



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

**“CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA, ANATÓMICA Y MORFOLÓGICA DE
Abies hidalgensis DEBRECZY, RÁCZ & GUÍZAR”**

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES



Presenta:

ELENA ROSALES ISLAS

DIRECCION GENERAL ACADÉMICA
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
COMISIÓN DE EXÁMENES PROFESIONALES

Bajo la supervisión de: **DR. DIÓDORO GRANADOS SÁNCHEZ**



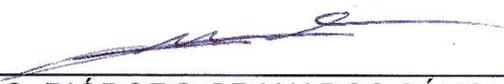
Chapingo, Estado de México, Junio de 2018

CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA, ANATÓMICA Y MORFOLÓGICA DE *Abies hidalgensis* DEBRECZY, RÁCZ & GUÍZAR

Tesis realizada por **ELENA ROSALES ISLAS** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

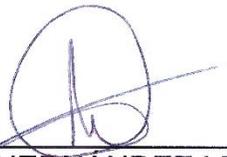
MAESTRO EN CIENCIAS

DIRECTOR:



PhD. M.C. DIÓDORO GRANADOS SÁNCHEZ

CODIRECTOR:



M. C. SERGIO HERNÁNDEZ LEÓN

ASESOR:



Dr. ALEJANDRO ISMAEL MONTERROSO RIVAS

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	ix
RESUMEN GENERAL.....	x
GENERAL ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 Objetivos.....	3
1.2 Hipótesis	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Literatura citada	7
3. ANÁLISIS MORFOLÓGICO DE <i>Abies hidalgensis</i> DEBRECZY, RÁCZ & GUÍZAR.....	12
3.1 Resumen	12
3.2 Abstract.....	13
3.3 Introducción	14
3.4 Materiales y métodos.....	16
3.5 Resultados y discusión	19
3.6 Conclusiones	28
3.7 Agradecimientos	29
3.8 Literatura citada	30
4. ANATOMÍA DE HOJAS DE <i>Abies hidalgensis</i> , <i>Abies guatemalensis</i> Y <i>Abies religiosa</i>	34
4.1 Resumen	34
4.2 Abstract.....	35
4.3 Introducción	36
4.4 Materiales y métodos.....	37
4.5 Resultados y discusión	40

4.6 Conclusiones	46
4.7 Agradecimientos	48
4.8 Literatura citada	49
5. ECOLOGÍA Y DISTRIBUCIÓN DE <i>Abies hidalgensis</i> DEBRECZY, RÁCZ & GUÍZAR	52
5.1 Resumen	52
5.2 Abstract.....	53
5.3 Introducción	54
5.4 Materiales y métodos.....	56
5.5 Resultados y discusión	58
5.6 Conclusiones	65
5.7 Agradecimientos	66
5.8 Literatura citada	67

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características evaluadas en el análisis morfológico de las poblaciones de <i>A. guatemalensis</i> y/o <i>A. hidalgensis</i> y <i>A. religiosa</i>	18
Cuadro 2. Número de individuos muestreados por especie y población.....	19
Cuadro 3. Prueba de medias y estadísticas descriptivas de conos masculinos de <i>A. religiosa</i> y <i>A. guatemalensis</i> y/o <i>A. hidalgensis</i>	20
Cuadro 4. Valor de p , Lambda de Wilks y varianza explicada de las variables analizadas.....	22
Cuadro 5. Distancias de Mahalanobis y p -valores observados en el AFD para <i>A. guatemalensis</i> y/o <i>A. hidalgensis</i> , <i>A. religiosa</i> y <i>Abies sp.</i>	23
Cuadro 6. Estadísticas descriptivas de <i>A. guatemalensis</i> , <i>A. hidalgensis</i> y <i>A. religiosa</i>	26
Cuadro 7. Características anatómicas de <i>A. guatemalensis</i> , <i>A. hidalgensis</i> y <i>A. religiosa</i>	42
Cuadro 8. Análisis de varianza de líneas de estomas en la cara abaxial de las hojas de las poblaciones de <i>Abies</i> evaluadas	45
Cuadro 9. Ejemplares observados en poblaciones de <i>A. hidalgensis</i> y población de <i>A. guatemalensis</i>	59
Cuadro 10. Altitud, exposición, pendiente y especies asociadas evaluadas en las poblaciones de <i>A. hidalgensis</i> y población de <i>A. guatemalensis</i>	61
Cuadro 11. Estructura arbórea de la comunidad de <i>A. hidalgensis</i> para el Ejido San Cornelio	62
Cuadro 12. Tablas de vida estáticas para <i>A. hidalgensis</i> , población Ejido San Cornelio y Zacacuautla	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Poblaciones de <i>A. guatemalensis</i> y <i>A. hidalgensis</i> reportadas para el área de estudio	17
Figura 2. Análisis de funciones discriminantes para las poblaciones de <i>Abies</i> evaluadas con 11 variables.	23
Figura 3. Poblaciones identificadas de <i>A. guatemalensis</i> y <i>A. hidalgensis</i> para el estado de Hidalgo.	27
Figura 4. Poblaciones de muestreo de <i>A. hidalgensis</i> y <i>A. religiosa</i>	39
Figura 5. Anatomía de la hoja en cortes de la sección media de a) <i>A. hidalgensis</i> , b) <i>A. religiosa</i> , c) <i>A. guatemalensis</i>	41
Figura 6. Composición de células hipodérmicas y tejido en empalizada en cortes de la sección media de a) <i>A. religiosa</i> , b) <i>A. hidalgensis</i> , c) <i>A. guatemalensis</i>	43
Figura 7. Composición de las células del mesófilo y posición de canales resiníferos en cortes de a) base b) sección media y c) ápice de <i>A. hidalgensis</i>	44
Figura 8. Ápice en la cara adaxial de las hojas en a) <i>A. hidalgensis</i> , b) <i>A. religiosa</i> , c) <i>A. guatemalensis</i>	46
Figura 9. Poblaciones de muestreo de <i>A. hidalgensis</i> y población registrada de <i>A. guatemalensis</i>	57
Figura 10. Curva de mortalidad y curva de supervivencia de las poblaciones de <i>A. hidalgensis</i> correspondientes a Zacacuautla (a y b) y Ejido San Cornelio (c y d).	64

DEDICATORIA

A J.L.T.I. por el apoyo incondicional.

A la familia además de la contribución moral por el apoyo físico en el desarrollo en campo de esta investigación.

A todos los docentes que se han tomado el tiempo para bríndame sus buenos consejos.

A los amigos que me apoyaron durante el desarrollo de esta investigación.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo financiero brindado para la realización de esta investigación a través del número de referencia 444516.

A la Universidad Autónoma Chapingo a través de la Dirección General de Investigación y Posgrado por el apoyo económico para el desarrollo de esta investigación bajo el proyecto especial 17156-C y el proyecto 305 “Apoyo a la investigación de tesis” y por su contribución en mi formación profesional.

A los integrantes del Comité Asesor por el apoyo brindado en la realización de esta investigación.

Al T. F. Erasmo Jarillo Gutiérrez por el apoyo en la etapa de campo de esta investigación.

A J.L.T.I, familia y docentes por el apoyo al realizar esta investigación.

Por el apoyo en la revisión de este trabajo a la Dra. Yolanda Franco Islas

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre	Elena Rosales Islas
Fecha de nacimiento	07/11/1992
Lugar de nacimiento	Amapoloa, Honey, Puebla
CURP	ROIE921107MPLSSL07
Profesión	Licenciatura en Ingeniería en Manejo de Recursos Forestales
Cédula profesional	9795790

Desarrollo académico

Bachillerato	Bachillerato General Jaime Nuno
Licenciatura	Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

RESUMEN GENERAL

Caracterización ecológica, anatómica y morfológica de *Abies hidalgensis*
Debreczy, Rácz & Guízar

Abies hidalgensis es endémica de México, así como del estado de Hidalgo, se encuentra en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN, sin embargo, no se encuentra en la lista de la Norma 059 SEMARNAT 2010. Se encuentran registradas dos poblaciones de este taxón para las cuales la información es casi nula. En el área de distribución de *A. hidalgensis* se ha reportado a *A. guatemalensis*, taxón en peligro de extinción, las investigaciones que esclarezcan la identidad taxonómica de las poblaciones es escasa. Los objetivos del presente trabajo son, delimitar y analizar la variación de las poblaciones del género *Abies* en zonas colindantes al área de distribución de *A. hidalgensis*, a través de la variación morfológica, evaluar las condiciones ecológicas, estudiar la dinámica poblacional y observar si los caracteres anatómicos, son útiles en la identificación de especies del género. Se realizó un análisis de funciones discriminantes (AFD) a partir de los caracteres morfológicos de hojas, conos y semillas, incluyendo a *A. hidalgensis*, *A. religiosa* y *A. guatemalensis*, se elaboraron tablas de vida para *A. hidalgensis*, la anatomía de hojas fue evaluada a partir de cortes de las hojas en diferentes secciones. Se identificaron nueve poblaciones de *A. hidalgensis*, el AFD muestra poder discriminativo, las variables que indican diferencias significativas entre grupos corresponden con características de hojas y conos. Las poblaciones de *A. hidalgensis* están representadas por escasos ejemplares, las poblaciones en menor estado de perturbación cuentan con 336 y 567 ejemplares, las tablas de vida indican fluctuaciones en el número de individuos a través de los distintos estadios de crecimiento analizados. Los caracteres anatómicos de la hoja ayudan a diferencias especies del género a nivel local. Las actividades de restauración y conservación sobre *A. hidalgensis* son necesarias a fin de preservar la especie.

Palabras clave: *Abies guatemalensis*, AFD, distribución, IUCN, tabla de vida.

1

GENERAL ABSTRACT

Ecological, anatomical and morphological characterization of *Abies hidalgensis*
Debreczy, Rácz & Guízar

Abies hidalgensis is endemic to Mexico, as well as the state of Hidalgo, it is found in the Red List of Threatened Species of the IUCN, however, it is not found in the list of Standard 059 SEMARNAT 2010. Two populations of this taxon are registered for which the information is almost null. In the distribution area of *A. hidalgensis* it has been reported *A. guatemalensis*, an endangered taxon, but the investigations that clarify the taxonomic identity of the populations are scarce. The objectives of this work are to delimit and analyze the variation of populations of the genus *Abies* in areas adjacent to the distribution area of *A. hidalgensis*, through morphological variation, to evaluate the ecological conditions, to study the population dynamics and to observe if the anatomical characters, are useful in the identification of species of the genus. An analysis of discriminant functions (ADF) was carried out from the morphological characters of leaves, cones and seeds, including *A. hidalgensis*, *A. religiosa* and *A. guatemalensis*, life tables were elaborated for *A. hidalgensis*, the anatomy of leaves was evaluated from cuts of the leaves in different sections. Nine populations of *A. hidalgensis* were identified, the AFD shows discriminative power, the variables that indicate significant differences between groups correspond with characteristics of leaves and cones. The populations of *A. hidalgensis* have few specimens, the populations in less disturbed state have 336 and 567 specimens, the life tables indicate fluctuations in the number of individuals through the different stages of growth analyzed. The anatomical characters of the leaf help local species differences of the genus. Restoration and conservation activities on *A. hidalgensis* are necessary in order to preserve the species.

Key words: *Abies guatemalensis*, AFD, distribution, IUCN, life table.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El género *Abies* Mill. en México está representado por 6 a 10 especies (Martínez, 1963; Farjon, 2010; Martínez-Méndez *et al.*, 2016). Cinco especies del género y una variedad se encuentran enlistadas bajo alguna categoría de riesgo (SEMARNAT, 2010) debido a problemas ecológicos, cambio de uso de suelo y contaminación en poblaciones adyacentes a zona urbana (Ávila, 2000; Saavedra-Romero *et al.*, 2003; Cruz-Ruiz *et al.*, 2012; González *et al.*, 2017). *Abies hidalgensis* Debreczy, Rácz & Guízar se encuentra en la categoría de Vulnerable D2, Lista Roja de Especies Amenazadas (IUCN, 2017), sin embargo, no se encuentra adscrita en la Nom 059 SEMARNAT 2010. Las poblaciones de este taxón son concernientes con la población tipo ubicada a 4 o 5 km al norte de Metepec, Hidalgo (Debreczy y Rácz, 1995) más un nuevo registro ubicado a 2 km al oeste del municipio de Agua Blanca de Iturbide, sin embargo, para este municipio, Hernández (1985) y Eguiarte y. Furnier. (1997) reportan a *A. guatemalensis* Rehder. Son escasas las investigaciones que permitan identificar taxonómicamente la especie que se distribuye en el área y las condiciones ecológicas actuales en que se encuentran, a pesar del estatus de riesgo en que encuentran ambas especies, aunado a esto, las poblaciones del género que se distribuyen en la zona no se han identificado de manera precisa, por lo tanto, las acciones para conservar estos taxa, se ven limitadas debido al desconocimiento de las poblaciones y a que la implementación de programas se frena ante especies no delimitadas claramente (Martínez-Méndez *et al.*, 2016). Considerando lo antes mencionado se hace evidente la importancia del estudio del género en el área de estudio.

El primero capítulo de esta investigación corresponde a la introducción general al tema de investigación, en el segundo capítulo se integra la revisión de literatura del tema investigado.

El tercer capítulo detalla la ubicación de las poblaciones referenciadas como *A. guatemalensis* y/o *A. hidalgensis* y se comparan morfológicamente entre las poblaciones para detectar sus similitudes y o delimitar las especies taxonómicamente, se incluye a *A. religiosa* (Kunth) Schltld. & Cham. que tiene poblaciones próximas. Nueve poblaciones fueron identificadas como *A. hidalgensis* y una como *A. guatemalensis*.

En el cuarto capítulo se evaluaron las condiciones ecológicas de las poblaciones de *A. hidalgensis* y se estudió la dinámica poblacional a partir de tablas de vida estáticas para definir el estado actual de las poblaciones. El número de ejemplares por población es reducido, se observan ejemplares adultos en áreas de regeneración del género *Pinus*. La población de Zacacuautla y del Ejido San Cornelio, se encuentran en menor estado de perturbación con 336 y 567 ejemplares respectivamente, sin embargo, las fluctuaciones en el número de individuos en las distintas categorías de edad siguieron el declinamiento de los ejemplares.

En el quinto capítulo de este trabajo se analiza la variación anatómica entre poblaciones de *A. hidalgensis* y con respecto a *A. religiosa*, así mismo se integran muestras de la población de la Encarnación denominadas como *A. guatemalensis*, a partir de cortes de seis micras de distintas secciones de las hojas y con respecto a su posición en las ramas, así mismo se analizó si existen diferencias en el número de líneas de estomas entre las especies. Los cortes practicados en la sección media de la hoja presentan mejor desarrollo de las estructuras, en tanto, que los cortes de la base y ápice se encuentran menos desarrollados. Las hojas de sombra presentan canales resiníferos con menor diámetro comparadas con las expuestas a sol directo. Se observó diferencia en el número de líneas de estomas entre las especies evaluadas, siendo mayor en *A. hidalgensis*.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Realizar la caracterización morfológica, anatómica y ecológica de *Abies hidalgensis* Debreczy, Rácz y Guízar para definir su estatus taxonómico.

1.1.2 Objetivos particulares

- Analizar la variación morfológica dentro de las poblaciones de *Abies hidalgensis* y entre *Abies religiosa*.
- Estudiar la anatomía de hojas como herramienta en la diferenciación de *Abies hidalgensis* y *Abies religiosa*.
- Establecer la distribución geográfica de las poblaciones de *Abies hidalgensis*.
- Evaluar las condiciones ecológicas y la dinámica poblacional de *Abies hidalgensis*.

1.2 Hipótesis

Ho: Las poblaciones de *Abies hidalgensis* no presentan variación morfológica con respecto a *Abies religiosa*.

Ha: Al menos una población de *Abies hidalgensis* presenta variación morfológica con respecto a *Abies religiosa*.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

El género *Abies* familia Pinaceae, establecido por Miller en 1754 con *Abies alba* como especie tipo, incluye de 47 a 52 especies distribuidas principalmente en el hemisferio norte (Eckenwalder, 2009; Farjon, 2010; Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014; González *et al.*, 2017). En México el género se distribuye bajo condiciones geográficas, climáticas y ecológicas distintivas, se restringe en zonas altas y húmedas de las principales cadenas montañosas, el 95% de la superficie que ocupa se localiza en altitudes mayores a 2300 msnm (Rzedowski, 2006; Pineda-López *et al.*, 2013; Jaramillo y Martínez, 2014; Martínez-Méndez *et al.*, 2016). El número de especies reconocidas oscila entre 6 y 10 especies, (Martínez, 1963; Farjon, 2010; Martínez -Méndez *et al.*, 2016; Farjon 2017), sin embargo, debido al mal manejo, tala clandestina, cambio de uso de suelo y contaminación en poblaciones adyacentes a zonas urbanas (Ávila, 2000; Saavedra-Romero *et al.*, 2003; Cruz-Ruiz *et al.*, 2012; González *et al.*, 2017), 5 especies del género y una variedad se encuentran en categoría de riesgo Norma 059 SEMARNAT 2010, de las cuales dos especies y la variedad aceptada son endémicos de México.

El género *Abies* en México cubre una superficie aproximada de 144 mil hectáreas (FAO, 2010), las coníferas incluido el género *Abies*, contribuyen a la producción forestal maderable nacional con el 78.3%, el género es el quinto recurso maderable de México (SEMARNAT, 2016), además del valor económico, la importancia del género recae en los servicios ambientales que proporcionan, captación y filtración de agua, generación de oxígeno, captación de carbono, retención del suelo, protección de la biodiversidad (especies herbáceas que se desarrollan bajo el dosel), refugio de la fauna silvestre como es el caso de las mariposas monarcas y belleza escénica (Ávila y López, 2001; Cayuela, 2006; Cuevas-Guzmán *et al.*, 2011; Sáenz-Romero *et al.*, 2012; Guerrero-Hernández *et al.*, 2014, Martínez-Méndez *et al.*, 2016).

La taxonomía del género siempre ha sido problemática, con frecuencia se encuentran formas intermedias de especies bien diferenciadas entre sí en las zonas donde la distribución se superpone (Cope, 1983), la morfología es muy poco variable entre las supuestas especies y existen datos que sugieren hibridación (Liu, 1971; St. Clair y Critchfield, 1988; Jaramillo-Correa *et al.*, 2008; Liepelt *et al.*, 2010; Semerikova *et al.*, 2011), sin embargo, la morfología ha sido empleada como herramienta en la delimitación de las especies (Martínez, 1963; Liu, 1971; Debreczy y Rácz, 1995; Farjon, 2010). Los análisis genéticos sugieren que existen menos especies de las identificadas morfológicamente (Aguirre-Planter *et al.*, 2000; Jaramillo-Correa *et al.*, 2008), sin embargo, no se ha llegado a un consenso sobre la taxonomía del género. La distribución disyunta y restringida a las partes más altas y húmedas de las principales cadenas montañosas del país y la fragmentación de las poblaciones del género puede producir una diferenciación genética y morfológica entre poblaciones (Parker *et al.*, 1981; Eguiarte y Furnier, 1997; Aguirre-Planter *et al.*, 2000; Ledig *et al.*, 2000; Jaramillo-Correa *et al.*, 2008), por lo que se hace necesaria la evaluación conjunta del componente morfológico y genético de las especies género *Abies*.

Los caracteres empleados en la diferenciación morfológica en el género *Abies* se basan en el largo y ancho de hojas, forma del ápice de las hojas, número de líneas de estomas en la cara abaxial, presencia o ausencia de estomas en la cara adaxial, largo y ancho de conos, escamas, brácteas y semillas y la relación entre estas, así mismo se incluyen caracteres anatómicos de las hojas que consideran número y posición de canales resiníferos y forma de la hipodermis principalmente (Martínez, 1963; Liu, 1971; Fernández y Nepamuceno, 1989; Strandby *et al.*, 2009; Papageorgiou *et al.*, 2015; Jasińska *et al.*, 2017).

La incertidumbre en la taxonomía del género conlleva a que las acciones de conservación se vean limitadas, ya que la implementación de programas se frena ante especies no delimitadas claramente (Martínez-Méndez *et al.*, 2016).

