Revista Mexicana de Ciencias Forestales Vol. 17 (96)
Proyecto Estratégico Forestal (2026)

DOI: 10.29298/rmcf.v17i96.1656
Artículo de investigación

Diversidad vegetal en un bosque bajo producción maderable durante periodos de lluvia y de seca

Plant diversity in a forest under timber production during rainy and dry seasons

Vidal Guerra-De la Cruz[1]*, Bossuet Gastón Cortés-Sánchez[1], José Luis Martínez y Pérez[2], Juan Carlos López-Domínguez[3], José Carlos Monárrez-González[4]

Fecha de recepción/Reception date: 27 de febrero de 2026.
Fecha de aceptación/Acceptance date: 20 de mayo de 2026.

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Centro, Sitio Experimental Tlaxcala. México.
[2]Universidad Autónoma de Tlaxcala, Centro de Investigación en Ciencias Biológicas. México.
[3]Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. México.
[4]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Norte-Centro, Campo Experimental Valle de Guadiana. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: guerra.vidal@inifap.gob.mx
*Corresponding author; e-mail: guerra.vidal@inifap.gob.mx

Resumen

El conocimiento de la diversidad vegetal es clave para la gestión forestal sostenible. El objetivo del estudio fue analizar la diversidad vegetal en un bosque bajo producción maderable, durante la temporada seca y de lluvia en la Sierra Norte de Puebla, México. La información de campo se obtuvo de 23 unidades circulares de muestreo de 0.1 ha para el estrato arbóreo, con subunidades anidadas para la medición de atributos de la vegetación arbustiva y herbácea, en cinco tratamientos silvícolas, durante los periodos de lluvia (2023 y 2024) y seca de 2024. La diversidad alfa fue evaluada mediante el Índice de *Shannon-Wiener*, y la diversidad beta se analizó con el Índice de Jaccard. Se registraron 72 especies en el sotobosque, con la mayor riqueza y diversidad en el estrato herbáceo, durante los periodos de lluvia. Las cortas de liberación y de regeneración registraron los valores más altos de diversidad herbácea y arbustiva. El estrato arbóreo presentó 11 especies con dominancia de *Pinus patula* y *Abies religiosa*, mayor diversidad en cortas de aclareo y selección, y menor riqueza y diversidad en corta de regeneración. La similitud florística entre tratamientos silvícolas fue de 0.3 a 0.7, con mínimas variaciones entre periodos. Los resultados muestran que los tratamientos silvícolas determinan los valores de diversidad en tanto que el periodo de lluvias influye estacionalmente al aumentar la diversidad respecto al periodo de secas. El estudio confirma la importancia de los sistemas silvícolas para la conservación de la diversidad vegetal en bosques manejados.

Palabras clave: Árboles, arbustos, estacionalidad, hierbas, *Shannon-Wiener*, silvicultura.

Abstract

Knowledge of diversity is key for sustainable forest management. The aim of this study was to analyze plant diversity in a forest under timber production during the dry and rainy seasons in the *Sierra Norte de Puebla*, Mexico. Field data came from 23 0.1 ha-sampling units with nested subplots for measurement of vegetation attributes, in five silvicultural treatments, during the rainy season (2023, 2024) and the dry season of 2024. Alpha diversity was assessed using the Shannon-Wiener index, and beta diversity was analyzed using the Jaccard index. Understory vegetation included 72 species, with higher richness and diversity during both rainy seasons. Regeneration and release cuttings showed higher values of herbs and shrub diversity. Tree layer included 11 species with *Pinus patula* and *Abies religiosa* dominance showed higher diversity values in thinning and selection cuttings, and lower richness and diversity in regeneration cuttings. Floristic similarity between silvicultural treatments ranged from 0.3 to 0.7, with minimal variation among seasons. Results show that silvicultural treatments shape plant diversity, while the rainy season favors increases in plant diversity and richness relative to the dry season. The study confirms the importance of silvicultural systems in the conservation of plant diversity in managed forests.

Keywords: Trees, shrubs, seasonality, herbs, Shannon-Wiener, silviculture.

Introducción

La diversidad de especies en los ecosistemas forestales es un aspecto clave para su aprovechamiento y conservación debido a la estrecha relación entre la diversidad y la productividad forestal (Ammer, 2019), así como por su papel en la resiliencia de los bosques ante el cambio climático (Hong et al., 2022). En general, se asume que un bosque con alta diversidad refleja mayor disponibilidad y heterogeneidad de recursos como luz, nutrientes y humedad en las distintas fases de desarrollo de los rodales, y que las condiciones climáticas juegan un papel importante en la diversidad, aunque los mecanismos de estos procesos no son del todo claros (Su et al., 2019).

Particularmente, en bosques manejados para fines maderables un reto importante es aplicar sistemas silvícolas que propicien la conservación de la biodiversidad. No obstante, históricamente las prácticas silvícolas crean estructuras y condiciones homogéneas que tienden a reducir la diversidad en los diferentes estratos de vegetación (Bolton & D'Amato, 2019). Por lo anterior, algunas estrategias silvícolas buscan promover la diversidad y resiliencia a través de estructuras incoetáneas y

multiespecíficas (Bauhus et al., 2017; Bolton & D'Amato, 2019). Una forma de analizar los impactos ocasionados por los tratamientos silvícolas sobre la biodiversidad es mediante indicadores específicos, que permiten conocer las variaciones en la composición y estructura del bosque (Graciano-Ávila et al., 2025).

