



# La respuesta de *Abies hickelii* a los factores ambientales en el sur de México

## The response of *Abies hickelii* to environmental factors in southern Mexico

Erick Gutiérrez <sup>1\*</sup> e Irma Trejo <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional Autónoma de México. Unidad de Posgrado. Posgrado en Ciencias Biológicas. Ciudad de México, México.

<sup>2</sup> Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. Ciudad de México, México.

\* Autor de correspondencia.  
erick\_eduardo@ciencias.unam.mx

### RESUMEN

Las condiciones ambientales influyen en varios procesos ecológicos y fenológicos de las especies vegetales, como la dispersión, el banco de semillas en el suelo y la germinación. El objetivo del presente estudio fue analizar la relación entre la abundancia de los individuos adultos y plántulas, la lluvia de semillas, la tasa de germinación y la supervivencia de *Abies hickelii*, con respecto a las condiciones ambientales en la Sierra Norte, Oaxaca, México. Se realizaron muestreos de vegetación, se colocaron trampas para la lluvia de semillas, se colectó el banco de semillas en el suelo y se cuantificó la germinación y su supervivencia. En cada sitio se midieron las condiciones ambientales (climáticas, edáficas, topográficas y lumínicas). Se registró que en el sitio de mayor altitud (3150 m), *A. hickelii* presentó mayor densidad de adultos y plántulas, y mayor porcentaje de germinación en comparación con los sitios de menor altitud. La abundancia de individuos adultos y plántulas de *A. hickelii* está relacionada con la apertura del dosel y la intensidad máxima de precipitación. La producción de semillas está relacionada con la precipitación total anual; mientras que la germinación y la supervivencia no se asociaron con ninguna de las variables ambientales analizadas. Este estudio consideró diferentes aspectos del ciclo de vida de *A. hickelii* y su relación con las condiciones del medio donde se establece, para conocer las variables ambientales más relevantes en cada etapa de su crecimiento. Esta información es relevante para especies endémicas y en peligro de extinción.

**PALABRAS CLAVE:** apertura del dosel, bosque templado, humedad, precipitación, suelo, temperatura.

### ABSTRACT

Environmental conditions influence several ecological and phenological processes of plant species, such as dispersal, seed bank in the soil, and germination. The objective of the present study was to analyze the relationship between the abundance of adult individuals and seedlings, seed rainfall, germination rate, and survival of *Abies hickelii* regarding environmental conditions in the Sierra Norte Oaxaca, Mexico. We conducted vegetation sampling, placed traps for seed rain, collected seed banks in the soil, and quantified germination and survival. At each site, we measured environmental conditions (climatic, edaphic, topographic, and light). It was recorded that at the highest altitude site (3150 m), *A. hickelii* had a higher density of adults and seedlings and a higher percentage of germination compared to the lower altitude sites. The abundance of adult individuals and seedlings of *A. hickelii* is related to canopy openness and maximum rainfall intensity. Seed production is related to total annual precipitation, while germination and survival were not associated with any of the environmental variables analyzed. This study considered different aspects of the *A. hickelii* life cycle and its relationship with the environmental conditions where it was established, which allowed us to determine the most significant environmental variables in each growth stage. The results represent relevant information for endemic and endangered species.

**KEYWORDS:** canopy openness, temperate forest, humidity, precipitation, soil, temperature.

## INTRODUCCIÓN

Las especies poseen tolerancias ecológicas únicas que influyen en su ciclo de vida (Bewley y Krochko, 1982). Como consecuencia, se observan variaciones en las preferencias ambientales entre distintas especies. Estas diferencias abarcan desde los requisitos para el establecimiento de individuos adultos (Gómez et al., 2011; Gutiérrez y Trejo, 2014) y los requerimientos germinativos (Martínez-Villegas et al., 2018; Pearson et al., 2002), hasta los requerimientos regenerativos (Quiroz et al., 2019).

En este contexto, algunas especies exhiben amplias tolerancias ecológicas, lo que les permite prosperar en una amplia gama de condiciones ambientales. En contraste, existen especies con tolerancias ecológicas más limitadas, conocidas como especies de distribución restringida, que requieren condiciones específicas para su crecimiento (Gutiérrez y Trejo, 2014). Por lo tanto, resulta esencial comprender las condiciones ambientales en las que se establecen las especies, especialmente aquellas que se encuentran en categorías de riesgo (Alexander, 2000).

El conocimiento de cada aspecto del ciclo de vida de las especies es fundamental, ya que estas pueden adoptar estrategias particulares, presentando patrones únicos en su reproducción, germinación, supervivencia, dispersión o regeneración (Bonte et al., 2012; Catorci et al., 2012; Oda et al., 2016; Pijl, 1982). Contar con información precisa acerca de las tolerancias y estrategias ecológicas de las especies es de importancia cuando se aplica en contextos relacionados como la restauración, la conservación de las poblaciones, o la gestión de los recursos (Wahid et al., 2007).

*Abies hickelii* Flous & Gaussen es una especie endémica del sur México (Oaxaca, Chiapas, Guerrero y Veracruz) (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014; Strandby et al., 2009), que se encuentra bajo la categoría de peligro de extinción, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2010) y la lista roja de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (Farjon, 2013). Se desarrolla

en climas templados fríos (Encina-Domínguez et al., 2008), en altitudes elevadas (2500 m - 3600 m s.n.m.) (Andersen et al., 2006; Ávila-Bello y López-Mata, 2001; Farjon, 1990), en terrenos accidentados y bajo condiciones de alta humedad (Ávila-Bello y López-Mata, 2001; Gutiérrez y Trejo, 2014). En ese intervalo altitudinal de distribución es posible que la especie tenga preferencias por ciertas condiciones que favorezcan su establecimiento, desarrollo y reproducción. Sin embargo, hasta el momento no existen estudios que hayan evaluado las condiciones ambientales que favorecen a la especie en diferentes etapas de crecimiento.

Una de las regiones en México donde se distribuye *A. hickelii* es la Sierra Norte de Oaxaca, que forma parte de la provincia biogeográfica de la Sierra Madre del Sur y se caracteriza por tener un relieve montañoso muy accidentado (Álvarez-Arteaga et al., 2013; Ortiz-Martínez et al., 2005). La Sierra Norte de Oaxaca tiene gran importancia florística, al presentar una alta riqueza de especies, atribuida a su vasta heterogeneidad de hábitats (Gómez-Mendoza et al., 2008; Ramírez-Ponce et al., 2009; Zacarías-Eslava y Castillo, 2010). De la región, los bosques del municipio de Santa María Yavesía son los que se encuentran mejor conservados, debido a la resistencia histórica de sus habitantes a realizar actividades de extracción intensiva de la madera (Mathews, 2009; Mitchell, 2008). Esta también es la razón por la que actualmente las poblaciones humanas que habitan en la zona dependen en gran medida de los bosques a través de actividades ecoturísticas (Zacarías-Eslava y Castillo, 2010).

## OBJETIVOS

El objetivo del presente estudio fue analizar la relación entre la abundancia de los individuos adultos y plántulas, la lluvia de semillas, el banco de semillas en el suelo, la tasa de germinación y la supervivencia en las primeras etapas de crecimiento de *Abies hickelii*, con respecto a las condiciones ambientales donde se establece en la Sierra Norte, Oaxaca, México.



## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El trabajo se realizó en el municipio de Santa María Yavesía perteneciente al estado de Oaxaca, México. De acuerdo con muestreos previos que se han realizado en la zona, *A. hickelii* se distribuye principalmente en un intervalo altitudinal que va de 2800 m a 3200 m s.n.m. Por esta razón se seleccionaron cuatro sitios a lo largo del gradiente altitudinal de distribución. Los sitios se colocaron cada 100 metros de altitud: sitio 1 (S1) a 2850 m, sitio 2 (S2) a 2950 m, sitio 3 (S3) a 3050 m y sitio 4 (S4) a 3150 m (Fig. 1).

### Variables biológicas

**Abundancia de individuos adultos.** En cada sitio se colocó una parcela circular de 1000 m<sup>2</sup> en la cual se tomaron medidas del diámetro y la altura de todos aquellos individuos arbóreos y arbustivos con diámetro  $\geq 2.5$  cm a 1.3 m de altura del tallo (diámetro normalizado, DN). Se realizaron colectas de material herbario para su posterior determinación, la cual se realizó por medio de comparaciones con ejemplares de herbario y con la ayuda de los expertos de cada grupo taxonómico.

