

# Bebiendo en la sequía: La estrategia oculta del oyamel

## *Drinking in the drought: The hidden strategy of the oyamel fir*

### Marcela Gutiérrez Arenas

Facultad de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala.

✉ [marc.guty.arenas.2@gmail.com](mailto:marc.guty.arenas.2@gmail.com)  
ORCID <https://orcid.org/0009-0000-7440-5295>

### Sandra García de Jesús\*

Facultad de agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala.

✉ [sandra.garcia.dej@uatx.mx](mailto:sandra.garcia.dej@uatx.mx)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2128-8168>

### Francisco Armendáriz Toledano

Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México

✉ [farmendariztoledano@ib.unam.mx](mailto:farmendariztoledano@ib.unam.mx)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3130-4440>

### Teresa Terrazas

Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México

✉ [tterrazas@ib.unam.mx](mailto:tterrazas@ib.unam.mx)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7749-5126>

### Jorge E. Macías Sámano

Synergy Semiochemicals Corporation

✉ [jemaciass58@gmail.com](mailto:jemaciass58@gmail.com)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2419-7288>

\**Autora de correspondencia*

#### Recibido

23 de noviembre  
2025

#### Aceptado

16 de marzo  
2026

#### Publicado

5 de julio  
2026

## Resumen

### Palabras clave:

cavitación,  
escarabajo  
descortezador,  
estrés hídrico,  
traqueida.

Los bosques de oyamel (*Abies religiosa*) son uno de los ecosistemas más emblemáticos y representativos de los bosques templados de alta montaña con afinidad boreal en México, presentan necesidades de temperatura, suelo y altitudes muy específicas y con una historia evolutiva compleja que se remonta hasta 2.6 millones de años. Estos bosques se encuentran en un estado crítico; debido principalmente al cambio climático, incremento de temperatura y modificación del régimen de lluvias. Estas circunstancias los hacen vulnerables a escarabajos descortezadores, evidenciado por la alta mortalidad de árboles registrada ante las sequías. Sin embargo, los oyameles desencadenan una serie de respuestas mediante su sistema radical, tejidos vasculares y una mayor eficiencia en la fotosíntesis. Se destaca la necesidad de estudios puntuales sobre su fisiología y morfología ante los cambios climáticos actuales.

## Abstract

### Keywords:

cavitation,  
bark-beetle,  
water stress,  
tracheid.

The oyamel fir forests (*Abies religiosa*) are one of the most emblematic and representative ecosystems of temperate high-mountain forests with boreal affinity in Mexico. They have very specific temperature, soil, and altitude requirements, and possess a complex evolutionary history dating back 2.6 million years. These forests are in a critical state, mainly due to climate change, rising temperatures, and alterations in rainfall patterns. These circumstances make them vulnerable to bark beetles, as evidenced by the high tree mortality recorded during droughts. However, oyamel firs trigger a series of responses through their root systems, vascular tissues, and increased photosynthetic efficiency. The need for specific studies on their physiology and morphology in response to current climate changes is highlighted.

Deterioro del bosque de oyamel. Fotografía: Gabriel Cordero Martínez.

