



Flora y estructura: guías en la restauración de un bosque de encino del Estado de México

Flora and structure: guides for oak forest restoration in the State of Mexico

Dana Antonio-Vázquez¹, Alin Nadyely Torres-Díaz¹, Canek Ledesma-Corral² y Karen M. Gómez-Roa²

¹ Universidad Nacional Autónoma de México.
Facultad de Estudios Superiores Iztacala.
Tlalnepantla, Estado de México, México.

² Investigador independiente

* Autora de correspondencia.
alintorresdiaz@comunidad.unam.mx

RESUMEN

La pérdida de los bosques templados del centro de México ha vuelto fundamentales las actividades de restauración y monitoreo. Este estudio evaluó atributos florísticos y estructurales de sistemas de referencia (bosque de encino y su vegetación secundaria) y de una reforestación de cuatro años, en la zona conurbada del Estado de México, al norponiente de la Cd. de México. Su objetivo fue compararlos e identificar atributos útiles para orientar acciones de restauración. Se establecieron unidades muestrales para recolectar flora y medir sus variables estructurales; de la flora registrada se obtuvieron indicadores como distribución, origen y sinantropía; se clasificaron por similitud las unidades muestrales y se calculó su riqueza, valores de importancia por estrato, estimadores estructurales e índice de diversidad de Simpson. Se identificaron tres sistemas de referencia: bosque de encino (BQ), vegetación secundaria arbustiva (VSC) y herbácea (VSH). El BQ presentó la mayor riqueza (70 especies), con un bajo porcentaje de especies sinantrópicas y más de 50% de endemismo, consolidándose como un buen referente. Los sistemas reforestados (RF) se agruparon en cuatro conjuntos y sumaron 117 especies. RF1 y RF3 presentaron densidades arbóreas similares al BQ, en los otros se recomienda el reemplazo de árboles muertos y estrategias para mejorar la supervivencia. La diversidad arbórea y arbustiva fue menor en los sistemas reforestados, lo que sugiere la necesidad de enriquecimiento. La presencia de especies no nativas resalta la importancia del monitoreo para prevenir invasiones. Los atributos evaluados en este estudio resultan herramientas clave para guiar acciones de restauración que favorezcan la recuperación de la diversidad y estructura.

PALABRAS CLAVE: bosques templados, diversidad, indicadores, reforestación, sucesión de bosques templados, valor de importancia.

ABSTRACT

The loss of temperate forests in central Mexico has made restoration and monitoring efforts essential. This study evaluated the floristic and structural attributes of reference systems (oak forest and its secondary vegetation) and a four-year-old reforestation site in the metropolitan area of the State of Mexico, northwest of Mexico City. The goal was to compare these systems and identify key attributes to guide restoration strategies. Sampling units were established to collect plant data and measure structural variables. Indicators such as distribution, origin, and synanthropy were analyzed, and the sampling units were classified by similarity. Species richness, importance values by stratum, structural estimators, and the Simpson diversity index were also calculated. Three reference systems were identified: oak forest (BQ), secondary shrub vegetation (VSC), and herbaceous vegetation (VSH). BQ had the highest species richness (70 species), with a low percentage of synanthropic species and over 50% endemism, making it a strong reference system. The reforested areas (RF) were grouped into four clusters, totaling 117 species. RF1 and RF3 showed tree densities similar to BQ, while the other sites require tree replacement and strategies to improve survival. Tree and shrub diversity was lower in the reforested sites, highlighting the need for enrichment. The presence of non-native species underscores the importance of monitoring to prevent invasions. The attributes assessed in this study serve as key tools for guiding restoration efforts aimed at recovering biodiversity and structural complexity.

KEYWORDS: temperate forests, diversity, indicators, reforestation, temperate forest succession, importance value.

INTRODUCCIÓN

En México, los bosques templados de pino, de encino y mixtos constituyen potencialmente 21% de la vegetación y contienen entre 24% y 40% de la diversidad florística del país (Rzedowski, 1991; Villaseñor y Ortiz, 2014). Sin embargo, estas comunidades vegetales han sido fuertemente alteradas por actividades antrópicas, principalmente agricultura, urbanización y sobreexplotación de madera, afectando su estructura y funciones ecológicas (Almazán-Núñez et al., 2016).

Entre 1993 y 2014, el bosque de encino primario de la Cuenca de México (cuenca endorreica que comprende parte de los estados Estado de Tlaxcala, Hidalgo, Estado de México y CDMX), de acuerdo con Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [Inegi], Instituto Nacional de Ecología [INE] y Comisión Nacional de Agua [Conagua] (2007) perdió 17% de su cobertura, mientras que el bosque primario degradado y el bosque secundario aumentaron 5.1% y 11.9%, respectivamente (Santibáñez-Andrade et al., 2023). Esta transformación no solo implica una pérdida de biodiversidad, dado que algunas especies características de los sistemas conservados son vulnerables a cambios en la temperatura, insolación, humedad y suelo, entre otros; sino también un detrimento del bienestar de la población, ya que reduce la capacidad de los ecosistemas para proveer servicios hidrológicos, capturar carbono, estabilizar suelos, purificar el aire y regular el clima (Chávez-García y Mendoza, 2017).

En este contexto, las actividades de restauración se han vuelto fundamentales para la recuperación de los ecosistemas y sus funciones, ya que permiten acelerar y guiar los procesos de regeneración en sitios afectados. Entre las estrategias más empleadas en la restauración asistida destaca la reforestación, la cual requiere definir un sistema de referencia cuyas características florísticas y estructurales sirvan como modelo para orientar las acciones a implementar, con información detallada sobre las especies presentes y su organización, tanto en el ecosistema conservado como en sus diferentes etapas sucesionales; además de servir como base para selección de indicadores de monitoreo, los cuales deben ser claros, medibles, de carácter no destructivo y capaces de

reflejar el aumento o reducción de características deseables o no deseables durante el proceso de restauración (SER, 2002; Vargas-Ríos, 2011).

Ventura-Ríos et al. (2017) y Almazán-Núñez et al. (2016) han señalado la falta de información sobre la sucesión secundaria en sistemas templados, así como la necesidad de monitorear atributos como composición, diversidad, estructura, abundancia y funciones en todos los estratos de la vegetación (Ruiz-Jaén y Aide, 2005).

OBJETIVOS

El objetivo principal de este estudio fue generar información sobre la flora y estructura de la vegetación de un sistema reforestado de bosque de encino y compararla con sistemas de referencia, en la localidad El Cristo, Naucalpan, Estado de México. Se plantearon los siguientes objetivos específicos: 1) registrar la composición florística y caracterizar la estructura del bosque de encino y su vegetación secundaria presente en el área de estudio; 2) caracterizar estos mismos atributos en el sistema reforestado, cuatro años después de su establecimiento; 3) evaluar la similitud entre los indicadores florísticos y estructurales observados en los sistemas de referencia y el sistema reforestado.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio se ubica en la localidad El Cristo, en el municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México, a 6 km al suroeste de la cabecera municipal, entre 2430 m y 2517 m s.n.m. (Fig. 1). Fisiográficamente, pertenece a la provincia del Eje Neovolcánico y a la subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac. El área está conformada por rocas ígneas extrusivas, principalmente volcanoclásticas y andesitas. Los suelos predominantes incluyen feozem, andosol, luvisol y cambisol. La zona corresponde a la región hidrológica del río Pánuco y a la cuenca del río Moctezuma; se ubica entre dos ríos temporales que alimentan a la presa Madín. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (C(w)), con una temperatura promedio anual de 14.9 °C y una precipitación acumulada de 813 mm al año, las lluvias se concentran entre mayo y septiembre.