La Sierra Norte de Puebla es la región de mayor producción maderable en el estado, y la primera en aplicar programas de manejo forestal que integran prácticas para la conservación de la biodiversidad (Comisión Nacional Forestal [Conafor], 2017). En la actualidad, se desconoce la magnitud del impacto de la gestión forestal en la conservación de la biodiversidad en la región (González-Ovando et al., 2016). Algunos estudios han establecido líneas base de diversidad en zonas bajo gestión forestal en un tiempo específico (Caballero-Cruz et al., 2022; Rendón-Pérez et al., 2021; Silva-González et al., 2022). Sin embargo, la carencia de información de los cambios en la diversidad vegetal en diferentes condiciones silvícolas y climáticas en áreas bajo manejo forestal sigue siendo notable. El objetivo de este estudio fue analizar la diversidad en los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo de un bosque manejado bajo cinco tratamientos silvícolas: cortas de regeneración, liberación, aclareos (en dos fases), y de selección, durante las estaciones seca y de lluvias en la Sierra Norte de Puebla. La hipótesis planteada es que la diversidad en los tres estratos varía en función de los tratamientos silvícolas, en tanto que la condición de humedad influye estacionalmente en la diversidad de los estratos arbustivo y herbáceo. Se espera que la mayor humedad en el periodo de lluvias propicie aumentos en los valores de diversidad arbustiva y herbácea, en cada tratamiento silvícola.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el ejido Emiliano Zapata, municipio Chignahuapan, en el norte del estado de Puebla, México (19°43'38.28" N, -98°3'44.51" O y 19°41'53.53" N, -98°1'37.99" O) (Figura 1), que tiene una superficie forestal arbolada incorporada al manejo de 305.3 ha. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI], 2008), con precipitación anual de 703 mm y temperatura media de 13.7 °C (Servicio Meteorológico Nacional [SMN], 2020). La vegetación está conformada por bosques de coníferas y latifoliadas, en los que destacan especies de pino y oyamel, además de asociaciones de encino y otras latifoliadas (Salinas-Cruz et al., 2017).

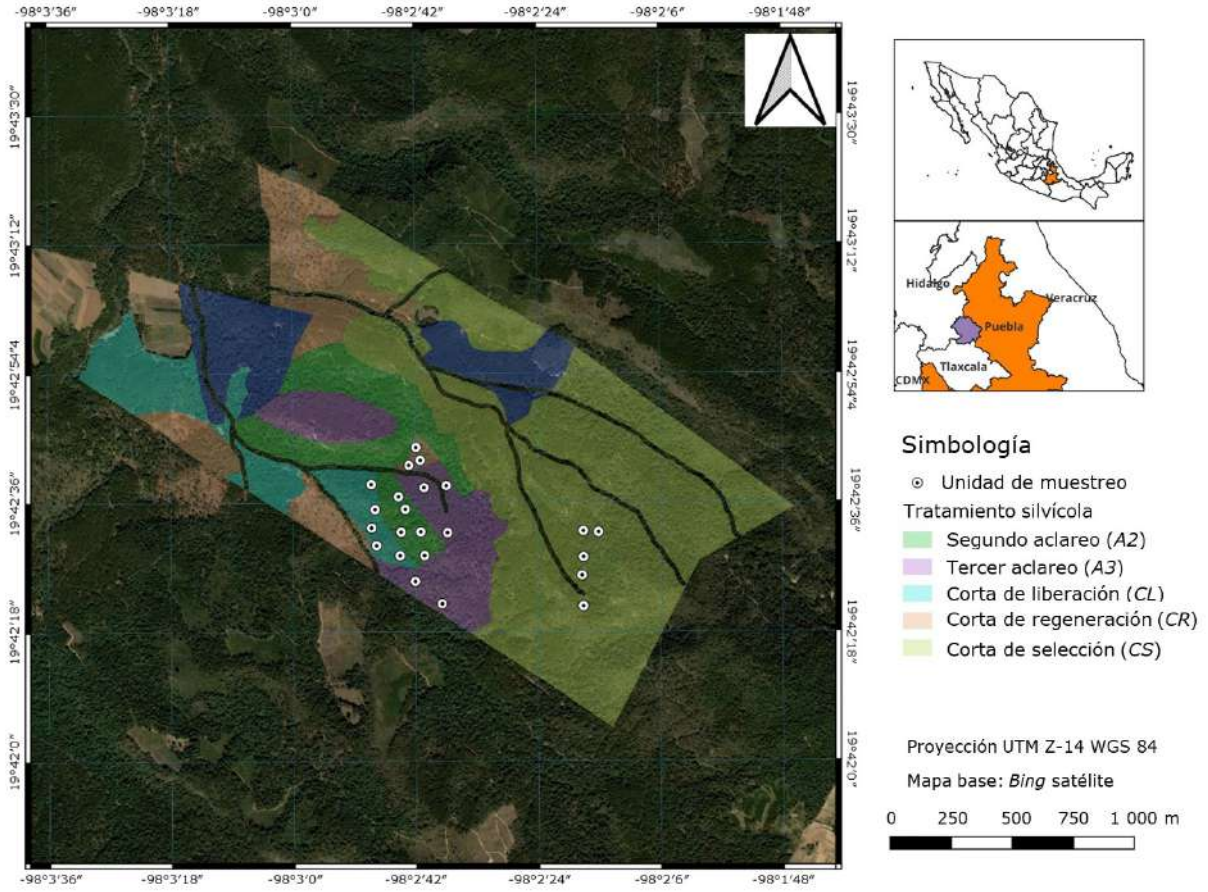


Figura 1. Área de estudio con la ubicación de los polígonos de tratamientos silvícolas y de las unidades de muestreo en el ejido Emiliano Zapata, municipio Chignahuapan, Puebla.

El área de estudio está sujeta a dos sistemas de manejo: uno intensivo, denominado Método de Desarrollo Silvícola (MDS) que incluye los tratamientos de corta de regeneración, liberación y de aclareos; y otro menos intensivo, conocido como Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI) que tiene como tratamiento principal la corta de selección. Bajo el MDS la corta de regeneración es por árboles semilleros, los cuales se dejan en pie en las áreas de corta, y una vez establecida la regeneración son removidos en la corta de liberación. Los tratamientos subsecuentes son las cortas de aclareos en tres fases, que consisten en remociones parciales de arbolado para propiciar el crecimiento ordenado de la masa regenerada (para una descripción más detallada de este método y sus tratamientos consultar Rosales-

Salazar et al., 1982). En cuanto al MMOBI, en la corta de selección se extraen árboles sobremaduros, dañados, malconformados o plagados, sin abrir completamente el dosel, a fin de mejorar gradualmente la calidad de la masa residual (López-Hernández et al., 2017).