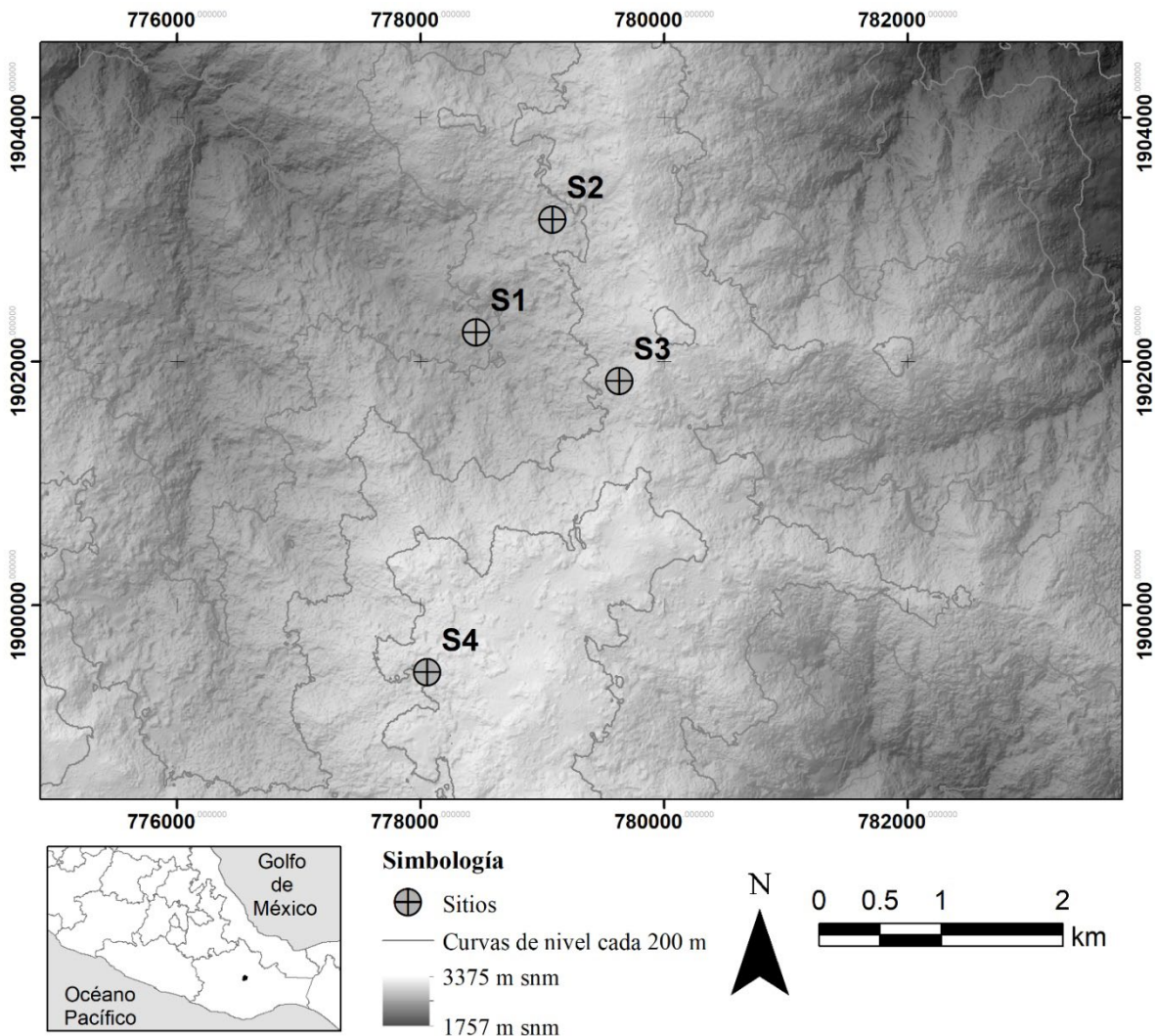


FIGURA 1. Ubicación de los sitios de muestreo en Oaxaca, México.

**Abundancia de plántulas.** Dentro de cada una de las parcelas circulares de muestreo se estableció una subparcela circular de 100 m<sup>2</sup>, donde se midió la altura de todos los individuos arbóreos menores a 1.30 m. Las plántulas se agruparon en cuatro categorías: *Abies hickelii*, pinos, encinos y otras especies de latifoliadas.

**Abundancia de semillas por lluvia de semillas.** En cada sitio de muestreo se colocaron tres mallas de plástico de 1.85 m × 1.85 m con 35% de apertura (< 1.5 mm). Esta apertura permitió retener las semillas de los individuos arbóreos y arbustivos en los sitios de muestreo. Las mallas se colocaron a una distancia de 8.7 metros del centro del sitio y con una separación de 60 grados entre cada una.

Durante el periodo comprendido entre enero de 2015 y marzo de 2016 (425 días en total), se recolectaron todas las semillas depositadas en cada malla para su posterior identificación y conteo. La recolección se realizó en seis periodos: de enero a febrero de 2015 (t1), de marzo a abril de 2015 (t2), de mayo a julio de 2015 (t3), de agosto a octubre de 2015 (t4), de noviembre de 2015 a enero de 2016 (t5) y de febrero a marzo de 2016 (t6). Las semillas se agruparon en cuatro categorías: semillas de *Abies hickelii*, semillas de pino, de encino y de otras especies de latifoliadas.

**Abundancia de individuos por germinación y supervivencia.** Para determinar si las semillas dispersadas potencialmente pueden germinar en los diversos sitios y conocer si la germinación se relaciona con las condiciones ambientales, primero se determinó el porcentaje de germinación de los grupos biológicos analizados. Los propágulos que se obtuvieron de la lluvia de semillas se colocaron en charolas de germinación de 5 cm × 5 cm con una profundidad de 10 cm, sin ningún tratamiento germinativo. Los experimentos germinativos se realizaron con las semillas provenientes de dos fechas de colecta, t1 (enero - febrero 2015) y t2 (marzo - abril 2015). Todas las semillas se mantuvieron con riego constante cada tercer día en un invernadero localizado en el área de estudio, donde la temperatura era dependiente de las condiciones ambientales del lugar. El sustrato utilizado fue colectado en cada uno de los sitios de donde provenían las semillas y fue pasado por un tamiz con apertura de 1.3

mm antes de ser utilizado, para garantizar que no contuviera otras semillas. El sustrato fue colectado en abril de 2015 (t2).

Se realizaron dos conteos de los individuos arbóreos que germinaron, el primer conteo se realizó en julio de 2015 (a los 50 días de la siembra) y el segundo en octubre de 2015 (a los 146 días de la siembra). Esto permitió conocer el porcentaje de germinación y de supervivencia en los primeros meses de crecimiento de *Abies hickelii*, de pinos, de encinos y otras latifoliadas. Es importante puntualizar que las semillas germinadas, son las que potencialmente podrían germinar en cada uno de los sitios bajo las condiciones naturales.

**Abundancia de semillas por banco de semillas en el suelo.** Dentro de cada una de las parcelas de muestreo de 1000 m<sup>2</sup> se tomaron tres muestras de suelo superficial de 20 cm × 20 cm con una profundidad de 5 cm. La primera muestra se tomó en una dirección aleatoria y a una distancia de 8.7 m del centro de la parcela y las dos muestras restantes se tomaron a una distancia de 15 m de la primera muestra, de tal manera que las tres estuvieran separadas por la misma distancia. Cada una de las muestras se colocó en charolas de plástico y estuvieron bajo riego constante cada tercer día en un invernadero localizado en el área de estudio. El banco de semillas se determinó por los individuos que germinaron en cada charola.

## Variables ambientales

**Variables climáticas.** Para obtener los datos climáticos se colocaron registradores de temperatura (°C), precipitación (mm) y humedad relativa (%). Para la temperatura y la humedad relativa se utilizaron sensores HOBO® modelo Pro V2, para la precipitación se utilizaron pluviómetros Data Logger marca HOBO® Modelo Normalizado de 200 cm<sup>2</sup> de superficie de recogida. Un sensor y un pluviómetro se colocaron en el centro de cada sitio de muestreo de enero de 2015 a marzo de 2016. Se calcularon sus valores promedio y sus valores máximos y mínimos. En el caso de la precipitación, se determinó la cantidad de lluvia (en mm por día) y se calculó la intensidad de los eventos de lluvia en milímetros por hora.



**Variables edáficas.** Los factores edáficos que se consideraron fueron la profundidad del mantillo (cm), la temperatura (°C) y la humedad (%), para estas dos últimas variables se tomaron a una profundidad de 5 cm. Para todas las mediciones edáficas se realizaron tres repeticiones en lugares aleatorios dentro de la parcela de 1000 m<sup>2</sup> en cada sitio de muestreo. Estas variables se midieron cada vez que se recolectaban las semillas en los seis periodos mencionados anteriormente. La profundidad del mantillo se midió con un flexómetro, la temperatura se registró con un termómetro de suelo marca HANNA® y para la humedad se utilizó un medidor de humedad del suelo marca EXTECH®.

**Variables de relieve.** En campo se registró la altitud, la pendiente y la orientación de ladera. La altitud se registró con un GPS marca GARMIN®, la pendiente se midió con un clinómetro y la orientación de la ladera con una brújula. El registro de estas variables se realizó en enero de 2015.