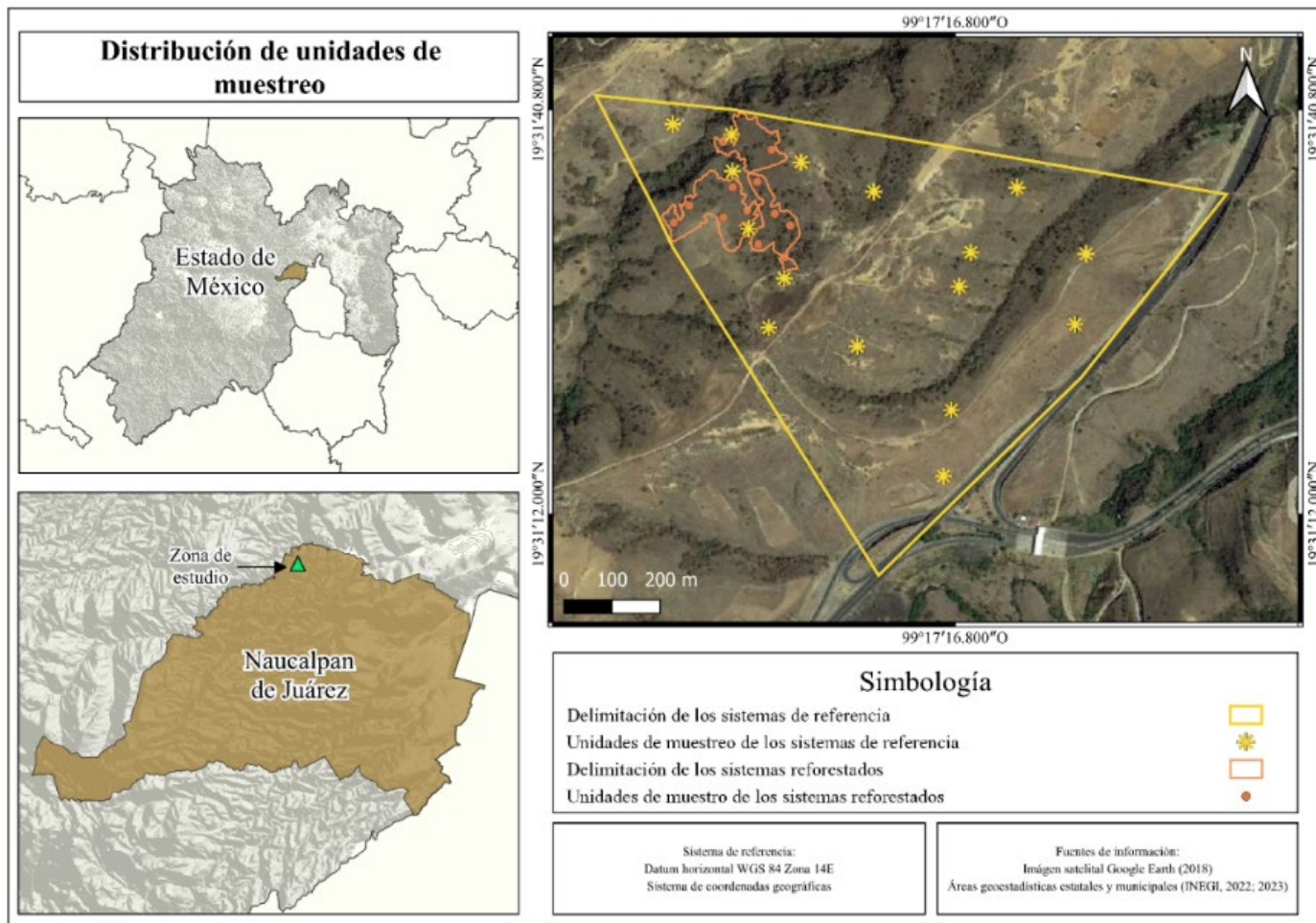


FIGURA 1. Ubicación de la zona de estudio. Polígono de estudio y unidades de muestreo para caracterizar los sistemas de referencia. Polígonos de reforestación y unidades de muestreo para su caracterización.

Originalmente, la vegetación consistía en bosques de encino; actualmente, las áreas boscosas cubren solo 18% del municipio, el resto del territorio está ocupado por zonas urbanas, pastizales inducidos y áreas agrícolas (Inegi, 2010; Sedatu, 2014; Smieg, 2022; SMN, 2010).

Sistemas iniciales y de referencia

En 2017 se realizó un muestreo estratificado, establecido con base en las diferentes coberturas vegetales. Se establecieron 16 unidades de muestreo (UM) (Fig. 1), cada una compuesta por: 1) cuatro parcelas de 100 m² (total 400 m²) para el estrato arbóreo, en el que se consideraron individuos con al menos un tallo con diámetro normal

(DN) > 5.5 cm; 2) cuatro parcelas de 25 m² (total 100 m²) para el estrato arbustivo, donde también se consideraron a los subarbustos; 3) cuatro parcelas de 1 m² (total 4 m²) para el estrato herbáceo.

Se recolectaron ejemplares botánicos de todas las especies de plantas vasculares presentes en las UM, y se midieron las variables de altura y cobertura de la copa (en todos los estratos), abundancia (en los estratos arbóreo y arbustivo) y DN (en el estrato arbóreo), necesarios para obtener los estimadores dasométricos y estructurales por especie.

La determinación de los ejemplares se realizó mediante claves taxonómicas (Mickel y Smith, 2004; Romero-Rangel

et al., 2002; Rzedowski y Rzedowski, 2005, entre otras) y el apoyo de especialistas, los ejemplares se depositaron en el Herbario IZTA (Facultad de Estudios Superiores Iztacala – UNAM). La lista florística se organizó por estrato (arbóreo, arbustivo y herbáceo) y luego alfabéticamente por familias y especies. Para cada especie, se incluyó información sobre forma de vida, distribución geográfica, origen y estado de sucesión donde suele habitar. La nomenclatura se basó en Tropicos (2024).

Sistema reforestado

La reforestación se realizó con fines de restauración, ocupó una superficie de 3.7 ha, dividida en tres polígonos cubiertos por vegetación secundaria herbácea y arbustiva. Durante 2020 y 2021, se plantaron ocho especies arbóreas, con una densidad de 821 ha⁻¹ individuos (*Alnus acuminata*, *Buddleja cordata*, *Crataegus mexicana*, *Fraxinus uhdei*, *Prunus serotina*, *Quercus deserticola*, *Q. frutex* y *Tecoma stans*) y ocho especies arbustivas intercaladas entre los individuos arbóreos (*Agave inaequidens*, *Baccharis heterophylla*, *Brongniartia intermedia*, *Dalea lutea*, *Dodonaea viscosa*, *Eysenhardtia polystachya*, *Senna multiglandulosa* y *Verbesina virgata*).

Todos los individuos plantados se obtuvieron de germoplasma recolectado en la región y fueron producidos en un vivero forestal. De 2020 a 2022, se realizaron actividades de mantenimiento, como riego, deshierbe en los cajetes, construcción de brechas cortafuego, cercado y señalización de los polígonos para impedir el paso de personas o animales, entre otras.

En 2023, se establecieron 12 UM (Fig. 1) dentro de los polígonos reforestados, se replicó diseño, métodos de muestreo y procesamiento de datos empleados en los sistemas de referencia. Sin embargo, para el estrato arbóreo se consideraron también los individuos plantados, con la finalidad de realizar comparaciones con el sistema de referencia.

Análisis de datos y comparación de los sistemas

Para clasificar las UM, se construyó una matriz de cobertura por especie en cada de ellas, se empleó el índice de similitud

de Bray-Curtis (donde 0 indica similitud completa y 1 indica disimilitud completa). Se generó un dendrograma mediante promedios aritméticos (UPGMA) con el paquete “vegan” del software R (Oksanen et al., 2023).

Para las asociaciones resultantes, se calcularon los estimadores de las variables dasométricas y estructurales, así como el valor de importancia (VI) (Curtis y McIntosh, 1951), este último permitió evaluar la importancia relativa de cada especie, por estrato, para cada asociación vegetal. Para los estratos arbóreo y arbustivo, se consideraron las tres variables: abundancia, frecuencia (presencia por UM) y dominancia (cobertura de copa), por lo que el VI máximo para ambos estratos fue de 300. Sin embargo, por la dificultad de cuantificar los individuos herbáceos, algunos de ellos con tallos rizomatosos, se usaron solamente las variables de frecuencia y cobertura, dando un VI máximo para el estrato herbáceo de 200.