En el estado de Hidalgo el género *Abies* está representado por *A. guatemalensis*, *A. hidalgensis* y *A. religiosa*, sin embargo, la distribución de los primeros dos taxa

se ha indicado para la misma zona. La información sobre *A. hidalgensis* es escasa, por lo que se encuentra bajo la categoría de riesgo Vulnerable D2, en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN (IUCN, 2017) que la declara con alto riesgo de extinción, los registros poblacionales existentes hacen referencia a dos localidades ubicadas de 4 a 5 km al este del municipio de Metepec y en la localidad de El Tejocote (Debreczy y Rácz, 1995), sin embargo, los registros geográficos e información ecológica adicional es escasa. Farjon (2010) refiere a este taxón como una posible variedad de *A. hickelii* ya que son los únicos abetos mexicanos con más de dos canales resiníferos (4-7 en *A. hidalgensis* y 8-12 en *A. hickelii*), sin embargo, no ha sido descrito para Hidalgo, su distribución se restringe hacia los estados de Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Puebla y Veracruz, aunado a esto existen diferencias morfológicas entre los dos taxa.

Hernández (1985) y Eguiarte y Furnier (1997) reportaron la presencia de *A. guatemalensis* en Agua Blanca de Iturbide Hidalgo, sin embargo, no se realizó investigación posterior que ayudara a esclarecer la identidad de estas poblaciones, debido a que *A. guatemalensis* se encuentra enlistada bajo la categoría “P, en peligro de extinción”, NOM 059 SEMARNAT 2010.

Abies religiosa no ha sido reportada para el municipio de Agua Blanca de Iturbide, (Martínez, 1963; Hernández, 1985; Eguiarte y. Furnier, 1997; Rzedowski, 2006) ni colectada (*Global Biodiversity Information Facility* “GBIF” <http://www.gbif.org>; Herbario Nacional “MEXU”), sin embargo, INEGI (2017) reporta el aprovechamiento de 191 metros cúbicos de madera en rollo de este taxón.

2.1 Literatura citada

- Aguirre-Planter, E., Furnier, G. R., Eguiarte, L. E. (2000). Low levels of genetic variation within and high levels of genetic differentiation among populations of species of *Abies* from Southern Mexico and Guatemala. *American Journal of Botany*, 87(3),362–371
- Ávila, B. C. H. (2000). Ecología poblacional de *Abies hickelii* en el Pico de Orizaba, Veracruz. Colegio de Postgraduados. Informe final SNIBCONABIO proyecto No. L172. México D. F.
- Ávila, B. C. H. y López, M. L. (2001). Distribución y análisis estructural de *Abies hickelii* (Flous & Gausson) en México. *Interciencia*, 26(6), 244-251.
- Cayuela, L. (2006). Deforestación y fragmentación de bosques tropicales montanos en los altos de Chiapas, México. Efectos sobre la diversidad de árboles. *Ecosistemas*, 15,192-198.
- Cope, E. A. (1983). Chemosystematic affinities of a California population of *Abies lasiocarpa*. *Madroño*, 30(2), 110-114
- Cruz-Ruiz, E., Cruz-Ruiz, A., Aguilera-Gómez, L. I., Norman-Mondragón, H. T., Velázquez, R. A., Nava-Bernal, G., Dendooven, L., y Reyes-Reyes, B. G. (2012). Efecto en las características edáficas de un bosque templado por el cambio de uso de suelo. *Terra Latinoamericana*, 30(2), 189-197. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57324446010>.
- Cuevas-Guzmán, R., Cisneros-Lepe, E. A., Jardel-Peláez, E. J., Sánchez-Rodríguez, E. V., Guzmán-Hernández, L., Núñez-López, N. M., y Rodríguez-Guerrero, C. (2011). Análisis estructural y de diversidad en los bosques de *Abies* de Jalisco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82, 1219-1233.
- Debreczy, Z., y Rácz, I. (1995). New species and varieties of conifers from México. *Phytologia*, 78(4), 217-243.
- Eckenwalder, J. E. (2009). *Conifers of the world: the complete reference*. Timber Press, Portland. 720 p.

- Eguiarte, L. E., y Furnier, G. R. (1997). *Niveles y patrones de variación genética del género Abies en México*. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ecología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. B138. México, D.F.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), (2010). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010*. Informe nacional, México. FRA2010/132. Roma, Italia. 98 p.
- Farjon, A. (2010). *A Handbook of the World's Conifers*, vol.1. Brill Academic Publishers, Leiden
- Fernández, M. T., y Nepamuceno, M. F., (1989). Variación genética en *Abies guatemalensis* Rehder. *Revista Ciencia Forestal*, 65(14), 3-17
- GBIF (Global Biodiversity Information Facility) (2018). Gobierno de Dinamarca. Disponible en <https://www.gbif.org/search?q=abies%20hidalgensis>. (Consultado febrero de 2018).
- Gernandt, D. S., y Pérez, de la R. J. A. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 126-133.
- González, C. R., Treviño, G. E. J., González, T. M. A, Duque, M. A., y Gómez, C. M. (2017). Diversidad y estructura arbórea en un bosque de *Abies vejarii* Martínez en el sur del estado de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(45), 36-65. Disponible en <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.142>
- Guerrero-Hernández, R., González-Gallegos, J. G., y Castro-Castro, A. (2014). Análisis florístico de un bosque de *Abies* y el bosque mesófilo de montaña adyacente en Juanacatlán, Mascota, Jalisco, México. *Botanical Sciences*, 92(4), 541-562.
- Hernández, M. A. (1985). Distribución y utilidad de los *Abies* en México. *Investigaciones geográficas* 15, 75-118. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018846111985000100003

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2017). *Anuario estadístico y geográfico de Hidalgo 2017*. Disponible en: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825095093.pdf
- IUCN (International Union for Conservation of Nature) (2018). The IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2017-3. <www.iucnredlist.org>. Consultado abril 2018.
- Jaramillo-Correa, J. P., Aguirre-Planter, E., Khasa, D. P., Eguiarte, L. E., Piñero, D., Furnier, G. R., y Bousquet, J. (2008). Ancestry and divergence of subtropical montane forest isolates: molecular biogeography of the genus *Abies* (Pinaceae) in southern México and Guatemala. *Molecular Ecology*, 17, 2476–2490. Doi: 10.1111/j.1365-294X.2008.03762.x
- Jaramillo, C. J. P. y Martínez, M. N. (2014). *Modelación de la distribución geográfica de las especies del género Abies presentes en México*. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ecología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. JM015. México, D.F
- Jasińska, A., Sękiewicz, K., Ok, T., Romo, A., Boratyński, A., Boratyńska, K. (2017). Taxonomic position of *Abies equi-trojani* on the basis of needle characters by comparison with different fir species. *Turkish Journal of Botany*, 41, 620-631. Doi:10.3906/bot-1612-1
- Ledig, F. T., Bermejo-Velázquez, B., Vargas-Hernández, J. (2000) Genetic differentiation in Mexican conifers. Available at: www.fs.fed.us/global/nafc/silvi/activities/2000/conference/posters/LedigPosterNAFBW.doc.
- Liepert, S., Mayland-Quellhorst, E., Lahme, M., Ziegenhagen, B. (2010). Contrasting geographical patterns of ancient and modern genetic lineages in Mediterranean *Abies* species. *Plant Systematics and Evolution*, 284, 141–151.

- Liu, T. S. (1971). *A monograph of the genus Abies*. Department of Forestry, College of Agriculture, National Taiwan University, Taipei.
- Martínez, M. (1963). *Las pináceas mexicanas*. Instituto de Biología. UNAM. México, D.F. 410 p.
- Martínez-Méndez, N., Aguirre-Planter, E., Eguiarte, L. E., Jaramillo-Correa, J. P. (2016). Modelado de nicho ecológico de las especies del género *Abies* (Pinaceae) en México: Algunas implicaciones taxonómicas y para la conservación. *Botanical Sciences*, 94(1), 5-24. DOI: 10.17129/botsci.508
- IBUNAM-MEXU: Herbario Nacional de México. Instituto de Biología de la UNAM. Disponible en : <http://unibio.unam.mx/minero/index.jsp?accion=sc&colecciones=MEXU,Herbario>
- SEMARNAT, (2010). Norma Oficial Mexicana NOM 059 SEMARNAT 2010. Protección ambiental–Especies nativas de México de flora y fauna silvestre–Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio–Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*, Segunda Sección, jueves 30 de diciembre de 2010, México D.F.
- Papageorgiou, A. C., Kostoudi, C., Sorotos, I., Varsamis, G., Korakis, G., y Drouzas, A. D. (2015) Diversity in needle morphology and genetic markers in a marginal *Abies cephalonica* (Pinaceae) population. *Annals of Forest Research*, 58, 217–234.
- Parker, W. H., Maze, J. y Bradfield, J. E. (1981) Implications of morphological and anatomical variation in *Abies balsamea* and *A. lasiocarpa* (Pinaceae) from western Canada. *American Journal of Botany*, 68(6), 843-854. URL: <http://www.jstor.org/stable/2443190>
- Pineda-López, M. R., Ortega-Solís, R., Sánchez-Velásquez, L. R., Ortiz-Ceballos, G., Vázquez-Domínguez, G. (2013). Estructura poblacional de *Abies religiosa* (Kunth) Schlttdl. et Cham., en el Ejido el Conejo del Parque

- Nacional Cofre de Perote, Veracruz, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19(3), 375-385. DOI: 10.5154/r.rchscfa.2012.11.058
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y. Uso de la Biodiversidad. México. 432 pp.
- Saavedra-Romero, L. L., Alvarado-Rosales, D., Vargas-Hernández, J., Hernández-Tejeda, T. (2003). Análisis de la precipitación pluvial en bosques de *Abies religiosa* (HBK.) Schlecht. et Cham., en el sur de la ciudad de México. *Agrociencia*, 37(1), 57-64.
- Sáenz-Romero, C., Rehfeldt, G. E., Duval, P. y Lindig-Cisneros, R. A. (2012). *Abies religiosa* habitat prediction in climatic change scenarios and implications for monarch butterfly conservation in Mexico. *Forest Ecology and Management*, 275, 98-106.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2016). *Anuario Estadístico de la Producción Forestal*, México.
- Semerikova, S. A., Semerikov, V. L., Lascoux, M., (2011). Post-glacial history and introgression in *Abies* (Pinaceae) species of the Russian Far East inferred from both nuclear and cytoplasmic markers. *Journal Biogeography*, 8 (2), 326–340.
- St. Clair, J. B., y Critchfield, W. B. (1988) Hybridization of a Rocky Mountain fir (*Abies concolor*) and a Mexican fir (*Abies religiosa*). *Canadian Journal of Forest Research*, 18, 640-643
- Strandby, U., Christensen, K. I., y Sørensen, M., (2009). A morphometric study of the *Abies religiosa–hickelii–guatemalensis* complex (Pinaceae) in Guatemala and Mexico. *Plant Systematics and Evolution*, 280, 59-76.
- The Plant List* (2013). Versión 1.1. Publicado en internet; <http://www.theplantlist.org/> (accessed 1st January).

3. ANÁLISIS MORFOLÓGICO DE *Abies hidalgensis* DEBRECZY, RÁCZ & GUÍZAR

MORPHOLOGICAL ANALYSIS OF *Abies hidalgensis* DEBRECZY, RÁCZ & GUÍZAR

3.1 Resumen

El género *Abies* en México está representado por 6 a 10 especies, para el estado de Hidalgo se han designado tres especies *Abies guatemalensis*, *A. hidalgensis* y *A. religiosa*, las poblaciones de los dos primeros taxa se distribuyen en un área en común, sin embargo, las investigaciones que esclarezcan la identidad taxonómica de las poblaciones son escasas. Con la finalidad de coadyuvar a definir el estatus taxonómico del taxón del género ubicado en el área de distribución de *A. hidalgensis*, se analizó la variación morfológica entre poblaciones definidas como *A. hidalgensis* y/o *A. guatemalensis* y con *A. religiosa* a partir de 14 variables morfológicas. Se llevó a cabo un análisis de funciones discriminantes que muestra diferencias significativas $p < 0.0001$ y Lambda de Wilks < 0.05 entre los grupos analizados, las variables que indican diferencias significativas entre grupos corresponden con características de hojas y conos, excluyendo a la variable largo de cono, se observó un patrón similar en las variables que explican la mayor proporción de varianza para el factor uno y dos. Se identificaron 3 grupos correspondientes con *A. guatemalensis*, *A. hidalgensis* y *A. religiosa*, la distancia de Mahalanobis observada es de 69.79 entre *A. religiosa* y *A. hidalgensis* y de 11.48 entre *A. guatemalensis* y *A. hidalgensis*. *A. hidalgensis* cuenta con nueve relictos poblacionales y *A. guatemalensis* con uno, distribuidos hacia la zona sureste y noroeste del estado de Hidalgo respectivamente, mientras que *A. religiosa* se distribuye hacia la zona centro sur del estado.

Palabras clave: *Abies guatemalensis*; *Abies religiosa*; conos polinicos; distribución; funciones discriminantes; morfometría.

3.2 Abstract

The genus *Abies* in Mexico is represented approximately by six to ten species, for the state of Hidalgo three species have been recorded *Abies guatemalensis*, *A. hidalgensis* and *A. religiosa*, the populations of the first two taxa are distributed in a common area, however the investigations that clarify the taxonomic identity of the populations are scarce. In this study we analyzed the morphological variation among populations located along the *A. hidalgensis* distributional area, defined as *A. hidalgensis* and / or *A. guatemalensis* comparing them to *A. religiosa* based on the analysis of 14 morphological variables. A discriminant function analysis revealed significant differences $p < 0.0001$ and Wilk's Lambda < 0.05 among the analyzed groups, the variables that indicate significant differences among groups correspond with characteristics of leaves and cones, a similar pattern was observed in the variables that explain the greater proportion of variance for factor one and two. The Mahalanobis distance is 69.79 between *A. religiosa* and *A. hidalgensis* and 11.48 between *A. guatemalensis* and *A. hidalgensis*. Three corresponding groups were identified with *A. guatemalensis*, *A. hidalgensis* and *A. religiosa*. Nine relictual populations of *A. hidalgensis* were recorded from the southeast of the state of Hidalgo, as well as one relictual population of *A. guatemalensis* from the northeast, while *A. religiosa* is distributed towards the south central zone of the state.

Key words: *Abies guatemalensis*; *Abies religiosa*; discriminant functions; distribution; morphometry; pollen cone.

3.3 Introducción

El género *Abies* de la familia Pinaceae, establecido por Miller en 1754 con *Abies alba* como especie tipo, incluye especies típicamente monoicas de hoja perenne con copa cónica, poseen tronco recto, corteza suave y delgada en árboles jóvenes con ampollas de resina, a gruesa y surcada o en placas en árboles maduros, hojas dispuestas en espiral o retorcidas sobre la base por lo cual se colocan en un mismo plano, ausentes de vaina, típicamente con dos canales de resina, presentan dos bandas estomáticas blancas en el envés, ápice redondo o mellado, cono erguido, ovoide a cilíndrico, generalmente resinoso, dehiscente con escamas sin apófisis y umbo, redondeadas con una bráctea lobulada o alguna vez prominente y semillas aladas, (Martínez, 1963; Liu, 1971; Farjon, 2010). El género es bastante complejo en comparación con la mayoría de otros géneros de la familia Pinaceae debido a su gran variación en morfología externa e interna, sin embargo, los desacuerdos en la taxonomía del género son en gran parte atribuidos a la pobre comprensión de las relaciones filogenéticas dentro del género y a la complejidad morfológica (Xiang *et al.*, 2009), así mismo las diferencias morfológicas entre especies son bastante pequeñas y existen evidencias de hibridación (Liu, 1971; Eguiarte y Furnier, 1997; Scaltsoyiannes *et al.*, 1999; Jaramillo-Correa *et al.*, 2008; Liepelt *et al.*, 2010; Semerikova *et al.*, 2011).

El género en México está representado por 6 a 10 especies delimitadas a partir de caracteres morfológicos (Martínez, 1963; Debreczy y Rácz, 1995; Farjon, 2010; Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014; Farjon, 2017), la información genética sugiere baja diferenciación y por ende menos especies de las que han sido delimitadas morfológicamente (Aguirre-Planter *et al.*, 2000; Jaramillo-Correa *et al.*, 2008). A pesar del desacuerdo en la clasificación basada en caracteres morfológicos, este componente es empleado para coadyuvar a la delimitación de especies hasta fechas recientes (Strandby *et al.*, 2009; Vázquez-García *et al.*, 2014; Jasińska *et al.*, 2017), dada la distribución disyunta y restringida a las partes más altas y húmedas de las principales cadenas montañosas del país y a la fragmentación de las poblaciones se puede producir una diferenciación

genética y morfológica entre poblaciones (Parker *et al.*, 1981; Eguiarte y Furnier, 1997; Aguirre-Planter *et al.*, 2000; Ledig *et al.*, 2000; Jaramillo-Correa *et al.*, 2008), lo cual muestra la importancia del estudio morfológico y genético.

Los caracteres empleados en la diferenciación morfológica en el género *Abies* se basan en el largo y ancho de hojas, forma del ápice de las hojas, número de líneas de estomas en la cara abaxial, presencia o ausencia de estomas en la cara adaxial, largo y ancho de conos, escamas, brácteas y semillas y la relación entre estas, así mismo se incluyen caracteres de la anatomía de las hojas que considera número y posición de canales resiníferos y forma de la hipodermis principalmente (Martínez, 1963; Liu, 1971; Fernández y Nepamuceno, 1989; Strandby *et al.*, 2009; Papageorgiou *et al.*, 2015; Jasińska *et al.*, 2017).

La Norma Oficial Mexicana 059 SEMARNAT 2010, enlista 5 especies y una variedad del género *Abies* bajo alguna categoría de riesgo, de las cuales 2 especies y variedad son endémicas de México. Bajo este listado no se encuentra *Abies hidalgensis* Debreczy, Rácz & Guízar, especie listada bajo la categoría Vulnerable D2 en la Lista Roja de Especies Amenazadas (IUCN, 2017). La información para *A. hidalgensis*, aceptada como taxa nuevo es escasa (Farjon, 2010; The plant list, 2013; The international Plants Index, 2015; Tropicos.org, 2015), la distribución es desconocida, las características dasométricas (altura y diámetro) no se han definido y algunas características morfológicas han sido evaluadas en material vegetal del cual el estado de maduración es incierto. Farjon (2010), se refiere a este taxón como una posible variedad de *A. hickelii* Flous & Gausson, ya que son los únicos abetos mexicanos con más de dos canales resiníferos (4-7 en *A. hidalgensis* y 8-12 en *A. hickelii*), sin embargo, este taxón no ha sido descrito para Hidalgo y existen diferencias morfológicas entre dichos taxa.

Abies guatemalensis se ha reportado para el municipio Agua Blanca de Iturbide y Tenango de Doria (Hernández, 1985; Eguiarte y. Furnier 1997; Global Biodiversity Information Facility "GBIF"), mientras que *A. hidalgensis* se ha colectado en los mismos municipios (Debreczy y Rácz, 1995; Herbario Nacional

de México “MEXU”), a pesar de la categoría de riesgo en que se encuentra cada especie (SEMARNAT, 2010; IUCN, 2017) la investigación sobre dichas poblaciones es escasa. En el municipio de Agua Blanca de Iturbide, dado el poco conocimiento de estas especies, las poblaciones del género han sido referidas como *A. religiosa*, lo anterior se sugiere ya que INEGI (2017) reporta el aprovechamiento de 191 metros cúbicos de madera en rollo de este taxón, sin embargo, esta especie no ha sido reportada ni colectada en la zona (Martínez, 1963; Hernández, 1985; Eguiarte y. Furnier, 1997; Rzedowski, 2006; GBIF; MEXU), lo que sugiere aprovechamiento forestal sobre *A. guatemalensis* y/o *A. hidalgensis* especies en categoría de riesgo. Considerando lo anterior los objetivos del presente trabajo fueron 1) delimitar las poblaciones del género *Abies* localizadas en el área de distribución de *A. hidalgensis* y 2) analizar la variación morfológica entre dichas poblaciones y con las de *A. religiosa* para definir su estatus taxonomico.

3.4 Materiales y métodos

Se realizó la identificación de puntos de presencia de *Abies guatemalensis* y *Abies hidalgensis* en el área de estudio a través de la consulta de datos de GBIF y MEXU. Debido a la escasa información (Fig. 1), se realizó un muestreo en campo, ubicando las zonas boscosas cercanas a las localidades reportadas, empleando imágenes de satélite de Google Earth 7.3.1, así mismo se obtuvo información sobre la presencia del género con prestadores de servicios técnicos forestales en áreas circundantes, para la ubicación de nuevas poblaciones. Las poblaciones de *A. religiosa* seleccionadas fueron las más proximas a las poblaciones de *A. guatemalensis* y *A. hidalgensis*, se localizan en Epazoyucan y Singulucan, Hidalgo y Acoculco, Puebla. La colecta de material se realizó durante el año 2016 y 2017, en febrero y marzo y de octubre a diciembre, en bosques naturales y áreas bajo manejo forestal en ejemplares reproductivos elegidos al azar a una distancia mayor a 100 m entre individuos, en el caso de las poblaciones de *A. guatemalensis* y/o *A. hidalgensis*, consideradas así debido a la cercanía, se realizó bajo este criterio donde las condiciones de las poblaciones lo permitieron, dado que estas cuentan con pocos individuos y están restringidos

en áreas específicas. Se coletaron ramas en la parte interior del tercio superior de la corona, asegurando que fuera material de sombra, se tomaron hojas elegidas al azar de la parte media de las ramas con dos años de edad (Strandby *et al.*, 2009; Xu *et al.*, 2014; Kurt *et al.*, 2016; Jasińska *et al.*, 2017).

