



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD IZTAPALAPA
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
POSGRADO EN BIOLOGÍA

**“Efecto de borde sobre la diversidad florística y almacenamiento
de carbono en un bosque de pino-encino de Tlalpujahua,
Michoacán, México”**

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRA EN BIOLOGÍA

PRESENTA

Biól. Jenny Flores Medina

Matrícula: 2202800773

Correo electrónico: jenfm98@gmail.com

Codirectores: Dra. Susana Adriana Montaña Arias

Dr. Noé Manuel Montaña Arias

Asesora: M. en C. Angélica Martínez Bernal

Jurado:

Presidenta: Dra. Sara Lucía Camargo Ricalde

Secretaría: M. en C. Angélica Martínez Bernal

Vocales: Dr. José Alejandro Zavala Hurtado

Dra. Fabiola Rojas García

Iztapalapa, Ciudad de México a 27 de febrero de 2023



**La Maestría en Biología de la
Universidad Autónoma Metropolitana
pertenece al Padrón de
Posgrados de Calidad del CONACyT**

Declaración de originalidad

La que suscribe Jenny Flores Medina alumna del posgrado en Biología de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud, de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa y autor(a) de la tesis o idónea comunicación de resultados titulada: "Efecto de borde sobre la diversidad florística y almacenamiento de carbono en un bosque de pino-encino de Tlalpujahua, Michoacán, México".

Declaro que:

1. La tesis o idónea comunicación de resultados que presento ante el H. jurado para lo obtención del grado de **maestra** es de mi autoría y original creación, producto del resultado de mi trabajo de investigación personal e individual; el cual cuenta con las correspondientes citas textuales del material bibliográfico utilizado y con el debido otorgamiento de los créditos autorales.
2. En la tesis o idónea comunicación de resultados no he reproducido párrafos completos; ilustraciones, fotografías, diagramas, cuadros y tablas, sin otorgamiento del crédito autoral y fuente correspondiente.
3. En consecuencia, relevo de toda responsabilidad a la Universidad Autónoma Metropolitana de cualquier demanda o reclamación que llegara a formular alguna persona física o moral que se considere con derecho sobre la tesis o idónea comunicación de resultados, respondiendo por la autoría y originalidad de la misma, asumiendo todas las consecuencias económicas y jurídicas si ésta no fuese de mi creación.

La presente declaración de originalidad se firma en la Ciudad de México el 27 de febrero del 2023.

Atentamente



Jenny Flores Medina

El jurado designado por la

División de Ciencias Biológicas y de la Salud

de la Unidad Iztapalapa, aprobó la tesis que presentó

Biól. Jenny Flores Medina

El día 27 de febrero de 2023

Comité Tutorial y Jurado

Codirectora: Dra. Susana Adriana Montaña Arias

Codirector: Dr. Noé Manuel Montaña Arias

Asesora: M. en C. Angélica Martínez Bernal

Sinodal: Dra. Sara Lucía Camargo Ricalde

Sinodal: Dra. Fabiola Rojas García

Sinodal: Dr. Alejandro Zavala Hurtado

DEDICATORIA

A mis padres, Juan Flores y Maribel Medina, por siempre estar para mí y apoyarme en cada decisión que tomo. Gracias por todos los consejos y las enseñanzas, por su amor y comprensión, sin duda alguna son los mejores padres.

A mi hermano Jovanny, porque has sido mi compañero de vida y aventuras; aunque eres muy diferente a mí, siempre hemos sabido ser un buen equipo; sé que nunca estaré sola porque tengo la dicha de tener un hermano como tú.

A mi querida abue Fermina, porque siempre encontraré apoyo y refugio contigo, fuiste parte importante de mi formación y lo sigues siendo ahora. Gracias por las charlas, los consejos y todo tu amor.

A mi amado Adrián, porque tú, más que nadie, ha visto mi crecimiento académico y personal, desde que coincidimos en el camino, cambiaste mi vida. Gracias por todo tu apoyo, por ser partícipe de todas mis locuras, por confiar en mí, por ser la persona con la que siempre encuentro tranquilidad, porque cada que la vida se pone difícil, estás ahí para no dejarme caer y recordarme lo fuerte que soy, que somos juntos, gracias por no cortar mis alas, sino impulsarme a volar más alto.

A toda mi familia, a mis tí@s y prim@s, porque siempre han confiado en mí y de alguna u otra forma me han apoyado a lo largo de mi vida. Gracias a todos por siempre estar.

A mis amigos del laboratorio de Biosistemática de Leguminosas porque, aunque soy la oveja descarriada que no estudia mimosas, me recibieron siempre con una sonrisa y muchos chistes, sin duda alguna pasé los mejores momentos con ustedes.

A mi querida amiga Silvia, porque más que amigas somos hermanas. Gracias por animarme siempre, por recordarme que soy capaz de lograr muchas cosas y que no debo rendirme ante las adversidades.

A mi amigo Jorge, porque las pláticas contigo son muy reconfortantes. Gracias por tus consejos, por las palabras de aliento cada que mi vida se tornaba gris, por confiar en mí y estar ahí siempre.

A mi amigo Manuel Alberto, porque me ayudaste de muchas maneras, tanto personal como académicamente. Aún con el poco tiempo de conocernos, nuestra amistad se convirtió en una amistad verdadera y fuerte. Te agradezco por la confianza y por cada palabra de ánimo, hiciste que mi camino se volviera más ameno.

A mi querido amigo Josafat, porque eres una de las personas a la que más admiro, porque compartimos el amor por la ciencia y por DIMITO, el lugar que nos vio crecer. Gracias por haberme hecho participe de tus sueños e integrarme al equipo de “Seamos Dimito”, porque ha sido una de las mejores experiencias de mi vida. Gracias por compartirme tus conocimientos, tus experiencias y contagiarme de esa alegría que te caracteriza. Estaré eternamente agradecida porque sin ti, mi trabajo de tesis se hubiera complicado. Gracias por todo mi querido Josa.

A todas las personas que en algún momento me brindaron alguna palabra de aliento, quienes confiaron en mí. Todas sus palabras siempre fueron de gran ayuda y me impulsaron a nunca rendirme.

¡GRACIAS A TODOS!

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada para la realización de mis estudios de Maestría en Biología (CVU: 1079947/Becario: 772662).

A la Dra. Susana Adriana Montaña Arias por el apoyo que desde el primer momento me brindó cuando decidí dar el paso para continuar con mi formación académica; por confiar en mí y aceptarme como su alumna a pesar de que se avecinaban tiempos difíciles con el inicio de una pandemia; por sus acertados comentarios a mi trabajo y, sobre todo, por ser más que mi directora, una amiga.

Al Dr. Noé Manuel Montaña Arias por todo el apoyo que me brindó a lo largo de mi formación académica; por sus comentarios siempre tan objetivos que enriquecieron mi trabajo; porque a pesar de su apretada agenda, siempre tuvo un momento para revisar detenidamente los resultados de mi tesis. Gracias por las charlas académicas y de vida y, sobre todo, por su amistad.

A la Mtra. Angélica Martínez Bernal porque me abrió las puertas a conocer el maravilloso mundo de la botánica y por resolver todas y cada una de las dudas que me surgían mientras identificaba las plantas; por aceptar formar parte de mi Comité y del jurado que revisó este trabajo. Gracias por mostrarme el gran valor de mi trabajo y animarme a participar en los congresos y, sobre todo, gracias porque siempre buscó la manera de apoyarme, personal y académicamente.

A la Dra. Fabiola Rojas García por aceptar impartirme el curso sobre “Estimaciones de volumen, biomasa y carbono almacenado en comunidades forestales templadas de México”, gracias a ello, se pudo desarrollar la parte de mi tesis que abarcaba esos temas; además, porque me enseñó a ver los ecosistemas forestales con otra perspectiva. Gracias por el tiempo que le dedicó a las clases, por la gran cantidad de conocimiento que puso a mi disposición, por corregir mis errores con criterio, por sus consejos académicos y de vida y, por formar parte del jurado que revisó este trabajo.

A la Dra. Sara Lucía Camargo Ricalde y al Dr. José Alejandro Zavala Hurtado por formar parte del jurado que revisó este trabajo y por sus recomendaciones que lo enriquecieron.

A mi estimado amigo Josafat García Imoff, porque me hizo participe del maravilloso proyecto “Seamos Dimito”, gracias a ello puede conocer la riqueza biológica, geológica y cultural de Tlalpujahua y así elegir la zona de estudio de este trabajo de tesis. Agradezco también por todo el apoyo en campo, por reunir a los integrantes de “Seamos Dimito”: Adrián, Betani, Edith, Hanna y Monse; y organizar los tiempos para que ayudaran en las mediciones y colectas, los datos que recabamos fueron la base de mi trabajo, infinitas gracias.

A mi papá y hermano porque en todo momento me apoyaron, desde las salidas previas para visitar los posibles sitios de estudio, hasta el trabajo para la toma de datos. Siempre buscaron la forma de no dejarme sola, de acompañarme y ayudarme para que este trabajo de tesis saliera lo mejor posible. Y a mi mamá, porque procuró, en todo momento, que la estancia de las personas que me acompañaban al campo fuera lo más amena posible, todos te agradecemos, sin duda, la comida después del arduo trabajo.

A los locales, por su apoyo en el trabajo de campo, porque pusieron a mi disposición toda la ayuda posible, gracias por compartir conmigo sus conocimientos acerca de la flora de Cerro Alto, sin ustedes este trabajo no podría haberse realizado.

A mis compañeros Víctor y Manuel Alberto, a mi estimada amiga Melissa, a mi cuñada Fernanda y al señor Jaime por su apoyo en el campo; sin duda alguna, trabajar bajo la lluvia no fue tarea sencilla, aún con ello su apoyo siempre estuvo presente. Formamos un excelente equipo.

Un agradecimiento especial a mi querido Adrián, porque me apoyó en toda la planeación de la salida a campo y, porque en el levantamiento de los datos, estuvo al pendiente de todo, preocupándose por cada detalle como si de su proyecto se tratara. Gracias por siempre estar para mí.

A la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa, mi amada casa de estudios, por permitir mi desarrollo académico y por darme la posibilidad de conocer amigos, colegas, obtener conocimiento, realizar enriquecedoras salidas al campo y brindarme grandes enseñanzas. Gracias por todo mi casa abierta al tiempo.

RESUMEN

El efecto de borde, producto de la fragmentación de la vegetación por cambio de uso de suelo, puede modificar la composición y estructura de las comunidades vegetales con consecuencias críticas en el funcionamiento y la productividad forestal. El objetivo de esta tesis fue evaluar el efecto de borde sobre la composición florística, estructura, diversidad y almacenamiento de carbono (C) en la biomasa aérea de las especies arbóreas y arbustivas del bosque de pino-encino (BPE) de la localidad de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México. A partir de una búsqueda bibliográfica exhaustiva de trabajos florísticos y de la consulta en bases de datos digitales, se elaboró una base de datos con las colectas de árboles y arbustos realizadas en el municipio de Tlalpujahua. El efecto de borde se evaluó mediante trabajo de campo en el BPE de Cerro Alto, en donde se establecieron cinco transectos con dirección borde-interior del bosque en los que se colectaron las especies arbóreas y arbustivas presentes y se midieron, para cada individuo, la talla, cobertura, diámetro a la altura del pecho en árboles (DAP, 1.30 m altura) y a la altura de la base en arbustos ($D_{0.0}$). Con estos datos se evaluó la estructura, se estimó la diversidad alfa (α), la biomasa aérea total y el contenido de C. Los datos anteriores conformaron 19 variables de la vegetación, las cuales se agruparon en 26 sectores de 10 m de longitud, contados a partir del inicio de los transectos (metro cero). El comportamiento de estas variables se analizó mediante diagramas de dispersión y modelos de regresión. La extensión del borde e interior del bosque se examinó con un análisis de conglomerados estratificado seguido de un análisis de similitudes (ANOSIM). Los cambios en las condiciones ambientales, debidos al efecto de borde, se determinaron mediante el registro de la temperatura, luminosidad y humedad del suelo a lo largo de los transectos; el comportamiento de estas variables se exploró con diagramas de dispersión y modelos de regresión. La relación entre las variables ambientales con las especies y las variables de la vegetación (19 variables) fue examinada con un análisis de correspondencia canónica (CCA) para proponer un modelo del comportamiento del BPE a entornos de borde. Se reportaron un total de 123 especies, 65 géneros y 39 familias de árboles y arbustos para el municipio de Tlalpujahua, de estas especies 19 fueron endémicas, 13 nativas, nueve introducidas, tres se encontraron enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y nueve en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN-2021. La biomasa aérea total promedio para el BPE de Cerro Alto fue de 93.33 Mgha^{-1} , en donde se almacenan 43.8 MgCha^{-1} . Se detectó la existencia de tres zonas significativamente diferentes: borde (≤ 190), transición (≤ 240) e interior (> 250). Se demostró que el borde tiene influencia significativa sobre ocho variables: riqueza de arbustos, abundancia de árboles y arbustos, talla de arbustos, área basal, biomasa y contenido de C de árboles y contenido de C total. El modelo propuesto y basado en 19 variables (CCA) señaló que la zona de borde

presentó mayor luminosidad y temperatura, menor humedad del suelo, mayor riqueza y diversidad de árboles y arbustos, así como mayor abundancia de árboles de tallas bajas, menor área basal, cantidad de biomasa y contenido de C; también, una menor abundancia de arbustos de tallas bajas, pero con mayor área basal y mayor cantidad de biomasa y contenido de C. Las especies que prefirieron ambientes de borde son plantas arvenses como *Ageratina petiolaris*, *Baccharis conferta* y *Brickellia secundiflora* y, especies pioneras que se desarrollan bien en sitios perturbados, como *Alnus acuminata*, *Prunus serotina* y *Quercus rugosa*. Las zonas de borde, transición e interior registraron: mayor humedad del suelo, menor luminosidad y temperatura, los árboles fueron menos abundantes, pero con mayores tallas, mayor área basal, mayor cantidad de biomasa y contenido de C. En contraste, los arbustos fueron más abundantes y con tallas altas, pero con menor área basal, menor cantidad de biomasa y contenido de C. Se presentaron especies como *Ageratina mairretiana*, *A. glabrata* y *Fuchsia thymifolia*, que son afines a zonas de borde; pero también especies más afines a zonas de interior como *Pinus teocote*, que se registró únicamente en los sectores más alejados del borde. Los resultados de este trabajo pueden ser útiles en el desarrollo de planes de manejo y estrategias de conservación que consideren la diversidad florística y su papel en el almacenamiento de C en el contexto de la transformación del bosque; además, se proporciona evidencia del comportamiento del BPE bajo la influencia del borde, por lo que ofrece una posible hipótesis para predecir la extensión y magnitud del efecto de borde en otras comunidades similares para las que no hay datos empíricos.

Palabras clave: almacenes de carbono, bosque templado, composición florística, comunidades forestales, estructura vegetal, fragmentación de la vegetación.

ABSTRACT

The edge effect, product of the fragmentation of the vegetation due to change in land use, can modify the composition and structure of the plant communities with critical consequences in the functioning and productivity of the forest. The objective of this thesis was to evaluate the edge effect on the floristic composition, structure, diversity and storage of carbon (C) in the aboveground biomass of the tree and shrub species of the pine-oak forest (BPE) of the town of Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacan, Mexico. From an exhaustive bibliographical search of floristic works and consultation in digital databases, a database was created with the collections of trees and shrubs carried out in the municipality of Tlalpujahua. The edge effect was evaluated through field work in the Cerro Alto BPE, where five transects were established with the edge-interior direction of the forest, in which the tree and shrub species present were collected and, for each individual, the density of the trees was measured, height, cover, diameter at breast height in trees (DBH, 1.30 m height) and at base height in shrubs (D0.0). With these data, the structure was evaluated, the alpha (α), diversity, the total aboveground biomass and the C content were estimated. The previous data formed 19 vegetation variables, which were grouped into 26 sectors of 10 m length, counted from the beginning of the transects (zero meter). The behavior of these variables was analyzed using scatterplots and regression models. The extent of the forest edge and interior was examined with a stratified cluster analysis followed by a Similarity Analysis (ANOSIM). The changes in the environmental conditions, due to the edge effect, were determined by recording the temperature, luminosity and humidity of the soil along the transects; the behavior of these variables was explored with scatterplots and regression models. The relationship between the environmental variables with the species and the vegetation variables (19 variables) was examined with a Canonical Correspondence Analysis (CCA) to propose a model of the behavior of the BPE in edge environments. A total of 123 species, 65 genera and 39 families of trees and shrubs were reported for the municipality of Tlalpujahua, of these species 19 were endemic, 13 native, nine introduced, three were found listed in NOM-059-SEMARNAT-2010 and nine on the IUCN-2021 Red List of Threatened Species. The average total aboveground biomass for the Cerro Alto BPE was 93.33 Mgha^{-1} , where 43.8 MgCha^{-1} are stored. The existence of three significantly different zones was detected: border (≤ 190), transition (≤ 240) and interior (> 250). Edge was shown to have a significant influence on eight variables: shrub richness, tree and shrub abundance, shrub size, basal area, tree biomass and C content, and total C content. The proposed model and based on 19 variables (CCA) indicated that the border zone presented greater luminosity and temperature, lower soil moisture, greater richness and diversity of trees and shrubs, as well as a greater abundance of short

trees, smaller basal area, amount of biomass and C content; also, a lower abundance of short-sized shrubs, but with a greater basal area and a greater amount of biomass and C content. The species that preferred edge environments are weeds such as *Ageratina petiolaris*, *Baccharis conferta* and *Brickellia secundiflora*, and pioneer species that develop well in disturbed sites, such as *Alnus acuminata*, *Prunus serotina* and *Quercus rugosa*. The border, transition and interior zones recorded: higher soil moisture, lower light and temperature, trees were less abundant, but with larger sizes, greater basal area, greater amount of biomass and C content. In contrast, the shrubs were more abundant and with tall sizes, but with less basal area, less amount of biomass and C content. Species such as *Ageratina mairiana*, *A. glabrata* and *Fuchsia thymifolia* were present, which are related to edge zones; but also species more related to inland areas such as Pinus teocote, which was recorded only in the sectors furthest from the edge. The results of this work may be useful in the development of management plans and conservation strategies that consider floristic diversity and its role in C storage in the context of forest transformation; In addition, evidence of the behavior of the BPE under the influence of the edge is provided, thus offering a possible hypothesis to predict the extent and magnitude of the edge effect in other similar communities for which there are no empirical data.

Key words: carbon stores, floristic composition, forest communities, temperate forest, vegetation fragmentation, vegetation structure.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	5
2.1 Efecto de borde.....	5
2.2 Estudios sobre el efecto de borde.....	8
2.3 Almacenes de carbono (C).....	11
2.4 Carbono en bosques templados.....	13
2.5 El efecto de borde en los almacenes de C y su relación con la vegetación.....	15
2.6 Estudios de vegetación y almacenes de C en el estado de Michoacán, México.....	17
2.7 Estudios en Tlalpujahuá, Michoacán, México.....	21
3. JUSTIFICACIÓN.....	22
4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	23
5. HIPÓTESIS.....	23
6. OBJETIVOS.....	24
6.1. GENERAL.....	24
6.2 ESPECÍFICOS.....	24
7. MÉTODOS.....	25
7.1. Área de estudio.....	25
7.1.1. Localización.....	25
7.1.2. Vegetación.....	26
7.1.3. Clima.....	27
7.1.4. Edafología.....	28
7.2. Recopilación de información a nivel municipio.....	28
7.3 Diseño experimental.....	29

7.4 Análisis de la estructura, riqueza y diversidad de especies	32
7.5 Biomasa aérea y almacén de carbono (C).....	35
7.6 Determinación de la extensión y magnitud del efecto de borde	36
7.7 Caracterización ambiental de los transectos	38
8. RESULTADOS	40
8.1 Composición florística en el municipio de Tlalpujahua	40
8.2 Florística de la localidad de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán: un antecedente para evaluar el efecto de borde	41
8.2.1 Composición florística del BPE de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán	41
8.3 Respuesta de la vegetación al efecto de borde.....	55
8.3.1 Características ambientales	57
8.3.2 Extensión y magnitud del efecto de borde	57
9. DISCUSIÓN.....	63
9.1 Composición florística en el municipio de Tlalpujahua	63
9.2 Florística del bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahua	66
9.3 Extensión y magnitud del efecto de borde sobre el BPE de Cerro Alto, Tlalpujahua.....	72
10. CONCLUSIONES.....	78
11. LITERATURA CITADA.....	81
12. ANEXOS.....	108
12.1 Composición florística de Tlalpujahua, Michoacán, México	108

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1	Criterios considerados para la validación de registros obtenidos de las bases de datos digitales (GBIF, SNIB, Portal de datos abiertos UNAM).....	29
Cuadro 2	Localización geográfica de los transectos establecidos en Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México.....	32
Cuadro 3	Ecuaciones para estimar la biomasa de las 29 especies registradas en el bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México.....	37
Cuadro 4	Composición florística del bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México. Se muestra la familia, género, especie, nombre común y forma de vida. Las especies endémicas se indican con un asterisco (*) y las especies nativas con dos asteriscos (**).....	42
Cuadro 5	Riqueza de especies (S) y abundancia de árboles y arbustos para cada uno de los transectos muestreados en el bosque de pino-encino en Tlalpujahua, Michoacán México.	43
Cuadro 6	Parámetros estructurales de las especies presentes en el estrato arbóreo de los cinco transectos de muestreo en el bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México. Las tres especies con el IVI (índice de valor de importancia) más alto se indican en negritas.....	48
Cuadro 7	Parámetros estructurales de las especies presentes en el estrato arbustivo de los cinco transectos de muestreo en el bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México. Las tres especies con el IVI (índice de valor de importancia) más alto se indican en negritas.....	49
Cuadro 8	Estimaciones de biomasa y carbono en biomasa aérea reportados en esta tesis para Cerro Alto, Tlalpujahua y en otros estudios realizados en bosques de pino-encino en México.70	
Cuadro 9	Concentración de C (%) en el tejido vegetal de siete especies del bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México y su comparación con los valores obtenidos por Pompa-García et al. (2017) para estas especies en otros sitios de bosques en México.....	72
Cuadro 10	Extensión del efecto de borde al interior del bosque en distintos trabajos realizados en bosques templados.....	73

Cuadro 11	Composición florística del municipio de Tlalpujahua, Michoacán, México a partir de estudios publicados y de bases de datos. Se muestra la familia, género, especie, nombre común y forma de vida. Las especies endémicas se indican con un asterisco (*), las especies nativas con dos asteriscos (**) y las especies introducidas con tres asteriscos (***).....	108
Cuadro 12	Especies de plantas que se encuentran en alguna categoría de riesgo, de acuerdo con la NOM-050-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010) y la Lista Roja de Especies Amenazadas (IUCN, 2021) en el municipio de Tlalpujahua, Michoacán, México.....	112

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Tipos de efecto de borde según Turton y Freiburger (1997). Esta clasificación divide al efecto de borde en: A) abiótico o físico; B) biológico directo y C) biológico indirecto.....	7
Figura 2	Tipos de efecto de borde según Lidicker (1999). Existen tres tipos generales de respuestas potenciales para un conjunto de variables a lo largo del gradiente entre dos hábitats adyacentes A y B, las cuales son: A) efecto de matriz; B) efecto de ecotono y C) sin efecto de borde.....	8
Figura 3	Localización del municipio de Tlalpujahua en el estado de Michoacán y ubicación de la zona de estudio en la tenencia de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México.....	26
Figura 4	Usos de suelo y vegetación del municipio de Tlalpujahua, Michoacán, México (INEGI, 2009).....	27
Figura 5	Zona de estudio. (A) Bosque de pino-encino en la localidad de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México; (B) imagen satelital de los cinco transectos establecidos en el área de estudio.....	31
Figura 6	Porcentaje de familias presentes en el bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán.....	44
Figura 7	Ocurrencia de especies de plantas registradas en cada uno de los transectos muestreados a partir del borde y hacia el interior del bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México. Las especies que se presentan en los cinco transectos se indican con un asterisco (*) y las especies únicas con un signo de más (+).....	45
Figura 8	Abundancia de árboles y arbustos en cada uno de los estratos del bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México.....	46

Figura 9	Categorías diamétricas de árboles y arbustos del bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahuá, Michoacán, México: A) categorías diamétricas para árboles y B) categorías diamétricas para arbustos.....	51
Figura 10	Biomasa y contenido de C en cada uno de los transectos muestreados en el bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahuá, Michoacán, México. Valores referidos al área examinada en el transecto.....	52
Figura 11	Biomasa y contenido de carbono por especie del bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahuá, Michoacán, México.....	53
Figura 12	Concentración de C registrada en las especies dominantes del bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahuá, Michoacán, México.....	54
Figura 13	Comportamiento de las variables de la vegetación registradas en el bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahuá, Michoacán, México. La línea negra continua refleja el promedio de cinco transectos.....	56
Figura 14	Comportamiento de las variables ambientales registradas en el bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahuá, Michoacán, México. La línea negra continua refleja el promedio de cinco transectos, excepto para la humedad, donde se usaron los datos de solo cuatro transectos, la línea punteada corresponde al ajuste del modelo de regresión que refleja la tendencia promedio de los datos.....	58
Figura 15	Clasificación de los sectores (cada sector equivale a 10m de distancia) que van desde la orilla hacia el interior del bosque con base en las 19 variables de la vegetación medidas en el bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahuá, Michoacán, México. Se utilizó el método de promedio entre grupos no ponderado (método UPGMA) con una medida de distancia euclidiana y se realizó un análisis de similitudes (ANOSIM), para determinar la significancia estadística de los grupos obtenidos. Las líneas punteadas representan los sectores que abarcan las zonas de borde, transición e interior.....	59
Figura 16	Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) donde se muestra la distribución de: A) 29 especies y B) 19 variables biológicas medidas en el bosque de pino-encino de Tlalpujahuá, Michoacán, México.....	62

1. INTRODUCCIÓN

El “cambio de uso de suelo” hace referencia al cambio en el uso o manejo de la tierra debido a las actividades humanas, que puede inducir un cambio de la cubierta terrestre (IPCC, 2012), como consecuencia de este proceso ocurre la fragmentación de la vegetación, la cual altera los procesos biológicos, ecológicos y biogeoquímicos y genera cambios drásticos en las comunidades y en sus capacidades para ofrecer servicios ecosistémicos. El estudio de la fragmentación vegetal es clave para entender los efectos de las perturbaciones antrópicas en la estructura y función de los ecosistemas, así como en las dinámicas de colonización y recuperación de los hábitats (Nava-Cruz et al., 2007).

El aprovechamiento de los ecosistemas provoca la aparición de áreas transformadas (cultivos, pastizales inducidos o cultivados, carreteras e infraestructura) que colindan con áreas conservadas (vegetación primaria). La membrana que modula el intercambio de materia y organismos entre estas áreas se denomina borde y los cambios que ocurren en esta zona (borde) se conocen como efecto de borde (López-Barrera, 2004). El efecto de borde puede ocasionar la aparición de propiedades y dinámicas nuevas que, con el paso del tiempo, convierten a los bordes en hábitats diferentes de los que existen al interior de los fragmentos de vegetación (López-Barrera, 2004; Granados et al., 2014); también altera los los filtros ambientales, los cuales imponen restricciones en la supervivencia de las especies, de modo que, sólo aquellas que poseen los atributos adecuados para enfrentarlos, puede convertirse en parte de la comunidad (Arenas-Navarro et al., 2020).

El efecto de borde ocasiona cambios en la composición vegetal y modifica la estructura de las comunidades en el borde, principalmente la abundancia y densidad de individuos

(Cayuela, 2006; Santiago-Pérez et al., 2009). Los cambios en la composición y estructura inciden en las interacciones de las especies y sus procesos ecológicos (dispersión de semillas, polinización y crecimiento de las plantas), lo que repercute en el funcionamiento y la productividad de las comunidades (Granados et al., 2014; Ziter et al., 2021) y se refleja en el ecosistema (Smith et al., 2018).

Los datos que se analizan para llegar a las conclusiones anteriores se obtienen de los estudios sobre composición y diversidad vegetal, los cuales se consideran como una primera aproximación al conocimiento de una comunidad y, de acuerdo con Pech-Cárdenas y López-Cetina (2014), respaldan la distribución de las especies y dan oportunidad al estudio de otros temas, como la sucesión ecológica y las evaluaciones del cambio en los patrones de distribución. González-Medrano (2004) menciona que, además de la composición florística, se deben estudiar otros parámetros de las comunidades vegetales para diferenciar, clasificar y, en su caso, realizar comparaciones de la vegetación. Dichos parámetros son el fisonómico, definido por las formas de vida de las especies dominantes; la estructura de la vegetación, que se refiere a la organización espacial de los individuos que forman una comunidad y se define por el ordenamiento vertical (altura y estratos) y horizontal (abundancia y cobertura) de las formas de vida presentes; así como la fenología, que denota la apariencia o aspecto de la comunidad en el tiempo por medio de los cambios estacionales que se manifiestan en la pérdida de follaje, tiempos de floración y fructificación y exfoliación de tallos, entre otros.

Debido a que los bosques de pino-encino (BPE) en México, son uno de los tipos de vegetación que alberga la más alta diversidad florística, con aproximadamente 7,000 especies, representan el 25% de la flora fanerogámica del país, son el hábitat de las especies maderables

con mayor valor comercial en el mercado forestal (Rzedowski et al., 2005; Rzedowski, 2006; Galicia et al., 2015; 2016) y ofrecen una gran cantidad de servicios ecosistémicos (protección de las cuencas hidrográficas, conservación de la biodiversidad y secuestro de carbono) (Franquis e Infante, 2003); en este trabajo, el interés se centró en el estudio de esta comunidad vegetal, ya que, además de tener una gran importancia ecológica y social, están sujetos a una gran cantidad de disturbios, tanto por el cambio de uso de suelo para actividades agropecuarias, como por el aprovechamiento de madera (Santiago-Pérez et al., 2012).

El aumento del tamaño de la población, el crecimiento económico y los patrones de consumo global, ejercen presión sobre los ecosistemas (Seppelt et al., 2011). La pérdida de la cobertura forestal provoca afectaciones sobre el aprovisionamiento de bienes y servicios ecosistémicos y repercute en el cambio climático global, ya que los bosques son importantes sumideros de carbono (C) (Franquis e Infante, 2003; Santiago-Pérez et al., 2012). Bajo esta problemática, se han desarrollado hipótesis y modelos sobre como la transformación de los bosques podría inducir o no, a un significativo efecto borde sobre la capacidad de un ecosistema forestal para almacenar C en su biomasa (Smith et al., 2018); sin embargo, estos aún no han sido documentados en los BPE en México.