Se calculó el complemento del índice de diversidad de Simpson (1-D) para cada asociación, aplicándolo en dos enfoques: 1) con la abundancia de especies arbóreas y arbustivas, 2) con la cobertura de copa. Esto permitió incluir al estrato herbáceo y evaluar si este incrementa la diversidad o, por el contrario, la reduce debido a la dominancia de algunas especies.

Finalmente, se realizó un análisis de agrupamiento basado en los VI de cada especie, para comparar la similitud entre los sistemas reforestados y de referencia.

RESULTADOS

Composición y estructura de los sistemas de referencia

Durante el muestreo realizado en 2017, se identificó que el sitio estaba cubierto por: 1) bosque de encino (BQ), 2) vegetación secundaria arbustiva (VSC) y 3) vegetación secundaria herbácea (VSH). Los dos últimos surgieron tras la deforestación del BQ para actividades agropecuarias; en la VSC se realizaba pastoreo de ganado equino y bovino, mientras que la VSH se desarrolló durante los periodos de descanso agrícola. Ambas asociaciones secundarias eran frecuentemente afectadas por incendios.



En el BQ se registraron 70 especies pertenecientes a 63 géneros y 33 familias, destacaron Asteraceae (21% de las especies), Fabaceae (11%), Pteridaceae (6%), además de Acanthaceae, Fagaceae y Rosaceae (4% cada una). La VSC presentó la menor riqueza, con 42 especies distribuidas en 36 géneros y 23 familias, donde predominaron Asteraceae (23%), Fabaceae (16%), Apocynaceae, Fagaceae, Lamiaceae, Poaceae y Pteridaceae (5% cada una). En la VSH se identificaron 56 especies de 51 géneros y 29 familias, donde Asteraceae (21%), Fabaceae (13%) y Poaceae (7%) fueron las principales ([Material complementario](#)).

La tabla 1 resume las características estructurales y especies más importantes de los sistemas de referencia. El BQ se localizó en laderas y partes altas de cañadas, su estrato arbóreo alcanzó hasta 14 m de altura, con una cobertura cerrada y copas traslapadas. El estrato arbustivo tuvo una riqueza de especies alta y cobertura intermedia, mientras que el herbáceo fue muy abierto.

En contraste, la VSC y VSH presentaron estratos arbóreos semiabierto y muy abierto, respectivamente, compuestos por árboles remanentes del bosque o plantados durante la ocupación de las actividades agropecuarias, entre ellos *Cupressus lusitanica*, cuyos individuos fueron los más altos registrados. En ambos casos, el estrato arbustivo tuvo una cobertura semiabierto, mientras que el estrato herbáceo fue muy cerrado.

Composición y estructura del sistema reforestado

En el sistema reforestado se identificaron 117 especies (cuatro de ellas solo se reconocieron a nivel de morfoespecies), distribuidas en 93 géneros y 50 familias ([Material complementario](#)). De acuerdo con el análisis de clasificación, a un nivel de 58% de similitud se distinguieron cuatro asociaciones; en la tabla 2 se resumen sus características.

Asociación 1 (RF1)

Ubicada principalmente en laderas norte y noroeste, con pendientes moderadas. El estrato arbóreo estuvo confor-

mado únicamente por los individuos reforestados, por ello su altura y cobertura de copa fueron muy bajas. El estrato arbustivo registró una riqueza de especies alta y una cobertura semiabierto. El estrato herbáceo tuvo una cobertura intermedia, presentó la mayor riqueza de especies, que incluía a la mitad de los helechos hallados en la zona.

Asociación 2 (RF2)

Localizada en la parte más baja de la ladera norte y parte de la cañada, con alta humedad y pendientes pronunciadas. El estrato arbóreo incluyó individuos remanentes de encino junto con árboles reforestados de *Alnus acuminata* y *Fraxinus uhdei*. El estrato arbustivo presentó pocas especies y cobertura semiabierto. El estrato herbáceo tuvo la mayor riqueza de especies y una cobertura muy cerrada; la sombra otorgada por los encinos favoreció el establecimiento de especies como *Dahlia coccinea* y *Passiflora excudans*.

Asociación 3 (RF3)

Con la mayor riqueza de especies, se ubicó en la ladera oeste. El estrato arbóreo conformado por encinos remanentes y árboles reforestados de *Fraxinus uhdei*, *Buddleja cordata*, *Prunus serotina*, *Tecoma stans* y *Crataegus mexicana*, tuvo una cobertura abierta. El estrato arbustivo presentó una distribución agregada, donde se formaban colonias densas. El estrato herbáceo fue cerrado y dominado por gramíneas, algunas de las cuales formaban concentraciones densas como *Muhlenbergia emersleyi* y *Cortaderia selloana*.

Asociación 4 (RF4)

Situada en pendientes suaves con rocas expuestas, donde crecían elementos principalmente xerófilos. El estrato arbóreo, con cobertura muy abierta, estuvo compuesto únicamente por *Opuntia megacantha*. En el estrato arbustivo semiabierto destacó *Agave inaequidens*, plantado en esta zona debido a las condiciones de suelo somero. El estrato herbáceo fue de cobertura cerrada.

TABLA 1. Características estructurales, familias mejor representadas y especies más importantes de los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo de los sistemas de referencia en un bosque de encino del Estado de México.

Tipo de vegetación	Estrato	Riqueza (Spp.)	Familias mejor representadas	Intervalo de altura (m)	Densidad (ha ⁻¹)	Cobertura (m ² ha ⁻¹)	Especies con mayor valor de importancia
Bosque de encino (BQ)	Arbóreo	11	Fagaceae, Rosaceae	1.7 - 14.1	497	19 329	<i>Quercus frutex/deserticola</i> (130.4) <i>Quercus obtusata</i> (93.6)
	Arbustivo	37	Asteraceae, Fabaceae	0.2 - 3.2	7 063	4 029	<i>Loeselia mexicana</i> (37.9) <i>Ageratina isolepis</i> (35.0) <i>Quercus frutex/deserticola</i> (30.3) <i>Bouvardia ternifolia</i> (22.9)
	Herbáceo	27	Acanthaceae, Asteraceae, Pteridaceae	0.04 - 1.6	-	365	Poaceae spp. (99.7) <i>Muhlenbergia emersleyi</i> (28.5) <i>Dioscorea galeottiana</i> (7.5) <i>Selaginella schiedeana</i> (5.8)
Vegetación secundaria arbustiva (VSC)	Arbóreo	7		2.5 - 11.0	132	3 469	<i>Buddleja cordata</i> (150.0) <i>Cupressus lusitanica</i> (64.9) <i>Opuntia megacantha</i> (25.9)
	Arbustivo	28	Asteraceae, Fabaceae	0.9 - 1.9	8 157	4 558	<i>Bouvardia ternifolia</i> (51.8) <i>Dodonaea viscosa</i> (33.2) <i>Gymnosperma glutinosum</i> (22.6) <i>Rhus standleyi</i> (22.2) <i>Baccharis salicifolia</i> (19.9)
	Herbáceo	13	Poaceae, Pteridaceae	0.02 - 1.7	-	11 653	Poaceae spp. (86.5) <i>Muhlenbergia emersleyi</i> . (31.5) <i>Gaga cuneata</i> (12.5) <i>Evolvulus prostratus</i> (12.4) <i>Wedelia acapulcensis</i> (12.1)
Vegetación secundaria herbácea (VSH)	Arbóreo	5	Fagaceae	6 - 30.3	28	1 617	<i>Quercus frutex/ deserticola</i> (202.6) <i>Cupressus lusitanica</i> (46.2)
	Arbustivo	25	Asteraceae, Fabaceae	0.5 - 1.9	5 267	3 742	<i>Viguiera buddlejiformis</i> (71.8) <i>Mimosa aculeaticarpa</i> (34.0) <i>Baccharis pteronioides</i> (26.7) <i>Loeselia mexicana</i> (23.5) <i>Bouvardia ternifolia</i> (23.2)
	Herbáceo	28	Asteraceae, Euphorbiaceae, Poaceae	0.04 - 1.7	-	11 293	Poaceae spp. (84.6) <i>Muhlenbergia emersleyi</i> (17.6) <i>Oxalis hernandezii</i> (10.4) <i>Wedelia acapulcensis</i> (10.3)

N: número de individuos. Entre paréntesis se especifica el índice de valor de importancia de cada especie. El * señala el inverso del índice de diversidad de Simpson aplicado con la variable de cobertura y considerando a todas las especies, incluidas las herbáceas).



