



Las plantaciones forestales de clima templado en Michoacán, México; algunos parámetros a considerar

Temperate-climate forest plantations in Michoacán, Mexico: some parameters to consider

Jonathan Hernández-Ramos^{1*}, Valentín José Reyes-Hernández², Enrique Buendía-Rodríguez³, Gerónimo Quiñonez-Barraza⁴, Héctor Manuel De los Santos-Posadas² y Aurelio Manuel Fierros-González^{2†}

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato, México

³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle de México. Texcoco, Estado de México, México.

⁴ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle de Guadiana. Durango, Durango, México.

² Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México, México.

* Autor de correspondencia.
forestjonathanhdez@gmail.com

RESUMEN

Michoacán, México tiene alto potencial para el establecimiento de plantaciones forestales maderables (PFM), aunque es necesario contar con información silvícola confiable para su manejo y aprovechamiento. El objetivo fue compilar y analizar la información publicada en libros, artículos técnicos-científicos y publicaciones especiales sobre las PFM, para el establecimiento, aplicación de labores culturales o complementarias, y en general para planificar el manejo silvícola y aprovechamiento de las PFM establecidas en la región templada de Michoacán, México. La información sobre áreas potenciales para el establecimiento de PFM es limitada para algunas especies, por lo que puede ser un área de oportunidad para investigaciones futuras. La superficie establecida de PFM se ha igualado con la de aprovechamiento en aproximadamente 16 000 ha entre 2000-2019, aun cuando las políticas públicas han tratado de incentivar su establecimiento con una propuesta de 1000 ha año⁻¹. No se han aprovechado al máximo las áreas potenciales con las que cuenta el estado para expandir la frontera forestal sobre los cultivos agrícolas en las regiones templadas. A pesar de contar con más información que puede contribuir a la planificación, establecimiento y manejo de plantaciones, esta sigue siendo insuficiente. Existen tópicos que requieren mayor atención, como los índices de sitio específicos para cada especie o región, los parámetros de manejo de la densidad adecuados a las condiciones particulares de cada plantación, y los sistemas de crecimiento y rendimiento más detallados. Es necesario desarrollar estos aspectos y considerar su generación para aprovechar plenamente el potencial de la región templada del estado.

PALABRAS CLAVE: *Pinus*, producción maderable, rendimiento, silvicultura.

ABSTRACT

Michoacán, Mexico, has high potential for establishing timber forest plantations (TFP), although reliable silvicultural information is required for their management and use. The objective was to compile and analyze information published in books, technical-scientific articles, and special publications on the TFP, for the establishment, application of cultural or complementary tasks, and, in general, to plan the silvicultural management and use of the TFP established in the temperate region of Michoacán, Mexico. Information on potential areas for establishing TFP is limited for some species, which may present an opportunity for future research. The established area of TFP has been matched to that harvested over approximately 16 000 ha during 2000-2019, even though public policies have sought to encourage its establishment, with a proposed area of 1000 ha. The state has not fully utilized its potential areas to expand forest cover at the expense of agricultural croplands in temperate regions. Although more information is available to contribute to the planning, establishment, and management of plantations, it remains insufficient. There are areas that require more attention, such as site indices specific to each species or region, density management parameters tailored to the particular conditions of each plantation, and more detailed growth and yield systems. It is necessary to develop these aspects and to consider their generation to fully harness the potential of the state's temperate region.

KEYWORDS: *Pinus*, timber production, yield, silvicultural management.

INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales maderables (PFM) forman parte de una estrategia para satisfacer la demanda de recursos forestales, reducir la presión de aprovechamiento sobre los bosques naturales, incrementar la productividad y competitividad maderable y no maderable, y en general, para propiciar el desarrollo económico de las zonas rurales (Prado, 2019; Secretaría de Gobernación, 2020).

Durante el periodo 2000-2019, se plantó 73% de la superficie de PFM en México, (230 341 ha); sin embargo, aún está lejana la meta de alcanzar las 830 000 ha potenciales para el establecimiento de masas arbóreas artificiales (Comisión Nacional Forestal [Conafor], 2019; Segob, 2020). Los géneros *Eucalyptus*, *Cedrela*, *Pinus*, *Tectona* y *Gmelina* son los más utilizados a escala nacional para el establecimiento de PFM (Conafor, 2019). En Michoacán en 2020, se registraron alrededor de 16 076 ha establecidas entre 2000-2019, en donde *Pinus patula* Schl. et Cham., *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. y *Pinus pseudostrabus* Lindl. son las principales especies utilizadas en las zonas templadas (Conafor, 2019), especies que se consideran de crecimiento medio con respecto a especies tropicales (Conafor, 2014).

El territorio de Michoacán presenta alto potencial para el establecimiento de PFM con distintas especies del género *Pinus* (Muñoz et al., 2011; Sáenz, Muñoz y Rueda, 2011; Conafor, 2014; Muñoz, Sáenz, García, Coria y Muñoz, 2015), de las cuales se mencionan rendimientos competitivos en el mercado de productos (madera aserrada, productos secundarios, celulosa, productos no maderables, etc.). Por tal motivo, el Gobierno del Estado proyectó establecer plantaciones en 2007 a un ritmo de 500 ha año⁻¹ para el periodo 2007-2030 (Gobierno del Estado de Michoacán, 2017), sin embargo, para el ciclo 2017-2021 se reajustó la meta a 1400 ha año⁻¹ (Gobierno del Estado de Michoacán, 2019), ya que en promedio entre 2000 y 2019 se establecieron alrededor de 800 ha año⁻¹. Lo anterior se pretende lograr mediante incentivos económicos y técnicos, debido a que las PFM establecidas entre 2007 y 2011 aportaron, en promedio, al mercado estatal cerca de 39 000 m³ año⁻¹ de productos forestales maderables (Conafor, 2014).

La superficie beneficiada por el Programa para el Desarrollo de Plantaciones Forestales (Prodeplan) de 2001 a 2006 fue de 16 709 ha, superficie que se ha mantenido en 19 años; el último registro indica 16 076 ha en 2020 para el periodo de 2000-2019 (Gobierno del Estado de Michoacán, 2017; Conafor, 2019), lo que refleja un estancamiento en el establecimiento de PFM en el estado desde el registro de 2006. Aun cuando en el estado la tasa de deforestación disminuyó de 0.17%, en el periodo 2004-2007, a 0.07% para 2007-2014, el cambio de uso de suelo de terrenos forestales por cultivos agrícolas o actividades ganaderas es preocupante, por lo cual es fundamental establecer masas forestales artificiales de altos rendimientos y competitivas con esas actividades (Mas et al., 2017). La federación ha incentivado adicionalmente el establecimiento de plantaciones con un enfoque agroforestal o silvopastoril (Gobierno del Estado de Michoacán, 2024; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat]-Conafor, 2024).

La gestión forestal es fundamental para optimizar el crecimiento de las PFM (Munka et al., 2013) y la evaluación de las masas arbóreas establecidas permite generar y aplicar herramientas silvícolas cuantitativas en los planes de manejo para estimar, proyectar y manipular el crecimiento y rendimiento de las plantaciones (Torres y Magaña, 2001). Debido a lo anterior y al potencial que tiene Michoacán para el establecimiento de plantaciones (García-Magaña, 1996a; Muñoz et al., 2011; Sáenz Muñoz, Rueda, Villaseñor y Anguiano, 2011; Muñoz, Sáenz, García, et al., 2015), se definieron los objetivos del presente trabajo.

