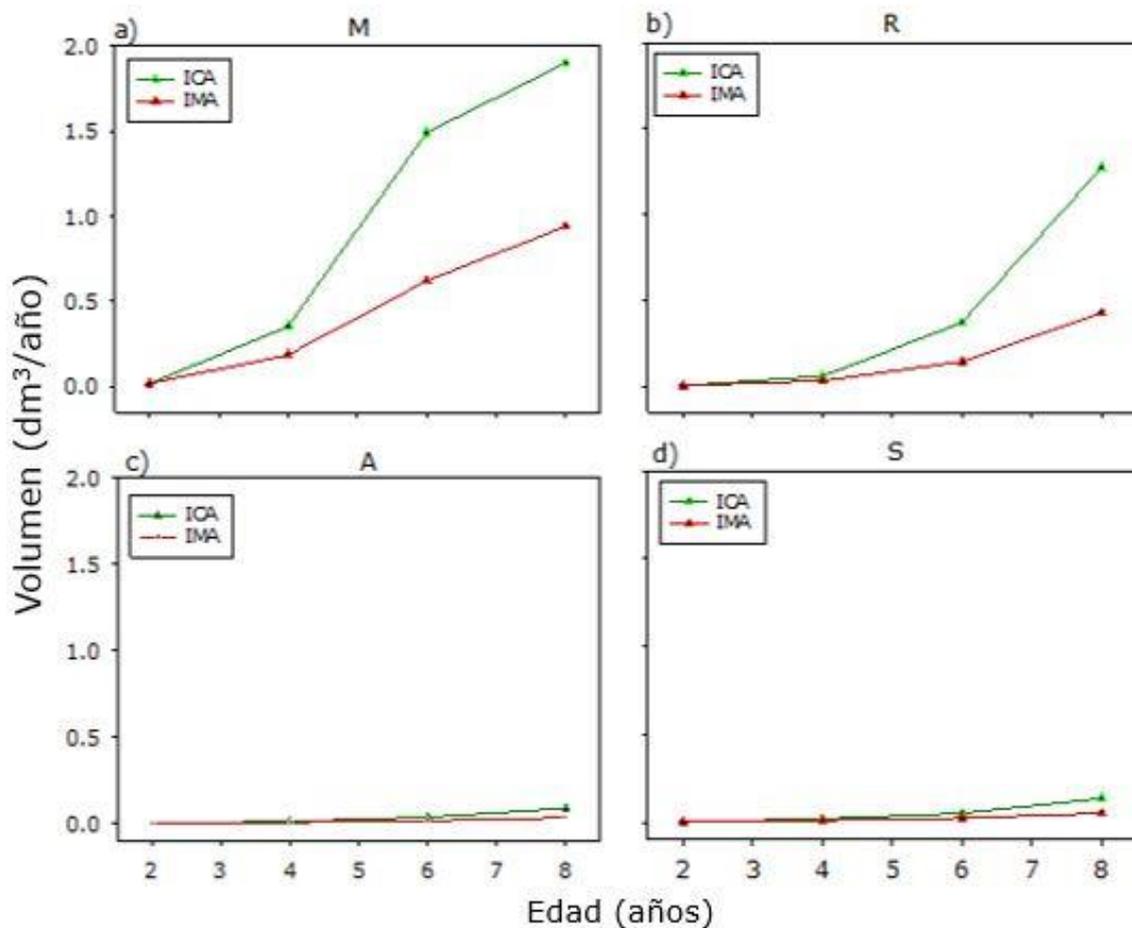
Comparación	2 años		4 años		6 años		8 años	
	ICA	IMA	ICA	IMA	ICA	IMA	ICA	IMA
A-R	0.205 ^{ns}	0.205 ^{ns}	<0.050*	<0.050*	<0.050*	<0.050*	<0.050*	<0.050*
A-M	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***
R-M	<0.050*	<0.050*	<0.050*	<0.050*	<0.050*	<0.050*	<0.050*	<0.050*
A-S	1.000 ^{ns}							
R-S	0.072 ^{ns}	0.072 ^{ns}	< 0.010**	< 0.010**	< 0.010**	< 0.010**	< 0.010**	< 0.010**
M-S	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***

($P < 0.05$) *; ($P < 0.01$) **; ($P < 0.001$) ***; *ns* = No significativo; ICA = Incremento Corriente Anual; IMA = Incremento Medio Anual; M = Matarrasa; R = Corta de regeneración con árboles padre; A = Tercer aclareo, S = selección.