TABLA 2. Características estructurales, familias mejor representadas y especies más importantes de los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo de los sistemas reforestados en un bosque de encino del Estado de México.

Asociación	Estrato	Riqueza (Spp.)	Familias más importantes	Intervalo de altura (m)	Densidad (ha ⁻¹)	Cobertura (m ² ha ⁻¹)	Especies con mayor valor de importancia
RF1 D-I=0.83 D-I=0.94*	Arbóreo	8	Fagaceae, Rosaceae	0.4 – 1.3	456	1.2	<i>Buddleja cordata</i> (134.5) <i>Fraxinus uhdei</i> (48.2) <i>Q. frutex/ deserticola</i> (40.0)
	Arbustivo	21	Asteraceae, Fabaceae	0.3 – 1.7	8 175	3 542	<i>Crocanthemum glomeratum</i> (83.1) <i>Bouvardia ternifolia</i> (30.8) <i>Agave inaequidens</i> (25.7) <i>Verbesina virgata</i> (24.6) <i>Dalea minuiifolia</i> (22.4)
	Herbáceo	51	Asteraceae, Fabaceae, Poaceae, Pteridaceae	0.06 – 0.9	-	601.9	Poaceae spp. (26.4) <i>Selaginella pallescens</i> (12.0) <i>Muhlenbergia emersleyi</i> (11.9)
RF2 D-I=0.88 D-I=0.90*	Arbóreo	4	Fagaceae	0.6 – 4.7	180	4 261	<i>Q. frutex/ deserticola</i> (176.2) <i>Alnus acuminata</i> (76.2)
	Arbustivo	14	Asteraceae, Lamiaceae	0.8 – 2.4	7 700	4 070	<i>Q. frutex/ deserticola</i> (60.2) <i>Mimosa aculeaticarpa</i> (38.5) <i>Gymnosperma glutinosum</i> (27.6) <i>Loeselia mexicana</i> (25.8)
	Herbáceo	29	Asteraceae, Poaceae	0.02 - 1.5	-	14 200	<i>Bromus carinatus</i> (24.9) Lamiaceae sp. (24.9) <i>Selaginella pallescens</i> (14.4) <i>Eragrostis intermedia</i> (14.2)
RF3 D-I=0.78 D-I=0.95*	Arbóreo	7	Fagaceae, Rosaceae	0.4 – 4.3	550	1 133	<i>Q. frutex/ deserticola</i> (133.2) <i>Fraxinus uhdei</i> (92.0)
	Arbustivo	21	Asteraceae, Fabaceae	0.5 - 2.0	604.67	445.27	<i>Crocanthemum glomeratum</i> (80.1) <i>Q. frutex/ deserticola</i> (36.8) <i>Loeselia mexicana</i> (27.5) <i>Calliandra grandiflora</i> (25.8) <i>Bouvardia ternifolia</i> (23.4)
	Herbáceo	57	Asparagaceae, Asteraceae, Euphorbiaceae, Orchidaceae, Poaceae, Pteridaceae	0.01 - 1.3	-	1,495.83	<i>Muhlenbergia emersleyi</i> . (22.8) <i>Eragrostis mexicana</i> (13.7) <i>Selaginella pallescens</i> (11.2) <i>Aristida schiedeana</i> (12.3)
RF4 D-I=0.81 D-I=0.94*	Arbóreo	1		2.7	50	381	<i>Opuntia megacantha</i> (300.0)
	Arbustivo	11	Asteraceae, Fabaceae	0.4 - 2.8	7 800	3 766	<i>Crocanthemum glomeratum</i> (74.5) <i>Agave inaequidens</i> (45.7) <i>Gymnosperma glutinosum</i> (42.2)
	Herbáceo	27	Asteraceae, Convolvulaceae, Poaceae, Pteridaceae	0.02 - 0.9	-	9 550	<i>Aspicarpa hirtella</i> (24.6) <i>Euphorbia macropus</i> (17.6) <i>Selaginella pallescens</i> (13.4) <i>Andropogon gayanus</i> (12.0) <i>Myriopteris aurea</i> (12.0)

N: número de individuos. Entre paréntesis se especifica el índice de valor de importancia de cada especie. RF: sistemas reforestados.

Comparación entre los sistemas de referencia y los sistemas reforestados

El análisis de agrupamiento (Fig. 2) identificó tres grupos principales: 1) sistemas de referencia, 2) sistemas reforestados (RF1, RF2, RF3) y 3) RF4 como grupo único.

Entre las especies comunes a todos los sistemas de referencia se encontraron a *Opuntia megacantha* en el estrato arbóreo; y *Agave inaequidens*, *Ageratina isolepis*, *Aldama buddlejiformis*, *Baccharis heterophylla*, *B. pteronioides*, *B. salicifolia*, *Bouvardia ternifolia*, *Brongniartia intermedia*, *Dalea versicolor*, *Dodonaea viscosa*, *Eysenhardtia polystachya*, *Gymnosperma glutinosum*, *Loeselia mexicana*, *Malacomeles denticulata*, *Mimosa aculeaticarpa*, *Quercus deserticola*, *Q. frutex*, *Rhus standleyi* y *Verbesina virgata* en el estrato arbustivo; *Castilleja tenuiflora*, *Evolvulus prostratus*, *Muhlenbergia emersleyi*, *Stenandrium dulce* y *Wedelia acapulcensis* en el herbáceo. La mayor similitud se observó entre el BQ y la VSH, debido a la dominancia de *Quercus deserticola* y *Q. frutex* en el estrato arbóreo.

Entre los sistemas reforestados que formaron un grupo (RF1, RF2 y RF3), las especies comunes fueron:

Quercus deserticola y *Q. frutex* en el estrato arbóreo; *Bouvardia ternifolia*, *Loeselia mexicana*, *Quercus deserticola* y *Q. frutex* en el estrato arbustivo y, *Eragrostis intermedia*, *Eryngium serratum*, *Euphorbia macropus*, *Gaga chaerophylla*, *Hypoxis mexicana*, *Ipomoea capillacea*, *Myriopteris aurea*, *Panicum hallii*, *Peperomia campylotropa*, *Perymenium mendezii*, *Ruellia lactea*, *Selaginella pallescens*, *Stevia micrantha*, *Stevia serrata* en el estrato herbáceo. RF4 se distinguió del resto, ya que su estrato arbóreo estaba conformado solamente por *Opuntia megacantha*.

Respecto a sus características estructurales (Tablas 1 y 2), RF1 y RF3 tuvieron densidades arbóreas comparables al BQ, mientras que RF2 y RF4 mostraron densidades más bajas, incluso RF4 estuvo por debajo de la densidad arbórea presente en la VSC.

La densidad y cobertura del estrato arbustivo de RF1 fue similar a la VSC, RF2 y RF4 fueron parecidos al BQ, mientras que RF3 presentó valores muy bajos. El estrato herbáceo de los sistemas reforestados, excepto RF2, superaron al BQ en cobertura, pero se mantuvieron por debajo de la vegetación secundaria de referencia.