OBJETIVOS

Compilar y analizar la información dasométrica publicada en libros, artículos técnicos-científicos y publicaciones especiales, para generar recomendaciones en la aplicación de labores culturales o complementarias, y en general para planificar el manejo silvícola de las PFM establecidas en la región templada de Michoacán, México.



DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Germoplasma y planta de calidad

El éxito de las PFM depende de la definición del objetivo de la plantación, la selección de la especie, el uso de germoplasma de calidad, la producción de planta en vivero, la preparación del terreno, el establecimiento en campo; todo esto repercute en la supervivencia y la productividad a largo plazo. Debido a que no siempre se conoce el origen del germoplasma que se propaga en los viveros, ni se valoran las características morfológicas y fisiológicas para seleccionar las plantas que se establecerán en el campo, pueden tenerse en cuenta las siguientes consideraciones, dependiendo del objetivo de la plantación. Para elegir en vivero la planta que se establecerá en campo con fines maderables, se pueden considerar los índices de calidad propuestos por Sáenz et al. (2010), para *Pinus pseudostrabus*, *Pinus greggii*, Engelm. ex Parl. *Pinus michoacana* Mart., *Pinus oocarpa* Schiede, *Pinus ayacahuite* Ehren. y *Cupressus lusitanica* var. *Lindleyi* (Klotzsch ex Endl.) Carr., que incluyen altura de la planta ($Ap > 15$ cm), diámetro basal ($db > 4$ mm) e índice de robustez (Ir) ($Ap/db < 6$ cm mm⁻¹). En tanto que, para las especies cespitosas como *Pinus michoacana* y *Pinus montezumae* Lamb., los valores de planta de calidad son para la $Ap > 4$ cm, el $db > 5$ cm e $Ir > 8$ cm mm⁻¹. Por otro lado, para el establecimiento de plantaciones con fines de resinación, en donde se conocen los progenitores de *Pinus pseudostrabus*, los valores medios recomendados son de 38 cm - 68 cm en Ap , mayores a 12 mm en db y una media de entre 5-3 en el Ir (Hernández-Ramos, Sáenz-Reyes et al., 2025).

Debido a lo descrito y bajo la condición de que las PFM se establezcan en las mejores condiciones de crecimiento, por ningún motivo se recomendaría elegir planta de baja calidad con dimensiones de $Ap < 10$ cm, $db < 2.5$ e $Ir > 8.0$ cm mm⁻¹, para especies de crecimiento no cespitoso, o de < 6.0 cm de Ap , < 5.0 mm en db y de < 8.0 cm mm⁻¹, en especies cespitosas, para establecer en PFM en

la región templada Michoacán (Sáenz et al., 2014; Muñoz, Sáenz, Coria, et al., 2015).

En la selección de planta en términos prácticos, se deberán de verificar los valores de Ap , db e Ir , los cuales son fáciles de medir o estimar en el vivero. La altura de las plántulas es un buen predictor de la altura futura en campo (Muñoz, Sáenz, Coria, et al., 2015), mientras que el diámetro en la base está relacionado con el vigor, el índice de lignificación, la capacidad de resistencia a efectos ambientales y la supervivencia en campo (Sáenz et al., 2014; Escobar-Alonso y Rodríguez-Trejo, 2019). El Ir refleja la capacidad de resistencia a daños físicos o mecánicos en el lugar de plantación (Cano y Cetina, 2004; Muñoz, Sáenz, Coria, et al., 2015). Se deben considerar también otras variables o relaciones como biomasa seca aérea del tallo-follaje/biomasa seca raíz (RBs, g g⁻¹), biomasa seca total (BSt, g), índice de calidad de Dickson (ICD) o el índice de lignificación (IL, %) que, aun cuando necesitan más detalles para su evaluación, pueden ser una alternativa de mayor robustez (Hernández-Ramos, Sáenz-Reyes et al., 2025).

Estudios sobre la variación entre procedencias (Viveros-Viveros et al., 2006) y plasticidad fenotípica (Chávez-García et al., 2022) en *Pinus pseudostrabus* en Nuevo San Juan Parangaricutiro (NSJP), Michoacán, demuestran que la interacción genotipo-ambiente es crucial en el desarrollo de las especies, y que debe priorizarse el uso de germoplasma local o la selección de los progenitores (Hernández-Ramos, Reyes-Hernández, Quiñonez-Barraza, et al., 2025), además de considerar la capacidad de adaptación a cambios de ambiente de la especie y la respuesta fisiológica a la altitud para poder incrementar la supervivencia en campo de plantas establecidas como PFM, reforestaciones, de protección o restauración. Por otro lado, la fecha de siembra de esta especie en las primeras dos semanas de julio muestra diferencias significativas de crecimiento a dos años de su establecimiento con respecto a plantaciones realizadas entre el 30 de julio y el 30 de agosto, lo cual se asocia a un mayor estrés hídrico en las últimas fechas (Muñoz-Flores et al., 2019).

Especies, requerimientos ecológicos y áreas potenciales para el establecimiento de plantaciones

Previo al establecimiento de plantaciones, la preparación del terreno es básica para elevar el porcentaje de supervivencia de los brinzales en el campo (Conafor, 2010), ya que, en conjunto, la elección adecuada de la especie y el lugar donde se establecerá la PFM es una decisión crucial que influye directamente en la adaptación de la planta al sitio de plantación, desarrollo y, en general, en el éxito o fracaso del cultivo (Muñoz et al., 2010; Sáenz, Muñoz y Rueda, 2011).

Sáenz, Muñoz y Rueda (2011) y Sáenz, Muñoz, Rueda, et al. (2011) señalan como especies promisorias para Michoacán a *Pinus pseudostrabus*, *Pinus michoacana*, *Pinus greggii* y *Pinus patula* y proponen requerimientos ecológicos, relacionados con distribución geográfica, hábitat, clima, suelo o asociación de especies, condición topográfica e intervalos de altitud, para su establecimiento exitoso en PFM. Por su parte, Sáenz, Muñoz, Rueda, et al. (2011) proponen regiones geográficas y superficies potenciales en el estado, para estas especies, de acuerdo con la pendiente del terreno: *Pinus pseudostrabus* (319 963 ha), *Pinus michoacana* (384 935 ha), *Pinus greggii* (361 991 ha) y *Pinus patula* (314 887 ha), así como mapas de distribución que se pueden tomar como referencia para expandir la frontera forestal a través de las PFM. La técnica de migración asistida presenta una estrategia innovadora para mitigar los impactos del cambio climático en bosques templados, permitiendo la reubicación controlada de especies arbóreas hacia hábitats más idóneos y resilientes (Sáenz et al., 2012; Sáenz-Romero, Lindig-Cisneros, et al., 2016). Estos autores sugieren que esta técnica puede ser fundamental para preservar la diversidad genética y funcional de los ecosistemas forestales, reduciendo significativamente la vulnerabilidad de las especies con movilidad limitada. Adicionalmente, Corlett y Westcott (2013) menciona que la migración asistida no solo mitiga los riesgos de extinción local, sino que también mantiene la integridad estructural y funcional de los bosques, permitiendo la conservación de la biodiversidad mediante una intervención estratégica y científicamente fundamentada que anticipa los impactos del cambio

climático en los patrones de distribución de especies forestales.