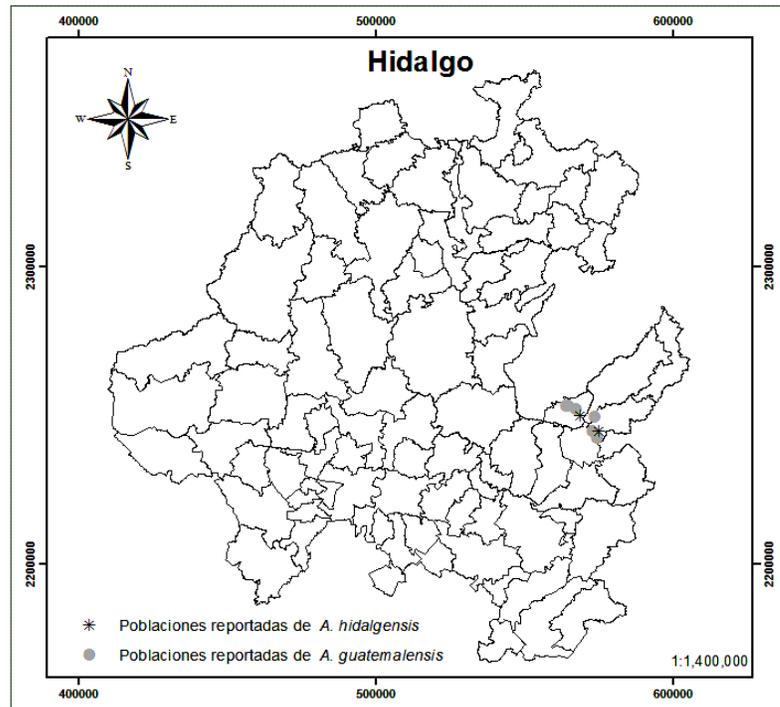


Figura 1. Poblaciones de *A. guatemalensis* y *A. hidalgensis* reportadas para el área de estudio

Con la finalidad de identificar si existen diferencias en el largo y ancho de conos polínicos entre las especies evaluadas, se obtuvieron muestras de la sección media y baja de la corona, en un individuo representativo por población en Epazoyucan para *A. religiosa* y de Acaxochitlán, Agua Blanca de Iturbide y la Encarnación para *A. guatemalensis* y/o *A. hidalgensis*, considerando 30 repeticiones, se realizó una prueba de Kruskal-Wallis con una prueba post-hoc de comparaciones múltiples de Dunn aplicando corrección de Bonferroni (Steel y Torrie, 1992; Gómez *et al.*, 2003).

Se evaluaron 14 variables morfológicas 11 de estas cuantitativas y 3 cualitativas, (Cuadro 1) (Martínez, 1963; Fernández y Nepamuceno, 1989; Strandby *et al.*,

2009). El número de ejemplares en poblaciones de *A. guatemalensis* y/o *A. hidalgensis*, varió debido a las condiciones de las mismas, para *A. religiosa* el número de individuos muestreados fue constante en 3 (Cuadro 2). Los conos femeninos fueron colectados de la sección superior de la corona, la medición de los conos se obtuvo con un vernier Mitotuyo a una precisión de centésimas de milímetro, en la sección media para el ancho. Las variables Lh, Ah, Ae, Le, Lb y Rbe se evaluaron a través de fotografías tomadas con cámara fotográfica de 10 megapíxeles de resolución con el paquete informático ImageJ Launcher versión 1.4.3.67, (Kurt *et al.*, 2016).

Cuadro 1. Características evaluadas en el análisis morfológico de las poblaciones de *A. guatemalensis* y/o *A. hidalgensis* y *A. religiosa*

Parte de la Planta	Característica	Clave	No. Muestras/Árbol
Hoja	1. Largo de la hoja ¹	Lh	30
	2. Ancho de la hoja ¹	Ah	30
	3. Forma del ápice de la hoja: Emarginado (1), Obtuso (2), Agudo (3) ²	Fa	15
	4. Orientación de las hojas: Dísticas (1), Subdísticas (2), Orientadas en todas direcciones (3) ²	Oh	15
Cono	5. Largo de conos ¹	Lc	30
	6. Ancho de Conos ¹	Ac	30
	7. Ancho de la escama ¹	Ae	30
	8. Largo de la escama ¹	Le	30
	9. Largo de la bráctea ¹	Lb	30
	10. Relación bráctea/escama ¹	Rbe	30
	11. Forma de la bráctea: Exerta (1), Inclusa (2) ²	Fb	15
Semillas	12. Largo de la semilla ¹	Ls	30
	13. Largo del ala ¹	La	30
	14. Relación largo de la semilla/largo del ala ¹ .	Rsa	30

¹ Variables cuantitativas y ² variables cualitativas

Las variables cuantitativas se analizaron a través de un análisis de funciones discriminantes (AFD), para determinar si existen diferencias significativas entre

los grupos evaluados respecto a las variables medidas, mediante el software STATISTICA versión 10 (Jasińska *et al.*, 2017). Se realizó la prueba de Mardia y la prueba de Bartlett, para corroborar la multinormalidad e igualdad de matrices de covarianza respectivamente. Las variables cualitativas se emplearon para elaborar una matriz de distancias de Gower (Demey *et al.*, 2011), que permite medir el grado de asociación entre especies evaluadas. Se realizó un análisis de correlación de Pearson para analizar la relación entre los caracteres morfológicos con la altitud, latitud y longitud (Strandby *et al.*, 2009).

Cuadro 2. Número de individuos muestreados por especie y población.

Especie	Municipio	Localidad	Altitud msnm	Individuos muestreados
<i>A. guatemalensis</i> y/o <i>A. hidalgensis</i>	Acaxochitlán	Zacacuautla*	2180	3
	Agua Blanca de Iturbide	Ejido San Cornelio*	2380	3
		Ejido San Pedrito	2248	1
		P.P+. Las Águilas	2305	2
	Tenango de Doria	La Cruz de Tenango	2318	1
Zimapán	La Encarnación	2420	1	
<i>A. religiosa</i>	Acoculco	Ejido Acoculco	2806	3
	Epazoyucan	Ejido Xolostitla*	2885	3
	Singuilucan	Ejido Tecocomulco	2880	3

* Poblaciones de muestreo de conos masculinos, + propiedad privada, altitud máxima observada por población.

3.5 Resultados y discusión

La prueba de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas entre el largo y ancho de los conos polínicos, con un valor de $p < 0.001$, la prueba de Dunn con el valor de p corregido por Bonferroni muestra diferencias significativas $p < 0.05$ con respecto al largo de los conos polínicos entre la población de *A. religiosa* y las

poblaciones de *A. hidalgensis* y/o *A. guatemalensis*, para el ancho de los microestróbilos hay diferencias significativas $p < 0.001$, para las poblaciones de Agua Blanca y Zacacuautla con Epazoyucan y La Encarnación, (Cuadro 3), la coloración roja producida por microsporofilas se observó en *A. religiosa* y en la población de La Encarnación, mientras que en las poblaciones restantes esta coloración no fue observada. La morfología del cono masculino es poco empleada en la diferenciación del género *Abies*, sin embargo, es una de las características empleada en la descripción de las distintas especies (Martínez, 1963; Vázquez-García *et al.*, 2014; Farjon, 2017). Los valores observados para largo (14 a 29 mm) y ancho (6 a 9 mm) de conos masculinos en *A. religiosa* y largo de conillos (9 a 25 mm) en *A. hidalgensis* son superiores a los reportados (Martínez, 1963; Farjon, 2010; Farjon, 2017), (Cuadro 3), por tanto, sería necesario un muestreo más amplio para determinar el grado de variación de este carácter.

Cuadro 3. Prueba de medias y estadísticas descriptivas de conos masculinos de *A. religiosa* y *A. guatemalensis* y/o *A. hidalgensis*

Población	Promedio		Máximo		Mínimo	
	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho
Agua Blanca	16.44a	5.93a	24.12	7.18	9.75	4.59
La Encarnación	15.23a	5.14b	22	5.95	11.37	4.1
Epazoyucan	19.15b	7.12c	29.39	8.57	14.08	6.03
Zacacuautla	16.54a	6.04a	25.65	7.39	10.75	4.36

Letras diferentes en cada columna indican diferencia estadística significativa entre poblaciones. Mediciones en mm.

Los ejemplares de la población de La Encarnación muestran diferencias morfológicas con los individuos de las poblaciones restantes por lo que se consideraron como un grupo distinto definido como *Abies* sp. El análisis de funciones discriminantes mostró valores significativos para las variables Lh, Ah, Ac, Le, Ae, Lb, Rbe, La, Rsa, lo cual indica alto poder discriminativo (Garnica *et al.*, 1991; Suazo *et al.*, 2008), el valor de Lambda de Wilks para las variables indicadas oscila entre 0.045 a 0.054 (Cuadro 4). La variable Lc no indica diferencia morfológica entre los grupos. La mayor proporción de la varianza para el factor 1 está dada por las variables Ah, Ac, Ae, Lb, Rbe y Ls y en el factor 2

por Ah, Le, Lb, Rbe, Ls y Rsa (Cuadro 4). Strandby *et al.* (2009) observaron que las variables de proporción tienen bajo poder discriminativo al realizar un análisis de componentes principales para lo que denomina complejo *A. religiosa-hickelii-guatemalensis*, en el presente estudio las variables de relación Rbe y Rsa tienen poder discriminativo entre los grupos evaluados, así mismo observa que las variables que aportan más al modelo se relacionan con las características del cono y hoja lo cual es similar a lo observado en el presente estudio.

Jasińska *et al.* (2017) en un análisis discriminante para seis especies de *Abies* observaron poder discriminativo de algunas de las variables de relación empleadas, aunque, estas difieren de las empleadas en el presente trabajo y por (Strandby *et al.*, 2009), sin embargo, son definidas a partir de la morfología y anatomía de las hojas. Parker *et al.* (1981), observaron variación entre análisis realizados con características de hojas y cono entre *A. balsamea* (L.) Mill. y *A. lasiocarpa* (Hook.) Nutt., e indican que dichos elementos se enfrentan a diferentes presiones de selección, sin embargo, no observan diferencias significativas al unir características de cono y hojas en un solo análisis, contrastante con lo observado en el presente trabajo donde se pueden observar diferencias significativas entre los grupos definidos. Eguiarte y Furnier (1997) argumentan que la razón para una baja diferenciación entre las especies del género *Abies* puede ser atribuida a las fluctuaciones en las poblacionales con origen reciente vinculada a los cambios de altitud de sus poblaciones que se estima sucedieron durante las glaciaciones y sus periodos benignos recientes, aunado a esto los bajos niveles de diferenciación entre las especies del género *Abies* puede ser atribuidos a eventos de hibridación entre las especies, los procesos de hibridación en especies del género han sido evaluadas y documentadas (Hawley y DeHayes, 1985; St. Clair y Critchfield, 1988; Kormuták *et al.*, 2013).

Cuadro 4. Valor de p , Lambda de Wilks y varianza explicada de las variables analizadas

Variable	Función discriminante		Varianza explicada	
	Wilks'	p -valor	Factor 1	Factor 2
Lh	0.047	0.000	0.118	0.385
Ah	0.054	0.000	-0.513	0.789
Lc	0.045	0.511	0.031	0.113
Ac	0.049	0.000	-0.413	0.345
Le	0.046	0.000	0.111	1.407
Ae	0.054	0.000	0.606	-0.342
Lb	0.048	0.000	-0.763	-1.136
Rbe	0.047	0.000	-0.562	0.422
Ls	0.045	0.019	-0.434	-0.935
La	0.046	0.003	0.288	1.221
Rsa	0.046	0.000	-0.184	-1.805
Varianza acumulada			0.985	1.000

La prueba de Chi-Cuadrada con un valor de $p < 0.001$, muestra que son necesarios dos factores para explicar el 100% de la varianza, lo cual contrasta con Jasińska *et al.* (2017), indican que los dos primeros factores de un análisis discriminante para la clasificación de 6 especies de *Abies* explican un 70% de la variación, sin embargo, no emplea variables directamente medidas sobre hojas y conos sino variables de relación. La matriz de clasificación indica que *A. religiosa* y *A. hidalgensis* y/o *A. guatemalensis* son correctamente asignados en un 99% de los casos mientras que *Abies* sp. es correctamente asignado en un 90% de las veces, en la figura 2 se observa un grupo bien definido *A. religiosa*, mientras que *A. guatemalensis* y/o *A. hidalgensis* y *Abies* sp. se sobrelapan, Jasińska *et al.* (2017) reportaron valores de clasificación correcta desde un 54% hasta un 82% inferiores observados en el presente trabajo. Strandby *et al.* (2009) en un ACP observa que *A. religiosa* es pobremente diferenciado de *A. hickelii* y *A. guatemalensis*, mientras que en el presente estudio se puede diferenciar de *A. hidalgensis* y/o *A. guatemalensis* y *Abies* spp., sin embargo, el número de muestras difiere por población e individuo, por lo que es necesario evaluar cuantas muestras son requeridas para obtener resultados aceptables, aunado a

esto Jasińska *et al.* (2017) sugiere que el método de muestreo puede explicar las diferencias en los resultados en las distintas investigaciones.

La distancia de Mahalanobis es mayor entre *A. religiosa* y *A. hidalgensis* y/o *A. guatemalensis* al igual que entre *A. religiosa* y *Abies* sp., mientras que la menor distancia se observa entre *A. hidalgensis* y/o *A. guatemalensis* y *Abies* sp. (11.483), con valores de $p < 0.0001$ (Cuadro 5).

Cuadro 5. Distancias de Mahalanobis y p -valores observados en el AFD para *A. guatemalensis* y/o *A. hidalgensis*, *A. religiosa* y *Abies* sp.

Especie	<i>A. hidalgensis</i> y/o <i>A. guatemalensis</i>	<i>A. religiosa</i>	<i>Abies</i> sp p.
<i>A. hidalgensis</i> y/o <i>A. guatemalensis</i>	0	69.791	11.483
<i>A. religiosa</i>	69.791	0	40.555
<i>Abies</i> sp.	11.483	40.555	0

Distancia de Mahalanobis

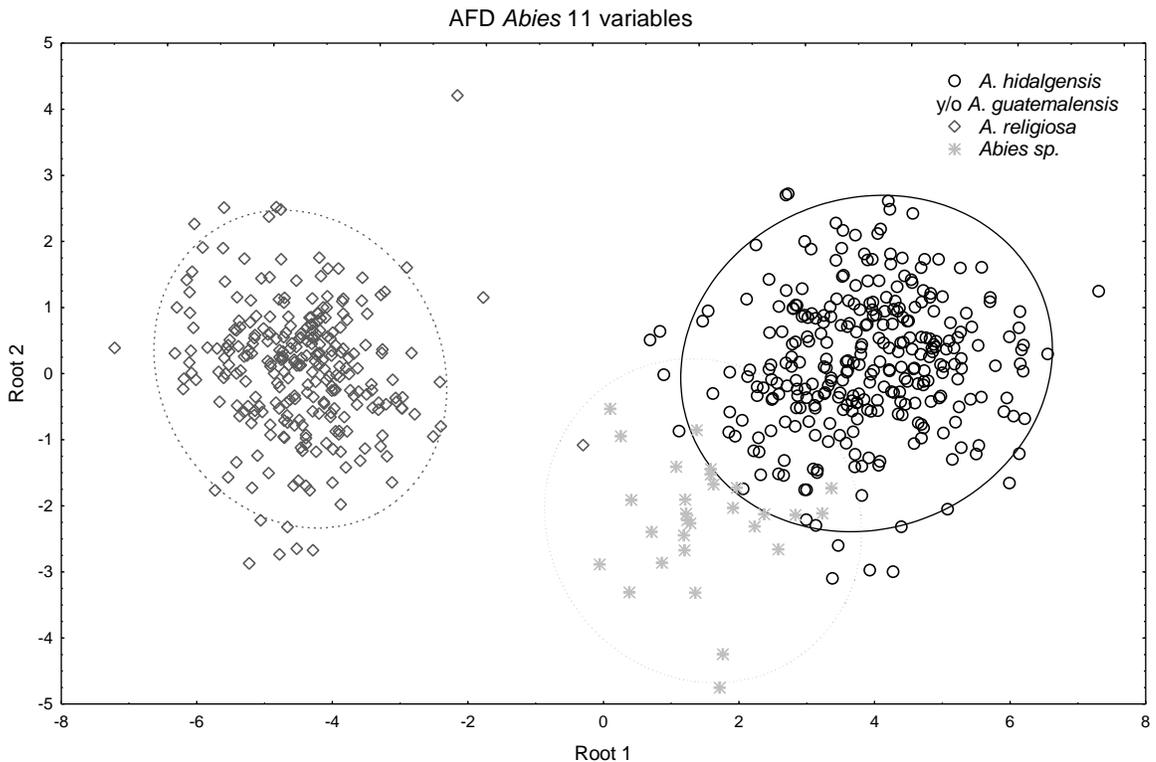


Figura 2. Análisis de funciones discriminantes para las poblaciones de *Abies* evaluadas con 11 variables.

La matriz de distancias de Gower muestra asociación entre *A. guatemalensis* y/o *A. hidalgensis* y *Abies* sp. y difieren con *A. religiosa*, en los primeros dos grupos se observa ápice emarginado con hojas de dísticas a subdísticas y bráctea inclusa, mientras que *A. religiosa* muestra ápice agudo, hojas de subdísticas a orientadas en todas direcciones y bráctea exerta.

El AFD indica diferencias significativas entre las variables evaluadas de los grupos definidos, excluyendo el Lc, sin embargo, se puede observar que los valores se superponen, Jasińska *et al.* (2017), observó patrones similares al diferenciar especies de *Abies*, por tanto, es necesario emplear más de un carácter morfológico en la diferenciación de especies.

El AFD muestra que los individuos del grupo *A. guatemalensis* y/o *A. hidalgensis*, corresponden a una sola especie. Los individuos muestreados presentan diferencias morfológicas con *A. guatemalensis*, principalmente en largo de la hoja, largo de la semilla, largo y ancho del cono y número de canales resiníferos, se observa mayor similitud morfológica con *A. hidalgensis*, de acuerdo a lo reportado por (Farjon, 2017). El AFD, no muestra diferencias significativas entre las poblaciones que se ubican en dirección y distancia aproximada a la población tipo de *A. hidalgensis* y las poblaciones referidas como *A. guatemalensis*. Las poblaciones del género que se distribuyen en los municipios de Agua Blanca, Acaxochitlán y Tenango de Doria presentan afinidad morfológica con *A. hidalgensis*, en contraste los individuos de la localidad de La Encarnación muestran asociación morfológica con *A. guatemalensis*. Las poblaciones de *A. hidalgensis* distribuidas en los municipios de Agua Blanca, Acaxochitlán y Tenango de Doria, presentan diferencias morfológicas con *A. guatemalensis*, principalmente en largo de la hoja, largo de la semilla, largo y ancho del cono y número de canales resiníferos, en contraste los individuos de la población de La Encarnación muestran mayor afinidad morfológica con *A. guatemalensis* (Martínez 1963; Farjon, 2017). Martínez-Méndez *et al.*, (2016) indican que *A. guatemalensis*, *A. hickelii* y *A. religiosa* presentan distribución potencial en el estado de Hidalgo, los dos primeros taxa hacia el área de distribución de *A.*

hidalgensis, en base a la morfología la población de La Encarnación corresponde con *A. guatemalensis*, sin embargo, las poblaciones de Agua Blanca, Acaxochitlán y Tenango de Doria difieren, lo cual se puede atribuir a que inicialmente las poblaciones de Agua Blanca y Tenango de Doria fueron erróneamente referidas como *A. guatemalensis*.