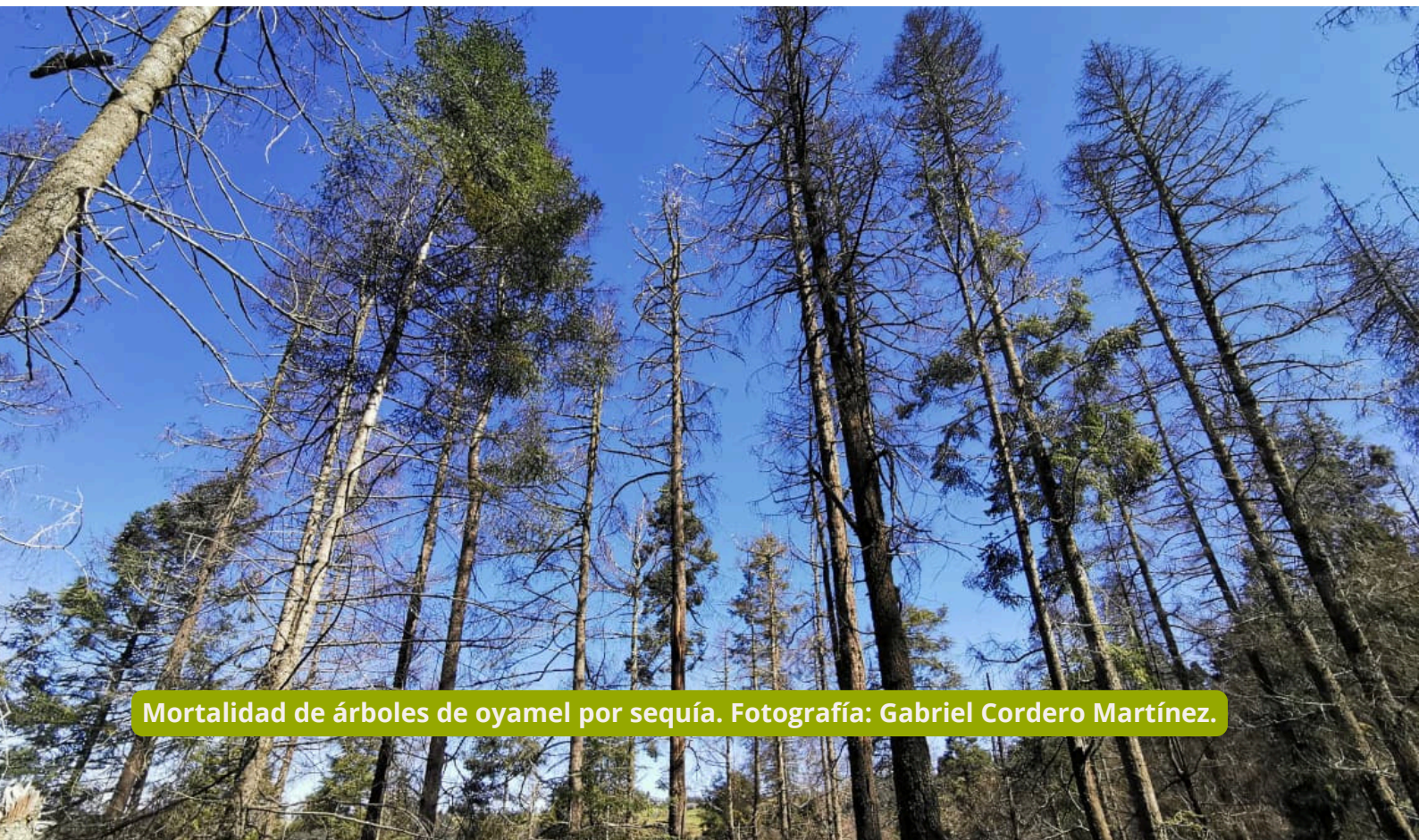



## Introducción

En los emblemáticos bosques de oyamel del centro de México, se desarrolla una interacción ecológica compleja frente a un factor estresante crítico: el estrés hídrico y, como consecuencia, la colonización de escarabajos descortezadores.

Ante la amenaza de árboles muertos o debilitados, la respuesta tradicional ha sido el saneamiento sistemático, la tala y remoción de los ejemplares infestados con el objetivo de salvar el bosque. Sin embargo, este enfoque sanitario es herencia del paradigma de manejo integrado de plagas que fue desarrollado para la agricultura, pero al aplicarse a un ecosistema puede tener consecuencias inesperadas y contraproducentes para el bosque mismo.

Imagina un bosque de oyamel en las montañas de Hidalgo. La lluvia escasea y la tierra comienza a resquebrajarse. Este estrés altera el potencial hídrico del arbolado. Para entenderlo, piensa en el potencial hídrico como la energía que impulsa al agua a moverse desde la raíz hasta las hojas. El agua viaja naturalmente desde donde hay mucha energía (suelo húmedo) hacia donde hay poca energía (aire seco). Cuando el suelo se seca, al árbol le cuesta mucho más trabajo extraer esa humedad y transportarla a través del sistema suelo-planta-atmósfera. Aunque a simple vista el arbolado parece inmutable, en su interior ocurren procesos de aclimatación complejos. Ante la escasez, los individuos responden mediante modificaciones morfológicas subterráneas, extendiendo sus raíces como un mecanismo evolutivo para optimizar la captación hídrica.






Rama y acícula de árbol de oyamel. El círculo muestra la rama y la flecha indica la acícula. Fotografía: Gabriel Cordero Martínez.