Muñoz et al. (2010) señalan que la Sierra Purépecha tiene un buen potencial para el establecimiento de PFM de *Pinus patula*, de acuerdo con las características de suelo, pendiente y clima del lugar, potencial incluso superior al de especies nativas como *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. Muñoz et al. (2011) identifican áreas potenciales para establecer PFM con *Pinus pseudostrabus* y *Pinus greggii* en algunas regiones forestales definidas por el Gobierno del estado de Michoacán (2017) dentro del Programa de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de Michoacán 2030 de acuerdo con las cuencas hidrológicas, tales como Cuitzeo (III), Oriente (IV), Meseta Tarasca (VI) y Pátzcuaro-Zirahuén (VII); además, para la primera especie se identifica una pequeña superficie en la región Tepalcatepec (V) dentro de la sierra que se ubica en los municipios de Aguililla, Coalcomán y Arteaga.

Para *Pinus pseudostrabus* y *Pinus greggii* la región VI es la que muestra las mayores superficies como potenciales para el establecimiento de PFM (Muñoz et al., 2011). La región forestal Meseta Tarasca (VI) se caracteriza por una pendiente del terreno entre 0% y 30%, la cual es uno de los principales factores que determinan las áreas potenciales para establecer PFM; de esta forma, en promedio se identifican 442 667 ha potenciales para *Pinus greggii*, *Pinus michoacana*, *Pinus pseudostrabus* y *Pinus patula* (Muñoz, Sáenz, García, et al., 2015). Sáenz et al. (2019) señalan una superficie de 226 417 ha potenciales para establecer plantaciones silvopastoriles con *Pinus michoacana* en los municipios de Hidalgo, Tuxpan, Zitácuaro, Salvador Escalante, Ario de Rosales, Tingambato, Uruapan del Progreso, Tancítaro, NSJP, Peribán y Los Reyes, Michoacán.

Al verificar y contrastar las áreas potenciales propuestas por distintos autores para las especies de *Pinus* en Michoacán (Muñoz et al., 2010; Sáenz, Muñoz y Rueda, 2011; Muñoz et al., 2011; Muñoz, Sáenz, García, et al., 2015; Sáenz et al., 2019) con las áreas elegibles propuestas para 2022 por la Conafor (2022), la distribución general es muy semejante. Debido a lo mencionado y con base en las



características de distribución geográfica, hábitat, clima, suelo o asociación de especies, condición topografía e intervalo de altitud por especie de interés forestal para estas regiones templadas, se pueden elegir los sitios potencialmente óptimos para establecer las PFM en Michoacán (Muñoz et al., 2010; Sáenz, Muñoz y Rueda, 2011).

Sin embargo, un área de oportunidad como complemento de la selección de los lugares para el establecimiento de plantaciones forestales (PF), independientemente de cuál sea su objetivo, es la elaboración de un mapa basado en el nicho ecológico de las especies para definir zonas potenciales de establecimiento de plantaciones uniespecíficas (Reynoso-Santos et al., 2018) o multiespecie (Manzanilla-Quiñones et al., 2018).

Aun cuando especies como *Abies religiosa* (Kunth Schltl. et Cham.), *Pinus ayacabuite* Ehren, *Pinus douglasiana* Martínez, *Pinus herrerae* Martínez, *Pinus lawsoni* Roetzl., *Pinus leiophylla* Schl. & Cham., *Pinus montezumae*, *Pinus oocarpa*, *Pinus pringlei* Shaw, y *Pinus teocote* Schiede ex Schltl. se distribuyen ampliamente en el estado en las áreas templadas y son de importancia en los aprovechamientos forestales (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio], 2019), no se encontraron registros que puedan contribuir a definir las áreas potenciales en Michoacán, lo que se transforma en un área de oportunidad para investigaciones futuras.

Crecimiento e incremento en las plantaciones

La baja productividad de las PFM es resultado de la elección equivocada de especie(s) o procedencia(s), de selección de terrenos con características deficientes o sin preparación, la baja calidad de planta, el transporte inadecuado del vivero al sitio y las fechas de plantación desfasadas, entre otros factores (García-Magaña y Muñoz-Flores, 1993; García-Magaña et al., 2006; Sáenz et al., 2012; Prado, 2019). A escala nacional, Michoacán ocupa el 5° lugar en superficie plantada con PFM (Semarnat, 2021), lo que hace necesario contar con parámetros cuantitativos de crecimiento e incremento por especie o condición de sitio, para el manejo

óptimo y para obtener los mayores rendimientos y productividades posibles.

En Michoacán, para PFM de *Pinus michoacana* ubicadas en el municipio de Morelia, se registran mayores crecimientos en altura total en suelos de tipo Luvisol órtico que en Luvisol férrico (Mas et al., 1990). En la cuenca del Lago de Pátzcuaro, en suelos Andosoles, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus montezumae* y *Pinus leiophylla* tienen una respuesta diferenciada por espaciamiento inicial; y menor incremento para *Pinus montezumae* en suelos Luvisoles (García-Magaña y Muñoz-Flores, 1993); situación que es similar a lo registrado por García-Magaña (1996a) y Muñoz y García (2002) para *Pinus michoacana* var. *Cornuta* y *Pinus greggii* en el municipio de Uruapan del Progreso.

Las condiciones particulares del lugar de establecimiento y la calidad de estación del sitio de plantación influyen en la tasa de crecimiento de las especies y en la respuesta del rendimiento, por lo que los mayores índices de sitio representan una mayor productividad (Torres y Magaña, 2001; Hernández-Ramos, Reyes-Hernández, Buendía-Rodríguez et al., 2025; Hernández-Ramos, Reyes-Hernández, Quiñonez-Barraza, et al. 2025). Los registros encontrados para las PFM de Michoacán (Tabla S1) señalan que *Pinus pseudostrobus*, *Pinus greggii*, *Pinus douglasiana* y *Pinus leiophylla* son las que presentan los mayores incrementos volumétricos; *Pinus michoacana*, *Pinus herrerae* y *Pinus montezumae* pueden considerarse como de rendimientos medios con respecto a las primeras, con un rendimiento promedio. Además, se observa una respuesta diferenciada cuando son uniespecíficas (*Pinus pseudostrobus*: municipios de Hidalgo y Salvador Escalante, Michoacán), con respecto a cuando se establecen de manera mezclada (*Pinus pseudostrobus* y *Pinus montezumae*: Hidalgo, Michoacán) (Sáenz et al., 2013).

En cuanto a las regiones forestales (Comisión Forestal del Estado de Michoacán [Cofom], 2014), todas las publicaciones de incrementos, rendimientos y, en general, de las evaluaciones de plantaciones forestales son de la región forestal Meseta Tarasca (VI) (García-Magaña et al., 2006; Muñoz et al., 2010; Sáenz et al., 2012), con excepción del trabajo hecho por Mas et al. (1990), que se ubica en la

región Cuitzeo (III). Sin embargo, de acuerdo con las áreas potenciales para el establecimiento de PFM definidas por Muñoz et al. (2010), Sáenz, Muñoz y Rueda (2011), Muñoz et al. (2011), Muñoz, Sáenz, García, et al. (2015) y Sáenz et al. (2019), hace falta aprovechar la oportunidad de expandir la frontera forestal en las zonas templadas de Michoacán con estos cultivos, sobre todo en las regiones forestales de Michoacán Cuitzeo (II) Oriente (IV), Pátzcuaro-Zirahuén (VII) y en toda la sierra de los municipios de Coalcomán, Aguililla y Arteaga (Tepalcatepec (V) y Costa (IX)).