**Variables lumínicas.** Se analizaron fotografías hemisféricas tomadas con una cámara digital acoplada a un objetivo tipo "ojo de pescado" para calcular la apertura del dosel (% de apertura). Se analizaron seis fotografías por sitio, tres que representaron a la temporada de secas tomadas en abril de 2015, y tres que representarían la temporada de lluvias tomadas en octubre de 2015. En la zona de estudio, la temporada de lluvias va de mayo a octubre, y la de secas va de noviembre a abril. Las fotografías se tomaron en la misma posición donde se colocaron cada una de las mallas colectoras de semillas en los sitios de muestreo. Las fotografías se analizaron con Gap Light Analyzer program (Frazer et al., 1999) que calcula la apertura del dosel y se calcularon sus valores promedio.

### Análisis estadísticos

Antes de realizar cualquier análisis estadístico se realizó una transformación logarítmica de todos los datos ( $\log x + 1$ ). Se realizó una prueba de chi-cuadrado de independencia ( $\chi^2$ ) para evaluar si existían diferencias en la abundancia de plántulas de *A. hickelii* y otras especies arbóreas (pinos, encinos y otras latifoliadas). En el caso de que se obtuviera un valor de significancia inferior a  $p < 0.05$  se realizó la

prueba post-hoc de residuos ajustados de Haberman (Haberman, 1973), que proporciona valores positivos y negativos. Los valores cercanos a cero reflejarían una asociación nula. Los valores de residuos ajustados superiores a + 1.96 indicarían una mayor abundancia, y los valores inferiores a -1.96 indicarían una menor abundancia (Santolaria et al., 2011).

Para determinar la existencia de diferencias en la cantidad de semillas obtenidas por la lluvia de semillas entre los sitios y el periodo de colecta del material biológico, se realizó un análisis de varianza (ANDeVA) de medidas repetidas. Para descartar que la cantidad de semillas obtenidas depende del número de días del periodo de colecta, de la cantidad de individuos adultos o de la altura promedio de los árboles adultos, se realizaron pruebas de correlación de Spearman ( $\rho$ ).

Para evaluar las diferencias en germinación y supervivencia entre cada sitio de muestreo, se realizó un análisis de varianza (ANDeVA) de un factor y, cuando las diferencias fueron significativas ( $p < 0.05$ ), se realizó la prueba de Tukey para identificar entre qué sitios había diferencias. Para conocer si existen diferencias en la germinación y en la supervivencia entre las temporadas de colecta en cada sitio se realizaron pruebas de Levene y de t de Student.

Se realizó un análisis de componentes principales (PCA) para determinar cuáles variables son las que mayor influencia presentan para los sitios analizados. Finalmente, las variables obtenidas por el PCA se utilizaron para realizar un análisis de correspondencia canónica (CCA), esto para explorar la relación entre las condiciones ambientales y las variables biológicas. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa R versión 3.6.1 (R Core Team, 2019).

## RESULTADOS

### Abundancia de individuos adultos

El mayor número de individuos adultos de *A. hickelii* (47 árboles) se registró a los 3150 m de altitud (S4), mientras que en el sitio de menor altitud (2850 m, S1) solo se

registraron tres individuos, acompañados de un alto número de individuos del género *Pinus* y *Quercus*, 215 y 86 individuos respectivamente (Fig. 2a). En términos de dominancia, *A. hickelii* ocupa la mayor área basal en los sitios con más altitud (> 3050 m s.n.m.), mientras que los pinos presentan los valores más altos de área basal en el sitio S1 y los encinos en el sitio S2 (Fig. 2b). Los árboles más altos registrados corresponden a individuos del género *Pinus*, mayores a 30 m en el sitio S2, pero en los sitios de mayor altitud (S3 y S4) los individuos de *A. hickelii* presentaron la mayor altura promedio en comparación con los otros grupos biológicos analizados (Fig. 2c).

En los sitios de mayor altitud (> 3050 m s.n.m.) el número de especies arbóreas y arbustivas fue menor en comparación con los sitios de menor altitud. En el sitio con mayor elevación (S4) se observaron tres especies, mientras que en los sitios de menor elevación como el S1 y S2 (< 2950 m s.n.m.) se registraron 7 y 12 especies respectivamente.

En altitudes superiores a los 3150 m s.n.m. no se observaron especies de encinos (Tabla 1).

### Abundancia de plántulas

Se observó una mayor abundancia de plántulas de *A. hickelii* en sitios de altitudes superiores a los 2950 m s.n.m. (S2, S3 y S4), pero en el sitio de mayor altitud se registró el número más alto de individuos (S4, con 175 árboles), en el sitio S1 solo se registraron plántulas de pinos y encinos, con 43 y 14 individuos (Fig. 2d). La altura de las plántulas varía entre los sitios analizados, a 3150 m s.n.m. (S4) la altura de los individuos oscila entre 1 y 130 cm, pero más del 60% de esos individuos registraron alturas menores a los 20 cm; a 3050 m s.n.m. (S3) se encontraron individuos de 20 cm a 80 cm; y a 2950 m s.n.m. (S2) se observaron individuos de 10 cm a 60 cm, pero más del 60% de esos individuos registraron alturas que van de los 20 cm a los 40 cm (Fig. 3).

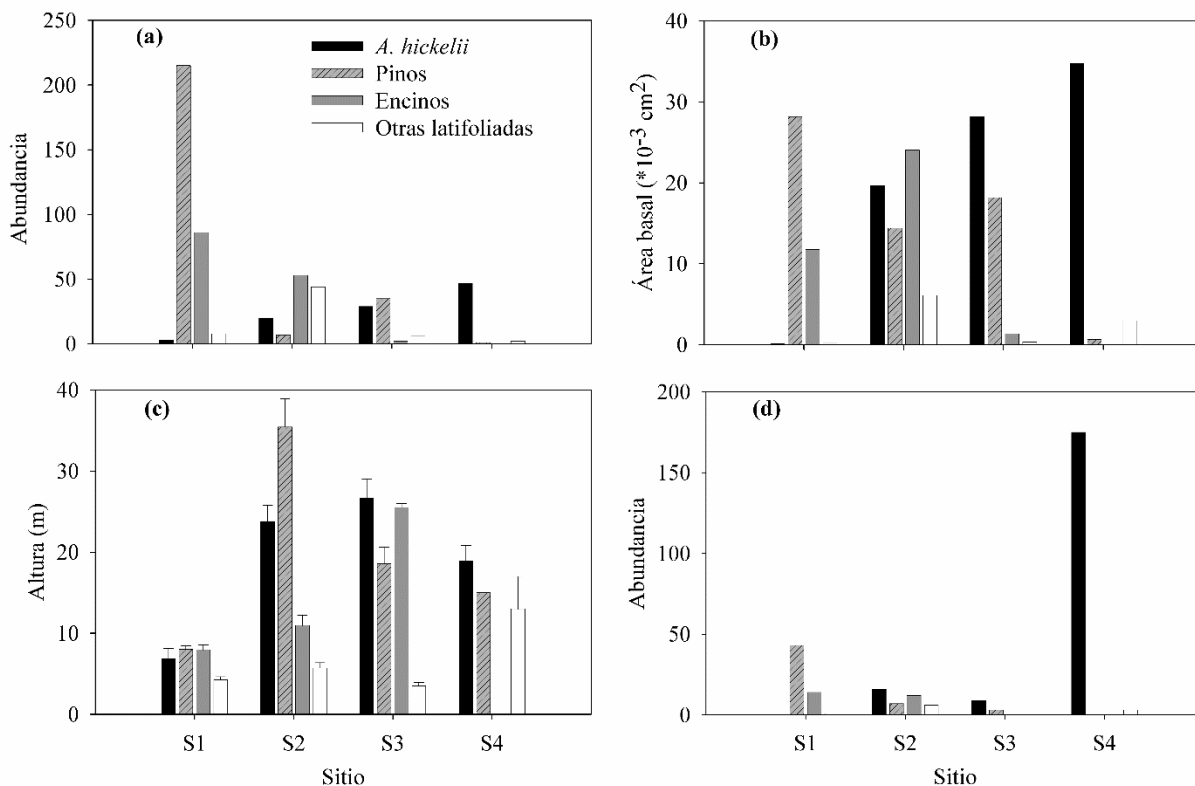


FIGURA 2. (a) Abundancia de individuos adultos, (b) áreas basales, (c) alturas medias, y (d) abundancia de plántulas para *A. hickelii*, pinos, encinos y otras latifoliadas en cada sitio.



TABLA 1. Especies de árboles y arbustos presentes en los sitios de muestreo en el municipio de Santa María Yavesía Oaxaca, México.