La importancia de evaluar los efectos de la pérdida de cobertura forestal se debe a que ésta constituye una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel global, ya que entre el 12% y el 20% de dichas emisiones se atribuyen a esta causa. Por lo tanto, los bosques sujetos a procesos de degradación o deforestación son considerados emisores netos de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera. Por este motivo, el conocimiento sobre la captura y el almacenamiento de carbono (C) es necesario para estimar

las reservas de C de los ecosistemas forestales y diseñar políticas de mitigación del cambio climático (Paz-Pellat et al., 2019).

La mayor parte del C en los bosques se encuentra en la biomasa viva (44%) y en el suelo (45%); mientras que el resto está en la madera muerta y en la hojarasca. Estos datos indican que tanto la parte aérea (vegetación) como la subterránea (suelo) de los ecosistemas, juegan un papel fundamental en el ciclo global del C en función de la magnitud de su captura y almacenamiento (FAO, 2020). Se estima que el potencial de captura de C en la vegetación y en los suelos de los bosques templados de México es de 200 y 327 MgCha⁻¹, respectivamente (Monreal et al., 2005); sin embargo, de acuerdo con Galicia et al. (2016), estos bosques han recibido poca atención en cuanto al conocimiento del ciclo del C y las proyecciones de mitigación al cambio climático.

Uno de los estados más diversos en cuanto a tipos de vegetación es Michoacán, en él destaca el BPE, el cual ha experimentado procesos de cambio de uso de suelo asociados a la agricultura y la extracción selectiva de madera que implica aprovechar generalmente árboles adultos y algunos arbustos, cuyas características de selección dependen del uso que se le dé en la zona (Bocco et al., 2001; España-Boquera y Champo-Jiménez, 2016). Un ejemplo de esta alteración es la que ha sufrido el bosque de BPE del municipio de Tlalpujahua, Michoacán, México (François-Mas et al., 2017).

Por lo anterior, esta investigación documenta el efecto de borde sobre la composición florística, estructura, diversidad y almacenamiento de C en la biomasa aérea de las especies arbóreas y arbustivas de un BPE ubicado en el municipio de Tlalpujahua, Michoacán, México,

con el propósito de identificar la extensión del borde y la magnitud de su influencia sobre la comunidad vegetal, así como contribuir al conocimiento florístico y evaluar el papel de la biomasa aérea de este tipo de vegetación como reservorio de C.

2. ANTECEDENTES

2.1 Efecto de borde

El término “efecto de borde” fue utilizado, por primera vez, por Leopold en 1933 para explicar la riqueza de especies cinegéticas (especies objeto de caza y pesca) observadas en los bordes. Posteriormente, se añadieron al concepto los efectos negativos que el borde causaba sobre las comunidades vegetales (López-Barrera, 2004). Actualmente, el concepto comprende el estudio de una gran variedad de procesos bajo distintos enfoques; por ejemplo, el ecológico (Romero-Torres y Ramírez- Varela, 2011), el de restauración y conservación (Peña-Becerril et al., 2005) y el de producción agrícola (Dueñas-Tamasco, 2013).

El efecto de borde se refiere a los cambios que ocurren en los márgenes entre hábitats diferentes; es decir, entre el ecosistema natural y las áreas perturbadas, o bien, cualquier cambio en la distribución de una o más variables bióticas o abióticas en la transición entre hábitats (López-Barrera, 2004; Nava-Cruz et al., 2007). Estos cambios, producidos por el efecto de borde, modifican los filtros ambientales, los cuales son rasgos del hábitat o fenómenos ecológicos y ambientales que actúan como factores selectivos para las especies y modulan el ensamblaje de las comunidades vegetales (Longo y Blanco, 2009).

López-Barrera (2004) señala que el borde puede definirse como una zona de transición entre hábitats adyacentes; no obstante, la definición y medición del borde tiene restricciones, ya que depende del investigador u observador, del organismo o variables estudiadas, de la intensidad y tiempo del cambio en el hábitat adyacente y de la escala espacial que se maneje.

Existen diversas clasificaciones para definir los bordes, las cuales se basan en dos factores principales que determinan la extensión y magnitud que el borde puede provocar en un fragmento o parche forestal, los cuales son: la intervención climática y la estructura del borde (Peña-Becerril et al., 2005; Cortes-Santos y Varón-Hernández, 2018).

La clasificación de Turton y Freiburger (1997) divide al efecto de borde en abiótico, biológico directo y biológico indirecto. El primero, también es conocido como efecto de borde físico y corresponde a los cambios físicos en las condiciones del ambiente (*i.e.* viento, temperatura, luz y humedad); el segundo, se refiere a los cambios en la distribución y abundancia de las especies, como el crecimiento de la vegetación secundaria en el margen del bosque, las invasiones arbóreas o de animales generalistas, los cuales causan alteraciones en las condiciones físicas cerca del borde y el tercero, son los cambios en las interacciones de las especies en o cerca del borde, debido a que, en conjunto, estos cambios crean una alteración de los procesos ecológicos asociados al ciclo de nutrientes y los flujos de energía (Figura 1).

Otra clasificación la propone Lidicker (1999), quien menciona dos tipos generales de efectos, el de matriz y el de ecotono, ambos basados en el reconocimiento de propiedades emergentes que pueden surgir en el borde; es decir, se centra en definir si éste se comporta como un hábitat diferente a los adyacentes. El efecto de matriz se refiere a un cambio abrupto

en la distribución de una variable que ocurre en la zona borde, esto es, los hábitats adyacentes son diferentes y no generan ningún efecto de borde; aunque, en otros estudios también se ha definido como borde abrupto (Sizer y Tanner, 1999; Santiago-Pérez et al., 2009; Granados et al., 2014). El efecto de ecotono se refiere a toda la variedad de respuestas que el borde puede presentar, tanto positivas como negativas y mutuas o suaves, lo que provoca que el borde se pueda definir como un hábitat diferente. También existe la posibilidad de que no se registre ningún cambio en la distribución de las variables que se estudian en la transición entre los dos hábitats a lo que se le conoce como “sin efecto de borde” (Figura 2).

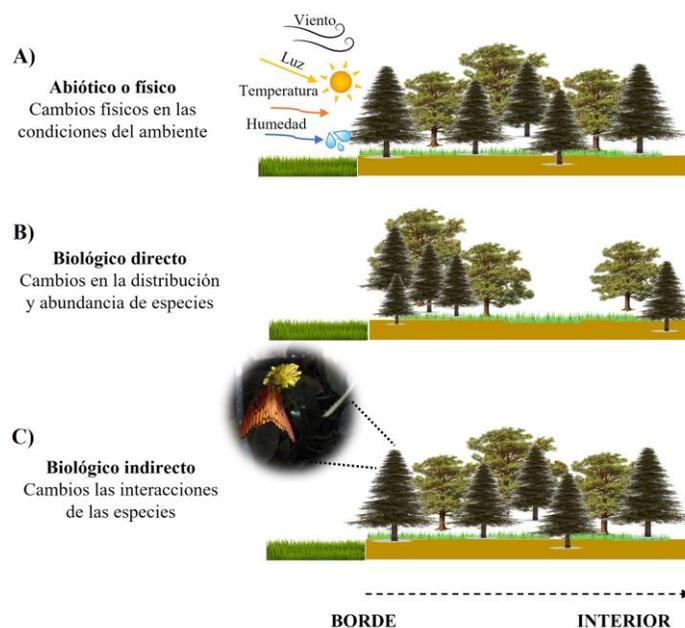


Figura 1. Tipos de efecto de borde según Turton y Freiburger (1997). Esta clasificación divide al efecto de borde en: A) Abiótico o físico; B) Biológico directo y C) Biológico indirecto.

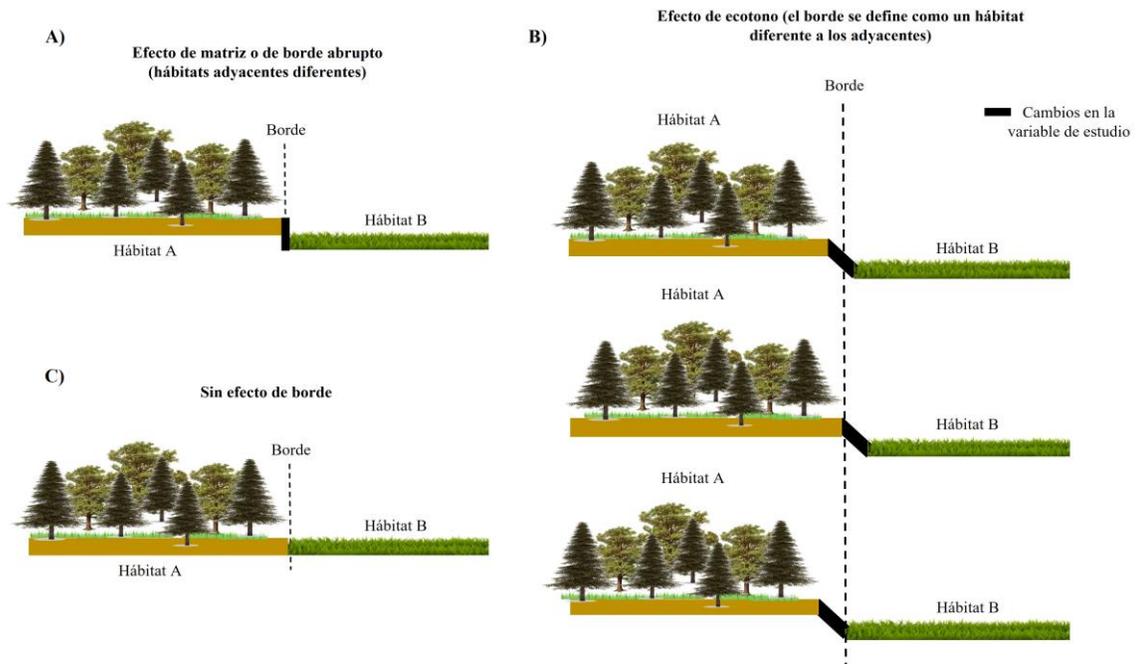


Figura 2. Tipos de efecto de borde según Lidicker (1999). Existen tres tipos generales de respuestas potenciales para un conjunto de variables a lo largo del gradiente entre dos hábitats adyacentes A y B, las cuales son: A) Efecto de matriz; B) Efecto de ecotono y, C) Sin efecto de borde.

2.2 Estudios sobre el efecto de borde

El efecto de borde en los bosques se ha examinado bajo distintos enfoques; uno de ellos ha sido a través del análisis de la composición y estructura de la vegetación a diferentes distancias a partir del borde y hacia el interior del bosque. Al respecto, López de Casenave et al. (1995) analizaron las diferencias en la composición de especies y la estructura de la vegetación entre el borde y el interior de un bosque semiárido en la provincia del Chaco de Argentina. Sus resultados mostraron que el área basal total del estrato arbustivo, la densidad total de fustes, la riqueza de especies y la abundancia de fustes delgados, así como la cobertura del estrato arbustivo fue significativamente mayor en el borde; y el área basal total del estrato

arbóreo, la abundancia de árboles y fustes gruesos, así como la cobertura del dosel fue significativamente mayor en el interior; lo que revela cambios en el estrato arbóreo y arbustivo en el borde.

Otro enfoque es el de Sizer y Tanner (1999) quienes describieron los efectos a corto plazo de la creación de un borde abrupto sobre la dinámica de plántulas leñosas en una selva tropical de tierras bajas del Amazonas y usaron datos sobre reclutamiento, mortalidad y crecimiento, recolectados antes y después de la creación del borde. Estos autores reportaron que el reclutamiento de plántulas aumentó en los primeros 10 m, en contraste con la mortalidad, que se mantuvo constante después de la formación del borde. En cuanto al crecimiento vertical para las plántulas reclutadas, se presentó un crecimiento más acelerado a los 10 m en el momento de la formación del borde, lo que sugiere que este modifica la dinámica de las poblaciones vegetales.

Asimismo, Harper et al. (2005) a partir de una recopilación y análisis de 44 estudios publicados sobre la influencia del borde en la estructura y composición de bosques boreales, templados y tropicales, sugirieron que la magnitud y la distancia de la influencia del borde son una función directa del contraste en la estructura y composición entre comunidades adyacentes en cualquier lado del borde, por lo que definir estos parámetros es crucial al documentar el efecto de borde en una comunidad vegetal.

Respecto a las investigaciones realizadas en bosques templados, estas incluyen la de Chen et al. (1992), quienes analizaron las respuestas de la densidad, crecimiento, mortalidad y regeneración de tres especies de coníferas, *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, *Tsuga*

heterophylla (Raf.) Sarg y *Abies amabilis* Douglas ex J. Forbes, a entornos de borde en la vertiente occidental de la Cordillera de las Cascadas (Cascade Range, oriente de los Estados Unidos) y registraron que cerca del borde hay una densidad de población reducida, mayores tasas de crecimiento, mayor número de plántulas de *P. menziesii* y *T. heterophylla* y tasas elevadas de mortalidad de árboles de las tres especies estudiadas.

Granados et al. (2014), reportaron un gradiente del borde al interior que impactó, principalmente, en la composición vegetal de los bosques en comunidades fragmentadas de BPE en la Sierra de Monte-Alto, Estado de México. El área de menor calidad ecológica fue el borde (≤ 50 m), con valores altos de diversidad, riqueza y abundancia, así como distinta composición florística; reveló la presencia de especies con preferencia por ambientes de borde (i.e. *Prunus serotina* Ehrh, *Quercus crassipes* Humb. & Bonpl y *Q. rugosa* Neé), y de pinos cultivados (i.e. *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham) o de ambientes perturbados (i.e. *P. leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham). El área núcleo (> 100 m) mostró valores más bajos en estos mismos parámetros y la composición florística indicó la presencia de especies que prefieren ambientes de interior (i.e. *Q. crassifolia* Bonpl, *Q. obtusata* (Willd) Ashe y *P. montezumae* Lamb).

Los resultados obtenidos en los trabajos anteriores muestran que las diferencias entre el borde y el interior de la vegetación en bosques templados parecen estar relacionadas, principalmente, con las condiciones locales; es decir, con los factores ambientales, los factores bióticos, las características del borde y los atributos del bosque, lo que permite suponer que la existencia, magnitud y la intensidad del efecto de borde es contexto dependiente.

2.3 Almacenes de carbono (C)

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), refiere a los sumideros o almacenes de C como todo proceso, actividad o mecanismo que sustrae de la atmósfera cualquier GEI, aerosol o precursor de estos y permite su estabilización temporal (IPCC, 2003). Bajo esta definición, los ecosistemas terrestres podrían ser tanto sumideros como fuentes de C, debido a que en ellos el C es intercambiado de manera natural mediante los procesos de fotosíntesis, respiración, descomposición y combustión, o bien almacenado en la biomasa o en el sistema geoquímico. Mediante la fotosíntesis, se captura el CO₂ atmosférico, se incorpora como C orgánico en la biomasa de los productores primarios y se transfiere al suelo; mientras que la respiración, descomposición y combustión, emiten CO₂ a la atmósfera (Honorio y Baker, 2010).

Se estima que el CO₂ es el principal GEI, cuyas principales fuentes netas son producto del uso de combustibles fósiles y el cambio en el uso del suelo. La emisión de CO₂, principalmente por las actividades humanas, ha provocado un desequilibrio al incrementar su concentración en la atmósfera y contribuir a aumentar la temperatura global del planeta (IPCC, 2021). Como medidas para reducir las concentraciones de GEI, se han propuesto estrategias como el uso de energías renovables más eficientes, o bien, la captura o secuestro de C por medio de proyectos forestales. El secuestro del CO₂ consiste en utilizar la fotosíntesis para capturar el C de la atmósfera y, de esta manera, retenerlo en forma de biomasa en plantas; además de transferirlo a otros almacenes como el suelo, que tiene mayor capacidad de almacenarlo y estabilizarlo por más tiempo, de tal forma que, a corto plazo, no pueda ser

reemitido a la atmósfera. Por lo anterior y debido a que los bosques retienen más C del que liberan, es que se les reconoce como sumideros de C (Casiano-Domínguez et al., 2018).

Los ecosistemas terrestres almacenan grandes cantidades de C en la biomasa aérea y subterránea; por lo tanto, los cambios o alteraciones que puedan sufrir tienen repercusiones relevantes en las emisiones de GEI, ya que las reservas de C en la biomasa aérea son removidas de forma parcial o total del lugar donde se encuentran y, posteriormente, transformadas en productos maderables o son liberadas a la atmósfera por combustión o mediante descomposición microbiana (Ordóñez-Díaz et al., 2015).

Los bosques (incluidas las selvas) y humedales, son los tipos de vegetación que tienen los mayores almacenes de C en sus distintos componentes bióticos y abióticos (Paz-Pellat et al., 2019). De acuerdo con el IPCC (2003), los principales almacenes de C en los bosques corresponden a la biomasa aérea, biomasa subterránea viva y muerta, al material leñoso caído sobre el suelo, al mantillo y al suelo. Por esta razón, el estudio de la dinámica del ciclo del C en los ecosistemas forestales es muy compleja, ya que involucra el análisis de cada uno de estos almacenes.

Acosta et al. (2009) sugieren que el suelo es el almacén de C más importante, ya que contiene hasta tres veces más C que la vegetación, pero la biomasa aérea de los bosques, principalmente la de los estratos arbóreo y arbustivo, desempeña un papel crítico, ya que es la principal ruta de entrada del C y concentra una gran cantidad de biomasa, la cual se compone del fuste, raíz, hojas, ramas y el follaje. Cabe mencionar que la capacidad de captura y

almacenamiento de C depende de la comunidad vegetal (e.g. tamaño, densidad de individuos y diversidad de especies), el clima, la humedad, y la calidad del sitio (Honorio y Baker, 2010).

Dado el potencial de los bosques como secuestradores de C, de su capacidad para mantener este C almacenado en su biomasa y de su contribución para reducir los GEI de la atmósfera, se han promovido recursos financieros proporcionados mediante mecanismos como Reducción de las Emisiones debidas a la Deforestación y la Degradación forestal (REDD+), de la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kioto (1997) para incentivar a los países en desarrollo a que reduzcan las emisiones procedentes de tierras forestales e inviertan en trayectorias de bajo consumo de C hacia el desarrollo sostenible (IPCC, 2021). En este contexto, el cuantificar los almacenes de C es, actualmente, un tema de análisis fundamental, particularmente en bosques que, al haber sido sometidos a cambio de uso de suelo, conforman matrices boscosas rodeadas de hábitats transformados que podrían modificar su capacidad como sumideros de C.

2.4 Carbono en bosques templados

Los enfoques bajo los cuales se han estimado los almacenes de C en los bosques templados van desde investigaciones que documentan un sólo almacén hasta aquéllas que estiman dos o más almacenes. Uno de los estudios que analizó un sólo almacén fue el realizado por Galicia et al. (2016), quienes estudiaron el almacenamiento de C en suelos de bosques templados. Sus resultados mostraron que el C del suelo depende de la composición de especies, el relieve y el tipo de suelo donde se establece la comunidad vegetal.

Uno de los estudios que analiza múltiples almacenes es el de Acosta et al. (2009) quienes evaluaron los almacenes de C en el estrato aéreo y el suelo en rodales de diferente composición de especies arbóreas en la región de Tlaxco, Tlaxcala, México. Los resultados mostraron que la mayor cantidad de C se concentró en la parte subterránea (principalmente en los primeros 20 cm) y disminuyó al aumentar la profundidad del suelo. En el estrato aéreo, los árboles aportaron la mayor cantidad de C.

Álvarez et al. (2013), evaluaron el contenido de C en los almacenes aéreos y subterráneos de cinco comunidades de bosque montano de niebla, en la Sierra Norte de Oaxaca (situadas entre 1500 y 2500 m). Sus resultados mostraron que la suma de los distintos almacenes fue mayor en altitudes de 1500 y 2500 m (440 y 420 MgCha^{-1}) y menor en 1950 y 2400 m (354 MgCha^{-1}); además, documentaron que, en promedio, la reserva de C en biomasa aérea y suelo para las comunidades estudiadas fue de $384.16 \pm 40.13 \text{ MgCha}^{-1}$.

Hernández-Vera et al. (2017), evaluaron las variaciones en la concentración de C a lo largo del perfil longitudinal de tres especies de pino (*Pinus durangensis* Martínez, *P. engelmannii* Carr y *P. leiophylla*), en el norte de México, incluyendo sus componentes (raíz, corteza, tallo, ramas, ramillas, hojas y frutos). Los resultados mostraron diferencias significativas en la concentración de C a lo largo de la longitud de los árboles. En todas las especies, la concentración de C en la corteza presentó los valores más altos (52.48%), por lo que propusieron considerar dichas variaciones para realizar estimaciones más precisas de los almacenes de C en los ecosistemas forestales.

Casiano-Domínguez et al. (2018), efectuaron una revisión de literatura acerca de los contenidos de C de los ecosistemas terrestres de México con un enfoque de cronosecuencias. En dicha investigación, se consideraron, para 21 tipos de vegetación, los siguientes almacenes: biomasa aérea, material leñoso en pie, hojarasca-mantillo, material leñoso caído, biomasa subterránea y suelo. Los resultados mostraron una tasa de captura de C en los bosques templados de coníferas y latifoliadas de $3.431 \pm 0.8702 \text{ MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$, en sitios de 10 a 20 años.

2.5 El efecto de borde en los almacenes de C y su relación con la vegetación

El estudio del efecto de borde sobre los parches de vegetación natural se ha centrado en particular en el análisis de los factores que se modifican o mantienen estables en un gradiente borde-interior y que controlan la estructura y la productividad forestal con proximidad al borde (Nava-Cruz et al., 2007; Smith et al., 2018).

Uno de los enfoques con el que se ha estudiado el efecto de borde es aquél que analiza la influencia que pueden tener distintos factores ambientales sobre la dinámica del C forestal. No obstante, los trabajos sobre este tema son escasos, debido a que los métodos actuales para medir el C de la biomasa y los modelos ecológicos para analizar los ecosistemas generalmente no incluyen el efecto de borde. A pesar de la escasa información, se han logrado detectar algunas tendencias en las condiciones de crecimiento, los factores abióticos y la productividad en bosques tropicales y templados del mundo que se relacionan directa o indirectamente con la dinámica del carbono (Razafindratsima et al., 2017; Smith et al., 2018).

La generación de un borde promueve distintas condiciones para el crecimiento de los individuos cercanos a éste. Estas condiciones varían según los biomas, pero existen algunas tendencias que están relacionadas con los cambios en el microambiente del borde, los cuales pueden crear condiciones favorables o adversas para el crecimiento de las plantas, según los factores limitantes del crecimiento y las vulnerabilidades al estrés que las especies presenten. En la proximidad al borde existe una mayor exposición al viento, sequía, fuego, luz y disponibilidad de nitrógeno (N), estos dos últimos factores representan condiciones favorables para el crecimiento y producción de biomasa (Peña-Becerril et al., 2005; Ritter et al., 2005).

Los trabajos realizados en bosques tropicales han mostrado que la densidad de biomasa cerca del borde es menor que en el interior del bosque. Por esta razón, se infiere que el almacén aéreo de C podría declinar con la proximidad al borde, lo que provoca un aumento en las emisiones de CO₂ (Laurance et al., 1997; Chaplin et al., 2015). Lo anterior se atribuye a que existe una mayor mortalidad de árboles cerca de los bordes, más estrés por desecación, incendios, proliferación de plantas parásitas y caída de árboles grandes provocada por una mayor exposición al viento (Brinck et al., 2017).

Respecto al crecimiento de los árboles, se ha observado que cerca de los bordes incrementan las tasas de crecimiento; por ejemplo, Van der Sleen et al. (2014) registraron tasas más altas de crecimiento de árboles individuales dentro de los 10 m de las brechas o aberturas de claros. Esto se atribuye a una mayor disponibilidad de luz, lo que representa una oportunidad para la captación de C que se refleja en el crecimiento de los individuos cerca del borde de los claros y, también, a una reducción de la competencia intra e interespecífica.

Respecto a los ecosistemas templados se ha observado que el microambiente del borde puede tener una respuesta más variable en su capacidad de almacenamiento de C; ya que para este tipo de ecosistemas, las reservas de C pueden disminuir (Chen et al., 1992), persistir (Ziter et al., 2021) o aumentar cerca del borde (Bell et al., 2017).

Se ha observado, además, un aumento en las tasas de crecimiento y una mejora en la productividad cerca del borde, tal como lo mencionan Bowering et al. (2006), quienes encontraron que los pinos (*Pinus contorta* Douglas ex Loudon), a cinco metros de una carretera, crecieron un 32% más rápido que en los cinco años anteriores a la creación de esta vía. Asimismo, Briber et al. (2015), analizaron los anillos de crecimiento de *Quercus rubra* L., donde se observó una mejora en la productividad de los individuos que crecían cerca del borde en comparación con los del interior del bosque.

La magnitud de respuesta de la vegetación en el borde depende de tres factores: *i*) El aspecto del borde; es decir, la dirección de la brújula hacia la que mira el borde (Burton, 2002; Heithecker y Halpern, 2007); *ii*) La cobertura adyacente, que se refiere al tipo hábitat adyacente al fragmento de bosque natural (Gálhidy et al., 2006) y; *iii*) El tamaño del parche forestal (Pohlman et al., 2009).

2.6 Estudios de vegetación y almacenes de C en el estado de Michoacán, México

Michoacán es uno de los estados que presenta una gran diversidad de tipos de vegetación (nueve comunidades vegetales de acuerdo con la revisión sobre la vegetación de Michoacán realizada por Rzedowski, 2003). Ocupa el quinto lugar nacional en riqueza de plantas vasculares y se calcula que alberga 4,672 especies de Magnoliophyta (Villaseñor, 2003).

Además, respecto a la producción forestal, en Michoacán, el volumen autorizado de productos maderables (materiales leñosos) corresponde a 5,920,480 m³ (para el 2018), lo que representa un 4.2% del total nacional; los géneros más aprovechados son: *Pinus* (384,679 m³r), *Quercus* (28,115 m³r) y *Abies* (23,893 m³r). Los datos anteriores sugieren que, Michoacán, es uno de los estados que destaca por el aprovechamiento de recursos forestales de manera legal, ordenada y sostenible, lo cual contribuye al fortalecimiento de las economías locales y garantiza la conservación de los bosques (SEMARNAT, 2018).

Se han delimitado entre nueve y 17 comunidades vegetales a nivel estatal (Cué-Bär, 2006); no obstante, el esfuerzo de colecta aún no ha sido homogéneo ni suficiente. Existen trabajos florísticos que dan una visión general de las comunidades vegetales en Michoacán, pero se han realizado a diferentes escalas y, en consecuencia, en algunos se abarca la totalidad del estado y, en otros, sólo pequeñas porciones del territorio (Carranza-González, 2005).

Algunos de los trabajos que abarcan la totalidad del estado son los de Espinosa y Rodríguez (1995, 1996), y Rodríguez y Espinosa (1995, 1996a, b), los cuales dieron a conocer el listado florístico de Michoacán, el cual comprende un total de 5,476 especies de plantas vasculares. La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2005), proporcionó, también, una visión general de la situación de la biodiversidad e incluyó una descripción general de los tipos de vegetación presentes en el estado. Otro estudio florístico importante para Michoacán lo presentaron Cué-Bär et al. (2006), quienes reportaron un listado de la flora arbórea estatal que refleja, en total, 845 especies, 352 géneros y 100 familias.

Localmente, se encuentra el trabajo de Medina-García y Rodríguez-Jiménez (1993), quienes realizaron un inventario detallado de la flora vascular de la Cuenca del Río Chiquito, Morelia, Michoacán. También se han estudiado las comunidades vegetales localizadas en la porción noroeste del estado para determinar su estructura, composición florística y afinidades geográficas (Labat, 1995) y se ha realizado la descripción de la flora y vegetación de la cuenca del lago Zirahúen, donde se reportó un total de 770 especies de plantas vasculares (Pérez-Calix, 1996). De igual forma, Cornejo-Tenorio et al. (2003) realizaron un listado de las plantas vasculares localizadas dentro de la zona núcleo de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, en las partes de Michoacán y el Estado de México, en donde reportaron la descripción de los principales tipos de vegetación, basándose en la fisonomía y composición florística, e indicaron que las hierbas fueron la forma de crecimiento más frecuente (326 especies), seguidas por los arbustos (51 especies) y los árboles (33 especies).

Otro estudio lo presentan Chávez y Guevara (2003), quienes realizaron un inventario florístico de las plantas arvenses asociadas al cultivo de maíz de temporal en el Valle de Morelia, Michoacán. Identificaron un total de 189 especies, perteneciente a 114 géneros y 34 familias de angiospermas.

Asimismo, se han realizado diferentes estudios florísticos en el pedregal de Arócutin, en la cuenca del lago de Pátzcuaro (Molina y Zamudio, 2010), en el cerro El Águila, municipio de Morelia (Cornejo-Tenorio et al., 2013), en los pedregales del municipio de Huaniqueo (Silva-Saéñz, 2017), en Nuevo San Juan, Parangaricutiro (Medina-García et al., 2000) y en el macizo de Tancítaro (Leavenworth, 1946; Velázquez et al., 2000; Giménez de Azcárate et al., 2003; Medina-García, 2016; Medina-García et al., 2020), los cuales

contribuyen al conocimiento de la diversidad florística a nivel local. En ninguno de los estudios locales fue considerado el posible efecto de borde en las comunidades vegetales.

Respecto al estudio de los almacenes de C en el estado de Michoacán, se han llevado a cabo varias investigaciones como la de Ordóñez-Díaz (1999), quien utilizó el modelo de simulación CO₂FIX para estimar la captura y el contenido de C en la biomasa, suelos y en los productos maderables (madera muerta, papel, muebles y construcción) de cuatro plantaciones de *Pinus pseudostrabus* Lindl., en la comunidad indígena de Nuevo San Juan, Parangaricutiro. En dicha investigación se reportó que el potencial de captura total de C fue de 1.5 MgC a los 50 años, en una superficie de 8870 ha de *Pinus*, y sugiere que, a largo plazo, la captura total unitaria alcanza 217 MgCha⁻¹, de los cuales 94 MgCha⁻¹ provienen del suelo, 74 MgCha⁻¹ de biomasa y 49 MgCha⁻¹ de productos maderables.

