

RIQUEZA Y DISTRIBUCIÓN DE LICOPODIOS Y HELECHOS DEL PARQUE NACIONAL EL CHICO, ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO

RICHNESS AND DISTRIBUTION OF LYCOPHYTES AND FERNS FROM EL CHICO NATIONAL PARK, HIDALGO STATE, MEXICO

 HÉCTOR SERRANO-MARTÍNEZ¹,  ADRIANA BEATRIZ ORTIZ-QUIJANO²,
 J. DANIEL TEJERO-DÍEZ³,  ARTURO SÁNCHEZ-GONZÁLEZ^{1*}

¹ Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México.

² Escuela Superior de Actopan, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Actopan, Hidalgo. México.

³ Laboratorio de Botánica, Unidad de Morfología y Función, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Tlalnepanitla, Estado de México, México.

*Autor para la correspondencia: arturosg@uaeh.edu.mx

Resumen:

Antecedentes: El Parque Nacional El Chico (PNC), una de las primeras áreas naturales protegidas (ANP) en México, es relevante por los servicios ambientales y biodiversidad que alberga, por lo que es necesario conocer su flora.

Preguntas: ¿Cuál es la riqueza y distribución de licopodios y helechos en los diferentes tipos de vegetación del PNC? ¿Cómo es la diversidad beta, en ambos grupos de plantas en el PNC, con respecto a otras ANP del estado de Hidalgo?

Especies de estudio: Helechos y licopodios

Sitio y años de estudio: Parque Nacional El Chico, 2008-2009, 2022

Métodos: Se recolectaron ejemplares en 18 localidades y siete tipos de vegetación y se determinaron a nivel de especie. Se estimó diversidad taxonómica, semejanza en composición de especies, diversidad beta y complementariedad, con técnicas estándar.

Resultados: Se recolectaron 205 ejemplares que representan 63 especies de helechos y cinco de licopodios. Las familias representativas fueron Aspleniaceae, Dryopteridaceae, Polypodiaceae, Pteridaceae y Selaginellaceae (> 5 especies cada una). La riqueza fue alta en los bosques de *Abies-Quercus*, galería, *Quercus* y *Abies* (> 22 especies en cada uno). El número de especies por unidad de área fue elevado, comparado con otras ANP y regiones aledañas; la complementariedad fue alta con respecto a las dos ANP de mayor extensión territorial en Hidalgo.

Conclusiones: El PNC alberga 60.2 % de las especies de licopodios y helechos de la cuenca de México, y presenta alta diversidad taxonómica y complementariedad, comparado con otras ANPs de la entidad, lo cual resalta su importancia como reservorio de biodiversidad.

Palabras clave: Área natural protegida, bosque de *Abies*, complementariedad, diversidad taxonómica, Pteridaceae, tipos de vegetación.

Abstract

Background: El Chico National Park (PNC), one of the first protected natural areas (ANP) in Mexico, is relevant for the environmental services and biodiversity it houses, so it is necessary to know its flora.

Questions: What is the richness and distribution of lycophytes and ferns in the different types of vegetation in the PNC? How is the beta diversity, in both groups of plants in the PNC with respect to other ANP in Hidalgo State?

Studied species: Ferns and lycophytes

Study site and dates: El Chico National Park, 2008-2009, 2022.

Methods: Specimens were collected in 18 localities and seven vegetation types, and determined to the species level. Taxonomic diversity, similarity in species composition, beta diversity and complementarity were estimated using standard techniques.

Results: 205 specimens were collected, and 63 species of ferns and five of lycophytes were determined. The representative families were Aspleniaceae, Dryopteridaceae, Polypodiaceae, Pteridaceae, and Selaginellaceae (> 5 species each). Richness was high in *Abies-Quercus*, Gallery, *Quercus*, and *Abies* forests (> 22 species in each). The number of species per area unit was high, compared to other ANP and neighboring regions; the complementarity was high with respect to the two ANPs with the largest territorial extension in Hidalgo.

Conclusions: The PNC is home to 60.2 % of the species of lycophytes and ferns in the Basin of Mexico, and presents high taxonomic diversity and complementarity, compared to other ANPs in the entity, which highlights its importance as a biodiversity reservoir.

Keywords: *Abies* forest, complementarity, natural protected area, Pteridaceae, taxonomic diversity, vegetation types.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution License CCBY-NC (4.0) internacional.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



En Hidalgo se inició la protección oficial de los recursos forestales de México con la creación de la reserva forestal El Chico, en el año de 1898. Ahora como Parque Nacional El Chico (PNC), es un área de gran belleza escénica e importancia biológica, al albergar uno de los bosques de oyamel (*Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham.) de mayor extensión territorial que existen en la cuenca del Valle de México. Actualmente el estado cuenta con 57 Áreas Naturales Protegidas (ANP), cinco de carácter federal, ocho estatal y 44 municipal; las áreas de competencia federal cubren cerca de 131,667 ha (CONANP 2005, ECUSBEH 2020).

Las ANP están destinadas entre otras cosas a la conservación del paisaje, biodiversidad y ecosistemas que contienen, los cuales son fundamentales en la provisión de bienes y servicios ambientales. Así, la vegetación del PNC realiza importantes funciones ecológicas, además de la riqueza de especies que alberga, es una zona de captación pluvial y recarga de acuíferos, que mantiene el equilibrio hidrológico regional al aportar agua a las cuencas del Valle de México y del Pánuco, quizá la región del país con mayor densidad demográfica. A pesar de ello, existen problemas de tala clandestina, extracción de tierra de monte, sobrepastoreo, asentamientos humanos, incendios forestales y cacería furtiva, entre otros (CONANP 2005).

Si bien, el PNC es emblemático y está ubicado cerca de una de las áreas metropolitanas más grandes del mundo, aun cuenta con pocos estudios ecológico-florísticos (Villada 1865, Medina Cota 1980, Hernández Rosales 1995, Zavala-Chávez 1995); entre los cuales resalta el de Hernández Rosales (1995), con un registro de 530 especies de plantas con semilla (espermatofitas). También existe información dispersa sobre la flora vascular del PNC en inventarios regionales, como el Valle de México (Calderón de Rzedowski & Rzedowski 2001) y la Sierra de Pachuca (Barrios-Rodríguez & Medina-Cota 1996). Arreguín-Sánchez *et al.* (2004), en su trabajo sobre las pteridofitas (que incluyen a los licopodios y helechos) de la Cuenca de México mencionan que en el PNC se distribuyen 26 especies.

Los licopodios y helechos forman parte de la estructura y dinámica de las comunidades vegetales, participan en la regeneración de bosques en áreas perturbadas y se consideran indicadores de la calidad del hábitat, de condiciones edáficas y de la presencia de otros grupos de organismos (Salovaara *et al.* 2004, Cárdenas *et al.* 2007, Arcand & Ranker 2008). Por su sensibilidad a los cambios en las condiciones ambientales, la riqueza de especies de licopodios y helechos depende del estado de conservación que guardan los ecosistemas donde crecen, por lo que su supervivencia y permanencia está estrechamente relacionada con las actividades humanas (Riba 1998, Karst *et al.* 2005, Arcand & Ranker 2008). En el PNC, todavía no se ha realizado un inventario detallado de las especies de pteridofitas, ni se conoce con exactitud su riqueza y distribución dentro de los diferentes tipos de vegetación de esta ANP; por ello, los objetivos del presente trabajo fueron: 1) realizar un inventario de las familias, géneros y especies de licopodios y helechos presentes en el PNC, 2) Estimar si existen diferencias en la composición de especies de pteridofitas entre los distintos tipos de vegetación del PNC, y 3) comparar la diversidad taxonómica y la complementariedad entre las tres ANP de mayor extensión territorial del estado de Hidalgo: Parque Nacional Los Mármoles (PNM), Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán (RBBM) y PNC.

Material y métodos

Zona de estudio. El Parque Nacional El Chico (PNC) se localiza entre las coordenadas 20° 10' 10" - 20° 13' 25" latitud Norte y 98° 41' 50" - 98° 46' 02" longitud Oeste; su extensión territorial es de aproximadamente 2,739 hectáreas (CONANP 2005). Se encuentra enclavado en el extremo occidental del sistema orográfico Sierra de Pachuca, que forma parte de la porción austral de la Faja Volcánica Transmexicana (Figura 1). El Parque ocupa parte de los municipios de Mineral del Chico, Mineral del Monte y Pachuca de Soto (CONANP 2005, INEGI 2017).