## El oyamel: el pilar de las montañas de México

En las regiones más altas de México, donde el aire es frío y la neblina es constante en el paisaje, se desarrolla una especie emblemática: *Abies religiosa*. El nombre científico de esta especie se debe a que los extremos de su ramaje asemejan una cruz, un rasgo distintivo que funciona como una clave visual para identificarlo en el campo. Es un árbol representativo de alta montaña con necesidades de temperatura, suelo y altitudes muy específicas, siendo relictos de bosques boreales que se establecieron y diferenciaron en las montañas de México durante los cambios climáticos del Pleistoceno (hace 2.6 millones de años – 12 mil años). Su nombre común es oyamel, que proviene del náhuatl y describe la curiosa forma en que sus conos, popularmente llamados piñas, se 'desgranán' o desintegran.

El oyamel conserva su follaje todo el año por lo que es una especie perennifolia, también es un organismo monoico, lo que implica que no hay árboles machos o hembras por separado; cada individuo produce ambas estructuras reproductivas. Es una especie nativa de México de dimensiones imponentes. Por lo general alcanza entre 35 y 40 metros, pero en su plenitud es capaz de superar los 60 metros de altura, sobresaliendo por encima del resto del arbolado. Su tronco, robusto y columnar, puede llegar a medir hasta 1.8 metros de diámetro. Es una pieza fundamental de los ecosistemas forestales de nuestro país, cuando crece en asociación con pinos y encinos, es parte del bosque de coníferas. Sin embargo, cuando domina el paisaje, forma lo que se conoce como bosque de *Abies*, bosque de abetos, bosque de oyamel, o simplemente oyamental.



**Vista inferior de un fragmento de copa de árbol de oyamel.  
Fotografía: Gabriel Cordero Martínez.**

Su distribución en el país abarca varias entidades federativas, incluyendo la Ciudad de México, Estado de México, Guerrero, Hidalgo, Morelos, Michoacán, Jalisco, Puebla, Tlaxcala y Veracruz. Es una especie de climas fríos que se establece en un rango altitudinal muy específico, entre los 2,800 y los 3,500 metros sobre el nivel del mar (m s. n. m.), con una altitud óptima alrededor de los 3,200 m s. n. m. Requiere suelos bien drenados y húmedos la mayor parte del año, con un alto contenido de materia orgánica.

La temperatura óptima oscila entre 7 °C y 15 °C con mínimas de hasta -12 °C, la precipitación media anual debe superar los 1,000 mm (Rzedowski, 2006; Comisión Nacional Forestal, 2025). La permanencia y la vitalidad de un bosque de oyamel, es un indicador de condiciones ambientales muy particulares de los sitios en que crece y esto los convierte en un indicador excelente de la salud del ecosistema de montaña: si las poblaciones de oyamel experimentan declive, es un síntoma inequívoco del deterioro de todo el bosque.

## Las raíces del oyamel

Al observar un oyamental es fácil dejarse impresionar por los troncos que dominan el estrato superior. Sin embargo, el verdadero motor fisiológico de este ecosistema es subterráneo. Bajo la superficie se extiende una red anatómica fundamental: las raíces. Estas estructuras no solo garantizan la estabilidad mecánica del individuo, sino que son responsables de capturar el agua y sostener la dinámica hidrológica de la montaña. Sin esta biomasa oculta, el mantenimiento y la supervi-

vencia de la copa no serían posibles (Pavón *et al.*, 2012).

Estudios recientes han analizado lo que ocurre durante la etapa brinzal para entender la distribución de recursos en un oyamel joven (Manzur-Chávez *et al.*, 2025). Podemos considerar esta etapa como la fase joven del bosque: un momento de alta densidad poblacional donde los árboles pequeños apenas alcanzan el 1.5 m de altura y un diámetro de 5 cm (Aguilar, 2018; Ronquillo-Gorgúa *et al.*, 2022; Manzur-Chávez *et al.*, 2025).



Raíces de oyamel. Fotografía: Gabriel Cordero Martínez.



**Brinzales de oyamel. Fotografía: Gabriel Cordero Martínez.**

Cuando los científicos pesaron toda su biomasa; es decir, la cantidad total de materia viva que los compone, descubrieron una regla fascinante: la proporción 3 a 1 (Manzur-Chávez *et al.*, 2025). Esto significa que por cada tres kilos de tronco y hojas que vemos sobre la superficie, hay un kilo de raíces trabajando bajo tierra. Sin embargo, esta regla no es rígida.