Obtención de la información de campo

En el área sujeta a manejo se establecieron 23 unidades primarias de muestreo (UPM) de 0.1 ha de forma circular. En función de la superficie de las áreas bajo los diferentes tratamientos silvícolas, las UPM se distribuyeron sistemáticamente de la siguiente manera: cinco UPM en Segundo aclareo (*A2*), Tercer aclareo (*A3*), Corta de liberación (*CL*), Corta de selección (*CS*) y tres en Corta de regeneración (*CR*), (Figura 1), en las cuales se midió el estrato arbóreo (árboles con diámetro normal *DN*>=7.5 cm); el *DN* (1.3 m) se registró con una cinta diamétrica *Forestry Supliers Inc.*® modelo 283D. Con el *DN* se calculó el área basal por especies como una medida de dominancia en las UPM.

Cada UPM se dividió en cuatro cuadrantes, en tres de las cuales se ubicaron sistemáticamente subunidades de muestreo equidistantes a 12.5 m del centro, que consistieron en dos parcelas anidadas de 4 m^2 y de 1 m^2 para la medición de los estratos arbustivo y herbáceo, respectivamente. En las subunidades se identificaron y cuantificaron las plantas vasculares, considerando como hierbas a los individuos menores de 0.5 m de altura y como arbustos a las plantas leñosas mayores de 0.5 m hasta 2 m de altura (Kutnar et al., 2026). Los individuos cuya identidad taxonómica no fue posible determinar en campo se colectaron en muestras botánicas para su determinación posterior con base en claves taxonómicas (Calderón de Rzedowski & Rzedowski, 2001) y con apoyo de ejemplares del Herbario Universitario TLXM-

Universidad Autónoma de Tlaxcala. Las mediciones se realizaron durante el verano de 2023 y 2024 (periodo de lluvias) y primavera de 2024 (periodo de secas).

En los dos periodos de lluvia la precipitación directa se midió con pluviómetros *True-Check*® con capacidad de 150 mm y 0.1 mm de precisión, instalados a una altura de 1.20 m, a 8.5 m del centro de cada UPM en direcciones norte, este, sur y oeste, es decir cuatro pluviómetros por UPM. El registro de lluvia en cada pluviómetro se realizó semanalmente durante los periodos del 21 de agosto al 30 de octubre de 2023 (11 semanas) y del 24 de junio al 11 de noviembre de 2024 (21 semanas) a fin de captar la variación interanual de la época de lluvias.

Análisis de la información

Diversidad alfa (α)

La riqueza de especies para los tres estratos de vegetación se consideró como el número de especies registradas en los muestreos, en tanto que la diversidad se calculó con el Índice de *Shannon-Wiener* (Moreno, 2001).

Índice de Shannon-Wiener (*H′*):

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} p_i \, ln \, p_i \qquad (1)$$

Donde:

H′ = Índice de *Shannon-Wiener*

S = Número de especies

p_i = Proporción de los individuos de la especie *i*

ln = Logaritmo natural

Para el estrato arbóreo, además de los indicadores de diversidad, se calculó el Índice de Valor de Importancia (*IVI*) especifica por tratamiento silvícola, con la siguiente fórmula (Rendón-Pérez et al., 2021):

$$IVI = \frac{(FR+DR+dR)}{3} \qquad (2)$$

Donde:

IVI = Índice de Valor de Importancia

FR = Frecuencia relativa

DR = Dominancia relativa (medida como área basal)

dR = Densidad relativa (individuos ha^{-1})

Diversidad beta (*β*)

La diversidad beta, entendida como la similitud florística entre dos comunidades, se evaluó con el conjunto de especies de los estratos arbustivo y herbáceo, comparando los tratamientos silvícolas analizados, con el Índice de *Jaccard*, que se expresa en la siguiente ecuación (Moreno, 2001):

$$I_j = \frac{c}{a+b-c} \qquad (3)$$

Donde:

I_j = Índice de semejanza florística de *Jaccard*

a = Número de especies presentes en la comunidad *a*

b = Número de especies presentes en la comunidad *b*

c = Número de especies presentes en ambas comunidades *a* y *b*

El procesamiento y análisis de la información se realizó en el paquete *Vegan* del *software R*, versión 4.5.2 (R Core Team, 2026). A partir de matrices de abundancia por sitio, se calcularon los índices de diversidad alfa: riqueza de especies (*S*) e Índice de *Shannon-Wiener* (*H'*). Se obtuvieron estadísticos descriptivos (media y desviación estándar) por periodo, para los tratamientos silvícolas y estratos de vegetación, para evaluar diferencias entre tratamientos silvícolas, mediante el análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de comparación múltiple de *Tukey* (α=0.05) en los casos pertinentes. Dado que las condiciones de lluvia y de seca, no son propiamente tratamientos, no se compararon estadísticamente y solo se utilizaron como periodos de comparación de la riqueza y diversidad entre los tratamientos silvícolas.

Resultados

Precipitación

Los valores de precipitación mensual en el área de estudio se muestran en la Figura S1, en la que se refleja la variación interanual de la precipitación. Los meses de agosto-octubre de 2024 registraron mayor incidencia que el mismo periodo de 2023. Asimismo, es notable que, en dicho año, el periodo de lluvia terminó en octubre, en tanto que 2024 aún registró lluvias en el mes de noviembre. La precipitación por tratamiento silvícola fue muy similar, excepto para las *CS*, cuando los meses de agosto 2023 y julio 2024 tuvieron valores de precipitación inferiores a los demás tratamientos; aunque en los meses restantes los valores registrados fueron iguales.

Diversidad alfa

Estratos arbustivo y herbáceo

La riqueza total del sotobosque fue de 72 especies, de las cuales 27 pertenecieron al estrato arbustivo y 45 al estrato herbáceo, repartidas en 31 familias, de las cuales destacó Asteraceae por su mayor representación con 16 especies; las otras familias registraron seis o menos taxa. En el estrato arbustivo sobresalieron por su presencia constante en todos los tratamientos y periodos *Fuchsia thymifolia* Kunth, *Baccharis conferta* Kunth y *Symphoricarpos microphyllus* (Humb. & Bonpl. *ex* Schult.) Kunth; en tanto que en las herbáceas predominaron *Salvia elegans* Vahl, *Smilax bona-nox* L., *Chimaphila umbellata* (L.) W. P. C. Barton., *Bromus carinatus* Hook. & Arn. y *Brachypodium mexicanum* (Roem. & Schult.) Link. En contraste, las especies menos representadas fueron *Physalis acutifolia* (Miers) Sandwitt, *Physalis chenopodifolia* Lam., *Sedum praealtum* A. DC. y *Stevia monardifolia* Kunth, que solo se observaron en los periodos de lluvia en *CS* (Cuadro MS1: https://tinyurl.com/3w895c44).