Herramientas silvícolas cuantitativas y manejo de las PFM

Históricamente, en Michoacán, el rendimiento para el manejo de las PFM se ha basado en el cálculo del volumen individual y la posterior proyección del rendimiento maderable a través de un factor de forma (f) o coeficientes mórficos (CM). Es así como Muñoz et al. (2011) y Sáenz et al. (2013), al documentar la evaluación de las plantaciones en la Sierra Madre Occidental y en tres municipios potenciales del oriente del estado de Michoacán, utilizan un valor en el f de 0.60 para varias especies del género *Pinus*.

García-Espinoza et al. (2018) y García-Espinoza, Aguirre-Calderón, Vargas-Larreta, et al. (2019) mencionan f entre 0.33-0.46 para plantaciones de *Pinus pseudostrabus*, al ajustar y proponer sistemas de ahusamiento y volumen comercial basados en modelos de razón (Lynch et al., 2017; Zhao y Kane, 2017) y sus formas matemáticas compatibles (Fang et al., 2000); y Hernández-Ramos, Muñoz-Flores, et al. (2025), proponen entre 0.42 y 0.45 como f para plantaciones de *Pinus leiophylla* en la Meseta Purépecha, a través de analizar los ajustes de los modelos de volumen fustal (V_f) de Spurr y el de coeficiente mórfico constante.

Con los resultados obtenidos y las ecuaciones ajustadas por García-Espinoza et al. (2018) y García-Espinoza, Aguirre-Calderón, Vargas-Larreta, et al. (2019) se pueden realizar estimaciones del V_f para plantaciones de *Pinus pseudostrabus*, con una alta precisión (coeficiente de determinación: $R^2 > 0.95$), al considerar de manera conjunta al diámetro normal y la altura total por individuo, descripciones del perfil del árbol al modelar el ahusamiento

de cada individuo por efecto de la densidad o la competencia intraespecífica de cada sitio ($R^2 > 0.98$), o proyectar una distribución de productos y establecer dimensiones mínimas de aprovechamiento mediante el volumen comercial estimado ($R^2 > 0.98$) para una industria maderable diferenciada en las PFM de la especie.

Las proyecciones de incremento y crecimiento para estimar el rendimiento de las plantaciones en el estado de Michoacán, así como para programar las actividades silvícolas y de manejo forestal, se han realizado con la información de García-Magaña et al. (2006), Muñoz et al. (2010) y Sáenz et al. (2012). El primero de estos tres trabajos se enfoca en PFM con distintas especies del género *Pinus* en la región forestal Meseta Tarasca; Muñoz et al. (2010), contrastan los distintos factores ambientales y sitios para un desarrollo óptimo como plantación para *Pinus patula*, y Sáenz et al. (2012) realizaron una monografía de las especies forestales con un alto potencial para el establecimiento como PFM en las áreas templadas del estado de Michoacán. Sin embargo, no se encontraron trabajos publicados para el manejo forestal de todas las especies de interés y de potencial para establecer plantaciones, tales como *Abies religiosa*, *Pinus ayacabuite*, *Pinus douglasiana*, *Pinus herrerae*, *Pinus lawsoni*, *Pinus leiophylla*, *Pinus montezumae*, *Pinus oocarpa*, *Pinus pringlei* y *Pinus teocote*, las cuales son importantes en los aprovechamientos forestales del estado (Conabio, 2019).

Aun cuando determinar las áreas potenciales para el establecimiento de PFM es fundamental para su manejo y aprovechamiento (Muñoz et al., 2010; Sáenz, Muñoz y Rueda, 2011; Muñoz et al., 2011; Muñoz, Sáenz, García, et al., 2015; Sáenz et al., 2019), no existe la información necesaria para la clasificación de las áreas forestales de acuerdo con su productividad. La calidad de estación determinará el crecimiento y rendimiento de las plantaciones y, por ende, su manejo (Torres y Magaña, 2001).

En este sentido, solo se encontraron dos trabajos publicados con fines de clasificar las plantaciones de acuerdo con su productividad: para *Pinus pseudostrabus* en la comunidad indígena de NSJP, García-Espinoza, Aguirre-Calderón, Quiñonez-Barraza, et al. (2019) señalan que a una edad base de 20 años se establecen cuatro clases de índice



de sitio de 18 m, 22 m, 26 m y 30 m, con tendencia de crecimiento de tipo polimórfica; y para *Pinus oocarpa*, García-Cuevas et al. (2024), con etiquetas de índice de sitio a 10 m, 14 m, 18 m y 22 m, a una edad base de 25 años en PFM establecidas en los municipios de Ario de Rosales y Nuevo Urecho, Michoacán, mencionan turnos técnicos en altura dominante de 5 años, 8 años, 11 años y 15 años, respectivamente.

Los planes de gestión forestal para las plantaciones en el estado han tomado como referencia los turnos técnicos (ICA = IMA) señalados por García-Magaña y Muñoz-Flores, (1993) para la región del Lago de Pátzcuaro, los cuales se definen para *Pinus pseudostrobus* (2 m × 2 m) y *Pinus michoacana* (2 m × 2 m), a las edades de 12 años y 18 años, cuando las plantaciones se establecen en suelos Andosoles y el objetivo es maderable (aserrío) y no maderable (celulósicos), respectivamente. Para las plantaciones de *Pinus leiophylla*, establecidas en suelos de tipo Andosol (espaciamiento de 1.75 m × 1.75 m), con el objetivo de generar productos no maderables, el turno técnico se definió a los 12 años. Para plantaciones de *Pinus pseudostrobus* (2.5 m × 2.5 m) y *Pinus michoacana* (2.5 m × 2.5 m) con fines maderables, establecidas en suelos Luvisoles, el turno técnico se definió en 24 años, en tanto que, para plantaciones de *Pinus pseudostrobus*, *Pinus michoacana*, *Pinus montezumae* y *Pinus leiophylla* (todos con espaciamiento de 2 m × 2 m) con objetivo no maderable, el turno definido fue 16 años. Las plantaciones con el objetivo de protección, establecidas en suelos de tipo Luvisol a un espaciamiento de 2.25 m × 2.25 m, tienen un turno registrado de 30 años.

García-Magaña y Mas-Pérez (1994) evaluaron el efecto del espaciamiento en las PFM, obteniendo una correlación de 83% a 89% entre la densidad de plantación inicial (al variar el espaciamiento) y el rendimiento en volumen ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) a una edad de 19 años para *Pinus patula* y *Pinus leiophylla*, respectivamente. Los mismos autores indican que, de acuerdo con las proyecciones de incremento, los turnos técnicos para estas especies no deberán de exceder 22 años y 20 años, respectivamente. Los autores señalan que espaciamientos de plantación amplios (6 m × 6 m) propiciarán malformaciones del arbolado, un exceso de

ramas, poco crecimiento en altura total (por ejemplo [0.64 - 0.99 y 0.52 - 0.75] m año^{-1} para *Pinus patula* y *Pinus leiophylla*, respectivamente), e incrementos en diámetro normal promedio de 2.2 cm año^{-1} y 1.55 cm año^{-1} . Sin embargo, el incremento medio anual en volumen varía entre 1.6 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ y 7.7 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$; y entre 2.5 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ y 4.3 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, como resultado de la baja densidad de plantación en ambas especies.