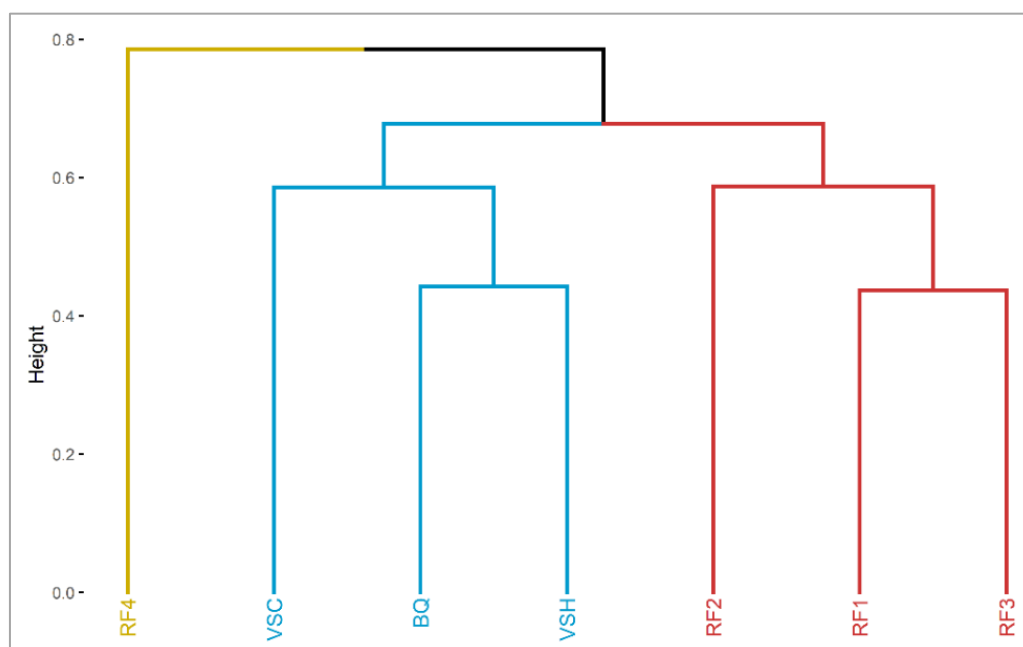


FIGURA 2. Análisis de agrupamiento de los sistemas de referencia y de reforestación en un bosque de encino del Estado de México.

BQ: Bosque de Quercus, VSC: Vegetación secundaria arbustiva; VSH: Vegetación secundaria herbácea; RF: sistemas reforestados.



La riqueza mostró que los sistemas reforestados tenían menos especies arbóreas que el BQ. Para el estrato arbustivo, RF1 y RF3 se acercaron a la riqueza de la vegetación secundaria, pero quedaron por debajo del BQ. Por el contrario, para el estrato herbáceo todos los sistemas reforestados, con excepción de RF4, presentaron una riqueza superior a los sistemas de referencia.

El índice de Simpson reveló que el BQ tuvo la mayor diversidad en los estratos arbóreo y arbustivo ($1-D=0.92$), seguido de VSH y RF2 ($1-D=0.88$), mientras que RF3 mostró la menor diversidad ($1-D=0.78$). Sin embargo, al incluir al estrato herbáceo, los sistemas reforestados superaron a todos los sistemas de referencia con una diversidad mayor a 0.9.

Los sistemas reforestados presentaron una mayor proporción de especies herbáceas, tanto perennes como anuales, así como una menor proporción de especies de árboles y arbustos en comparación con los sistemas de referencia. La proporción de especies de árboles fue más elevada en el BQ, mientras que los arbustos fueron más importantes en la VSC (Fig. 3).

En cuanto a la distribución geográfica de las especies, los sistemas de referencia presentaron una mayor proporción de endemismos de México. En los sistemas reforestados, las especies que salen de los límites políticos del país México pero que se restringen al continente americano, fueron las mejor representadas. Solamente los sistemas de referencia y RF1 presentaron especies endémicas del Estado de México y estados colindantes (Fig. 4).

La proporción entre especies propias de los bosques templados de la región y aquellas que son favorecidas en condiciones de disturbio no mostró un patrón claro. En el BQ se observó la mayor proporción de especies de sistemas conservados, seguido de RF1; por el contrario, RF4 presentó la menor proporción de este tipo de especies (Fig. 5).

A pesar de que la mayoría de los sistemas de referencia son de tipo secundario y han sido afectados por las actividades antropogénicas, la proporción de especies no nativas de México fue muy baja, ausentes en RF2 y con muy baja proporción en RF1 y BQ (Fig. 6).

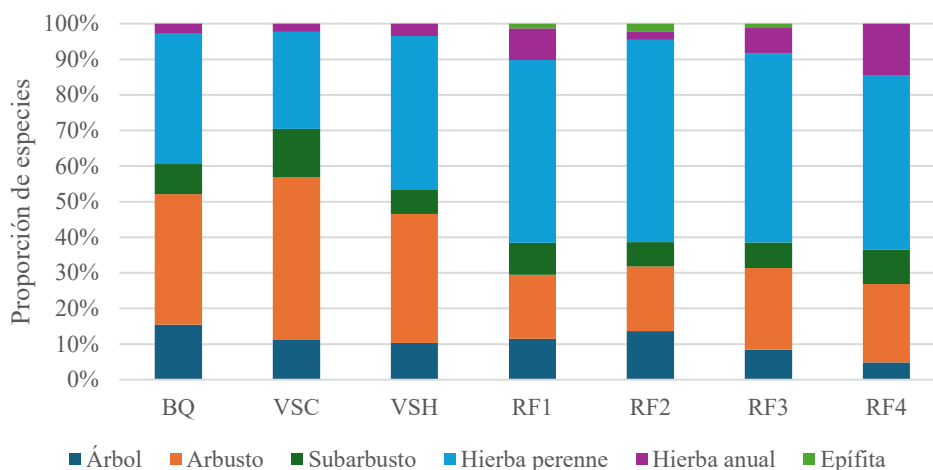


FIGURA 3. Proporción de especies en los sistemas de referencia y de reforestación, en cuanto a formas de vida, en un bosque de encino del Estado de México.

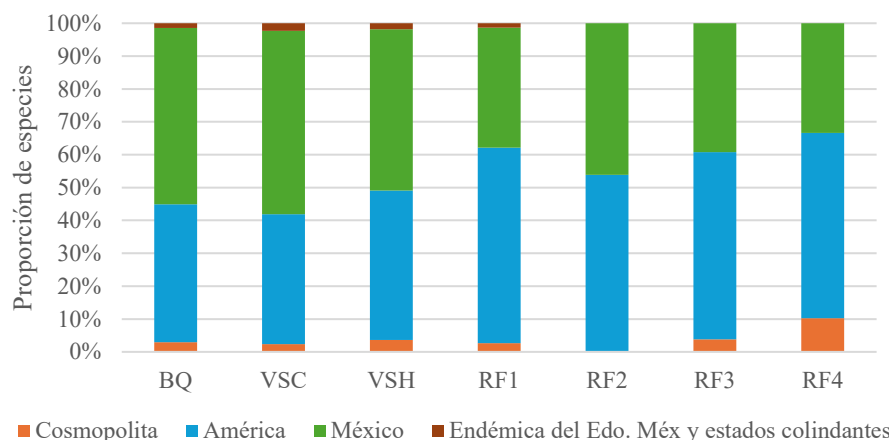


FIGURA 4. Proporción de especies en los sistemas de referencia y de reforestación, en cuanto a su distribución geográfica en el área de estudio, en un bosque de encino del Estado de México.