En el estrato arbustivo la riqueza de especies fue relativamente estable con 11 taxa, entre las temporadas de lluvia y de seca para los tratamientos de *A2*, *A3* y *CL*, y presentó una disminución en *CR* durante la primavera (seca) 2024 (seis especies) y un aumento en la *CS* en el verano (lluvia) 2023 (14 especies). En el verano 2024, *CL* alcanzó su mayor valor con 14 especies, mientras que en *CR* y *CS* se registraron los valores más bajos con 11 y nueve taxones, respectivamente (Cuadro 1).

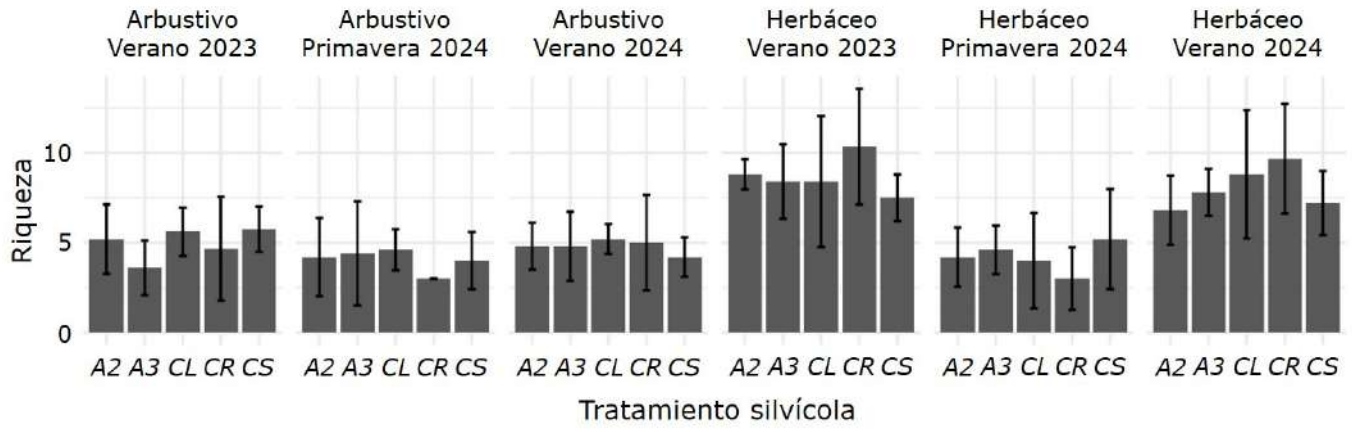
Cuadro 1. Riqueza de especies (*S*) en el sotobosque en diferentes periodos y tratamientos silvícolas en el ejido Emiliano Zapata, Chignahuapan, Puebla, México.

Periodo	*A2*	*A3*	*CL*	*CR*	*CS*
Arbustivo					
Verano 2023	11	11	11	9	14
Primavera 2024	11	11	13	6	9
Verano 2024	13	10	14	11	9
Herbáceo					
Verano 2023	17	20	22	20	13
Primavera 2024	11	10	12	7	11
Verano 2024	14	17	24	19	15

A2 = Segundo aclareo; *A3* = Tercer aclareo; *CL* = Corta de liberación; *CR* = Corta de regeneración; *CS* = Corta de selección.

En el estrato herbáceo, los valores de riqueza fueron superiores y más variables. En verano 2023 *CL* presentó la mayor riqueza con 22 especies, seguida de *CR* y *A3* con 20 especies. En la primavera 2024, las cifras disminuyeron considerablemente, con 12 y 11 especies para *CL* y *CS,* respectivamente. Cabe hacer notar que en el periodo de secas 2024, en la *CR* se observaron los valores más bajos de riqueza de especies en los dos estratos de vegetación. En cambio, en verano 2024 *CL* destacó nuevamente con 24 taxa, mientras que en *CR* y *CS* se identificaron 19 y 15 especies, respectivamente.

En la Figura 2 se muestra el promedio de especies registradas en los diferentes periodos y tratamientos silvícolas. Aunque las diferencias observadas no resultaron significativas (Cuadro MS2: https://tinyurl.com/3w895c44), fue evidente la tendencia de mayor riqueza de especies en el verano (lluvias) para el estrato herbáceo, y un poco menos notable para el estrato arbustivo.



A2 = Segundo aclareo; *A3* = Tercer aclareo; *CL* = Corta de liberación; *CR* = Corta de regeneración; *CS* = Corta de selección.

Figura 2. Promedio de riqueza de especies registradas por periodos y tratamientos silvícolas en el ejido Emiliano Zapata, Chignahuapan, Puebla, México.

