Desde el Herbario CICY
17: 61-66 (13/marzo/2025)
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/
ISSN: 2395-8790

¿Bosques que caminan?:

La búsqueda del clima ideal

FRIDALI GARCÍA ISLAS[1], SUSANA GUILLÉN RODRÍGUEZ[2*], VIRGINIA REBOLLEDO CAMACHO[2], HÉCTOR VIVEROS VIVEROS[2]

[1]Maestría en Ciencias en Ecología Forestal, Instituto de Investigaciones Forestales, Universidad Veracruzana. Parque Ecológico "El Haya", Colonia Benito Juárez, 91070, Xalapa, Veracruz, México.
[2]Instituto de Investigaciones Forestales, Universidad Veracruzana. Parque Ecológico "El Haya", Colonia Benito Juárez, 91070, Xalapa, Veracruz, México.
*suguillen@uv.mx

Resumen: En las últimas décadas las actividades humanas han contribuido a un cambio en las condiciones climáticas, lo que ha generado incremento en la temperatura ambiental y, esto a su vez, ha provocado disturbios climáticos cada vez más frecuentes, como largos periodos de sequía. Esto ocasiona un desacoplamiento de las especies vegetales respecto a los rangos de condiciones ambientales a las que están adaptadas, enfrentando así, condiciones que, posiblemente, no habían experimentado a escalas temporales tan cortas. Ante esta situación, las comunidades vegetales sufrirán un recambio de especies, algunas desaparecerán, sin embargo, otras podrían migrar hacía nuevos sitios con condiciones más favorables.

Palabras clave: Adaptación, altas montañas, cambio climático, México, migración altitudinal.

Gobierno de México | Ciencia y Tecnología, Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación | CICY

Ciencia y Tecnología
Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación
CICY

Desde el Herbario CICY
17: 61-66 (13/marzo/2025)
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/
ISSN: 2395-8790

Entre 2011 y 2020 la temperatura promedio en la Tierra aumentó 1.1 °C con respecto a la que se registró entre 1850 y 1900, de acuerdo con el último informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), órgano internacional que evalúa el conocimiento científico relativo al cambio climático, esta tendencia se mantendrá (IPCC 2023). Las proyecciones climáticas para el año 2100 muestran que, si se llevan a cabo acciones para mitigar los efectos del cambio climático, la temperatura promedio mundial aumentará entre 0.8 y 1.5 °C; sin embargo, si estas acciones no son suficientes y la tasa de emisiones de gases de efecto invernadero no se reduce, la temperatura global aumentará entre 3.3 y 5.7 °C (IPCC 2023). Para las personas que no se dedican a estudiar el clima, el aumento pareciera poco, sin embargo, el aumento de tan sólo 1.1-1.2 °C ha ocasionado la ocurrencia de días de temperatura extrema, que han batido récords en algunas partes del mundo, combinados con largos periodos de sequía o en algunos otros casos lluvias torrenciales en periodos cortos de tiempo.

El cambio climático no es exclusivo de nuestro tiempo, pues a lo largo de la historia del planeta periodos de clima frío (*véase* Edad del Hielo), cálido y templado se han ido alternando. Ante esta variabilidad climática, las especies han respondido adecuando su morfología y fisiología y sí las condiciones ambientales se mantienen durante un periodo largo, entonces llegan a presentarse "adaptaciones" que permiten a las especies vivir bajo condiciones específicas. El proceso de continua adaptación le ha llevado a las especies miles o millones de años y explica su distribución y el éxito que han tenido en ecosistemas con condiciones climáticas extremas. Así, por ejemplo, la familia de las cactáceas ha logrado vivir exitosamente en zonas áridas gracias a sus adaptaciones anatómicas y fisiológicas, como el desarrollar espinas en lugar de hojas y una epidermis con cubierta cerosa para evitar la evapotranspiración excesiva del agua, entre otras (López-Ruíz 2020).