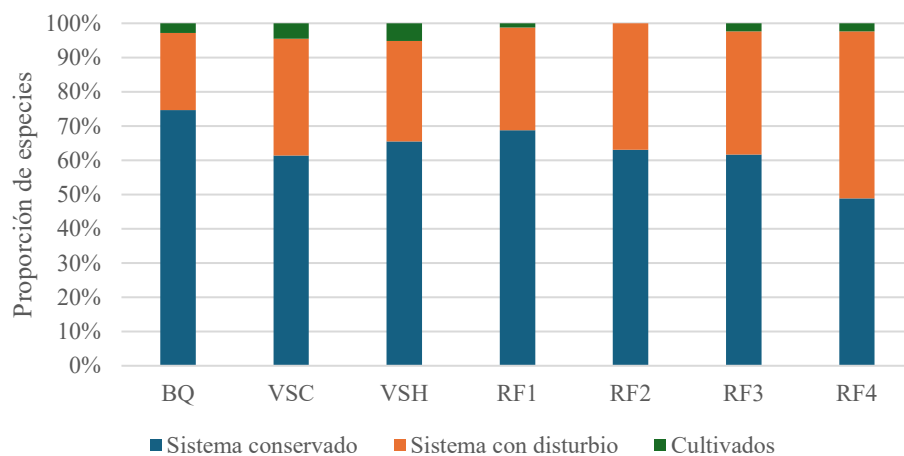


FIGURA 5. Proporción de especies en los sistemas de referencia y de reforestación, en cuanto a indicador ambiental, en un bosque de encino del Estado de México.

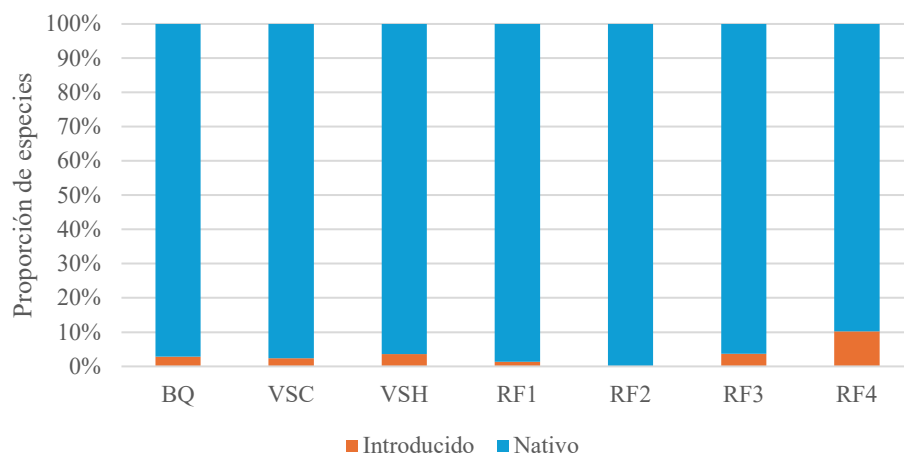


FIGURA 6. Proporción de especies en los sistemas de referencia y de reforestación, de acuerdo con su origen, en un bosque de encino del Estado de México.



DISCUSIÓN

Sistemas de referencia

La información sobre los sistemas de referencia debe provenir de sitios lo más cercanos posible a las áreas de restauración, esto permite realizar comparaciones más precisas y útiles, dado que ambos comparten las mismas condiciones naturales (Ruíz-Jaén y Aide, 2005). En el área de estudio, el BQ de referencia se encontraba en sitios de difícil acceso y a manera de fragmentos, mientras que las asociaciones de vegetación secundaria fueron sencillas de localizar. Los datos obtenidos son importantes, ya que solo se identificaron un par de estudios previos con información florística y descripción de la vegetación para la región, uno de ellos sin datos cuantitativos (Medina Lemus y Tejero-Díez, 2006; Rubio-Licona et al., 2011).

En relación con los grupos florísticos registrados, las familias mejor representadas coinciden con las observadas en otros bosques de encino del centro de México, entre estas destacan Asteraceae, Fabaceae, Fagaceae, Lamiaceae, Poaceae y Pteridaceae (Block y Meave, 2015; Cabrera-Luna et al., 2015; Gutiérrez-Pacheco et al., 2021). Algunas de ellas figuran entre las más diversas en el territorio nacional, como Asteraceae, Fabaceae, Lamiaceae, Poaceae y Pteridaceae (Mickel y Smith, 2004; Villaseñor, 2003). En otras, su elevada riqueza está relacionada con su historia evolutiva, por ejemplo, el género *Quercus* (mejor representante de la familia Fagaceae), tiene su centro de diversificación en México (Valencia, 2004).

Al comparar la riqueza de especies del BQ en la zona de estudio con la registrada en otros bosques de encino del Estado de México, se encontró que el estrato arbóreo presenta una riqueza similar, con 11 especies de árboles, en concordancia con los 12 registrados en Texcoco (Herrera-Ramos et al., 2022) y los ocho documentados en Villa del Carbón (Rubio-Licona et al., 2011). En cuanto al estrato arbustivo, la zona de estudio muestra una mayor diversidad, con 37 especies, en comparación con las 15 registradas en Texcoco y las siete en Villa del Carbón. Y la riqueza del estrato herbáceo es menor, con 27 especies frente a las 41

registradas en Texcoco, lo que podría atribuirse a que el muestreo se realizó en una época menos favorable para el desarrollo de este tipo de especies.

En general, las características de la flora de los sistemas de referencia sugieren que puede servir como modelo para guiar las actividades de restauración. Más de 90% de sus especies son nativas de México, menos de 30% de las especies presentes en el BQ son indicadoras de sinantropía, y más de 50% son endémicas del país. Estos porcentajes reflejan un buen estado de conservación en comparación con otros bosques de encino del centro de México, donde se registra entre 37% y 42% de flora sinantrópica y entre 35% y 59% de endemismo (Cabrera-Luna et al., 2015; Gutiérrez-Pacheco et al., 2021; Medina Lemus & Tejero-Díez, 2006).

Sistemas reforestados

Los sistemas reforestados mostraron diferencias en la composición y el valor de importancia de sus especies, lo cual responde a la heterogeneidad de las condiciones ambientales actuales. Estas condiciones son el resultado de una combinación de factores físicos (pendiente, orientación, topoforma, etc.) y de la historia de perturbación, la cual influye fuertemente en la vegetación, por ejemplo, el pastoreo y la recolección de plantas son selectivos y afectan a ciertas especies, el fuego afecta de manera generalizada, la apertura del dosel provoca una menor incorporación de materia orgánica, y todos afectan de forma diferente la dinámica de nutrientes y la biota del suelo (Almazán-Núñez et al., 2016; Ruiz González et al., 2022).

En este sentido, RF2 al estar en una cañada, presentó condiciones de mayor humedad y menor insolación, lo que favoreció el desarrollo de individuos plantados de *Alnus acuminata*, especie asociada a vegetación secundaria húmeda (Conafor, s.f). Además, la presencia de árboles remanentes contribuyó al mantenimiento y reaparición de especies propias del sotobosque (Ventura-Ríos et al., 2017). En RF3 se detectó la introducción de especies no nativas, como el pasto invasor *Cortaderia selloana* (Teixeira et al., 2024). Y en

RF4 se observó vegetación muy disímil al resto, debido a un suelo más erosionado y a mayor insolación provocada por la ausencia de árboles.

Comparación entre sistemas de referencia y reforestados

La ausencia de agentes de perturbación en los sistemas reforestados permitió el establecimiento de muchas especies pioneras, principalmente hierbas (Ramírez et al., 1998; Ruiz-González et al., 2022). Lo anterior generó similitud entre estos sitios y formaron un grupo independiente a los sistemas de referencia, con excepción de RF4 cuyas condiciones particulares favorecieron una composición florística diferente.

La elevada cantidad de especies encontrada en los sistemas reforestados coincide con lo observado en vegetación secundaria temprana, donde la riqueza suele aumentar conforme a la recuperación de la vegetación; sin embargo, una vez que estos sistemas alcanzan estabilidad, la riqueza puede disminuir debido a que algunas especies se pierden (Ventura-Ríos et al., 2017). Otro factor relevante fue la reintroducción de especies a través de las actividades de reforestación, lo que favoreció la riqueza del estrato arbóreo y arbustivo, resultando mayor en comparación con la vegetación secundaria de referencia (VSC y VSH).