Altitud (m s.n.m.)	Grupo biológico	Especies
2850	<i>Abies hickelii</i>	<i>Abies hickelii</i> (Kunth) Schltld. & Cham
	Pinos	<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltld.
		<i>Pinus patula</i> var. <i>longipedunculata</i> Loock ex Martínez
		<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.
	Encinos	<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl. <i>Quercus ocoteifolia</i> Liebm.
Otras latifoliadas	<i>Comarostaphylis discolor</i> (Hook.) Diggs	
2950	<i>Abies hickelii</i>	<i>Abies hickelii</i> (Kunth) Schltld. & Cham
	Pinos	<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltld. <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.
		Encinos
	Otras latifoliadas	<i>Comarostaphylis discolor</i> (Hook.) Diggs <i>Litsea glaucescens</i> Kunth <i>Lonicera mexicana</i> (Kunth) Rehder <i>Oreopanax xalapensis</i> (Kunth) Decne. & Planch. <i>Prunus serotina</i> Ehrh.
		Pinos
Encinos		
Otras latifoliadas	<i>Comarostaphylis discolor</i> (Hook.) Diggs	
3050	<i>Abies hickelii</i>	<i>Abies hickelii</i> (Kunth) Schltld. & Cham
	Pinos	<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltld.
	Encinos	<i>Quercus laurina</i> Bonpl. <i>Quercus ocoteifolia</i> Liebm.
Otras latifoliadas	<i>Comarostaphylis discolor</i> (Hook.) Diggs	
3150	<i>Abies hickelii</i>	<i>Abies hickelii</i> (Kunth) Schltld. & Cham
	Pinos	<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltld.
	Otras latifoliadas	<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth

Los datos muestran que hay diferencias en el número de plántulas entre los sitios y las agrupaciones biológicas analizadas (*A. hickelii*, pinos, encinos y otras latifoliadas) ( $\chi^2 = 263.2$ ,  $df = 9$ ,  $p < 0.05$ ). De acuerdo con los valores de los residuos ajustados, se observa un menor número de plántulas de *A. hickelii* en los sitios de menor altitud, S1 y

S2 (valores de residuos ajustados  $< -1.96$ ) y un aumento en el sitio de mayor altitud, S4 (valores de residuos ajustados  $> + 1.96$ ). Pinos y encinos muestran un comportamiento inverso, la mayor abundancia se encuentra en los sitios de menor altitud, S1 y S2 (Fig. 4).

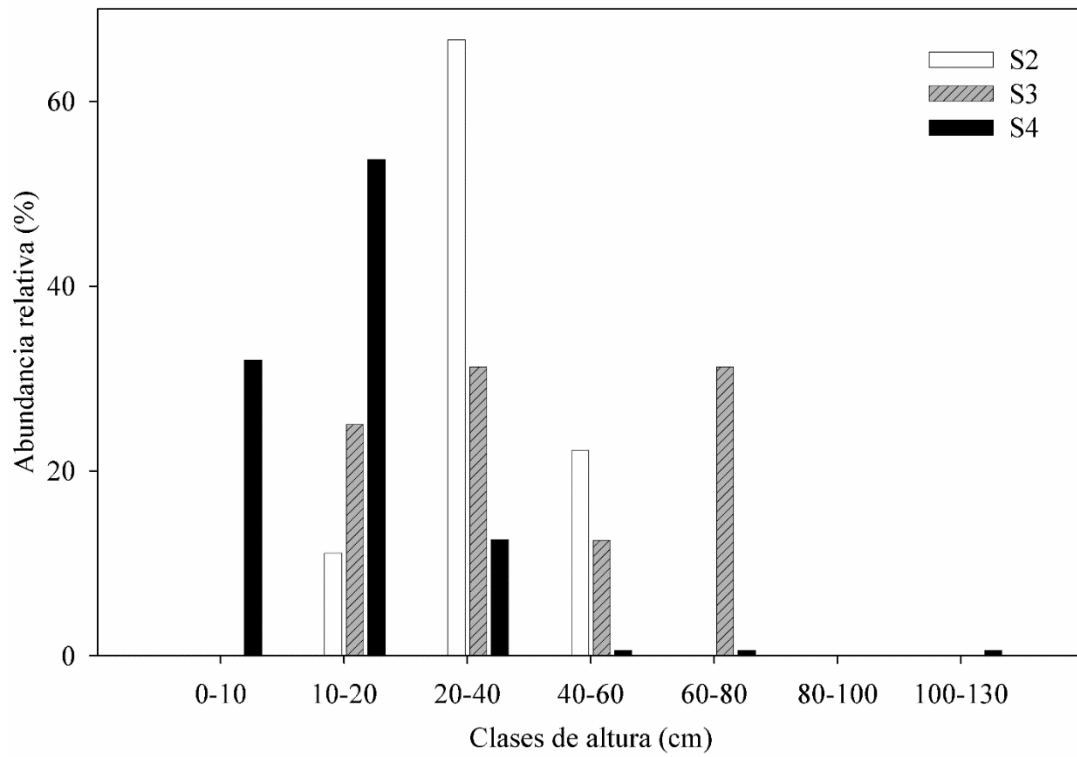


FIGURA 3. Abundancia relativa de plántulas de *A. hickelii* en cada uno de los sitios en las diferentes clases de alturas.

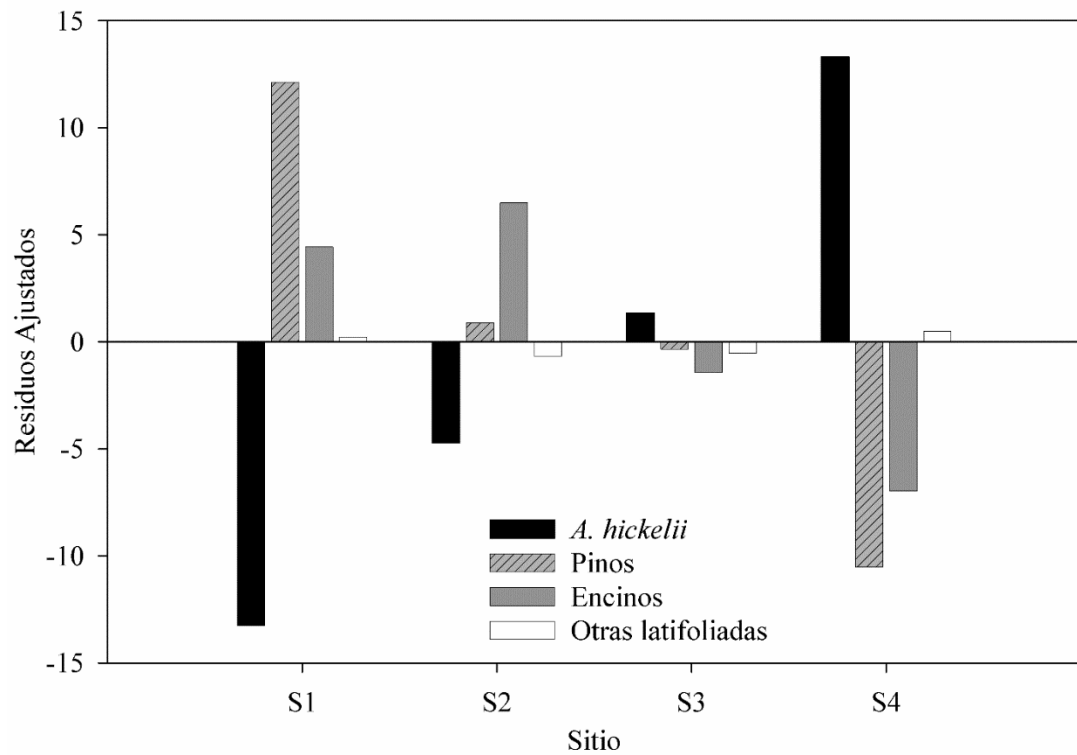


FIGURA 4. Valores de residuos ajustados por Haberman del número de plántulas para cada sitio.





### Abundancia de semillas por lluvia de semillas

La cantidad de semillas recolectadas de *A. bickelii* muestra diferencias significativas entre las altitudes estudiadas, así como entre las distintas fechas en que se recolectaron (Tabla 2). La figura 5 muestra que la mayor producción de semillas se encontró en S3, seguido de S2 y S4. Por otro lado, fue en el periodo de enero - febrero (t1) y marzo - abril (t2), cuando se captó la mayor producción de semillas.

Los valores de correlación entre el número de semillas obtenidas y el número de días de la recolección, así como el número de árboles adultos, fueron bajos ( $< 0.5$ ) y no significativos ( $p > 0.2$ ). Pero se observó una correlación positiva (0.91) y significativa ( $p < 0.05$ ) entre el número de semillas obtenidas y la altura promedio de los árboles de *A. bickelii*.

TABLA 2. ANDeVA de medidas repetidas entre los sitios con diferentes altitudes y el período de recolección de semillas de *A. bickelii* del municipio de Santa María Yavesía, Oaxaca, México.