Durante los primeros años, los árboles presentan una adaptación clave, ya que destinan un porcentaje mayor de energía a sus raíces para asegurar primero un buen anclaje y acceso a nutrientes, antes de acelerar su crecimiento en altura. A diferencia de otras especies de gran tamaño, el oyamel no utiliza una raíz principal profunda como ancla, sino que extiende una red superficial de raíces en los primeros 50 cm de suelo, que funciona como una esponja para atrapar la lluvia y la neblina. Esta estructura se desarrolla sobre un escenario edáfico muy particular, los andosoles. Este es el tipo de suelo predominante en todo el hábitat del oyamel, es de origen volcánico, muy poroso y capaz de retener el doble de su peso en humedad. Precisamente por la riqueza y ligereza de esta

tierra, los brinzales tienen la facilidad de maximizar sus raíces para la absorción de agua y nutrientes.

Entender cómo los oyameles asignan sus recursos bajo tierra no es solo curiosidad científica. Nos ayuda a predecir cómo estos bosques podrían responder al cambio climático, a sequías más intensas o a cambios en los patrones de lluvia y niebla. El bosque que percibimos depende en gran medida del bosque que no vemos. Dada la exigencia hídrica del entorno, esta morfología subterránea no es una simple alternativa, sino una adaptación evolutiva vital para su supervivencia. Al extenderse horizontalmente, las raíces crean una red superficial que interactúa con la hojarasca para evitar la pérdida de humedad. Esta interdependencia es esencial: el sistema radical da soporte físico al árbol, mientras que la cobertura del bosque mantiene el microclima húmedo que las raíces requieren. Comprender esta dinámica resalta el papel indispensable del oyamel. Su capacidad para anclarse y facilitar la recarga de acuíferos lo destaca como un gran regulador de los recursos hídricos. Aquello que permanece oculto bajo la tierra es sin duda, el cimiento de su gran importancia hidrológica.

## El oyamel y el déficit hídrico

Cuando el agua escasea en el bosque, los árboles dominantes en las zonas de alta montaña de México enfrentan un factor de estrés crítico, llamado estrés hídrico. La sequía y el cambio climático comprometen su supervivencia. No se trata solo de un déficit de humedad, la falta de agua altera su funcionamiento interno y los vuelve vulnerables y atractivos ante organismos especializados en la degradación de los recursos que ellos representan.

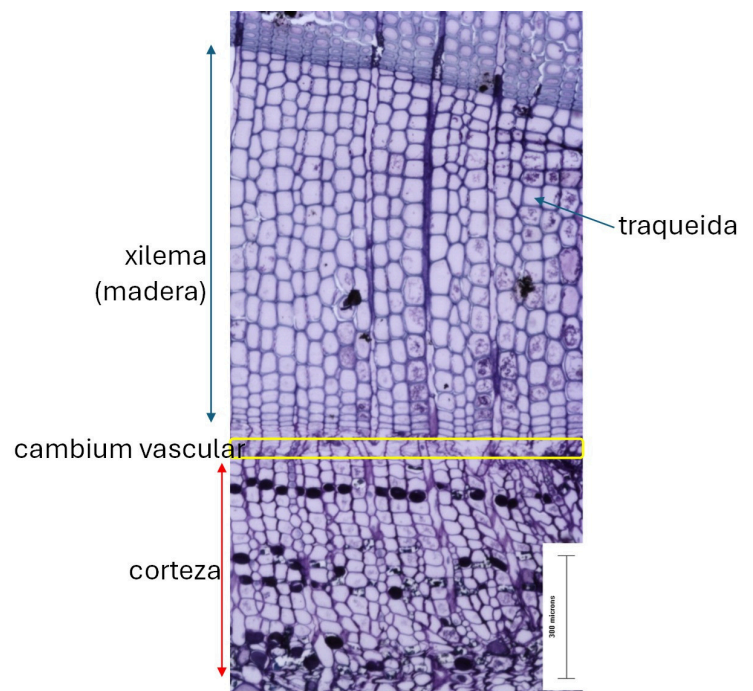
Este fenómeno está documentado en otras especies de árboles, como *Abies lasiocarpa* (abeto subalpino), donde el estrés hídrico limitó su capacidad para habitar ciertos lugares y aumentó su vulnerabilidad (Johnson y Smith, 2007). El oyamel podría estar presentando esta misma tendencia.