Los resultados evidencian que el incremento promedio observado en el tratamiento de matarrasa es significativamente superior que el incremento medio observado en el resto de los tratamientos en todas las edades evaluadas ($p < 0.05$ para el caso de la corta de regeneración con árboles Padre, y $p < 0.01$, en selección y aclareo). Respecto al incremento medio de los árboles del tratamiento de corta de regeneración con árboles Padre, excepto a la edad de 2 años, fue significativamente superior al observado en los tratamientos de tercer aclareo y de selección ($p < 0.05$). Estos no mostraron diferencias significativas en el crecimiento para ninguna de las edades consideradas.

La evolución del ICA y el IMA en relación con la edad de los árboles evaluados para cada tratamiento se exhibe en la Figura 3. El crecimiento de los árboles de la plantación establecida en el tratamiento matarrasa, así como con el de corta de regeneración con árboles Padre presentaron una tendencia lineal, con valores más

altos en todas las edades evaluadas, respecto a los tratamientos de aclareo y de selección (Figura 3a y 3b). Dada la tendencia lineal observada en los datos de crecimiento, los valores máximos de ICA e IMA se presentaron a los 8 años en todos los casos, por lo que se requiere de nuevos estudios a edades más avanzadas para los sitios de matarrasa y corta de regeneración con árboles Padre, con la finalidad de confirmar si continúan registrando mejores incrementos en volumen, en comparación con los otros dos tratamientos evaluados.



M = Matarrasa (a); R = Corta de regeneración con árboles padre (b); A= Aclareo (c); S = Selección (d).

Figura 3. Evolución del incremento Corriente Anual (ICA) e Incremento Medio Anual (IMA) por tratamiento silvícola evaluado hasta la edad de ocho años.

De acuerdo con los resultados del estudio, el tratamiento de matarrasa presentó significativamente la mayor tasa de incremento en volumen de los árboles, en todas las clases de edad de los cuatro tratamientos silvícolas estudiados, para una estimación de ICA de $3.58 \text{ m}^3 \text{ ha año}^{-1}$ a la edad de 8 años y con una tendencia lineal al alta; por ello representa una buena opción para optimizar el rendimiento maderable y disminuir el periodo de tiempo entre cosechas. Por tanto, el tratamiento de matarrasa se puede usar con éxito en áreas boscosas de buena calidad de estación en el estado de Durango y en las que se utilice el método de manejo regular, siempre que se realice una plantación inmediata y se le dé mantenimiento a la misma mediante cercado, brechas corta fuego, prevención de plagas, etcétera; de no hacerse así, se tiene el riesgo de perder suelo y biodiversidad (Monárrez-González *et al.*, 2018; Soto-Cervantes *et al.*, 2020).

En este contexto, se recomienda que el tratamiento de matarrasa se desarrolle con fines silvícolas, paralelamente, con la aplicación de otros como cortas de regeneración, aclareos y cortas de selección para generar un mosaico de estructuras variadas y así, fomentar la conservación de la diversidad de flora y fauna (Politi y Rivera, 2019). Lo anterior debido a que el abuso del manejo intensivo (matarrasa y cortas de regeneración) generaría masas coetáneas y monoespecíficas, lo cual impactaría la diversidad estructural de los rodales (Kovács *et al.*, 2018; Moon *et al.*, 2018).

El tratamiento de cortas de regeneración con árboles Padre resultó la segunda mejor opción para optimizar el crecimiento de *P. durangensis* hasta la edad de ocho años; ya que, al igual que la matarrasa, tuvo incrementos significativamente superiores a los tratamientos de aclareo y de selección. Aunque autores como Ramírez *et al.* (2015) argumentan que la repoblación natural de especies de pino debe considerarse como un complemento importante de la regeneración en áreas bajo manejo forestal del bosque templado de México.

Los resultados del presente estudio evidenciaron que los árboles plantados tuvieron mayor desarrollo que los repoblados naturalmente. Lo anterior se explica porque, al igual que en la matarrasa, en este tratamiento los individuos se favorecen por una gran disponibilidad de luz, la cual es asimilada por los mismos al máximo de lo que su condición genética y edad les permite; es decir, se desarrollan al máximo de su capacidad de crecimiento (Cifuentes *et al.*, 2016; Plateros-Gastélum *et al.*, 2018; Moretti *et al.*, 2019).