Para las plantaciones de *Pinus patula* con un espaciamiento de 1.5 m × 1.5 m, García-Magaña y Mas-Pérez (1994) mencionan incrementos medios anuales en altura total, diámetro normal y volumen de 1.13 m, 1.5 cm y 15.6 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, respectivamente, y de 0.87 m, 1.3 cm y 19.3 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ para *Pinus leiophylla*. García-Magaña (1996b) señala buenos incrementos en volumen de las plantaciones forestales de 15 años de *Pinus pseudostrobus* (15.3 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) y *Pinus montezumae* (13.1 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) establecidas con un espaciamiento intermedio de 3 m × 3 m, en suelos Andosoles cubiertos con arenas volcánicas, esto como resultado de 87% de supervivencia en plantaciones de la región purépecha del estado de Michoacán, México.

Es importante resaltar que una mayor densidad inicial de las plantaciones generará una mayor competencia entre los individuos, por lo que, la mortalidad será más fuerte y requerirá de mayores esfuerzos de manejo (aclareos y podas), lo que incrementará los costos asociados (Conafor, 2011; Guevara-Bonilla y Murillo-Gamboa, 2021). García y Toledo (1989), al proponer una guía práctica para la poda de las plantaciones en el estado, señalan que árboles con alturas de 6 m, 9 m y 12 m deberán podarse a una altura de 2.5 m, 4.5 m y 6.6 m, respectivamente. Además, recomiendan podar solo 1/3 de la copa viva del arbolado del género *Pinus*. García-Magaña y Toledo-Bustos (1989) indican que una poda de 50% con respecto a la altura total del arbolado, aplicada a finales del invierno y a una edad de entre 4 años y 7 años, representó un incremento periódico significativo en las dimensiones de altura y diámetro normal para plantaciones de *Pinus michoacana* (11.22 cm y 10.62 cm) y *Pinus pseudostrobus* (11.89 cm y 15.35 cm), en las cuales las podas de 33% y 25% de la altura total y una plantación sin podas, presentaron un menor incremento.

En un enfoque distinto de análisis, a través de la morfometría de los árboles de PFM, propuesto por Hernández et al. (2022) para *Pinus pseudostrabus* y *Pinus montezumae*, se mencionan valores de índice de esbeltez ($At d^{-1}$) y de área de copa de $0.65 m cm^{-1}$ y $31.19 m^2$ para la primera especie, y de $0.55 m cm^{-1}$ y $21.85 m^2$ para la segunda; además, se señala que la dimensión del diámetro de copa es 25 y 31 veces el diámetro, respectivamente. Adicionalmente, se propone el establecimiento de PFM de *Pinus pseudostrabus* en un intervalo altitudinal de entre 2750 m y 2950 m y se menciona que para *Pinus montezumae* las exposiciones oeste y suroeste son las que propician un mayor crecimiento.

Hernández-Ramos, Muñoz-Flores et al. (2025), para *Pinus leiophylla* en una PFM de la meseta Purépecha, registraron un incremento de 47 cm en At por cada centímetro que aumenta la dimensión del diámetro; mientras que, García-Espinoza et al. (2023), a través de proponer ecuaciones de índice diamétrico, señalan que a los seis años se alcanza el punto máximo de incremento en diámetro en las plantaciones *Pinus pseudostrabus*, lo cual es un indicativo para la aplicación de las primeras prácticas silvícolas a estos cultivos forestales.

Como una herramienta silvícola cuantitativa adicional a los análisis de datos de inventarios forestales y como una manera de reducir el sesgo en la estimación de la altura de los árboles dentro de las PFM, autores como Hernández-Ramos, Barrera-Ramírez, et al. (2024) y Hernández-Ramos, Reyes-Hernández, et al. (2024) proponen el uso de ecuaciones altura total-diámetro normal para *Pinus leiophylla* (centro-noroccidental), *Pinus pseudostrabus* y *Pinus montezumae* (NSJP) con la posibilidad de calibrar las ecuaciones a través de un enfoque de modelos de efectos mixtos.

Si bien, es cierto que se cuenta con información parcial para el manejo de las PFM en Michoacán, falta modelar o describir la dinámica de crecimiento de estos cultivos en función de altitud, topografía o distribución espacial (Sundqvist et al., 2013; Pyatt et al., 2016); o bien la respuesta fenotípica (plasticidad) o de resiliencia a fenómenos meteorológicos extremos (Rehfeldt, 1988; Sáenz et al., 2012; Sáenz-Romero, Rehfeldt, et al., 2016). Esta necesidad

se hace evidente pues las alteraciones climáticas influyen significativamente en el crecimiento de las especies forestales (González-Tagle et al., 2024), además de que, de acuerdo con otros autores, se requiere información para prever acciones de migración asistida en un enfoque de conservación, no de aprovechamiento de las comunidades vegetales (Sáenz et al., 2012; Sáenz-Romero, Lindig-Cisneros, et al., 2016).

De acuerdo con lo mencionado, se plantean varias interrogantes de la situación actual de las PFM: *i)* ¿Cómo se han clasificado las áreas forestales donde se establecen las plantaciones del género *Pinus* en la zona templada de Michoacán?, *ii)* ¿Qué herramientas silvícolas se utilizan en la planeación, establecimiento, manejo y aprovechamiento de las PFM en el estado?, *iii)* ¿Con base en qué herramientas se realizan las proyecciones de crecimiento y rendimientos de estos cultivos, *iv)* ¿Cómo se han manejado las plantaciones establecidas a lo largo de la historia?, y *v)* ¿La producción volumétrica lograda con especies introducidas es competitiva con la mostrada por especies nativas?

Algunas preguntas que sería bueno abordar con vista al futuro de las plantaciones son; *vi)* ¿Qué está pasando con las plantaciones forestales en el estado con fines no maderables (resina) o de pago de servicios ambientales (carbono)?, *vii)* ¿Cómo están afectando las variaciones climáticas a las PF en términos de adaptación y mitigación en Michoacán?, *viii)* ¿Qué especies forestales son más resilientes a eventos extremos como sequías y plagas? y *ix)* ¿Qué especies son la más recomendables para el mejoramiento genético para poder aumentar la productividad y reducir los turnos bajo los escenarios actuales de variación climática, estrés hídrico y demanda de recursos a escala mundial?

CONCLUSIONES

El estado de Michoacán cuenta con un gran potencial para el establecimiento de plantaciones forestales maderables (PFM), en la región templada, con diversas especies del género *Pinus*, ya que presenta condiciones climáticas y ambientales variadas, tales como altitud, exposición, pendiente, clima y suelos, en las que especies de interés



comercial se han adaptado o pueden adaptarse. La información sobre áreas potenciales para el establecimiento de estos cultivos es limitada para algunas especies, por lo que puede ser un área de oportunidad para futuras investigaciones.