Farjon (2010) refiere a *A. hidalgensis* como una variedad de *A. hickelii*, sin embargo, difieren en la mayoría de sus caracteres dasométricos, morfológicos y de distribución, *A. hidalgensis* puede alcanzar una altura de hasta 55 m y un diámetro de 160 cm mientras que *A. hickelii* alcanza 30 m de alto y 130 cm de diámetro, así mismo *A. hickelii* se puede distribuir de 2500 a 3000 msnm mientras que *A. hidalgensis* se distribuye de 2150 a 2400 msnm, morfológicamente las hojas y conos de *A. hickelii* tienden a ser de menores dimensiones que en *A. hidalgensis*, la bráctea y número de canales resiníferos difieren entre ambos taxa, *A. hickelii* presenta bráctea exerta y de 4 a 10 canales resiníferos rara vez 12, mientras que en *A. hidalgensis* presenta bráctea inclusa y de 2 a 4 canales resiníferos rara vez 5.

Abies religiosa presenta los conos de mayor longitud y ancho, seguido de *A. hidalgensis* y posteriormente de *A. guatemalensis*, en el caso del largo de las hojas, los valores más altos se observaron para *A. hidalgensis*, seguido de *A. religiosa* y por ultimo *A. guatemalensis* (Cuadro 6). La relación bráctea-escama en *A. hidalgensis* oscila en 0.62, en *A. religiosa* se encuentra en 1.15, mientras que en *A. guatemalensis* es de 0.84.

Cuadro 6. Estadísticas descriptivas de *A. guatemalensis*, *A. hidalgensis* y *A. religiosa*

Especie	Estadístico	Lh	Ah	Lc	Ac	Ae	Lb
<i>A. hidalgensis</i>	Promedio	2.68	0.18	8.27	3.67	3.09	1.48
	Varianza	0.55	0.00	1.95	1.22	0.15	0.06
	Máximo	4.33	0.25	12.30	4.78	3.99	2.13
	Mínimo	1.15	0.12	5.22	2.55	1.71	0.97
<i>A. religiosa</i>	Promedio	2.24	0.59	10.44	4.65	2.22	2.70
	Varianza	0.32	0.36	1.77	2.72	0.13	0.20
	Máximo	3.62	0.19	14.58	5.53	2.99	3.68
	Mínimo	1.00	0.12	8.10	3.08	1.02	1.39
<i>Abies</i> sp.	Promedio	2.19	0.18	8.00	3.64	2.15	3.04
	Varianza	0.27	0.00	1.11	2.85	0.06	0.23
	Máximo	2.95	0.22	10.07	4.49	2.58	3.54
	Mínimo	1.06	0.15	6.52	2.25	1.63	1.88

Todas las mediciones son dadas en cm. Lh, largo de la hoja; Ah, ancho de la hoja; Lc, largo del cono; Ac, ancho del cono, Ae, ancho de la escama; Lb, largo de la bráctea.

Considerando lo anterior se identifican para el estado de Hidalgo nueve relictos poblacionales de *A. hidalgensis* ubicados en la zona sureste y un relictos poblacional de *A. guatemalensis* localizado hacia la zona noreste, en contraste *A. religiosa* se ubica en la zona centro sur del estado (Fig. 3). En propiedades privadas aledañas al Ejido San Cornelio se observaron ejemplares adultos aislados, sin regeneración natural aparente aun cuando se observa producción de semilla, sin embargo, no exceden los 10 individuos. Las poblaciones que se encuentran en dirección y distancia aproximada de la población tipo de *A. hidalgensis* corresponden con las ubicadas en las localidades de Linda Vista y La Cruz de Tenango. Los ejemplares ubicados en la localidad de la Cumbre del Manzano, Honey, Puebla, corresponden a individuos plantados de *A. hidalgensis*, se observa producción de semilla.

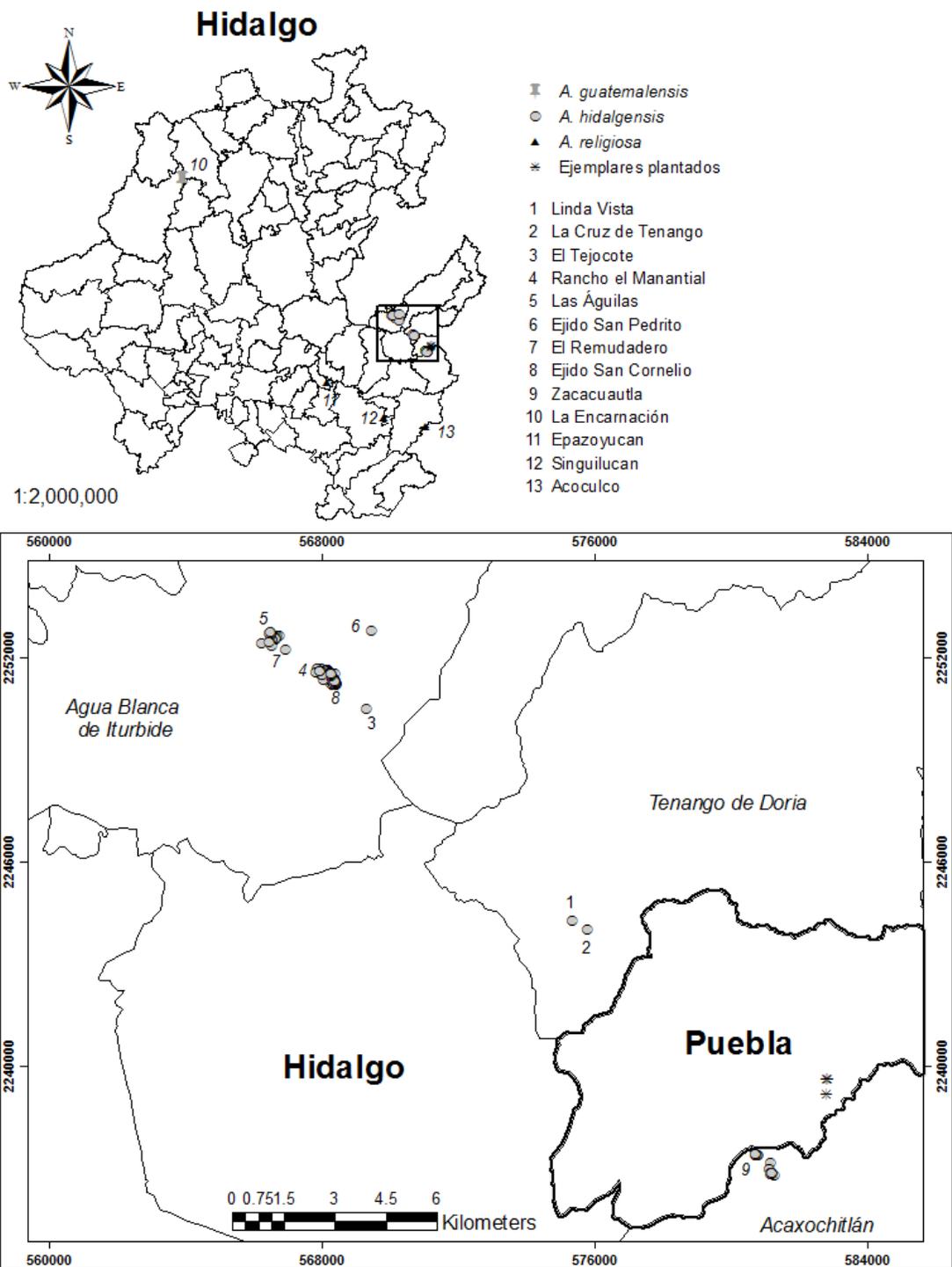


Figura 3. Poblaciones identificadas de *A. guatemalensis* y *A. hidalgensis* para el estado de Hidalgo.

3.6 Conclusiones

El análisis de funciones discriminantes muestra diferencias significativas entre *A. religiosa*, *A. hidalgensis* y *A. guatemalensis* y entre variables evaluadas con excepción de largo del cono, sin embargo, esta misma variable tiene poder discriminativo en el análisis, aporta variación en los dos primeros factores. Se agrupan los ejemplares de poblaciones identificadas como *A. guatemalensis* y *A. hidalgensis*, considerando el AFD y las diferencias morfológicas reportadas entre lo taxa, se han identificado a los individuos de las poblaciones analizadas como *A. hidalgensis*, sin embargo, se excluyen los ejemplares de la población de La Encarnación debido a las diferencias morfológicas observadas. La distancia de Mahalanobis es mayor entre *A. religiosa* y *A. hidalgensis* y menor entre este último y *A. guatemalensis*, la gráfica elaborada a partir del AFD, muestra un grupo bien definido, mientras que *A. guatemalensis*, se sobrepone con *A. hidalgensis*. Existen diferencias significativas en el largo y ancho principalmente de los conos masculinos de *A. guatemalensis*, *A. hidalgensis* y *A. religiosa*, así mismo las dimensiones observadas de los conillos para *A. religiosa* difieren con otros reportados, por lo cual puede ser un carácter importante al momento de identificar especies del género, sin embargo, es necesario un muestreo más amplio para determinar el grado de variación de este carácter. Dados los resultados de los análisis es posible diferenciar tres especies de *Abies* para el estado de Hidalgo, es necesario realizar análisis genéticos para determinar si existen diferencias entre *A. guatemalensis*, *A. hickelii* y *A. hidalgensis*. Las condiciones de las poblaciones analizadas hacen evidente la necesidad de acciones de restauración y conservación. Es importante notar que las características morfológicas evaluadas se superponen entre los taxa evaluados, por lo que es importante analizar más de un carácter morfológico al momento de diferenciar especies dentro del género.

3.7 Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo financiero brindado para la realización de esta investigación a través del número de referencia 444516.

A la Universidad Autónoma Chapingo a través de la Dirección General de Investigación y Posgrado por el apoyo económico para el desarrollo de esta investigación bajo el proyecto especial 17156-C.

3.8 Literatura citada

- Aguirre-Planter, E., Furnier, G. R., Eguiarte, L. E. (2000) Low levels of genetic variation within and high levels of genetic differentiation among populations of species of *Abies* from Southern Mexico and Guatemala. *American Journal of Botany*, 87(3),362–371
- Debreczy, Z., y Rácz, I. (1995). New species and varieties of conifers from México. *Phytologia* 78(4), 217-243.
- Demey, J. R., Pla, L., Vicente-Villardón, J. L., Di, R. J. A., y Casanovez, F. (2011). Medidas de distancia y similitud. En Fernando Casanoves, Laura Pla, Julio Di Rienzo (Ed.), *Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos*, (47-59). CATIE.
- Farjon, A. (2010). *A Handbook of the World's Conifers*, vol.1. Brill Academic Publishers, Leiden
- Farjon, A. (2017). *A Handbook of the Worlds' Conifers*, vol.1. 2da Edition, Brill Academic Publishers, Leiden.
- Fernández, M. T., y Nepamuceno, M. F. (1989). Variación genética en *Abies guatemalensis* Rehder. *Revista Ciencia Forestal*, 65(14), 3-17.
- Eguiarte, L. E., y Furnier, G.R. (1997). Niveles y patrones de variación genética del género *Abies* en México. Informe final del proyecto B138. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- GBIF (Global Biodiversity Information Facility), (2018). Gobierno de Dinamarca. Disponible en <https://www.gbif.org/search?q=abies%20hidalgensis>. (Consultado febrero de 2018).
- Gernandt, D. S. y Pérez de la Rosa, J. A. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 126-133.
- Gómez-Gómez, M., Danglot-Banck, C., y Vega-Franco, L. (2003). Sinopsis de pruebas estadísticas no paramétricas. Cuando usarlas. *Revista Mexicana de Pediatría*, 70(2), 90-99.
- Hawley, G. J., y DeHayes, D. H. (1985) Hybridization among several North American firs. I. Crossability. *Canadian Journal of Forest Research*, 15 (1),42–49 <https://doi.org/10.1139/x85-009>
- Hernández, M. A. (1985). Distribución y utilidad de los *Abies* en México. *Investigaciones geográficas* 15, 75-118. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018846111985000100003
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2017). *Anuario estadístico y geográfico de Hidalgo 2017*. Disponible en: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825095093.pdf

- International Union for Conservation of Nature (IUCN). (2018). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2017-3. <www.iucnredlist.org>. Consultado abril 2018.
- Jaramillo-Correa, J. P., Aguirre-Planter, E., Khasa, D. P., Eguiarte, L. E., Piñero, D., Furnier, G. R., y Bousquet, J. (2008). Ancestry and divergence of subtropical montane forest isolates: molecular biogeography of the genus *Abies* (Pinaceae) in southern México and Guatemala. *Molecular Ecology*, 17, 2476–2490. Doi: 10.1111/j.1365-294X.2008.03762.x
- Jasińska, A., Sękiewicz, K., Ok, T., Romo, A., Boratyński, A., Boratyńska, K. (2017). Taxonomic position of *Abies equi-trojani* on the basis of needle characters by comparison with different fir species. *Turkish Journal of Botany*, 41, 620-631. Doi:10.3906/bot-1612-1
- Kormuták, A., Vookova, B., Camek, V., Salaj, T., Galgóci, M., Manka, P., Bolecek, P., Kuna, R., Koblíha, J., Lukácik, I., y Gomory, D. (2013). Artificial hybridization of some *Abies* species. *Plant Systematics and Evolution*, 299, 1175–1184 DOI 10.1007/s00606-013-0787-9
- Kurt, Y., Frampton, J., Isik, F., Landgren, C., y Chastagner, G., (2016) Variation in needle and cone characteristics and seed germination ability of *Abies bornmuelleriana* and *Abies equi-trojani* populations from Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 40, 169–176.
- Ledig, F. T., Bermejo-Velázquez, B., Vargas-Hernández, J. (2000) Genetic differentiation in Mexican conifers. Disponible en www.fs.fed.us/global/nafc/silvi/activities/2000/conference/posters/LedigPosterNAFBW.doc.
- Liepelt, S., Mayland-Quellhorst, E., Lahme, M., Ziegenhagen, B. (2010). Contrasting geographical patterns of ancient and modern genetic lineages in Mediterranean *Abies* species. *Plant Systematics and Evolution*, 284, 141–151.
- Liu, T. S. (1971). *A monograph of the genus Abies*. Department of Forestry, College of Agriculture, National Taiwan University, Taipei.
- Martínez, M. (1963). *Las pináceas mexicanas*. Instituto de Biología. UNAM. México, D.F. 410 p.
- Martínez-Méndez, N., Aguirre-Planter, E., Eguiarte, L. E., Jaramillo-Correa, J. P. (2016). Modelado de nicho ecológico de las especies del género *Abies* (Pinaceae) en México: Algunas implicaciones taxonómicas y para la conservación. *Botanical Sciences*, 94(1), 5-24. DOI: 10.17129/botsci.508
- Papageorgiou, A. C., Kostoudi, C., Sorotos, I., Varsamis, G., Korakis, G., y Drouzas, A. D. (2015) Diversity in needle morphology and genetic markers in a marginal *Abies cephalonica* (Pinaceae) population. *Annals of Forest Research* 58, 217–234.

- Parker, W. H., Maze, J. y Bradfield, J. E. (1981) Implications of morphological and anatomical variation in *Abies balsamea* and *A. lasiocarpa* (Pinaceae) from western Canada. *American Journal of Botany*, 68(6), 843-854. URL: <http://www.jstor.org/stable/2443190>
- Rasband, W. ImageJ versión 1.51w. National Institutes of Health, USA. <http://imagej.nih.gov/ij>.
- Ruiz, A. G. (2013). Análisis Discriminante. *Revista Varianza*, 10, 1-10. Disponible en: <http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rv/n10/n10a02.pdf>
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y. Uso de la Biodiversidad. México. 432.
- Scaltsoyiannes, A, Tsaktsira, M., Drouzas, D. (1999) Allozyme differentiation in the Mediterranean firs (*Abies*, Pinaceae). A first comparative study with phylogenetic implications. *Plant Systematics and Evolution*, 216 (3/4), 289-307. URL: <http://www.jstor.org/stable/23643660>
- SEMARNAT, (2010). Norma Oficial Mexicana NOM 059 SEMARNAT 2010. Protección ambiental–Especies nativas de México de flora y fauna silvestre–Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio–Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*, Segunda Sección, jueves 30 de diciembre de 2010, México D.F.
- Semerikova, S. A., Semerikov, V. L., Lascoux, M. (2011). Post-glacial history and introgression in *Abies* (Pinaceae) species of the Russian Far East inferred from both nuclear and cytoplasmic markers. *Journal Biogeography*, 8 (2), 326–340.
- St. Clair, J. B., y Critchfield, W. B. (1988) Hybridization of a Rocky Mountain fir (*Abies concolor*) and a Mexican fir (*Abies religiosa*). *Canadian Journal of Forest Research*, 18, 640-643
- Stat Soft, Inc. (2011). STATISTICA (data analysis software system), versión 10. www.statsoft.com.
- Steel, R.G.D., y Torrie, J. H. (1992). *Bioestadística: Principios y procedimientos*. Mc. Graw Hill. México. Pp: 530-531.
- Strandby, U., Christensen, K. I., y Sørensen, M. (2009). A morphometric study of the *Abies religiosa–hickelii–guatemalensis* complex (Pinaceae) in Guatemala and Mexico. *Plant Systematics and Evolution* 280, 59-76.
- The international Plants Index, (2005). Versión 1.6. Disponible en: <http://www.ipni.org/ipni/idPlantNameSearch.do?id=301448-2>. (Consultado marzo 2018)
- The Plant List* (2013). Versión 1.1. Disponible en: <http://www.theplantlist.org/> (Consultado marzo 2018).

Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. Disponible en: <http://www.tropicos.org>
(Consultado abril 2018)

Vázquez-García, J. A., Shalisko, V., Cuevas-Guzmán, R., Muñiz-Castro, M. A., Mantilla-Blandón, M. R. (2014). *Abies jaliscana* (Pinaceae): A new combination in section *Grandis* and a Key to the species of *Abies* in Western Mexico. *Phytotaxa*, 183(1), 27-36.

Xiang, Q. P., Xiang, Q. Y., Guo, Y. Y., Zhang, X. C., (2009). Phylogeny of *Abies* (Pinaceae) inferred from nrITS sequence data. *Taxon* 58, 141–152.

Xu, P., Zhang, X., Zhao, C., Chen, L., Gao, X., Yao, G., Deng, J., Deng Y. (2014). Foliar responses of *Abies fargesii* Franch. to altitude in the Taibai Mountain, China. *Polish Journal of Ecology*, 62, 479–492. DOI: <http://dx.doi.org/10.3161/104.062.0309>

4. ANATOMÍA DE HOJAS DE *Abies hidalgensis*, *Abies guatemalensis* Y *Abies religiosa*

ANATOMY OF LEAVES OF *Abies hidalgensis*, *Abies guatemalensis* Y *Abies religiosa*

4.1 Resumen

La taxonomía del género *Abies* siempre ha sido problemática, debido a las controversias entre los datos genéticos y morfológicos, no se tiene un consenso sobre el número de especies. La anatomía de hojas es una herramienta que puede coadyuvar a definir el estatus taxonómico de algunas especies. En esta investigación se evaluó el número de canales resiníferos, la presencia de estomas en la cara adaxial de la hoja, composición de la epidermis, hipodermis, tejido en empalizada y tejido esponjoso en cortes de la base, sección media y ápice de 5 hojas elegidas al azar expuestas al sol y sombra de 6 poblaciones de *A. hidalgensis* y dos de *A. religiosa*, a través de fotografías tomadas por microscopio, adicionalmente se evaluó el número de líneas de estomas en la cara abaxial de 30 hojas seleccionadas aleatoriamente para las mismas poblaciones. El número de canales resiníferos en *A. hidalgensis* varía entre 2-4 y rara vez 5 mientras que para *A. religiosa* la presencia de dos canales resiníferos es constante, el diámetro de los canales resiníferos es mayor en hojas expuestas al sol directo. Se observó variación en la hipodermis y tejido en empalizada entre las especies evaluadas mientras que la epidermis y el tejido esponjoso son invariables a nivel de especie. La hipodermis y el tejido esponjoso varía entre cortes con relación a la sección de la hoja analizada, no se observó variación entre cortes de hojas de sombra y hojas expuestas a sol directo. El número de líneas de estomas en la cara abaxial de las hojas muestra diferencias significativas entre *A. religiosa* y *A. hidalgensis*. *A. religiosa* presenta mayor cantidad de estomas en la cara adaxial de las hojas en comparación con *A. hidalgensis* donde son escasos.