El clima en la zona de estudio es templado húmedo, la fórmula climática según García (1988) es: Cb(w2)(i') gw, templado húmedo, con verano fresco y largo, donde la temperatura promedio anual fluctúa entre 11 y 16 °C, la oscilación anual de la temperatura es leve; el más húmedo de los subhúmedos, con presencia de canícula. La precipitación total anual es de 1,479.5 mm, con régimen de lluvias de verano (mayo-noviembre), siendo septiembre el mes más húmedo y diciembre el más seco (CONANP 2005, Monterroso-Rivas *et al.* 2009, Pavón & Meza 2009).

Pteridofitas del Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México

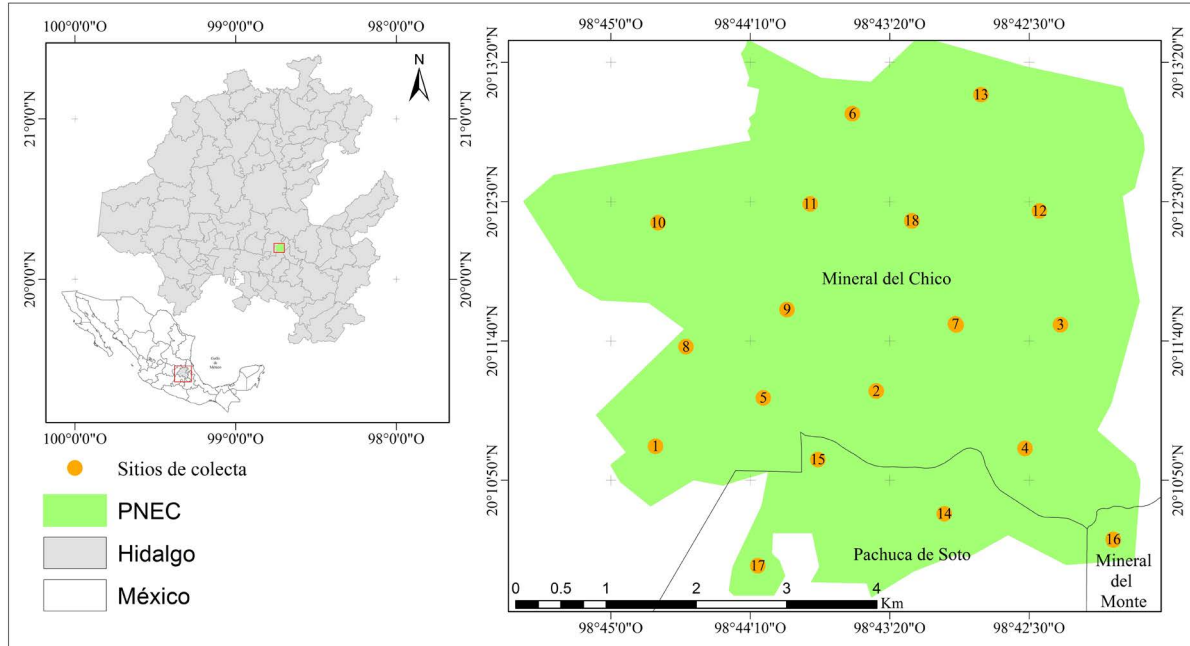


Figura 1: Área de estudio. Sitios de recolección de pteridofitas en el PNEC, estado de Hidalgo. El mapa del área de estudio fue elaborado en el programa ArcGIS 10, por José Luis Reyes Ortiz.

El intervalo altitudinal en el PNEC fluctúa entre 2,500-3,090 m snm, sobresalen en el área grandes promontorios rocosos, producto de intrusiones y actividad volcano-orogénica; los suelos son recientes y poco transformados, predominan: cambisol húmico, feozem háplico, leptosol y regosol (CONANP 2005). La hidrología es relevante porque es un macizo montañoso que forma parte del parteaguas que separa a los sistemas hidrológicos de las cuencas del Río Pánuco y Valle de México (CONANP 2005).

La flora vascular del PNEC incluye 545 especies, de las cuales 12 son gimnospermas y 533 angiospermas (Hernández Rosales 1995, Zavala-Chávez 1995). Los principales tipos de vegetación definidos en el programa de manejo del parque, con base en la fisonomía y cobertura (CONANP 2005), y de acuerdo con la clasificación de Rzedowski (1978), son: bosque de *Abies* (62.9 % de la superficie total del PNEC), *Quercus* (3.97 %), *Quercus-Abies* (10.55 %), *Abies-Quercus* (3.93 %), *Pinus* (1.87 %), *Quercus-Pinus* (2.25 %), *Pinus-Quercus* (0.87 %), *Cupressus* (1.16 %), *Juniperus* (4.67 %) y pastizal-matorral secundario (2.18 %) (CONANP 2005).

Recolección de ejemplares. Por ser un inventario florístico, no se establecieron unidades de muestreo en el área de estudio, pues no se midió ningún atributo ecológico de la vegetación o de las poblaciones de helechos y licopodios (Matteucci & Colma 2002, González-Oliva *et al.* 2017, Meave *et al.* 2017). En cambio, se utilizó un método informal (*ad-hoc*), en el que se recorrió la periferia de cada localidad (tipo de vegetación) y se realizaron incursiones hacia el interior de la misma, para la recolección de ejemplares, hasta que se decidió subjetivamente, que la probabilidad de encontrar más especies era baja, porque los ejemplares observados pertenecían reiterativamente a las especies previamente recolectadas. Algunos autores indican que el protocolo *ad-hoc* es más eficiente que los métodos de muestreo convencionales, cuando el objetivo principal es encontrar un mayor número de especies (Gordon & Newton 2006, Jayakumar *et al.* 2009).

La recolección de ejemplares se realizó en 18 localidades y siete tipos de vegetación, en un periodo total de 20 días de búsqueda de especies. En el programa de manejo del PNEC se indica que existen 10 diferentes tipos de vegetación; sin embargo, durante los recorridos de campo sólo se identificaron siete (Tabla 1), que son las que cubren

al menos el 90 % de la superficie del territorio del parque (CONANP 2005). El nombre de los tipos de vegetación se definió cualitativamente, con base en la dominancia de las especies arbóreas, de acuerdo con el criterio de Rzedowski (1978). El trabajo de recolección fue realizado por tres personas durante 9 horas/promedio/día, por lo que fue posible recorrer amplias distancias (al menos 20 km por día en promedio), dentro de cada localidad y tipo de vegetación y buscar ejemplares en diferentes microambientes: arroyuelos, zanjas, orillas de cuerpos de agua, declives con pendiente pronunciada, claros, parte superior y lateral de promontorios rocosos de distintos tamaños, cañadas, entre otros.

Tabla 1. Datos generales de las localidades de recolección de ejemplares de licopodios y helechos del Parque Nacional El Chico, Hidalgo

Localidad	Coordenadas	Altitud (m)	Tipo de vegetación
1. La Estanzuela	20° 10' 53.17" N; 98° 44' 34.38" O	2,901	Bosque de <i>Abies</i> abierto, con pocos individuos de <i>Quercus crassifolia</i> y <i>Q. microphylla</i>
2. Campamento Los Cedros	20° 10' 56.0" N; 98° 43' 03.3" O	2,976	Bosque de <i>Abies</i> , perturbado
3. Camino a Peña del Cuervo	20° 11' 28.4" N; 98° 42' 33.8" O	2,885	Bosque de <i>Abies</i> abierto, con alta densidad y riqueza de especies arbustivas
4. Peña del Cuervo	20° 11' 12.55" N; 98° 42' 43.31" O	2,982	Bosque de <i>Abies</i> , con manchones de <i>Juniperus monticola</i> en la periferia. Perturbado
5. Los Corrales	20° 11' 55.5" N; 98° 43' 30.5" O	2,674	Bosque de <i>Abies</i> , con pocos individuos de <i>Quercus laeta</i> , <i>Arbutus xalapensis</i> y <i>Prunus serotina</i>
6. Río El Milagro	20° 13' 12.3" N; 98° 44' 01.6" O	2,282	Bosque de galería: en los márgenes del arroyo: <i>Alnus</i> sp., <i>Quercus</i> sp. y <i>Prunus serotina</i>
7. Presa El Cedral	20° 11' 02.6" N; 98° 44' 59.1" O	2,662	Bosque mixto <i>Cupressus-Abies</i> , perturbado
8. Diego Mateo	20° 11' 37.9" N; 98° 44' 33.0" O	2,933	Bosque de <i>Abies-Quercus</i> , cabañas y áreas de acampar en la periferia
9. Tlaxcalita	20° 11' 54.7" N; 98° 44' 56.7" O	2,856	Bosque de <i>Abies-Quercus</i> , cerca de la carretera principal
10. Peña Las Monjas	20° 12' 32.6" N; 98° 44' 32.5" O	2,490	Bosque de <i>Quercus</i>
11. El Puente	20° 13' 0.48" N; 98° 44' 21.5" O	2,310	Bosque de <i>Quercus</i> , con pendientes elevadas
12. Pueblo de Carboneras	20° 12' 50.4" N; 98° 42' 18.4" O	2,632	Bosque de <i>Quercus-Abies</i> , cerca de la carretera, perturbado, presencia de ganado bovino
13. Los Zorrillos	20° 13' 08.4" N; 98° 42' 47.2" O	2,540	Bosque de <i>Quercus-Abies</i> , los ejemplares se recolectaron cerca de un arroyo
14. Barrio La Compañía	20° 10' 56.0" N; 98° 43' 00.7" O	2,498	Bosque de <i>Quercus</i> , con algunos individuos de <i>Pinus</i> sp.