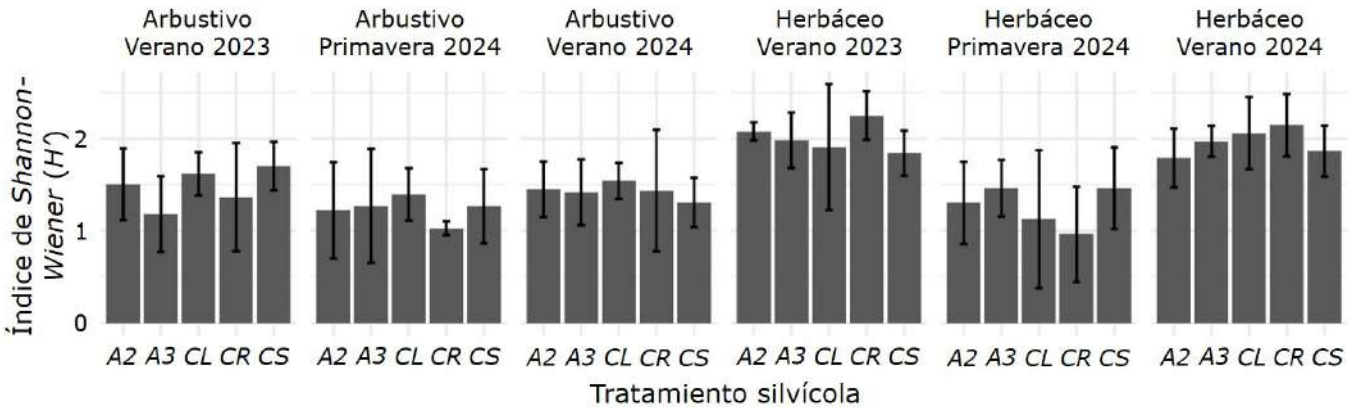
En el Cuadro 2 se muestran los valores del Índice de *Shannon-Wiener*. Para el estrato arbustivo los valores variaronn entre 2.02 y 2.52, con pocas diferencias entre los periodos estudiados, así como entre los tratamientos silvícolas. El valor más alto se observó en la *CS* durante el verano 2023, los más bajos se registraron en la *CR* y *CL* en la primavera 2024; similar a lo correspondiente a la riqueza de especies. Para el estrato herbáceo, los valores fueron ligeramente más altos, en un ntervalo de 2.1 a 2.99. El valor máximo se verificó en la *CL* (2.99) en el verano 2024, lo que representó la mayor diversidad determinada en el estudio. En general, los valores más altos de este índice se detectaron en los periodos de lluvia, particularmente en 2024.

Cuadro 2. Índice de *Shannon-Wiener* (*H'*) para el sotobosque por periodos y tratamientos silvícolas en el ejido Emiliano Zapata, Chignahuapan, Puebla, México.

Temporada	***A2***	***A3***	***CL***	***CR***	***CS***
			Arbustivo		
Verano 2023	2.21	2.22	2.11	2.02	2.52
Primavera 2024	2.11	2.08	2.21	1.72	2.03
Verano 2024	2.26	2.02	2.30	2.30	1.96
			Herbáceo		
Verano 2023	2.57	2.71	2.92	2.80	2.18
Primavera 2024	2.15	2.10	2.16	1.86	2.10
Verano 2024	2.42	2.58	2.99	2.79	2.38

A2 = Segundo aclareo; *A3* = Tercer aclareo; *CL* = Corta de liberación; *CR* = Corta de regeneración; *CS* = Corta de selección.

En la Figura 3 se exhiben los valores de diversidad expresados por el Índice de *Shannon-Wiener* en los diferentes tratamientos silvícolas y estratos de vegetación. Las tendencias con este índice fueron similares a lo observado con la riqueza; aunque las diferencias no resultaron significativas (Cuadro MS2: https://tinyurl.com/3w895c44), los valores de diversidad fueron notablemente más bajos y variables en el estrato herbáceo para el periodo seco, en tanto que para el arbustivo se observó mayor homogeneidad entre tratamientos y periodos.



A2 = Segundo aclareo; *A3* = Tercer aclareo; *CL* = Corta de liberación; *CR* = Corta de regeneración; *CS* = Corta de selección.

Figura 3. Promedio Índice de *Shannon-Wiener* (*H'*) por periodos y tratamientos silvícolas en el sotobosque en el ejido Emiliano Zapata, Chignahuapan, Puebla, México.

Estrato arbóreo

Para el estrato arbóreo se registraron en total 11 especies de cinco familias: Pinaceae (5), Fagaceae (3), Betulaceae (1), Ericaceae (1) y Rosaceae (1); con *Pinus patula* Schiede *ex* Schltdl. & Cham. y *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham. como los taxa con mayor frecuencia, seguidos de *Quercus laurina* Bonpl. Los índices de diversidad por tratamiento silvícola se muestran en el Cuadro 3, en los que se observa que la riqueza permaneció constante con ocho especies en todos los tratamientos, excepto en *CR* donde se identificaron cinco. El índice de *Shannon-Wiener* (*H'*) fue mayor en *A2* (1.47) y *A3* (1.38), y disminuyó en *CL* y *CR* con 1.03 y 0.86, respectivamente.

Cuadro 3. Valores de riqueza (*S*) y diversidad de *Shannon-Wiener* (*H'*) del estrato arbóreo por tratamientos silvícolas en el ejido Emiliano Zapata, Chignahuapan, Puebla, México.

	A2	***A3***	***CL***	***CR***	***CS***
Riqueza	8	8	8	5	8
Diversidad (*H'*)	1.47	1.39	1.03	0.86	1.4

A2 = Segundo aclareo; *A3* = Tercer aclareo; *CL* = Corta de liberación; *CR* = Corta de regeneración; *CS* = Corta de selección.

Valor de importancia

En el Cuadro S1 se muestran los índices de valor de importancia para las especies arbóreas en cada tratamiento silvícola. *Pinus patula* tiene los *IVI* mayores a 0.5 en todos los tratamientos excepto en *A2*. En general, las coníferas dominaron en casi todos los tratamientos, con valores acumulados superiores a 0.5, especialmente en *CR*, que aun con la menor riqueza, las especies más relevantes fueron las coníferas con *IVI* acumulados mayores a 0.8. Entre las latifoliadas solo *Quercus laurina* y *Q. rugosa* Née destacaron en valor de importancia, principalmente en *A2*, en tanto que los otros taxa estuvieron mínimamente representados en los tratamientos silvícolas.

Similitud florística

El Índice de *Jaccard* se utilizó para evaluar la similitud en la composición entre los tratamientos silvícolas en los diferentes periodos, se consideraron en conjunto las especies arbustivas y herbáceas, y por separado al estrato arbóreo.