Palabras clave: Canales de resina, estomas, hipodermis, epidermis

4.2 Abstract

The taxonomy of the genus *Abies* has always been problematic, due to the controversies between the genetic and morphological data, there is no consensus on the number of species. The anatomy of leaves is a tool that can contribute to define the taxonomic status of some species. In this investigation the number of resin canals, the presence of stomas on the adaxial face of the leaf, composition of the epidermis, hypodermis, palisade tissue and spongy tissue in the base sections, middle section and apex of 5 chosen leaves were evaluated. randomly exposed to the sun and shadow of 6 populations of *A. hidalgensis* and two of *A. religiosa*, through photographs taken by microscope, additionally the number of stomatal lines on the abaxial side of 30 randomly selected leaves was evaluated for them populations. The number of resin channels in *A. hidalgensis* varies between 2-4 and rarely 5 while for *A. religiosa* the presence of two resin canals is constant, the diameter of the resin canals is greater in leaves exposed to direct sunlight. Variation was observed in the hypodermis and palisade tissue between the species evaluated while the epidermis and spongy tissue are invariable at the species level. The hypodermis and the spongy tissue varies between cuts in relation to the section of the leaf analyzed, no variation was observed between cuts of leaves of shadow and leaves exposed to direct sun. The number of stomatal lines on the abaxial side of the leaves shows significant differences between *A. religiosa* and *A. hidalgensis*. *A. religiosa* has more stomata on the adaxial side of the leaves compared to *A. hidalgensis* where they are scarce.

Key words: *Abies*, anatomy, resin ducts, stomata, hypodermis

4.3 Introducción

El género *Abies* Mill (Pinaceae) se distribuye en regiones templadas y boreales, con distribución dispersa, restringida a zonas de alta montaña (Rzedowski, 2006; Farjon, 2010). La taxonomía del género siempre ha sido problemática, pues con frecuencia se encuentran formas intermedias de especies bien diferenciadas entre sí en las zonas donde la distribución se superpone (Cope, 1983). En México se reconocen de 6 a 10 especies del género *Abies* (Martínez, 1963; Farjon, 2010; Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014; Tropicos.org, 2018) delimitadas a partir de caracteres morfológicos. La morfología ha sido empleada ampliamente como herramienta en la delimitación de las especies (Martínez, 1963; Liu, 1971; Farjon 2010). Las condiciones de desarrollo del género, comúnmente aislados en zonas altas y húmedas de las principales cadenas montañosas del país (Rzedowski, 2006), indican procesos de especiación (Aguirre-Planter *et al.*, 2012). Los datos genéticos han contribuido a la delimitación del género (Jaramillo-Correa *et al.*, 2008, Qiao, Qiu *et al.*, 2009, Aguirre-Planter *et al.*, 2012), sin embargo, no se ha llegado a un consenso sobre el estatus taxonómico de algunas especies. Qiao, Wei *et al.* (2014), sugieren que la limitante de los análisis genéticos recae en el número limitado de muestras y el análisis de secuencias de DNA provenientes de un solo genoma, aunado a lo anterior no se han llevado a cabo los estudios genéticos que engloben todas las especies y variedades del género. El número de variedades del género *Abies* están aún en debate en la comunidad científica (Martínez, 1963; Liu, 1971; Farjon y Rushforth, 1989; Debreczy y Rácz, 1995; Farjon, 2010). Debido a la controversia existente entre los datos genéticos y morfológicos de las especies del género *Abies* (Aguirre-Planter *et al.*, 2012), estas deberían ser evaluadas en conjunto para llegar a un consenso sobre el estatus taxonómico de las especies, además, de integrar un componente ecológico en la delimitación de las especies (Martínez-Méndez *et al.* 2016). El número de canales resiníferos, la presencia de estomas en la cara adaxial de la hoja, el número de líneas de estomas en la cara abaxial de las hojas y la composición de la hipodermis son empleados en la delimitación de las especies

del género (Martínez, 1963; Parker, 1981; Strandby, 2009; Farjon, 2010; Jasińska *et al.*, 2017)

Abies hidalgensis Debreczy, Rácz & Guízar es una especie endémica de México, listada bajo la categoría Vulnerable D2 en la lista roja de especies amenazadas (IUCN, 2017). Farjon (2010), indica que esta especie puede ser una variedad de *A. hickelii* ya que son los únicos abetos mexicanos con más de dos canales resiníferos, sin embargo, *A. hickelii* no ha sido colectado para el estado de Hidalgo (Debreczy y Rácz, 1995; Farjon, 2010) y existe variación morfológica. El taxón del género más próximo a las poblaciones de *A. hidalgensis* es *A. religiosa* (Hernández, 1985; Rzedowski, 2006). Considerando el poco conocimiento de la anatomía de hojas de las poblaciones de *A. hidalgensis* y la cercanía de las poblaciones de *A. religiosa* el presente trabajo tiene como objetivo analizar la variación anatómica dentro de las poblaciones de *A. hidalgensis* y entre dicha especie y *A. religiosa*, para coadyuvar en la delimitación taxonómica de *A. hidalgensis*.

4.4 Materiales y métodos

Las poblaciones evaluadas de *A. hidalgensis* se distribuyen el municipio de Agua Blanca de Iturbide, Tenango de Doria y Acaxochitlán, Hidalgo. *A. guatemalensis* Rehder ha sido registrado en el área de distribución de *A. hidalgensis*, (Hernández, 1985; Eguiarte y. Furnier 1997; Global Biodiversity Information Facility “GBIF”), sin embargo, en el presente trabajo solo se considera como *A. guatemalensis* a la población ubicada en La Encarnación localizada en Zimapan, Hidalgo, incluida debido al poco conocimiento de la misma y a su posición taxonómica, las poblaciones de *A. religiosa* se localizan en Epazoyucan, Hidalgo y Acozulco, Puebla (Fig. 4). Se analizaron hojas de ramas fértiles y estériles y cortes de las tres secciones de la hoja (base, parte media y ápice) (Martínez, 1963; Doganay, 2012; Papageorgiou *et al.*, 2015). Se colectaron muestras de un individuo por población de la parte superior de la corona correspondientes a ramas de sol fértiles y muestras de la parte inferior de la corona concordantes con ramas de sombra estériles, de las ramas colectadas se seleccionaron aleatoriamente

cinco hojas de la sección del segundo año de crecimiento, 10 por cada individuo y se realizaron cortes de la base, sección media y ápice de las hojas. Las hojas seleccionadas fueron fijadas en FAA (100 ml FAA = 90 ml 70% etanol + 5 ml ácido acético 96% + 5 ml solución de formaldehído 37%). La anatomía fue evaluada en una serie de cortes de seis micras, usando el método de inclusión en parafina (Ghimire *et al.*, 2015). La tinción se realizó con safranina y azul alcian, método modificado de Sandoval (2005), para tinción con safranina y verde rápido de muestras incluidas en parafina, las láminas fueron montadas con resina comercial y se observaron bajo microscopio. Las fotografías fueron tomadas con cámara Moticam 5, y analizadas bajo el software ImageJ Launcher versión 1.4.3.67. Se realizó la descripción de los cortes entre hojas de ramas fértiles e infértiles y las tres secciones de las hojas analizadas, considerando i) número de canales resiníferos ii) posición de los canales resiníferos, iii) forma de la epidermis superior y subepidermis y iv) tejido en empalizada y tejido esponjoso (Martínez, 1963; Ghimire *et al.*, 2015). Dado el número de canales resiníferos observados en las especies evaluadas, no se consideró necesario tomar variables cuantitativas para la diferenciación de especies (Parker *et al.*, 1981; Eo y Hyun, 2013). Para el análisis de los estomas, se seleccionaron 30 hojas aleatoriamente, de cada individuo, el número de líneas de estomas fue contabilizado con ayuda de un microscopio, se realizó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias mediante el método de Tukey SAS ver. 9.4.

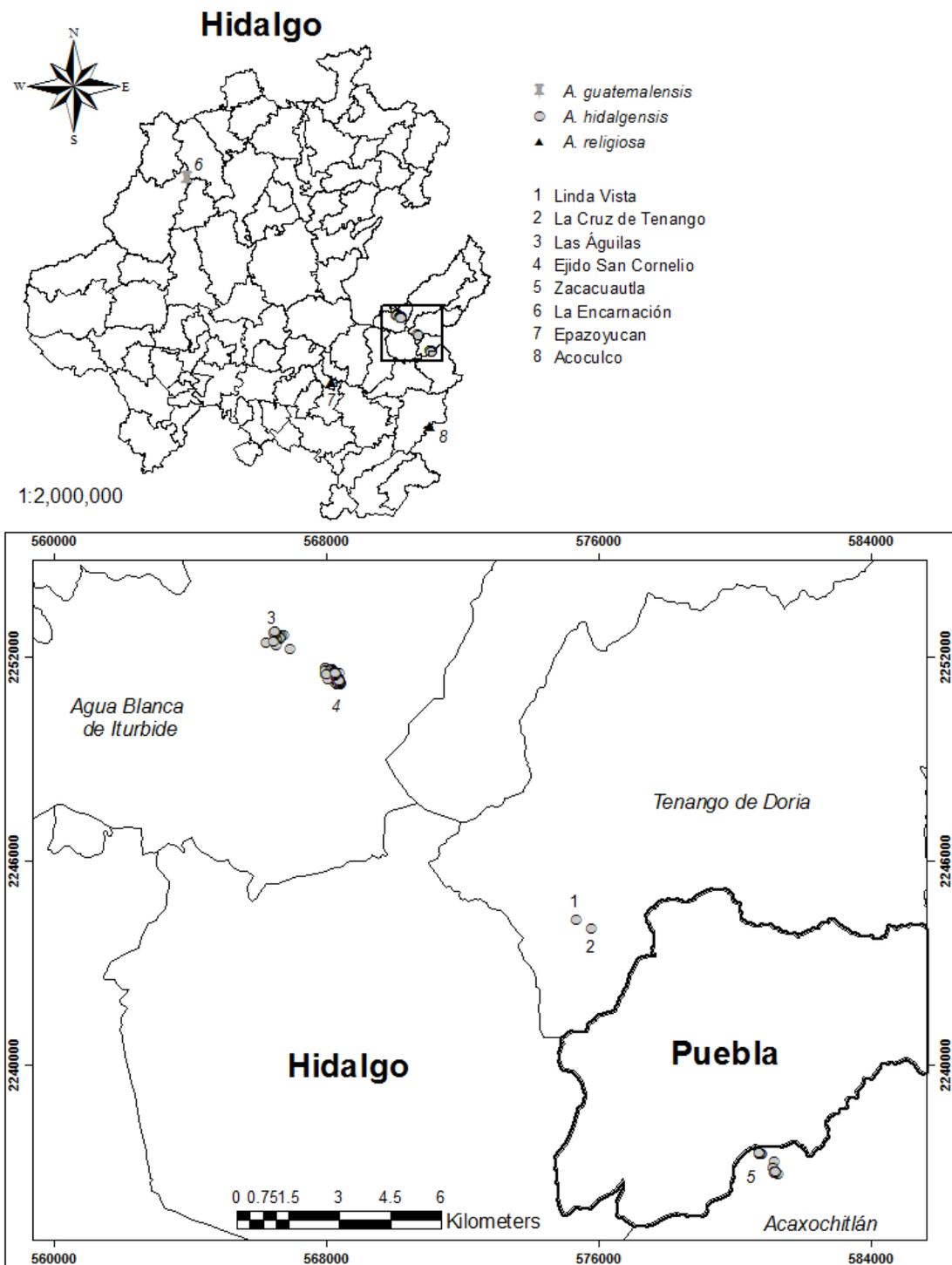


Figura 4. Poblaciones de muestreo de *A. hidalgensis* y *A. religiosa*

4.5 Resultados y discusión

El número de canales resiníferos observados para las poblaciones de *A. hidalgensis*, en Zacacuautla, Ejido San Cornelio, Las Águilas, La Cruz, Linda Vista para las tres secciones de la hoja y entre hojas de ramas fértiles, hojas de ramas estériles, mostró diferencias, en cortes practicados en la base se observaron 2 canales resiníferos rara vez 3 o 4, mientras que en cortes de la sección media se encuentran 4 canales resiníferos rara vez 5, 2 en la cara inferior de la hoja tocando la subepidermis y de 2 a 3 en el tejido lagunoso junto a el tejido en empalizada con diámetro de 43 a 120 micras (Fig. 5a). La población de *A. guatemalensis* de La Encarnación presentó dos 2 canales resiníferos constantes en los diferentes cortes practicados, con diámetros de 41 a 82 micras en cortes de la sección media (Fig. 5c). Debreczy y Rácz (1995) mencionan que *A. hidalgensis* puede llegar a mostrar hasta 7 canales resiníferos y en promedio de 2 a 5, sin embargo, en el total de muestras analizadas se observó un solo corte con cinco canales resiníferos, la mayor parte de los cortes analizados presentaron cuatro. *A. religiosa* presenta de manera constante dos canales resiníferos, situados en la cara abaxial de la hoja tocando la hipodermis consistente con lo mencionado por (Martínez, 1963; Farjon, 2010). Los canales resiníferos en cortes de la sección media presentaron diámetros de 28 a 66 micras (Fig. 5b) (Cuadro 7). El diámetro de los canales resiníferos en las especies evaluadas es menor en cortes de la base de las hojas y en hojas de sombra. El diámetro de los canales resiníferos observado en las distintas especies evaluadas es superior al observado por Bercu (2010) para *A. alba* y *A. nordmanniana* de 10 y 15 micras respectivamente, sin embargo, esto puede atribuirse a la diferencia de la posición de las hojas colectadas, Robakowski (2004) indica que el diámetro de los canales resiníferos aumenta con la apertura del dosel debido al aumento de la radiación solar y señala diámetros de 54 a 77 micras para canales resiníferos en *A. alba*, dichos resultados concuerdan con lo observado en el presente estudio.

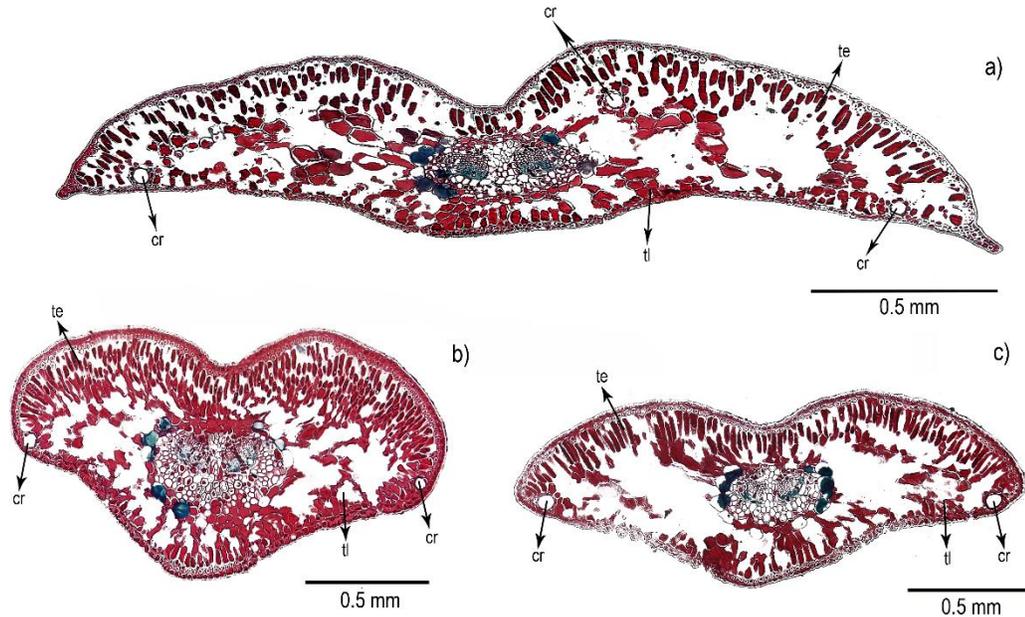


Figura 5. Anatomía de la hoja en cortes de la sección media de a) *A. hidalgensis*, b) *A. religiosa*, c) *A. guatemalensis*
 cr, canal resinífero, tl, tejido lagunoso, te, tejido en empalizada.

La epidermis en *A. hidalgensis* y *A. guatemalensis* se compone de una sola capa de células ovaladas constante en la cara adaxial y abaxial de la hoja para los distintos cortes y tipos de hojas analizados, la hipodermis para estas dos especies se observa formando una sola capa de células largas ovaladas en la cara adaxial y abaxial en cortes de la base, sin embargo, en cortes de la sección media se compone de grupos de células aislados más frecuentemente en la cara adaxial y rara vez en la cara abaxial solo bajo el raquis central, mientras que en cortes practicados en el ápice se observan rara vez en la cara adaxial y más frecuentemente en la cara abaxial sobre el raquis central y hacia los extremos (Fig. 6). En *A. religiosa* se observan patrones similares con respecto a la epidermis, sin embargo, se puede notar que la epidermis se encuentra más lignificada que la hipodermis, esta última se compone de dos a tres capas de células en cortes de la base mientras que en cortes de la sección media y el ápice se compone de una a dos capas de células continuas hacia la cara adaxial y un grupo de células en la cara abaxial bajo el raquis central (Figs. 5, 6) (Cuadro 7). Ghimire *et al.* (2015), indican que existe diferencia en las células hipodermáticas entre miembros de la sección *Momi* y *Balsamea*, en tanto que la hipodermis en

A. firma y *A. holophylla* de la sección *Momi*, está compuesta de una sola línea de células de forma oval lignificadas excepto en la cara abaxial de las hojas en la región estomática, en *A. koreana* y *A. nephrolepis* miembros de la sección *Balsamea* carecen de una capa hipodérmica continuá encontrándose en su lugar células aisladas o grupos de células de 4-5, de acuerdo con los resultados de este estudio no existen diferencias entre la hipodermis de *A. guatemalensis* y *A. hidalgensis* miembros de la sección *Grandis* y *Oiamel*, mientras que entre *A. hidalgensis* y *A. religiosa* se observan diferencias, sin embargo, son miembros de la sección *Oiamel* aunque distinta subsección, por otro lado Bercu (2010), observó diferencias con respecto a la hipodermis entre *A. alba* y *A. nordmanniana* ambas pertenecientes a la sección *Abies* en tanto Engelmann (como se cita en Torrey Botanical Society, 1978), sugiere que es posible distinguir en cierta medida por la distribución, presencia o ausencia de las células hipodérmicas especies como *A. balsamea* y *A. fraseri*.

Cuadro 7. Características anatómicas de *A. guatemalensis*, *A. hidalgensis* y *A. religiosa*

Característica/Especie	<i>A. guatemalensis</i>	<i>A. hidalgensis</i>	<i>A. religiosa</i>
Número de canales resiníferos	2	2-4 rara vez 5	2
Diámetro de canal resinífero (micras)	41-82	43-120	28-66
Epidermis	Capa de células en la cara abaxial y adaxial	Capa de células en la cara abaxial y adaxial	Capa de células en la cara abaxial y adaxial
Hipodermis	1 capa de células en la cara abaxial y hacia el raquis central en la cara adaxial	Células aisladas formando una capa rara vez dos en la cara adaxial y rara vez en la cara abaxial hacia el raquis central	1 a 2 capas de células en la cara abaxial y hacia el raquis central en la cara adaxial
Capas de células en el tejido en empalizada	1 capa o dos rara vez	1 capa o dos rara vez	2-3 (-4) capas de células

El mesófilo se compone de células de parénquima diferenciado en dos regiones: tejido en palizada o tejido en empalizada y tejido lagunoso o tejido esponjoso (Martínez, 1963; Ghimire *et al.*, 2015), el tejido en empalizada se encuentra más desarrollado en la cara adaxial de las hojas, en *A. guatemalensis* y *A. hidalgensis* se compone de una capa principalmente o dos rara vez de células radialmente alargadas, en los distintos tipos de hojas analizados no presenta diferencias, en la sección media y ápice no se observan diferencias mientras que en la base tienden a estar menos desarrolladas y algunas veces no son visibles (Figs. 6, 7), El tejido en empalizada en *A. religiosa* se compone de 2 a 3 (-4) capas de células radialmente alargadas.

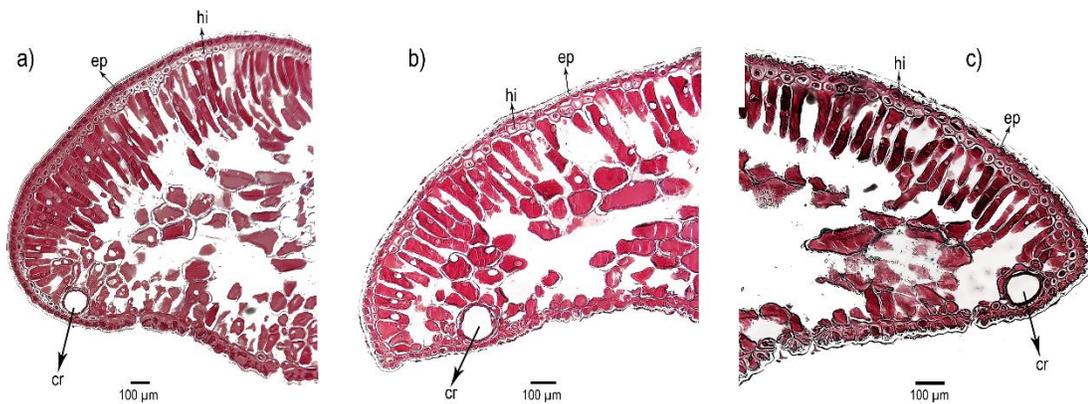


Figura 6. Composición de células hipodérmicas y tejido en empalizada en cortes de la sección media de a) *A. religiosa*, b) *A. hidalgensis*, c) *A. guatemalensis*

cr, canal resinífero, hi, hipodermis, ep, epidermis.