Aunque en los bosques de encino es común que las hierbas dominen en términos de riqueza específica (Cabrera-Luna et al., 2015), en los sistemas reforestados se registró una mayor proporción de hierbas anuales. Estas especies corresponden principalmente a pioneras y sinantrópicas, que se establecen a partir del banco o la lluvia de semillas; sin embargo, en fases avanzadas de recuperación, es probable que sean desplazadas por especies características de los bosques (Ruiz-González et al., 2022).

Si bien la pérdida de cobertura del estrato herbáceo en los sistemas reforestados, en comparación con la vegetación secundaria de referencia, puede considerarse un avance hacia las condiciones deseadas y se espera que su representatividad disminuya conforme avance la sucesión (Ramírez et al., 1998; Ruíz-Jaén y Aide, 2005), es necesario continuar con el monitoreo de árboles y arbustos. La

riqueza de estos estratos sigue siendo inferior a la de BQ; de continuar esta tendencia, se deberán implementar acciones de enriquecimiento.

Conocer el centro de origen de las especies permitió detectar especies no nativas, cuya cobertura o densidad debe vigilarse para detectar especies invasivas, como *Cortaderia selloana* (observado en RF3), y en caso de ser necesario, realizar acciones de control; o bien, evitar que se induzcan en los sitios de restauración, como *Cupressus lusitanica*, presente en la vegetación secundaria de referencia, pero ausente en los sitios reforestados.

La distribución geográfica es otro indicador que facilitó identificar especies de importancia biológica, ya que reveló la presencia de especies endémicas de la región y de México. Se observó que las primeras están ausentes en los sistemas reforestados y las segundas están en poca proporción, por lo que se deberían establecer acciones para su propagación y reintroducción en los ambientes recuperados.

Los atributos estructurales también proporcionaron información clave para definir acciones orientadas a alcanzar los objetivos de restauración. Aunque la densidad inicial de árboles plantados fue alta (821 ha⁻¹ individuos), superando la registrada en el BQ, cuatro años después de la plantación, solo RF1 y RF2 mantienen posibilidades de alcanzar las densidades esperadas. Se ha documentado que la tasa de supervivencia de las plantaciones en la región varía entre 0% y 62% (Chávez-García y Mendoza, 2017; Martínez, 2023; Ramírez, 2013). Ante la baja densidad registrada en RF3 y RF4, se hace necesario reemplazar los árboles muertos e implementar estrategias que aumenten su supervivencia. En particular, en RF4 podrían requerirse acciones de conservación de suelos, como la construcción de terrazas individuales o la plantación inicial de arbustos que actúen como nodrizas para los árboles (Martínez-Orea et al., 2024), estas medidas enriquecerían el estrato arbóreo que actualmente está conformado únicamente por *Opuntia megantha* con un VI=300, especie cuyo VI en los sistemas de referencia oscila entre 15 y 26.

Es importante señalar que todas las asociaciones reforestadas, excepto RF4, presentan *Quercus deserticola* y *Q.*



frutex. En RF1 y RF3, estas especies alcanzan un VI mayor (101 y 88, respectivamente) en comparación con el BQ (VI=65); sin embargo, sería recomendable plantarlas en RF2, donde su VI es menor (VI=20). Asimismo, se sugiere la introducción de *Q. obtusata*, especie con un VI=94 en BQ, pero ausente en la reforestación. Además de *Q. obtusata*, otras especies como *Arbutus xalapensis*, *Monnina ciliolata*, *Nolina parvifolia*, *Roldana angulifolia* y *Rhus standleyi*, aunque son esporádicas en los estratos arbóreo y arbustivo de BQ (con VI<10), contribuyen a la diversidad del ecosistema y, en fases avanzadas, se sugiere sustituir a *Alnus acuminata* y *Fraxinus uhdei*, especies empleadas en la reforestación por su fácil reproducción y establecimiento, pero que actualmente muestran VI superiores a los de BQ.

El índice de diversidad de Simpson indica que, en los sistemas reforestados, las hierbas representan un componente importante. Como se discutió anteriormente, su riqueza elevada en fases tempranas (Ramírez et al., 1998; Ruiz-González et al., 2022), junto con la temporada del año, influye en este valor, resultando en un índice de diversidad elevado. No obstante, si se excluyen las hierbas, los índices de diversidad son similares entre la vegetación secundaria y los sistemas reforestados, e incluso comparables con otros bosques de encino del Estado de México. En Villa del Carbón se registraron valores de 0.84 y 0.81 para los estratos arbóreos y arbustivos, respectivamente (Rubio-Licona et al., 2011), mientras que para Texcoco fueron menores, con 0.61 para los árboles y 0.56 para los arbustos (Herrera-Ramos et al., 2022). Sin embargo, el BQ de referencia en la zona de estudio presenta un valor superior (0.92), lo que refuerza la necesidad de llevar a cabo acciones de enriquecimiento en estos estratos.

El monitoreo de distintos atributos de la flora y vegetación permite reconocer, de manera indirecta, los avances en la recuperación de la función y servicios de los sistemas; por ejemplo, la complejidad estructural está asociada a la productividad del ecosistema y generación de nichos para otras especies, mientras que el establecimiento de especies de flora trae consigo cambios en la fauna herbívora, frugívora o polinizadora (Ruíz-Jaén y Aide, 2005).

CONCLUSIONES

A pesar de la significativa alteración que han sufrido los ecosistemas templados en el centro de México, este estudio aporta información valiosa sobre la composición y estructura del bosque de encino en una zona conurbada del Estado de México. Este bosque resguarda una importante riqueza de especies, presenta un elevado índice de diversidad y está compuesto por numerosas especies endémicas del país y con pocas indicadoras de sinantropía, lo que sugiere un buen estado de conservación. Asimismo, se documentan las características de su vegetación secundaria y de sistemas reforestados con cuatro años de establecimiento.

Los atributos observados en la flora y la estructura de la vegetación proporcionan herramientas clave para orientar acciones de restauración. El análisis de estos atributos permite identificar especies vulnerables, ya sea por su forma de vida o por su distribución geográfica. Además, reconocer la proporción de especies pioneras facilita el monitoreo del recambio esperado y la implementación de medidas que promuevan la recuperación de la mayor diversidad original posible. En el caso estudiado, los indicadores reflejaron las necesidades específicas de cada asociación reforestada, tales como el enriquecimiento de los estratos arbóreo y arbustivo, la conservación de suelos, la plantación de más individuos, el reemplazo de plantas muertas y el monitoreo de especies introducidas con potencial invasivo. Esto subraya la importancia de incluir la composición y estructura de todos los estratos vegetales en el monitoreo, a fin de orientar o ajustar las acciones para alcanzar el sistema de referencia deseado.

Finalmente, la integración de la composición florística con características estructurales es un indicador de la recuperación de las funciones y servicios ecosistémicos que los sistemas vegetales ofrecen. En este contexto, se destaca la necesidad de monitorear a largo plazo los sistemas reforestados, para evaluar su trayectoria y optimizar su recuperación.

RECONOCIMIENTOS

A Gabriela Cedillo, por facilitar el ingreso al área de estudio y parte del financiamiento del proyecto. A Karla López Bautista por su ayuda en el muestreo.