Pteridofitas del Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México

Localidad	Coordenadas	Altitud (m)	Tipo de vegetación
15. Las Ventanas	20° 11' 08.7" N; 98° 44' 05.2" O	2,930	Bosque de <i>Abies</i> muy perturbado (ecoturismo)
16. Pueblo Nuevo	20° 10' 23.4" N; 98° 41' 50.2" O	2,961	Bosque de <i>Abies</i>
17. Presa Jaramillo	20° 10' 17.37" N; 98° 44' 00.41" O	2,877	Bosque de <i>Quercus</i> abierto: dominancia de <i>Quercus crassifolia</i> y <i>Q. microphylla</i> . Con algunos individuos de <i>Pinus</i> sp.
18. Campamento Dos Aguas	20° 12' 23.17" N; 98° 43' 12.01" O	2,677	Bosque de <i>Abies</i>

Se utilizaron algunos criterios empíricos simples, como indicadores de que el esfuerzo de búsqueda/recolección fue adecuado: 1) proporción entre número de ejemplares recolectados *versus* especies determinadas (Meave *et al.* 2017), 2) riqueza de especies por unidad de área (Squeo *et al.* 1998) y, 3) presencia de nuevos registros de especies, bajo el supuesto de que sería poco probable encontrarlos con un esfuerzo de búsqueda insuficiente, en un área relativamente bien conocida, florísticamente (Sánchez-Mejorada & Chávez 1951, Hernández Rosales 1995, Barrios-Rodríguez & Medina-Cota 1996, Arreguín-Sánchez *et al.* 2004, CONANP 2005, Arreguín-Sánchez *et al.* 2009).

Se recolectaron ejemplares completos y maduros (con esporangios), idóneas para la determinación e integración a un herbario. Adicionalmente, para cada espécimen se anotaron datos sobre: sustrato de crecimiento, altitud, localización geográfica y tipo de vegetación (Sánchez-González & González 2007). Los especímenes se depositaron en el herbario HGOM, de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y en el herbario MEXU, con sede en el Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, algunos ejemplares repetidos, se destinaron a la colección de enseñanza. Los acrónimos de los herbarios son como aparecen en Index Herbariorum (Thiers 2021).

Determinación de los taxones. Los especímenes se determinaron con las claves de la obra de Mickel & Smith (2004), los nombres fueron verificados con ejemplares tipo en JSTOR Global Plants (2020 guides.jstor.org/globalplants) y actualizados conforme a las bases de datos Tropicos (2021 www.tropicos.org) e IPNI (2021). Las abreviaturas de los autores de los taxones, se realizó de acuerdo con los datos del proyecto Tropicos (2021 www.tropicos.org). En el listado florístico se consideró la clasificación de PPG 1 (2016).

Semejanza en la composición de especies por tipo de vegetación. Para estimar la semejanza en la composición de especies de helechos y lycopodios entre los tipos de vegetación identificados se generó una matriz de semejanza utilizando el índice de Sørensen. Después, se eligió como método de unión, el promedio entre grupos (McCune & Grace 2002). El análisis se realizó con el programa de cálculo PAST versión 4.04 (Hammer *et al.* 2001). Para definir el número de grupos en el dendrograma, se eligió cualitativamente un nivel de corte que considerara un compromiso entre la pérdida de información y la simplificación de un número de unidades ambientales interpretables desde un punto de vista natural (McCune & Grace 2002).

Diversidad taxonómica (IB) y complementariedad entre ANP de Hidalgo. Con la finalidad de comparar la riqueza de especies de pteridofitas del PNC con respecto a otras ANP se usó el índice de diversidad taxonómica (IB), el cual está definido como el número de especies dividido entre el logaritmo natural del área: $IB = S/\ln A$, donde S es el número de especies registradas y A es el tamaño del área (Squeo *et al.* 1998).

Para estimar el grado de complementariedad en la composición de especies de licopodios y helechos entre las tres ANP del estado de Hidalgo (PNC, PNM y RBBM) se utilizó el índice de complementariedad (IC) de Colwell & Coddington (1994), con la fórmula:

$$ICAB = \frac{a+b-2c}{a+b-c}$$

Donde a = número de especies en el área A; b = número de especies en el área B; c = número de especies en común entre ambas áreas. El valor de complementariedad fluctúa entre 0 y 1. Cuando los sitios son idénticos en la composición de especies el valor es 0, y cuando la complementariedad es total (ninguna especie es compartida entre las áreas) el valor es de 1 (Colwell & Coddington 1994). La complementariedad puede representarse también en porcentaje, tomando valores de entre 0 y 100 %. El número de especies compartidas se obtuvo con el programa de cálculo EstimateS versión 9.1.0 (Colwell 2019).

Es importante mencionar que, aunque las tres ANP que fueron comparadas difieren en altitud (Tabla 4); presentan en común bosques de coníferas, de encino y mixtos: en la RBBM los bosques de *Juniperus*, *Quercus* y *Pinus-Quercus* cubren en conjunto alrededor de 7,147 hectáreas (CONANP 2003, Gómez-Díaz *et al.* 2007), en el PNM los bosques de *Juniperus*, *Quercus*, *Pinus*, *Pinus-Quercus* y *Quercus-Pinus*, ocupan aproximadamente 16,527 hectáreas (CONANP 2007) y en el PNC los bosques de *Abies*, *Cupressus*, *Juniperus*, *Quercus*, *Pinus*, *Abies-Quercus*, *Pinus-Quercus*, *Quercus-Abies* y *Quercus-Pinus* se desarrollan en 2,597 ha (CONANP 2005).

Tabla 2. Número de géneros y especies por familia de licopodios y helechos del Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México.

Familia	Géneros	Especies
Pteridaceae	10	22
Polypodiaceae	4	14
Dryopteridaceae	3	8
Aspleniaceae	1	6
Selaginellaceae*	1	5
Athyriaceae	3	3
Ophioglossaceae	2	2
Thelypteridaceae	2	2
Blechnaceae	1	2
Dennstaedtiaceae	1	1
Equisetaceae	1	1
Marsileaceae	1	1
Salviniaceae	1	1
Total	31	68

Tabla 3. Distribución de licopodios y helechos, por categorías taxonómicas en siete diferentes tipos de vegetación del Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México.

Tipo de vegetación	Familias	Géneros	Especies
Bosque de <i>Abies-Quercus</i>	11	17	31
Bosque de galería	8	20	31
Bosque de <i>Quercus</i>	5	12	26
Bosque de <i>Abies</i>	8	12	22
Bosque de <i>Abies-Juniperus</i>	5	11	15
Bosque de <i>Quercus-Pinus</i>	5	10	15
Bosque de <i>Cupressus-Abies</i>	4	7	8

Tabla 4. Comparación fisiográfica y de riqueza de licopodios y helechos entre cinco regiones del estado de Hidalgo. m: metros; sp: especie; ha: hectáreas

Localidad	Altitud (m)	Área (ha)	Número de sp	IB = sp/ln A
Barranca de Omitlán	2,080-3,048	2,000	52	6.84
PNC	2,284-2,982	2,739	68	8.59
PNM	1,300-2,950	23,150	71	7.06
RBBM	1,000-2,000	96,000	79	6.89
Valle de México	2,230-5,452	750,000	113	8.35

Resultados

Listado de especies de licopodios y helechos. Se recolectaron 205 ejemplares que correspondieron a 14 familias, 30 géneros y 63 especies de helechos y a una familia, un género y 5 especies de licopodios. Tres especies de helechos, de tamaño pequeño, representaron nuevos registros para el estado de Hidalgo: *Asplenium fibrillosum* Pringle & Davenport., *Elaphoglossum monicae* Mickel y *Melpomene pilosissima* (M. Martens & Galeotti) A.R. Sm. & R.C. Moran. Las familias de helechos con mayor número de géneros fueron Pteridaceae (10), Polypodiaceae (4) y Dryopteridaceae (3), las restantes presentaron dos o un género cada una. Las familias con más especies de licopodios y helechos fueron Pteridaceae (22), Polypodiaceae (14), Dryopteridaceae (8), Aspleniaceae (6) y Selaginellaceae (5); las demás con dos o menos (Tabla 2; Apéndice 1). La proporción especímenes recolectados/especies determinadas fue de 3.1.