Otra de las investigaciones es la de Ordóñez-Díaz et al. (2008), realizada en la región Purépecha, quienes estimaron el contenido de C en la vegetación, la hojarasca y el suelo. Se reportó que el contenido de C en la vegetación osciló entre 0.2 (pastizales) y 169.7 (abetos) MgCha⁻¹; el contenido de C en la hojarasca osciló entre 0.6 (agricultura) y 4.1 (bosque de abetos) MgCha⁻¹, y el contenido de C en el suelo, de cero a 30 cm de profundidad, osciló entre 72.8 (bosque degradado) y 116.4 (bosque de robles) MgCha⁻¹.

Asimismo, se han reportado estimaciones del contenido y captura potencial de C en la biomasa aérea de un bosque templado en el ejido de San Pedro Jarácuaro. Los resultados mostraron dos estimaciones para el contenido de C, la primera entre 67 y 177 MgCha⁻¹ y la segunda de 71 a 198 MgCha⁻¹. Respecto a la captura potencial de C reportaron que el bosque

fija $1.54 \text{ MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$, que corresponde a $5.65 \text{ MgCO}_2\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, en las 1,842 ha que se estudiaron (Ordoñez-Díaz et al., 2015).

2.7 Estudios en Tlalpujahua, Michoacán, México

El municipio de Tlalpujahua se considera un territorio con alta geodiversidad, ya que tiene gran variedad de elementos geológicos, incluidos rocas, minerales, suelos, formas del relieve, formaciones, unidades geológicas y paisajes, que son el producto y registro de procesos de evolución de la Tierra (Carcavilla et al., 2008). Además, tiene una alta biodiversidad y riqueza cultural asociadas con su historia; ya que entre los siglos XVIII y XX, fue un área de explotación minera de importancia mundial (García-Sánchez et al., 2020). Debido a lo anterior, la mayoría de las investigaciones realizadas en la zona se centran en el estudio de su historia y cultura (Uribe-Salas, 2010; Macías et al., 2015), en su potencial como zona turística (García-Sánchez et al., 2020) y en su geología (Espinoza-Rodríguez, 2017).

Actualmente, el municipio de Tlalpujahua cuenta con algunas colectas resguardadas en los herbarios nacionales; sin embargo, no se han realizado estudios florísticos formales o sobre almacenamiento de C en sus bosques, a pesar de que cubren una importante área geográfica que representa el 42.94% del municipio (INEGI, 2009), de que ofrecen significativos servicios ecosistémicos a sus pobladores y que han sido fragmentados por intervención antrópica. Esto provoca, además de la pérdida de la cobertura forestal, una continua y estrecha relación entre los fragmentos de bosques y los hábitats circundantes, producto del cambio de uso de suelo; lo que podría influenciar, mediante un efecto de borde, a las comunidades vegetales y su capacidad de almacenamiento de C en su biomasa.

3. JUSTIFICACIÓN

El efecto de borde es un proceso ecológico importante de estudiar por ser la base para comprender la dinámica de los ecosistemas y su respuesta al cambio de uso de suelo, ya que la pérdida de cobertura forestal y la fragmentación de los hábitats, causadas por las presiones antropogénicas sobre los ecosistemas, han incrementado en las últimas décadas de forma considerable en el país (Bocco et al., 2001; Franquis e Infante, 2003).

La relación entre los almacenes de C y la vegetación, en el contexto del cambio climático, es un aspecto interrelacionado, debido a que los componentes bióticos de los ecosistemas forestales juegan un papel crucial tanto en la captura como en el almacenamiento de C y las estimaciones de estas reservas son trascendentales para establecer estrategias de mitigación a distintas escalas contra el cambio climático. Cabe mencionar que las evidencias florísticas y de almacenamiento de C existentes para Michoacán revelan, que estos aspectos no han sido estudiados bajo el contexto del efecto de borde y de manera vinculada en los BPE de este estado.

Un listado florístico del BPE de Tlalpujahuá, Michoacán, será básico para llevar a cabo otro tipo de estudios en varios campos de investigación y en la toma de decisiones locales respecto al manejo del bosque. Además, los trabajos florísticos son referencias bibliográficas importantes sobre la diversidad de un área y registrados en herbarios o bases de datos en línea que se encuentran disponibles para el público.

El municipio de Tlalpujahuá es un área que destaca por su alta biodiversidad, historia y cultura (García-Sánchez et al., 2020); sin embargo, la falta de planes de manejo que regulen la

extracción de recursos forestales, aunado al aumento de la fragmentación del hábitat y la expansión de los asentamientos humanos, revelan la necesidad de generar información que coadyuve a la creación de planes de manejo y estrategias de conservación que consideren la diversidad florística y su papel en el almacenamiento de C en el contexto de la transformación del bosque.

4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuál es el estado del arte de los estudios sobre composición florística del municipio de Tlalpujahua, Michoacán?
2. ¿Cómo influye el efecto de borde en la composición florística, estructura y diversidad del BPE de Tlalpujahua, Michoacán?
3. ¿Cómo el efecto de borde modifica el almacenamiento de C en la biomasa aérea de las especies arbóreas y arbustivas del BPE de Tlalpujahua, Michoacán?

5. HIPÓTESIS

1. El efecto de borde modifica los filtros ambientales para las especies, entonces se espera que la diversidad, estructura y composición florística difiera entre el borde y el interior del BPE.
2. El almacenamiento de carbono depende de la capacidad fisiológica de las especies y de las condiciones del ambiente en el que crecen, se espera que el almacén de C en la biomasa aérea de árboles y arbustos varíe entre el borde y el interior del BPE.

6. OBJETIVOS

6.1. GENERAL

Evaluar el efecto de borde sobre la composición florística, estructura, diversidad y almacenamiento de C en la biomasa aérea de las especies arbóreas y arbustivas del BPE de la localidad de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México.

6.2 ESPECÍFICOS

1. Conocer el estado del arte de los estudios sobre composición florística del municipio de Tlalpujahua, Michoacán.
2. Determinar los taxa presentes en el BPE de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán.
3. Evaluar la composición florística, estructura y diversidad en el borde e interior del BPE de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán.
4. Evaluar el almacenamiento de C en la biomasa aérea de las especies arbóreas y arbustivas del BPE de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, tanto en el borde como al interior del bosque.

7. MÉTODOS

7.1. Área de estudio

7.1.1. Localización

El municipio de Tlalpujahua se localiza al noreste del estado de Michoacán, México, entre los paralelos 19°41' y 19°53' de latitud Norte y los meridianos 100°08' y 100°18' de longitud Oeste, a una altitud que varía entre los 2,200 y 3,100 m. Colinda con los municipios de Contepec, Maravatío, Senguio, El Oro y San José del Rincón; estos dos últimos pertenecientes al Estado de México. Cuenta con una zona urbana donde se ubica Tlalpujahua de Rayón, cabecera municipal que rige a las 63 localidades o tenencias, correspondientes a los asentamientos rurales en los que se divide el municipio (INAFED, 2010).

Tlalpujahua se encuentra dentro de la provincia biogeográfica Faja Volcánica Transmexicana (Morrone, 2019) y en la provincia florística Serranías Meridionales, de la Región Mesoamericana de Montaña (Rzedowski, 2006).

El área incluida, en este estudio, es la localidad o tenencia de Cerro Alto (también conocido como cerro El Calvario por los residentes), situada a 9 km al Oeste de la cabecera municipal, cerca de los límites con Maravatío y Senguio (Figura 3).

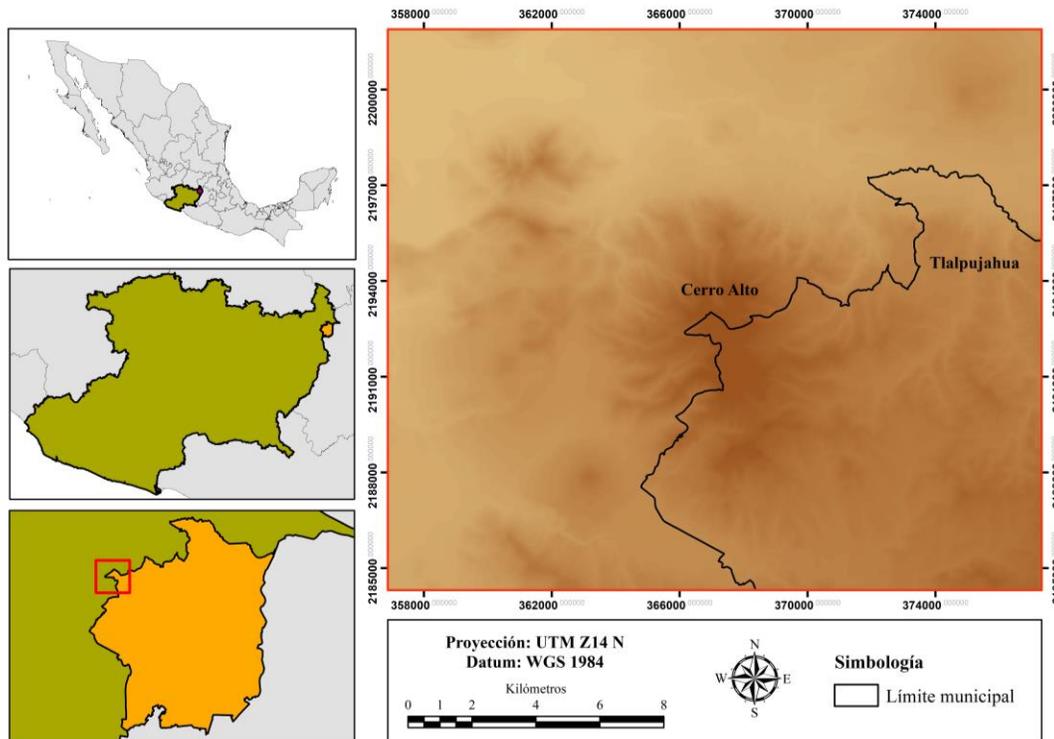


Figura 3. Localización del municipio de Talpujahua, en el estado de Michoacán, y ubicación de la zona de estudio en la tenencia de Cerro Alto, Talpujahua, Michoacán, México.

7.1.2. Vegetación

Aunque se han propuesto más de 12 tipos de comunidades vegetales para el estado de Michoacán (Madrigal-Sánchez, 1997; Palacio-Prieto et al., 2000; Durán y Sevilla, 2004), que difieren ligeramente en su nomenclatura; todas agrupan las manifestaciones fisonómicas de la cubierta vegetal. La clasificación de tipos de vegetación propuesta por Rzedowski (2003) es la más usada y la que se reporta en documentos oficiales como como el Estudio de Estado, que forma parte del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), esta clasificación propone los siguientes tipos de vegetación: bosque de coníferas, bosque de encino, bosque mesófilo de montaña, bosque tropical caducifolio, bosque tropical subcaducifolio, matorral subtropical, bosque espinoso, vegetación acuática, y subacuática y otros tipos de vegetación.

El uso de suelo y vegetación en Tlalpujahua, de acuerdo con el INEGI (2009), se divide en: agricultura (44.87%), zona urbana (1.59%), bosque (42.94%) y pastizal (10.53%) (Figura 4). La agricultura, la expansión de las áreas urbanas y el establecimiento de pastizales inducidos son las principales actividades que han reducido la cobertura de los bosques en dicho municipio.

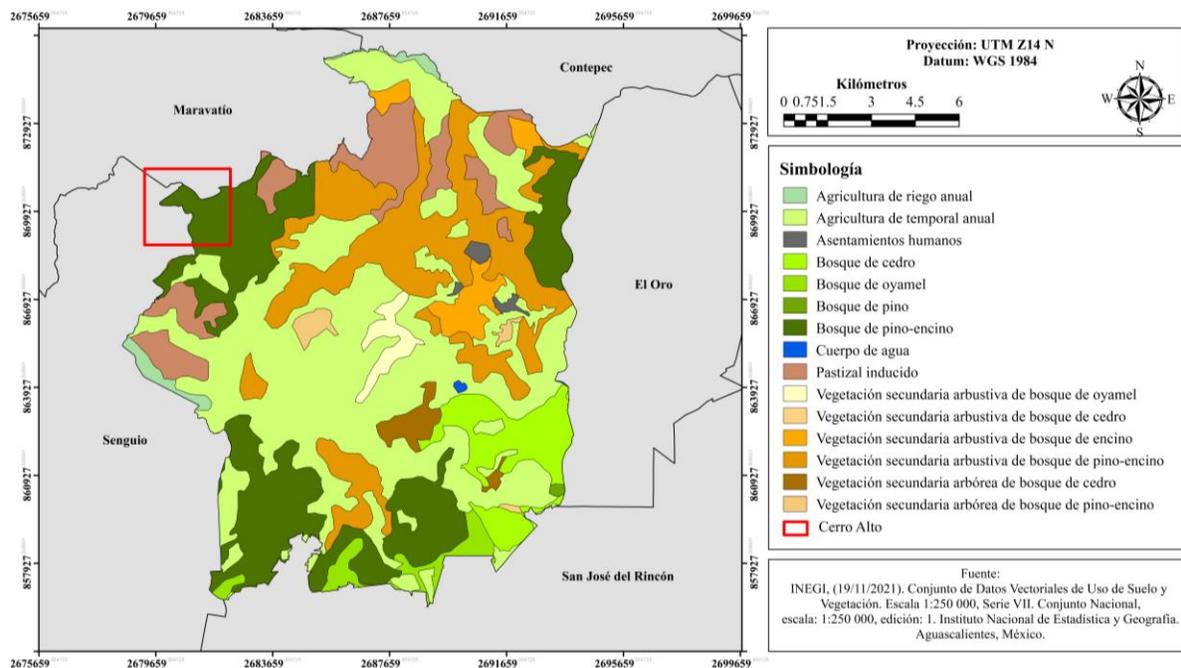


Figura 4. Usos de suelo y vegetación del municipio de Tlalpujahua, Michoacán, México (INEGI, 2009).

7.1.3. Clima

Predomina un clima templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw_2), con una temperatura media anual que varía de 12 a 18°C, y una precipitación anual que va de 800 a 1,100 mm (García, 1987).

7.1.4. Edafología

Los principales tipos de suelo presentes en el municipio de Tlalpujahua son Andosols (46.2%), Luvisols (31.9%) y Leptosols (18.3%), de acuerdo con el INEGI (2009) y la WRB (2015).

7.2. Recopilación de información a nivel municipio

Se construyó una base de datos con las colectas vegetales registradas en el municipio de Tlalpujahua (sólo de árboles y arbustos), mediante una búsqueda bibliográfica exhaustiva que incluyó trabajos florísticos (Cué-Bär et al., 2006; Piñón-Becerril, 2007), fascículos de la Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes (Rzedowski y Guevara, 1992; Zamudio y Carranza, 1994; Carranza-González, 1996; Espinosa y Rodríguez 1995, 1996; Rodríguez y Espinosa 1995, 1996a, b; Villareal, 2000; Martínez-Ambriz, 2020; Martínez et al., 2020), así como consultas de bases digitales que se obtuvieron de portales mundiales y nacionales como Global Biodiversity Information Facility (GBIF), del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB), CONABIO, y del Portal de datos abiertos UNAM.

Los datos recopilados fueron revisados y verificados bajo ciertos criterios (Cuadro 1) y, en caso necesario, fueron corregidos, a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se excluyeron aquellos registros que presentaban sinonimias y que fueran registros duplicados (múltiples registros para una sola localidad). Los registros que no presentaban coordenadas geográficas fueron georreferenciados con base en el Manual de Georreferenciación de Localidades de Colecciones Biológicas (CONABIO, 2008).

Cuadro 1. Criterios considerados para la validación de registros obtenidos de las bases de datos digitales GBIF, SNIB y Portal de datos abiertos UNAM.

Criterio considerado	Registro aceptado	Registro rechazado
Contiene información de colecta (nombre de colector, fecha, institución que lo resguarda, número de colecta, número de catálogo)	X	
Los ejemplares de herbario fueron determinados por el especialista en la familia o el género, o por botánicos con experiencia florística	X	
No posee información que permita el rastreo del registro		X
El registro está duplicado (múltiples registros para una sola localidad)		X

7.3 Diseño experimental

Se eligió el BPE de la localidad de Cerro Alto, en el municipio de Tlalpujahua (Figura 3; 5A), mediante recorridos en el campo, asesoría de los pobladores locales, pláticas con los propietarios de los predios y consulta de imágenes satelitales de la región. Para la elección de este bosque, se consideró, además, que su interior estuviera conservado y que colindara con áreas transformadas a agricultura/pastizal inducido.

Se eligió el método de transectos (BOLFOR et al., 2000) para el muestreo de la vegetación, ya que es un método adecuado para detectar gradientes del borde hacia el interior del bosque. Se establecieron cinco transectos (réplicas, $n=5$; Figura 5B; Cuadro 2), de dos metros de ancho y 250 m de longitud (cada transecto cubrió un total de 500 m²; superficie total muestreada= 2,500 m²; 0.25 ha). La matriz circundante al bosque fue homogénea en todos los transectos y se trató de parcelas agrícolas sembradas en su mayoría con maíz nativo.

Estas parcelas fueron abiertas al cultivo desde hace aproximadamente 70 años y son cultivadas con arados jalados por yuntas; la fertilización se realiza con residuos orgánicos (estiércol) y, rara vez, con fertilizantes inorgánicos comerciales. Cada transecto inició desde la zona de colindancia de las parcelas de cultivo y el inicio de la vegetación silvestre.

Cada transecto se dividió en sectores de 10 m de longitud y en cada uno de ellos se registró la información de todos los árboles y arbustos que caían dentro, sin considerar su ubicación. Los datos registrados fueron los siguientes: especie, nombre común (el que se le da en la zona) forma de vida, talla (m), cobertura (diámetros mayor y menor de la copa en m), diámetro a la altura del pecho en árboles (DAP, 1.30 m altura) y a la altura de la base en arbustos ($D_{0.0}$), además, se realizaron colectas para los individuos que no pudieron ser determinados en campo; se procuró que los ejemplares colectados tuvieran flores y/o frutos, para su correcta identificación, y se tomaron duplicados.

Los ejemplares botánicos colectados fueron prensados y secados para su identificación taxonómica. Este proceso se realizó mediante el uso de distintas claves taxonómicas incluidas en libros y artículos (Espinosa-García y Sarukhán, 1997; Rzedowski et al., 2005; Villagómez-Flores et al., 2018; Murillo y Rodríguez, 2021), floras regionales (Martínez et al., 2020), y literatura especializada (Romero-Rangel et al., 2015; Villaseñor, 2016; Pérez-Mojica y Valencia, 2017; Valencia et al., 2017); así como con la información recabada en las consultas digitales de los herbarios (Herbario de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, HUAP; Herbario Nacional de México, MEXU; Herbario del Jardín Botánico de Missouri, MO) y de guías de campo (Farjon et al., 1997). Una vez identificados los especímenes, se

llevó a cabo el montaje, etiquetado y registro para su incorporación al Herbario Metropolitano (UAMIZ), de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.

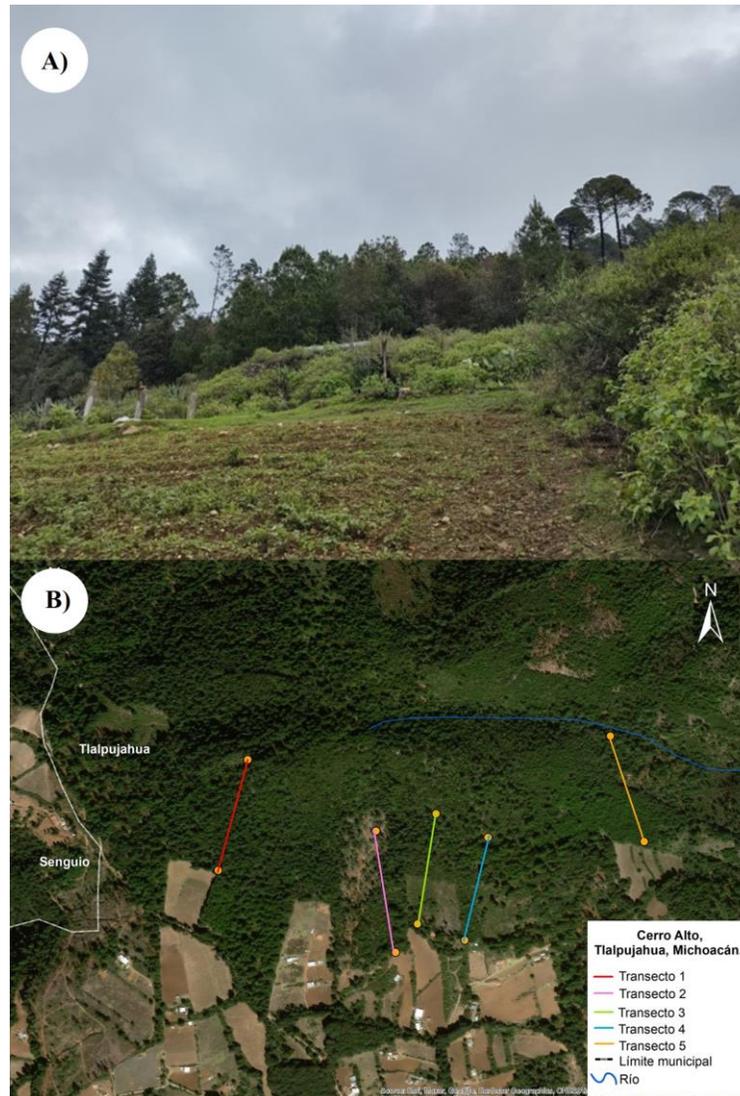


Figura 5. Zona de estudio. (A) Bosque de pino-encino en la localidad de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México; (B) imagen satelital de los cinco transectos, cada uno de 250 m de longitud, establecidos en el área de estudio.

Cuadro 2. Localización geográfica de los transectos establecidos en Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México.

Transecto	Coordenadas iniciales			Coordenadas finales		
	Latitud(N)	Longitud(O)	Altitud(m)	Latitud(N)	Longitud(O)	Altitud(m)
T1	19.80775	-100.2642	3014	19.80986	-100.26364	3079
T2	19.80619	-100.26083	2981	19.8085	-100.2612	3019
T3	19.80673	-100.26041	2978	19.80883	-100.26006	3054
T4	19.80642	-100.25951	2977	19.80838	-100.25907	3021
T5	19.8083	-100.2561	2970	19.81031	-100.25674	2981

7.4 Análisis de la estructura, riqueza y diversidad de especies

Se analizó la estructura vertical mediante los datos de las tallas de los árboles y arbustos para ubicarlos en los siguientes estratos; para los árboles: bajo: 2-4 m, medio: 4-6 m y alto: >6 m y para los arbustos: bajo: ≤1 m, medio: 1-2 m y alto: 2-4 m (Miranda y Hernández, 1963; González-Medrano, 2004); así como la estructura horizontal mediante el cálculo del Índice de Valor de Importancia (IVI) de las especies registradas en cada transecto, con base en la suma de la densidad, dominancia y frecuencia relativas (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974; Matteucci y Colma, 1982). Se determinó de la siguiente forma:

$$IVI = \text{Densidad relativa} + \text{Dominancia relativa} + \text{Frecuencia relativa}$$

Donde:

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\# \text{ de individuos de la especie en el transecto}}{\# \text{ total de individuos en el transecto}} \times 100$$

$$\text{Dominancia relativa} = \frac{\text{Dominancia de la especie}}{\text{Dominancia de todas las especies}} \times 100$$

$$\text{Frecuencia relativa} = \frac{\text{Frecuencia de la especie}}{\text{Frecuencia de todas las especies}} \times 100$$

La dominancia de la especie es la suma de sus áreas basales (medida en m²). La frecuencia es el número de veces que una especie se presenta en una cantidad dada de transectos. Además, se establecieron, en función de los datos, categorías diamétricas para árboles y arbustos.

Los datos anteriores fueron calculados con la finalidad de tener un panorama general de la estructura de la comunidad vegetal de Cerro Alto, por lo cual, no se incluyeron en el análisis del efecto de borde.

Las variables de estructura de la vegetación que se consideraron para el análisis del efecto de borde, y que usualmente se analizan en este tipo de estudios, fueron la talla y el área basal, así como la diversidad alfa (α) que se estimó a partir de la riqueza de especies observada, así como con el cálculo del Índice de Riqueza Específica de Margalef, el Índice de Dominancia y Diversidad de Simpson, el índice de Equidad de Shannon-Wiener.

El Índice de Margalef transforma el número de especies, por muestra, a una proporción, a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra. Supone que hay una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos $S=k\sqrt{N}$, donde k es constante (Magurran, 2004). Su expresión es:

$$D_{Mg} = S-1/\ln N$$

Donde: S = número de especies, y N = número total de individuos.

El Índice de Dominancia de Simpson (D_{Si}) considera la probabilidad de que dos individuos de la población seleccionados al azar sean de la misma especie. Indica la relación

existente entre riqueza o número de especies y la abundancia o número de individuos por especie. Su expresión es:

$$D_{Si} = \sum p_i^2$$

Donde: p_i = abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

El índice de Shannon-Wiener (H') tiene en cuenta la riqueza de especies y su abundancia. Mide el grado promedio de incertidumbre de tomar un individuo al azar, y que éste sea indicador de dominancia de alguna especie al repetirse constantemente en el muestreo, si esto sucede el índice toma valor de cero y se considera a la comunidad como homogénea. Si todas las especies están representadas por el mismo número de individuos, se considera que la comunidad es más heterogénea (Moreno, 2001; Magurran, 2004). Su fórmula es:

$$H' = -\sum p_i \cdot \ln p_i$$

Dónde: H' = Índice de Diversidad de Shannon-Wiener, \ln = logaritmo natural; $p_i = n_i/N$; donde n_i = al número de individuos de cada especie, N = número total de individuos.

El Índice de Equidad de Pielou (J'), se expresa como el grado de uniformidad en la distribución de individuos entre especies. Se puede medir al comparar la diversidad observada en una comunidad contra la diversidad máxima posible de una comunidad hipotética con el mismo número de especies. Su valor va de cero a uno, de forma que uno corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes, y valores cercanos a cero,

representan la dominancia de una sola especie (Moreno, 2001; Magurran, 2004). Se expresa como:

$$J' = H'/H'_{\text{Max}}$$

Dónde: $H'_{\text{max}} = \ln(S)$ y H' = Índice de Shannon-Wiener. S = es el número de especies en la muestra.

7.5 Biomasa aérea y almacén de carbono (C)

La biomasa aérea, para cada individuo, fue estimada mediante ecuaciones alométricas de biomasa específicas, generadas por diferentes autores (Cuadro 3), y que se encuentran enlistadas en el trabajo de Rojas-García et al. (2015). Cuando no se disponía de ecuaciones a nivel de especie, se utilizaron ecuaciones para grupos de especies (generalizadas).

La determinación de la concentración de C, para algunas de las especies arbóreas más comunes en la zona (no se consideraron arbustos para este análisis), se realizó a partir de recolectar una muestra compuesta de material vegetal; que consistió en una viruta (5.1 mm de diámetro) extraída a 1.30 m y perpendicularmente del interior del tallo, con un taladro de Pressler (marca Haglöf, Gutiérrez y Ricker, 2013), y fragmentos de hojas, corteza y ramas pequeñas (<5 cm de diámetro). Las muestras se trasladaron al laboratorio, se pesaron en fresco y se secaron en un horno eléctrico (marca Ecoshel, Mod. 9052) a 75°C hasta peso constante. Una vez secas, las muestras fueron molidas en Nutribullet 900 W. El C en el tejido pulverizado se determinó a partir de una submuestra de 30 mg en un autoanalizador de CHN 2400 (marca PERKIN ELMER).

El contenido total de C se estimó al multiplicar el valor de biomasa (peso seco) por la concentración de C en el tejido vegetal determinado con el autoanalizador; en el caso de las especies de las que se tomó la muestra de tejido vegetal, se multiplicó por el factor 0.45, en el caso de coníferas y arbustos, y por el factor 0.5 establecido por el IPCC (el valor de 0.5 indica que el 50% de la biomasa del árbol es C y es usado en los inventarios de gases de efecto invernadero en el sector forestal en México) (IPCC, 2003), en el caso de las especies restantes.

Los métodos que se desarrollaron para la estimación de biomasa y contenido de C están basados en la Guía de Buenas Prácticas del IPCC (2003) respecto a los criterios de transparencia, consistencia, comparabilidad, integridad y precisión.

7.6 Determinación de la extensión y magnitud del efecto de borde

Mediante los datos recabados en campo, se construyó una base de datos con 19 variables de la vegetación, tres de las cuales se refieren a la riqueza de especies (de árboles, arbustos y total: suma de árboles y arbustos), dos a abundancia (de árboles y arbustos), cuatro a diversidad (Índices de Margalef, Simpson, Shannon-Wiener y Equidad de Pielou), dos a talla (de árboles y arbustos), dos al área basal (de árboles y arbustos), tres a biomasa (de árboles, arbustos y total), y tres a contenido de C (de árboles, arbustos y total).

Cuadro 3. Ecuaciones para estimar la biomasa de las 29 especies registradas en el bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México. DAP= Diámetro a la altura de pecho; AT= Altura total; $D_{0.10}$ = Diámetro a los 10 cm de la base.

Especie	Ecuación	Unidad de medida	Autor
<i>Abies religiosa</i>	$[0.0754]*[DAP^{2.513}]$	kg	Avendaño et al., 2009
<i>Ageratina parayana</i>	$[81.532]*[[3.1416]*[[[D_{0.10}^2]/4]]^{1.352}]$	g	Cano, 1994
<i>Alnus acuminata</i>	$[0.1649]*[DAP^{2.2755}]$	kg	Acosta et al., 2011
<i>Arbutus tessellata</i>	Fuste B= $[1.44]*[DAP^{1.05}] * [AT^{1.19}]$ Ramas B= $[0.73]*[DAP^{1.50}] * [AT^{0.03}]$ Hojas B= $[0.23]*[DAP^{2.05}] * [AT^{-0.48}]$	kg	García et al., 2015
<i>Baccharis conferta</i>	$[101.089]*[[3.1416]*[[[D_{0.10}^2]/4]]^{0.99}]$	g	Cano, 1994
<i>Brickellia secundiflora</i>	$[112.505]*[[3.1416]*[[[D_{0.10}^2]/4]]^{1.493}]$	g	Cano, 1994
<i>Ceanothus caeruleus</i>	$[0.311733]*[DAP^{2.04754}]$	kg	Rodríguez et al., 2008
<i>Cupressus lusitanica</i>	$[0.5266]*[DAP^{1.7712}]$	kg	Vigil, 2010
<i>Pinus pseudostrobus</i>	$[0.058]*[[[DAP^2]*AT]^{0.919}]$	kg	Ayala, 1998
<i>Pinus teocote</i>	$[0.2057]*[DAP^{2.2583}]$	kg	Návar, 2009a
<i>Prunus serotina</i>	$[Exp[-2.76]*[DAP^{2.37}]]$	kg	Acosta, 2003
<i>Quercus laurina</i>	$[0.283]*[[[DAP^2]*AT]^{0.807}]$	kg	Ayala, 1998
<i>Quercus rugosa</i>	$[0.0890]*[DAP^{2.5226}]$	kg	Návar, 2009b
<i>Stevia salicifolia</i>	$[83.013]*[[3.1416]*[[[D_{0.10}^2]/4]]^{1.406}]$	g	Cano, 1994
<i>Ageratina glabrata/</i> <i>Ageratina mairetiana/</i> <i>Ageratina petiolaris/</i> <i>Archibaccharis</i> <i>hirtella/ Cestrum</i> <i>anagyris/ Cestrum</i> <i>thyrsoideum/</i> <i>Comarostaphylis</i> <i>longifolia/ Fuchsia</i> <i>thymifolia/ Monnina</i> <i>ciliolata/ Buddleja</i> <i>parviflora/ Roldana</i> <i>albonervia/ Salvia</i> <i>fulgens/ Sedum</i> <i>oxypetalum/ Solanum</i> <i>pubigerum/</i> <i>Symphoricarpos</i> <i>microphyllus</i>	$[49.607]*[[3.1416]*[[[D_{0.10}^2]/4]]^{1.186}]$	g	Cano, 1994 ⁺

⁺ Ecuación generalizada utilizada para calcular la biomasa de cada una de las especies.