Los bosques de *Abies religiosa* han encontrado su hábitat óptimo en el frío y la humedad de la Faja Volcánica Transmexicana, esa inmensa cadena montañosa que cruza México desde el Pacífico hasta el Golfo de México. Sin embargo, este hábitat ideal está dejando de ser un ecosistema seguro. El aumento de la temperatura global y las lluvias cada vez más impredecibles están transformando su área de distribución a una velocidad alarmante (Sáenz-Romero *et al.*, 2012).

Ante este escenario de incertidumbre, surge la pregunta crucial, ¿qué le sucede exactamente a un oyamel cuando el agua escasea? Cuando la falta de agua se prolonga, el árbol experimenta un déficit hídrico que puede ser letal. Para enten-

derlo, imaginemos al oyamel como un rascacielos biológico. En su interior se encuentra un sistema de conducción llamado xilema, compuesto por millones de células conectadas entre sí, las traqueidas, que transportan agua y minerales desde las raíces hasta las hojas.

Sin embargo, bajo condiciones de sequía extrema y calor intenso, este sistema colapsa. Conforme el suelo se seca, la tensión hídrica aumenta drásticamente dentro del árbol. Si esta tensión es muy alta, la columna de agua se rompe y entra aire en los conductos; este fenómeno se llama cavitación y funciona igual que una embolia, donde el flujo se detiene.



**Corte transversal de xilema y corteza de oyamel. Se muestra un año completo de crecimiento. Fotografía: Teresa Terrazas.**

Lo fascinante de la fisiología de este proceso es que rara vez ocurre en todo el árbol al mismo tiempo. La falla hidráulica suele presentarse por sectores. Imagina que las tuberías se bloquean solo en el lado derecho o en la copa baja: esas ramas se desecaran mientras el resto sigue verde. Por eso, cuando vemos un oyamel con ramas muertas intercaladas con vivas, estamos viendo la evidencia física de embolias parciales. No se trata de un colapso repentino, sino de un deterioro progresivo, en la cual el árbol pierde biomasa y funcionalidad de manera paulatina rama por rama (Hammond, 2020; Gómez-Guerrero *et al.*, 2021).

## Los mecanismos ocultos ante el déficit hídrico

Ante la sequía, ocurren alteraciones anatómicas invisibles pero vitales en el oyamel. La primera de ellas tiene lugar en el xilema. Investigaciones sugieren que, bajo condiciones de déficit hídrico, ocurre una pérdida de funcionalidad en ciertas traqueidas de la raíz, lo que se asocia con la formación de conductos más estrechos en los nuevos anillos de crecimiento (Brunner *et al.*, 2015).

¿Cuál es la razón de este proceso? La razón biológica radica en el aislamiento de seguridad hidráulica. Al perder conductividad en ciertas áreas y desarrollar traqueidas más estrechas, disminuye el riesgo de que se formen embolias (burbujas de aire) y se permite que el agua siga fluyendo hacia las hojas. Simultáneamente, ocurre un cambio drástico: la interrupción del crecimiento. Las altas temperaturas y el estrés hídrico actúan como una señal ambiental, que induce el reposo vegetativo. Al frenar su desarrollo, los requerimientos de agua del árbol

se reducen al mínimo, optimizando sus recursos fisiológicos para sobrevivir en lugar de aumentar su biomasa.

Existe un patrón fisiológico documentado en los bosques alpinos de *Abies religiosa* y *Pinus hartwegii*: el aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera parece, a primera vista, una ventaja. Los estudios muestran que, ante una mayor concentración de CO<sub>2</sub>, estos árboles aclimatan su fisiología y aumentan su eficiencia en el uso del agua (Gómez-Guerrero *et al.*, 2021). Esto significa que logran realizar la fotosíntesis abriendo menos sus poros (estomas), perdiendo así menos humedad. Sin embargo, esta aparente ventaja tiene un límite fisiológico inevitable. Según Gómez-Guerrero *et al.* (2021), esta eficiencia no se traduce en árboles más grandes o vigorosos, ¿La razón? la disponibilidad de agua en el suelo limita el crecimiento. Aunque la atmósfera les ofrezca una mayor concentración de carbono, si las raíces no encuentran agua para movilizar y asimilar este recurso, el crecimiento se detiene. Es decir, la sequía bloquea la asimilación de dióxido de carbono, la única ventaja potencial que el cambio climático les ofrecía.