El tejido lagunoso en las especies evaluadas, para los cortes realizados en la base en hojas fértiles y estériles se encuentra cubriendo la mayor parte del mesófilo de un 90 a 100%, mientras que en los cortes realizados en la sección media y ápice cubre menor proporción de 60 a 80%, sin embargo, tiende a perderse durante el proceso de fijación, e inclusión en parafina y al momento de realizar los cortes, por tanto, se observan células poligonales dispersas libremente en el mesófilo. Lambers (1998) y Bercu, (2010), indican que hojas expuestas al sol presentan un mejor desarrollo de las células de mesófilo, sin embargo, en el presente estudio no se observaron diferencias entre los cortes en

hojas de sombra o expuestas al sol. La distribución de las células del tejido en empalizada y del tejido esponjoso observadas en *A. firma*, *A. holophylla*, *A. koreana* y *A. nephrolepis* (Dörken, 2014 y Ghimire *et al.*, 2015), son similares a los observadas para *A. guatemalensis*, *A. hidalgensis* y *A. religiosa* en el presente trabajo. Kormuták *et al.* (2015), indica que existe variación en la anatomía de las hojas de *A. cephalonica* y *A. numidica* y la cruza proveniente entre estas especies.

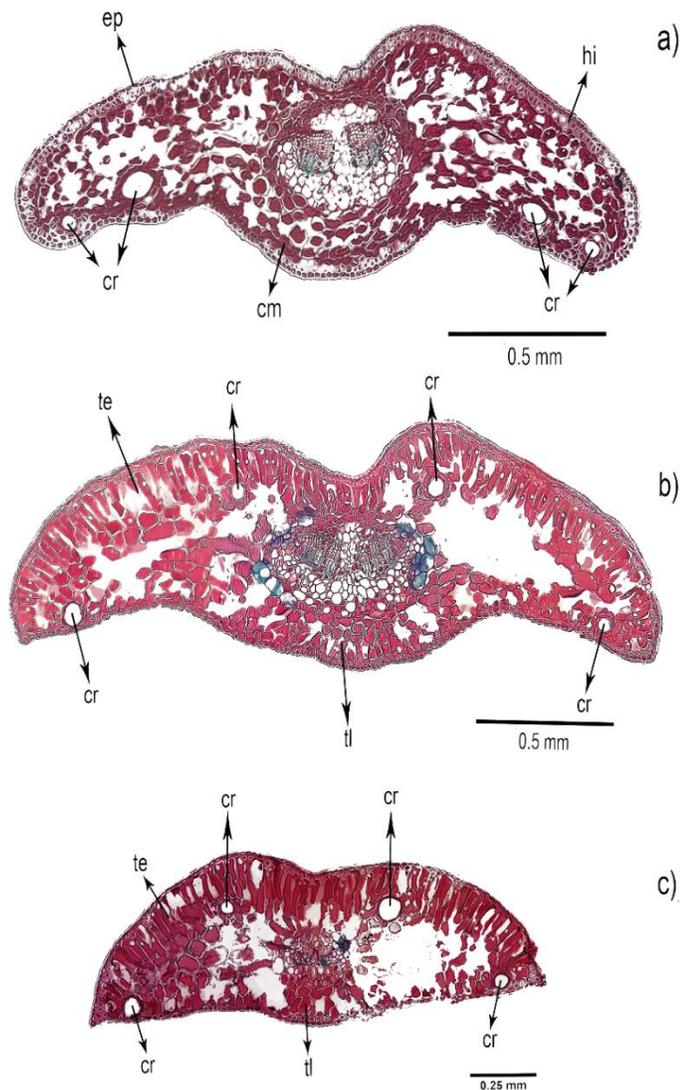


Figura 7. Composición de las células del mesófilo y posición de canales resiníferos en cortes de a) base b) sección media y c) ápice de *A. hidalgensis* cr, canal resinífero, cm, composición de las células del mesófilo (principalmente tejido lagunoso), hi, hipodermis, ep, epidermis.

El análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey muestra diferencias estadísticas significativas $p < 0.05$ en líneas de estomas en la cara abaxial de las hojas entre las poblaciones evaluadas (Cuadro 8), *A. religiosa* difiere significativamente de *A. guatemalensis* y *A. hidalgensis*, en este último taxa el número de líneas de estomas es mayor, sin embargo, no se observan diferencias entre el número de líneas de estomas entre *A. guatemalensis* y la población de linda vista de *A. hidalgensis*, sin embargo, se hace notar que de esta última población se evaluó un solo ejemplar por lo que no se pudo haber evaluado la variación total de la población. Strandby *et al.* (2009) indican que el número de líneas de estomas es invariante en *A. hickelii*, *A. guatemalensis* y *A. religiosa*, en tanto que Xu *et al.* (2014), observaron que el número de líneas de estomas disminuye con el aumento de la altitud y Kormuták *et al.* (2015) encontraron diferencias significativas en el número de líneas de estomas en la cara adaxial de hojas de *A. cephalonica* y los híbridos de esta especie resultados de cruce con *A. alba*, *A. numudica* y *A. nordmanniana*. El número de líneas de estomas tiene poder discriminativo entre las especies evaluadas en el presente estudio, por lo que puede ser empleado en la diferenciación de especies del género a nivel local.

Cuadro 8. Análisis de varianza de líneas de estomas en la cara abaxial de las hojas de las poblaciones de *Abies* evaluadas

Especie	Población	Estomas abaxiales
	*P.P. Las Águilas	24.066a
	Ejido San Cornelio	21.233b
<i>A. hidalgensis</i>	La Cruz de Tenango	22b
	Zacacuautla	20.733b
	Linda vista	19.033c
<i>A. guatemalensis</i>	La Encarnación	17.866c
<i>A. religiosa</i>	Ejido Xolostitla	16.066d
	Ejido Acoculco	15.433d

Letras diferentes en cada columna indican diferencia estadística significativa entre poblaciones, Tukey ($P \leq 0.05$). *Propiedad privada.

Las poblaciones de *A. hidalgensis* difieren significativamente en el número de líneas de estomas, la población de la P.P. Las águilas presenta el mayor número

de líneas de estomas y la población de Linda Vista presenta el menor número de líneas de estomas. El número de líneas de estomas en *A. hidalgensis* no ha sido evaluado, por lo que con base en los valores observados se determina que la variación de este carácter va de (19 -) 22-28 (-30). *A. religiosa* presenta mayor número de estomas en la cara adaxial de la hoja (Fig. 8), se observan dispersos a lo largo de la hoja agrupándose sin patrón aparente en el nervio central. En *A. guatemalensis* y *A. hidalgensis* los estomas en la cara adaxial son escasos principalmente hacia la base y ápice, fueron observados en 10 de 30 hojas analizadas en promedio por cada individuo estudiado. Mitsopoulos y Panetsos (como se citan en Papageorgiou *et al.* 2015), indican que el número de estomas en la cara adaxial de la hoja cambia gradualmente debido a adaptaciones a climas ecológicas relacionadas con la sequía, lo cual explica en cierta medida la presencia de estomas en la cara adaxial de las hojas de *A. religiosa* en contraste con *A. hidalgensis*, ya que este último se desarrolla en sitios con mayor precipitación.

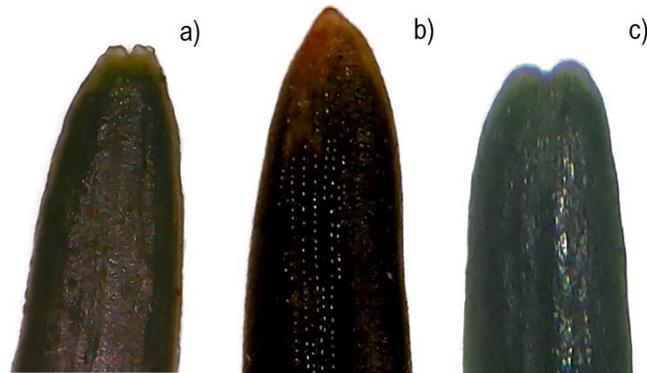


Figura 8. Ápice en la cara adaxial de las hojas en a) *A. hidalgensis*, b) *A. religiosa*, c) *A. guatemalensis*

4.6 Conclusiones

A. guatemalensis, *A. hidalgensis* y *A. religiosa* pueden ser identificados a partir de los caracteres anatómicos de las hojas. *A. guatemalensis* presenta dos canales resiníferos, *A. hidalgensis* presenta de 2 a 4 canales resiníferos rara vez 5 y *A. religiosa* presenta 2 canales resiníferos, invariantes entre hojas expuestas al sol directo o de sombra, en las distintas secciones de la hoja (basal, sección

media y apical). Los canales resiníferos en las especies evaluadas tienden a ser de mayor diámetro en hojas expuestas al sol. La epidermis es similar en los distintos cortes y tipos de hojas en las especies evaluadas, mientras que la hipodermis muestra variación entre *A. religiosa* con *A. guatemalensis* y *A. hidalgensis*, en estas dos especies se observan grupos de células aislados en la cara adaxial de la hoja, en tanto que en la cara abaxial se agrupan hacia el raquis central, mientras que en *A. religiosa* se observa de una a dos capas de células en la cara adaxial y grupos de células hacia el raquis en la cara abaxial. El tejido en empalizada se compone de una capa de células alargadas principalmente en *A. guatemalensis* y *A. hidalgensis* mientras que en *A. religiosa* se compone de 2 a 3 capas de células. El tejido esponjoso es invariante entre las especies evaluadas. El número de líneas de estomas en la cara abaxial de las hojas muestra diferencias significativas entre las especies, siendo mayor en *A. hidalgensis*.

4.7 Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo financiero brindado para la realización de esta investigación a través del número de referencia 444516.

A la Universidad Autónoma Chapingo a través de la Dirección General de Investigación y Posgrado por el apoyo económico para el desarrollo de esta investigación bajo el proyecto especial 17156-C.

4.8 Literatura citada

- Aguirre-Planter, E., Jaramillo-Correa, J.P., Gómez-Acevedo, S., Khasa, D. P., Bousquet, J., y Eguiarte, L. E., (2012). Phylogeny, diversification rates and species boundaries of Mesoamerican firs (*Abies*, Pinaceae) in a genus-wide context, *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2012, 62(1), 263—274.
- Bercu, R., Broasca, L., y Popoviciu, R. (2010) Comparative anatomical study of some gymnospermae species leaves. *Botánica Serbica* 34 (1), 21-28.
- Cope, E. A. (1983). Chemosystematic affinities of a California population of *Abies lasiocarpa*. *Madroño* 30: 110-114
- Debreczy, Z., y Rácz, I. (1995). New species and varieties of conifers from México. *Phytologia* 78(4), 217-243.
- Doğanay, Y. Y. (2012). *Abies* Taxa of Turkey and Their Visual Characteristics. *Journal of Forestry Faculty. Special Issue*, 259-262.
- Dörken, V. D. (2014). Morphology and anatomy of needle-leaves and cladode-like structures in *Abies firma* Siebold & Zucc. (Pinaceae, Coniferales) and their evolutionary relevance. *Feddes Repertorium* 2014, 125, 61–71 DOI: 10.1002/fedr.201400050
- Eo, J. K., Hyun, J. O. (2013). Comparative anatomy of the needles of *Abies koreana* and its related species. *Turkish Journal of Botany*, 37, 553-560. Doi:10.3906/bot-1201-32
- Farjon, A. (2010). *A Handbook of the World's Conifers*, vol.1. Brill Academic Publishers, Leiden
- Farjon, A., and K. D. Rushforth. (1989). A classification of *Abies* Miller (Pinaceae). *Notes Royal of the Botanical Garden Edinburg* 46: 59-79
- Gernandt, D. S. y Pérez de la Rosa, J. A. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 126-133.
- Ghimire, B., Lee, B., Yang, J., y Heo, K. (2015) Comparative leaf anatomy of some species of *Abies* and *Picea* (Pinaceae) *Acta Botanica Brasilica* 29(3): 346-353. 2015. Doi: 10.1590/0102-33062014abb0009
- Hernández, M. A. (1985). Distribución y utilidad de los *Abies* en México. *Investigaciones geográficas* 15, 75-118. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018846111985000100003
- International Union for Conservation of Nature (IUCN). (2018). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2017-3. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 18 April 2018.
- Jaramillo-Correa, J. P., Aguirre-Planter, E., Khasa, D. P., Eguiarte, L. E., Piñero, D., Furnier, G. R., y Bousquet, J., (2008). Ancestry and divergence of subtropical montane forest isolates: molecular biogeography of the genus

- Abies* (Pinaceae) in southern México and Guatemala Molecular Ecology, 17, 2476–2490. Doi: 10.1111/j.1365-294X.2008.03762.x
- Jasińska, A., Sękiewicz, K., Ok, T., Romo, A., Boratyński, A., Boratyńska, K., (2017). Taxonomic position of *Abies equi-trojani* on the basis of needle characters by comparison with different fir species. Turkish Journal of Botany, 41, 620-631. Doi:10.3906/bot-1612-1
- Kormuták, A., Galgóci, M., Manka, P., Bolecek, P., Camek, V., Vooková, B., Gomory, D. (2015). Growth characteristics and needle structure in some interspecific hybrids of *Abies cephalonica* Loud. Dendrobiology, 77, 47-53. <http://dx.doi.org/10.12657/denbio.073.005>
- Lambers H, Chapin SF, Pons LT. (1998). *Plant Physiological Ecology*. Springer, Berlin
- Liu, T. S., (1971). *A monograph of the genus Abies*. Department of Forestry, College of Agriculture, National Taiwan University, Taipei.
- Martínez, M. (1963). *Las pináceas mexicanas*. Instituto de Biología. UNAM. México, D.F. 410 p.
- Martínez-Méndez, N., Aguirre-Planter, E., Eguiarte, L. E., Jaramillo-Correa, J. P. (2016). Modelado de nicho ecológico de las especies del género *Abies* (Pinaceae) en México: Algunas implicaciones taxonómicas y para la conservación. *Botanical Sciences*, 94(1), 5-24. DOI: 10.17129/botsoci.508
- Papageorgiou, A. C., Kostoudi, C., Sorotos, I., Varsamis, G., Korakis, G., y Drouzas, A. D., (2015) Diversity in needle morphology and genetic markers in a marginal *Abies cephalonica* (Pinaceae) population. *Annals of Forest Research* 58, 217–234.
- Parker, W. H., Maze, J. y Bradfield, J. E., (1981) Implications of morphological and anatomical variation in *Abies balsamea* and *A. lasiocarpa* (Pinaceae) from western Canada. *American Journal of Botany*, 68(6), 843-854. URL: <http://www.jstor.org/stable/2443190>
- Qiao-Ping, X., Qiu-Yun, X., Yan-Yan, G. y Xian-Chun, Z. (2009). Phylogeny of *Abies* (Pinaceae) inferred from nrITS sequence data. *Taxon*, 58(1), 141-152.
- Qiao-Ping, X., Wei, R., Yi-Zhen, S., Zu-Yu, Y., Xiao-Quan, W., y Xian-Chun, Z. (2016). Phylogenetic relationships, posible ancient hybridization, and biogeographic history of *Abies* (Pinaceae) based on data from nuclear, plastid, and mitochondrial genomes. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 82, 1-14. DOI: 10.1016/j.ympev.2014.10.008
- Rasband, W. ImageJ versión 1.51w. National Institutes of Health, USA. <http://imagej.nih.gov/ij>.
- Rzedowski, J., (2006). *Vegetación de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y. Uso de la Biodiversidad. México. 432.

- Sandoval, Z. E., (2005). Técnicas aplicadas al estudio de la anatomía vegetal. Universidad Nacional de México. México, DF.
- Strandby, U., Christensen, K. I., y Sørensen, M., (2009). A morphometric study of the *Abies religiosa–hickelii–guatemalensis* complex (Pinaceae) in Guatemala and Mexico. *Plant Systematics and Evolution* 280, 59-76.
- Torrey Botanical Society (1978). Bulletin of the Torrey Botanical Club, 6(41), 228-231. URL: <http://www.jstor.org/stable/2477105>.
- Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 18 Apr 2018 <http://www.tropicos.org>
- Xu, P., Zhang, X., Zhao, C., Chen, L., Gao, X., Yao, G., Deng, J., Deng Y. (2014). Foliar Responses of *Abies fargesii* Franch. to altitude in the Taibai Mountain, China. *Polish Journal of Ecology*, 62, 479–492. DOI: <http://dx.doi.org/10.3161/104.062.0309>

5. ECOLOGÍA Y DISTRIBUCIÓN DE *Abies hidalgensis* DEBRECZY, RÁCZ & GUÍZAR ECOLOGY AND DISTRIBUTION OF *Abies hidalgensis* DEBRECZY, RÁCZ & GUÍZAR

5.1 Resumen

Abies hidalgensis es una especie endémica de México, se encuentra bajo la categoría de VD2 de la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN debido a un bajo conocimiento de la especie, sin embargo, no se encuentra incluida en la NOM 059 SEMARNAT 2010, por lo que es relevante conocer el estado actual de sus poblaciones. Se realizó un censo de los individuos de *A. hidalgensis*, se incluye a la población de *A. guatemalensis* del municipio de Zimapan en el estado de Hidalgo debido al poco esclarecimiento en su identidad taxonómica, se registró altura, diámetro, exposición, altitud, y especies arbóreas asociadas. *A. hidalgensis* se distribuye entre los 2100 y 2400 msnm en pendientes entre 15 y 70% y exposiciones NE principalmente, las especies arbóreas asociadas están representadas por ejemplares del género *Alnus*, *Buddleja*, *Clethra*, *Cupressus*, *Pinus*, *Prunus*, *Quercus*, *Rhamnus* y *Taxus*. El número de individuos observados por población es bajo, las poblaciones que se encuentran en dirección y distancia aproximada a la población tipo cuentan con 1 y 6 ejemplares correspondientes a la localidad de Linda Vista y la Cruz de Tenango. Las poblaciones de Zacacuautla y el Ejido San Cornelio se evaluaron mediante tablas de vida estáticas, delimitando las clases de edad a partir de un análisis de clúster jerárquico clásico empleando el diámetro y altura, cuentan con 336 y 567 ejemplares respectivamente, existen fluctuaciones en las clases de edad evaluadas, lo cual indica declinación de los ejemplares. La población del Ejido San Cornelio está representada en un 49.38% por individuos con diámetro y altura menor 1.5 cm y 1.5 m y de 2 a 26 cm de diámetro y de 3 a 10 m de altura, en la población de Zacacuautla el 56.84% de los individuos se encuentra entre 2 a 20.5 cm de diámetro y de 2 a 11 m de altura, las curvas de supervivencia se ajustan al tipo I.

Palabras clave: *A. guatemalensis*, dinámica poblacional, tabla de vida, estructura arbórea.

5.2 Abstract

Abies hidalgensis is an endemic species of Mexico, is under the category of VD2 of the Red List of Endangered Species of the IUCN due to a low knowledge of the species, however, it is not included in the NOM 059 SEMARNAT 2010, for what is relevant to know the current status of their populations. A census of the individuals of *A. hidalgensis* was carried out. The population of *A. guatemalensis* from the municipality of Zimapan in the state of Hidalgo is included due to the little clarification in its taxonomic identity, height, diameter, exposure, altitude, and associated tree species were recorded. *A. hidalgensis* is distributed between 2100 and 2400 meters above sea level on slopes between 15 and 70% and NE exposures mainly, the associated tree species are represented by specimens of the genus *Alnus*, *Buddleja*, *Clethra*, *Cupressus*, *Pinus*, *Prunus*, *Quercus*, *Rhamnus* and *Taxus*. The number of individuals observed per population is low, the populations that are in the approximate direction and distance to the population type have 1 and 6 copies corresponding to the locality of Linda Vista and the Cruz de Tenango. The populations of Zacacuautla and the Ejido San Cornelio were evaluated by static life tables, delimiting the age classes from a classic hierarchical cluster analysis using diameter and height, they have 336 and 567 copies respectively, there are fluctuations in the classes of evaluated age, which indicates decline of the specimens. The population of San Cornelio Ejido is represented in a 49.38% by individuals with diameter and height less than 1.5 cm and 1.5 m and from 2 to 26 cm in diameter and from 3 to 10 m in height, in the town of Zacacuautla 56.84% of the Individuals are between 2 to 20.5 cm in diameter and 2 to 11 m in height, the survival curves are adjusted to type I.