REFERENCIAS

- Almazán-Núñez, R. C., Corcuera, P., Parra-Juárez, L., Jiménez-Hernández, J., & Charre, G. M. (2016). Changes in structure and diversity of woody plants in a secondary mixed pine-oak forest in the Sierra Madre del Sur of Mexico. *Forests*, 7(4), 90. <https://doi.org/10.3390/f7040090>
- Block, S., & Meave, J. A. (2015). Structure and diversity of oak forests in the El Tepozteco National Park (Morelos, Mexico). *Botanical Sciences*, 93(3), 429-460. <https://doi.org/10.17129/botsci.150>
- Cabrera-Luna, J. A., Huerta-Cantera, H. E., Salinas-Soto, P., & Olvera-Valerio, D. (2015). Flora y vegetación de la sierra El Rincón, Querétaro y Michoacán, México. *Botanical Sciences*, 93(3), 615-632. <https://doi.org/10.17129/botsci.168>
- Chávez-García, E., & Mendoza, A. (2017). Restoration of a degraded oak forest in Mexico City by introducing tree native species. *Botanical Sciences*, 95(4), 595-609. <https://doi.org/10.17129/botsci.903>
- Comisión Nacional Forestal [Conafor] (s.f.). *Alnus acuminata* H.B.K. Paquetes tecnológicos. SIRE - Conabio - Semarnap. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/882A%20acuminata.pdf>
- Curtis, J. T., & McIntosh, R. P. (1951). An upland forest continuum in the pariré-forest border region of Wisconsin. *Ecology*, 32(3), 476-496. <https://doi.org/10.2307/1931725>
- Gutiérrez-Pacheco, V., Silva-Gómez, S. E., & Varela-Olguín, L. L. (2021). Flora del bosque de encino (*Quercus*: Fagaceae) de dos barrancas de la ciudad de Puebla, México. *Madera y bosques*, 27(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712113>
- Herrera-Ramos, C., Rafael-de-Jesús, A., Rodríguez-Trejo, D.A., Corona-Ambriz, A., & Bonilla-Beas, R. (2022). Indicadores de rehabilitación ecológica para una reforestación de eucalipto con n bosque de encino como referencia. *Agrociencia*, 56(3), 547-578. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v56i3.2803>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi]. (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010. Naucalpan de Juárez, México*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/15/15057.pdf
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [Inegi], Instituto Nacional de Ecología [INE] y Comisión Nacional de Agua [Conagua] (2007). Cuencas hidrográficas de México, 2007. Escala 1:250000, elaborada por Priego A G, Isunza E, Luna N, Pérez J L. Inegi, INE, Conagua.
- Martínez, V. M. (2023). *Restauración de ecosistemas forestales de bosque templado en el Área Natural Protegida Sierra Fría, Aguascalientes, México* [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Aguascalientes]. Repositorio bibliográfico. <http://hdl.handle.net/11317/2499>
- Martínez-Orea, Y., Vázquez-Santos, Y., Castillo-Argüero, S., & Romero-Romero, M. A. (2024). Assessing ecological traits of a secondary vegetation species in temperate forests of central Mexico: a case study. *Botanical Sciences*, 102(3), 812-827. <https://doi.org/10.17129/botsci.3468>
- Medina Lemus, J. G., & Tejero-Díez, J. D. (2006). Flora y vegetación del parque estatal Atizapán-Valle Escondido, Estado de México, México. *Polibotánica*, (21), 1-43.
- Mickel, J. T., & Smith, A. R. (2004). The pteridophytes of México. *Memoirs of the New York Botanical Garden*, 88, 1-1092.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlenn, D., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, E., & Wagner, H. (2023). *vegan: Community Ecology Package (version 2.6-4)*. CRAN. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Ramírez, N., Ochoa, S., González, M., & Quintana, P. F. (1998). Análisis florístico y sucesional en la estación biológica Cerro Huitepec, Chiapas, México. *Acta Botanica Mexicana*, (44), 59-85. <https://doi.org/10.21829/abm44.1998.806>
- Ramírez, A. (2013). *Plan de restauración ecológica para el área de conservación del Parque Nacional Molino de Flores, Texcoco, Edo. de México* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Chapingo]. Repositorio Chapingo. <http://repositorio.chapingo.edu.mx:8080/handle/20.500.12098/563>
- Romero-Rangel, S., Rojas-Zenteno, E. C., & Aguilar-Enríquez, M. L. (2002). El Género *Quercus* (Fagaceae) en el Estado de México. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 89(4), 551-593. <https://doi.org/10.2307/3298595>
- Rubio-Licona, L. E., Romero-Rangel, S. & Rojas-Zenteno E. C. (2011). Estructura y composición florística de dos comunidades con presencia de *Quercus* (Fagaceae) en el Estado de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(1): 77-90 <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.03.014>
- Ruiz-González, M. Á., Campos-Angeles, G. V., Reyes-Hernández, V. J., Rodríguez-Ortiz, G., & Enríquez del Valle, J. R. (2022). Estructura y diversidad vegetal en un bosque de pino encino con disturbios en diferentes cronosecuencias. *Madera y Bosques*, 28(1), e2812245. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812245>



- Ruiz-Jaén, M. C., & Aide, T. M. (2005). Vegetation structure, species diversity, and ecosystem processes as measures of restoration success. *Forest Ecology and Management*, 218(1-3), 159-173. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.07.008>
- Rzedowski, J. (1991). Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botanica Mexicana*, 14, 3-21. <https://doi.org/10.21829/abm14.1991.611>
- Rzedowski, G.C. de, Rzedowski, J. & cols. (2005). *Flora fanerogámica del Valle de México*. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Michoacán.
- Santibáñez-Andrade, G., Valdez-Lazalde, J. R., & Guerra-Martínez, F. (2023). Análisis multitemporal de la degradación de los bosques de encino y oyamel en la Cuenca de México (1993-2014). *Madera y Bosques*, 29(1), e2912323. <https://doi.org/10.21829/myb.2023.2912323>
- Sistema Municipal de Información Estadística y Geográfica [Smieg]. (2022). *Cuaderno de Información Estadística y Geográfica No. 1*. <https://naucalpan.gob.mx/wp-content/uploads/2020/07/Cuaderno-de-Inf.-Est.-y-Geog.-No.-1-Naucalpan-de-Jua%CC%81rez-OK.pdf>
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano [Sedatu]. (2014). *Atlas de riesgos del municipio de Naucalpan de Juárez*. https://mgir.proyectomesoamerica.org/PDFMunicipales/15057_Naucalpan.pdf
- Servicio Meteorológico Nacional [SMN]. (2010). *Normales climatológicas por estado. Estación 15075 Presa las Ruinas*. Gobierno de México. https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales_Climatologicas/Normales8110/mex/nor8110_15075.txt
- Society for Ecological Restoration Science and Policy Working Group [SER] (2002). *The SER primer on ecological restoration*. Society for Ecological Restoration. www.ser.org/
- Teixeira, J., Sousa, M., & Cruz, A. (2024). Systematic review of the uses of *Cortaderia selloana* (Poaceae), an invasive plant. *Acta Botanica Mexicana*, (131). <https://doi.org/10.21829/abm131.2024.2360>
- Tropicos (2024). Missouri Botanical Garden. <https://tropicos.org>
- Valencia A., S. (2004). Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de la Sociedad Botánica Mexicana*, (75), 33-53. <https://doi.org/10.17129/botsoci.1692>
- Vargas-Ríos, O. (2011). Restauración ecológica: Biodiversidad y conservación. *Acta Biológica Colombiana*, 16(2), 221-246.
- Ventura-Ríos, A., Plascencia-Escalante, F. O., Hernández de la Rosa, P., Ángeles-Pérez, G., & Aldrete, A. (2017). ¿Es la reforestación una estrategia para la rehabilitación de bosques de pino?: Una experiencia en el centro de México. *Bosque (Valdivia)*, 38(1), 55-66. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002017000100007>
- Villaseñor, J. L. (2003). Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. *Interciencia*, 28(3), 160-167.
- Villaseñor, J. L., & Ortiz, E. (2014). Biodiversidad de las plantas con flores (División Magnoliophyta) en México. *Revista mexicana de Biodiversidad*, 85, S134-S142. <https://doi.org/10.7550/rmb.31987>

Manuscrito recibido el 12 de diciembre de 2024

Aceptado el 25 de marzo de 2025

Publicado el 25 de junio de 2025

Este documento se debe citar como:

Antonio-Vázquez, D., Torres-Díaz, A. N., Ledesma-Corral, C., & Gómez-Roa, K. M. (2025). Flora y estructura: guías en la restauración de un bosque de encino del Estado de México. *Madera y Bosques*, 31, e312707. <https://doi.org/10.21829/myb.2025.312707>



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