Los valores obtenidos para el sotobosque variaron entre 0.35 y 0.7, lo que en general indicó una similitud moderada en la composición entre los tratamientos silvícolas en los diferentes periodos. En el verano 2023, el valor más bajo de similitud fue de 0.35 en *CS*-*CR*, y el valor más alto de 0.69 entre *A2*-*A3*. En la primavera de 2024, la similitud mantuvo una tendencia intermedia con valores entre 0.42 y 0.59, este último valor entre *CS*-*CL* y *A2*-*A3*. En el verano 2024, los valores fueron más altos en comparación con los periodos anteriores, principalmente entre *A2*-*A3* con un valor de 0.7, ello indicó en general mayor similitud florística entre tratamientos en este periodo (Cuadro S2). En el estrato arbóreo, los valores de similitud tienen una tendencia más clara, ya que la semejanza en composición de especies es máxima en los tratamientos de aclareos, en contraste la *CR* mostró baja similitud con todos los demás tratamientos (0.44) en especial con la *CS* (0.3) (Cuadro S3).

Discusión

Estratos arbustivo y herbáceo

Los valores de riqueza en el presente estudio son mayores a los de bosques de *Abies religiosa* del Nevado de Toluca, donde Mejía-Canales et al. (2018) contabilizaron 24 especies herbáceas y ocho arbustivas. En contraste, Rendón-Pérez et al. (2021) registraron 58 especies herbáceas y 10 arbustivas en bosques de pinos en Epazoyucan, Hidalgo. Ambos estudios coinciden en la mayor representación de la familia Asteraceae, como también se confirmó en el estudio aquí descrito. En cuanto algunas de las especies más comunes, Mejía-Canales et al. (2018) clasificaron como heliófitas a *Symphoricarpos microphyllus* y las poaceas (en este estudio representados por *Bromus carinatus* y *Brachypodium mexicanum*); en tanto que *Fuchsia*, *Salvia* sp. y *Stevia monardifolia*, las consideran en el gremio ecológico de esciófitas, es decir tolerantes a la sombra. Al respecto, los resultados obtenidos son congruentes, ya que las heliófitas son generalmente colonizadoras en los procesos de disturbio, lo que explica su presencia constante en todos los tratamientos silvícolas analizados; en cambio, *Stevia monardifolia* que solo aparece en *CS* durante el periodo de lluvias, confirma su afinidad por sitios con mayor humedad y cobertura.

A pesar de que las diferencias en riqueza y diversidad entre tratamientos silvícolas no fueron significativas, las tendencias observadas en la diversidad para los periodos analizados coinciden con la hipótesis planteada, al reflejar variaciones en función de los tratamientos silvícolas y mostrar una respuesta a la condición de humedad. Todos los tratamientos silvícolas implican remoción de arbolado con distintas intensidades y objetivos; por ejemplo, las *CR* implican la apertura total del dosel (Pérez-López et al., 2020), a diferencia de la *CS*, donde la apertura del dosel es menos drástica (Silva-González et al., 2022). Como ocurre con los procesos de disturbio, la apertura del

dosel aumenta la disponibilidad y heterogeneidad de recursos, lo cual favorece incrementos en la diversidad de especies (Su et al., 2019).

La mayor riqueza de herbáceas en *CL* sugiere más oportunidades de colonización después de la *CR*, aunado a que la *CL* implica una apertura adicional del dosel al remover los arboles semilleros. Se ha observado que la apertura del dosel modifica las condiciones ambientales (luz, temperatura y humedad) en el sotobosque permitiendo el establecimiento de especies colonizadoras (Bolton & D'Amato, 2019) en adición a las especies residentes en las áreas de corta, lo cual aumenta la diversidad (Kutnar et al., 2026). Adicionalmente, especies como *Stevia monardifolia* y *Sedum praealtum*, *Arenaria* sp. y otras, que solo están presentes en los periodos de lluvia, confirman que la mayor humedad propicia nuevos ambientes que favorecen su establecimiento.

De acuerdo con la hipótesis, en primavera se observaron menores valores de diversidad herbácea en las áreas de corta. Si bien la disponibilidad de humedad favorece la abundancia y diversidad en el sotobosque, sus mecanismos de influencia no son necesariamente lineales y dependen también de otros factores del suelo, como profundidad, drenaje, entre otros (Su et al., 2019).

Los valores bajos de diversidad del estrato arbustivo en todos los tratamientos y periodos, también se han observado en otros estudios de bosques templados (Mejía-Canales et al., 2018; Rendón-Pérez et al., 2021). La menor variabilidad de los indicadores en el estrato arbustivo entre periodos también se explica porque este estrato incluye, principalmente, individuos leñosos que pueden tolerar más los descensos de humedad en la primavera, como lo sugieren Liu et al. (2026). Cabe destacar que, en la *CS*, considerada un tratamiento conservador en remoción de arbolado (López-Hernández et al., 2017), los valores de diversidad en los estratos bajos son similares a *A2* y *A3*, lo cual resalta la importancia de la permanencia del dosel en el mantenimiento de la diversidad herbácea y arbustiva. Los tratamientos de aclareo buscan promover el crecimiento de los árboles remanentes sin abrir demasiado el dosel (Pérez-López et al., 2020), de manera análoga a lo que ocurre

con las *CS*. Kutnar et al. (2026) resaltan la importancia del dosel en el comportamiento de la riqueza del sotobosque, ya que es considerado como *proxy* de la disponibilidad de luz en las partes bajas. De esta manera, las condiciones silvícolas creadas por los tratamientos son consistentes en términos del efecto de la disponibilidad de recursos (luz y humedad) sobre la diversidad de especies en los estratos arbustivo y herbáceo.

Estrato arbóreo

Los valores de riqueza y diversidad registrados son similares a los observados en bosques mixtos de Durango, donde se citaron 12 especies arbóreas en áreas de corta de regeneración con árboles semilleros (Hernández et al., 2019). En cambio, son menores a los valores documentados en un bosque manejado de Hidalgo, que presentó una riqueza de 20 especies (Rendón-Pérez et al., 2021), y a los de Silva-González et al. (2022) en bosques bajo producción maderable en Durango con 18 especies arbóreas. Adicionalmente, son más bajos a las 24 especies identificadas por Pérez-López et al. (2020) en bosques manejados de alta diversidad en Chiapas.