Distribución de especies por tipo de vegetación y sustrato de crecimiento. De los siete tipos de vegetación identificados, el bosque de *Abies-Quercus* presentó el número más alto de familias de pteridofitas, con 11; seguido por los de *Abies* y Galería con 8 cada uno; *Quercus*, *Quercus-Pinus* y *Abies-Juniperus* 5 cada uno; y *Cupressus-Abies* con cuatro familias (Tabla 3). En cuanto al número de géneros por tipo de bosque, en el de galería se identificaron 20; en *Abies-Quercus* 17, en *Quercus* y *Abies* 12 (en cada uno); en *Abies-Juniperus* 11; en *Quercus-Pinus* 10; y en *Cupressus-Abies* 7.

La riqueza de especies por tipo de vegetación se distribuyó de la siguiente forma: fue más alta en bosques de *Abies-Quercus* y de galería (ambos con 31 especies), *Quercus* (26) y *Abies* (22); y fue menor en *Abies-Juniperus* y *Quercus-Pinus* (ambos con 15) y *Cupressus-Abies*, con ocho especies (Tabla 3). Los sustratos de crecimiento para las especies de pteridofitas recolectadas en el PNC fueron, en orden de importancia: terrestre (44.7 %), rupícola (22.5 %), terrestre-rupícola (18.3 %); epífita, epífita-rupícola y epífita-rupícola-terrestre (4.23 %, cada uno), y el menos común fue el acuático, con dos especies (2.8 %) recolectadas en la presa El Cedral, de Mineral del Chico, Hidalgo.

Semejanza en composición de especies por tipo de vegetación. La clasificación permitió incluir a los siete tipos de vegetación en tres grupos, de acuerdo con su semejanza en la composición de especies de pteridofitas: el primer grupo, formado por bosque de *Abies* (BA) y bosque de *Abies-Juniperus* (BAJ), comparten más especies entre sí que con respecto a otros tipos de vegetación; el segundo grupo está integrado por cuatro tipos de bosques: *Quercus* (BQ), *Quercus-Pinus* (BQP), *Abies-Quercus* (BAQ) y de galería, con presencia de *Alnus* y *Quercus* (BG); y el tercer grupo, constituido solo por el bosque de *Cupressus-Abies* (BCA), posee el conjunto de especies más disímil, con respecto a los otros dos grupos (Figura 2).

Riqueza de especies por unidad de área en el PNC y en otras regiones. Los valores del índice de biodiversidad taxonómica (IB), estimados en tres de las ANP del estado de Hidalgo, el municipio de Omitlán (aledaño al PNC) y Valle de México (región donde está incluido el PNC), indican que la mayor riqueza de especies de licopodios y helechos por unidad de área se presenta en el Valle de México y en el PNC (Tabla 4).

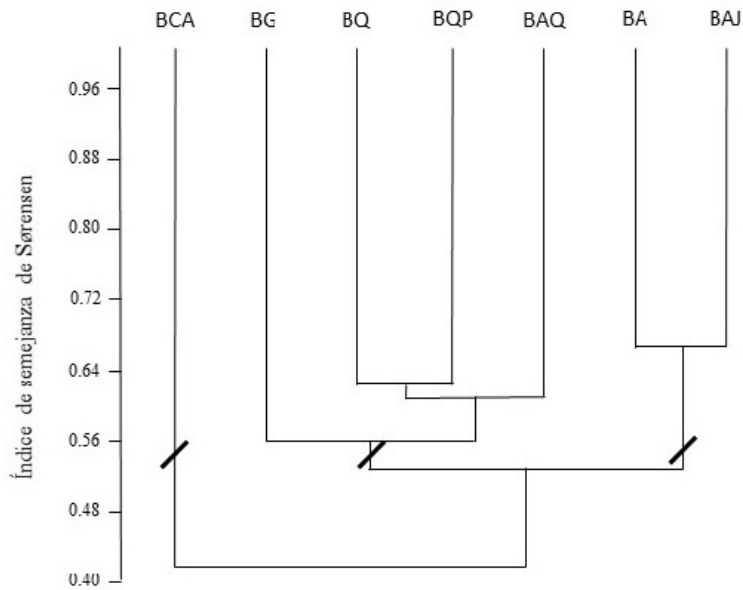


Figura 2: Dendrograma del análisis de agrupamiento que muestra las relaciones jerárquicas de semejanza entre los tipos de vegetación, con base en la composición de especies de pteridofitas. Bosque de *Abies* (BA), bosque de *Abies-Juniperus* (BAJ), bosque de *Quercus* (BQ), bosque de *Quercus-Pinus* (BQP), bosque de *Abies-Quercus* (BAQ), bosque de galería (BG), bosque de *Cupressus-Abies* (BCA). La [figura 2](#) fue elaborada en el programa CorelDRAW Graphics Suite 2017, a partir de la figura obtenida en el programa PAST versión 4.04.

Complementariedad de especies entre ANP del estado de Hidalgo. Los valores de los índices de complementariedad entre áreas naturales protegidas, estimados a partir de la composición de especies de licopodios y helechos, indican que la RBBM y el PNM tienen el menor valor, porque comparten mayor número de especies entre sí, que con el PNC. En cambio, la RBBM y el PNC presentaron un índice de complementariedad más alto (73 %), semejante al del PNM y el PNC (70 %), lo que indica que poseen menos especies en común ([Tabla 5](#)).

Los valores de los índices de complementariedad, a nivel de familia y género, fueron bajos si se les compara con los obtenidos a nivel de especie. En la categoría taxonómica de familia, los valores fueron de 17 % o menos, entre las tres ANP consideradas; a nivel de género, las ANP con mayor complementariedad fueron RBBM y PNC con 38 %; y PNM y PNC con 31 %.

Discusión

En el presente trabajo se determinaron 68 especies de licopodios y helechos dentro de los límites del PNC; en otra región colindante y de extensión territorial semejante, como la Barranca de Omítlán, se mencionan 52 especies (Sánchez-Mejorada & Chávez 1951). En dos de las ANP del estado de Hidalgo se han realizado estudios con pteridofitas: en el PNM que ocupa una superficie territorial al menos ocho veces mayor que el PNC, se encontraron 71 especies (Ramírez *et al.* 2009); y en la RBBM, al menos 35 veces mayor en extensión territorial que el PNC, se registraron 79 especies (Cuevas *et al.* 2013). Sin embargo, cuando se estandariza el tamaño de área, el PNC presenta el índice de riqueza más alto, lo cual resalta su importancia biológica. Comparativamente, en el PNC se presenta el 60.2 % de los helechos y licopodios considerados para la cuenca de México (113 según Arreguín-Sánchez *et al.* 2009); ambas estimaciones, resaltan a esta ANP como un reservorio importante de ambos grupos taxonómicos en la zona centro de la provincia de llanos y lagos de Anáhuac de la Faja Volcánica Transmexicana. Por lo anterior, se consideró que la relación especies/área de 8.59 (Squeo *et al.* 1998), especímenes/especies de 3.1 (Meave *et al.* 2017) y los tres nuevos registros de especies de helechos a nivel estatal, reflejan un esfuerzo de búsqueda/colecta satisfactoria.

Las familias con mayor número de géneros y especies dentro del PNC (Pteridaceae, Polypodiaceae, Dryopteridaceae y Aspleniaceae), son también las más representativas en diferentes municipios y regiones del estado de Hidalgo y en la zona montañosa de México (Sánchez-Mejorada & Chávez 1951, Vázquez *et al.* 2006, Ramírez *et al.* 2009, Cuevas *et al.* 2013, Pérez-Atilano *et al.* 2015, Gutiérrez-Lozano *et al.* 2017, Martínez-Cabrera *et al.* 2018, Hernández-Álvarez *et al.* 2019), independientemente del tipo de vegetación y condiciones ambientales. Ello probablemente se deba a que son las familias mejor representadas en el país (Mickel & Smith 2004), especialmente en la zona templada subhúmeda de las montañas mexicanas (Tejero-Díez *et al.* 2014), donde la continuidad climática-orogénica se refleja en valores de humedad-temperatura favorables para las pteridofitas, lo que les permite expandirse activamente mediante la dispersión de sus esporas, que generalmente tienen mayor poder de dispersión que las semillas de gimnospermas y angiospermas (Morrone 2004, Sanginés-Franco *et al.* 2011).