Los tratamientos de aclareo y selección no registraron diferencias significativas en el crecimiento ($p > 0.05$); situación que puede deberse a que durante su ejecución, en ambos casos, se utilizan criterios silvícolas muy similares, los que en gran medida están más relacionados con la aplicación de cortas selectivas, que con cortas de aclareo. Al respecto, Corral-Rivas *et al.* (2019) citan que en muchas ocasiones los tratamientos aplicados en los bosques del estado de Durango se limitan a cortas de selección y que no, necesariamente, corresponden con las cortas de aclareo que se programan en los planes de manejo autorizados.

Aunque Freitas *et al.* (2017) señalan que la aplicación de técnicas silvícolas de bajo impacto fomenta el crecimiento de especies arbóreas de alto valor comercial, sin interferir de manera negativa en la regeneración natural, los resultados de esta investigación indican que a menor intensidad de corta, disminuye el incremento maderable en la regeneración evaluada, es por ello que el manejo de la densidad es un elemento clave para optimizar la producción forestal de los bosques de Durango (Padilla-Martínez *et al.*, 2020).

Guevara *et al.* (2021) evaluaron el efecto de las cortas de matarrasa con plantaciones inmediatas en la diversidad arbórea de la regeneración en el estado de Durango, y observaron que estas mantienen la riqueza de especies, a pesar de que solo se plantaron ejemplares de *Pinus durangensis* y *Pinus cooperi*, la similitud de especies entre los rodales adyacentes fue alta, lo cual se debió al surgimiento espontáneo de otros taxones nativos presentes antes de la corta y a la influencia

de los rodales adyacentes. Rodríguez-Ortiz *et al.* (2019) estudiaron el comportamiento en áreas tratadas con matarrasa en Oaxaca y concluyeron que la matarrasa promueve la regeneración y renovación del bosque, lo que a su vez favorece a los servicios ecosistémicos. Sin embargo, cabe señalar que el tratamiento de matarrasa, hasta el momento en México, ha sido estudiado, principalmente, en rodales o sitios de alta productividad; por ello, los resultados de esta y de otras investigaciones no deben generalizarse para todas las áreas forestales en producción, ya que en la mayoría de ellas la mejor alternativa silvícola, en términos ambientales y sociales, continuará siendo la corta selectiva.

Conclusiones

En el estudio se registran diferencias significativas en las variables de ICA e IMA para la mayoría de los tratamientos y edades evaluadas, con excepción de las cortas de aclareo y selección, estas cortas son las que presentan el menor incremento fustal en los árboles analizados. Al sitio tratado con matarrasa le corresponde el mayor incremento maderable durante el periodo de evaluación. El estudio revela que la matarrasa con plantación inmediata, se puede usar con éxito en sitios de buena calidad de estación en los bosques de Durango, y que su uso representa una buena opción para aumentar la producción forestal de los mismos.



Agradecimientos

Al Conacyt, por el apoyo económico brindado al primer autor para realizar su formación en el Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales (PIDCAF-UJED). Nuestro agradecimiento al C.P. Alfonso Gerardo Fernández de Castro Toulet, representante legal del predio particular donde se ubica el área de estudio, por permitir el acceso para el levantamiento de datos.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribuciones por autor

Jesús Alejandro Soto-Cervantes: toma de datos en campo, análisis de datos y redacción del manuscrito; Jaime Roberto Padilla Martínez, Emily García Montiel y José Javier Corral-Rivas: diseño del estudio, coordinación de los análisis de datos, redacción y revisión del manuscrito; Pedro Antonio Domínguez Calleros, Artemio Carrillo Parra, Rodrigo Rodríguez Laguna y Marín Pompa-García: asesoría en análisis de datos y revisión del manuscrito.

Referencias

Aguirre-Calderón, O. A. 2015. Manejo Forestal en el Siglo XXI. *Madera y Bosques* 21: 17-28. Doi:10.21829/myb.2015.210423.

Cabrera-Pérez, R. S., S. Corral-Rivas, G. Quiñonez-Barraza, J. A. Nájera-Luna, F. Cruz-Cobos and V. H. Calderón-Leal. 2019. Density management diagram for mixed-species forests in the El Salto region, Durango, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 25(1): 17-29.

Doi:10.5154/r.rchscfa.2018.03.026.