La información se agrupó en 26 sectores; cada sector correspondió a 10 m de longitud contados a partir del inicio de los transectos (metro cero) y hasta los 250 m al interior del bosque. Se analizó el comportamiento de las variables mediante diagramas de dispersión a los cuales se les ajustaron diferentes modelos de regresión. Para la elección del modelo se consideró el criterio de información de Akaike, pues, este criterio, penaliza los modelos complejos en favor de los sencillos para evitar el sobreajuste, ya que a medida que aumenta el número de parámetros de entrada o de grados en un polinomio, el valor de R es mejor, pero es menos entendible en términos biológicos (Martínez et al., 2009). Además, para evaluar la significancia del modelo se consideró una $p \leq 0.05$ en todos los casos.

Posteriormente, para el análisis de la extensión del área de borde e interior, se realizó un análisis de conglomerados estratificado, y se asumió que los transectos se establecen en un perfil continuo de vegetación; de esta forma, se obtuvieron grupos de sectores estadísticamente similares, donde los límites entre grupos fueron interpretados como contactos entre el área de borde e interior. Para ello, se utilizó el método de promedio entre grupos, no ponderado (método UPGMA), con una medida de distancia euclidiana, y se realizó un análisis de similitudes (ANOSIM), para determinar la significancia estadística de los grupos obtenidos (Quinn y Keough, 2002). Dichos análisis se realizaron en el programa Past, versión 4.06b (Hammer et al. 2001), y se consideró una $p \leq 0.05$ como significativa en todos los casos.

7.7 Caracterización ambiental de los transectos

Los cambios en las condiciones ambientales para identificar la existencia de un posible efecto de borde se determinaron mediante el registro de la temperatura del suelo (primeros 15 cm de profundidad; probablemente horizonte A) con un termómetro (termómetro digital Extech), la

luminosidad a nivel del suelo, con un luxómetro (modelo HER-410, marca Steren) y mediante la colecta de una muestra de suelo de los primeros 15 cm de profundidad para poder estimar la humedad por el método gravimétrico, al secar cada submuestra en un horno (modelo 9023A, marca ECOSHEL), a 105 °C hasta peso constante. Dichas mediciones se realizaron *in situ*, tanto en el borde como al interior del BPE, en los cinco transectos estudiados (las mediciones se realizaron cada 20 metros contados a partir del inicio del transecto) y se analizó el comportamiento de las variables mediante diagramas de dispersión a los cuales se les ajustaron diferentes modelos de regresión. Se consideró el criterio de información de Akaike para la elección del modelo y una $p \leq 0.05$ como significativa en todos los casos.

Se relacionaron las variables ambientales con la abundancia de especies arbóreas y arbustivas y con las variables de la vegetación (19 variables) mediante un análisis de correspondencia canónica (CCA, por sus siglas en inglés) en el programa Past, versión 4.06b. Para el caso de las especies, se utilizaron datos de abundancia, y en el caso de las variables de la vegetación, se utilizó el promedio de los datos. Además, se realizó una prueba de permutaciones para evaluar la significancia del análisis. El CCA es una técnica utilizada para detectar patrones en la distribución de las especies u otras variables biológicas que pueden ser explicados por un grupo de variables ambientales y, en el caso de esta tesis, se utilizó para proponer un modelo del comportamiento de la vegetación en entornos de borde.

8. RESULTADOS

8.1 Composición florística en el municipio de Tlalpujahua

Basada en la revisión bibliográfica y la consulta de bases digitales, la composición florística del municipio de Tlalpujahua está constituida por 123 especies, pertenecientes a 65 géneros y 39 familias; de las cuales, nueve especies pertenecen al grupo de las gimnospermas (Cupressaceae y Pinaceae), y 114 al grupo de las angiospermas (de acuerdo con el sistema APG IV, 2016). La familia Asteraceae fue la mejor representada con 18 especies y aporta el 14.6% de la flora, seguida de Solanaceae con 12 especies (9.8%), Fagaceae con 11 especies (8.9%), Fabaceae con nueve especies (7.3%), Rosaceae con siete especies (5.7%), Ericaceae con seis especies (4.9%), Adoxaceae y Pinaceae con cinco especies (4.1%) cada una, Cupressaceae con cuatro especies (3.3%), seguida de otras seis familias con tres especies cada una (Σ 14.6%), cuatro familias con dos especies cada una (Σ 6.5%) y, finalmente, 20 familias con una especie cada una (Σ 16.3%). En total, la revisión revela que se han registrado 59 especies de árboles y 64 de arbustos (Cuadro 11, Anexo I).

Se reportaron 19 especies endémicas de México, que pertenecen a ocho familias: Asteraceae (seis), Pinaceae (cuatro), Fagaceae (tres), Scrophulariaceae (dos), Clethraceae, Cupressaceae, Ericaceae y Solanaceae (una especie cada una). Además, se registraron 13 especies nativas de México pertenecientes a cinco familias: Fabaceae (seis), Asteraceae (tres), Rosaceae (dos), Phytolaccaceae y Cupressaceae (una especie cada una); y nueve especies introducidas que pertenecen a siete familias: Rosaceae, Solanaceae (dos especies cada una), Adoxaceae, Anacardiaceae, Moraceae, Myrtaceae y Salicaceae (una especie cada una) (Cuadro 11, Anexo I).

Es importante mencionar que tres especies se encontraron enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010: *Comarostaphylis discolor* (Hook.) Diggs, *Cupressus lusitanica* Mill. y *Erythrina americana* Mill. Asimismo, nueve especies se encontraron en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN-2021 (Cuadro 12, Anexo I).

8.2 Florística de la localidad de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán: un antecedente para evaluar el efecto de borde

8.2.1 Composición florística del BPE de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán

La composición florística del BPE de la localidad de Cerro Alto, basada en las colectas y la identificación del material botánico, está constituida por 29 especies pertenecientes a 23 géneros y 15 familias, de las cuales cuatro especies pertenecen al grupo de las gimnospermas (Cupressaceae y Pinaceae) y 25 se ubican en el grupo de las angiospermas (de acuerdo con el sistema APG IV, 2016) (Cuadro 4). La familia Asteraceae fue la mejor representada con nueve especies, y aporta un 31.03% de la flora, seguida de Pinaceae (10.34%) y Solanaceae (10.34%) con tres especies cada una, Ericaceae (6.90%) y Fagaceae (6.90%) con dos especies cada una y, finalmente, 10 familias con solo una especie cada una (Σ 34.48%) (Figura 6). Se registraron 10 especies de árboles y 19 de arbustos.

Se reportaron 11 especies endémicas de México que pertenecen a siete familias, Asteraceae (cuatro especies), Pinaceae (dos especies), Betulaceae, Crassulaceae, Fagaceae, Lamiaceae y Scrophulariaceae (una especie cada una); cuatro especies nativas del país, pertenecientes a dos familias, Asteraceae (tres especies) y Rosaceae (una especie) (Cuadro 4)

y una especie (*Cupressus lusitanica*) sujeta a protección especial de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Cuadro 4. Composición florística del bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México. Se muestra la familia, género, especie, nombre común y forma de vida. Las especies endémicas se indican con un asterisco (*) y las especies nativas con dos asteriscos (**).

Familia/especie	Nombre común	Forma de vida
GIMNOSPERMAS		
Cupressaceae		
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	Cedro blanco	Árbol
Pinaceae		
<i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schltdl. & Cham.*	Oyamel	Árbol
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	Pino lacio/Ocote	Árbol
<i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.*	Pino azteca	Árbol
ANGIOSPERMAS		
Asteraceae		
<i>Ageratina glabrata</i> (Kunth) R. M. King & H. Rob.*		Arbusto
<i>Ageratina mairetiana</i> (DC.) R. M. King & H. Rob.**		Arbusto
<i>Ageratina parayana</i> (Espinosa) B. L. Turner.		Arbusto
<i>Ageratina petiolaris</i> (Moc. & Sessé ex DC.) RMKing & H. Rob.*	Hierba del burro	Arbusto
<i>Archibaccharis hirtella</i> Heering.		Arbusto
<i>Baccharis conferta</i> Kunth.**	Barretero	Arbusto
<i>Brickellia secundiflora</i> A. Gray.*	Jara	Arbusto
<i>Roldana albonervia</i> (Greenm.) H. Rob. y Brettell.*		Arbusto
<i>Stevia salicifolia</i> Cav.**	Chacal	Arbusto
Betulaceae		
<i>Alnus acuminata</i> Kunth.*	Aile	Árbol
Caprifoliaceae		
<i>Symphoricarpos microphyllus</i> (Humb. & Bonpl. Ex Schult.) Kunth.	Rejagar/Perlita	Arbusto
Crassulaceae		
<i>Sedum oxypetalum</i> Kunth.*	Copalito	Arbusto
Ericaceae		
<i>Arbutus tessellata</i> P.D. Sorensen.	Madroño mexicano	Árbol

Cuadro 4. Continuación

<i>Comarostaphylis longifolia</i> (Benth.) Klotzsch.	Madroño	Arbusto
Fagaceae		
<i>Quercus laurina</i> Bonpl.	Encino laurelillo	Árbol
<i>Quercus rugosa</i> Née.*	Bellota/Roble	Árbol
Lamiaceae		
<i>Salvia fulgens</i> Cav.*	Salvia mexicana escarlata	Arbusto
Onagraceae		
<i>Fuchsia thymifolia</i> Kunth.	Anagracia	Arbusto
Polygalaceae		
<i>Monnina ciliolata</i> Moc. & Sessé ex DC.	Lima/Angoldo	Arbusto
Rhamnaceae		
<i>Ceanothus caeruleus</i> Lag.	Baral/Baradel	Arbusto
Rosaceae		
<i>Prunus serotina</i> Ehrh.**	Capulín	Árbol
Scrophulariaceae		
<i>Buddleja parviflora</i> Kunth.*	Sayolisco/Tepozán	Árbol
Solanaceae		
<i>Cestrum anagyris</i> Dunal.	Apestosilla	Arbusto
<i>Cestrum thyrsoideum</i> Kunth.	Zapotillo	Arbusto
<i>Solanum pubigerum</i> Dunal.	Hierba del muerto	Arbusto

El levantamiento florístico mostró que la abundancia de formas de vida incluyó 877 individuos (314 árboles y 563 arbustos) registrados, en los cinco transectos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Riqueza de especies (S) y abundancia de árboles y arbustos para cada uno de los transectos muestreados en el bosque de pino-encino en Tlalpujahua, Michoacán México.

Transectos	T1	T2	T3	T4	T5	Total
S árboles	5	6	7	6	7	10
S arbustos	12	13	12	12	14	19
Riqueza de especies de árboles y arbustos	17	19	19	18	21	29
Abundancia de árboles	62	48	45	74	85	314
Abundancia de arbustos	52	290	90	73	58	563
Abundancia total de árboles y arbustos	114	338	135	147	143	877

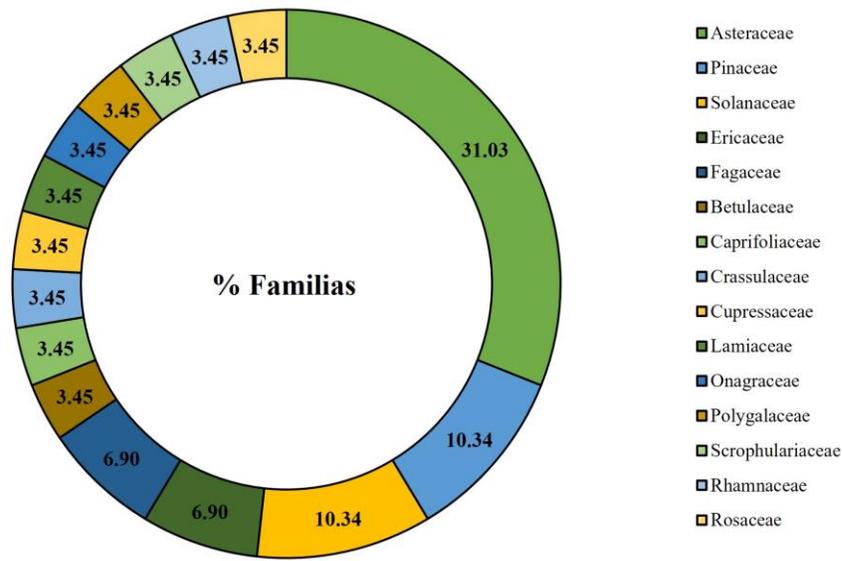


Figura 6. Familias presentes en el bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán.

El análisis de la presencia y ausencia de especies a lo largo de los segmentos muestra que las especies *Buddleja parviflora*, *Cupressus lusitanica*, *Sedum oxypetalum* y *Solanum pubigerum* se registraron en un solo sector (en los primeros metros), mientras que las especies arbóreas: *Abies religiosa*, *Arbutus tessellata*, *Pinus pseudostrubus*, *Quercus laurina* y *Q. rugosa*; así como las especies arbustivas: *Ageratina glabrata*, *Baccharis conferta*, *Monnina ciliolata* y *Symphoricarpos microphyllus* se distribuyeron a lo largo de casi todos los sectores (Figura 7).

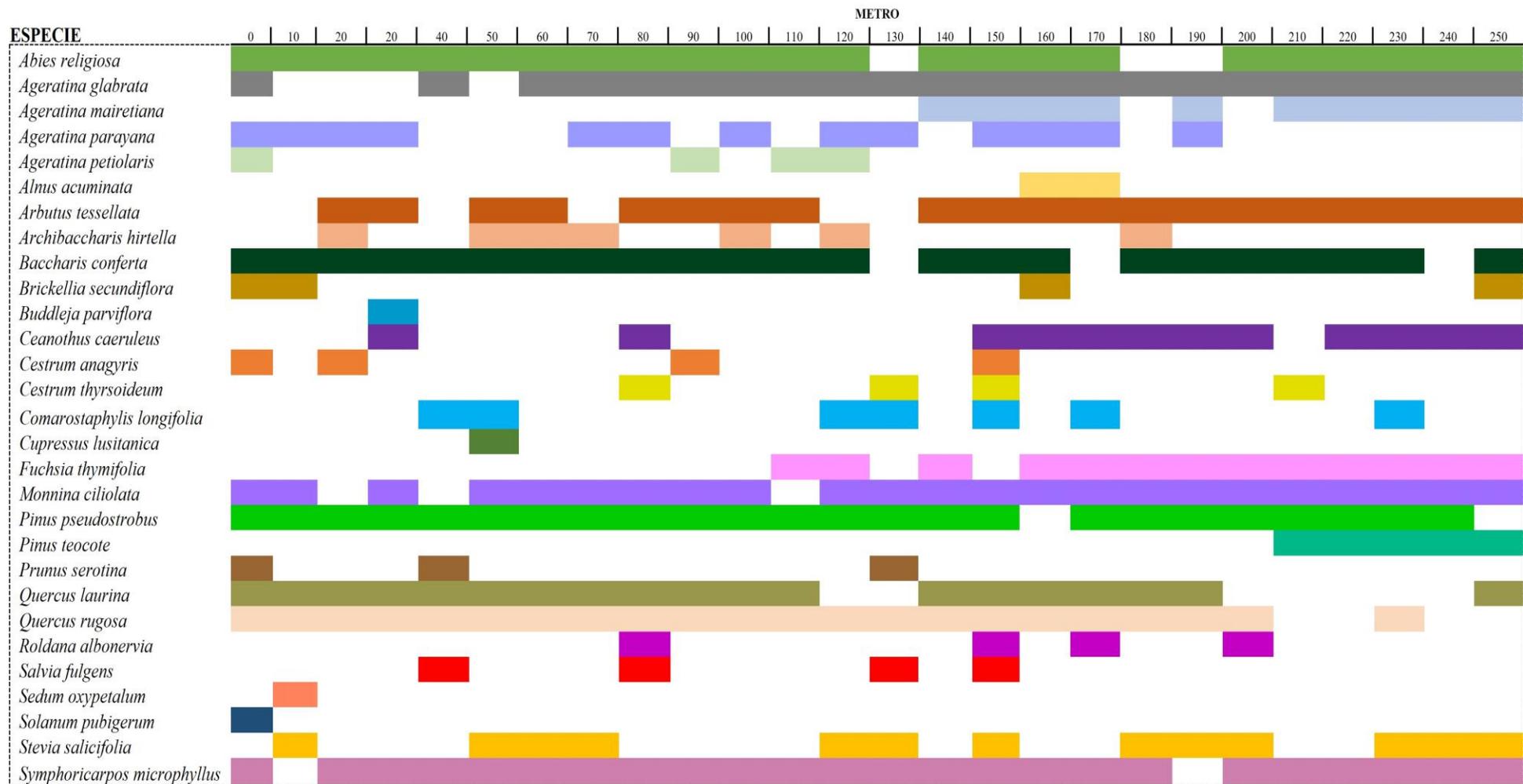


Figura 7. Ocurrencia de especies de plantas registradas en cada uno de los sectores muestreados a partir del borde y hacia el interior del bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México.

8.2.2 Estimación de la estructura vertical y horizontal

8.2.2.1 Estructura vertical

La estructura vertical mostró que las especies con el mayor número de individuos en el estrato arbóreo fueron *Pinus pseudostrobus* (84 individuos), seguido por *Quercus rugosa* (75 individuos), *Arbutus tessellata* (58 individuos) y *Abies religiosa* (42 individuos). Con respecto a la altura, la mayoría de los árboles (253 individuos; 80.57%) exhibieron una altura mayor a los seis metros, ubicándolos en el estrato alto (Figura 8).

Las especies más abundantes en el estrato arbustivo fueron *Symphoricarpos microphyllus* (120 individuos), *Monnina ciliolata* (119 individuos), *Ageratina glabrata* (99 individuos) y *Baccharis conferta* (60 individuos). El 52.04% de los individuos (293 individuos) presentaron una altura en el rango de uno a dos metros, ubicándolos en el estrato medio (Figura 8).

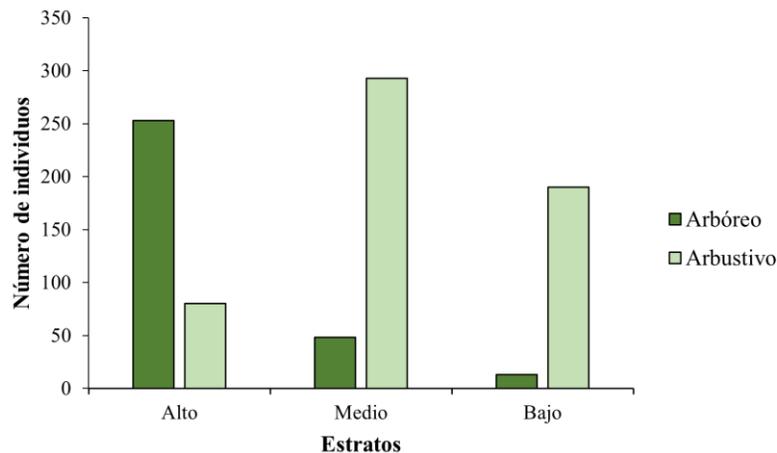


Figura 8. Abundancia de árboles y arbustos en cada uno de los estratos del bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México.

El análisis de los datos de talla y cobertura del dosel para las especies arbóreas y arbustivas mostró que *Pinus teocote*, fue el árbol más alto con 21.42 m y también exhibió la mayor cobertura de dosel (\bar{x} =11.28 m). Además, *Ceanothus caeruleus* fue el arbusto más alto con 5.36 m en promedio y presentó la mayor cobertura de dosel (\bar{x} =6.5 m).

8.2.2.2 Estructura horizontal

Las especies arbóreas que presentaron la mayor densidad por hectárea fueron: *Pinus pseudostrobus*, *Quercus rugosa*, *Abies religiosa*, *Q. laurina* y *Arbutus tessellata*, las cuales también presentaron los valores de IVI más altos (Cuadro 6). Asimismo, las especies arbustivas con la mayor densidad por hectárea fueron: *Ageratina glabrata*, *A. mairiana*, *Monnina ciliolata*, *Symphoricarpos microphyllus*, *Baccharis conferta* y *Ceanothus caeruleus*, estas mismas especies presentaron los valores más altos de IVI (Cuadro 7).

Los datos del diámetro a la altura del percho (DAP), en árboles, y a la altura de la base ($D_{0.0}$), en arbustos, se agruparon en 10 categorías (intervalos de 6.5 cm para árboles y 6 cm para arbustos) y se obtuvieron las frecuencias, por categoría, para árboles y arbustos (Figura 9). Ambas formas de vida mostraron una tendencia sigmoidea cargada a la izquierda y en los árboles, se observó un decremento más suave en comparación con los arbustos. Además, la categoría I, en ambos casos, registró el mayor número de individuos con 94 árboles y 331 arbustos, respectivamente.

Cuadro 6. Parámetros estructurales de las especies presentes en el estrato arbóreo de los cinco transectos de muestreo en el bosque de pino-encino de Cerro Alto, Talpujahuá, Michoacán, México. Las tres especies con el IVI (Índice de Valor de Importancia) más alto se indican en negritas.

Transecto	Especie	Densidad (# de árboles/ha)	Dominancia m ²	IVI al 100%
1	<i>Abies religiosa</i>	580	1.797	42.503
	<i>Quercus rugosa</i>	360	0.928	28.467
	<i>Quercus laurina</i>	200	0.123	15.098
	<i>Arbutus tessellata</i>	80	0.102	11.635
	<i>Buddleja parviflora</i>	20	0.008	2.296
	Total	1240	2.958	100
2	<i>Quercus rugosa</i>	280	0.531	30.374
	<i>Quercus laurina</i>	220	0.267	21.197
	<i>Arbutus tessellata</i>	240	0.157	18.962
	<i>Abies religiosa</i>	140	0.157	14.184
	<i>Pinus pseudostrobus</i>	60	0.126	10.575
	<i>Prunus serotina</i>	20	0.006	4.708
	Total	960	1.244	100
3	<i>Quercus laurina</i>	300	0.725	27.347
	<i>Quercus rugosa</i>	280	0.501	23.431
	<i>Arbutus tessellata</i>	140	0.348	16.070
	<i>Abies religiosa</i>	100	0.249	11.995
	<i>Pinus pseudostrobus</i>	40	0.328	10.899
	<i>Cupressus lusitanica</i>	20	0.186	5.765
	<i>Prunus serotina</i>	20	0.013	4.493
	Total	900	2.349	100
4	<i>Pinus pseudostrobus</i>	340	1.813	28.161
	<i>Quercus rugosa</i>	540	0.248	21.716
	<i>Arbutus tessellata</i>	400	0.442	20.109
	<i>Pinus teocote</i>	160	1.531	17.314
	<i>Quercus laurina</i>	20	0.035	8.307
	<i>Cupressus lusitanica</i>	20	0.115	4.394
	Total	1480	4.184	100
5	<i>Pinus pseudostrobus</i>	1240	1.731	54.938
	<i>Arbutus tessellata</i>	300	0.296	16.442
	<i>Quercus laurina</i>	40	0.038	7.520
	<i>Quercus rugosa</i>	40	0.015	7.176
	<i>Abies religiosa</i>	20	0.006	5.417
	<i>Alnus acuminata</i>	40	0.157	4.350
	<i>Prunus serotina</i>	20	0.004	4.158
	Total	1700	2.246	100

Cuadro 7. Parámetros estructurales de las especies presentes en el estrato arbustivo de los cinco transectos de muestreo en el bosque de pino-encino de Cerro Alto, Talpujahuá, Michoacán, México. Las tres especies con el IVI (Índice de Valor de Importancia) más alto se indican en negritas.

Transecto	Especie	Densidad (# de arbustos/ha)	Dominancia m ²	IVI al 100%
1	<i>Ageratina mairretiana</i>	160	0.304	25.438
	<i>Monnina ciliolata</i>	360	0.044	15.015
	<i>Ageratina glabrata</i>	20	0.000	11.009
	<i>Comarostaphylis longifolia</i>	40	0.012	6.725
	<i>Salvia fulgens</i>	120	0.126	6.212
	<i>Ageratina parayana</i>	60	0.028	6.089
	<i>Stevia salicifolia</i>	80	0.000	6.044
	<i>Fuchsia thymifolia</i>	80	0.001	5.959
	<i>Symphoricarpos microphyllus</i>	40	0.001	5.765
	<i>Baccharis conferta</i>	20	0.000	4.142
	<i>Archibaccharis hirtella</i>	40	0.022	4.127
	<i>Roldana albonervia</i>	20	0.017	3.474
	Total	1040	0.555	100
	2	<i>Monnina ciliolata</i>	1580	0.179
<i>Symphoricarpos microphyllus</i>		1560	0.218	12.177
<i>Ageratina glabrata</i>		1180	0.470	11.117
<i>Fuchsia thymifolia</i>		440	0.044	8.307
<i>Roldana albonervia</i>		20	0.021	7.371
<i>Ageratina parayana</i>		20	0.000	7.164
<i>Stevia salicifolia</i>		380	0.190	6.836
<i>Baccharis conferta</i>		440	0.179	5.824
<i>Brickellia secundiflora</i>		20	0.067	5.474
<i>Ageratina petiolaris</i>		40	0.082	4.205
<i>Archibaccharis hirtella</i>		20	0.004	3.124
<i>Cestrum thyrsoideum</i>		40	0.000	3.098
<i>Comarostaphylis longifolia</i>		60	0.095	2.916
Total		5800	1.551	100

Cuadro 7. Continuación

3	<i>Ageratina glabrata</i>	420	0.926	31.356
	<i>Baccharis conferta</i>	380	0.258	12.600
	<i>Ageratina mairretiana</i>	200	0.093	11.575
	<i>Monnina ciliolata</i>	240	0.009	8.549
	<i>Symphoricarpos microphyllus</i>	240	0.100	7.938
	<i>Ageratina parayana</i>	140	0.028	7.439
	<i>Stevia salicifolia Cav</i>	20	0.002	6.080
	<i>Roldana albonervia</i>	20	0.005	3.200
	<i>Archibaccharis hirtella</i>	20	0.001	3.157
	<i>Brickellia secundiflora</i>	80	0.061	2.879
	<i>Ceanothus caeruleus</i>	20	0.000	2.662
	<i>Cestrum thyrsoideum</i>	20	0.000	2.565
	Total	1800	1.484	100
4	<i>Ageratina glabrata</i>	360	0.579	29.801
	<i>Baccharis conferta</i>	300	0.056	14.434
	<i>Symphoricarpos microphyllus</i>	360	0.105	12.908
	<i>Stevia salicifolia</i>	20	0.029	7.471
	<i>Monnina ciliolata</i>	80	0.001	7.254
	<i>Comarostaphylis longifolia</i>	60	0.086	7.033
	<i>Ageratina parayana</i>	80	0.033	5.475
	<i>Archibaccharis hirtella</i>	60	0.001	4.269
	<i>Ageratina petiolaris</i>	60	0.123	4.186
	<i>Cestrum anagyris</i>	20	0.000	2.831
	<i>Ceanothus caeruleus</i>	20	0.020	2.673
	<i>Sedum oxypetalum</i>	40	0.001	1.665
	Total	1460	1.033	100
5	<i>Ageratina mairretiana</i>	100	0.190	25.554
	<i>Ceanothus caeruleus</i>	300	0.562	17.597
	<i>Symphoricarpos microphyllus</i>	200	0.034	9.279
	<i>Fuchsia thymifolia Kunth</i>	140	0.001	7.422
	<i>Monnina ciliolata</i>	120	0.006	7.022
	<i>Baccharis conferta</i>	60	0.008	4.995
	<i>Stevia salicifolia</i>	40	0.003	4.887
	<i>Ageratina parayana</i>	20	0.007	3.884
	<i>Cestrum anagyris</i>	80	0.003	3.708
	<i>Cestrum thyrsoideum</i>	20	0.000	3.701
	<i>Comarostaphylis longifolia</i>	20	0.013	3.388
	<i>Roldana albonervia</i>	20	0.032	3.305
	<i>Ageratina petiolaris</i>	20	0.039	2.762
<i>Solanum pubigerum</i>	20	0.005	2.496	
Total	1160	0.904	100	

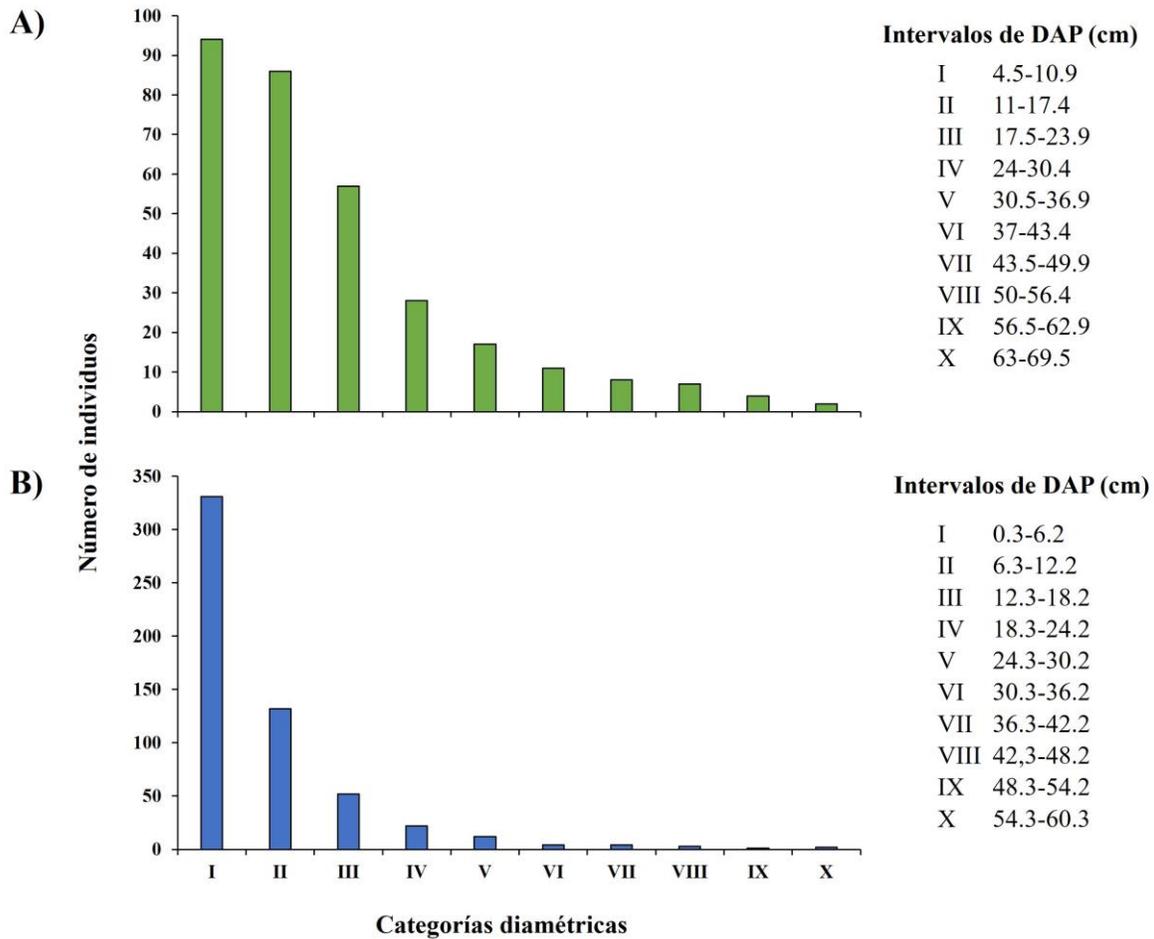


Figura 9. Categorías diamétricas de árboles y arbustos del bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México: A) Categorías diamétricas (diámetro a la altura del pecho) para árboles, y B) Categorías diamétricas (diámetro a la altura de la base) para arbustos.