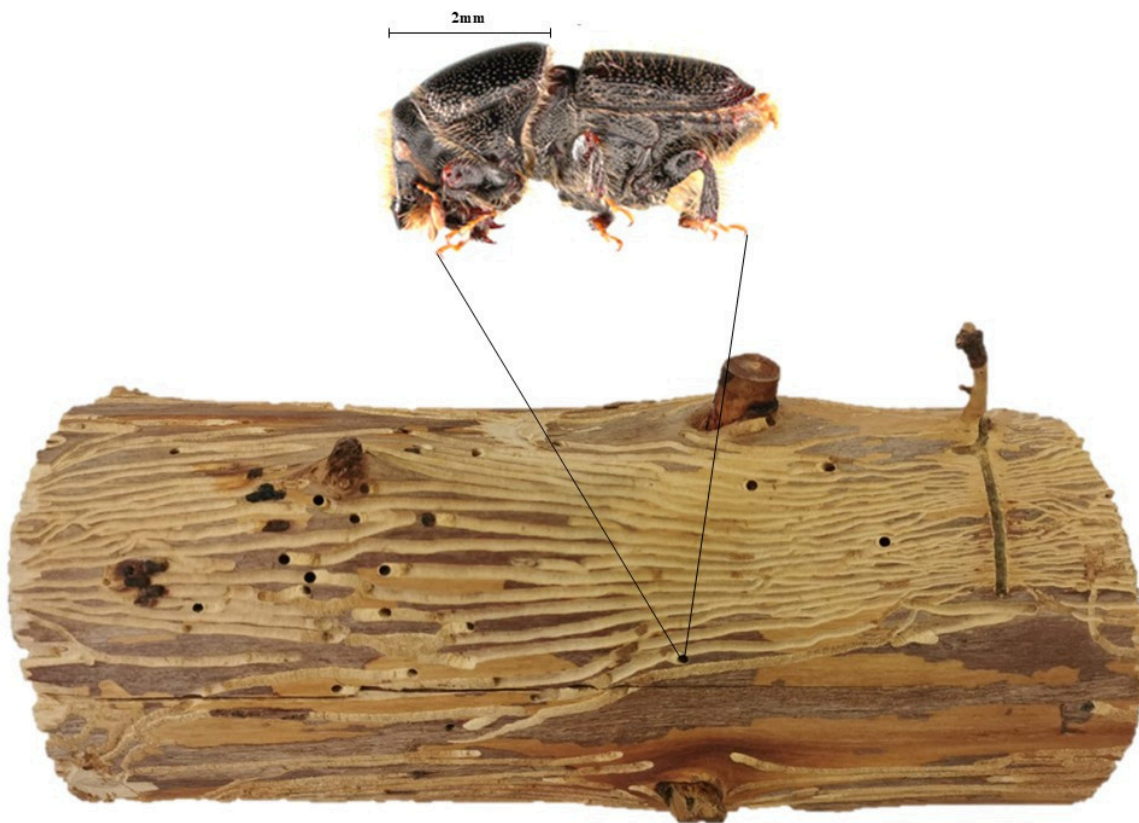
A pesar de sus mecanismos de resistencia, los bosques presentan indicios de un deterioro fisiológico severo. El déficit hídrico rara vez incide de manera aislada; por el contrario, opera como un factor que predispone a la disminución del vigor del árbol, incrementando su susceptibilidad a la colonización por organismos secundarios y especializados, como los insectos descortezadores y barrenadores de madera. A esto se suman las anomalías climáticas, donde las olas de calor alteran su ritmo natural de crecimiento en primavera, afectando la calidad de sus tejidos vitales (*cambium* vascular).

*Adicionalmente, el oyamel presenta un efecto de legado negativo o memoria ecológica; tras una sequía extrema, experimenta un retraso significativo en su recuperación. Lamentablemente, su familia botánica Pinaceae es menos resiliente que otras familias de árboles ante el estrés recurrente (Gómez-Guerrero et al., 2021), lo que significa que, tras episodios de sequía, al oyamel le cuesta mucho más tiempo restablecer su funcionamiento con normalidad.*

## La mortalidad del oyamel: ¿causa o consecuencia?

El proceso de muerte del oyamel comienza mucho antes de que veamos los agujeros causados por los insectos en la corteza. La sequía extrema actúa como un factor primario, debilitando los mecanismos de defensa del árbol y dejándolo vulnerable ante bacterias, hongos e insectos.