Las pteridofitas son un grupo de plantas que se desarrollan principalmente en sustrato terrestre (en el suelo), en microhábitats húmedos y sombreados (Pérez-García *et al.* 1995). Algunos grupos de helechos, como las especies de Polypodiaceae, son primariamente corticícolas (epífitas), con una evolución adaptativa a la par de las angiospermas (Schneider *et al.* 2004, Tejero-Díez 2009), por lo que el encontrar alta riqueza y abundancia de representantes de esta familia podría considerarse como indicador de condiciones de alta humedad (Tejero-Díez *et al.* 2014). En este sentido, la pobre representación de especies que se desarrollan en este sustrato vertical y la sobrerrepresentación de especies terrestres puede estar relacionada con la ausencia de forofitos adecuados (Wagner *et al.* 2015) y con el clima (templado subhúmedo) que predomina en la zona de estudio (Pavón & Meza 2009), ya que en ecosistemas más húmedos y con mayor diversidad de especies arbóreas y arbustivas, como el bosque mesófilo de montaña, el número de especies de pteridofitas epífitas es más elevado (Pérez-Paredes *et al.* 2012, Tejero-Díez *et al.* 2014, Gutiérrez-Lozano *et al.* 2017, Hernández-Álvarez *et al.* 2019).

Tabla 5. Número de especies compartidas (parte superior derecha), riqueza de especies de pteridofitas (diagonal) y porcentaje de complementariedad (parte inferior izquierda) de tres ANP del estado de Hidalgo. PNM: Parque Nacional Los Mármoles; RBBM: Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán; PNC: Parque Nacional El Chico.

ANP	PNM	RBBM	PNC
PNM	71	48	31
RBBM	53 %	79	30
PNC	70 %	73%	62

Por otro lado, el porcentaje de lycopodios y helechos que se desarrollan sobre rocas en el PNC, fue alto; a pesar de que el sustrato rocoso puede considerarse como un microambiente xérico, ya que no retiene agua. En realidad, las pteridofitas epipétricas crecen generalmente entre las fisuras de las rocas, donde existe cierta cantidad de humedad, sombra y contenido de minerales; se caracterizan por ser caducifolias, con abundantes tricomas (escamas, pelos, farina), para resistir el estrés hídrico. La mayoría de los taxones que reúnen estas características son miembros de la familia Pteridaceae (Cuevas *et al.* 2013, Pérez-Atilano *et al.* 2015), que está bien representada en el PNC. El sustrato rocoso ha sido poco evaluado en su concepción ecológica; sin embargo, la riqueza de helechos y lycopodios tiende a incrementar con el tamaño de la superficie rocosa (Zepeda Gutiérrez 2019) y en la zona estudiada existe un gran número de promontorios rocosos de diversos tamaños, dispersos entre los bosques (CONANP 2005).

Los datos de la riqueza de especies de pteridofitas de la Barranca de Omitlán, PNC, PNM, RBBM y Valle de México, concuerdan en parte con la bien documentada relación especies-área, según la cual, independientemente del grupo taxonómico o del tipo de ecosistema que se considere, el número de especies tiende a incrementar conforme aumenta el tamaño del área (Whittaker *et al.* 2001). La relación especies-área no es lineal: cuando se consideran áreas pequeñas el incremento en la riqueza de especies es exponencial, pero la relación cambia hasta adquirir la forma de una asíntota a medida que el tamaño del área considerada se vuelve más grande (Brown & Lomolino 1998). El Valle

de México puede considerarse como un buen ejemplo de lo anterior, es una región que abarca cuatro estados de la República Mexicana e incluye 14 municipios de la porción sur del estado de Hidalgo (Calderón de Rzedowski & Rzedowski 2001), pero a pesar de su enorme extensión territorial, 273 veces mayor que el PNC, las pteridofitas están representadas solo por 113 especies (Arreguín-Sánchez *et al.* 2004, 2009).

Existen varios factores independientes de la relación especies/área, que son igualmente críticos y tienen un alto poder explicativo de los patrones de riqueza de especies, tales como productividad primaria, disponibilidad de energía (clima) y heterogeneidad ambiental (Whittaker *et al.* 2001, Triantis *et al.* 2008, Gutiérrez-Lozano *et al.* 2017). La fase sexual o del gametofito es la etapa más frágil en el ciclo de vida de las pteridofitas (gametofito independiente ecofisiológicamente del esporófito), donde las plantas requieren de condiciones ambientales particulares, en especial de humedad para que ocurra la reproducción sexual (Bickford & Laffan 2006, Mendoza-Ruiz & Pérez-García 2009). En este sentido, la riqueza de especies de licopodios y helechos puede estar más relacionada con las condiciones ambientales (altitud, clima, orografía, exposición, disturbio, entre otros), que con el tamaño del área.

La importancia de la disponibilidad de agua (humedad y temperatura) con relación a la riqueza de especies de pteridofitas está ampliamente documentada (Cerón-Carpio *et al.* 2006, Vázquez *et al.* 2006, Cuevas *et al.* 2013, Gutiérrez-Lozano *et al.* 2017, Hernández-Álvarez *et al.* 2019). En el PNC, localizado dentro de la zona templada subhúmeda de México (Toledo & Ordoñez 1998) existen condiciones de humedad y temperatura relativamente benignas (CONANP 2005), que favorecen el desarrollo de las especies. En cambio, en la RBBM el clima que predomina es seco y semicálido; por lo que la explicación más probable del escaso número de especies de licopodios y helechos, considerando su enorme extensión territorial, es que pocas de estas plantas poseen los mecanismos de adaptación necesarios para sobrevivir en las condiciones de sequía y alta insolación que prevalecen en la mayor parte del área (Cuevas *et al.* 2013, Pérez-Atilano *et al.* 2015).

Los licopodios y helechos son considerados como indicadores de cambios en las condiciones ambientales (Cárdenas *et al.* 2007, Arcand & Ranker 2008), se ha encontrado que su riqueza de especies disminuye conforme aumenta el grado de perturbación del medio (Tejero-Díez 2007, Rodríguez Romero *et al.* 2008, Walker & Sharpe 2010). En el caso del Valle de México, una región habitada por el hombre desde hace miles de años (Toledo & Ordoñez 1998), la presencia de solo 113 especies de pteridofitas podría deberse, además de las condiciones ambientales imperantes, a los cambios en la distribución y cobertura de los bosques circundantes, por los disturbios causados por las actividades humanas (Calderón de Rzedowski & Rzedowski 2001, Santibañez-Andrade *et al.* 2015).

El empleo de datos de presencia-ausencia de especies de licopodios y helechos, permitió reconocer tres grupos o ambientes diferentes en el PNC. Los tipos de vegetación incluidos dentro de cada grupo, tienen como característica en común (además de la semejanza florística), que en el dosel domina la misma especie: en el grupo uno *Abies religiosa*; en el grupo dos, una o más especies de *Quercus*; y en el grupo tres *Cupressus lusitanica*. Es conveniente mencionar que los siete tipos de vegetación antes mencionados se presentan como “parches” dentro de una superficie ocupada principalmente por bosque de *Abies*, lo que le confiere al paisaje mayor homogeneidad (CONANP 2005). A pesar de ello, el carácter indicador de los licopodios y helechos (Salovaara *et al.* 2004, Karst *et al.* 2005, Hernández-Álvarez *et al.* 2019) permitió dilucidar tres ambientes locales en el PNC.

El conocimiento de la composición y riqueza de especies en un área determinada es importante para propósitos de conservación (Lévêque & Mounolou 2003). Los porcentajes de complementariedad entre las tres ANP del estado de Hidalgo indican que difieren en al menos 50 % de las especies de licopodios y helechos. Esta información es útil, pues demuestra que estas ANP son complementarias, es decir, tienen diferente composición de especies, al menos en estos dos grupos de plantas. La relevancia puede ser mayor si se considera que las pteridofitas han sido propuestas como indicadores de condiciones edáficas, presencia de otros grupos de plantas y grado de conservación de los ecosistemas (Salovaara *et al.* 2004, Karst *et al.* 2005, Cárdenas *et al.* 2007, Arcand & Ranker 2008). Aunque ninguna de las especies presentes en el PNC se considera en alguna categoría de riesgo en la NOM-059-2010 (SEMARNAT 2010), varias podrían ser candidatas, por ejemplo: *Elaphoglossum monicae*, *Melpomene moniliformis* y *M. pilosissima*, entre otras, porque solo se observaron pocos individuos, aunque esto tendría que ser valorado en otro estudio.