En general, los valores de diversidad arbórea muestran con más claridad los efectos de los tratamientos silvícolas. Por ejemplo, la menor riqueza y diversidad en *CL* y *CR*, es reflejo del objetivo de estos tratamientos de favorecer activamente el establecimiento y desarrollo de la regeneración de especies de mayor valor comercial (Pérez-López et al., 2020), que en la región de estudio corresponden a *Pinus patula* y *Abies religiosa* (Gutiérrez-Batalla et al., 2025). Asimismo, Silva-González et al. (2022) consignan que, en periodos de varios años, las *CS* también mantienen valores de diversidad arbórea superiores a los de otros tratamientos como la *CR*, similar a lo observado en el presente estudio.

La variación en los valores de diversidad observados en las cortas de aclareo (*A2* y *A3*) también es congruente con lo indicado en simulaciones de escenarios de aclareos en bosques templados, que muestran la respuesta diferenciada de la diversidad arbórea a la intensidad y al tipo de aclareos (Rubio-Camacho et al., 2024).

El *IVI* especifico por tratamiento silvícola confirma la preponderancia de las coníferas en casi todos los tratamientos. Los valores de *IVI* son similares a los referidos para Chiapas (Pérez-López et al., 2020) e Hidalgo (Rendón-Pérez et al., 2021), en donde se observaron *IVI* mayores a 50 % para las especies de coníferas en bosques manejados. Este patrón, recurrente en bosques bajo manejo en México, no son exclusivos de sistemas intensivos, ya que igual ocurre con los sistemas menos intensivos como las *CS*, que también favorecen la regeneración y desarrollo de las coníferas (Hernández et al., 2019; Silva-González et al., 2022). Las tendencias anteriores se reflejan en la baja preponderancia de las latifoliadas en el área de estudio, independiente del sistema silvícola aplicado, lo que confirma lo señalado por Pérez-López et al. (2020) y Rendón-Pérez et al. (2021), respecto a que estas especies son sistemáticamente desplazadas en las áreas de corta, con el consecuente descenso en los valores de riqueza y diversidad en el estrato arbóreo.

Similitud florística

En general, el Índice de *Jaccard* mostró que la similitud en la composición del sotobosque entre los tratamientos silvícolas es moderada (0.3 a 0.7) y también afectada por la condición de humedad, ello sugiere que las áreas de corta comparten pocas especies. Estos valores son ligeramente inferiores a los de Rendón-Pérez et al. (2021) para diferentes asociaciones de pinos y latifoliadas en Epazoyucan, Hidalgo, donde registraron valores de 0.4 a 0.8 para los estratos arbustivo y herbáceo. En el

estrato arbóreo, los valores de similitud son cercanos a los de Gutiérrez-Batalla et al. (2025) quienes detectaron los valores de similitud más altos en las cortas de aclareo en la Sierra Norte de Puebla.

Los valores moderados de similitud sugieren diferencias en las condiciones ecológicas en los tratamientos, que posiblemente interactúan con otras condiciones de sitio como la pendiente, exposición, el tipo de suelo, condición de humedad, etc., las cuales son determinantes para la diversidad en los bosques templados (Su et al., 2019). Por ejemplo, el hecho de que los valores extremos de similitud se hayan registrado en los periodos de lluvia, sugiere que estos propician una mayor heterogeneidad de recursos que permite el establecimiento de nuevos taxa en cada condición. La mayor disponibilidad y heterogeneidad de recursos es uno de los factores determinantes para la diversidad, ya que facilita la coexistencia de especies vegetales con diferentes requerimientos ecológicos (Kutnar et al., 2026).

Conclusiones

Las cortas prescritas en métodos intensivos para propiciar la regeneración de especies de mayor valor comercial promovieron valores más altos de diversidad herbácea y arbustiva, pero más bajos en el estrato arbóreo, donde *Pinus patula* tuvo mayor valor de importancia. En contraste, los valores de diversidad arbórea superiores fueron en los tratamientos de aclareo y *CS* que son más conservadores en remoción de arbolado y apertura del dosel. El Índice de *Jaccard* evidenció valores de similitud florística de 0.3 y 0.7 entre tratamientos, con variaciones importantes en los periodos de lluvia, lo cual refleja mayor disponibilidad y heterogeneidad de recursos, lo cual es clave para una mayor diversidad. Los resultados muestran consistentemente que las condiciones creadas por los tratamientos silvícolas influyen en los niveles de

diversidad en los tres estratos, y que la riqueza y diversidad son afectadas por la condición de humedad.

Agradecimientos

Los autores desean dejar patente su reconocimiento al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por el financiamiento al estudio a través del proyecto "Manejo integrado de recursos forestales para la sustentabilidad de los servicios ecosistémicos ante el cambio climático". Asimismo, a los ejidatarios de Emiliano Zapata, Chignahuapan, Puebla, por las facilidades otorgadas para el desarrollo de las actividades de campo en su ejido.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Vidal Guerra-De la Cruz: conceptualización, estructura, análisis de resultados y redacción del manuscrito; Bossuet Gastón Cortés-Sánchez: procesamiento, análisis de la información y redacción del manuscrito; Juan Carlos López-Domínguez y José Luis Martínez y Pérez: determinación de identidad taxonómica de especies y revisión del manuscrito; José Carlos Monárrez-González: diseño de muestreo, trabajo de campo y revisión del manuscrito.

Referencias

Ammer, C. (2019). Diversity and forest productivity in a changing climate. *New Phytologist*, *221*(1), 50-66. https://doi.org/10.1111/nph.15263

Bauhus, J., Forrester, D. I., & Pretzsch, H. (2017). Mixed-species forests: The development of a forest management paradigm. In H. Pretzsch, D. I. Forrester & J. Bauhus (Eds.), *Mixed-species forests: Ecology and management* (pp. 1-25). Springer Berlin. https://doi.org/10.1007/978-3-662-54553-9_1

Bolton, N. W., & D'Amato, A. W. (2019). Herbaceous vegetation responses to gap size within natural disturbance-based silvicultural systems in Northeastern Minnesota, USA. *Forests*, *10*(2), Article 111. https://doi.org/10.3390/f10020111

Caballero-Cruz, P., Treviño-Garza, E. J., Mata-Balderas, J. M., Alanís-Rodríguez, E., Yerena-Yamallel, J. I., & Cuéllar-Rodríguez, L. G. (2022). Análisis de la estructura y diversidad de bosques templados en la ladera oriental del volcán Iztaccíhuatl, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *13*(71), 76-102. https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i71.1253