Aunque es común atribuir la mortalidad forestal reciente a los escarabajos descortezadores, la realidad ecológica es distinta, como sucede en el Parque Nacional El Chico en Hidalgo, México. Estos insectos especializados en el oyamel no tienen la capacidad de generar ataques coordinados masivos: carecen de las feromonas de agregación necesarias para consolidar grupos capaces de colonizar a un árbol vigoroso.



Tronco de oyamel y escarabajo descortezador, *Scolytus mundus*.  
Fotografía: Marcela Gutiérrez Arenas



**Bosque de oyamel del Parque Nacional El Chico con afectaciones debido a muerte de oyamel. Fotografía: Marcela Gutiérrez Arenas**

32

Los escarabajos descortezadores actúan como oportunistas que aprovechan la disponibilidad alta de hospederos vulnerables. Solo pueden instalarse en árboles que han perdido su resiliencia por el estrés climático. El escarabajo no es el agente letal primario; simplemente llega cuando el árbol presenta un déficit hídrico tan severo, que sus defensas químicas y físicas han colapsado (Macías-Sámano *et al.*, 2025).

## La paradoja del saneamiento forestal

La ciencia forestal moderna enfrenta una paradoja: en el intento de erradicar las denominadas “plagas”, las intervenciones podrían resultar perjudiciales para el bosque. El origen de este problema es conceptual, históricamente, se han aplicado medidas agronómicas diseñadas para monocultivos a ecosistemas complejos como los bosques (Macías-Sámano *et al.*, 2025). Se prioriza la sanidad o ausencia de plagas, cuando el objetivo debería ser la salud del ecosistema; es decir, el mantenimiento de sus funciones. En un bosque funcional, los escarabajos descortezadores no son villanos, sino agentes clave en el ciclo de nutrientes (ingenieros ecosistémicos). Su función

ecológica consiste en colonizar árboles debilitados o senescentes, acelerando la reincorporación de materia orgánica al suelo y abriendo claros en el dosel para favorecer la regeneración natural de una generación nueva.

Al intervenir con extracciones sanitarias intensivas, se propician tres efectos adversos principales (Macías-Sámano *et al.*, 2025):

1. Pérdida de biodiversidad asociada: Al retirar la madera muerta, se elimina el sustrato esencial para hongos, bacterias e insectos saproxílicos vitales en el reciclaje de nutrientes.
2. Compactación edáfica: El uso de maquinaria pesada compacta el suelo y daña el sistema radical de los árboles remanentes, reduciendo su capacidad de infiltración y captación hídrica.
3. Reducción de la densidad forestal: Al remover árboles infestados y dañar individuos sanos durante las maniobras, se genera una disminución severa en la cobertura forestal, un efecto contrario al objetivo de conservación.



**Saneamiento sistémico ante la muerte del arbolado de oyamel.**  
**Fotografía: Marcela Gutiérrez Arenas.**



Si el manejo forestal intensivo debilita al ecosistema, las actividades recreativas no reguladas aceleran significativamente su degradación. En la zona montañosa de Hidalgo y otros estados de México, la presión humana agudiza el problema a través de tres frentes (Snook, 1993; Melo-Guerrero *et al.*, 2023):

1. Perturbación directa: la introducción de fauna doméstica, la generación de residuos y la contaminación acústica alteran el comportamiento de la vida silvestre.
2. Actividades recreativas incompatibles: el uso de vehículos todo terreno fuera de senderos establecidos y la realización de eventos masivos provocan una erosión severa del suelo.
3. Saturación turística: durante los periodos vacacionales, la afluencia de visitantes supera la capacidad de carga del ecosistema, rebasando las capacidades operativas de vigilancia y multiplicando el impacto ambiental.

## Hacia una nueva gestión forestal

Es imposible manejar aquello que no entendemos, considerar que las plagas son la mayor y única causa de la mortalidad forestal es un error de diagnóstico ecológico, como sucede con el escarabajo descortezador. El factor primario es el estrés fisiológico provocado por condiciones climáticas cada vez más extremas. Aunque el oyamel posee adaptaciones evolutivas fascinantes para tolerar la escasez de agua, hoy se enfrenta a un escenario que supera sus límites biológicos. Se necesita transitar urgentemente de un enfoque de erradicación reactiva contra los insectos a un modelo basado en la resiliencia ecosistémica. Si el objetivo es conservar estos bosques, se deben abordar las causas primarias, como la vulnerabilidad del árbol inducida por el déficit hídrico, en lugar de mitigar únicamente la consecuencia secundaria, el escarabajo descortezador.