Agradecimientos

Se agradece ampliamente a las autoridades del Parque Nacional El Chico, por su disposición y amabilidad durante la realización del estudio y a la M. en C. Guadalupe Pérez Paredes por su apoyo en el trabajo de campo. Además, los autores agradecen los comentarios de dos revisores anónimos, que contribuyeron a mejorar el manuscrito.

Literatura citada

- Arcand NN, y Ranker TA. 2008. Conservation Biology. *In*: Ranker TA, Haufler CH, eds. *Biology and evolution of ferns and licophytes*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. pp. 257-283. ISBN: 978-0521696890
- Arreguín-Sánchez ML, Fernández-Nava R, Quiroz-García DL. 2004. *Pteridoflora del Valle de México*. DF, México: Instituto Politécnico Nacional. ISBN: 970-36-0187-1
- Arreguín-Sánchez ML, Fernández-Nava R, Quiroz-García DL, Acosta-Castellanos S. 2009. Análisis de la distribución de las especies de helechos y afines del Valle de México, notas ecológicas y florísticas. *Polibotánica* **28**: 15-36.
- Barrios-Rodríguez MA, Medina-Cota JM. 1996. *Estudio florístico de la Sierra de Pachuca, Estado de Hidalgo*. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad. ID del proyecto: SNIB-G014-G014604F-ND. <https://www.gbif.org/es/dataset/c129df8f-15a5>. (accessed July 3, 2022).
- Bickford SA, Laffan SW. 2006. Multi-extent analysis of the relationship between pteridophyte species richness and climate. *Global Ecology and Biogeography* **15**: 588-601. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2006.00250.x>
- Brown HJ, Lomolino VM. 1998. *Biogeography*. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates. ISBN: 0-87893-073-6
- Calderón de Rzedowski G, Rzedowski J. 2001. *Flora fanerogámica del Valle de México*. Pátzcuaro, Michoacán, México: Instituto de Ecología A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. ISBN: 978-607-7607-36-6
- Cárdenas GG, Halme JK, Tuomisto H. 2007. Riqueza y distribución ecológica de especies de pteridofitas en la Zona del Río Yavarí-Mirín, Amazonía Peruana. *Biotropica* **39**: 637-646. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2007.00308.x>
- Cerón-Carpio AB, Arreguín-Sánchez M de la L, Fernández-Nava R. 2006. Listado con anotaciones de las pteridofitas del municipio de Tlatlauquitepec, Puebla, México y distribución de las especies en los diferentes tipos de vegetación. *Polibotánica* **21**: 45-60.
- Colwell R. 2019. Estimates, Version 9.1.0: *Statistical estimation of species richness and shared species from samples*. Version 9.1.0. Storrs, USA: University of Connecticut. <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/EstimateSPages/EstimateSRegistration.htm> (accessed March 12, 2022)
- Colwell KR, Coddington AJ. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of London* **345**: 110-118. DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.1994.0091>
- CONANP [Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas]. 2003. Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán. DF, México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONANP. 2005. *Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional El Chico*. DF, México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas de Hidalgo.
- CONANP. 2007. *Estudio previo justificativo para la modificación del decreto por el que se pretende re-categorizar el Parque Nacional Los Mármoles como Área de Protección de Flora y Fauna*. DF, México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Cuevas HAL, Sánchez-González A, Tejero-Díez JD. 2013. Pteridophytes of a semiarid natural protected area in central Mexico. *Natural Areas Journal* **33**: 177-188. DOI: <https://doi.org/10.3375/043.033.0208>
- ECUSBEH [Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad del estado de Hidalgo]. 2020.

- Estrategia para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad del estado de Hidalgo*. Estado de Hidalgo, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- García E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. DF, México: Universidad Nacional Autónoma de México. México. ISBN: 970-32-1010-4
- Gómez-Díaz JD, Monterroso-Rivas AI, Tinoco-Rueda JA, López-García J. 2007. Comportamiento de la vegetación bajo escenarios de cambio climático en la reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán, Hidalgo, México. *Zonas Áridas* **11**: 61-69.
- González-Oliva L, Ferro Díaz J, Rodríguez-Cala D, Berazaín R. 2017. Métodos de inventario de plantas. In: Mancina CA, Cruz DD, eds. *Diversidad Biológica de Cuba: Métodos de Inventario, Monitoreo y Colecciones Biológicas*. La Habana, Cuba: Editorial AMA, pp. 60-85.
- Gordon JE, Newton AC. 2006. Efficient floristic inventory for the assessment of tropical tree diversity: A comparative test of four alternative approaches. *Forest Ecology and Management* **237**: 564-573. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.10.002>
- Gutiérrez-Lozano M, Sánchez-González A, López-Mata L, Tejero-Díez JD. 2017. Taxonomic richness of lycophytes and ferns of the Mexican beech forest: the highest ever recorded among *Fagus* forests worldwide? *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* **229**: 23-31. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.02.008>
- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. 2001. Past 4.04 (1999-2020): Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* **4**: 1-9.
- Hernández-Álvarez AG, Sánchez-González A, Tejero-Díez JD. 2019. Licofitas y helechos del bosque mesófilo de montaña del estado de Hidalgo, México. *Botanical Sciences* **97**: 236-249. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.2093>
- Hernández Rosales MRA. 1995. *Estudio florístico-fanerogámico del Parque Nacional El Chico, Estado de Hidalgo*. BSc Thesis. Universidad Nacional Autónoma de México.
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística y Geografía]. 2017. *Anuario Estadístico y Geográfico de Hidalgo 2017*. DF, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- IPNI [International Plant Name Index]. 2021. Published on the Internet <http://www.ipni.org> The Royal Botanic Gardens, Kew, Harvard University Herbaria & Libraries and Australian National Herbarium (accessed May 29, 2022).
- Jayakumar S, Ramachandran A, Heo J. 2009. Comparison of floristic diversity of evergreen forest inferred from different sampling approaches in the Eastern Ghats of Tamil Nadu, India. *Current Science* **96**: 1-7. DOI: <https://www.jstor.org/stable/24105473>
- Karst J, Gilbert B, Lechowicz MJ. 2005. Fern community assembly: the roles of chance and the environment at local and intermediate scales. *Ecology* **86**: 2473-2486. DOI: <https://doi.org/10.1890/04-1420>
- Lévêque C, Mounolou JC. 2003. *Biodiversity*. Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd. ISBN: 978-0-470-09159-3
- Martínez-Cabrera D, Hernández-Hernández NN, Isidro-Hernández B, Hernández-Álvarez AG, Sánchez-González A. 2018. Diversidad de licopodios y helechos del bosque tropical subcaducifolio del estado de Hidalgo, México. *Acta Botanica Mexicana* **126**: e1434. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1434>
- Matteucci SD, Colma A. 1982. *Metodologías para el Estudio de la Vegetación*. Washington, DC: Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. ISBN: 0827016115
- McCune B, Grace JB. 2002. *Analysis of ecological communities*. Glenden Beach, Oregon: Mjm Software Design. ISBN: 978-0972129008
- Meave JA, Rincón-Gutiérrez A, Ibarra Manríquez G, Gallardo-Hernández C, Romero-Romero MA. 2017. Lista de la