Cardalliaguet, L., A. A. Muñoz, V. Humanes, I. Aguilera-Betti, M. Génova, C. LeQuesne, M. Rojas-Badilla y C. Veas. 2019. Crecimiento radial de *Abies pinsapo* en el sur de Chile: relaciones con el clima local y su comparación con poblaciones naturales en España. *Bosque (Valdivia)* 40(2): 141-152. Doi: 10.4067/s0717-92002019000200141.

Carmean, W. H. 1972. Site index curves for upland oaks in the Central States. *Forest Science* 18(2):109-120. Doi:10.1093/forestscience/18.2.109.

Castillo, L. A., B. Vargas-Larreta, J. J. Corral R., J. A. Nájera L., F. Cruz C. y F. J. Hernández. 2013. Modelo compatible altura-índice de sitio para cuatro especies de pino en Santiago Papasquiari, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4(18): 89-103. Doi:10.29298/rmcf.v4i18.391.

Cifuentes G, L., F. Moreno H., J. D. Leon P. y C. Oñate C. 2016. Rasgos funcionales y crecimiento de cinco especies de árboles tropicales bajo diferentes condiciones de luz: implicaciones para la restauración ecológica. *Colombia Forestal* 1(19): 15-18. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=423947585004> (10 de noviembre de 2020).

Clutter, J. L., J. C. Fortson, L. V. Pienaar, G. H. Brister and R. L. Bailey. 1983. *Timber management: A quantitative approach*. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA. 139 p.

Comisión nacional forestal (Conafor). 2013. Metodología para realizar y presentar los informes de sobrevivencia inicial (ISI) de las plantaciones forestales comerciales (aspectos técnicos). <http://www.conafor.gob.mx/apoyos/index.php/inicio/download/1422>. (10 de junio de 2018)

Corral-Rivas, J. J., M. S. González-Elizondo., J. E. Lujan-Soto and K. V. Gadow. 2019. Effects of density and structure on production in the communal forests of the Mexican Sierra Madre Occidental. *Southern Forests: a Journal of Forest Science* 81(1): 1-10. Doi: 10.2989/20702620.2018.1463152.

Guevara, Y. Y., F. Cruz, F. J. Hernandez, J. A. Nájera, F. Cruz y G. Quiñonez. 2021. Efecto de la corta de matarrasa en la diversidad de la regeneración arbórea en Durango, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 12(63): Doi:10.29298/rmcf.v12i63.709.

Daniel, T. W., J. A. Helms y F. S. Baker. 1982. *Principios de silvicultura*. Mc Graw-Hill. México, D.F., México. 492 p.

Diéguez-Aranda, U., A. Rojo, F. Castedo-Dorado, J. G. Álvarez, M. Barrio-Anta, F. Crecente-Campo, J. M. González, C. Pérez-Cruzado, R. Rodríguez, C. A. López-Sánchez, M. A. Balboa-Murias, J. J. Gorgoso y F. Sánchez. 2009. *Herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia*. Dirección Xeral de Montes, Consellería do Medio Rural, Xunta de Galicia. Lugo, España. 273 p.

Fabbio, G., M. Frattegiani and M. C. Manetti. 1994. Height estimation in stem analysis using second differences. *Forest Science* 40(2): 329-340. Doi:10.1093/forestscience/40.2.329.

Fierros-Mateo, R., H. M. Santos-Posadas, M. A. Fierros-González y F. Cruz-Cobos. 2017. Crecimiento y rendimiento maderable en plantaciones de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen. *Agrociencia* 51(2): 201-214. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000200201 (13 de octubre de 2020).

Freitas, A. C., C. Silva-Neto, T. O. Martins, F. Gomes, M. Morais, G. M. de Oliveira and F. Venturoli. 2017. Growth and volume of *Myracrodruon urundeuva* Allemão after ten years of silvicultural interventions. *Australian Journal of Crop Science* 11(3): 271-276. Doi: 10.21475/ajcs.17.11.03.pne360.

Gadow, K. and J. Puumalainen. 2000. Scenario planning for sustainable forest management. *Sustainable forest management. Managing Forest Ecosystems*, Springer, Dordrecht. 319-356. Doi: 10.1007/978-94-010-9819-9_9.