En conclusión, la mitigación de estos impactos exige comprender y proteger la resiliencia fisiológica del bosque en su conjunto. Más que limitarnos a combatir de manera reactiva a los agentes bióticos secundarios como los descortezadores, la funcionalidad del bosque de oyamel dependerá de la adopción de estrategias de manejo adaptativo. Este enfoque debe incluir tanto acciones de gestión forestal para la conservación de la humedad en el perfil radicular, como la estricta regulación de presiones antrópicas tales como la erosión inducida por vehículos y la saturación turística. Solo al mitigar esta degradación directa y respetar la capacidad de carga del sitio, se podrá favorecer el fortalecimiento estructural y fisiológico del árbol desde su base.

## Agradecimientos

MGA expresa su profundo agradecimiento a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo brindado a través de la beca de maestría (CVU 2098445). Asimismo, SGJ agradece a los doctores Juan Suárez Sánchez y Guillermo A. Pérez Flores por las discusiones enriquecedoras en torno a la importancia del pensamiento sistémico. Un agradecimiento especial al doctor Gabriel Cordero Martínez por su generosidad al proporcionar parte del acervo fotográfico que ilustra este trabajo.

## Referencias

- Aguilar-Luna, J. M. E. (2018). Estructura y diversidad de la vegetación arbórea de un bosque de galería en el estado de Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(47), 230-253. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.154>
- Brunner, I., Herzog, C., Dawes, M., Arend, M. & Christoph, S. (2015). How tree roots respond to drought. *Frontiers in Plant Science*, 6(547). <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00547>
- Comisión Nacional Forestal. (2025). *Bosques y cambio climático*. Sistema Nacional de Información Forestal. <https://snif.cnf.gob.mx/bosques-y-cambio-climatico/>
- Gómez-Guerrero, A., Correa-Díaz, A. & Castruita-Esparza, U. (2021). Climate change and dynamics of forest ecosystems. *Revista Fitotécnica Mexicana*, 44(4), 673-682.
- Hammond, W. M. (2020). A matter of life and death: alternative stable states in trees, from xylem to ecosystems. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3(560409). <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.560409>
- Johnson, D. M. & Smith, W. K. (2007). Limitations to photosynthetic carbon gain in timberline *Abies lasiocarpa* seedlings during prolonged drought. *Canadian Journal of Forest Research*, 37(3). <https://doi.org/10.1139/X06-246>

Macías-Sámamo, J. E., Agraz-Hernández, C. M. & Villa-Castillo, J. (2025). Forest health or forest pest management: comparisons among three protected ecosystems. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 16(90). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v16i90.1543>

Manzur-Chávez, N., Rodríguez-Laguna, R., Razo-Zárate, R., Acevedo-Sandoval, O. & Octavio-Aguilar, P. (2025). Above ground and root biomass in sapling stage of *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham. in Hidalgo state. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 16(87). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v16i87.1503>

Melo-Guerrero, E., Rodríguez-Laguna, R., Martínez-Damián, M. Á., Hernández-Ortiz, J., Valenzuela Núñez, L. M., & Ronquillo Gorgúa, N. (2023). Disponibilidad a pagar en escenarios alternativos de mejora en el Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México. *Bosque (Valdivia)*, 44(2), 425-435. <https://dx.doi.org/10.4067/s0717-92002023000200425>

Pavón, N. P., Moreno, C. E., & Ramírez-Bautista, A. (2012). Biomasa de raíces en un bosque templado con y sin manejo forestal en Hidalgo, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(3), 303-312. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.07.052>

Ronquillo-Gorgúa, N., Razo-Zárate, R., Rodríguez-Laguna, R., Acevedo-Sandoval, O. A., Hernández-Ortiz, J., & Manzur-Chávez, N. (2022). Carbon storage during the development stages of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. in the Sierra Alta of Hidalgo. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 28(3), 483-497. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2022.02.009>

Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. México. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

Sáenz-Romero, C., Rehfeldt, G. E., Duval, P., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.03.004>

Snook, L. (1993). Conservation of the Monarch butterfly reserves in Mexico: Focus on the forest. *Conservation*, 363-375.