- flora vascular de una porción de la región hiperhúmeda de La Chinantla, Sierra Norte de Oaxaca, México. *Botanical Sciences* **95**: 722-759. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1812>
- Medina Cota JM. 1980. *Análisis fitogeográfico de la vertiente sur de la Sierra de Pachuca, estado de Hidalgo*. BSc Thesis. Instituto Politécnico Nacional.
- Mendoza-Ruiz A, Pérez-García B. 2009. *Helechos y licopodios de México*. DF, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad y Universidad Autónoma Metropolitana. ISBN: 978-607-7607-01-4
- Mickel JT, Smith AR. 2004. *The Pteridophytes of Mexico*. New York: Memoirs of the New York Botanical Garden. ISBN: 9780893274955
- Monterroso-Rivas AI, Gómez-Díaz JD, Tinoco-Rueda JA. 2009. Servicios ambientales hidrológicos bajo escenarios de cambio climático en el Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo. *Madera y Bosques* **15**: 5-26. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2009.1521188>
- Morrone JJ. 2004. Panbiogeografía, componentes bióticos y zonas de transición. *Revista Brasileira de Entomologia* **48**: 149-162.
- Pavón NP, Meza M. 2009. *Cambio climático en el estado de Hidalgo: clasificación y tendencias climáticas*. Hidalgo, México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. ISBN: 9786074820966
- Pérez-Atilano Y, Sánchez-González A, Tejero-Díez JD. 2015. Species richness, distribution and morphological variation of monilophytes and lycophytes in a semi-arid region of Mexico. *American Fern Journal* **105**: 238-256. DOI: <https://doi.org/10.1640/0002-8444-105.3.238>
- Pérez-García B, Riba R, Reyes-Jaramillo I. 1995. Helechos mexicanos: formas de crecimiento, hábitat y variantes edáficas. *Contactos* **11**: 22-27.
- Pérez-Paredes MG, Sánchez-González A, Tejero-Díez JD. 2012. Listado de licopodios y helechos del municipio de Zacualtipán de Ángeles, Hidalgo, México. *Polibotánica* **33**: 57-73.
- PPG I [Pteridophyte Phylogeny Group I]. 2016. A community-derived classification for extant lycophytes and ferns. *Journal of Systematics and Evolution* **54**: 563-603. DOI: <https://doi.org/10.1111/jse.12229>
- Ramírez CS, Sánchez-González A, Tejero-Díez JD. 2009. La Pteridoflora del Parque Nacional Los Mármoles, Hidalgo, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **84**: 35-44. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.2293>
- Riba R. 1998. Pteridofitas mexicanas: distribución y endemismo. In: Ramamoorthy TP, Bye R, Lot A, Fa J, eds. *Diversidad Biológica de México. Orígenes y Distribución*. DF, México: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 369-384. ISBN: 978-9683665881
- Rodríguez Romero L, Pacheco L, Zavala Hurtado JA. 2008. Pteridofitas indicadoras de alteración ambiental en el bosque templado de San Jerónimo Amanalco, Texcoco, México. *Revista de Biología Tropical* **56**: 641-656. DOI: <https://doi.org/10.15517/rbt.v56i2.5614>
- Rzedowski J. 1978. *Vegetación de México*. DF, México: Editorial Limusa. ISBN: 978-9681800024
- Salovaara JK, Cárdenas GG, Tuomisto H. 2004. Forest classification in an Amazonian rainforest landscape using pteridophytes as indicator species. *Ecography* **27**: 689-700. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2004.03958.x>
- Sánchez-González A, González M. 2007. Técnicas de recolecta de plantas y herborización. In: Contreras-Ramos A, Cuevas-Cardona C, Goyenechea I, Iturbe-Acosta U, eds. *La Sistemática, Base del Conocimiento de la Biodiversidad*. Pachuca, Hidalgo, México: Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, pp. 23-133. ISBN: 970-769-099-2
- Sánchez-Mejorada H, Chávez C. 1951. Breves notas sobre las pteridofitas de la Barranca de Omitlán, Hidalgo. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **12**: 28-36. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.971>
- Sanginés-Franco C, Luna-Vega I, Alcántara Ayala O, Contreras-Medina R. 2011. Distributional patterns and biogeographic analysis of ferns in the Sierra Madre Oriental, Mexico. *American Fern Journal* **101**: 81-104. DOI: <https://doi.org/10.1640/0002-8444-101.2.81>
- Santibañez-Andrade G, Castillo-Argüero S, Martínez-Orea Y. 2015. Evaluación del estado de conservación de la vegetación de los bosques de una cuenca heterogénea del Valle de México. *Bosque (Valdivia)* **36**: 299-313. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0717-92002015000200015>

- Schneider H, Smith AR, Cranfill R, Hildebrand TJ, Haufler CH, Ranker TA. 2004. Unraveling the phylogeny of polypodioid ferns (Polypodiaceae and Grammitidaceae): exploring aspects of the diversification of epiphytic plants. *Molecular Phylogenetics and Evolution* **31**: 1041-1063. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2003.09.018>
- SEMARNAT [Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales]. 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. *Diario Oficial de la Federación*. 2da Sección, 30 de diciembre de 2010.
- Squeo F, Caviars L, Arancio G, Novoa J, Matthei O, Marticorena C, Rodríguez-Arroyo MTK, Muñoz M. 1998. Biodiversidad de la flora vascular en la Región de Antofagasta, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* **71**: 571-591.
- Tejero-Díez JD. 2007. La riqueza florística del estado de México: licopodios y helechos. *Adumbrationes And Summae Editionem* **27**: 1-32.
- Tejero-Díez JD. 2009. Helechos epífitos, adaptaciones en Polypodiaceae. Red de Información sobre Plantas epífitas. Artículo de divulgación 1. Instituto de Ecología A.C. <https://www.yumpu.com/es/document/view/13292600/red-de-informacion-sobre-plantas-epifitas> (accessed June 3, 2020).
- Tejero-Díez JD, Torres-Díaz AN, Gual-Díaz M. 2014. Licopodios y helechos en el bosque mesófilo de montaña de México. In: Gual-Díaz M, Rendón-Correa A, eds. *Bosques mesófilos de montaña de México, diversidad, ecología y manejo*. DF, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, pp. 197-220. ISBN: 978-607-8328-07-9
- Thiers B. 2021. *Index Herbariorum: A Global Directory of Public Herbaria and Associated Staff*. New York Botanical Garden's Virtual Herbarium. New York. <http://sweetgum.nybg.org> (accessed November 28, 2022).
- Toledo VM, Ordóñez MJ. 1998. El panorama de la biodiversidad de México: Una revisión de los hábitats terrestres. In: Ramamoorthy TP, Bye R, Lot A, Fa J, eds. *Diversidad Biológica de México: Orígenes y Distribución*. DF, México: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 739-757. ISBN: 978-9683665881
- Triantis KA, Nogués-Bravo D, Hortal J, Borges AVP, Adersen H, Fernández-Palacios JM, Araújo BM, Whittaker RJ. 2008. Measurements of area and the (island) species area relationship: new directions for an old pattern. *Oikos* **117**: 1555-1559. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2008.16808.x>
- Vázquez TM, Campos JJ, Cruz PA. 2006. Los helechos y plantas afines del bosque mesófilo de montaña de Banderilla, Veracruz, México. *Polibotánica* **22**: 63-77.
- Villada MM. 1865. *Estudios sobre la flora de Pachuca, Mineral del Chico, Real del Monte, Huasca y Barranca Honda. Memoria de los Trabajos Ejecutados por la Comisión Científica de Pachuca*. DF, México: Imprenta de J.M. Andrade y F. Escalante.
- Walker LR, Sharpe J. 2010. Ferns, disturbance and succession. In: Mehlreter KLR, Walker, Sharpe JM. eds. *Fern Ecology*. New York: Cambridge University Press. Pp. 177-219. ISBN: 978-0521728201
- Wagner K, Mendieta-Leiva G, Zotz G. 2015. Host specificity in vascular epiphytes: a review of methodology, empirical evidence and potential mechanisms. *AoB PLANTS* **7**: plu092; <https://doi.org/10.1093/aobpla/plu092>
- Whittaker RJ, Willis KJ, Field R. 2001. Scale and species richness: towards a general, hierarchical theory of species diversity. *Journal of Biogeography* **28**: 453-470. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2001.00563.x>
- Zavala-Chávez F. 1995. *Encinos Hidalguenses. Chapingo, Estado de México*. México: División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. ISBN: 968-884-305-9.
- Zepeda Gutiérrez PB. 2019. *Flora del malpaís entre los poblados de San Miguel Xooltepecan Simón de la laguna, municipio Donato Guerra, Edo. México, México*. BSc Thesis. Universidad Nacional Autónoma de México.

Editor de sección: Alejandro Casas

Contribución de los autores:

HSM, trabajo en campo, determinación de las especies, compilación y organización de resultados; ABOQ, trabajo en campo, recolecta de ejemplares más recientes, análisis de resultados; JDTD, determinación de ejemplares, análisis de resultados; ASG, trabajo en campo, determinación de ejemplares, análisis de resultados.

Pteridofitas del Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México

Apéndice 1. Lista de taxones de licopodios y helechos del Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México. Todos los ejemplares fueron recolectados por Héctor Serrano Martínez, excepto 4201 y 4350-4355, ejemplares recolectados por Arturo Sánchez González. 1. Bosque de *Abies-Quercus*, 2. Bosque de galería, 3. Bosque de *Quercus*, 4. Bosque de *Abies*, 5. Bosque de *Abies-Juniperus*, 6. Bosque de *Quercus-Pinus*, 7. Bosque de *Cupressus-Abies*. Sustratos: T-Terrestre, E-Epífita, R-Rupícola. Ejemplares depositados en el herbario MEXU: *, recolecta reciente, no depositados en herbario: **, los demás depositados en el herbario HGOM.