Los trabajos publicados de los últimos 20 años señalan que la superficie anual establecida de PFM en Michoacán se ha igualado con la tasa de aprovechamiento, aun cuando las políticas públicas han tratado de incentivar su establecimiento. A pesar de que existen incentivos económicos por parte del gobierno federal y estatal, no se han aprovechado al máximo las áreas potenciales con las que cuenta el estado para expandir la frontera forestal sobre los cultivos agrícolas establecidos en sus regiones templadas.

La elección de la especie o especies para establecer PFM, el tipo de germoplasma a utilizar y la calidad de planta producida en vivero, así como la selección del área y preparación del terreno, son elementos fundamentales que se deben considerar. Además, los factores edafoclimáticos son determinantes en la supervivencia de la planta en campo y, en general, en el éxito o fracaso de estos cultivos forestales

La calidad de estación de cada sitio en donde se establezcan las PFM, la densidad inicial de plantación, el manejo silvícola particular para cada condición de crecimiento, la especie o mezcla de ellas son factores que determinarán la tasa de incremento y, por ende, el rendimiento maderable y el no maderable de cada cultivo.

Se debe de poner interés en la cuantificación de la biomasa en la PF para poder participar en la venta de créditos de carbono. Mediante esta medición se pueden determinar con exactitud los créditos de carbono generados, establecer líneas base de absorción y ofrecer información verificable para mercados internacionales, agregando valor económico y ambiental a los proyectos forestales. Además, algunos autores consideran que la migración asistida a través de plantaciones forestales puede ser una alternativa ante el cambio climático, debido a que las plantaciones ayudan a absorber CO₂, protegen biodiversidad y proporcionan empleo, mitigando impactos

ambientales y sociales. Estas iniciativas promueven la resiliencia ecológica y la adaptación comunitaria.

El análisis bibliográfico realizado demuestra que se cuenta con información que puede contribuir a la planeación, el establecimiento y el manejo de las plantaciones, pero ésta aún es insuficiente. También se hace evidente que existen aún tópicos poco explorados, tales como los índices de sitio específicos para cada especie, mezcla de ellas, región forestal, parámetros de manejo de densidad acordes con las condiciones de cada plantación o sistemas de crecimiento y rendimiento implícitos o explícitos más detallados. Es necesario generar información respecto a estos temas para estar en condición de aprovechar mejor el potencial de la región templada del estado.

RECONOCIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Inifap) y al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) por el apoyo a capacitación y formación de personal investigador. A la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán y en especial a la dirección técnica forestal por las facilidades prestadas, el tiempo dedicado, personal asignado y en general por el apoyo recibido en las actividades de campo.

REFERENCIAS

- Cano P., A., & Cetina V., M. (2004). *Calidad de planta en vivero y prácticas que influyen en su producción*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Chávez-García, A. S., Hernández-Ramos, J., Muñoz-Flores, H. J., García-Magaña, J. J., Gómez-Cárdenas, M., & Gutiérrez-Contreras, M. (2022). Plasticidad fenotípica de progenies de árboles de *Pinus pseudostrubus* Lindl. superiores en producción de resina en vivero. *Madera y Bosques*, 28(1), e2812381. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812381>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio]. (2019). *La biodiversidad en Michoacán: Estudio de estado 2* (Vol. 2). Conabio. <https://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/169278>
- Comisión Nacional Forestal [Conafor] (2010). *Prácticas de reforestación. Manual básico*. Conafor. <https://ccmss.org.mx/wp>

content/uploads/Practicas_de_reforestacion_manual_basico.pdf

- Comisión Nacional Forestal [Conafor] (2011). *Evaluación de costos de establecimiento y mantenimiento de plantaciones forestales comerciales*. Conafor.
- Comisión Nacional Forestal [Conafor]. (2014). *Situación Actual y Perspectivas de las Plantaciones Forestales Comerciales en México*. Conafor. <http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/PFC.pdf>
- Comisión Nacional Forestal [Conafor]. (2019). *El sector forestal mexicano en cifras 2019. Bosques para el bienestar social y climático*. Conafor. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/1/7749El%20Sector%20Forestal%20Mexicano%20en%20Cifras%202019.pdf>
- Comisión Nacional Forestal [Conafor]. (2022). *Áreas elegibles*. https://idefor.cnf.gob.mx/mviewer/AE_2022
- Comisión Forestal del Estado de Michoacán [Cofom]. (2014). *Inventario estatal forestal y de suelos Michoacán de Ocampo 2014* (Vol. 1, Núm. 1). Cofom.
- Corlett, R. T. & Westcott, D. V. (2013). Will plant movements keep up with climate change? *Trends in Ecology & Evolution*, 28(8), 482–488. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.04.003>
- Escobar-Alonso, S., & Rodríguez-Trejo, A. D. (2019). Estado del arte en la investigación sobre calidad de planta del género *Pinus* en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(55), 4-38. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i55.558>
- Fang, Z., Borders, B. E., & Bailey, R. L. (2000). Compatible volume-taper models for Loblolly and Slash pine based on a system with segmented-stem form factors. *Forest Science*, 46(1), 1-12. <https://doi.org/10.1093/forestscience/46.1.1>
- García-Cuevas, X., Rodríguez-Medina, R. E., Hernández-Ramos, J., Ruiz-Duque, H., Hernández-Ramos, A., & Sáenz-Reyes, J. T. (2024). Índice de sitio en plantaciones forestales de *Pinus oocarpa* Shiede en Michoacán, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 11(1), 1-16. <https://doi.org/10.19136/era.a11n1.3765>
- García-Espinoza, G. G., Aguirre-Calderón, O. A., Quiñonez-Barraza, G., Alanís-Rodríguez, E., De Los Santos-Posadas, H. M., & García-Magaña, J. J. (2018). Taper and volume systems based on ratio equations for *Pinus pseudostrobus* Lindl. in Mexico. *Forests*, 9(6), 1-14. <https://doi.org/10.3390/f9060344>
- García-Espinoza, G. G., Aguirre-Calderón, O. A., Vargas-Larreta, B., Martínez-Ángel, L., García-Magaña, J. J., & Hernández-Ramos, J. (2019). Sistema compatible de ahusamiento y volumen comercial de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. *Agrociencia*, 53(1), 115-131.
- García-Espinoza, G. G., Aguirre-Calderón, O. A., Quiñonez-Barraza, G., Alanís-Rodríguez, E., González-Tagle, M. A., & García-Magaña, J. J. (2019). Global-local and fixed-random parameters to model dominant height growth of *Pinus pseudostrobus* Lindley. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 25(1), 141-156. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2018.06.047>
- García-Espinoza, G. G., Quiñonez-Barraza, G., Aguirre-Calderón, O. A., García-Magaña, J. J., & Hernández-Ramos, J. (2023). Ecuaciones de índice de diámetro para plantaciones comerciales de *Pinus pseudostrobus* Lindley en Michoacán, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(1), 1-15. <https://doi.org/10.19136/era.a10n1.3454>
- García-Magaña, J. J. (1996a). *Coníferas promisorias para reforestaciones en la Sierra Purhépecha* (Agenda Técnica Núm. 2). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- García-Magaña, J. J. (1996b). *Crecimiento de dos especies de pino establecidos sobre Andosoles cubiertos con arena volcánica* (Folleto Técnico Núm. 1). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- García-Magaña, J. J., & Mas-Pérez, J. (1994). *Efecto del espaciamiento en plantaciones de Pinus patula y P. leiophylla* (Folleto Técnico Núm. 25). Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos; Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- García-Magaña, J. J., & Muñoz-Flores, H. J. (1993). *Guía técnica para el establecimiento y manejo de plantaciones en la Cuenca del Lago de Pátzcuaro* (Guía Técnica Núm. 2). Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- García-Magaña, J. J., Muñoz-Flores, H. J., Sáenz-Romero, J. T., & García-Sánchez, J. (2006). Plantaciones forestales en la Sierra Purhépecha de Michoacán. *Ciencia Forestal en México*, 31(99), 7-25. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/838/2087>
- García M., J. J., & Toledo B., R. (1989). *Guía técnica para la aplicación de podas en plantaciones forestales*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- García-Magaña, J. J., & Toledo-Bustos, R. (1989). Ensayo de tres intensidades de poda en una plantación de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus michoacana* Mtz. *Ciencia Forestal en México*, 14(65), 52-76. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/1137/2501>
- Gobierno del Estado de Michoacán. (2017). *Programa de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de Michoacán 2030* (Tomo 1). Comisión Forestal del Estado de Michoacán.