Key words: *A. guatemalensis*, population dynamics, life table, tree structure.

5.3 Introducción

El género *Abies* Mill (Pinaceae) se distribuye en regiones templadas y boreales, principalmente montañosas del hemisferio norte (Farjon, 2010), incluye de 47 a 52 especies dependiendo de la propuesta taxonómica consultada (Eckenwalder, 2009; Farjon, 2010; Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014; González *et al.*, 2017). En México el género se desarrolla bajo condiciones geográficas, climáticas y ecológicas distintivas presentándose en forma de manchones aislados restringidos a las zonas más altas y húmedas de las principales cadenas montañosas (Rzedowski, 2006; Pineda-López *et al.*, 2013, Jaramillo y Martínez, 2014; Martínez-Méndez *et al.*, 2016) y cubre una superficie aproximada de 144 mil hectáreas (FAO, 2010), las coníferas incluido el género *Abies*, contribuyen a la producción forestal maderable nacional con el 78.3%, el género es el quinto recurso maderable de México (SEMARNAT, 2016)

El número de especies reportadas para México se encuentra entre 6 y 10 (Martínez, 1963; Farjon, 2010; Martínez-Méndez *et al.*, 2016, The Plant List, 2013), de las cuales 6 especies y una variedad se encuentran bajo alguna categoría de riesgo, (NOM-059-SEMARNAT, 2010 y IUCN 2017), debido a problemas ecológicos, cambio de uso de suelo y contaminación en poblaciones adyacentes a zona urbana (Ávila, 2000; Saavedra-Romero *et al.*, 2003, Cruz-Ruiz *et al.*, 2012, González *et al.*, 2017).

En el estado de Hidalgo se ha reportado a *Abies guatemalensis* Rehder, *Abies hidalgensis* Debreczy, Rácz & Guízar y *Abies religiosa* (Kunth) Schlttdl. & Cham. (Martínez, 1963; Hernández, 1985; Debreczy y Rácz, 1995; Eguiarte y. Furnier, 1997; Global Biodiversity Information Facility “GBIF”) Los registros de *A. hidalgensis* se restringen a individuos observados en un cañón profundo de 4 a 5 km al este del municipio de Metepec, Hidalgo, asociados a *Cupressus lusitánica* Mill (Debreczy y Rácz, 1995). Desde la fecha de su descubrimiento no se ha realizado investigación sobre la especie en ecología, genética o distribución (Martínez-Méndez *et al.*, 2016), por lo que se encuentra bajo la categoría de riesgo Vulnerable D2, en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN,

(2017) que la declara con alto riesgo de extinción, sin embargo, no se encuentra adscrita a la NORMA-059-SEMARNAT 2010, debido a la poca información existente y por tanto las acciones de conservación son nulas.

El conocimiento en ecología de poblaciones de plantas raras y en peligro de extinción brinda información importante de referencia para el monitoreo y la conservación, el análisis de la estructura en diferentes hábitats puede reflejar el estado actual y ayudar a revelar la futura dinámica de la población (Li y Zhang, 2015). Las tablas de vida, las curvas de función de supervivencia y los análisis de series temporales son herramientas importantes en el estudio de la estructura y la dinámica de poblaciones (Zhang y Ru, 2010; Li y Zhang, 2015). Las tablas de vida permiten identificar fluctuaciones en las clases de edad de las poblaciones, tasas de supervivencia y mortalidad, estas pueden ser de dos tipos, tablas de vida dinámicas u horizontal o de cohortes y tablas de vida estáticas o verticales (Enright y Ogden, 1979; Rabinovich, 1980; Smith y Smith, 2007). Las tablas de vida estáticas o verticales se construyen a partir de la información obtenida en un solo periodo de tiempo, que permite la identificación de los individuos en distintas clases de edad, sin embargo, la investigación de este tipo en especies arbóreas es poca, debido a su ciclo de vida largo y el problema al determinar la edad de los individuos, una solución es localizar cohortes que representen a cada estadio de vida del árbol que se pueden determinar a partir del diámetro y altura, (Enright y Ogden, 1979; Rabinovich, 1980; Franco, 1990; Ávila, 2000; Smith y Smith, 2007; Zhang *et al.*, 2008), por lo anterior los objetivos del presente trabajo son 1) evaluar las condiciones ecológicas de las poblaciones de *A. hidalgensis* y 2) estudiar la dinámica poblacional a través de tablas de vida estáticas o verticales, para definir el estado actual de las poblaciones.

5.4 Materiales y métodos

Se realizó un muestreo diagnóstico con la finalidad de identificar las condiciones de las poblaciones, con base en los datos obtenidos, se llevó a cabo un censo en las áreas de presencia de la especie, las condiciones observadas sugieren que los individuos encontrados son relictos, para fines de esta investigación cada área fue considerada como una población (Fig. 9), las variables obtenidas fueron altura (pistola Haga Germany), diámetro (cinta diamétrica Jackson, MS), pendiente (clinómetro Sunnto), exposición (brújula Brunton), altitud (altímetro) así como el registro de las especies arbóreas asociadas. Debido a las condiciones de algunas poblaciones, se muestra una descripción enumerando los ejemplares observados.

El Ejido San Cornelio se encuentra bajo manejo forestal, se designó el área que ocupa la población de *A. hidalgensis* en conservación, sin embargo, debido a las actividades de aprovechamiento se construyó un camino secundario (NORMA 152 SEMARNAT 2006), que cruza esta área, la regeneración de *A. hidalgensis*, se ve beneficiada por la apertura del claro, formando cuatro manchones marcados a la orilla de este con altas densidades, estas áreas fueron evaluadas instalando un sitio de muestreo en cada una de 1 m². Se analizó la estructura diamétrica de las especies arbóreas presentes para el ejido San Cornelio (Smith y Smith, 2007; Alvis, 2009; González *et al.*, 2017), a partir de tres sitios circulares de muestreo de 1000 m², donde se obtuvieron datos de altura y diámetro de las especies arbóreas incluyendo regeneración natural de las mismas.

Los datos obtenidos de las poblaciones de el Ejido San Cornelio y Zacacuautla, se emplearon para la elaboración de tablas de vida estáticas o verticales excluyendo a los datos obtenidos de las cuatro zonas de regeneración natural encontradas en el Ejido San Cornelio (Rabinovich, 1980; Smith y Smith, 2007; Zhang *et al.*, 2008). Las clases de edad fueron definidas a partir del diámetro y altura mediante un análisis de clúster en Past 3.19, se empleó el método de Ward y medidas euclidianas, los datos fueron estandarizados ($z = \frac{n-\mu}{\sigma}$) (Plotkin *et al.*, 2002; Gallardo, J. A. 2017).

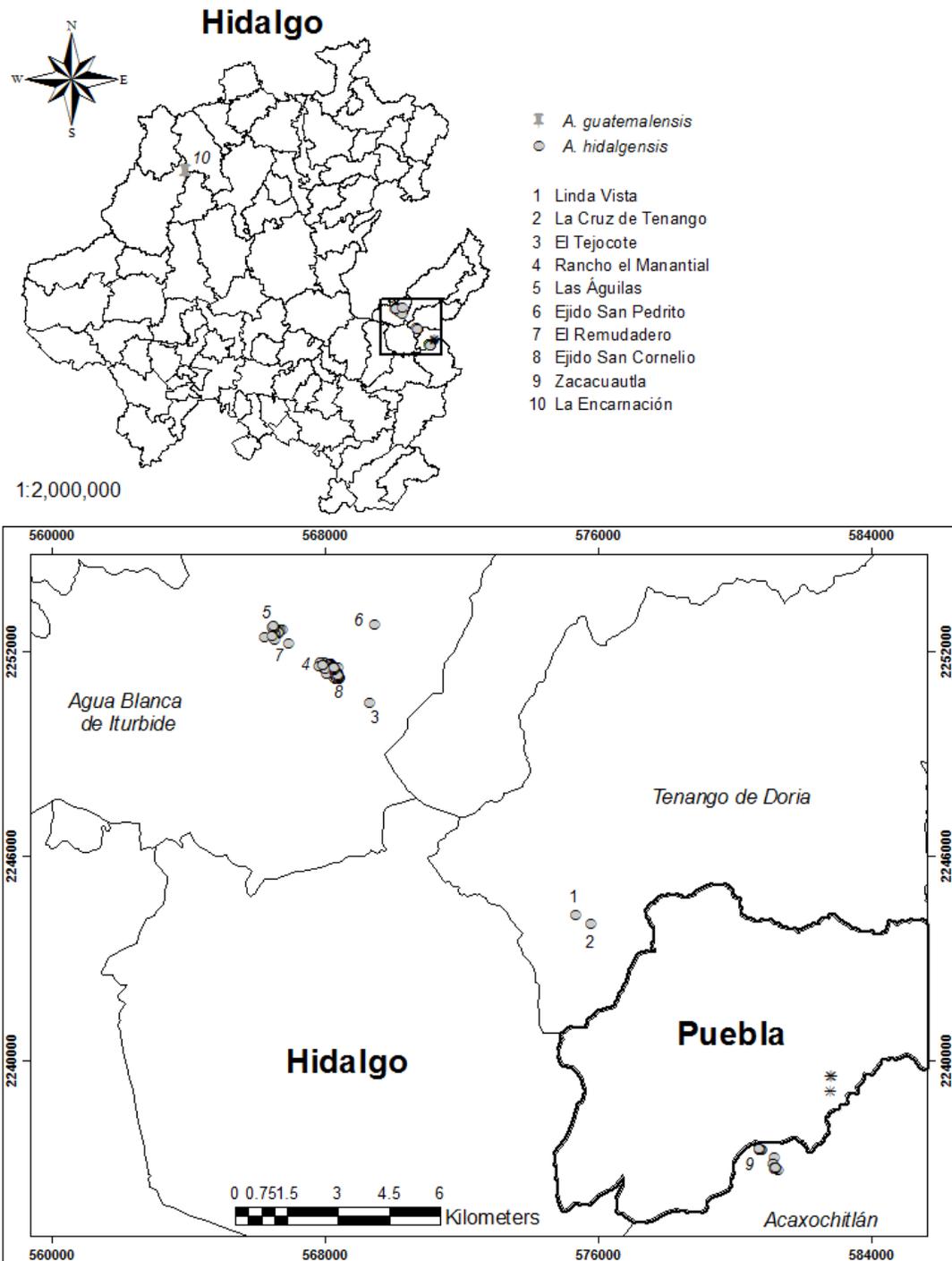


Figura 9. Poblaciones de muestreo de *A. hidalgensis* y población registrada de *A. guatemalensis*

Las tablas de vida estáticas para *A. hidalgensis* fueron construidas considerando: n_x , número de individuos vivos; l_x , número estandarizado de individuos sobreviviendo al inicio de la clase de edad (con 1000 como base); d_x , proporción de individuos que mueren entre la edad x y $x+1$; q_x , probabilidad de muerte de la edad x a $x+1$; S_x , supervivencia específica a la edad x , L_x , media de la probabilidad de supervivencia de la edad x a $x+1$; T_x , acumulación de las probabilidades de vida; e_x , Esperanza de vida a la edad, (Rabinovich, 1980; Smith y Smith, 2007; Zhang *et al.*, 2008; Li y Zhang, 2015; Shen *et al.*, 2016). Con base en la tabla de vida se presentan las curvas de mortalidad (q_x) y supervivencia ($\ln l_x$) (Ren *et al.*, 2007)

5.5 Resultados y discusión

Las poblaciones de *A. hidalgensis*, se encuentran con diferentes grados de perturbación, principalmente debido a las actividades humanas. La población de Linda Vista está representada por un individuo adulto, las condiciones del área sugieren que se han extraído ejemplares adultos de las especies arbóreas de interés comercial, incluido *A. hidalgensis* del cual se observan tocones de más de 1 m de diámetro cubiertos por *Ternstroemia sylvatica* Schltdl. & Cham., dominante en el área. La población de La Cruz de Tenango cuenta con 3 individuos adultos, con producción de semillas, sin embargo, debido a la alta densidad de *Quercus* spp. y *T. sylvatica* principalmente, la regeneración natural de la especie es casi nula (Cuadro 9).

Cuadro 9. Ejemplares observados en poblaciones de *A. hidalgensis* y población de *A. guatemalensis*

Población	Regeneración natural	Clases Diamétricas				
		I	II	III	IV	V
Linda Vista				1		
La Cruz de Tenango	3		2	1		
*P.P. El Tejocote	8	7	2	12	1	
*P.P Rancho El Manantial	32	9				4
*P.P. Las Águilas	25	8	4	8	4	6
Ejido San Pedrito	5		1		1	
El Remudadero	6	2		2	1	
La Encarnación*	23	9	1			18

Clases diamétricas dadas en cm, I:5-20, II:20.1-35, III;35.1-50, IV:50.1-65, V: mayor a 65.1, menores a 5 cm se consideró regeneración, * Propiedad privada, *Población de *A. guatemalensis*.

Agua Blanca de Iturbide, ocupa 0.61% de la superficie del estado de Hidalgo, aproximadamente 12689.622 ha, de las cuales 31.3% son bosques (INEGI, 2009), este municipio cuenta con el mayor número de relictos de *A. hidalgensis*. INEGI (2017) reporta el aprovechamiento de 191 metros cúbicos de madera en rollo de *A. religiosa* para el municipio, sin embargo, esta especie no ha sido reportada para la zona (Martínez, 1963; Hernández, 1985; Eguiarte y. Furnier, 1997; Rzedowski, 2006) ni colectada (GBIF,MEXU), lo que sugiere aprovechamiento forestal sobre *A. hidalgensis*, lo cual se refleja en el estado actual de las poblaciones, número reducido de ejemplares aislados en áreas de regeneración natural del género *Pinus* principalmente, (Cuadro 9). Las poblaciones de las propiedades privadas Ejido San Pedrito, El Tejocote, Las Águila y Rancho los manantiales corresponden a ejemplares en áreas de regeneración natural, al no ser la especie de importancia se asume que gran cantidad de ejemplares juveniles sean removidos durante las actividades de chaponeo y aclareo, por lo cual la mayoría de ejemplares presentes son adultos. La población del El Remudadero está conformada por 3 individuos adultos y 2 juveniles, esta se encuentra en bosque secundario sin manejo forestal aparente, la regeneración natural y ejemplares juveniles son escasos. Los ejemplares encontrados en La Encarnación son principalmente adultos, en al menos 3 ejemplares se pudo observar muerte descendiente, los individuos juveniles

oscilan en 25, dicha población se encuentra confinada en una ladera, sin embargo, se encuentran ejemplares aislados replantados aledaños al área.

Las poblaciones del Ejido San Cornelio y Zacacuautla se encuentran aparentemente en mejor estado de conservación, esta última población durante el periodo de muestreo mostró regeneración natural escasa, mientras que en el Ejido se pudo observar regeneración natural tanto en el sotobosque como en zonas puntuales en el claro producido durante la apertura del camino secundario, en el sotobosque se situó bajo los árboles padre en la mayor parte de los casos con un promedio de 1.5 individuos por árbol y 20 ejemplares por ha, mientras que en el claro se observó en 4 zonas, se estiman 102 individuos con diámetros inferiores a 5 cm en una área de 17 m² que ascenderían a 60000 ejemplares por hectárea. Lara-González *et al.* (2009) encontraron que la regeneración natural de *A. religiosa* dentro del Parque Nacional Cofre de Perote fue mayor en los claros que dentro del sotobosque, en el presente estudio se observa una tendencia similar, sin embargo, el número de individuos por hectárea estimado para los claros es inferior al estimado en este trabajo, lo anterior puede atribuirse a que aunado a las condiciones que propicio el claro, las actividades de remoción del suelo durante la apertura del camino coadyuvaron a una alta regeneración.

Las especies arbóreas asociadas a *A. hidalgensis* y *A. guatemalensis* están representadas por ejemplares del género *Alnus*, *Buddleja*, *Clethra*, *Cupressus*, *Pinus*, *Prunus*, *Quercus*, *Rhamnus*, y *Taxus* (Cuadro 10), para las poblaciones de Agua Blanca es posible observar ejemplares de *Taxus globosa* Schltldl, *Rhamnus mucronata* Schltldl. y *Prunus* sp. aunque sus densidades son bajas, la composición de especies arbóreas observada es similar a la encontrada en bosque con presencia de *Abies* (Sánchez *et al.*, 2006; Encina *et al.*, 2008; Cuevas *et al.*, 2011; Guerrero *et al.*, 2014; González *et al.*, 2017), la altitud, exposición y pendiente (Cuadro 10) es similar a la reportada por (Cuevas *et al.*, 2011; Guerrero *et al.*, 2014) para las poblaciones de *Abies* en Jalisco, la altitud reportada difiere con la observada por (Ávila, 2000; Sánchez *et al.*, 2006; Encina, 2008) para *A. hickelii*, *A. religiosa* y *A. vejarii* respectivamente, siendo inferior.

Cuadro 10. Altitud, exposición, pendiente y especies asociadas evaluadas en las poblaciones de *A. hidalgensis* y población de *A. guatemalensis*.

Población	Altitud	Exposición	Pendiente	Especies arbóreas asociadas
Linda Vista	2289	NE	55	1, 2, 4, 9, 11
La Cruz de Tenango	2318	N, NO	55	1, 2, 3, 4, 6, 9
P.P. El Tejocote	2372	N, NO	45	2, 3, 5, 6, 7, 9, 11
P.P. Rancho El Manantial	2237	N	15	2, 3, 5, 6, 7, 9, 11
P.P. Las Águilas	2247	N, NE	20	2, 5, 9, 11
Ejido San Pedrito	2248	N	15	1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 11
El Remudadero	2230	NE	25	1, 2, 3, 5, 9, 10
Ejido San Cornelio	2311	NE, N, SO	45	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11
Zacacuautla	2146	NE	15	2, 3, 5, 9, 10
La Encarnación	2334	N	70	2, 5, 9, 11

Altitud y pendiente se muestran en promedio para cada población, las especies observadas son: ¹*Alnus arguta* (Schtdl.) Spach, ²*Cupressus lusitanica* Mill, ³*Pinus ayacahuite* var. *veitchii* (Roezl) Shaw, ⁴*Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* (Lindl.) Shaw., ⁵*Pinus patula* Schtdl. & Cham, ⁶*Rhamnus mucronata* Schtdl, ⁷*Taxus globosa* Schtdl, ⁸*Clethra* sp, ⁹*Quercus* spp. ¹⁰*Prunus* sp., ¹¹*Buddleja* sp.

Se observa en el análisis de la estructura arbórea para la comunidad del Ejido San Cornelio (Cuadro 11) dominancia del género *Quercus* con un total de 136.67 individuo por ha seguido de *A. hidalgensis* con un total de 63.33 individuos por ha, la densidad de individuos por ha asciende a 303.33, dicha densidad es menor a la reportada para bosques del género *Abies* (Encina *et al.*, 2008; Cuevas *et al.*, 2011; González *et al.*, 2017), sin embargo, en el presente trabajo solo se evaluaron las especies arbóreas lo cual contrasta con los trabajos mencionados estos evalúan ejemplares tanto de especies arbustivas como herbáceas, en el área de estudio, se observó extracción de ejemplares de las especies arbóreas en baja intensidad, lo cual genera claros colonizados por arbustos como *Eupatorium ligustrinum* D.C. y de *Rubus* spp, que afectan la regeneración natural y el desarrollo de las especies arbóreas disminuyendo la densidad de los individuos.

Cuadro 11. Estructura arbórea de la comunidad de *A. hidalgensis* para el Ejido San Cornelio

Diámetro (cm)	I	II	III	IV	V	VI
< 5	16.67	6.67	6.67	63.33	3.33	23.33
5.1 a 15	3.33	6.67	6.67	40	3.33	0.00
15.1 a 25	3.33	3.33	0	6.67	3.33	0.00
25.1 a 35	6.67	0	0	10	6.67	3.33
35.1 a 45	6.67	16.67	0	13.33	3.33	3.33
45.1 a 55	10.00	3.33	0	3.33	0	3.33
55.1 a 65	13.33	0	0	0	0	0.00
65.1 a 75	3.33	0	0	0	0	0.00
	63.33	36.67	13.33	136.67	20.00	33.33

Especies I. *A. hidalgensis*, II. *P. patula*, III. *Buddleja* spp., IV. *Quercus* spp., V. *P. ayacahuite* var *veitchii*, VI. *C. lusitanica*.