- Gadow, K., S. Sánchez O. y Ó. A. Aguirre C. 2004. Manejo forestal con bases científicas. *Madera y Bosques* 10(2): 3-16.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61710201> (10 de junio de 2020).
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Serie Libros. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México. 98 p.
- González-Elizondo, M. D. S., M. González-Elizondo, J. A. Tena-Flores, L. Ruacho-González y I. L. López-Enríquez. 2012. Vegetación de la sierra madre occidental, México: Una síntesis. *Acta Botánica Mexicana* (100): 351-403.
Doi:10.21829/abm100.2012.40.
- Hernández-Salas, J., Ó. A. Aguirre-Calderón, E. Alanís-Rodríguez, J. Jiménez-Pérez, E. J. Treviño-Garza, M. A. González-Tagle, C. Luján-Álvarez, J. M. Olivas-García y L. A. Domínguez-Pereda. 2013. Efecto del manejo forestal en la diversidad y composición arbórea de un bosque templado del noroeste de México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19(2): 189-200.
Doi:10.5154/r.rchscfa.2012.08.052.
- Kovács, B., F. Tinya, E. Guba, C. Németh, V. Sass, A. Bidló and P. Ódor. 2018. The short-term effects of experimental forestry treatments on site conditions in an oak–hornbeam forest. *Forests* 9(7): 406. Doi: 10.3390/f9070406.
- Lira-Tuero, L. A., J. J. Corral-Rivas, J. R. Padilla-Martínez, P. M. López-Serrano, M. Pompa-García y F. Cruz-Cobos. 2019. Efecto del manejo forestal en biomasa y carbono en bosques de Durango. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 6(1): 89-97.
https://www.voaxaca.tecnm.mx/revista/docs/RMAE%20vol%206_1_2019/9%20RMAE_2019-26-Biomasa.pdf (10 de octubre de 2020).
- Machado, A. S., L. C. Rodríguez D. S., M. A. Figura, S. J. Téó and R. G. Mendes N. 2010. Comparison of methods for estimating heights from complete stem analysis data for *Pinus taeda*. *Ciência Florestal* 20(1): 45-55.
Doi:10.5902/198050981760.

Manzanilla Q. G. E., J. M. Mata B., E. J. Treviño G., Ó. A. Aguirre C., E. Alanís R. y J. I. Yerena Y. 2020. Diversidad, estructura y composición florística de bosques templados del sur de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 11(61). Doi: 10.29298/rmcf.v11i61.703.

Monárrez-González, J. C., G. Pérez-Verdín, C. López-González, M. A. Márquez-Linares y M. D. S. González-Elizondo. 2018. Efecto del manejo forestal sobre algunos servicios ecosistémicos en los bosques templados de México. *Madera y Bosques* 24(2). Doi: 10.21829/myb.2018.2421569.

Moon, M. Y., S. S. Kim, D. S. Lee, H. M. Yang, C. W. Park, H. S. Kim and Y. S. Park. 2018. Effects of forest management practices on moth communities in a Japanese larch (*Larix kaempferi* (Lamb.) Carrière) plantation. *Forests* 9(9): 574. Doi:10.3390/f9090574.

Moretti, A. P., F. Y. Olguin, M. A. Pinazo, F. Gortari, J. Vera B. y C. Graciano. 2019. Supervivencia y crecimiento de un árbol nativo maderable bajo diferentes coberturas de dosel en el Bosque Atlántico, Misiones, Argentina. *Ecología Austral* 29(1): 099-111. Doi: 10.25260/ea.19.29.1.0.779.

Návar-Cháidez, J. D. J. y S. González-Elizondo. 2009. Diversidad, estructura y productividad de bosques templados de Durango, México. *Polibotánica* 27: 71-87. <http://www.scielo.org.mx/pdf/polib/n27/n27a5.pdf> (10 de agosto de 2020).

Návar-Cháidez, J. D. J. 2010. Los bosques templados del estado de Nuevo León: el manejo sustentable para bienes y servicios ambientales. *Madera y Bosques* 16(1): 51-69. <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v16n1/v16n1a4.pdf> (10 de junio de 2020).

Newberry, J. D. 1991. A note on Carmean's estimate of height from stem analysis data. *Forest Science* 37(1): 368-369. Doi:10.1093/forestscience/37.1.368.

Padilla-Martínez, J. R., J. J. Corral-Rivas, J. Briseño-Reyes, C. Paul, P. M. López-Serrano and K. Gadow. 2020. Patterns of Density and Production in the Community Forests of the Sierra Madre Occidental, Mexico. *Forests* 11 (3): 307. Doi: 10.3390/f11030307.