	Suma de cuadrados	gl	Cuadrados medios	F	p
Periodo	344 262.9	1.8	189 942.4	30.5	<0.05
Periodo * sitio	286 275.8	5.4	52 649.6	8.5	<0.05
Error (Periodo)	90 229.9	14.5	6 222.9		

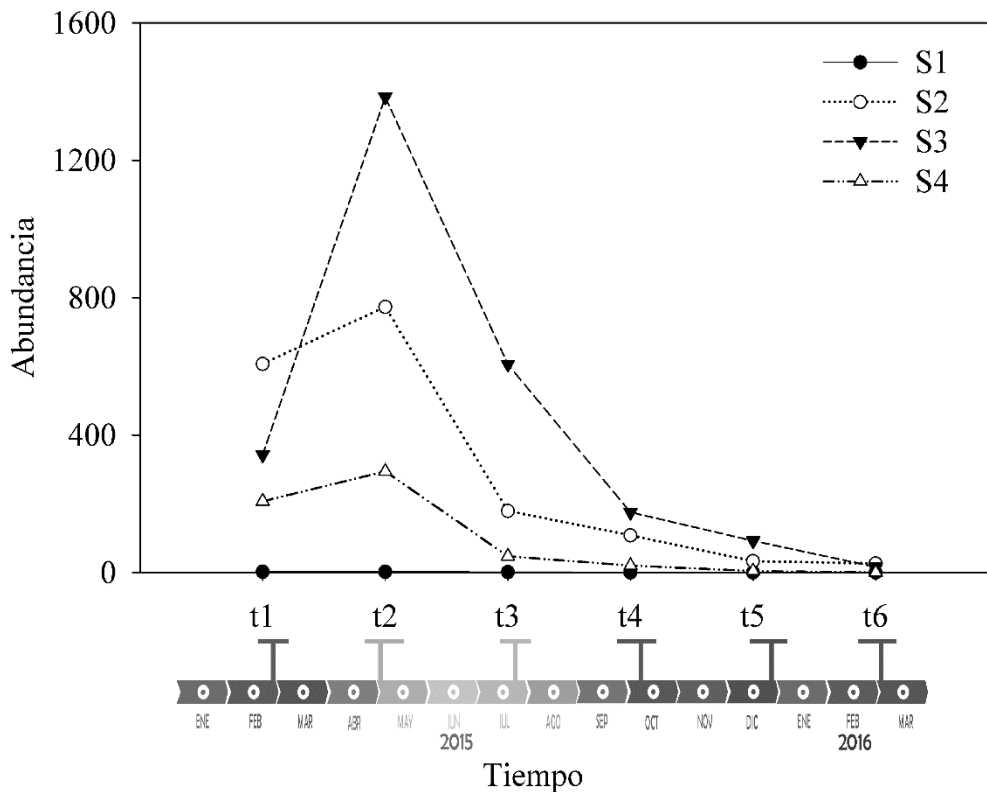


FIGURA 5. Número de semillas de *A. bickelii* obtenidas por lluvia de semillas en cada uno de los intervalos de tiempo de recolección.

### Abundancia de individuos por germinación y supervivencia

No se registraron diferencias en la supervivencia entre los diferentes sitios analizados, mientras que en la germinación sí se encontraron diferencias significativas para *A. hickelii* (Tabla 3), siendo los sitios S2 y S4 los más contrastantes. Las diferencias pueden observarse en la figura 6, donde se aprecia que a los 3150 m s.n.m. (S4) se registró el mayor porcentaje de germinación (32%) y en el sitio S2 el porcentaje más bajo (8%). También se identificaron diferencias significativas entre las estaciones analizadas en los sitios S2 y S4 (Tabla 4); siendo la temporada 1 (t1, enero-febrero de 2015) donde se registraron mayores porcentajes de germinación (Fig. 7).

### Abundancia de semillas por banco de semillas en el suelo

Solo tres sitios (S2, S3 y S4) presentaron semillas de especies arbóreas, en un sitio se encontraron únicamente de *A. hickelii* en el suelo (3150 m, S4, con 4 individuos), mientras que en los otros dos sitios el banco de semillas estaba dominado por individuos del género *Pinus* (S2 con 2 individuos, S3 con 4 individuos).

### Variables biológicas y condiciones ambientales

De acuerdo con los resultados del PCA, los dos primeros componentes explicaron 85% de la varianza (componente principal 1 = 53%; componente principal 2 = 32%) y las variables seleccionadas por su mayor contribución fueron la apertura promedio del dosel, la precipitación anual y la intensidad máxima de la precipitación.

El CCA (Fig. 8) explicó 0.98 de la varianza en los dos primeros ejes (eje 1 = 0.83, eje 2 = 0.15). El sitio S4 fue el más relacionado con la apertura del dosel, con los valores más altos de apertura (26.9% de apertura); mientras que los sitios S3 y S2 estuvieron más relacionados con la precipitación anual, porque fueron los que registraron una mayor cantidad de lluvia, 903 mm y 582 mm, respectivamente. El sitio S1 no se relacionó con ninguna de las variables ambientales ni biológicas de *A. hickelii*, pero sí con la abundancia de individuos adultos (Pa) y plántulas (Pr) del género *Pinus*, pues obtuvo el mayor número de individuos de ese género en comparación con los otros sitios de estudio (215 individuos adultos y 43 plántulas).

TABLA 3. ANDeVA de la germinación y supervivencia de *A. hickelii* entre los sitios de muestreo.

		Suma de cuadrados	gl	Cuadrados medios	F	p
Germinación	Entre los sitios	1707.1	2	853.5	7.7	< 0.05
	Dentro de los sitios	1643.6	15	109.5		
	Total	3350.8	17			
Supervivencia	Entre los sitios	18.0	2	9.0	0.08	0.92
	Dentro de los sitios	1622.3	15	108.1		
	Total	1640.3	17			

TABLA 4. Valores de significancia (p) de la prueba de *t* de Student para las dos temporadas de análisis para la germinación y supervivencia de *A. hickelii*.

Altitud (m s.n.m.)	Germinación	Supervivencia
2950	< 0.05	0.22
3050	0.18	0.21
3150	< 0.05	0.32

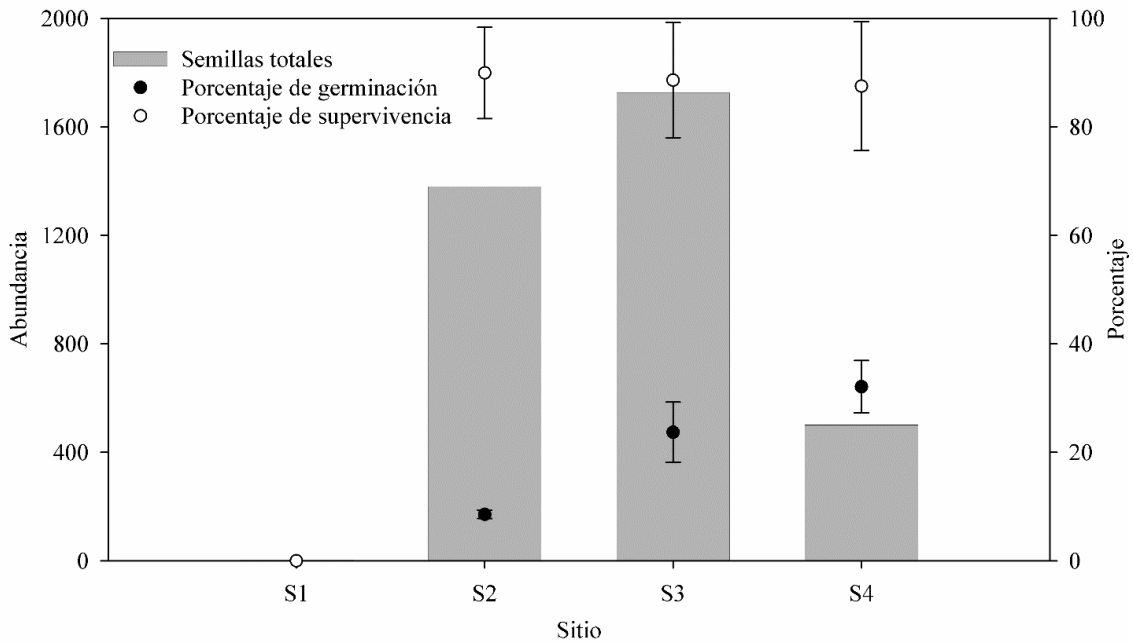


FIGURA 6. Porcentaje de germinación y supervivencia de las semillas de *A. bickelii* en diferentes sitios del municipio de Santa María Yavesía, Oaxaca, México.