- Gobierno del Estado de Michoacán. (2019). Programa de Desarrollo Sustentable De Los Recursos Forestales y de Suelos 2017-2022. *Periódico Oficial, CLXXII(33)*, 1-32.
- Gobierno del Estado de Michoacán. (2024). Dictamen con Proyecto de Acuerdo que contiene la glosa con relación al Segundo Informe que guarda la Administración Pública Estatal, elaborado por la Comisión de Desarrollo Sustentable y Medio Ambiente. *Gaceta Parlamentaria*, 118(L bis). <http://congresomich.gob.mx/file/Gaceta-118-XXXIX-L-bis-20-03-2024.pdf>
- González-Tagle, M. A., González C., M., Himmelsbach, W., & Gárate-Escamilla, H. A. (2024). Diferencias en la respuesta de indicadores dendrocronológicos a condiciones climáticas y topográficas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 15(81), 59-82. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i81.1435>
- Guevara-Bonilla, M., & Murillo-Gamboa, O. (2021). Productividad, costos y calidad de ejecución del primer raleo en plantaciones de *Acacia mangium* Willd en la zona norte de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kuri*, 18(42), 55-61. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v16i42.5539>
- Hernández R., J., Reyes H., V. J., Fierros G., A. M., Buendía R., E., Quiñonez B., G., & De los Santos P., H. M. (2022). Morfometría de copa en plantaciones de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus montezumae* en Michoacán, México. *Bosque*, 43(3), 309-320. <http://revistas.uach.cl/index.php/bosque/article/view/6975/8065>
- Hernández-Ramos, J., Muñoz-Flores, H. J., Barrera-Ramírez, R., García-Cuevas, X., Hernández-Ramos, A., & Buendía-Rodríguez, E. (2025). Volumen de madera para *Pinus leiophylla* Schl. & Cham., en Michoacán, México. *Revista Bio Ciencias*, 12, 1-11. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1639>
- Hernández-Ramos, J., Reyes-Hernández, V. J., Buendía-Rodríguez, E., Quiñonez-Barraza, G., De los Santos-Posadas, H. M., & Fierros-González, A. M. (2025). Crecimiento y rendimiento en plantaciones de *Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus pseudostrobus* Lindl. en Michoacán, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 31, e24033. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2024.08.033>
- Hernández-Ramos, J., Reyes-Hernández, V. J., Quiñonez-Barraza, G., de los Santos-Posadas, H. M., Fierros-González, A. M., & Buendía-Rodríguez, E. (2025). Relaciones alométricas con modelos de efectos mixtos para *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus montezumae* Lamb. en plantaciones forestales en Michoacán, México. *Madera y Bosques*, 31, e312345. <https://doi.org/10.21829/myb.2025.312345>
- Hernández-Ramos, J., Sáenz-Reyes, J. T., Chávez-García, A. S., Muñoz-Flores, H. J., García-Magaña, J. J., & Gómez-Cárdenas, M. (2025). Calidad de planta de progenies superiores en producción de resina de *Pinus pseudostrobus* Lindl. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 12(2), e4543. <https://doi.org/10.19136/era.a12n2.4543>
- Hernández-Ramos, J., Barrera-Ramírez, R., Muñoz-Flores, H. J., Gómez-Cárdenas, M., Rubio-Camacho, E. A., & García-Espinoza, G. G. (2024). Modelo generalizado altura total-diámetro normal para plantaciones de *Pinus leiophylla* en Michoacán, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 11(3), 1-14. <https://doi.org/10.19136/era.a11n3.4139>
- Hernández-Ramos, J., Reyes-Hernández, V. J., Santos-Posadas, H. M., Fierros-González, A. M., Buendía-Rodríguez, E., & Quiñonez-Barraza, G. (2024). Generalized height-diameter models for *Pinus montezumae* Lamb. and *Pinus pseudostrobus* Lindl. plantations in Michoacan, Mexico. *Open Journal of Forestry*, 14, 214-232. <https://doi.org/10.4236/ojf.2024.143014>
- Lynch, T. B., Zhao, D., Harges, W., & McTague, J. R. (2017). Deriving compatible taper functions from volume ratio equations based on upper-stem height. *Canadian Journal of Forest Research*, 47(10), 1424-1431. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2017-0108>
- Manzanilla-Quiñones, U., Delgado-Valerio, P., Hernández-Ramos, J., Molina-Sánchez, A., García-Magaña, J. J., & Rocha-Granados, M. del C. (2018). Similitud del nicho ecológico de *Pinus montezumae* y *P. pseudostrobus* (Pinaceae) en México: implicaciones para la selección de áreas productoras de semillas y de conservación. *Acta Botanica Mexicana*, 126, 1-22. <https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1398>
- Mas, P. J., Naranjo C., G., & Muñoz, F. J. (1990). *Evaluación del desarrollo de once plantaciones forestales establecidas en el municipio de Morelia, Mich.* (Folleto Técnico No. 1). CEFAP-Morelia. INIFAP-SARH.
- Mas, J. F., Lemoine-Rodríguez, R., González, R., López-Sánchez, J., Piña-Garduño, A., & Herrera-Flores, E. (2017). Evaluación de las tasas de deforestación en Michoacán a escala detallada mediante un método híbrido de clasificación de imágenes SPOT. *Madera y Bosques*, 23(2), 119-131. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2321472>
- Munka, C., Pezzani, F., & Caffera, M. (2013). Efecto del manejo silvicultural sobre el área foliar y la evapotranspiración en *Pinus taeda* en el noreste de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 17(2), 55-63. <https://agrocienciauruguay.uy/index.php/agrociencia/article/view/462/383>
- Muñoz F., H. J., & García M., J. J. (2002). *Pinus greggii* Engelm. una especie con potencial para el establecimiento de plantaciones forestales en el estado de Michoacán. *Ensayo Científico*, 8(16).