Calderón de Rzedowski, G., & Rzedowski, J. (2001). *Flora fanerogámica del Valle de México*. Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/Flora_del_Valle_de_Mx1.pdf

Comisión Nacional Forestal. (2017). *Conservación de biodiversidad en el ejido Llano Grande, Puebla* (Vol. 5). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-Comisión Nacional Forestal. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/159093/05_Llano_Grande__Puebla.pdf

González-Ovando, M. L., Plascencia-Escalante, F. O., & Martínez-Trinidad, T. (2016). Áreas prioritarias para restauración ecológica y sitios de referencia en la región Chignahuapan-Zacatlán. *Madera y Bosques*, *22*(2), 41-52. https://doi.org/10.21829/myb.2016.2221323

Graciano-Ávila, G., Rubio-Camacho, E. A., Alanís-Rodríguez, E., Corral-Rivas, J. J., & García-García, S. A. (2025). Estructura espacial y composición de especies arbóreas

en rodales bajo dos tratamientos silvícolas en la Sierra Madre Occidental. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, *22*(51), 43-53. https://doi.org/10.18845/rfmk.v22i51.8087

Gutiérrez-Batalla, R., Barrón-Sevilla, J. A., Luna-González, G. M., & Gutiérrez-Mauricio, M. (2025). Riqueza florística en un bosque bajo manejo forestal en la Sierra Norte de Puebla, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, *12*(5), Artículo e4526. https://doi.org/10.19136/era.a12nV.4526

Hernández, F. J., Deras-Ávila, A. G., Deras-Ávila, N. I., & Colín, J. G. (2019). Influence of the seed tree method on the diversity of regeneration in a mixed forest in Durango, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, *25*(2), 219-234. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2018.09.066

Hong, P., Schmid, B., De Laender, F., Eisenhauer, N., Zhang, X., Chen, H., Craven, D., De Boeck, H. J., Hautier, Y., Petchey, O. L., Reich, P. B., Steudel, B., Striebel, M., Thakur, M. P., & Wang, S. (2022). Biodiversity promotes ecosystem functioning despite environmental change. *Ecology Letters*, *25*(2), 555-569. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ele.13936

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2008). *Conjunto de datos vectoriales escala 1: 1 000 000. Unidades climáticas* [Cartas climatológicas]. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568

Kutnar, L., Pintar, A. M., Marinšek, A., & Kermavnar, J. (2026). Factors supporting a high level of understorey plant diversity in Ravine Forests (EU priority habitat type). *Forests*, *17*(3), Article 370. https://doi.org/10.3390/f17030370

Liu, S., Hong, G., Qin, F., Hai, L., Yang, H., Li, Z., Dong, D., Li, L., Gao, X., & Li, Z. (2026). Relationship between understory plant diversity and soil characteristics of different plantations in the Mu Us sandy land. *Forests*, *17*(2), Article 172. https://doi.org/10.3390/f17020172

López-Hernández, J. A., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., Monárrez-González, J. C., González-Tagle, M. A., & Jiménez-Pérez, J. (2017). Composición y

diversidad de especies forestales en bosques templados de Puebla, México. *Madera y Bosques*, *23*(1), 39-51. https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311518

Mejía-Canales, A., Franco-Maass, S., Endara-Agramont, A. R., & Ávila-Akerberg, V. (2018). Caracterización del sotobosque en bosques densos de pino y oyamel en el Nevado de Toluca, México. *Madera y Bosques*, *24*(3), Artículo e2431656. https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431656

Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad. Volumen 1*. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe y Sociedad Entomológica Aragonesa. http://sea-entomologia.org/PDF/MTSEA01.pdf

Pérez-López, R. I., González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., & Toledo-Aceves, T. (2020). Efectos del "Método de Desarrollo Silvícola" sobre la diversidad arbórea en bosques húmedos de montaña del norte de Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *91*, Artículo e913326. https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3326

R Core Team. (2026). *R: A language and environment for statistical computing* (Version 4.5.2) [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing. https://www.r-project.org/

Rendón-Pérez, M. A., Hernández-de la Rosa, P., Velázquez-Martínez, A., Alcántara-Carbajal, J. L., & Reyes-Hernández, V. J. (2021). Composición, diversidad y estructura de un bosque manejado del centro de México. *Madera y Bosques*, *27*(1), Article e2712127. https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712127

Rosales-Salazar, P. H., Olayo-González, M. A., Morales-Flores, J. A., Álvarez-Reyes, R., & Martínez-Huerta, I. (1982). El Método de Desarrollo Silvícola, una alternativa en la silvicultura y ordenación de bosques. *Revista Chapingo*, *7*(35-36), 69-72. https://ru.dgb.unam.mx/items/57d0ba58-1746-4f26-8e38-d1c762faab57

Rubio-Camacho, E. A., Xelhuantzi-Carmona, J., Chávez-Durán, Á. A., & Monárrez-González, J. C. (2024). Effects of thinning on the diversity, composition, and spatial structure in a mixed temperate forest. *Agro Productividad*, *17*(9), 125-136. https://doi.org/10.32854/agrop.v17i9.3033

Salinas-Cruz, E., González-Guillén, M. de J., León-Merino, A., & Rodríguez-Hernández, F. R. (2017). La actividad forestal en el desarrollo económico de

Chignahuapan, Puebla. *Región y Sociedad*, *29*(69), 185-218. https://doi.org/10.22198/rys.2017.69.a270

Servicio Meteorológico Nacional. (2020). *Normal climatológica 1991-2020* [Base de datos climáticos]. Comisión Nacional del Agua. https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales_Climatologicas/Normales9120/tlax/nor9120_29032.txt

Silva-González, E., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., González-Tagle, M. A., Treviño-Garza, E. J., & Corral-Rivas, J. J. (2022). Evaluación del aprovechamiento forestal en la diversidad y estructura de un bosque templado en Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *13*(71), 103-132. https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i71.1017

Su, X., Wang, M., Huang, Z., Fu, S., & Chen, H. Y. H. (2019). Forest understorey vegetation: colonization and the availability and heterogeneity of resources. *Forests*, *10*(11), Article 944. https://doi.org/10.3390/f10110944

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