Plateros-Gastélum, P. A., V. J. Reyes-Hernández, A. Velázquez-Martínez, P. Hernández-de la Rosa y G. V. Campos-Ángeles. 2018. Disponibilidad de luz bajo dosel en rodales de *Abies religiosa*. *Madera y Bosques* 24(3): 15. Doi:10.21829/myb.2018.2431711.

Politi, N. y L. Rivera. 2019. Limitantes y avances para alcanzar el manejo forestal sustentable en las Yungas Australes. *Ecología Austral* 29(1): 138-145. Doi:10.25260/EA.19.29.1.0.753.

Quiñonez-Barraza, G., H. M. De los Santos-Posadas, F. Cruz-Cobos, A. Velázquez-Martínez, G. Ángeles-Pérez y G. Ramírez-Valverde. 2015. Índice de sitio con polimorfismo complejo para masas forestales de Durango, México. *Agrociencia* 49(4): 439-454 <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v49n4/v49n4a7.pdf> (10 de septiembre de 2020).

Ramírez S., R., G. Ángeles P., R. Clark T., V. M. Cetina A., O. Plascencia E., y P. Hernández D. I. R. 2015. Efectos del manejo forestal en la repoblación de *Pinus spp.* en la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(32): 49-62. Doi: 10.29298/rmcf.v6i32.98. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v6n32/2007-1132-remcf-6-32-00049.pdf> (10 de junio de 2020).

R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Disponible en <https://www.R-project.org/> (10 de junio de 2019).

- Rodríguez-Ortiz, G., J. Á. García-Aguilar, J. C. Leyva-López, C. Ruiz-Díaz, J. R. Enríquez-del Valle, y W. Santiago-García. 2019. Biomasa estructural y por compartimentos en regeneración de *Pinus patula* en áreas con matarrasa. *Madera y Bosques* 25(1). Doi:10.21829/myb.2019.2511713.
- Ruslandi, W. P. Cropper Jr. and F. E. Putz. 2017. Effects of silvicultural intensification on timber yields, carbon dynamics, and tree species composition in a dipterocarp forest in Kalimantan, Indonesia: An individual-tree-based model simulation. *Forest Ecology and Management* 390:104-118. Doi:10.1016/j.foreco.2017.01.019.
- Santiago-García, W., H. M. de los Santos-Posadas, G. Ángeles-Pérez, J. R. Valdez-Lazalde, J. J. Corral-Rivas, G. Rodríguez-Ortiz y E. Santiago-García. 2015. Modelos de crecimiento y rendimiento de totalidad del rodal para *Pinus patula*. *Madera y Bosques* 21(3): 95-110. Doi: 10.21829/myb.2015.213459.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2017. Anuario Estadístico de la Producción Forestal. Alcaldía Miguel Hidalgo, CDMX, México, México. 284 p. <http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/2020/2017.pdf> (29 de marzo de 2021).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SRNyMA). 2011. Anuario Estadístico de la Producción Forestal. México, D.F., México. pp. 11–24. <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/anuarios-estadisticos-forestales> (20 de julio de 2021).
- Silva-Flores, R., G. Pérez-Verdín and C. Wehenkel. 2014. Patterns of Tree Species Diversity in Relation to Climatic Factors on the Sierra Madre Occidental, Mexico. *PLoS ONE* 9(8):e105034. Doi: 10.1371/journal.pone.0105034.

Solís M., R., O. A. Aguirre C., E. J. Treviño G., J. Jiménez P., E. Jurado Y. y J. Corral-Rivas. 2006. Efecto de dos tratamientos silvícolas en la estructura de ecosistemas forestales en Durango, México. *Madera y Bosques* 12(2): 49-64. Doi: 10.21829/myb.2006.1221242.

Soto-Cervantes, J. A., A. Carrillo-Parra, R. Rodríguez-Laguna, J. J. Corral-Rivas, M. Pompa-García and P. A. Dominguez-Calleros. 2020. Survival, growth and carbon content in a forest plantation established after a clear-cutting in Durango, Mexico. *PeerJ* 8: e9506. Doi: 10.7717/peerj.9506.

Stuiver, B. M., D. A. Wardle, M. J. Gundale and M. C. Nilsson. 2016. Seedling responses to changes in canopy and soil properties during stand development following clear-cutting. *Forest Ecology and Management* 378: 31-43. Doi.10.1016/j.foreco.2016.07.009.



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 \(CC BY-NC 4.0 Internacional\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.