- Facultad de Agrobiología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Muñoz-Flores, H. J., Sáenz-Reyes, J. T., Barrera-Ramírez, R., Hernández-Ramos, J., García-Magaña, J. J., & Castillo-Quiroz, D. (2019). Planting dates and their influence on the development of *Pinus pseudostrobus* Lindl. in Michoacán, Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 6, e524. <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e524>
- Muñoz F., H. J., Sáenz R., J. T., Coria A., V. M., García M., J. J., Hernández R., J., & Manzanilla Q., G. E. (2015). Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(27), 72-89. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i27.282>
- Muñoz F., H. J., Sáenz R., J. T., García M., J. J., Coria A., V. M., & Muñoz V., Y. (2015). Áreas potenciales para establecer plantaciones comerciales de pino en la Sierra Purépecha, Michoacán. *Foresta Veracruzana*, 17(2), 35-42.
- Muñoz F., H. J., Sáenz R., J. T., García M., J. J., Hernández M., E., & Anguiano C., J. (2011). Áreas potenciales para establecer plantaciones forestales comerciales de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus greggii* Engelm. en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(5), 29-44. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v2i5.585>
- Muñoz F., H. J., Orozco G., G., Coria A., V. M., & García M., J. J. (2010). Factores ambientales de *Pinus patula* Schl. et Cham. y su adaptación a las condiciones de la sierra purépecha, Michoacán. *Foresta Veracruzana*, 12(2), 27-33.
- Prado D., J. A. (2019). *Plantaciones forestales más allá de los árboles*. CORMA sustentable. <https://cifag.cl/wp-content/uploads/2019/04/Libro-plantaciones.pdf>
- Pyatt, J. C., Tomback, D. F., Blakeslee, S. C., Wunder, M. B., & Bevency, H. D. (2016). The importance of conifers for facilitation at treeline: Comparing biophysical characteristics of leeward microsites in Whitebark Pine Communities. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 48(2), 427-444. <http://www.jstor.org/stable/44000154>
- Reynoso-Santos, R., Pérez-Hernández, M. J., López-Baez, W., Hernández-Ramos, J., Muñoz-Flores, H. J., Cob-Uicab, J. V., & Reynoso-Santos, M. D. (2018). El nicho ecológico como herramienta para predecir áreas potenciales de dos especies de pino. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(48), 47-70. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.114>
- Rehfeldt, G. E. (1988). Ecological genetics of *Pinus contorta* from the Rocky Mountains (USA): A synthesis. *Silvae Genetica*, 37(3-4), 131-135.
- Sáenz R., J. T., Muñoz F., H. J., Pérez D., C. M., Rueda S., A., & Hernández R. J. (2014). Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia", estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(26), 98-111. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i26.293>
- Sáenz R., J. T., Muñoz F., H. J., & Rueda S., A. (2012). *Monografías de especies forestales para plantaciones comerciales en clima templado de Michoacán* (Libro Técnico Núm. 14). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Centro de Investigación Regional Pacífico Centro-Campo Experimental Uruapan.
- Sáenz R., J. T., Muñoz F., H. J., & Rueda S., A. (2011). *Especies promisorias de clima templado para plantaciones forestales comerciales en Michoacán* (Libro Técnico Núm. 10). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Centro de Investigación Regional Pacífico Centro-Campo Experimental Uruapan. <https://es.scribd.com/document/401504925/Especies-promisorias-de-clima-templado-para-plantaciones-forestales-comerciales-en-Michoacan-J-Trinidad-Saenz-Reyes-pdf>
- Sáenz R., J. T., Muñoz F., H. J., Rueda S., A., Villaseñor R., F. J., & Anguiano C., J. (2011). *Regionalización de áreas potenciales para plantaciones forestales comerciales en Michoacán* (Libro Técnico Núm. 12). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Centro de Investigación Regional Pacífico Centro-Campo Experimental Uruapan.
- Sáenz R., J. T., Villaseñor R., F. J., Muñoz F., H. J., Rueda S., A., & Prieto R., J. A. (2010). *Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán* (Folleto Técnico Núm. 17). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Centro de Investigación Regional Pacífico Centro-Campo Experimental Uruapan.
- Sáenz R., J. T., Villaseñor R., F. J., Muñoz F., H. J., Rueda S. A., & Prieto R., J. A. (2013). *Evaluación de plantaciones de restauración en tres municipios del estado de Michoacán* (Folleto Técnico Núm. 32). Sagarpa-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Cirpac.
- Sáenz R., J. T., Castillo-Quiroz, D., Avila-Flores, D. Y., Castillo R., F., Muñoz-Flores, H. J., & Rueda-Sánchez, A. (2019). Potential areas for silvopastoral systems with pino lacio (*Pinus devoniana* Lind.) and introduced grasses (*Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees or *Chloris gayana* Kunth) in Michoacan, México. *Revista Bio Ciencias*, 6, e494. <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e494>
- Sáenz-Romero, C., Rehfeldt, G. E., Crookston, N. L., Duval, P., St-Amant, R., Beaulieu, J., & Richardson, B. A. (2016). Spline models



- of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(4), 334-345. <https://doi.org/10.35196/rfm.2012.4.333>
- Sáenz-Romero, C., Lindig-Cisneros, R. A., Joyce, D. G., Beaulieu, J., Bradley, J. St. C., & Jaquish, B. C. (2016). Assisted migration of forest populations for adapting trees to climate change. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22(3), 303-323. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.10.052>
- Secretaría de Gobernación. (2020). Programa Nacional Forestal 2020-2024. *Diario Oficial de la Federación*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609275&fecha=31/12/2020
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat]. (2021). *Anuario estadístico de la producción forestal 2018*. Semarnat.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat] Comisión Nacional Forestal [Conafor]. (2024). *Plan anual de trabajo 2024*. Semarnat-Conafor. https://www.conafor.gob.mx/transparencia/docs/2024/Programa_Anuual_de_Trabajo_2024.pdf
- Sundqvist, M. K., Sanders, N. J., & Wardle, D. A. (2013). Community and ecosystem responses to elevational gradients: Processes, mechanisms, and insights for global change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 44, 261-280. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110512-135750>
- Torres R., J. M., & Magaña O., S. (2001). *Evaluación de plantaciones forestales*. Limusa Noriega Editores.
- Viveros-Viveros, H., Sáenz-Romero, C., Vargas-Hernández, J., & López-Upton, J. (2006). Variación entre procedencias de *Pinus pseudostrabus* establecidas en dos sitios en Michoacán, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(2), 121-126. <https://doi.org/10.35196/rfm.2006.2.121>
- Zhao, D., & Kane, M. (2017). New variable-top merchantable volume and weight equations derived directly from cumulative relative profiles for loblolly pine. *Forest Science*, 63(3), 261-269. <https://doi.org/10.5849/FS-2016-076>

Manuscrito recibido el 12 de diciembre de 2023

Aceptado el 31 de marzo de 2025

Publicado el 14 de abril de 2026

Este documento se debe citar como:

Hernández-Ramos, J., Reyes-Hernández, V. J., Buendía-Rodríguez, E., Quiñonez-Barraza, G., De los Santos-Posadas, H. M., & Fierros-González, A. M. (2026). Las plantaciones forestales de clima templado en Michoacán, México; algunos parámetros a considerar. *Madera y Bosques*, 32, e322640. <https://doi.org/10.21829/myb.2026.322640>



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