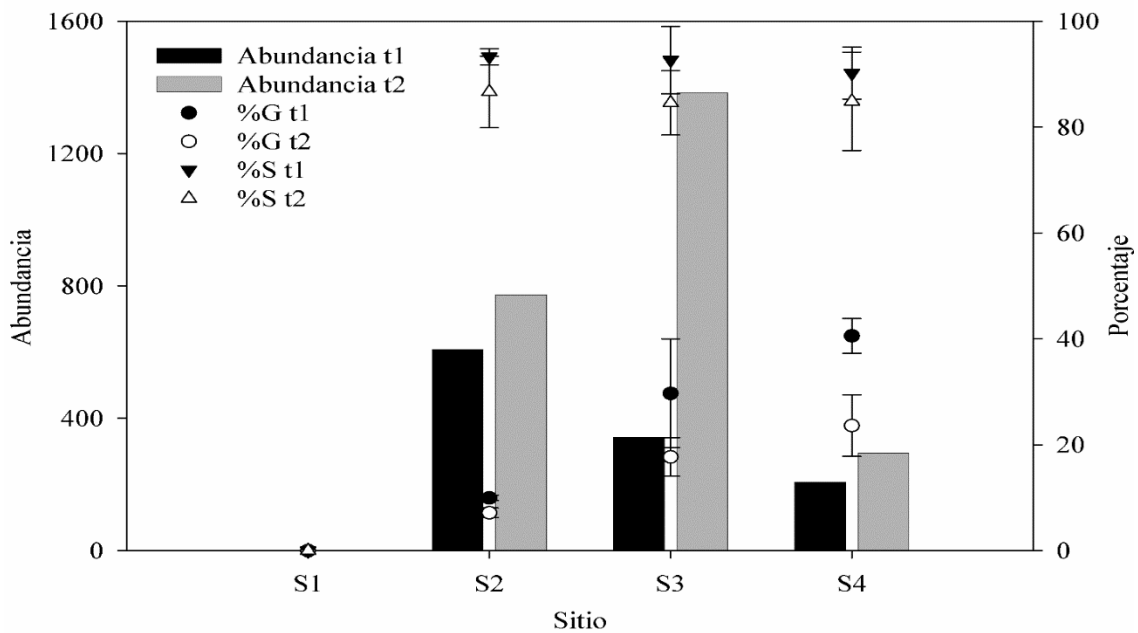


FIGURA 7. Porcentaje de germinación (%G) y supervivencia (%S) de *A. bickelii* para cada temporada analizada.

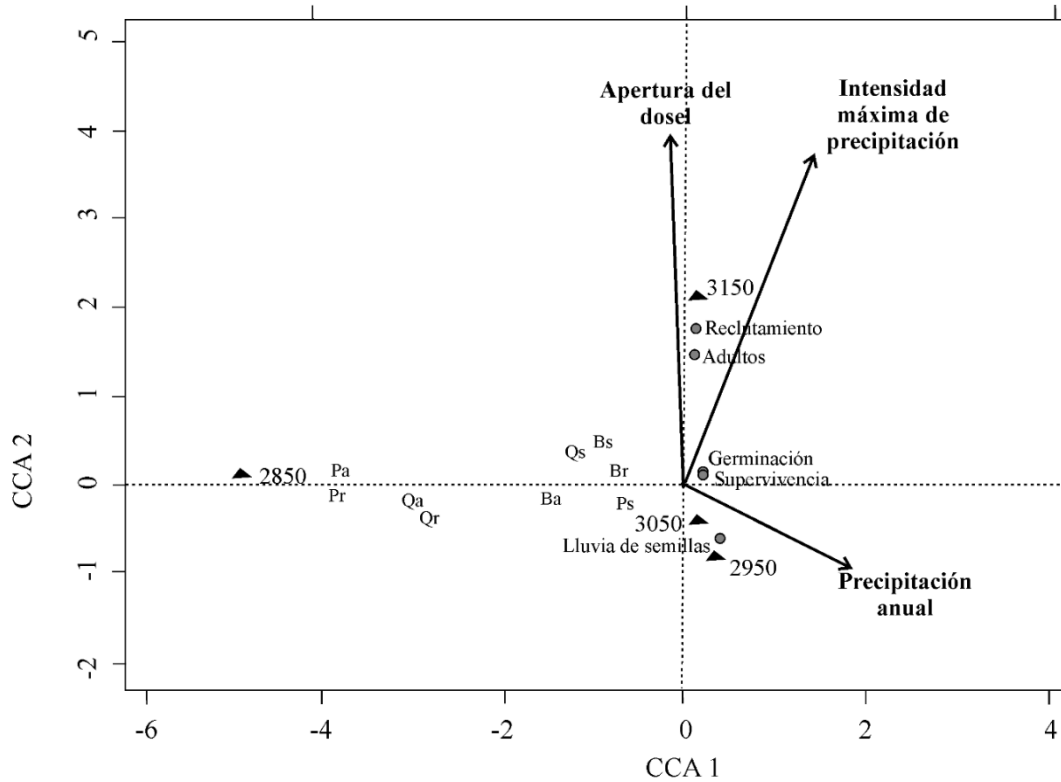


FIGURA 8. Análisis de correspondencia canónica (CCA) entre variables ambientales y biológicas de *A. hickelii* (abundancia de individuos adultos, abundancia de plántulas, abundancia de semillas, germinación y supervivencia), pinos (abundancia de individuos adultos, Pa; abundancia de plántulas, Pr; abundancia de semillas, Ps), encinos (abundancia de individuos adultos, Qa; abundancia de plántulas, Qr; abundancia de semillas, Qs) y otras latifoliadas (abundancia de individuos adultos, Ba; abundancia de plántulas, Br; abundancia de semillas, Bs).

El CCA (Fig. 8) explicó 0.98 de la varianza en los dos primeros ejes (eje 1 = 0.83, eje 2 = 0.15). El sitio S4 fue el más relacionado con la apertura del dosel, con los valores más altos de apertura (26.9% de apertura); mientras que los sitios S3 y S2 estuvieron más relacionados con la precipitación anual, porque fueron los que registraron una mayor cantidad de lluvia, 903 mm y 582 mm, respectivamente. El sitio S1 no se relacionó con ninguna de las variables ambientales ni biológicas de *A. hickelii*, pero sí con la abundancia de individuos adultos (Pa) y plántulas (Pr) del género *Pinus*, pues obtuvo el mayor número de individuos de ese género en comparación con los otros sitios de estudio (215 individuos adultos y 43 plántulas).

La abundancia de individuos adultos y plántulas de *A. hickelii* está relacionada con la apertura promedio del dosel y la intensidad máxima de la precipitación, debido a que se

obtuvieron abundancias de adultos (47 individuos) y plántulas (175 individuos) más altas cuando se registraron valores de apertura del dosel de 26.9% e intensidades máximas de precipitación superiores a los 300 mm h<sup>-1</sup>. La lluvia de semillas está relacionada con la precipitación anual, pues se registró una mayor producción de semillas (> 1500 semillas) en los sitios que presentaban una precipitación anual mayor a los 580 mm. La germinación y la supervivencia no presentaron relación con las variables analizadas (Fig. 8).

## DISCUSIÓN

La información del área de distribución geográfica, así como las preferencias ambientales de las especies del género *Abies* aún es insuficiente (Strandby et al., 2009). Enfocados en *A. hickelii* son pocos los estudios ecológicos



realizados; entre ellos, destacan los estudios morfométricos (Strandby et al., 2009), de divergencia y filogenia (Aguirre-Planter et al., 2012; Jaramillo-Correa et al., 2008), de tratamientos germinativos de las semillas (Zulueta-Rodríguez et al., 2015), de distribución y modelado de nicho (Ávila-Bello y López-Mata, 2001; Gutiérrez y Trejo, 2014; Martínez-Méndez et al., 2016) y la relación que tiene la especie con las condiciones ambientales (Ávila-Bello et al., 1994; Gutiérrez y Trejo, 2014; Martínez-Méndez et al., 2016). Pero ninguno de ellos analizó las preferencias ambientales en las diferentes etapas de su ciclo de vida.

*A. hickelii* tiene requerimientos ambientales particulares, su distribución está restringida a determinadas zonas. Es habitual encontrarla en altitudes elevadas, por encima de los 2700 m s.n.m. (Ávila-Bello y López-Mata, 2001). Estudios anteriores han registrado valores de densidad relativa desde 57% en altitudes de 2700 m - 2900 m s.n.m. y hasta 89% entre 2900 m y 3000 m s.n.m.; y de 76% en altitudes superiores a 3000 m s.n.m., pero de los 3000 m a los 3200 m s.n.m. es donde se localizan los rodales más puros de esta especie (Ávila-Bello y López-Mata, 2001). En el presente estudio se obtuvieron resultados similares, se observó que a medida que aumenta la altitud, también lo hace la densidad de individuos adultos, pues se registraron valores más altos de abundancia en el intervalo altitudinal de los 2950 m a los 3150 m s.n.m. Esta influencia de la altitud también está presente en otras especies del género, como *Abies jaliscana* que tiende a ser dominante en altitudes que oscilan entre los 2300 m y los 2413 m s.n.m. (Guerrero-Hernández et al., 2019) o *Abies religiosa*, cuya mayoría de individuos se concentra en altitudes de 3200 m a 3400 m s.n.m. (Sánchez-Velásquez et al., 1991).