8.2.3 Biomasa aérea viva sobre el suelo y contenido de C

La biomasa aérea total promedio para el BPE de Cerro Alto, en Tlalpujahua, fue de 93.33 Mgha⁻¹, en donde se almacenan 43.8 MgCha⁻¹. Además, la distribución de biomasa, por transecto (cada transecto equivale a 0.05 ha), mostró que los transectos T5 y T4 tuvieron la

mayor cantidad de biomasa ($T5=32.54$ Mg y $T4= 31.39$ Mg) y, por lo tanto, el mayor contenido de C ($T5= 14.98$ MgC y $T4= 14.52$ MgC). La biomasa de los transectos T1 y T3, fue de 20.92 Mg y 17.47 Mg, donde se almacenan 9.91 MgC y 8.41 MgC, respectivamente. El transecto con la menor cantidad de biomasa registrada fue T2 (14.35 Mg), en donde también se almacena el menor contenido de C (6.94 MgC) (Figura 10).

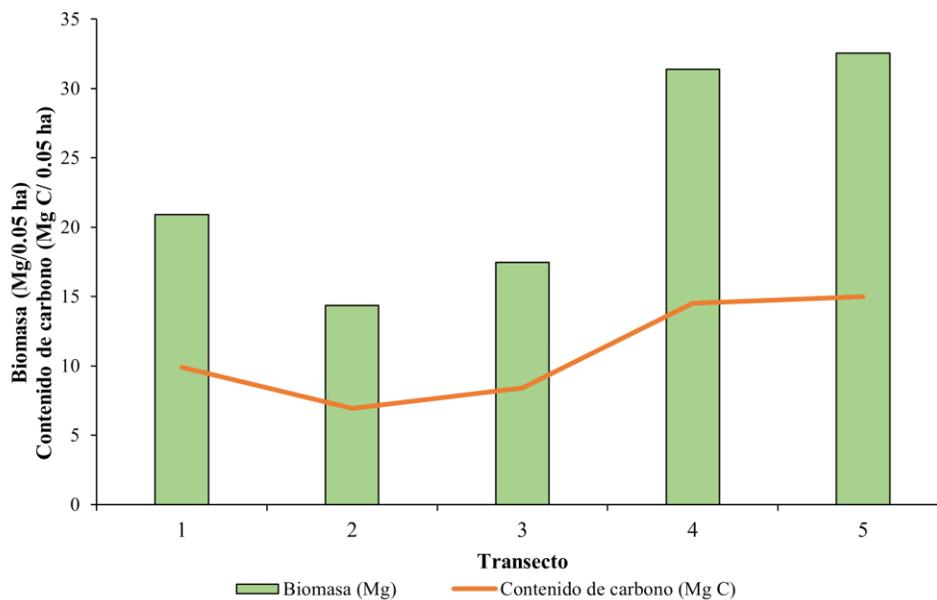


Figura 10. Biomasa y contenido de C en cada uno de los transectos muestreados en el bosque de pinoencino de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México. Valores referidos al área examinada en el transecto.

La especie que contribuyó con la mayor cantidad de biomasa y C, en el estrato arbóreo, fue *Pinus pseudostrabus* con 31.36 Mg y 14. 11 MgC, respectivamente (Figura 11A). Mientras que, en el estrato arbustivo, *Symphoricarpos microphyllus* contribuyó con la mayor cantidad de biomasa y C, 3.29 Mg y 1.48 MgC, respectivamente (Figura 11B).

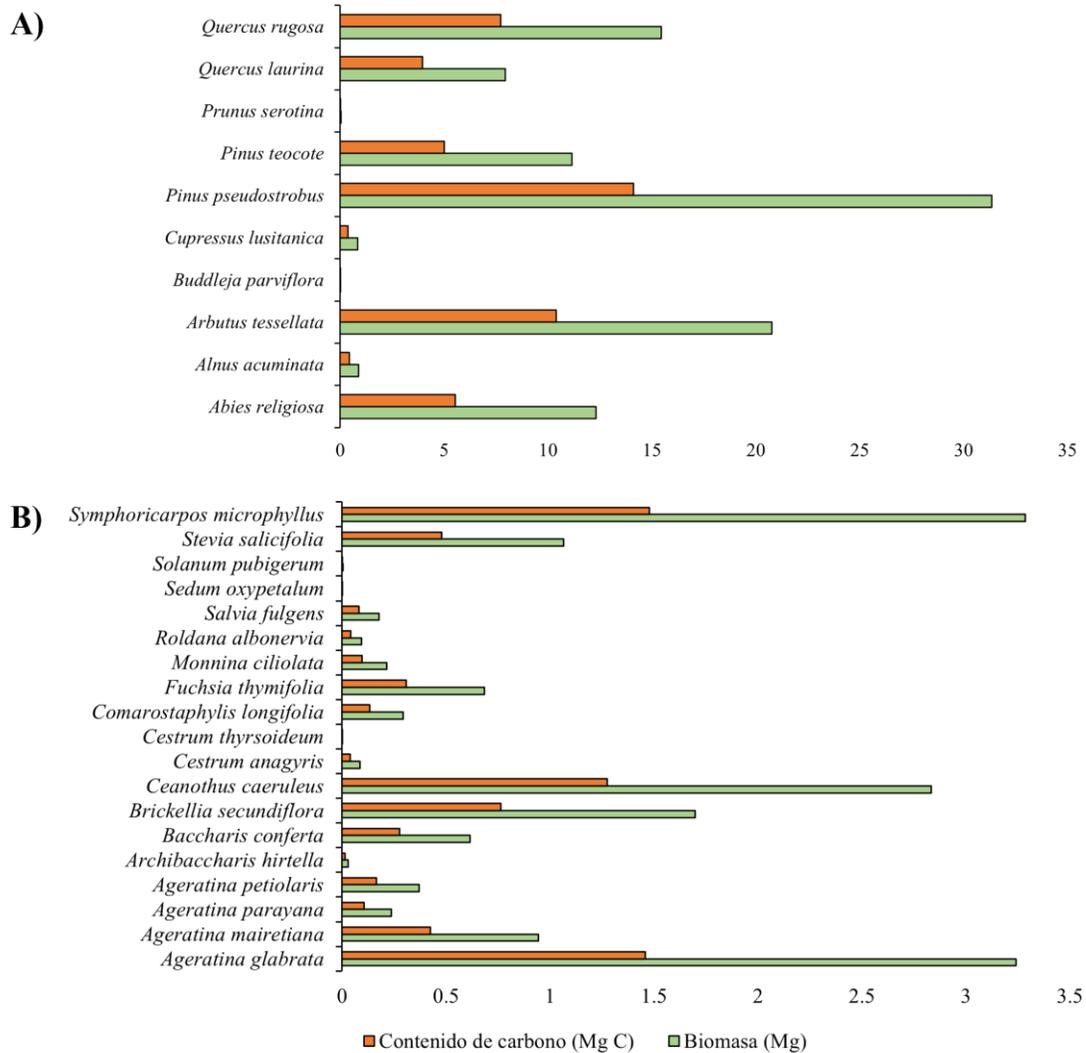


Figura 11. Biomasa y contenido de carbono por especie para: A) Árboles y B) Arbustos; presentes en el bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México.

La concentración de C fue determinada para siete especies registradas en la localidad de Cerro Alto: *Abies religiosa*, *Arbutus tessellata*, *Ceanothus caeruleus*, *Pinus pseudostrabus*, *Pinus teocote*, *Quercus laurina* y *Quercus rugosa*. La mayor y menor concentración de C la presentaron *P. teocote* y *Q. rugosa*, respectivamente, tal como se muestra en la figura 12.

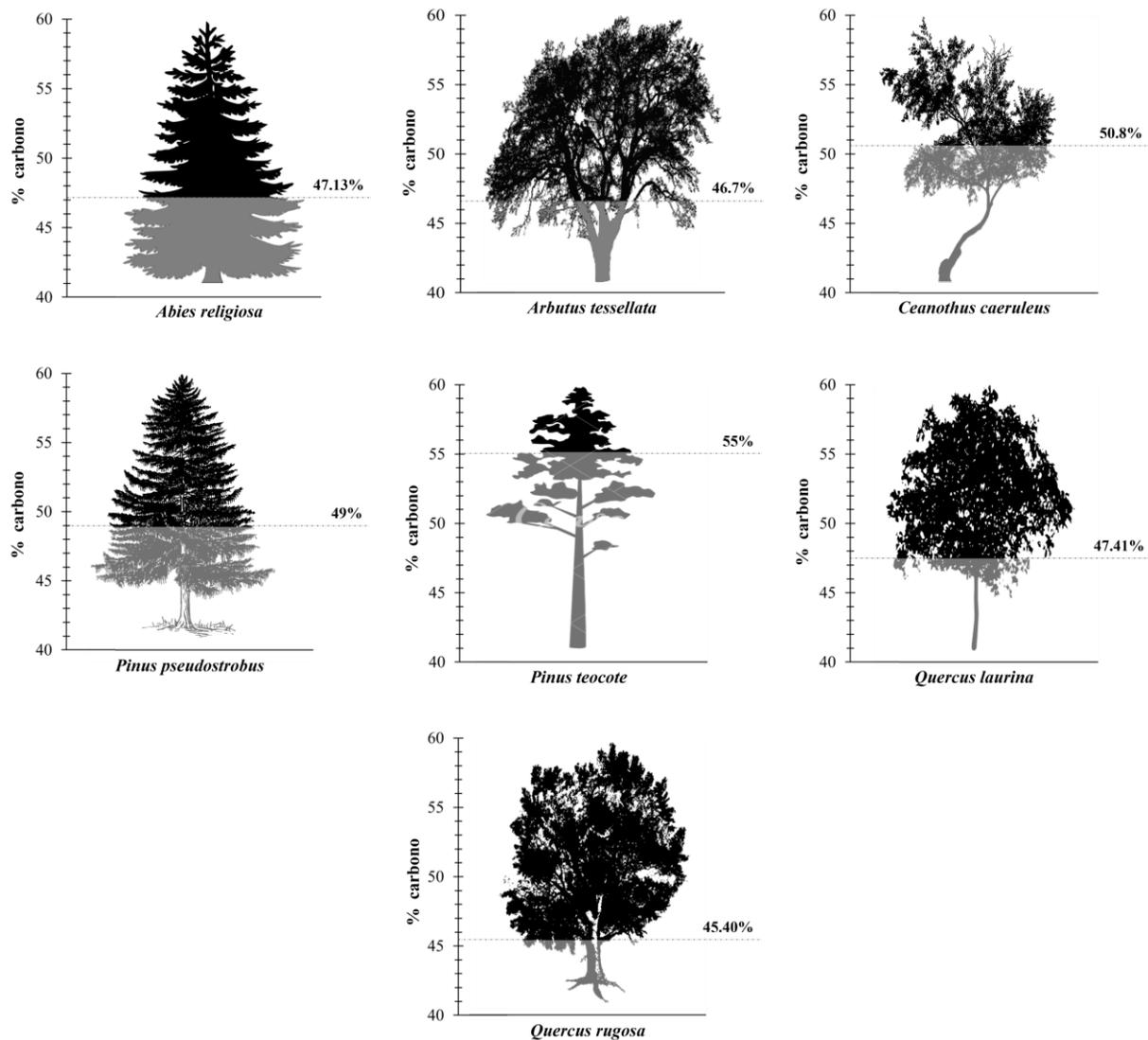


Figura 12. Concentración de C registrada en las especies dominantes del bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México.

8.3 Respuesta de la vegetación al efecto de borde

El análisis del comportamiento de las 19 variables registradas para la vegetación mostró que la riqueza de árboles y la riqueza total, presentaron una alta variación desde la orilla hasta el interior del bosque, sin una tendencia significativa de incremento o decremento (Figura 13, A y C). En el caso de la riqueza de arbustos, se presentó una tendencia significativa de incremento, no tan marcado, de la orilla al interior del bosque (Figura 13B). Asimismo, la abundancia de árboles y arbustos mostró una tendencia significativa a lo largo de los sectores; en el caso de los árboles, su abundancia tiene un comportamiento cuadrático, donde los valores más altos se registran en los sectores intermedios (Figura 13D) y, para los arbustos, su abundancia tiende a incrementarse hacia los sectores más alejados del borde (Figura 13E).

La diversidad no mostró una tendencia significativa, pero sí presentó variación de la orilla al interior del bosque. Se presentó una alta variación en el caso del Índice de Margalef, el Índice de Shannon-Wiener y la Equidad de Pielou (Figura 13, F, H e I), caso contrario a lo que ocurrió con el índice de diversidad de Simpson, donde se observó que los datos se mantienen más uniformes desde la orilla hasta el interior del bosque (Figura 13G).

La talla de árboles (Figura 13J) presentó variación sin una tendencia significativa de incremento o decremento, lo cual también se observó en el caso del área basal de los arbustos (Figura 13M); no así para la talla de arbustos y el área basal de los árboles (Figura 13, K y L), en donde se registró que éstas aumentaron de manera significativa de la orilla y hacia el interior del bosque, con un incremento más pronunciado en el caso del área basal de los árboles.

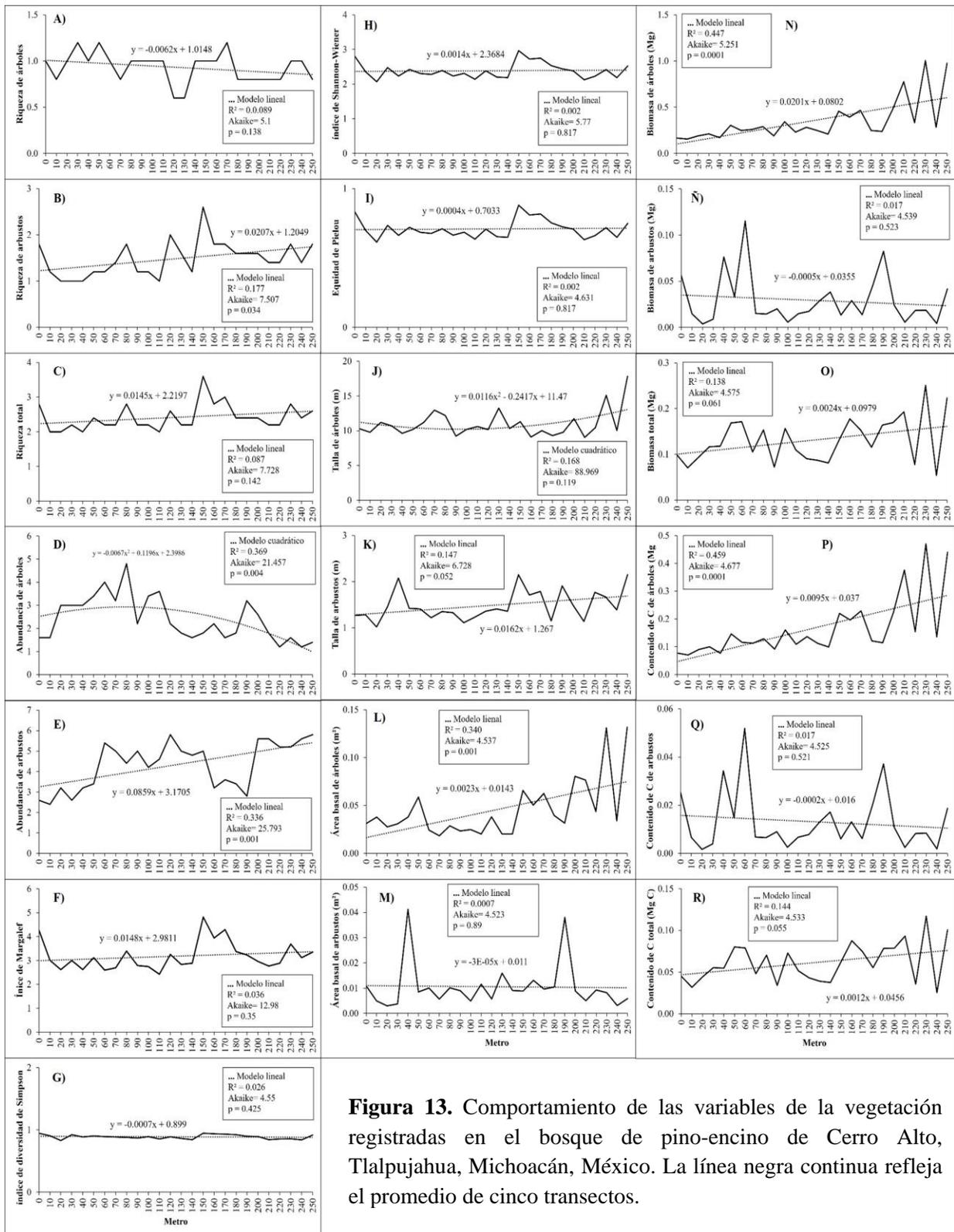


Figura 13. Comportamiento de las variables de la vegetación registradas en el bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México. La línea negra continua refleja el promedio de cinco transectos.

Se observó una tendencia significativa de incremento desde la orilla hacia el interior del bosque, en el caso de la biomasa, contenido de C de árboles y contenido de C total (Figura 13; N, P y R). En el caso del contenido de C de árboles, este varió entre 0.1 a >3 MgC, presentándose los valores más altos al interior del bosque. En contraste, la biomasa de arbustos (Figura 13Ñ), biomasa total (Figura 13O) y el contenido de C de arbustos (Figura 13Q), presentaron alta variabilidad desde la orilla hacia el interior del bosque, pero sin una tendencia significativa.

8.3.1 Características ambientales

El análisis del comportamiento de las variables ambientales, medidas en los transectos, mostró que, en el caso de la temperatura, se registraron valores altos en la orilla (metro cero) los cuales disminuyeron en los primeros 60 m del bosque para después estabilizarse hacia la parte más interior del bosque (Figura 14A). La luminosidad presentó un patrón significativo de decremento, muy marcado, desde la orilla y hacia el interior del bosque (Figura 14B) y, en el caso de la humedad del suelo, se detectó un patrón significativo unimodal, donde los valores más altos se presentan en los sectores intermedios (Figura 14C).

8.3.2 Extensión y magnitud del efecto de borde

El análisis de conglomerados con las 19 variables medidas en la vegetación de Cerro Alto, mostró que los cambios observados a lo largo de los 26 sectores, en donde cada sector equivale a una distancia de 10m que va desde la orilla hacia el interior del bosque, no son aleatorios, sino que forman grupos (Figura 15). Se identificaron tres zonas: una zona de borde que comprende desde el metro cero hasta los 190 m, una zona de transición que va del metro

200 al 240 y a partir del metro 250, se podría definir el interior del bosque. Estos grupos presentaron diferencias estadísticas significativas entre ellos (Figura 15).

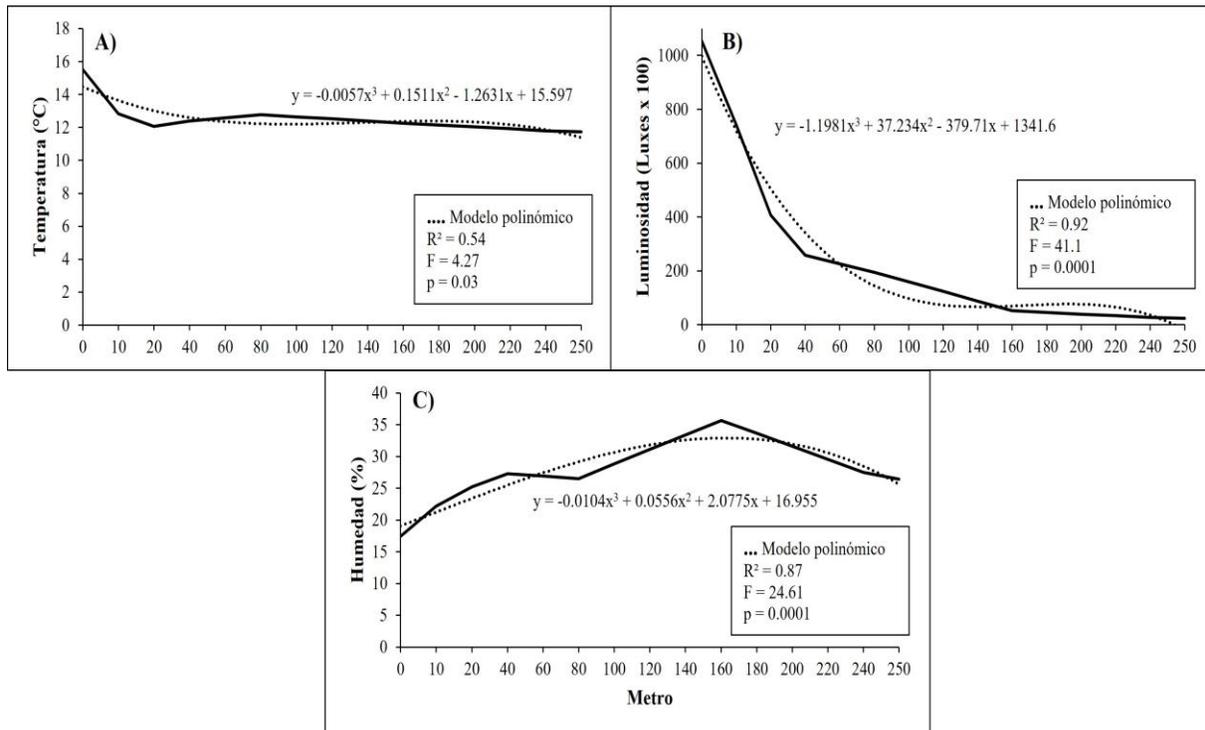


Figura 14. Comportamiento de las variables ambientales registradas en el bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México. La línea negra continua refleja el promedio de cinco transectos, excepto para la humedad, donde se usaron los datos de sólo cuatro transectos, la línea punteada corresponde al ajuste del modelo de regresión que refleja la tendencia promedio de los datos.

El ACC que relacionó las variables ambientales con las especies vegetales, mostró que el primer eje (Eigenvalor= 0.26) explicó un 75.9% de la varianza y fue significativamente correlacionado con la luminosidad y la temperatura ($r = -0.914$ y $r = -0.658$, respectivamente). El segundo eje (Eigenvalor= 0.082) representó un 24.1% de la varianza y se correlacionó con la humedad del suelo ($r = 0.697$) (Figura 16A).

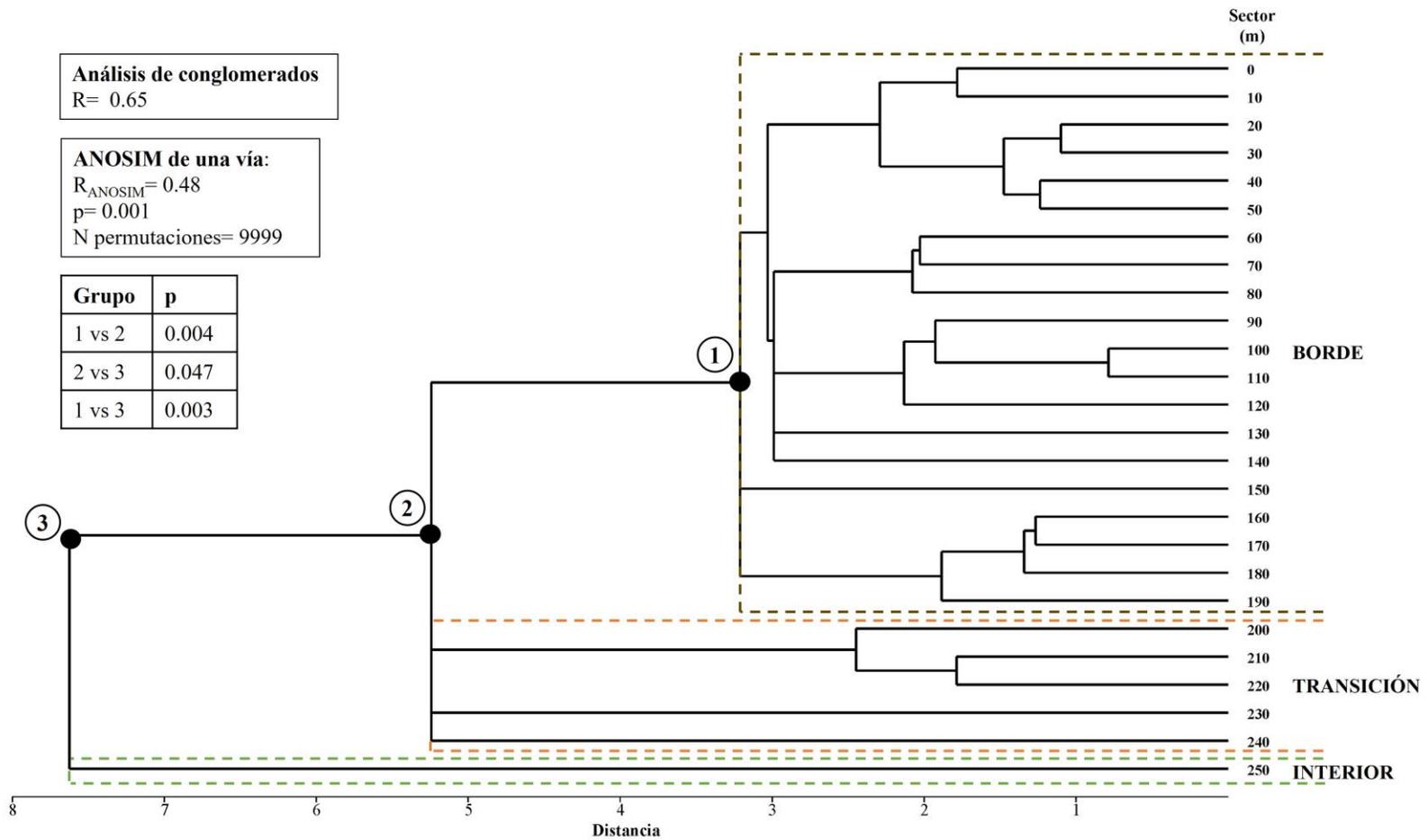


Figura 15. Clasificación de los sectores (cada sector equivale a 10m de distancia) que van desde la orilla hacia el interior del bosque con base en las 19 variables de la vegetación medidas en el bosque de pino-encino de Cerro Alto, Talpujahua, Michoacán, México. Se utilizó el método de promedio entre grupos, no ponderado (método UPGMA) con una medida de distancia euclidiana y se realizó un análisis de similitudes (ANOSIM), para determinar la significancia estadística de los grupos obtenidos. Las líneas punteadas representan los sectores que abarcan las zonas de borde, transición e interior.

Las especies arbustivas *Ageratina petiolaris* (Ag. pe), *Baccharis conferta* (Ba. c), *Brickellia secundiflora* (Br. s), que son consideradas plantas arvenses, y otras especies como *A. parayana* (Ag. p), *Archibaccharis hirtella* (Arc. h), *Cestrum anagyris* (Ces. a), *Comarostaphylis longifolia* (Co. l), *Salvia fulgens* (Sa. f), *Sedum oxypetalum* (Se. o), *Solanum pubigerum* (So. p) y *Stevia salicifolia* (St. s); así como la mayoría de las especies arbóreas como *Abies religiosa* (Ab. r), *Buddleja parviflora* (Bu. p), *Cupressus lusitanica* (Cu. l), *Pinus pseudostrobus* (Pi. p), *Quercus laurina* (Qu. l), *Alnus acuminata* (Al. a), *Prunus serotina* (Pr. s), y *Q. rugosa* (Qu. r), estas tres últimas catalogadas como especies pioneras que se desarrollan bien en sitios perturbados, se asociaron positivamente a sectores con mayor luminosidad y temperatura, pero negativamente a sectores con mayor humedad del suelo, características que se presentaron en la zona de borde (Figura 16A;).