Categoría taxonómica	Sustrato	No. de colecta	Tipo de vegetación
LYCOPODIOPSIDA			
SELAGINELLALES			
Selaginellaceae			
1. <i>Selaginella arsenei</i> Weath.	R	146*, 214, 235	4
2. <i>Selaginella pilifera</i> A. Braun	R, T	142, 191, 253*	2, 4
3. <i>Selaginella pulcherrima</i> Liebm.	R	234	4
4. <i>Selaginella rupicola</i> Underw.	R	26, 63, 212	1
5. <i>Selaginella wrightii</i> Hieron.	R	24, 25, 36	1
POLYPODIOPSIDA			
EQUISETALES			
Equisetaceae			
6. <i>Equisetum myriochaetum</i> Schldtl. & Cham.	T	127*	2
OPHIOGLOSSALES			
Ophioglossaceae			
7. <i>Botrypus virginianus</i> (L.) Michx.	T	261, 262*, 317	1, 2, 6
8. <i>Sceptridium decompositum</i> (M. Martens & Galeotti) Lyon	T	333	1
POLYPODIALES			
Aspleniaceae			
9. <i>Asplenium blepharophorum</i> Bertol.	T	117*, 120, 217,	1, 2, 6
10. <i>Asplenium fibrillosum</i> Pringle & Davenp.	R	278	1
11. <i>Asplenium hallbergii</i> Mickel & Beitel	T	91	5
12. <i>Asplenium monanthes</i> L.	T	17, 18*, 19, 41,	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
13. <i>Asplenium praemorsum</i> Sw.	T	112, 176*, 204	2
14. <i>Asplenium resiliens</i> Kunze	T	106, 245*	2
Athyriaceae			
15. <i>Athyrium arcuatum</i> Liebm.	T	167, 193, 255	1, 7
Blechnaceae			
16. <i>Woodwardia martinezii</i> Maxon ex Weath.	T	126	2
17. <i>Woodwardia semicordata</i> Mickel & Beitel	T	102	2
Cystopteridaceae			
18. <i>Cystopteris fragilis</i> (L.) Bernh.	R, T	44, 83*, 121	1, 2, 3, 4, 5, 6

Categoría taxonómica	Sustrato	No. de colecta	Tipo de vegetación
Dennstaedtiaceae			
19. <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn subsp. <i>feei</i> (W.Schaffn. ex Fée) J.A.Thomson, Mickel & Mehltz.	T	303	3, 6
Dryopteridaceae			
20. <i>Dryopteris cinnamomea</i> (Cav.) C.Chr.	T	65, 129, 209	1, 2, 3, 4, 5, 6
21. <i>Dryopteris pseudofilix-mas</i> (Fée) Rohtm.	T	86*, 159, 216, 270	1, 2, 3, 4, 5, 6
22. <i>Dryopteris wallichiana</i> (Spreng.) Hyl.	T	170, 215*	1, 3
23. <i>Elaphoglossum monicae</i> Mickel	R, T	282*, 311	3
24. <i>Elaphoglossum petiolatum</i> (Sw.) Urb.	T	223, 284*, 309	3
25. <i>Elaphoglossum piloselloides</i> (C. Presl) T. Moore	R	281	3
26. <i>Elaphoglossum tenuifolium</i> (Liebm.) T. Moore	R, T	316, 330, 331*	3
27. <i>Polystichum distans</i> E. Fourn.	T	220	1
Polypodiaceae			
28. <i>Melpomene moniliformis</i> (Lag. ex Sw.) A.R. Sm. & R. C. Moran	R	251, 273, 280*	1, 4
29. <i>Melpomene pilosissima</i> (M. Martens & Galeotti) A.R. Sm. & R.C. Moran	R	4201, 329	1
30. <i>Pechuma hartwegiana</i> (Hook.) F.C. Assis & Salino	R	61, 207*, 307	1, 4
31. <i>Pechuma longepinnulata</i> (E. Fourn.) F.C. Assis & Salino	R	267	1
32. <i>Pleopeltis guttata</i> (Maxon) E.G. Andrews & Windham	T	28, 51, 140*, 260	1, 2, 3, 4, 5, 6
33. <i>Pleopeltis madrensis</i> (J. Sm.) A.R. Sm. & Tejero	E, R	23, 64, 87, 268*	1, 2, 3, 4, 5
34. <i>Pleopeltis platylepis</i> (Mett. ex Kuhn) A.R. Sm. & Tejero	R	306	4
35. <i>Pleopeltis plebeia</i> (Schltdl. & Cham.) A.R. Sm. & Tejero	E, R	252, 295*, 300	1, 3
36a. <i>Pleopeltis polylepis</i> var. <i>interjecta</i> (Weath.) E.A. Hooper	E	85	5
36b. <i>Pleopeltis polylepis</i> var. <i>polylepis</i> (Roem. ex Kunze) T. Moore	E, R	50, 74*, 97, 155	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
37. <i>Pleopeltis polypodioides</i> (L.) E.G. Andrews & Windham	E	4351**	1, 4
38. <i>Pleopeltis thysanolepis</i> (A. Braun ex Klotzsch) E.G. Andrews & Windham	E	293*	3
39. <i>Polypodium martensii</i> Mett.	r	210*	1
40. <i>Polypodium plesiosorum</i> Kunze	E, R, T	115*, 299, 305	2, 3
41. <i>Polypodium subpetiolatum</i> Hook.	T	144*, 228, 291	2, 3
Pteridaceae			
42. <i>Adiantum andicola</i> Liebm.	T	195, 265, 286*	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
43. <i>Adiantum braunii</i> Mett. ex Kuhn	R	250	1, 3
44. <i>Adiantum poiretii</i> Wikstr.	T	133, 287*, 302	1, 2, 3
45. <i>Argyrochosma incana</i> (C. Presl) Windham	R, T	89*, 63, 243	4, 5
46. <i>Astrolepis crassifolia</i> (Houlston & T. Moore) D.M. Benham & Windham	T	104, 114*, 178	2
47. <i>Astrolepis laevis</i> (M. Martens & Galeotti) Mickel	T	4350**	1, 4
48. <i>Gaga hirsuta</i> (Link) F. W. Li & Windham	R, T	45*, 72, 192, 326	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
49. <i>Gaga marginata</i> (Kunth) F. W. Li & Windham	T	254*, 314*	3

Pteridofitas del Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México

Categoría taxonómica	Sustrato	No. de colecta	Tipo de vegetación
50. <i>Mildella fallax</i> (M. Martens & Galeotti) G.L. Nesom	T	113* 301	2, 3
51. <i>Myriopteris aurea</i> (Poir.) Grusz & Windham	R, T	12*, 68, 125, 188	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
52. <i>Myriopteris lendigera</i> (Cav.) J. Sm.	R, T	32, 49, 141*, 205	1, 2, 3, 4, 6, 7
53. <i>Myriopteris marsupianthes</i> Fée	R, T	4352**	1, 4
54. <i>Myriopteris notholaenoides</i> (Desv.) Grusz & Windham	R	296	3
55. <i>Myriopteris windhamii</i> Grusz	R, T	33*, 143, 177	1, 2, 3, 6
56. <i>Notholaena candida</i> (M. Martens & Galeotti) Hook.	R, T	175*, 238, 239	2, 4
57. <i>Pellaea cordifolia</i> (Sessé & Moc.) A.R.Sm.	R, T	4353**	1, 4
58. <i>Pellaea ovata</i> (Desv.) Weath.	R	101	2
59. <i>Pellaea sagittata</i> (Cav.) Link	R	80	5
60. <i>Pellaea ternifolia</i> subsp. <i>ternifolia</i> (Cav.) Link	R, T	29, 79, 123*, 160	1, 2, 4, 5
61. <i>Pityrogramma calomelanos</i> (L.) Link	T	124, 203*	2
62. <i>Pteris cretica</i> L.	T	116* 119, 189	2
63. <i>Pteris orizabae</i> M. Martens & Galeotti	T	285, 319, 322*	1, 3, 6
Thelypteridaceae			
64. <i>Christella ovata</i> (R.P. St. John) Á. Löve & D. Löve	T	130*	2
65. <i>Stegnogramma pilosa</i> (M. Martens & Galeotti) K. Iwats.	T	98, 172*, 201, 298	1, 2, 3, 4, 5, 7
Woodsiaceae			
66. <i>Woodsia mollis</i> (Kaulf.) J. Sm.	T	62, 92, 131, 228*	1, 2, 4, 5
SALVINIALES			
Marsilaceae			
67. <i>Marsilea mollis</i> B.L. Rob. & Fernald	A	4355**	-
Salviniaceae			
68. <i>Azolla microphylla</i> Kaulf.	A	4354**	-