Las preferencias altitudinales no solo se ven reflejadas en la abundancia de individuos adultos de la especie, también se observaron en la producción de semillas. En el intervalo altitudinal que va de los 2950 m a los 3050 m s.n.m. (sitios S2 y S3) fue donde se registró la mayor cantidad de semillas (lluvia de semillas). Esta misma tendencia se ha observado en *A. religiosa* donde en el intervalo altitudinal 2650 m - 3000 m s.n.m. es donde se

produce una mayor cantidad de semillas (Ortiz-Bibian et al., 2019).

Se observó que, a mayor altura de los individuos adultos de *A. hickelii*, mayor es su producción de semillas, pues en los sitios donde se registraron alturas promedio mayores a los 20 m, fue donde se obtuvo una mayor producción de semillas (más de 1700 semillas en total). Esta relación entre altura de los árboles y la cantidad de semillas producidas se ha observado en otros estudios (Simoes-Macayo y Renison, 2015; Valfré-Giarello et al., 2012).

Es importante destacar que el año en que se realizó el estudio coincidió con el año semillero de *A. hickelii*; por observaciones en la zona de estudio se sabe que ocurre cada seis o siete años. Cabe destacar que el número de semillas se relacionó con la precipitación anual, los sitios que tuvieron mayor producción de semillas fueron los que obtuvieron mayores valores de precipitación, esto es consistente con estudios previos en especies como *Abies alba* donde observó que la cantidad de semillas dispersadas está influenciada por las condiciones ambientales del sitio (Dobrowolska, 1998).

Realizar tratamientos pre germinativos en las semillas de *A. hickelii* es fundamental si se requiere tener un mayor número de individuos. En este estudio se observó que las semillas de *A. hickelii* mostraron un porcentaje de germinación menor a 40%, lo que coincide con un trabajo previo donde se registraron porcentajes de germinación bajos, en comparación con tratamientos pre germinativos como el hidrocebado y el biocebado, que pueden llegar a obtener porcentajes de germinación de hasta 91% (Zulueta-Rodríguez et al., 2015).

La germinación de *A. hickelii* también se relacionó con la altitud, en el intervalo altitudinal 3050 m - 3150 m s.n.m. fue donde se registraron los porcentajes de germinación más altos (mayores a 20%). Esto es consistente con estudios previos realizados en especies como *A. religiosa* que han obtenido porcentajes de germinación de 19.9% en un intervalo altitudinal que va de los 3000 m a los 3350 m s.n.m. (Ortiz-Bibian et al., 2019).

En el sitio de mayor altitud analizada (S4) se registró una mayor apertura del dosel, abundancia de individuos adultos y plántulas de *A. hickelii*, así como un mayor porcentaje de germinación de semillas. Una posible explicación de estos resultados es el considerar que esta especie necesita grandes cantidades de luz para germinar y crecer, como se ha observado para otras especies del género, como *Abies faxoniana* o *A. religiosa*, que en condiciones de dosel abierto la densidad de plántulas es mayor que en condiciones de dosel cerrado, debido a que en doseles abiertos la cantidad de luz directa que incide sobre las plántulas es mayor por lo que se activa su fotosíntesis, esto contribuye a su mantenimiento y mejora su supervivencia (Hernández-Ramírez et al., 2022; Plateros-Gastélum et al., 2018; Taylor et al., 2006).

De acuerdo con los resultados obtenidos, se podría inferir que el sitio S4 es el que presenta las condiciones ambientales más favorables para el desarrollo de *A. hickelii*. Fue el sitio donde se registró la mayor abundancia de individuos adultos y plántulas, mayor tasa de germinación y presencia de la especie en el banco de semillas. Por lo tanto, las características antes mencionadas, serían indicadores de idoneidad ambiental para el establecimiento y reproducción de esta especie.

Es fundamental conocer qué variables ambientales son relevantes en cada etapa de crecimiento de una especie. Existen pocos estudios en *A. hickelii* enfocados en su caracterización en función de las condiciones ambientales donde se establece (Ávila-Bello et al., 1994; Gutiérrez y Trejo, 2014; Martínez-Méndez et al., 2016), pero hay que considerar que en estos trabajos los datos biológicos provienen únicamente de individuos adultos. Por ello, los resultados obtenidos en el presente estudio cobran especial relevancia, pues se consideraron distintas etapas fenológicas o de su ciclo de vida: dispersión de semillas, germinación, supervivencia, individuos juveniles (plántulas) y adultos.

## CONCLUSIONES

Las variables lumínicas (apertura del dosel), climáticas (precipitación) y de relieve (altitud) fueron las que más se

relacionaron con las diversas etapas de crecimiento de *A. hickelii* analizadas. En la zona de estudio, esta especie presenta una preferencia altitudinal que se extiende desde los 2800 m hasta los 3200 m. Sin embargo, dentro de este intervalo, es a los 3150 m donde se registraron los valores más altos de abundancia de individuos adultos y plántulas, así como un mayor porcentaje de germinación de semillas.

El periodo que abarca de enero a abril fue en el que se observó la mayor producción de semillas por parte de esta especie. Además de la temporalidad, la cantidad de semillas se relacionó con la altura de los individuos adultos y con la precipitación; cuanto mayor es la altura de los individuos y cuanto más abundante es la lluvia (superior a 580 mm), mayor será la producción de semillas de *A. hickelii*.

Este estudio proporciona información esencial acerca de las preferencias ambientales y las diferentes etapas del ciclo de vida de *A. hickelii*. Este conocimiento puede resultar de gran utilidad para la conservación y gestión de las poblaciones de esta especie, especialmente en las áreas donde se encuentra presente. Los resultados destacan la importancia de comprender las interacciones entre las condiciones ambientales y las poblaciones de especies en riesgo, como la que se examina en este trabajo.

## RECONOCIMIENTOS

Este trabajo cumple como requisito de publicación para obtener el grado de doctor de Erick Gutiérrez (EG) en el programa de "Doctorado en Ciencias Biológicas, de la Universidad Nacional Autónoma de México". EG agradece al Conacyt por la beca para sus estudios de doctorado. Este trabajo fue financiado por el proyecto PAPIIT (IN300515). Se agradece a Nihai Flores-Galicia por las revisiones y comentarios al manuscrito y la asesoría en los análisis estadísticos. Agradecemos a la comunidad de Santa María Yavesía por su apoyo y su permiso para estudiar su territorio. El trabajo de campo fue asistido por Nihai Flores-Galicia, Mónica Vázquez, Tania Fernández y Eribel Bello.