Ageratina mairretiana (Ag. m), considerada una arvense, junto con *A. glabrata* (Ag. g) y *Fuchsia thymifolia* (Fu. t) que se desarrollan bien en sitios perturbados, *C. thyrsoides* (Ces. t) que es un arbusto asociado a terrenos de agricultura, y otras especies de arbustos como *Ceanothus caeruleus* (Ce. c), *Monnina ciliolata* (Mo. c), *Roldana albonervia* (Ro. a) y *Symphoricarpos microphyllus* (Sy. m), además de dos especies arbóreas: *Arbutus tessellata* (Ar. t) y *Pinus teocote* (Pi. t), se relacionaron positivamente a sectores con mayor humedad del suelo y negativamente a sectores con mayor luminosidad y temperatura, características que se presentaron en la zona de borde, transición e interior (Figura 16A).

El ACC que relacionó las variables ambientales y las variables de la vegetación mostró que, el primer eje (Eigenvalor = 0.007), explica el 90.72% de la varianza y fue significativamente correlacionado con la luminosidad ($r = -0.722$); mientras que el segundo eje

(Eigenvalor = 0.0007) representó un 9.283% de la varianza y se correlacionó con la humedad del suelo ($r = -0.474$) (Figura 16B).

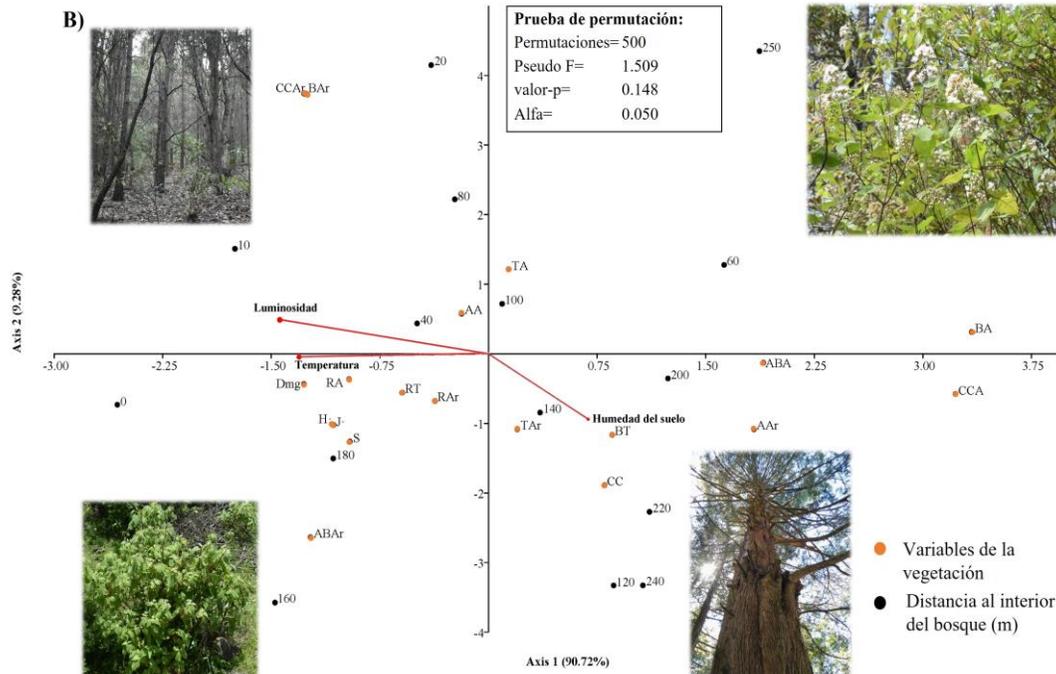
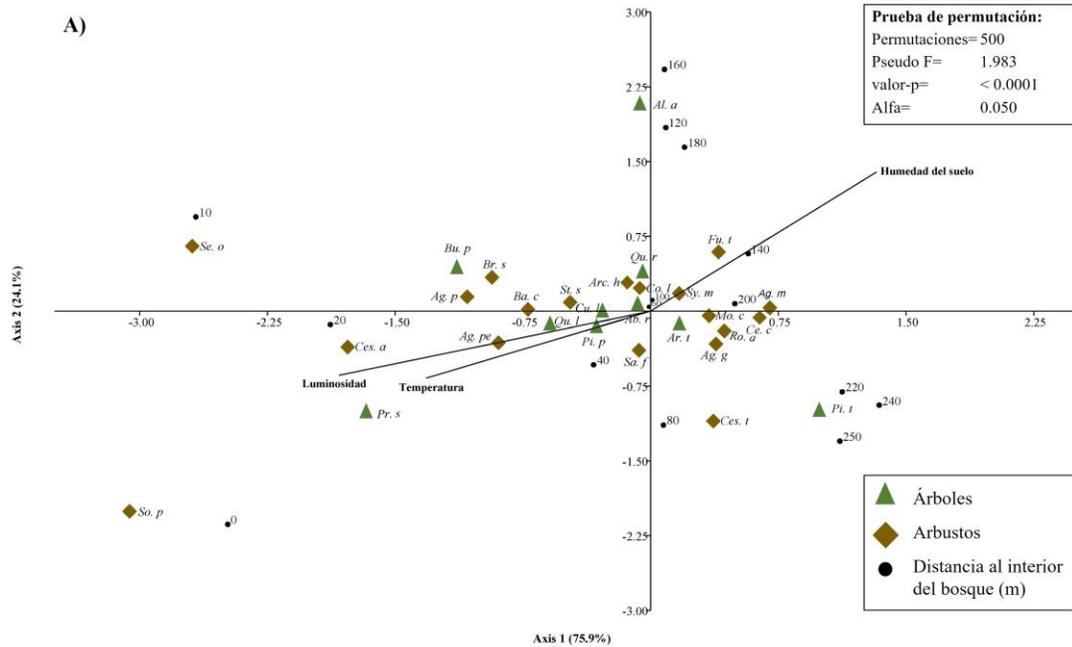


Figura 16. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC), donde se muestra la distribución de: A) 29 especies y B) 19 variables biológicas medidas en el bosque de pino-encino de Tlalpujahua, Michoacán, México. **Ab r:** *Abies religiosa*, **Ag. g:** *Ageratina glabrata*, **Ag. m:** *A. mairiana*, **Ag. p:** *A. parayana*, **Ag. pe:** *A. petiolaris*, **Al. a:** *Alnus acuminata*, **Ar. t:** *Arbutus tessellata*, **Arc. h:** *Archibaccharis hirtella*, **Ba.c:** *Baccharis conferta*, **Br. s:** *Brickellia secundiflora*, **Bu. p:** *Buddleja parviflora*, **Ce. c:** *Ceanothus caeruleus*, **Ces. a:** *Cestrum anagyris*, **Ces. t:** *C. thyrsoides*, **Co. l:** *Comarostaphylis longifolia*, **Cu. l:** *Cupressus lusitanica*, **Fu. t:** *Fuchsia thymifolia*, **Mo. c:** *Monnina ciliolata*, **Pi. p:** *Pinus pseudostrobus*, **Pi. t:** *P. teocote*, **Pr. s:** *Prunus serótina*, **Qu. l:** *Quercus laurina*, **Qu. r:** *Q. rugosa*, **Ro. a:** *Roldana albonervia*, **Sa. f:** *Salvia fulgens*, **Se. o:** *Sedum oxypetalum*, **So. p:** *Solanum pubigerum*, **St. s:** *Stevia salicifolia*, **Sy. m:** *Symphoricarpos microphyllus*, **RA:** riqueza de árboles, **RAr:** riqueza de arbustos, **RT:** riqueza total, **AA:** abundancia de árboles, **AAr:** abundancia de arbustos, **Dmg:** Índice de Margalef, **S:** Índice de Simpson-D, **H':** Shannon-Wiener, **J':** equidad de Pielou, **TA:** tala de árboles, **TAr:** talla de arbustos, **ABA:** área basal de árboles, **ABAr:** área basal de arbustos, **BA:** biomasa de árboles, **BAr:** biomasa de arbustos, **BT:** biomasa total, **CCA:** contenido de C de árboles, **CCAr:** contenido de C de arbustos, **CC:** contenido de C total.

Los primeros sectores (0-80 m) que se ubican en la zona de borde se relacionaron con una mayor luminosidad y temperatura, pero con menor humedad del suelo, estas variables se asociaron a una mayor riqueza y diversidad de árboles y arbustos; aunque, el análisis de comportamiento de estas variables por separado, no mostró una tendencia clara de incremento (análisis de regresión) (a excepción de la riqueza de arbustos que sí presentó una tendencia significativa); mayor abundancia de árboles de tallas bajas, individuos de menor área basal, así como menor cantidad de biomasa y contenido de C. También, se presenta una menor abundancia de arbustos de tallas bajas, mayor área basal, mayor cantidad de biomasa y contenido de C; aunque, estas últimas tres variables tampoco presentaron una tendencia significativa (Figura 16B).

Los sectores que abarcaron parte de las zonas de borde, transición e interior se relacionaron con una mayor humedad del suelo, menor luminosidad y temperatura, variables que se asociaron a una menor abundancia de árboles, pero que presentaron mayores tallas (sin una tendencia de incremento), mayor área basal, mayor cantidad de biomasa y contenido de C. Asimismo, se asociaron a una mayor abundancia de arbustos de mayor talla, pero de menor área basal y menor cantidad de biomasa y contenido de C, estas últimas tres variables, sin un patrón significativo de decremento al analizarse por separado. Una mayor humedad del suelo también se asoció a una mayor cantidad de biomasa total y contenido de C total (Figura 16B).

9. DISCUSIÓN

9.1 Composición florística en el municipio de Tlalpujahua

La composición florística de árboles y arbustos del municipio de Tlalpujahua, Michoacán, México desarrollada, es el primer estudio que recopila la información de la flora del municipio; ya que la mayoría de los trabajos publicados en la zona, solo abordan temas geológicos (Corona-Chávez et al., 2017), históricos (Gavira-Márquez, 2009; Sánchez-Núñez, 2015), de restauración ecológica en residuos mineros (Osuna-Vallejo et al., 2020) y turísticos (Toscana-Aparicio y Fernández-Poncela, 2019; García-Sánchez et al., 2020); mientras que la información florística se encontraba dispersa en diversas fuentes como tesis, floras, colecciones biológicas y bases de datos biológicos.

Hasta ahora, el listado florístico para Michoacán, más reciente, es el publicado por la CONABIO (2005), como un instrumento para cumplir los compromisos derivados del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) del que México es parte. En este listado se presentan 4,740 especies de plantas vasculares, con base en este valor, los resultados de la primera parte de esta tesis indican que los árboles y arbustos registrados en Tlalpujahuá, contribuyen con el 2.59% de la flora vascular del estado.

La familia Asteraceae es la mejor representada en el municipio, seguida por Solanaceae, Fagaceae, Fabaceae, Rosaceae y Ericaceae. Las seis familias mencionadas, representan el 51.2% del total de la flora del municipio. Este patrón de predominio florístico ya ha sido reportado en bosques templados que pertenecen a la provincia florística de las Serranías Meridionales, en la región Mesoamericana de Montaña (Rzedowski, 2006); por ejemplo, en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (Cornejo-Tenorio et al., 2003) y, también, en las comunidades de bosque de pino y encino de la Faja Volcánica Transmexicana (Morrone, 2019). El predominio de Asteraceae no es raro si se considera que es la familia más grande de la flora de México, por su número de géneros y especies (Villaseñor, 2016), además de que se caracteriza por tener especies consideradas como malezas en muchos paisajes, encontrándolas en todas las áreas fragmentadas (Villaseñor, 2018).

Del total de las especies registradas para Tlalpujahuá, 15.44% son endémicas de México, y de éstas, 31.58% pertenecen a Asteraceae, 21.05% a Pinaceae, y 15.79% a Fagaceae. Los valores de endemismo registrados en estas familias son consistentes con los resultados obtenidos en evaluaciones previas de la flora de regiones montañosas de México. Villaseñor (2016) reporta que uno de los biomas con mayor riqueza de géneros y especies de

Asteraceae es el bosque templado (1,906 especies); además, estima que el 63.9% del total de especies reportadas para México (3,113 especies), son endémicas del territorio nacional y que uno de los estados con mayor número de especies es Michoacán (837 especies). En el caso de la familia Pinaceae, Gernandt y Pérez-de la Rosa (2014) estiman que 49.18% del total de especies de esta familia, son endémicas del país; el mismo patrón ocurre con la familia Fagaceae, donde el 67.7% de las especies del género *Quercus* son endémicas del país. Cabe señalar que este género es el que presenta la mayor distribución en todo el mundo (Valencia, 2004).

Nueve especies se reportan como introducidas a México: *Ficus carica* L., *Prunus persica* (L.) Batsch y *Pyrus communis* L. son árboles frutales introducidos durante la época colonial con fines de alimentación (Martínez y Chacalo, 1994); *Nicotiana glauca* Graham, *Sambucus canadensis* L. y *Solanum marginatum* L.f son especies cuya introducción fue producto de las relaciones comerciales y culturales de México con el viejo mundo y, actualmente, se usan en la medicina tradicional mexicana y como plantas de ornato (BDMTM, 2009); *Schinus molle* L., *Eucalyptus globulus* Labill y *Salix babylonica* L. son las especies de árboles más usadas en diversas zonas urbanas de México, ya sea por su impacto visual en el paisaje o porque predominan en los viveros al ser de fácil reproducción y crecimiento (Martínez y Chacalo, 1994; Chacalo y Nava, 2009; CONAFOR, 2010). La presencia de estas especies en el municipio de Tlalpujahua es un indicador de perturbación de la vegetación, o bien, desconocimiento de las especies nativas en la zona, por lo que se deben tomar acciones para desarrollar estrategias de prevención, detección temprana, control, difusión y educación

ambiental respecto a la introducción de especies no nativas en los bosques templados de esta zona de Michoacán (CANEI, 2010).

Además, los bosques templados del municipio de Tlalpujahua (Figura 4) resguardan tres especies que se encuentran dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 y nueve en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN-2021; aunque algunas de estas especies tienen una amplia distribución, también son indicadoras de la importancia de enfocar esfuerzos hacia la conservación de la vegetación del municipio.

9.2 Florística del bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahua

Composición florística y estructura de la vegetación. El BPE de Cerro Alto, presenta los mismos patrones de representatividad de familias y endemismo florístico que los registrados para la vegetación a nivel del municipio y que, asimismo, fueron discutidos en la sección anterior de esta tesis. Las familias mejor representadas son: Asteraceae, Pinaceae, Solanaceae, Ericaceae y Fagaceae, con excepción de Pinaceae, las demás familias reportan una alta representatividad a nivel municipal. Respecto a las especies endémicas, del total de especies registradas en el BPE, 37.93% son endémicas de México, y de estas, 36.36% pertenecen a Asteraceae, 18.18% a Pinaceae y 9.09% a Fagaceae. La predominancia de estas familias concuerda con lo reportado para bosques de pino, de encino y de pino-encino del estado de Michoacán (Medina-García y Rodríguez-Jiménez, 1993; Cornejo-Tenorio et al., 2003; Medina-García et al., 2020).

Cabe resaltar que en Cerro Alto no se registran especies introducidas, pero si una especie sujeta a protección especial (*Cupressus lusitanica*), de acuerdo con la NOM-059-

SEMARNAT-2010. Lo anterior indica que, aunque el bosque de Cerro Alto ha sido sujeto a perturbación humana, quizá ésta no ha sido lo suficientemente intensa como para permitir el ingreso de especies ajenas a la zona.

El BPE de Cerro Alto presenta un total de 29 especies, de las cuales 10 son árboles y 19 son arbustos, esta riqueza es baja si se compara con el bosque de coníferas de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca (RBMM), que es un sitio muy cercano al área de estudio. En este bosque, se enlistan 78 especies, de las cuales 32 son árboles y 46 arbustos (Cornejo-Tenorio et al., 2003). Sin embargo, en ambas comunidades, es evidente que el estrato arbustivo está bien representado. En Cerro Alto, el BPE representa el 37.2% de la flora arbórea y arbustiva registrada en la zona núcleo de la RBMM; además, este trabajo reveló la presencia de géneros característicos de los BPE, los cuales se presentaron en los cinco transectos estudiados, estos son: *Arbutus*, *Quercus*, *Ageratina*, *Baccharis*, *Monnina*, *Stevia* y *Symphoricarpos* (Rzedowski, 2006).

La fisonomía del BPE se caracteriza por la presencia de árboles que varían en altura entre 1.51 a 29 m, pero el 80.57% de los árboles exhibió una altura mayor a los 6 m. Las especies arbóreas que están dándole estructura a la comunidad vegetal en Cerro Alto son: *Pinus pseudostrobus*, *Quercus rugosa*, *Abies religiosa*, *Q. laurina* y *Arbutus tessellata*, ya que son las especies que presentaron los Índices de Valor de Importancia (IVI) relativamente más altos. Asimismo, el análisis global de los valores de importancia confirma que la comunidad vegetal que se estudió en Cerro Alto corresponde a un bosque de pino-encino.

Respecto a los arbustos, estos varían en altura entre 0.22 y 8 m, pero el 52.04% de los individuos presentaron una altura en el intervalo de 1 a 2 m. Las especies que presentaron los Índices de Valor de Importancia (IVI), relativamente, más altos fueron: *Ageratina glabrata*, *A. mairretiana*, *Monnina ciliolata*, *Symphoricarpos microphyllus*, *Baccharis conferta* y *Ceanothus caeruleus*. La presencia de *B. conferta* se favorece cuando ocurre un fuerte disturbio en el bosque (Cornejo-Tenorio et al., 2003) y, el que sea una de las especies que contribuye con el 9.22% al IVI del BPE, indica que es parte importante de la estructura de la comunidad, por lo tanto, señala que se trata de un bosque secundario de pino-encino.

El análisis de las categorías diamétricas en árboles y arbustos mostró que el mayor número de individuos se incluyen en la categoría I, con DAP que van de 4.5 a 10.9 cm en el caso de los árboles, y de $D_{0.0}$ que va de 3 a 6.2 cm en el caso de los arbustos, es decir, son árboles y arbustos delgados. Estas categorías sugieren que se trata de individuos que son el resultado del reclutamiento natural; por lo tanto, se trata de individuos en crecimiento que favorecen la regeneración natural del bosque, tal como lo reporta Rojas-García (2004), en otros bosques templados.

Biomasa y almacenes de carbono. Existen diferentes métodos para estimar la cantidad de biomasa en un bosque. Uno de éstos es mediante la construcción de ecuaciones alométricas, que es un método destructivo que consiste en hacer dasometría a un conjunto de árboles, cortarlos y cuantificar su biomasa en términos del peso seco. Las ecuaciones resultantes tienen una alta precisión, pero su construcción implica mucho esfuerzo, tiempo, permisos de colecta especiales y tiene un costo elevado, pues el material debe trasladarse al laboratorio para su procesamiento (Avendaño et al., 2009; Acosta et al., 2011; García et al., 2015). Para reducir

costos y optimizar el tiempo, la biomasa también puede estimarse mediante el uso de ecuaciones alométricas existentes (López-Serrano et al., 2021). Otra manera de estimar la biomasa del bosque es con base en el volumen comercial o de fustes y la densidad básica de la madera, que permite transformar los volúmenes húmedos en biomasa seca (Rojas-García, 2004; Rojas-García y Villers-Ruíz, 2008).

Se utilizaron las ecuaciones alométricas existentes, en este trabajo, debido a que es un método no destructivo que permiten estimar la biomasa con variables fáciles de medir en campo, como la altura, cobertura y el diámetro a la altura del pecho (DAP). Paz-Pellat et al. (2020), mencionan que la principal fuente de incertidumbre está asociada a la selección del modelo alométrico; sin embargo, para reducir esta incertidumbre al mínimo, la selección de las ecuaciones usadas se realizó por medio del establecimiento de criterios como: i) Que fueran ecuaciones desarrolladas en sitios con características similares a las del sitio de estudio, ii) Que tuvieran registrado un alto coeficiente de determinación ($R^2 > 0.5$), iii) Que el ajuste del modelo a los datos fuera coherente, es decir, a mayor DAP mayor biomasa y iv) Los parámetros que la ecuación utilizaba (altura, DAP o ambos) (Sola et al., 2012). Además, se consideró el árbol de decisiones genérico sugerido por el IPCC (2006) para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de C en biomasa.

Los valores de biomasa y contenido de C estimados en esta tesis para el BPE de Cerro Alto, son menores que los reportados para otros bosques de pino-encino (Cuadro 8), lo que puede deberse a que las ecuaciones alométricas, generalmente, se desarrollan para especies y lugares específicos, por lo que su uso fuera de este contexto conlleva alta incertidumbre, dada la dependencia de los parámetros de las ecuaciones con el tipo de vegetación, clima, estructura

de la población, arquitectura de las plantas, condición del sitio y ontogenia (Paz-Pellat et al., 2020). En este sentido, el uso de ecuaciones de volumen y valores de densidad de la madera podría haber sido una mejor alternativa para estimar la biomasa de Cerro Alto, ya que de acuerdo con Rojas-García y Villers-Ruíz (2008), la aplicación del modelo volumétrico arroja generalmente resultados más precisos que el uso de ecuaciones alométricas.

Cuadro 8. Estimaciones de biomasa y carbono en biomasa aérea reportados, en esta tesis, para Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, y en otros estudios realizados en bosques de pino-encino en México.

Autor	Estado	Sitio de estudio	Biomasa (Mgha⁻¹)	Carbono (MgCha⁻¹)
Este estudio	Michoacán	Tlalpujahua	99.3	43.8
Pimienta de la Torre et al., 2007	Durango	La Victoria	98.1	51.1
Rojas-García y Villers-Ruíz, 2008	Tlaxcala-Puebla	Parque Nacional La Malinche	136.4	68.2
Figueroa et al., 2010	Hidalgo	La Mojonera	184.8	92.4
Rodríguez et al., 2009	Tamaulipas	Reserva de la Biosfera El Cielo	186.3	82.9
Escandón et al., 1999	Chiapas	Jusnajib, La Laguna	225	112.5

El análisis de biomasa y carbono en la biomasa aérea del BPE de Cerro Alto, a nivel de transecto, mostró que el T5 presentó la mayor cantidad de biomasa y C, lo que puede deberse a que en este transecto también se registró la mayor riqueza de árboles y arbustos, la mayor abundancia de árboles y la mayor densidad total de árboles. En contraste, el T2 presentó los valores más bajos de biomasa y C, puesto que es donde se concentró la mayor abundancia, densidad y dominancia de arbustos y registró pocos árboles. Esta tendencia es de esperarse ya

que, por naturaleza misma, la cantidad de biomasa y contenido de C son bajos en el estrato arbustivo, en comparación con el almacenado en las partes leñosas de los árboles.

Las especies *Pinus pseudostrobus*, *Symphoricarpos microphyllus*, *Ageratina glabrata* y *Ceanothus caeruleus* son las que contribuyen al almacenamiento de biomasa y C en el sitio de estudio. Las primeras tres especies coinciden con las que presentan los valores de IVI más altos; en el caso de la última especie, aunque no presentó un valor de IVI alto, su contribución a la biomasa y el C podría estar asociado a su crecimiento, ya que alcanza tallas y DAP grandes (Schulze et al., 2000).

Las estimaciones precisas de las reservas de C en los ecosistemas forestales dependen de la aplicación del factor correcto de concentración de C para las diferentes especies y tejidos forestales de la comunidad estudiada; sin embargo, esta información es escasa para muchas de las especies y por ello suele usarse el factor de 50% propuesto por el IPCC (2003; Pompa-García et al., 2017). Por lo anterior, los datos de las concentraciones de C medidas para las siete especies (Cuadro 9), pueden usarse en otras investigaciones para mejorar las estimaciones de las reservas de C de los ecosistemas terrestres y así reducir la incertidumbre.

Los datos de concentración de C, para algunas especies mexicanas, ya han sido reportados con anterioridad por Pompa-García et al. (2017) (Cuadro 9). En el caso de *Arbutus tessellata*, *Ceanothus caeruleus* y *Quercus laurina*, no se registraron valores previos de concentración.

9.3 Extensión y magnitud del efecto de borde sobre el BPE de Cerro Alto,

Tlalpujahua

La influencia del borde, debida al microambiente y, posiblemente, de otros factores generados en el borde del BPE de Cerro Alto, se extiende 190 m hacia el interior de éste. Algunas investigaciones han reportado una extensión menor (Cuadro 10); sin embargo, estas diferencias se sustentan en el hecho de que la influencia del borde sobre los fragmentos forestales es variable, debido a que está determinada por el tipo de vegetación nativa, la edad del borde, la orientación, la altitud, la intensidad de perturbación e, incluso, depende de la región geográfica, entre otros factores como, por ejemplo, los edáficos (Euskirchen et al., 2001; Peña-Becerril et al., 2005; Smith et al., 2018).

Cuadro 9. Concentración de carbono (C%) en el tejido vegetal de siete especies del bosque de pino-encino de Cerro Alto, Tlalpujahua, Michoacán, México y su comparación con los valores obtenidos por Pompa-García et al. (2017) para estas especies, en otros bosques de México.

Especie	Concentración de C (%)	
	Bosque pino-encino Cerro Alto, Tlalpujahua (Este estudio)	Bosques templados de la república mexicana (Pompa-García et al., 2017)
<i>Abies religiosa</i>	47.13	45.8
<i>Arbutus tessellata</i>	46.7	---
<i>Ceanothus caeruleus</i>	50.8	---
<i>Pinus pseudostrobus</i>	49	46
<i>Pinus teocote</i>	55	49.66
<i>Quercus laurina</i>	47.41	---
<i>Quercus rugosa</i>	45.4	46.16

Una hipótesis desarrollada por Harper et al. (2005), a partir del análisis de los trabajos que abordan los patrones de estructura y composición de bosques boreales, templados y tropicales bajo la influencia de bordes inducidos por actividades humanas, señala que la magnitud y extensión del borde sobre el parche forestal persiste, más tiempo en los bordes que se mantienen, en comparación con aquellos donde ocurre regeneración natural. En el caso del sitio del presente estudio, las parcelas de cultivo se han mantenido activas desde su creación, hace aproximadamente 70 años, hasta la actualidad con la siembra de maíz y avena, principalmente; además, se realiza extracción de madera; estas actividades no han permitido una regeneración continua del bosque y, por lo tanto, han provocado posiblemente que la influencia del borde sea relativamente mayor en comparación con otras comunidades de bosques en donde se ha utilizado el mismo método para la definición del borde (transectos) (Cuadro 10).

Cuadro 10. Extensión del efecto de borde al interior de algunos bosques, reportada en diversos estudios realizados en bosques templados.

Autor	Tipo de vegetación	Sitio de estudio	Edad del borde	Extensión del efecto de borde al interior del bosque
Este estudio	Bosque de pino-encino	Tlalpujahuá, Michoacán México	70 años	190 m
Williams, 1993.	Bosque mesófilo de montaña	Parque Ecológico Clavijero, Xalapa, Veracruz, México	15-40 años	5-15 m PARCELAS
Euskirchen et al., 2001.	Plantaciones de pino	Bosque Nacional Chequamegon, WI, EE. UU	8-12 años	30 m TRANSECTO
Romero-Torres y Ramírez-Varela, 2011.	Bosque mesófilo de montaña	Suroccidente de la Sabana de Bogotá, Colombia	Nr	30 m TRANSECTO
Granados et al., 2014.	Bosque de pino-encino	Sierra de Monte Alto, Estado de México, México	30 años	50 m TRANSECTO
Nr= No reportado				

El microambiente del borde del BPE de Cerro Alto, está caracterizado por una mayor temperatura del suelo y luminosidad, valores que decrecen hacia el interior del bosque; así como una menor humedad del suelo, que incrementa hacia el interior. En el borde, estas condiciones han sido detectadas, también, en otros estudios, en los que se ha reportado que, la luminosidad, la velocidad del viento (Pinto et al., 2010), la evaporación y la disponibilidad de N, temperatura del suelo, la temperatura ambiental, entre otras, son más elevadas cerca de borde que al interior del bosque (Peña-Becerril et al., 2005; Ritter et al., 2005; Smith et al., 2018).

El borde del BPE, tienen influencia significativa en ocho de las 19 variables de la vegetación analizadas: riqueza de arbustos, abundancia de árboles y arbustos, talla de arbustos, área basal, biomasa y contenido de C de árboles y contenido de C total. En la zona de borde se presenta una mayor abundancia de árboles, de menor área basal, menor cantidad de biomasa y contenido de C; así como una menor abundancia de arbustos. Algunos estudios que han analizado el efecto de borde en bosques boreales (Chen et al., 1992) y templados (Williams, 1993; Granados et al., 2014) han reportado que la influencia del borde actúa sobre variables diferentes a las obtenidas en este estudio, como son: diversidad, densidad de individuos, crecimiento y mortalidad.

Las tendencias observadas en la diversidad no resultaron significativas, por lo que una opción para su análisis es el uso de índices de diversidad derivados de los números de Hill, pues estos convierten los índices originales a una escala lineal de riqueza y pueden compararse unos con otros, calculando el número equivalente de especies, es decir, el número de especies igualmente comunes que compondrían una comunidad con la misma complejidad que la

indicada por la medida original (Lou y González, 2012). También se recomienda el cálculo de la diversidad β para analizar el grado de reemplazo en la composición de especies entre los sectores del borde al interior del bosque, para complementar los resultados de este trabajo.

Es importante mencionar que, los valores de contenido de C de árboles que van de 0.1 a 0.2 MgC en el borde y de 0.2 a >3 MgC en el interior, denotan que, en el interior del bosque, se almacena el doble de C que en el borde. Lo anterior sugiere que el borde tiene una influencia negativa en la capacidad de almacenamiento de C de los árboles y resalta la importancia de regular el aprovechamiento del bosque para conservar el almacén de C en el BPE de Cerro Alto.

Las características presentadas en la zona de borde, de las 19 variables medidas en el BPE (Figura 16 B) y que se obtuvo a partir del análisis del Análisis de Correspondencia Canónica (ACC), sugiere que las características presentadas en la zona de borde podrían ser explicadas en función del incremento en la incidencia de la luz, que promueve el crecimiento de las plantas; así como por el incremento en la disponibilidad de recursos favorecidos, quizá, por los fertilizantes utilizados en las parcelas de cultivo adyacentes al bosque (Smith et al., 2018). En el caso de los árboles, las condiciones del borde promueven el crecimiento de renuevos y en los arbustos favorecen el crecimiento del área basal y, por lo tanto, promueven la producción de biomasa y el aumento del contenido de C. Reinmann y Hutyra (2017), sugieren que el crecimiento del bosque cerca del borde disminuye tres veces más rápido que en el interior en respuesta al estrés por calor durante la temporada de crecimiento, por lo que el almacén de C de los individuos que crecen en el borde, a largo plazo, terminará perdiéndose,

además, con el aumento de las temperaturas debido al cambio climático, la mejora del crecimiento en el borde del bosque tenderá a reducirse.