El número de ejemplares del Ejido San Cornelio y Zacacuautla (n_x), es de 567 y 336 respectivamente. La población del Ejido San Cornelio está representada en un 49.38% por individuos de la clase de edad I y II, el 50.61% de los individuos se encuentra más homogéneamente repartido en las clases de edad III a VII, en la población de Zacacuautla el 56.84% de los individuos se encuentran en la clase de edad II mientras que la clase de edad V y VI representan solo un 5.05% (Cuadro 12). La esperanza de vida (e_x) para el Ejido San Cornelio presentó fluctuaciones entre las distintas clases de edad, los valores máximos y mínimos se observan en la clase III y VIII respectivamente, en Zacacuautla la esperanza de vida decrece con el incremento en altura y diámetro excepto por un incremento en la clase V, Zhang *et al.* (2008) observaron para *A. georgei* una fluctuación similar, sugiriendo que después de un evento de selección natural los ejemplares muestran una mayor esperanza de vida.

Cuadro 12. Tablas de vida estáticas para *A. hidalgensis*, población Ejido San Cornelio y Zacacuautla

	Clases de edad	Diámetro/ Altura	n_x	l_x	d_x	q_x	S_x	L_x	T_x	e_x
EJIDO SAN CORNELIO	I	<1.5/<1.5	171	1000.00	362.57	0.36	0.64	818.71	2815.79	2.82
	II	2-26/3-10	109	637.43	397.66	0.62	0.38	438.60	1997.08	3.13
	III	10-42/15-30	41	239.77	-122.81	-0.51	1.51	301.17	1558.48	6.50
	IV	18-47/32-40	62	362.57	157.89	0.44	0.56	283.63	1257.31	3.47
	V	44.5-78/25-40	35	204.68	-216.37	-1.06	2.06	312.87	973.68	4.76
	VI	43-62/37-45	72	421.05	-29.24	-0.07	1.07	435.67	660.82	1.57
	VII	60-96/35-45	77	450.29	450.29	1.00	0.00	225.15	225.15	0.50
ZACACUAUTLA	I	<1.5/<1.5	25	1000	-6640	-6.64	7.64	4320	12940	12.94
	II	2-20.5/2-11	191	7640	4960	0.65	0.35	5160	8620	1.13
	III	4-33.5/10-15	67	2680	1240	0.46	0.54	2060	3460	1.29
	IV	7.5-28.5/17-25	36	1440	1320	0.92	0.08	780	1400	0.97
	V	58-76.6/35-45	3	120	-440	-3.67	4.67	340	620	5.17
	VI	98-162/40-50	14	560	560	1.00	0.00	280	280	0.50

n_x , número de individuos vivos; l_x , número estandarizado de individuos sobreviviendo al inicio de la clase de edad (con 1000 como base); d_x , proporción de individuos que mueren entre la edad x y $x+1$; q_x , probabilidad de muerte de la edad x a $x+1$; S_x , supervivencia específica a la edad x , L_x , media de la probabilidad de supervivencia de la edad x a $x+1$; T_x , acumulación de las probabilidades de vida; e_x , Esperanza de vida a la edad

Las curvas de supervivencia se ajustan más al tipo I Deevey 1947 y Pearl 1928 (citado por Harcombe, 1987), para ambas poblaciones (Fig. 10), lo cual indica que los individuos pueden vivir hasta el final de su esperanza de vida fisiológica, para el Ejido San Cornelio la proporción de individuos superviviendo decrece abruptamente de la clase I a la III y se mantiene más constante en las clases de edad subsecuentes, la población de Zacacuautla muestra una alta supervivencia para la clase de edad II y III, sin embargo, esto es debido al bajo número de ejemplares en la clase de edad I. La curva de mortalidad en las diferentes clases de edad para el Ejido San Cornelio varío ampliamente, los picos más altos se observan para la clase de edad I, IV y VII, para las clases de edad III, V y VI,

estos valores se vuelven negativos. En Zacacuautla la curva de mortalidad muestra los picos más altos para las clases de edad II y IV, y se vuelve negativo para las clases I y V

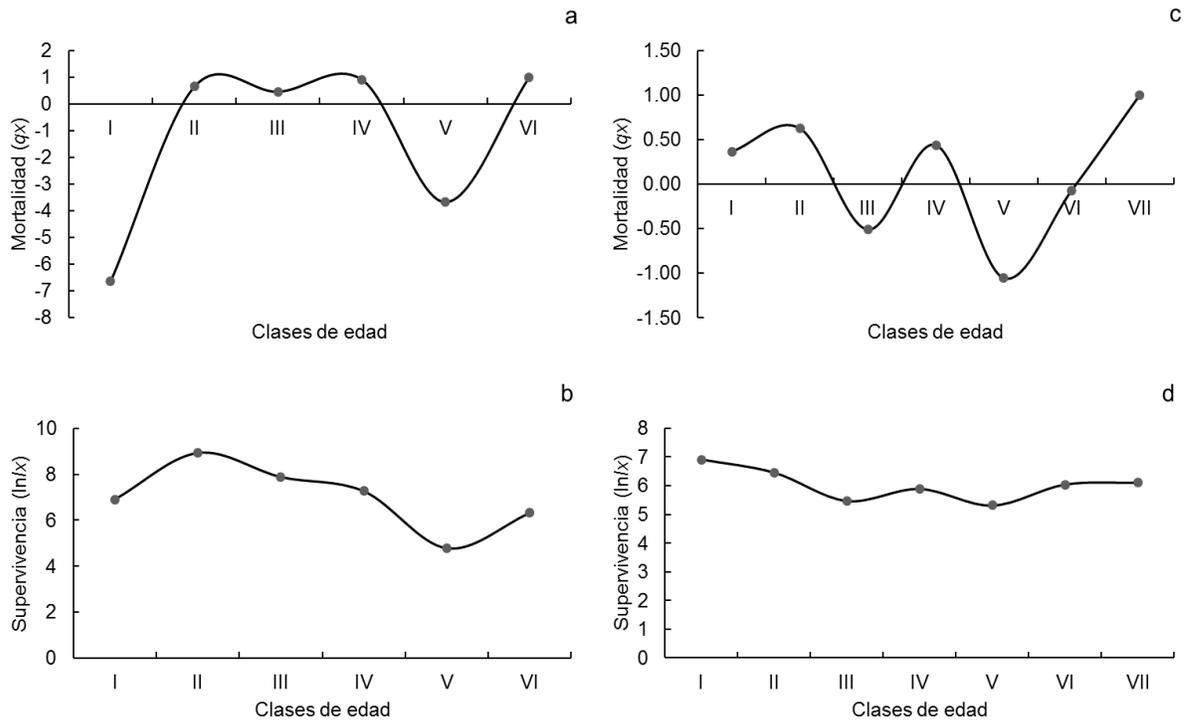


Figura 10. Curva de mortalidad y curva de supervivencia de las poblaciones de *A. hidalgensis* correspondientes a Zacacuautla (a y b) y Ejido San Cornelio (c y d).

La tabla de vida estática, es una herramienta efectiva para estimar la dinámica de poblaciones de árboles de larga vida, ya que no es posible rastrear toda la historia de vida (desde el nacimiento hasta la muerte) (Ren *et al.*, 2007, Zhao *et al.*, 2017), está basada en tres supuestos, 1) la densidad de la población es invariable, 2) la proporción de cada clase de tamaño es estable, 3) el número de individuos migrantes está equilibrado, sin embargo, no todos los datos colectados pueden cumplir los tres supuestos, por lo que se observan tasas de mortalidad negativas, similar a lo observado por (Zhang *et al.*, 2008; Li y Zhang, 2015; Zhao *et al.*, 2017) en *A. georgei*, *Parrotia subaequalis* y *Robinia pseudoacacia*

respectivamente. Wratten (1980), indica que, aun observando inconsistencias con las hipótesis matemáticas, el valor negativo de d_x puede proveer información ecológica útil como el desarrollo o la declinación de la población en una etapa en específico. En este trabajo algunos valores d_x para ambas poblaciones son negativos, lo que sugiere fluctuaciones en las poblaciones de *A. hidalgensis*.

5.6 Conclusiones

Las poblaciones de *A. hidalgensis* cuentan con escasos individuos debido a las actividades humanas cerca de las zonas de desarrollo de la especie y su poco conocimiento, es común observar ejemplares adultos de *A. hidalgensis* en áreas de regeneración del género *Pinus*. Las especies arbóreas asociadas a *A. hidalgensis* están representadas por ejemplares del género *Alnus*, *Buddleja*, *Clethra*, *Cupressus*, *Pinus*, *Prunus*, *Quercus*, *Rhamnus* y *Taxus*. Las poblaciones encontradas en el Ejido San Cornelio y Zacacuautla se encuentran menos perturbadas y presentan ejemplares en todos los estadios de desarrollo de la especie, sin embargo, existen fluctuaciones de los ejemplares en las distintas clases de edad, lo cual indica una declinación de los ejemplares en ciertas etapas de desarrollo, las curvas de sobrevivencia para estas poblaciones son del Tipo I. En el Ejido San Cornelio se observa dominancia de *Quercus* spp. y altas densidades de *Eupatorium ligustrinum* y *Rubus* sp, que impiden una buena regeneración de las especies arbóreas de la comunidad entre estas *A. hidalgensis*. Los individuos de la población de la Encarnación presentan muerte descendente, en el Ejido San Cornelio se observan pudriciones de la base. Las condiciones actuales de las poblaciones de *A. hidalgensis* hacen urgente la necesidad de implementar acciones de restauración y conservación a fin de preservar la especie, así como su inclusión bajo la NOM 059 SEMARNAT 2010 para que se generen las condiciones que nos permitan desarrollar un mejor conocimiento de la especie, así como su conservación en el mediano y largo plazo. La población de la localidad de la Encarnación denominada en este trabajo como *A. guatemalensis* cuenta con pocos individuos y escasa regeneración natural por lo cual es importante designar las acciones de restauración y conservación pertinentes.

5.7 Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo financiero brindado para la realización de esta investigación a través del número de referencia 444516.

A la Universidad Autónoma Chapingo a través de la Dirección General de Investigación y Posgrado por el apoyo económico para el desarrollo de esta investigación bajo el proyecto especial 17156-C.

5.8 Literatura citada

- Ajbilou, R., Marañon, T., y Arroyo, J. (2003). Distribución de clases diamétricas y conservación de bosques en el norte de Marruecos. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, 12(2), 111-123.
- Alvis, G. J. F. (2009). Análisis estructural de un bosque natural localizado en zona rural del municipio de Popoyan. *Facultad de ciencias agropecuarias*, 7(1), 115-122.
- Ávila, B. C. H. (2000). Ecología poblacional de *Abies hickelii* en el Pico de Orizaba, Veracruz. Colegio de Postgraduados. Informe final SNIBCONABIO proyecto No. L172. México D. F.
- Cuevas-Guzmán, R., Cisneros-Lepe, E. A., Jardel-Peláez, E. J., Sánchez-Rodríguez, E. V., Guzmán-Hernández, L., Núñez-López, N. M., y Rodríguez-Guerrero, C. (2011). Análisis estructural y de diversidad en los bosques de *Abies* de Jalisco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82, 1219-1233.
- Cruz-Ruiz, E., Cruz-Ruiz, A., Aguilera-Gómez, L. I., Norman-Mondragón, H. T., Velázquez, R. A., Nava-Bernal, G., Dendooven, L., y Reyes-Reyes, B. G. (2012). Efecto en las características edáficas de un bosque templado por el cambio de uso de suelo. *Terra Latinoamericana*, 30(2), 189-197. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57324446010>.
- Donoso, C., Grez, R., Escobar, B., y Real, P. (1984). Estructura y dinámica de bosques del tipo forestal siempreverde en un sector de Chiloe insular. *Bosque*, 5(2), 82-104.
- Dezzotti, A., y Sancholuz, L. (1991). Los Bosques de *Austrocedrus chilensis* en Argentina: Ubicación, estructura y crecimiento. *Bosque* 12(2), 43-52.
- Debreczy, Z., y Rácz, I. (1995). New species and varieties of conifers from México. *Phytologia* 78(4), 217-243.
- Eckenwalder, J. E. (2009). Conifers of the world: the complete reference. Timber Press, Portland. 720 p.
- Eguiarte, L. E., y Furnier, G. R. (1997). *Niveles y patrones de variación genética del género Abies en México*. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ecología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. B138. México, D.F.
- Encina-Domínguez, J. A., Encina-Domínguez, F. J., Mata-Rocha, E., y Valdes-Reyna, J. (2008). Aspectos estructurales, composición florística y caracterización ecológica del bosque de oyamel de la sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 83, 13-24. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57711109003>
- Enright, N., y Ogden, J. (1979). Application of transition matrix in forest dynamics: *Araucaria* in Papua New Guinea and *Notofagus* in New Zealand. *Journal of Ecology*, 4, 3-23.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2010). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010*, Informe nacional, México. FRA2010/132. Roma, Italia. 98 p.

- Franco, B. M. (1990). Ecología de poblaciones. *Ciencias*, 4, 4- 9.
- Frost, I., y Rydi, H. (2000). Spatial pattern and size distribution of the animal-dispersed *Quercus rubur* in two spruce-dominated forests. *Ecoscience*, 7, 38–44.
- Farjon, A. (2010). *A Handbook of the World's Conifers*, vol.1. Brill Academic Publishers, Leiden
- Gallardo, J. A. (2017). *Capítulo 6 Introducción al análisis de cluster. Consideraciones generales*. Granada, España: Universidad de Granada. Recuperado de <http://www.ugr.es/~gallardo/pdf/cluster-g.pdf>.
- Guerrero-Hernández, R., González-Gallegos, J. G., y Castro-Castro, A. (2014). Análisis florístico de un bosque de *Abies* y el bosque mesófilo de montaña adyacente en Juanacatlán, Mascota, Jalisco, México. *Botanical Sciences* 92(4), 541-562.
- González, C. R., Treviño, G. E. J., González, T. M. A., Duque, M. A., y Gómez, C. M. (2017). Diversidad y estructura arbórea en un bosque de *Abies vejarii* Martínez en el sur del estado de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(45), 36-65. Disponible en <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.142>
- © Google Inc., ©INEGI, Image © Digital Globe. (2018). Google Earth Pro versión 7.3.1.
- GBIF (Global Biodiversity Information Facility), (2018). Gobierno de Dinamarca. Disponible en <https://www.gbif.org/search?q=abies%20hidalgensis>. (Consultado febrero de 2018).
- Gernandt, D. S. y Pérez de la Rosa, J. A. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 126-133.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontología Electrónica* 4(1), 9.
- Harcombe, P. A. (1987). Tree Life Tables. *BioScience*, 37(8), 557-568. Disponible en <http://www.jstor.org/stable/1310666>.
- Hernández, M. A. (1985). Distribución y utilidad de los *Abies* en México. *Investigaciones geográficas* 15, 75-118. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018846111985000100003
- IBUNAM-MEXU: Herbario Nacional de México. Instituto de Biología de la UNAM. Disponible en <http://unibio.unam.mx/minero/index.jsp?accion=sc&colecciones=MEXU,Herbario>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). Anuario estadístico y geográfico de Hidalgo 2017. Disponible en: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825095093.pdf
- International Union for Conservation of Nature (IUCN). (2018). The IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2017-3. <www.iucnredlist.org>. Consultado abril 2018.

- Jaramillo-Correa, J. P. y Martínez-Méndez, N. (2014). *Modelación de la distribución geográfica de las especies del género Abies presentes en México*. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ecología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. JM015. México, D.F
- Juárez, G. A. y Saragos, M. J. (2015). Estructura diamétrica de árboles en potreros de la región Bajo Mixe, Oaxaca. *Teoría y Praxis*, 18, 131-151. DOI: 10.22403/UQROOMX/TYP18/05.
- Lara-González, R., Sánchez-Velásquez, L. R., Corral-Aguirre, J. (2009). Regeneración de *Abies religiosa* en claros del dosel versus sotobosque, Parque Nacional Cofre de Perote, México. *Agrociencia*, 43, 739-747
- Li, W., y Zhang, G. (2015). Population structure and spatial pattern of the endemic and endangered subtropical tree *Parrotia subaequalis* (Hamamelidaceae). *Flora*, 212, 10-18. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2015.02.002>
- Martínez, M. (1963). *Las pináceas mexicanas*. Instituto de Biología. UNAM. México, D.F. 410 p.
- Martínez-Méndez, N., Aguirre-Planter, E., Eguiarte, L. E., Jaramillo-Correa, J. P. (2016). Modelado de nicho ecológico de las especies del género *Abies* (Pinaceae) en México: Algunas implicaciones taxonómicas y para la conservación. *Botanical Sciences*, 94(1), 5-24. DOI: 10.17129/botsci.508
- Norma Oficial Mexicana NOM-152-SEMARNAT-2006. Que establece los lineamientos, criterios y especificaciones de los contenidos de los programas de manejo forestal para el aprovechamiento de recursos forestales maderables en bosques, selvas y vegetación de zonas áridas. *Diario Oficial de la Federación*, Primera sección, viernes 17 de octubre de 2008.
- Norma Oficial Mexicana NOM 059 SEMARNAT 2010. Protección ambiental–Especies nativas de México de flora y fauna silvestre–Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio–Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*, Segunda Sección, jueves 30 de diciembre de 2010, México D.F.
- Pineda-López, M. R., Ortega-Solís, R., Sánchez-Velásquez, L. R., Ortiz-Ceballos, G., Vázquez-Domínguez, G. (2013). Estructura poblacional de *Abies religiosa* (Kunth) Schlttdl. et Cham., en el Ejido el Conejo del Parque Nacional Cofre de Perote, Veracruz, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19 (3), 375-385. DOI: 10.5154/r.rchscfa.2012.11.058
- Plotkin, J.B., Chave, J. y Ashton, P.S. (2002). Cluster analysis of spatial patterns in Malaysian tree species. *The American naturalist*, 160(5), 629-644.
- Ren, Q., Yang, X., Cui, G., Wang, J., Huang, Y., Wei, X., y Li, Q. (2007). Smith fir population structure and dynamics in the timberline ecotone of the Sejila Mountain, Tibet, China. *Acta Ecológica Sinica*, 27 (7), 2669–2677.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y. Uso de la Biodiversidad. México. 432 pp.

- Rabinovich, J. E. (1980). *Introducción a la Ecología de Poblaciones Animales*. Compañía Editorial Continental, México, 313 p.
- Sánchez, G., López, M. L., Vibrans, H. (2006). Composición y patrones de distribución geográfica de la flora del bosque de oyamel del Cerro Tlaloc, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 79, 67-78. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57707907>
- Shen, Z., Lu, J., Hua, M., Tang, X., Qu, X., Xue, J., y Fang, J. (2016). Population structure and spatial pattern analysis of *Quercus aquifolioides* on Sejila Mountain, Tibet, China. *Journal of Forest Research*, 27(2):387-94. DOI 10.1007/s11676-017-0444-1
- Smith, M. T., y Smith, L. R. (2007). *Ecología*. Madrid, España: Pearson Educación, S. A.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2007). Anuario Estadístico de la Producción Forestal, México, D.F.
- Saavedra-Romero, L. L., Alvarado-Rosales, D., Vargas-Hernández, J., y Hernández-Tejeda, T. (2003). Análisis de la precipitación pluvial en bosques de *Abies religiosa* (HBK.) Schlecht. et Cham., en el sur de la ciudad de México. *Agrociencia*, 37(1), 57-64.
- The Plant List* (2013). Versión 1.1. Publicado en internet; <http://www.theplantlist.org/> (accessed 1st January).
- Wratten, S. D. (1980). *Field and laboratory exercises in ecology*. London: Edward Arnold.
- Zhang, Q., Luo, P., Zhang, Y., Shi, F., Yi, S., y Wu, N. (2008). Ecological characteristics of *Abies georgei* population at timberline on the north-facing slope of Baima Snow Mountain, Southwest China. *Acta Ecológica Sinica*, 28(1), 129–135.
- Zhang, J., y Ru, W. (2010). Population characteristics of endangered species *Taxus chinensis* var. *mairei* and its conservation strategy in Shanxi, China. *Population Ecology*, 52, 407-416. DOI 10.1007/s10144-009-0192-y.
- Zhao, B., Guo, D., Shao, H., y Bai, Z. (2017). Investigating the population structure and spatial pattern of restored forests in an opencast coal mine, China. *Environ Earth Sci*, 76(679), 2-14. DOI: 10.1007/s12665-017-7020-z.