## REFERENCIAS

- Aguirre-Planter, E., Jaramillo-Correa, J., Gómez-Acevedo, S., Khasa, D., Bousquet, J., & Eguiarte, L. (2012). Phylogeny, diversification rates and species boundaries of Mesoamerican firs (*Abies*, Pinaceae) in a genus-wide context. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 62(1), 263-274. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2011.09.021>
- Álvarez-Arteaga, G., García-Calderón, N., Krasilnikov, P., & García-Oliva, F. (2013). Almacenes de carbono en bosques montanos de niebla de la sierra norte de Oaxaca, México. *Agrociencia*, 47(2), 171-180.
- Alexander, R. (2000). Modelling species extinction: the case for non-consumptive values. *Ecological Economics*, 35(2), 259-269. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(00\)00198-1](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(00)00198-1)
- Andersen, U., Córdova, J., Sørensen, M., & Kollmann, J. (2006). Conservation and utilisation of *Abies guatemalensis* Rehder (Pinaceae)—an endangered endemic conifer in Central America. *Biodiversity & Conservation*, 15(10), 3131-3151. <https://doi.org/10.1007/s10531-005-5405-x>
- Ávila-Bello, C., Aguirre, J., & García, E. (1994). Variación estructural del bosque de oyamel (*Abies bickelii* Flous & Gaussen) en relación con factores ambientales en el pico de Orizaba, México. *Forest Systems*, 3(1), 5-17.
- Ávila-Bello, C., & López-Mata, L. (2001). Distribución y análisis estructural de *Abies bickelii* (Flous & Gaussen) en México. *Interciencia*, 26(6), 244-251.
- Bewley, J., & Krochko, J. (1982). Desiccation-tolerance. En O. Lange, P. Nobel, C. Osmond, & H. Ziegler (Eds.), *Physiological Plant Ecology II. Encyclopedia of Plant Physiology* (pp 325-378). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-68150-9\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-642-68150-9_11)
- Bonte, D., Van Dyck, H., Bullock, J., Coulon, A., Delgado, M., Gibbs, M., Lehouck, V., Matthysen, E., Mustin, K., Saastamoinen, M., Schtickzelle, N., Stevens, V., Vandewoestijne, S., Baguette, M., Barton, K., Benton, T., Chaput-Bardy, A., Clobert, J., Dytham, C., ..., Travis, J. (2012). Costs of dispersal. *Biological Reviews*, 87(2), 290-312. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2011.00201.x>
- Catorci, A., Vitanzi, A., Tardella, F., & Hršak, V. (2012). Trait variations along a regenerative chronosequence in the herb layer of submediterranean forests. *Acta Oecologica*, 43, 29-41. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2012.05.007>
- Dobrowolska, D. (1998). Structure of silver fir (*Abies alba* Mill.) natural regeneration in the Jata'reserve in Poland. *Forest Ecology and Management*, 110(1-3), 237-247. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00286-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00286-2)
- Encina-Domínguez, J., Encina-Domínguez, F., Mata-Rocha, E., & 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.
- Farjon, A. (1990). Pinaceae. *Drawings and descriptions of the genera Abies, Cedrus, Pseudolarix, Keteleeria, Nothotsuga, Tsuga, Cathaya, Pseudotsuga, Larix and Picea*. Koeltz scientific books.
- Farjon, A. (2013). *Abies bickelii*. The IUCN Red List of Threatened Species 2013. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42286A2969866.en>
- Frazer, G., Canham, C., & Lertzman, K. (1999). *Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, user's manual and program documentation*. Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia-Institute of Ecosystem Studies, Millbrook.
- Gernandt, D., & Pérez-de la Rosa, J. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 126-133. <https://doi.org/10.7550/rmb.32195>
- Gómez-Mendoza, L., Galicia, L., & Aguilar-Santelises, R. (2008). Sensibilidad de grupos funcionales al cambio climático en la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Investigaciones Geográficas*, (67), 6-100.
- Gómez, J., Monterroso, A., Tinoco, J., Toledo-Medrano, M., Conde-Alvarez, C., & Gay-García, C. (2011). Assessing current and potential patterns of 16 forest species driven by climate change scenarios in México. *Atmósfera*, 24(1), 31-52.
- Guerrero-Hernández, R., Muñoz-Castro, M., Vázquez-García, J., & Ruiz-Corral, J. (2019). Estructura del bosque mesófilo de montaña y su reemplazo por bosque de *Abies* en dos gradientes altitudinales del occidente de México. *Botanical Sciences*, 97(3), 301-322. <http://dx.doi.org/10.17129/botsci.2206>
- Gutiérrez, E., & Trejo, I. (2014). Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco especies arbóreas de bosque templado en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(1), 179-188. <http://dx.doi.org/10.7550/rmb.37737>
- Haberman, S. (1973). The analysis of residuals in cross-classified tables. *Biometrics*, 29(1), 205-220. <https://doi.org/10.2307/2529686>
- Hernández-Ramírez, V., López-Mata, L., Cruz-Rodríguez, J., & Luna Cavazos, M. (2022). Nicho de regeneración de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham. en el Monte Tláloc, Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl, México. *Botanical Sciences*, 100(2), 331-344. <https://doi.org/10.17129/botsci.2912>
- Jaramillo-Correa, J., Aguirre-Planter, E., Khasa, D., Eguiarte, L., Pinero, D., Furnier, G., & 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(10), 2476-2490. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2008.03762.x>
- Martínez-Méndez, N., Aguirre-Planter, E., Eguiarte, L., & Jaramillo-Correa, J. (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. <http://dx.doi.org/10.17129/botsci.508>
- Martínez-Villegas, J., Castillo-Argüero, S., Márquez-Guzmán, J., & Orozco-Segovia, A. (2018). Plant attributes and their relationship to the germination response to different temperatures of 18 species from central Mexico. *Plant Biology*, 20(6), 1042-1052. <https://doi.org/10.1111/plb.12882>
- Mathews, A. (2009). Unlikely Alliances: Encounters between State Science, Nature Spirits, and Indigenous Industrial Forestry in Mexico, 1926-2008. *Current Anthropology*, 50(1), 75-101. <https://doi.org/10.1086/595003>
- Mitchell, R. (2008). El ejercicio de la democracia en dos comunidades forestales de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Desacatos*, (27), 149-168.
- Oda, G., Braz, M., & Portela, R. (2016). Does regenerative strategy vary between populations? A test using a narrowly distributed Atlantic Rainforest palm species. *Plant Ecology*, 217(7), 869-88. <https://doi.org/10.1007/s11258-016-0612-y>
- Ortiz-Bibian, M., Castellanos-Acuña, D., Gómez-Romero, M., Lindig-Cisneros, R., Silva-Farías, M., & Sáenz-Romero, C. (2019). Variación entre poblaciones de *Abies religiosa* (HBK) Schl. et Cham a lo largo de un gradiente altitudinal. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 42(3), 301-308.
- Ortiz-Martínez, T., Gallina, S., Briones-Salas, M., & González, G. (2005). Densidad poblacional y caracterización del hábitat del venado cola blanca (*Odocoileus virginianus oaxacensis*, Goldman y Kellog, 1940) en un bosque templado de la sierra norte de Oaxaca, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 21(3), 65-78. <https://doi.org/10.21829/azm.2005.2131972>
- Pearson, T., Burslem, D., Mullins, C., & Dalling, J. (2002). Germination ecology of neotropical pioneers: interacting effects of environmental conditions and seed size. *Ecology*, 83(10), 2798-2807. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[2798:GEONPI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[2798:GEONPI]2.0.CO;2)
- Pijl, L. (1982). *Principles of dispersal in higher plants*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-87925-8>
- Plateros-Gastélum, P., Reyes-Hernández, V., Velázquez-Martínez, A., Hernández-de la Rosa, P., & Campos-Ángeles, G. (2018). Disponibilidad de luz bajo dosel en rodales de *Abies religiosa*. *Madera y Bosques*, 24(3), e2431711. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431711>
- Quiroz, C., Marín, F., Arias, R., Crespo, P., Weber, M., & Palomeque, X. (2019). Comparison of natural regeneration in natural grassland and pine plantations across an elevational gradient in the Páramo ecosystem of Southern Ecuador. *Forests*, 10(9), 745. <https://doi.org/10.3390/f10090745>
- Ramírez-Ponce, A., Allende-Canseco, J., & Morón, M. (2009). Fauna de coleópteros lamelicornios de Santiago Xiacui, Sierra Norte, Oaxaca, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 25(2), 323-343. <https://doi.org/10.21829/azm.2009.252640>
- R Core Team. (2019). R: *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>
- Santolaria, M., Oliver-Solà, J., Gasol, C., Morales-Pinzón, T., & Rieradevall, J. (2011). Eco-design in innovation driven companies: perception, predictions and the main drivers of integration. The Spanish example. *Journal of Cleaner Production*, 19(12), 1315-1323. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.03.009>
- Sánchez-Velásquez, L., Pineda-López, M., & Hernández-Martínez, A. (1991). Distribución y estructura de la población de *Abies religiosa* (HBK) Schl. et Cham., en el Cofre de Perote, estado de Veracruz, México. *Acta Botanica Mexicana*, 16, 45-55. <https://doi.org/10.21829/abm16.1991.625>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat] (2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo*. Diario Oficial de la Federación.
- Simoës-Macayo, N., & Renison, D. (2015). ¿Cuántos años monitorear el éxito de plantaciones con fines de restauración?: Análisis en relación al micrositio y procedencia de las semillas. *Bosque (Valdivia)*, 36(2), 315-322. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002015000200016>
- Strandby, U., Christensen, K., & Sørensen, M. (2009). A morphometric study of the *Abies religiosa-hickelii-guatemalensis* complex (Pinaceae) in Guatemala and Mexico. *Plant Systematics and Evolution*, 280(1), 59-76. <https://doi.org/10.1007/s00606-009-0164-x>
- Taylor, A., Wei, J., Jun, Z., Ping, L., Jin, M., & Jinyan, H. (2006). Regeneration patterns and tree species coexistence in old-growth *Abies-Picea* forests in southwestern China. *Forest Ecology and Management*, 223(1-2), 303-317. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.11.010>
- Valfré-Giarello, T., Ashworth, L., & Renison, D. (2012). Patrones de germinación de semillas de *Sebastiania commersoniana* (Baillon)





Smith & Downs (Euphorbiaceae), árbol nativo del Chaco Serrano de interés en restauración. *Ecología Austral*, 22(2), 92-100.

Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., & Foolad, M. (2007). Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61(3), 199-223. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.011>

Zacarías-Eslava, Y., & Castillo, R. (2010). Comunidades vegetales templadas de la Sierra Juárez, Oaxaca: pisos altitudinales y sus posibles implicaciones ante el cambio climático. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 87, 13-28.

Zulueta-Rodríguez, R., Hernández-Montiel, L., Murillo-Amador, B., Rueda-Puente, E., Capistrán, L., Troyo-Diéguez, E., & Córdoba-Matson, M. (2015). Effect of hydropriming and biopriming on seed germination and growth of two Mexican fir tree species in danger of extinction. *Forests*, 6(9), 3109-3122. <https://doi.org/10.3390/f6093109>

Manuscrito recibido el 04 de diciembre de 2021

Aceptado el 20 de junio de 2022

Publicado el 20 de diciembre de 2023

Este documento se debe citar como:

Gutiérrez, E., & Trejo, I. (2023). La respuesta de *Abies hickelii* a los factores ambientales en el sur de México. *Madera y Bosques*, 29(3), e2932452.

<https://doi.org/10.21829/myb.2023.2932452>



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