La aceleración del cambio climático a partir de la época industrial (1860) es alarmante, pues dentro del rango de las predicciones sobre el aumento global de temperatura, nos encontramos en el escenario más catastrófico, debido a que las emisiones de los gases de efecto invernadero no han cesado desde la época de la revolución industrial; al contrario, han aumentado a medida que la industria y el transporte motorizado han crecido. Ante esta situación, las especies no pueden adaptarse lo suficientemente rápido para sobrevivir, hay que recordar que la adaptación requiere miles e incluso millones de años, por lo que están sufriendo un desacoplamiento al clima actual y sobre todo al que podría presentarse. Nosotros no somos la excepción, los seres humanos como especie nos encontramos desconcertados ante los fenómenos climáticos atípicos que actualmente se presentan con mayor frecuencia. Algunos estudios indican que ante el cambio climático solo existen tres opciones para las especies: (1) pueden adecuarse a las nuevas condiciones de su entorno, (2) pueden extinguirse, o (3) pueden migrar a sitios con mejores condiciones ambientales (Aitken *et al.* 2008). Esta última opción parece ser la mejor y la más factible para las especies animales, que generalmente pueden desplazarse a través de la movilidad (caminando, volando, nadando, etc.), pero ¿qué pasa con las especies sésiles (inmóviles), como las plantas?

Recientemente, al evaluar la diversidad de la

Ciencia y Tecnología
Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación
CICY

Desde el Herbario CICY
17: 61-66 (13/marzo/2025)
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/
ISSN: 2395-8790