Un punto importante de resaltar es que la mayor producción de biomasa y el aumento en el contenido de C de arbustos, parece compensar la menor cantidad de biomasa y contenido de C de árboles en el borde (Figura 13), por lo que el crecimiento de arbustos y de renuevos en la zona borde podría aumentar la captura y almacenamiento de C.

Las especies que prefieren ambientes de borde, en Cerro Alto, son plantas arvenses, así como especies pioneras que se desarrollan bien en sitios perturbados. Se esperaba esta tendencia, ya que la apertura de cultivos provoca el establecimiento de este tipo de plantas, las cuales compiten por agua, nutrientes y luz con el cultivo, pero también con las especies nativas que crecen en los fragmentos de bosque aledaños. De acuerdo con Ávila-Quezada et al. (2022), el conocer la composición de especies arvenses en un lugar es importante para evaluar el grado de afectación que estas puedan causar, ya que algunas de ellas pueden producir compuestos volátiles como terpenoides, fenilpropanoides y bencenoides, lo que atrae a insectos vectores de patógenos que pueden atacar tanto a las plantas del cultivo como a las especies nativas.

Las zonas de borde y transición son más parecidas, esta última, abarca 50 m de extensión. Con respecto a las especies presentes, en la zona de transición se registraron algunas como *Ageratina maireriana*, *A. glabrata* y *Fuchsia thymifolia*, que son afines a zonas de borde; pero también, especies más afines a zonas de interior como *Pinus teocote* que, en este estudio, se registró únicamente en los sectores más alejados del borde.

La zona de interior, de acuerdo con el análisis de conglomerados, se define a partir del último sector y abarca 10 m, por lo anterior, se sugiere que, en estudios futuros, se amplie la longitud de los transectos, para tener una mayor representatividad de esta zona y puedan hacerse comparaciones más precisas; pues la zona de borde representa un 77%, la de transición un 19% y la zona de interior únicamente el 4%.

Un plan de manejo del área de estudio debe considerar la importancia de conservar la zona de transición e interior, ya que es en donde se encuentran los árboles de mayor talla, mayor área basal, mayor cantidad de biomasa y, en consecuencia, donde ocurre el mayor almacén de C; además de que son los lugares donde ocurre el desarrollo de especies arbustivas características de los BPE.

Finalmente, este trabajo sugiere que el BPE de Cerro Alto en Tlalpujahuá experimenta un efecto de borde de tipo ecotono con cambios bióticos y biológicos directos, de acuerdo con las clasificaciones propuestas por Turton y Freiburger (1997) y Lidicker (1999), es decir, se presenta un cambio desde el borde hacia el interior del bosque; estos cambios se detectaron en variables biológicas, como: abundancia de árboles y arbustos, área basal, biomasa y contenido de C de árboles; y en variables bióticas como: temperatura, luminosidad y humedad del suelo.

También, proporciona evidencia del comportamiento del BPE bajo la influencia del borde, por lo que puede considerarse como una hipótesis para predecir la extensión y magnitud del efecto de borde en otras comunidades similares para las que no hay datos empíricos. Además, de acuerdo con Harper et al. (2005), aún no se tiene una teoría general relacionada con los mecanismos de la generación de bordes sobre los distintos ecosistemas

forestales, por lo que el análisis de comunidades locales contribuye a la unificación de esta teoría.

10. CONCLUSIONES

Los datos florísticos publicados y los colectados en campo, generados en este estudio, pueden ser utilizados para otras investigaciones o bien, para proponer algunas estrategias de conservación forestal en el municipio de Tlalpujahua.

Este trabajo evalúa la extensión y magnitud del efecto de borde, respecto a la diversidad, estructura, composición florística y almacenamiento de C en la biomasa aérea de árboles y arbustos en el BPE de Cerro Alto. Se sugiere la existencia de tres zonas: borde ($\leq 190\text{m}$), transición ($\leq 240\text{m}$) e interior ($> 250\text{m}$); además, el borde tiene influencia significativa sobre la composición florística, riqueza de arbustos, abundancia de árboles y arbustos, talla de arbustos, área basal de árboles, biomasa y contenido de C de árboles y contenido de C total. En el caso del contenido de C de los árboles, se reportan valores que van de 0.1 a 0.2 MgC en el borde y de 0.2 a >3 MgC en el interior, lo que demuestra que el interior del bosque almacena el doble de C que el borde.

La zona de borde representa un 77%, la de transición un 19% y la zona de interior únicamente el 4%, por lo anterior, se sugiere que, en estudios futuros, se amplie la longitud de los transectos, para tener una mayor representatividad de las zonas de interior y puedan hacerse comparaciones más precisas entre las zonas.

Se presenta un modelo basado en las 19 variables de la vegetación del BPE de Cerro Alto. Este modelo sugiere que, en la zona de borde, hay mayor luminosidad y temperatura, pero menor humedad del suelo, mayor riqueza y diversidad de árboles y arbustos, así como una mayor abundancia de árboles de talla baja, menor área basal, cantidad de biomasa y contenido de C; también una menor abundancia de arbustos de talla baja, pero con mayor área basal y mayor cantidad de biomasa y contenido de C. Además, las especies que prefieren ambientes de borde son plantas arvenses como *A. petiolaris*, *B. conferta* y *B. secundiflora* y especies pioneras que se desarrollan bien en sitios perturbados, como *A. acuminata*, *P. serotina* y *Q. rugosa*. Lo anterior sugiere que la zona de borde presenta una menor calidad ecológica de sitio, respecto al interior del bosque; aunque, otras variables como las edáficas e interacciones mutualistas deben ser, también, documentadas a futuro y analizadas en conjunto.

Las tres zonas, borde, transición e interior registraron una mayor humedad del suelo, menor luminosidad y temperatura. Los árboles presentes son menos abundantes, pero de mayor talla, área basal, cantidad de biomasa y contenido de C aéreo. En estas zonas, los arbustos son más abundantes y tiene talla alta, pero menor área basal, cantidad de biomasa y contenido de C aéreo. Se presentan especies como *A. mairretiana*, *A. glabrata* y *F. thymifolia* que son afines a zonas de borde; pero también especies más afines a zonas de interior como *P. teocote*, el cual se registró únicamente en los sectores más alejados del borde.

Los resultados de este estudio son útiles para el desarrollo de estrategias de conservación en el municipio, por ejemplo, en la elaboración de planes de manejo para la extracción de madera que consideren a las especies que se encuentran en alguna categoría de riesgo, o bien, para la integración del BPE de Cerro Alto en programas gubernamentales de conservación y manejo, por ejemplo, en aquellos vinculados con Bonos de Carbono; aunque, para ello, se debe modificar el diseño de muestreo para, también, cuantificar otros almacenes de C en este sitio.

Finalmente, se proporciona evidencia del comportamiento del BPE bajo la influencia del borde, por lo que este trabajo puede considerarse una posible hipótesis para predecir la extensión y magnitud del efecto de borde en otras comunidades vegetales similares sometidas a presión antrópica por cambio de uso de suelo para las que no hay datos empíricos.

11. LITERATURA CITADA

- Acosta, M. 2003. Diseño y aplicación de un método para medir los almacenes de carbono en sistemas con vegetación forestal y agrícolas de ladera en México. Tesis de doctorado, Colegio de Postgraduados. Montecillos, México, 135 p.
- Acosta, M., F. Carrillo y R. Gómez. 2011. Estimación de biomasa y carbono en dos especies de bosque mesófilo de montaña. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2: 529-543. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v2i4.1638>.
- Acosta, M., F. Carrillo-Anzures y M. Díaz-Lavariega. 2009. Determinación del carbono total en Bosques Mixtos de *Pinus patula* Schl. et Cham. *Terra Latinoamericana* 27(2): 105-114. ISSN: 2395-8030.
- Álvarez-Arteaga, G., N. E. García-Calderón, P. Krasilnikov y F. García-Oliva. 2013. Almacenes de carbono en bosques montanos de niebla de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Agrociencia* 47: 171-180. ISSN: 1405-3195
- APG IV. 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society* 181: 1-20. DOI: <https://doi.org/10.1111/boj.12385>.
- Arenas-Navarro, M., F. García-Oliva, A. Torres-Miranda, O. Téllez-Valdés y K. Oyama. 2020. Environmental filters determine the distribution of tree species in a threatened biodiversity hotspot in western Mexico. *Botanical Sciences* 98(2) 219-237. DOI: <http://dx.doi.org/10.17129/botsci.2398>.

- Avendaño, D., M. Acosta, F. Carrillo y J. Etchevers. 2009. Estimación de la biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. *Fitotecnia Mexicana* 32: 233-238. ISSN: 0187-7380.
- Ávila-Quezada, G. D., J. G. Torres-Martínez, M. Sétamou, A. A. Gardea-Béjar, C. A. Berzoza-Gaytán y N. Orduño-Cruz. 2022. Arvenses nativas y exóticas en parcelas de chile jalapeño. *Fitotecnia Mexicana* 45(3): 399-407. DOI: <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.3.399>.
- Ayala, R. 1998. Ecuaciones para estimar biomasa de pinos y encinos en la meseta central de Chiapas. Tesis profesional, Universidad Autónoma de Chapingo. México, 70 p.
- BDMTM. 2009. Sosa, *Solanum marginatum* L. Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana. Consultado 08 de diciembre 2022 en: <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/>
- Bell, D.M., T. A. Spies y R. Pabst. 2017. Historical harvests reduce neighboring old-growth basal area across a forest landscape. *Ecological Applications* 27: 1666-1676. DOI: <https://doi.org/10.1002/eap.1560>.
- Bocco, G., M. Mendoza y O. R. Masera. 2001. La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación (Parte 1). *Boletín Investigaciones Geográficas* 44: 18-38. ISSN 2448-7279.
- Bowering, M., V. LeMay y P. Marshall. 2006. Effects of forest roads on the growth of adjacent lodgepole pine trees. *Canadian Journal of Forest Research* 36: 919-29. DOI: <https://doi.org/10.1139/x05-300>.

- Briber, B.M., L. R. Hutyrá, A. B. Reinmann, S. M. Raciti, V. K. Dearborn, C. E. Holden y A. L. Dunn. 2015. Tree productivity enhanced with conversion from forest to urban land covers. *Plos One* 10: 1-19. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136237>.
- Brinck, K., R. Fischer, J. Groeneveld, S. Lehmann, M. Dantas de Paula, S. Pütz, J. O. Sexton, D. Song y A. Huth. 2017. High resolution analysis of tropical forest fragmentation and its impact on the global carbon cycle. *Nature Communications* 8(14855): 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms14855>.
- Burton, P. J. 2002. Effects of clearcut edges on trees in the sub-boreal spruce zone of northwest-central British Columbia. *Silva Fennica* 36(1): 329-352. DOI: 10.14214/sf.566.
- Cano, Z. 1994. Flujo de energía a través de *Sphenarium purpurascens* (Orthoptera: Acrididae) y productividad primaria neta aérea en una comunidad xerófila. Tesis de doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México. México, 198 p.
- CANEI, Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras. 2010. Estrategia nacional sobre especies invasoras en México, prevención, control y erradicación. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, 91 p.
- Carcavilla, L., J. J. Durán y J. López. 2008. Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. VII Congreso Geológico de España, Las Palmas de Gran Canaria. *Geo-Temas* 10: 1299-1303.
- Casiano-Domínguez, M., F. Paz-Pellat, M. Rojo-Martínez, S. Covaleda-Ocon y D. Raj-Arya. 2018. El carbono de la biomasa aérea medido en cronosecuencias: primera estimación

- en México. *Madera y Bosques* 24: 1-22. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401894>.
- Carranza-González, E. 1996. Garryaceae. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo 49. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío Pátzcuaro, Michoacán 49:1-17. DOI: <https://doi.org/10.21829/fb.250.1996.49>.
- Carranza-González, E. 2005. Biodiversidad. Angiospermas. En: Villaseñor-Villaseñor, L. Ed. La Biodiversidad en Michoacán. Estudio de Estado, 73-75 p, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Michoacán, Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia.
- Cayuela, L. 2006. Deforestación y fragmentación de bosques tropicales montanos en los Altos de Chiapas, México. Efectos sobre la diversidad de árboles. *Ecosistemas* 15(3): 192-198. DOI: 10.7818/RE.2014.15-3.00.
- Chacalo-Hilu, A y V. C. Nava-Esparza. 2009. Árboles y arbustos para las ciudades. Universidad Autónoma Metropolitana. México, 599 p. ISBN: 978 607 477 157 2.
- Chaplin, R., I. Ramler, R. Sharp, N. M. Haddad, J. S. Gerber, P. C. West, L. Mandle, P. Engstrom, A. Baccini, S. Sim, C. Mueller y H. King. 2015. Degradation in carbon stocks near tropical forest edges. *Nature Communications* 6(10158): 1-6. DOI: 10.1038/ncomms10158.
- Chávez, Ma. A. y F. Guevara. 2003. Flora arvense asociada al cultivo de maíz de temporal en el Valle de Morelia, Michoacán, México. Flora del Bajío y Regiones Adyacentes. Fascículo complementario XIX. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San

- Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán 1-24 p.
DOI: <https://doi.org/10.21829/fb.161.2003.XIX>.
- Chen, J., J. F. Franklin y T.A. Spies. 1992. Vegetation responses to edge environments in old-growth Douglas-fir forests. *Ecological Applications* 2: 387-396. DOI: 10.2307/1941873.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2005. La biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado. Villaseñor G., L. E. (editora). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México, 266 p. ISBN: 970 900 028 4.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2008. Georreferenciación de localidades de Colecciones Biológicas. Manual de procedimientos. México, 177 p. ISBN: 978 970 900 052 8.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2020. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Registros de ejemplares. Ciudad de México, México.
- CONAFOR, Comisión Nacional Forestal. 2010. Prácticas de reforestación, manual básico. México, 64 p.
- COP 7. 1997. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Naciones Unidas, Kyoto.
- Cornejo-Tenorio G., A. Casas, B. Farfán, J. L. Villaseñor y G. Ibarra. 2003. Flora y vegetación de las zonas núcleo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, México. *Boletín*

- de la Sociedad Botánica de México 73:43-62.
DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1678>.
- Cornejo-Tenorio, G., E. Sánchez-García, M. Flores-Tolentino, F. J. Santana-Michel y G. Ibarra. 2013. Flora y vegetación del cerro El Águila, Michoacán, México. *Botanical Sciences* 91(2): 155-180. DOI: 10.17129/botsci.411.
- Corona-Chávez, P., R. Maldonado, Y.R. Ramos-Arroyo, J. Robles-Camacho, R. Lozano-SantaCruz y M. Martínez-Medina. 2017. Geoquímica y mineralogía de los jales del distrito minero Tlalpujahua-El Oro, México, y sus implicaciones de impacto ambiental. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 34(3): 250-27.
DOI: <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2017.3.540>.
- Cortes-Santos, A y C. Varón-Hernández. 2018. Efecto de borde sobre la vegetación emergente en áreas fragmentadas de piedemonte en la Reserva Forestal Protectora Caño Vanguardia y Quebrada Vanguardiuno, Villavicencio–Meta. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería Ambiental Villavicencio, Universidad Santo Tomás. Colombia, 124 p.
- Cué-Bär, E. M., J. L. Villaseñor, A. Arredondo-Libertad, G. Cornejo-Tenorio, G. Ibarra. 2006. La flora arbórea de Michoacán, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 78: 47-81. DOI: 10.17129/botsci.1721.
- Departamento de Botánica, Instituto de Biología (IBUNAM), Herbario Nacional de México, Plantas Vasculares. En Portal de Datos Abiertos UNAM Colecciones Universitarias (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <http://datosabiertos.unam.mx/> (Octubre, 2020).

- DOF, Diario Oficial de la Federación. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM 059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de Especies en Riesgo. México, 78 p.
- Dueñas-Tamasco, D. 2013. Efecto de borde en los ecotonos café-bosque y café-potrero sobre el número de frutos y la incidencia de broca y roya en cultivos de café bajo sombra de la variedad castillo y caturra. Tesis Profesional. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia, 46 p.
- Durán, C. V y P. F. Sevilla. 2004. Atlas Geográfico del Estado de Michoacán. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, El Colegio de Michoacán, Secretaría de Educación en el Estado de Michoacán, EDDISA, S.A. de C.V., Morelia 235 p.
- Escandón-Calderón, J., B. H. J. de Jong, S. Ochoa-Gaona, I. March-Mifsut y M. A. Castillo. 1999. Evaluación de dos métodos para la estimación de biomasa arbórea a través de datos LANDSAT TM en Jusnajib La Laguna, Chiapas, México: estudio de caso. *Investigaciones Geográficas* 40: 71-84. DOI <https://doi.org/10.14350/rig.59095>.
- España-Boquera, M. L. y O. Champo-Jiménez. 2016. Proceso de deforestación en el municipio de Cherán, Michoacán, México (2006-2012). *Madera y Bosques* 22(1): 141-153. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2016.221482>.
- Espinosa, F. J. y J. Sarukhán. 1997. Manual de malezas del Valle de México: claves, descripciones e ilustraciones. México, D.F. Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica. México, 407 p. ISBN: 978-968-36-4969-0.
- Espinosa, G. J. y J. L. S. Rodríguez. 1995. Listado florístico del estado de Michoacán. Sección II (Angiospermae: Compositae). *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes*. Fascículo

- complementario VII. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío Pátzcuaro, Michoacán, 242 p. DOI: <https://doi.org/10.21829/fb.149.1995.VII>.
- Espinosa, G. J. y L. S. Rodríguez. 1996. Listado florístico del estado de Michoacán. Sección IV (Angiospermae: Fagaceae, Gramineae, Krameriaceae y Leguminosae). Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo complementario XII. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío Pátzcuaro, Michoacán, 271 p. DOI: <https://doi.org/10.21829/fb.154.1996.XII>.
- Espinoza-Rodríguez, L. M. 2017. Geoparque en el Distrito Minero Tlalpujahuá-El Oro. Ciencia UAT 11(2): 24-45. DOI: <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v11i2.798>.
- Euskirchen, E. S., J. Chen y R. Bi. 2001. Effects of edges on plant communities in a managed landscape in northern Wisconsin. Forest Ecology and Management 148: 93-108. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00527-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00527-2).
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2020. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 – Principales resultados. Roma, 16 p. DOI: <https://doi.org/10.4060/ca8753es>.
- Farjon, A., J. A. Pérez y B. T. Styles. 1997. Guía de campo de los pinos de México y América Central. The Royal Botanic Gardens, 151 p. ISBN: 978 190 034 737 2.
- Figueroa-Navarro, C. F., G. Ángeles-Pérez, A. Velázquez-Martínez y H. M. de los Santos-Posadas. 2010. Estimación de la biomasa en un bosque bajo manejo de *Pinus patula* Schldtl. et Cham. en Zacualtipán, Hidalgo. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 1(1): 105-112. DOI: [10.29298/rmcf.v1i1.658](https://doi.org/10.29298/rmcf.v1i1.658).
- François-Mas, J., R. Lemoine-Rodríguez, R. González, J. López-Sánchez, A. Piña-Garduño y E. Herrera-Flores. 2017. Evaluación de las tasas de deforestación en Michoacán a

- escala detallada mediante un método híbrido de clasificación de imágenes SPOT. *Madera y Bosques* 32(2): 1-13. DOI: 10.21829/myb.2017.2321472.
- Franquis, F. R. y A. M. Infante. 2003. Los bosques y su importancia para el suministro de servicios ambientales. *Revista Forestal Latinoamericana* 34: 17-30. ISSN: 0798-2437.
- Gálhidy L., B. Mihók, A. Hagyó, K. Rajkai y T. Standovár. 2006. Effects of gap size and associated changes in light and soil moisture on the understory vegetation of a Hungarian beech forest. *Plant Ecology* 183: 133-145. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11258-005-9012-4>.
- Galicia, L., V. Saynes y J. Campo. 2015. Biomasa aérea, biomasa subterránea y necromasa en una cronosecuencia de bosques templados con aprovechamiento forestal. *Botanical Sciences* 93(3): 473-484. DOI: 10.17129/botsci.66.
- Galicia, L., A. M. Gamboa-Cáceres, S. Cram, B. Chávez-Vergara, V. Peña Ramírez, V. Saynes y C. Siebe. 2016. Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. *Terra Latinoamericana* 34: 1-29. ISSN: 2395-8030.
- García-Aguilar., J.A, G. Rodríguez-Ortiz y J. Martínez-de la Cruz. 2015. Influencia de variables fisiográficas en la productividad de biomasa aérea en bosques mixtos. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 2(2): 87-98. ISSN: 2007-9559.
- García, E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía, Universidad Autónoma de México. México, 92 p. ISBN: 970-32-1010-4.
- García-Sánchez, L. A., I. Alvarado-Sizzo y J. L. Palacio-Prieto. 2020. Geoturismo y acción participativa: Estrategia de conservación del patrimonio geológico en el distrito minero

- de Tlalpujahua-El Oro, México. *Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural* 10: 203-235. DOI: 10.4422/ager.2020.10.
- Gavira-Márquez, M. C. 2009. Población y producción de plata en el Real de Minas de Tlalpujahua a mediados del siglo XVIII. *Estudios de Historia Novohispana* 34: 17-45. DOI: 10.22201/iih.24486922e.2006.034.3637.
- GBIF, Global Biodiversity Information Facility. 2016. Biodiversity Data. GBIF.org (11 Julio 2020).
- Gernandt, D. S y J. A. Pérez-de la Rosa. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Num. Supl. 85: S126-S133. DOI: 10.7550/rmb.32195.
- Giménez de Azcárate, J., M. I. Ramírez y M. Pinto. 2003. Las comunidades vegetales de la Sierra de Angangueo (estados de Michoacán y México, México): clasificación, composición y distribución. *Lazaroa* 24:87-111. DOI:10.5209/LAZAROA.10053.
- González-Medrano, F. 2004. Las comunidades vegetales de México, propuesta para la unificación de la clasificación y nomenclatura de la vegetación de México. Segunda edición. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología (INESEMARNAT). México, 82 p. ISBN: 968 817 611 7.
- Granados, C., D. Serrano-Giné y A. García-Romero. 2014. Efecto de borde en la composición y en la estructura de los bosques templados. Sierra de Monte-Alto, centro de México. *Ecología* 36(2): 269-287. DOI: 10.15446/caldasia.v36n2.47486.
- Gutiérrez, G. y M. Ricker. 2013. Manual para tomar virutas de madera con el barreno de Pressler en el Inventario Nacional Forestal y de Suelo. Instituto de Biología,

- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México D.F, 28 p.
DOI: 10.13140/RG.2.1.2730.9925.
- Hammer, O., T. A. Harper y P.D. Ryan. 2001. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontología Electrónica* 4: 1-9.
- Harper, K. A., S. E. Macdonald, P. J. Burton, J. Chen, K.D. Brosnokske, S.C. Saunders y E. S. Enie-Euskirchen. 2005. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. *Conservation Biology* 19(3): 768–782. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00045.x>.
- Hernández-Vera, D., M. Pompa-García, J. I. Yerena-Yamallel y E. Alanís-Rodríguez. 2017. Within-tree carbon concentration variation in three Mexican pine species. *Bosque* 38(2): 381-386. DOI: 10.4067/S0717-92002017000200015.
- Heithecker, T. D y C. B. Halpern. 2007. Edge-related gradients in microclimate in forest aggregates following structural retention harvests in western Washington. *Forest Ecology and Management* 248: 163-73. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.05.003>.
- Honorio, E. N y T. R. Baker. 2010. Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana/Universidad de Leeds. Lima, 54 p.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Tlalpujahua, Michoacán de Ocampo. Clave geoestadística 16093. México, 9 p.

- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2016. Conjunto de datos vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI (Capa Unión), escala: 1:250 000. Edición: 1. Aguascalientes, México.
- INAFED, Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. 2010. Tlalpujahua. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México, estado de Michoacán de Ocampo. SEGOB, Secretaría de Gobernación.
- IPCC. 2003. Orientación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático sobre las buenas prácticas para uso de la tierra y silvicultura [Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D.]. Intergovernmental Panel on Climate Change, 628 p.
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara y K. Tanabe (eds). IGES, Japón. ISBN 92-9169-320-0.
- IPCC. 2012. Glossary of terms. En: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, y New York, NY, USA 555-564 p.
- IPCC. 2021. Climate Change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)].

- Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 p. DOI:10.1017/9781009157896.
- IUCN. 2021. La Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN. Versión 2021-2. Disponible en: <https://www.iucnredlist.org>. (18/09/2021).
- IUSS Working Group WRB. 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos. FAO, Roma, 106 p. ISBN: 978 925 308 369 5.
- Labat, J. N. 1995. Vegetación del Noreste de Michoacán. Fascículo Complementario VIII. Instituto de Ecología, A.C., Pátzcuaro, 401 pp. DOI: <https://doi.org/10.21829/fb.150.1995.VIII>
- Laurance, W. F., S. G. Laurance, L. V. Ferreira, J. M. Rankin de Merona y C. Gascon. 1997. Biomass collapse in Amazonian forest fragments. *Science* 278: 1117–1118. DOI: 10.1126/ciencia.278.5340.1117.
- Leavenworth, W.C. 1946. A preliminary study of the vegetation of the region between Cerro Tancítaro and the Río Tepalcatepec, Michoacán, México. *American Midland Naturalist* 36:137- 206. DOI: <https://doi.org/10.2307/2421625>.
- Leopold, A. 1933. *Game Management*. Charles Scribner, Nueva Cork, USA, 481 p.
- Lidicker, W. Z. J. 1999. Responses of mammals to habitat edges: an overview. *Landscape Ecology* 14: 333-343. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1008056817939>.
- Longo, M. C y J. F. Blanco. 2009. Sobre los filtros que determinan la distribución y la abundancia de los macroinvertebrados diádromos y no-díadromos en cada nivel jerárquico del paisaje fluvial en islas. *Actualidades Biológicas* 31 (91): 179-195.

- López de Casanave, J., J. P. Pelotto y J. Protomastro. 1995. Edge-interior differences in vegetation structure and composition in a Chaco semi-arid forest, Argentina. *Forest Ecology and Management* 72: 61-69. DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(94\)03444-2](https://doi.org/10.1016/0378-1127(94)03444-2).
- López-Serrano, P.M., A. Hernández-Ramos, J. Méndez-González, M. Martínez-Salvador, O. Aguirre-Calderón, B. Vargas-Larreta y J.J. Corral-Rivas. 2021. Mejores prácticas de manejo y ecuaciones alométricas de biomasa *Agave salmiana* subsp. *crassispina* Trel. ex L.H. Bailey Gentry., en el estado de San Luis Potosí. Proyecto: 2017-4-292674. CONAFOR-CONACYT. México, 45 p. ISBN: 201 742 926 74.
- López-Barrera, F. 2004. Estructura y función en bordes de bosques. *Ecosistemas* 13(1): 67-77. ISSN: 1697-2473.
- Lou, J y A. González. 2012. Mimiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta Zoológica Lilloana*. 56 (1-2): 3-14. DOI:
- Macías, J.L., P. Corona-Chávez, J. M. Sánchez-Núñez, M. Martínez-Medina, V. H. Garduño-Monroy, F. García-Tenorio y G. Cisneros-Máximo. 2015. The 27 May 1937 catastrophic flow failure of gold tailings at Talpujahuá, Michoacán, México. *Natural Hazards Earth System Science Discuss* 2: 5361-5399. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-15-1069-2015>.
- Madrigal-Sánchez, X. 1997. Ubicación fisiográfica de la vegetación en Michoacán, México. *Ciencia Nicolaita* 15: 65-75.
- Magurran, A. E. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Science, 256 p. ISBN: 978 111 868 792 5.

- Martínez-Ambriz, E. 2020. Loranthaceae. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo 214. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío Pátzcuaro, Michoacán, 40 p. DOI: <https://doi.org/10.21829/fb.304.2020.214>.
- Martínez, D. R., J. L. Albín, J. C. Cabaleiro, T. F. Pena, F. F. Rivera y V. Blanco. 2009. El Criterio de Información de Akaike en la obtención de modelos estadísticos de rendimiento. XX Jornadas de Paralelismo 439-444.
- Martínez-González, L y A. Chacalo-Hilu. 1994. Los árboles de la Ciudad de México. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. Ciudad de México, México, 351 p. ISBN: 970 620 591 8.
- Martínez, M., J. C. Montero, E. A. Dean, R. Bye, M. Luna-Cavazos, J. M. Medina y J. Rzedowski. 2020. SOLANACEAE. Géneros *Acnistus* – *Witheringia*. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo 218. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío Pátzcuaro, Michoacán, 236 p. DOI: <https://doi.org/10.21829/fb.310.2020.218>.
- Matteucci, S. D. y A. Colma. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Serie de Biología, monografía No. 22. Washington D.C, 159 p. ISBN: 082 701 611 5.
- Medina-García, C. 2016. Bases para el conocimiento de los pisos bioclimáticos, la vegetación y la flora del occidente de Michoacán (México). Tesis de Doctorado. Universidad de Santiago de Compostela. Galicia, España, 260 p.
- Medina-García, C. y L. S. Rodríguez-Jiménez. 1993. Estudio florístico de la Cuenca del Río Chiquito de Morelia, Michoacán, México. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes.

- Fascículo Complementario IV. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío Pátzcuaro, Michoacán, 71 p. DOI: <https://doi.org/10.21829/fb.146.1993.IV>.
- Medina-García C., F. Guevara-Féfer, M.A. Martínez-Rodríguez., P. Silva-Sáenz y M.A. Chávez-Carbajal. 2000. Estudio florístico en el área de la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. *Acta Botánica Mexicana* 52: 5-41. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm52.2000.853>.
- Medina-García, C., J. Giménez de Azcárate y E. Velázquez Montes. 2020. Las comunidades vegetales del bosque de coníferas altimontano en el macizo del Tancítaro, Michoacán, México. *Acta Botánica Mexicana* 127: DOI 10.21829/abm127.2020.1584
- Mendoza-Hernández, P. E. 2013. Comunidades sintéticas para la restauración sucesional del bosque de encino y del matorral xerófilo del Ajusco medio, Distrito Federal, México. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México, 146 p.
- Miranda, F. y E. Hernández. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28: 29-179. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsoci.1084>.
- Molina-Paniagua, Ma. E. y S. Zamudio-Ruiz. 2010. Estudio florístico del pedregal de Arócutin, en la Cuenca del lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo Complementario XXV*. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío Pátzcuaro, Michoacán, 50 p. DOI: <https://doi.org/10.21829/fb.167.2010.XXV>.
- Monreal, C. M., J. D. Etchevers, M. Acosta, C. Hidalgo, J. Padilla, R. M. López, L. Jiménez y A. Velázquez. 2005. A method for measuring above- and below-ground C stocks in

- hillside landscapes. *Canadian Journal of Soil Science* 85: 523-530. DOI: <https://doi.org/10.4141/S04-086>.
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 p. ISBN: 849 224 952 8.
- Morrone, J.J. 2019. Regionalización biogeográfica y evolución biótica de México: encrucijada de la biodiversidad del Nuevo Mundo. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 90: e902980. DOI: <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2980>.
- Mueller-Dombois, D. y H. Ellenberg. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley and Sons. New York 44-66. ISBN: 047 162 290 7.
- Murillo, G. y A. Rodríguez. 2021. Claves dicotómicas para las especies de *Solanum* (Solanaceae) en México. *Botanical Sciences* 99(2): 413-446. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.2713>.
- Nava-Cruz, Y., M. Maass-Moreno, O. Briones-Villareal e I. Méndez-Ramírez. 2007. Evaluación del efecto de borde sobre dos especies del bosque tropical caducifolio de Jalisco, México. *Agrociencia* 41(1): 111-120. ISSN: 2521-9766.
- Návar, J. 2009a. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management* 257: 427-434. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.09.028>.
- Návar, J. 2009b. Allometric equations and expansion factors for tropical dry forest trees of eastern Sinaloa, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystem* 10: 45-52. ISSN: 1870-0462.

- Oosterhoorn, M y M. Kappelle. 2000. Vegetation structure and composition along an interior-edge-exterior gradient in a Costa Rican montane cloud forest. *Forest Ecology and Management* 126: 291-307. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00101-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00101-2).
- Ordóñez-Díaz, A. 1999. Estimación de la captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAP. México, D. F., México, 72 p. ISBN: 968 817 375 4.
- Ordóñez-Díaz, A., B.H.J. de Jong, F. García-Oliva, F.L. Aviña, J.V. Pérez, G. Guerrero, R. Martínez y O. Masera. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico. *Forest Ecology and Management* 255: 2074-2084. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.024>.
- Ordóñez-Díaz, A., R. Rivera-Vázquez, M. E. Tapia-Medina y L. R. Ahedo-Hernández. 2015. Contenido y captura potencial de carbono en la biomasa forestal de San Pedro Jarácuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(32): 7-16. ISSN: 2007-1132.
- Osuna-Vallejo, V., R. A. Lindig-Cisneros, A. Blanco-García, J. Cruz-deLeón, N. M. Sánchez-Vargas, C. Sáenz-Romero. 2020. Ensayo de especies y procedencias para restauración ecológica de residuos mineros en Tlalpujahua, Michoacán, México. *Agrociencia* 54: 101-114. ISSN: 1405-3195.
- Palacio-Prieto, J. L., G. Bocco, A. Velásquez, J. F. Mas, F. Takaki-Takaki., A. Victoria, L. Luna-González, G. Gómez-Rodríguez, J. López-García, M. Palma, L. Trejo-Vázquez, A. Peralta, J. Prado-Molina, A. Rodríguez-Aguilar, R. Mayorga-Saucedo y F. González-Medrano. 2000. La condición actual de los recursos forestales en México:

- resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía UNAM* 43:183-203.
- Paz-Pellat, F., J. M. Hernández-Ayón, R. Sosa-Ávalos y A. S. Velázquez-Rodríguez. (Editores). 2019. *Estado del Ciclo del Carbono en México: Agenda Azul y Verde. Programa Mexicano del Carbono*. Texcoco, Estado de México, México, 716 p. ISBN: 978 607 964 907 4.
- Paz-Pellat, F., B. De Jong, M. Acosta-Mireles, G. Ángeles-Pérez, J. M. Dupuy-Rada, M. Guevara-Santamaría, M. Manzano-Camarillo, J. Méndez-González, F. Rojas-García, V. Salas-Aguilar, L. Soto-Pinto, B. Vargas-Larreta, R. Vargas, A. S. Velázquez-Rodríguez y E. Yépez-González. 2020. Almacenes y dinámica del carbono en selvas y bosques de México: parametrizaciones y fuentes de incertidumbre. *Elementos para Políticas Públicas* 4(2): 169-189. ISSN: 2448-5578.
- Pech-Cárdenas, F. D. y B. V. López-Cetina. 2014. Los trabajos florísticos: importancia y limitaciones. *Herbario CICY* 6: 82-83.
- Peña-Becerril, J.C., A. Monroy-Ata, F. J. Álvarez-Sánchez y Ma. S. Orozco-Almanza. 2005. Uso del efecto de borde de la vegetación para la restauración ecológica del bosque tropical. *Revista Tópicos de Investigación y Posgrado (TIP) especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 8(2): 91-98. ISSN: 1405-888X.
- Pérez-Calix E. 1996. *Flora y Vegetación de la Cuenca del Lago de Zirahuén, Michoacán, México. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo Complementario XIII*. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío Pátzcuaro, Michoacán, 74 p. DOI: <https://doi.org/10.21829/fb.155.1996.XIII>.

- Pérez-Mojica, E y S. Valencia. 2017. Estudio preliminar del género *Quercus* (Fagaceae) en Tamaulipas, México. *Acta Botánica Mexicana* 120: 59-111. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm120.2017.1264>.
- Pimienta de la Torre, D. de J., G. Domínguez-Cabrera, O. Aguirre-Calderón, F.J. Hernández y Javier Jiménez-Pérez. 2007. Estimación de biomasa y contenido de carbono de *Pinus cooperi* Blanco, en Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y Bosques* 13(1): 35-46. DOI: 10.21829/myb.2007.1311234.
- Pinto, S. R. R., G. Mendes, A. M. M. Santos, M. Dantas, M. Tabarelli and F. Melo. 2010. Landscape attributes drive complex spatial microclimate configuration of Brazilian Atlantic forest fragments. *Tropical Conservation Science* 3(4): 399-402. DOI: <https://doi.org/10.1177/194008291000300404>.
- Piñón- Becerril, J. B. A. 2007. Posibilidad de aprovechamiento de *Pinus pinea* en Tlalpujahua, Mich. Méx. Tesis Profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, División de Ciencias y Humanidades Facultad de Biología. Michoacán, 97 p.
- Pohlman, C. L., S.M. Turton y M. Goosem. 2009. Temporal variation in microclimatic edge effects near powerlines, highways and streams in Australian tropical rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology* 149: 84-95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.07.003>.
- Pompa-García M, J. A. Sigala-Rodríguez, E. Jurado y J. Flores. 2017. Tissue carbon concentration of 175 Mexican forest species. *iForest* 10: 754-758. DOI: <https://doi.org/10.3832/ifor2421-010>.
- Quinn, P. G. y M. J. Keough. 2002. *Experimental design and data analysis for biologists*. Cambridge University Press, New York, 537 p. ISBN: 051 107 812 9.

- Razafindratsima, O. H., K. A. Brown, F. Carvalho, S. E. Johnson, P. C. Wright y A. E. Dunham. 2017. Edge effects on components of diversity and above-ground biomass in a tropical rainforest. *Journal of Applied Ecology* 55: 977-985. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.1298>
- Reinmann, A. B y L. R. Hutyra. 2017. Edge effects enhance carbon uptake and its vulnerability to climate change in temperate broadleaf forests. *PNAS* 114: 107–112. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1612369114>.
- Ritter, E., L. Dalsgaard y K.S. Einhorn. 2005. Light, temperature and soil moisture regimes following gap formation in a semi-natural beech-dominated forest in Denmark. *Forest Ecology and Management* 206: 15–23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.08.011>.
- Rodríguez-J, L. S. y G. J. Espinosa. 1995. Listado florístico del estado de Michoacán. Sección I (Gymnospermae; Angiospermas: Acanthaceae-Commelinaceae). *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo Complementario VI*. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío Pátzcuaro, Michoacán, 208 p. DOI: <https://doi.org/10.21829/fb.148.1995.VI>.
- Rodríguez-J, L. S. y G. J. Espinosa. 1996a. Listado florístico del Estado de Michoacán. Sección III (Angiospermae: Connaraceae-Myrtaceae, excepto Fagaceae, Graminae, Krameriaceae y Leguminosae). *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo Complementario X*. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío Pátzcuaro, Michoacán, 296 p. DOI: <https://doi.org/10.21829/fb.152.1996.X>.
- Rodríguez-J. L. S. y G. J. Espinosa. 1996b. Listado florístico del estado de Michoacán. Sección V (Angiospermae: Najadaceae Zygothylaceae). *Flora del Bajío y de*

- Regiones Adyacentes. Fascículo Complementario XV. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío Pátzcuaro, Michoacán, 344 p. DOI: <https://doi.org/10.21829/fb.157.1996.XV>.
- Rodríguez-Laguna, R., J. Jiménez, J. Meza, O. Aguirre y R. Razo. 2008. Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 4: 215-222.
- Rodríguez-Laguna, R., J. Jiménez, O. A. Aguirre, E. J. Treviño y R. Razo. 2009. Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la Reserva de la Biosfera El cielo, Tamaulipas, México. *Ra Ximhai* 5(3): 317-327. DOI: [10.35197/rx.05.03.2009.06.rr](https://doi.org/10.35197/rx.05.03.2009.06.rr).
- Rojas, F. 2004. Contenido y captura potencial de carbono en el bosque de *Pinus hartwegii* del Parque Nacional Malinche: Tlaxcala-Puebla. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, 68 p.
- Rojas-García, F., B.H. J. De Jong, P. Martínez-Zurimendí y F. Paz-Pellat. 2015. Database of 478 allometric equations to estimate biomass for Mexican trees and forests. *Annals of Forest Science* 72(6): 835-864. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-015-0456-y>.
- Rojas-García, F. y L. Villers-Ruíz. 2008. Estimación de la biomasa forestal del Parque Nacional Malinche: Tlaxcala-Puebla. *Ciencia Forestal en México* 33(104): 59-86.
- Romero-Rangel, S., E. C. Rojas-Zenteno y L. E. Rubio-Licona. 2015. Encinos de México (*Quercus*, Fagaceae) 100 especies. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 288 p. ISBN: 978 607 026 650 8.

- Romero-Torres, M. y A. Ramírez-Varela. 2011. Efecto de borde sobre el proceso de descomposición de hojarasca en bosque nublado. *Acta Biológica Colombiana* 16(2): 155-173. ISSN: 0120-548X.
- Rzedowski, J. 2003. Flora y vegetación silvestres 63-66 pp. En: SEP-UMSNH. 2003. Secretaría de Educación Pública en Michoacán y Universidad Michoacán de San Nicolás de Hidalgo. Atlas Geográfico de Michoacán. Segunda Edición. EDDISA, México, 308 p.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, 504 p.
- Rzedowski, J. y F. Guevara. 1992. Burseraceae. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo 3. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío Pátzcuaro, Michoacán, 52 p. DOI: <https://doi.org/10.21829/fb.129.1992.3>.
- Sánchez-Núñez, J. M. 2015. Rompimiento y desborde de presas de jales: el caso de estudio de Tlalpujahuá (27 de mayo de 1937). *Ciencia Nicolaíta* 65: 95-119. DOI: <https://doi.org/10.35830/cn.vi65.260>.
- Santiago-Pérez, A. L., E. J. Jardel-Peláez, R. Cuevas-Guzmán y F. Martín Huerta-Martínez. 2009. Vegetación de bordes en un bosque mesófilo de montaña del occidente de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 85: 31-49. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsoci.2301>.
- Santiago-Pérez, A. L., R. Villavicencio-García, J. J. Godínez-Herrera, J. M. Chávez-Anaya y S. L. Toledo-González. 2012. Tamaño de fragmentos forestales en el bosque de pino-encino, Sierra de Quila, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3(14): 23-38. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v3i14.472>.

- Schulze, E., C. Wirth and M. Heimann. 2000. Managing forests after Kyoto. *Science* 289: 2058-2059. DOI: [10.1126/ciencia.289.5487.205](https://doi.org/10.1126/ciencia.289.5487.205).
- Seppelt, R., C. F. Dormann, F. V. Eppink, S. Lautenbach y S. Schmidt. 2011. A quantitative review of ecosystem service studies: approaches, shortcomings and the road ahead. *Journal of Applied Ecology* 48: 630-636. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01952.x>.
- Silva-Sáenz, P. 2017. Flora y vegetación de los pedregales del municipio de Huaniqueo, Michoacán, México. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo Complementario XXXII. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío Pátzcuaro, Michoacán, 51 p. DOI: <https://doi.org/10.21829/fb.173.2017.XXXII>.
- Sizer, N. y E. V. J. Tanner. 1999. Responses of woody plant seedlings to edge formation in a lowland tropical rainforest, Amazonia. *Biological Conservation* 91(2): 135-142. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(99\)00076-2](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(99)00076-2).
- Smith, I., L. R. Hutyyra, A. B. Reinmann, J. K. Marrs y J. R. Thompson. 2018. Piecing together the fragments: elucidating edge effects on forest carbon dynamics. *Frontiers in Ecology and the Environment* 16(4): 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1002/fee.1793>.
- Sola, G., N. Picard, L. Saint-André y M. Henry. 2012. Resumen del manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción. Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Rome, Montpellier, 17 p.

- Toscana-Aparicio, A y A. M. Fernández-Poncela. 2019. Talpujahua, Michoacán. De asentamiento minero a turístico. URBS. Revista de Estudios Urbanos y Ciencias Sociales 9(2): 83-95.
- Turton, S.M. y H. I. Freiburger. 1997. Edge and aspect effects on the microclimate of a small tropical forest remnant on the Atherton Tableland, Northeastern Australia. En: Tropical forest remnants. Ecology, management and conservation of fragmented communities (eds. Laurance, W.F. & Bierregaard, R.O. Jr.), University of Chicago Press, Chicago, 45- 54 p. ISBN: 022 646 899 2.
- Uribe-Salas, J. A. 2010. Historia económica y social de la Compañía y Cooperativa Minera “Las Dos Estrellas”, en El Oro y Talpujahua, 1898-1959, México. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo/Consejo Superior de la Investigación Científica, 572 p. ISBN: 978 840 009 237 5.
- Valencia, S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 75: 33-53. DOI: <http://dx.doi.org/10.17129/botsci.1692>.
- Valencia, S., G. Flores., J. Jiménez y M. Mora. 2017. Distribution and diversity of Fagaceae in Hidalgo, México. Botanical Sciences 95(4): 660-721. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1020>.
- Van der Sleen, P., C.C. Soliz, G. Helle, T. L. Pons, N. P. R. Anten y P. A. Zuidema. 2014. Understanding causes of tree growth response to gap formation: $\Delta^{13}\text{C}$ -values in tree rings reveal a predominant effect of light. Trees 28: 439-48. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-013-0961-2>.

- Velázquez, J., J. Giménez de Azcárate, M. Escamilla-Weinmann, G. Bocco y E. Van der Maarel. 2000. Vegetation dynamics on Paricutin a recent Mexican volcano. *Acta Phytogeographica Suecica* 85: 71-78. ISSN: 0084-5914.
- Vigil, N. 2010. Estimación de biomasa y contenido de carbono en *Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Endl. en el campo forestal experimental Las Cruces, Texcoco, México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. México, 71 p.
- Villagómez-Flores, E., O. Hinojosa-Espinosa y J. L. Villaseñor. 2018. El género *Stevia* (Eupatorieae, Asteraceae) en el estado de Morelos, México. *Acta Botánica Mexicana* 125: 7-36. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm125.2018.1315>.
- Villareal, J. A. 2000. Caprifoliaceae. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo 88. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío Pátzcuaro, Michoacán, 17 p. DOI: <https://doi.org/10.21829/fb.295.2000.88>.
- Villaseñor, J. L. 2003. Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. *Interciencia* 28(3): 160-167. ISSN: 0378-1844.
- Villaseñor, J. L. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87(3): 559-902. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>.
- Villaseñor, J. L. 2018. Diversidad y distribución de la familia Asteraceae en México. *Botanical Sciences* 96(2): 332-358. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1872>.
- Williams-Linera, G. 1993. Vegetación de bordes de un bosque nublado en el Parque Ecológico Clavijero, Xalapa, Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical* 41(3): 443-45. ISSN: 0034-7744.

- Zamudio, S. y E. Carranza. 1994. Cupressaceae. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo 29. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío Pátzcuaro, Michoacán, 20 p. DOI: <https://doi.org/10.21829/fb.229.1994.29>.
- Ziter, C., E. M. Bennett y A. González. 2021. Correction to: Temperate forest fragments maintain aboveground carbon stocks out to the forest edge despite changes in community composition. *Oecología* 196(3): 935. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-014-3061-0>.

12. ANEXOS

12.1 Composición florística de Tlalpujahua, Michoacán, México

Cuadro 11. Composición florística del municipio de Tlalpujahua, Michoacán, México a partir de estudios publicados y de bases de datos. Se muestra la familia, género, especie, nombre común y forma de vida. Las especies endémicas se indican con un asterisco (*), las especies nativas con dos asteriscos (***) y las especies introducidas con tres asteriscos (***).

Familia/especie	Nombre común	Forma de vida
GIMNOSPERMAS		
Cupressaceae		
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	Cedro blanco	Árbol
<i>Juniperus blancoi</i> Martínez		Árbol
<i>Juniperus deppeana</i> Steud	Sabino	Árbol
<i>Juniperus monticola</i> Martínez*	Enebro azul	Árbol
Pinaceae		
<i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schltld. & Cham.*	Oyamel	Árbol
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltld. & Cham.*	Pino Chimonque	Árbol
<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltld. & Cham.*	Ocote colorado	Árbol
<i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl.	Pino lacio	Árbol
<i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schltld. & Cham.*	Pino azteca	Árbol
ANGIOSPERMAS		
Adoxaceae		
<i>Sambucus canadensis</i> L.***	Tilo	Arbusto
<i>Sambucus cerulea</i> Raf.	Sauco azul	Arbusto
<i>Viburnum acutifolium</i> Benth.		Arbusto
<i>Viburnum elatum</i> Benth.		Arbusto
<i>Viburnum microphyllum</i> (Oerst.) Hemsl.		Arbusto
Amaranthaceae		
<i>Iresine ajuscana</i> Suess. y Beyerle		Arbusto
Anacardiaceae		
<i>Schinus molle</i> L.***	Pirul	Árbol
Aquifoliaceae		
<i>Ilex discolor toluhana</i> (Hemsl.) Edwin ex J. Linares	Limoncillo	Árbol
Asteraceae		
<i>Ageratina mairetiana</i> (DC.) RMKing & H.Rob.**	Golpe	Arbusto
<i>Ageratina petiolaris</i> (Moc. & Sessé ex DC.) RMKing & H.Rob.*	Hierba del burro	Arbusto

Cuadro 11. Continuación

<i>Ageratina rhomboidea</i> (Kunth) RMKing & H.Rob.		Arbusto
<i>Archibaccharis asperifolia</i> S.F.Blake		Arbusto
<i>Archibaccharis hieracioides</i> S.F.Blake		Arbusto
<i>Archibaccharis hirtella</i> Heering		Arbusto
<i>Archibaccharis serratifolia</i> S.F.Blake		Arbusto
<i>Baccharis multiflora</i> Kunth	Escobilla	Arbusto
<i>Baccharis serraefolia</i> DC.		Arbusto
<i>Barkleyanthus salicifolius</i> (Kunth) H.Rob. & Brettell.**	Jara	Arbusto
<i>Brickellia secundiflora</i> A. Gray.*	Jara blanca	Arbusto
<i>Coreopsis petrophiloides</i> B.L.Rob. & Greenm.		Arbusto
<i>Montanoa grandiflora</i> Hemsl.*	Vara blanca	Arbusto
<i>Roldana barba-johannis</i> (DC.) H.Rob. Y Brettell.**	Barba de San Juan de Dios	Arbusto
<i>Roldana candicans</i> (Née) Villaseñor, S. Valencia & Coombes.*	Hediondilla	Arbusto
<i>Roldana hederifolia</i> (Hemsl.) H.Rob. Y Brettell.		Arbusto
<i>Roldana heracleifolia</i> (Hemsl.) H.Rob. Y Brettell.*		Arbusto
<i>Senecio cinerarioides</i> Kunth.*	Jarilla	Arbusto
Betulaceae		
<i>Alnus acuminata glabrata</i> (Fernald) Furlow	Aile	Árbol
Capparaceae		
<i>Crateva tapia</i> L.	Manzana de playa	Árbol
Caprifoliaceae		
<i>Symphoricarpos microphyllus</i> (Humb. & Bonpl. Ex Schult.) Kunth	Perlita o rejagar	Arbusto
Celastraceae		
<i>Celastrus pringlei</i> Rosa		Arbusto
Clethraceae		
<i>Clethra mexicana</i> D.C.*	Mamojuaxtle	Árbol
Cornaceae		
<i>Cornus excelsa</i> Kunth	Aceitunillo	Arbusto
Crassulaceae		
<i>Sedum bourgaei</i> Hemsl.	Texiote	Arbusto
Ericaceae		
<i>Arbutus tessellata</i> P.D. Sorensen	Madroño	Árbol
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	Madroño	Árbol
<i>Arctostaphylos pungens</i> Kunth	Pingüica o Pindicua	Arbusto
<i>Comarostaphylis discolor</i> (Hook.) Diggs	Madroño	Árbol
<i>Comarostaphylis longifolia</i> (Benth.) Klotzsch		Árbol

Cuadro 11. Continuación

<i>Comarostaphylis polifolia</i> (Kunth) Zucc. ex Klotzsch.*	Nariz de lobo	Árbol
Euphorbiaceae		
<i>Croton adspersus</i> Benth.	Cuahuilotillo	Arbusto
Fabaceae		
<i>Calliandra houstoniana anomala</i> (Kunth) Barneby.**	Cabellos de ángel	Arbusto
<i>Dalea versicolor</i> Zucc.	Ratoncito	Arbusto
<i>Erythrina americana</i> Mill.**	Colorín	Árbol
<i>Erythrina leptorhiza</i> Moc. & Sessé ex DC.	Colorín negro	Arbusto
<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ortega) Sarg.**	Palo azul	Árbol
<i>Inga vera</i> Willd.	Aguatope	Árbol
<i>Mimosa aculeaticarpa</i> Ortega.**	Espino	Arbusto
<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight y Arn.**	Huizache	Árbol
<i>Vachellia schaffneri</i> (S. Watson) Seigler y Ebinger.**	Huizache	Árbol
Fagaceae		
<i>Quercus acutifolia</i> Née.*	Aguatle	Árbol
<i>Quercus castanea</i> Née.	Encino capulincillo	Árbol
<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl.	Encino blanco	Árbol
<i>Quercus crassipes</i> Bonpl.*	Encino tesmoillo	Árbol
<i>Quercus deserticola</i> Trel.	Encino	Árbol
<i>Quercus frutex</i> Trel.	Encino	Árbol
<i>Quercus laurina</i> Bonpl.	Encino laurelillo	Árbol
<i>Quercus mexicana</i> Bonpl.	Encino amarillo	Árbol
<i>Quercus rugosa</i> Née.*	Encino quiebra hacha	Árbol
<i>Quercus salicifolia</i> Née	Encino	Árbol
<i>Quercus xalapensis</i> Bonpl.	Encino	Árbol
Garryaceae		
<i>Garrya laurifolia</i> Benth.	Cuachichic	Árbol
Grossulariaceae		
<i>Ribes ciliatum</i> Humb. & Bonpl. ex Schult.	Capulincillo	Arbusto
<i>Ribes microphyllum</i> Kunth.		Arbusto
Lamiaceae		
<i>Clinopodium macrostemum</i> (Moc. Y Sessé ex Benth.) Kuntze	Poleo	Arbusto
Loranthaceae		
<i>Cladocolea diversifolia</i> (Benth.) Kuijt		Árbol
<i>Cladocolea grahamii</i> (Benth.) Tiegh.		Árbol
<i>Cladocolea pedicellata</i> Kuijt		Árbol

Cuadro 11. Continuación

Moraceae		
<i>Ficus carica</i> L.***	Higuera	Árbol
Myrtaceae		
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.***	Eucalipto	Árbol
Onagraceae		
<i>Fuchsia parviflora</i> Lindl.	Anagracia	Arbusto
<i>Fuchsia thymifolia</i> Kunth.	Adelaida	Arbusto
<i>Fuchsia</i> × <i>hybrida</i> Voss	Aretillo	Arbusto
Pentaphylacaceae		
<i>Cleyera integrifolia</i> (Benth.) Choisy	Flor de tila	Árbol
Phytolaccaceae		
<i>Phytolacca icosandra</i> L.**	Mazorquilla	Arbusto
Polygalaceae		
<i>Monnina ciliolata</i> Moc. & Sessé ex DC.	Lima o Angoldo	Arbusto
<i>Monnina schlechtendaliana</i> D. Dietr.		Arbusto
<i>Monnina xalapensis</i> Kunth.	Hierba de la mula	Arbusto
Ranunculaceae		
<i>Clematis dioica</i> L.	Barba de chivo	Árbol
<i>Clematis grahamii</i> Benth.		Árbol
Rhamnaceae		
<i>Ceanothus caeruleus</i> Lag	Baral o baradel	Arbusto
<i>Frangula mucronata</i> (Schltdl.) Grubov	Palo moreno	Árbol
Rosaceae		
<i>Acaena elongata</i> L.	Pega ropa	Arbusto
<i>Cercocarpus mexicanus</i> Henrard.*		Árbol
<i>Crataegus gracilior</i> J.B.Phipps	Manzanita	Árbol
<i>Crataegus mexicana</i> Moc. & Sessé ex DC.**	Tejocote	Árbol
<i>Prunus brachybotrya</i> Zucc.	Barranco	Árbol
<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch.***	Durazno	Árbol
<i>Prunus serotina</i> Ehrh.**	Capulín	Árbol
<i>Pyrus communis</i> L.***	Peral	Árbol
Rutaceae		
<i>Casimiroa edulis</i> La Llave & Lex	Zapote blanco	Árbol
Salicaceae		
<i>Salix aeruginosa</i> E. Carranza		Árbol
<i>Salix babylonica</i> L.***	Sauce llorón	Árbol
<i>Salix bonplandiana</i> Kunth.	Ahuejote	Árbol
Santalaceae		
<i>Arceuthobium abietis-religiosae</i> Heil	Injerto	Arbusto

Cuadro 11. Continuación

<i>Phoradendron reichenbachianum</i> (Parece) Oliv.	Injerto	Arbusto
<i>Phoradendron velutinum</i> (DC.) Nutt.	Barbas	Arbusto
Scrophulariaceae		
<i>Buddleja cordata</i> Kunth.*	Tepozán blanco	Árbol
<i>Buddleja parviflora</i> Kunth.*	Sayolisco	Árbol
<i>Buddleja sessiliflora</i> Kunth.	Hierba de tepozán	Árbol
Smilacaceae		
<i>Smilax moranensis</i> Martens y Galeotti.	Itamo real	Arbusto
Solanaceae		
<i>Cestrum anagyris</i> Dunal		Arbusto
<i>Cestrum commune</i> CV Morton ex Mont. -Castro		Arbusto
<i>Cestrum laxum</i> Benth.	Huele de noche	Arbusto
<i>Cestrum thyrsoideum</i> Kunth	Zapotillo	Arbusto
<i>Nicotiana glauca</i> Graham.***	Tabaquillo sudamericano	Arbusto
<i>Physalis coztomatl</i> Moc. y Sessé ex Dunal	Coztomate	Arbusto
<i>Physalis orizabae</i> Dunal.*	Tomate de bota	Arbusto
<i>Physalis philadelphica</i> Lam.	Tomate de cáscara	Arbusto
<i>Physalis stapelioides</i> (Decne. Ex Regel) Amargo		Arbusto
<i>Solanum erianthum</i> D.Don	Salvadora	Arbusto
<i>Solanum marginatum</i> L.f.***	Bola de oro	Arbusto
<i>Solanum pubigerum</i> Dunal	Hierba del muerto	Arbusto
Symplocaceae		
<i>Symplocos citrea</i> Lex.	Chico	Árbol
Verbenaceae		
<i>Lippia umbellata</i> Cav.	Hierba dulce	Arbusto

Cuadro 12. Especies de plantas que se encuentran en alguna categoría de riesgo, de acuerdo con la NOM-050-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010) y la Lista Roja de Especies Amenazadas (IUCN, 2021) en el municipio de Tlalpujahua, Michoacán, México.

NOM-059-SEMARNAT-2010		
Amenazada (A)	Sujeta a protección especial (Pr)	
<i>Erythrina americana</i>	<i>Comarostaphylis discolor</i> <i>Cupressus lusitanica</i>	
Lista Roja de Especies Amenazadas		
Casi amenazada (NT)	Vulnerable (VU)	En peligro (EN)
<i>Viburnum elatum</i>	<i>Ilex discolor toluhana</i>	<i>Buddleja cordata</i>
<i>Juniperus blancoi</i>	<i>Quercus acutifolia</i>	<i>Buddleja parviflora</i>
<i>Arbutus xalapensis</i>	<i>Quercus xalapensis</i>	<i>Buddleja sessiliflora</i>



Efecto de borde sobre la diversidad florística y almacenamiento de carbono en un Bosque de Pino-Encino de Tlalpujahua, Michoacán, México.

En la Ciudad de México, se presentaron a las 11:00 horas del día 27 del mes de febrero del año 2023 en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

DRA. SARA LUCIA CAMARGO RICALDE
DR. JOSE ALEJANDRO ZAVALA HURTADO
DRA. FABIOLA ROJAS GARCIA
M. EN C. ANGELICA MARTINEZ BERNAL



JENNY FLORES MEDINA
ALUMNA

Bajo la Presidencia de la primera y con carácter de Secretaria la última, se reunieron para proceder al Examen de Grado cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

MAESTRA EN BIOLOGIA

DE: JENNY FLORES MEDINA

y de acuerdo con el artículo 78 fracción III del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

APROBAR

Acto continuo, la presidenta del jurado comunicó a la interesada el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.

REVISÓ

MTRA. ROSALIA SERRANO DE LA PAZ
DIRECTORA DE SISTEMAS ESCOLARES

DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CBS

DR. JOSE LUIS GOMEZ OLIVARES

PRESIDENTA

DRA. SARA LUCIA CAMARGO RICALDE

VOCAL

DR. JOSE ALEJANDRO ZAVALA HURTADO

VOCAL

DRA. FABIOLA ROJAS GARCIA

SECRETARIA

M. EN C. ANGELICA MARTINEZ BERNAL