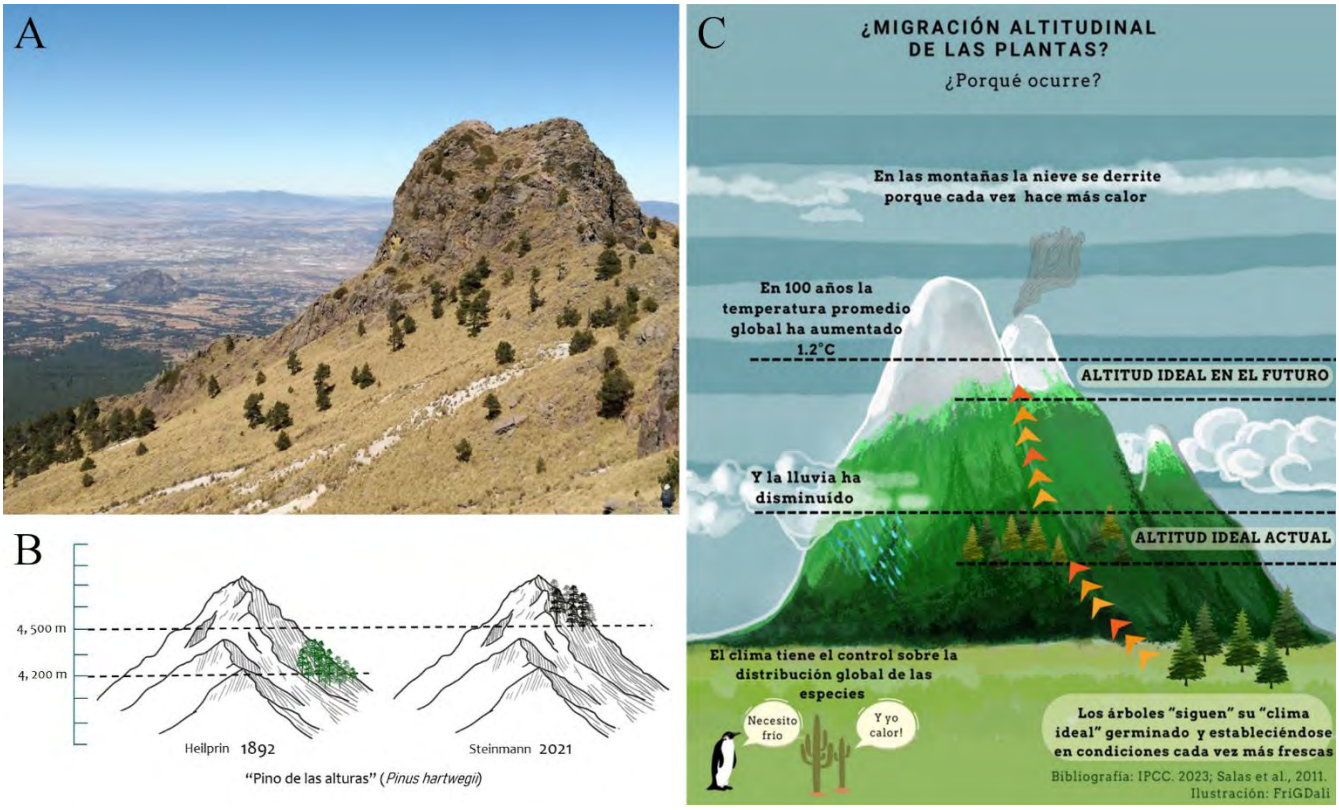

Figura 1A. Individuos de *Pinus hartwegii* en el Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala. **B.** Registro del cambio de distribución del pino de las alturas en el Pico de Orizaba. **C.** Esquema de movilidad altitudinal que deberán realizar algunas especies adaptadas a condiciones ambientales de alta montaña. (Fotografía: **1A.** Susana Guillén. Ilustraciones **B-C.** Fridali García Islas).

flora alpina de las altas montañas del centro de México, se encontró que el límite altitudinal superior de la distribución de varias especies se ha modificado, pues ahora se les encuentra a una mayor elevación respecto a donde se ubicaban hace 130 años; este cambio se ha atribuido al calentamiento global (Heilprin 1892, Steinmann *et al.* 2021). Y es que, de acuerdo con los registros de los autores citados previamente, la línea de hielo perpetuo que en el Pico de Orizaba se encontraba alrededor de los 4,572 msnm (metros sobre el nivel del mar) ahora se encuentra por arriba de los 5,000 msnm debido a que las temperaturas más frescas ahora ocurren a mayor elevación. Entre las especies cuyos límites de distribución se han modificado está el "pino de las alturas" (*Pinus hartwegii* Lindl.), llamado así porque es la especie arbórea que se distribuye a mayor elevación en las altas montañas de México y algunos países de Centroamérica, y ocurre lo mismo que en el Pico de Orizaba, su distribución llegaba hasta los 4,267 msnm y ahora se registra a los 4,550 msnm (Figura 1A). De acuerdo con Steinmann *et al.* (2021), se ha registrado que el desplazamiento también ocurre con los bosques

Ciencia y Tecnología
Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación
CICY

Desde el Herbario CICY
17: 61-66 (13/marzo/2025)
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/
ISSN: 2395-8790

de oyamel (dominados por *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham.). Asimismo, se tiene registro que el desplazamiento de la flora, por efecto del aumento de temperatura y la sequía, también ha ocurrido en otras partes del mundo, por ejemplo, en las altas montañas de los Andes ecuatoriales, donde el desplazamiento ha sido entre 1.9 y 6.6 m por década (Sklenář *et al*. 2021). Estas evidencias sugieren que, en las altas montañas, los bosques están desplazándose lentamente hacia mayores elevaciones donde las condiciones ambientales son más frescas y parecidas a las que alguna vez encontraron en altitudes más bajas (Figura 1B). Este fenómeno, conocido como "migración altitudinal" está transformando la distribución de los bosques del mundo y reconfigurando paisajes enteros (Salas *et al*. 2011). La migración altitudinal es posible gracias a dos procesos: la dispersión y la germinación de semillas. Durante la dispersión, las semillas se alejan de la planta madre y germinan únicamente donde logra estar presente una combinación de condiciones ideales de temperatura, humedad del suelo y luz, es decir, las condiciones necesarias como para que se desarrolle y establezca una nueva plántula (Figura 1C).

La migración altitudinal es un proceso naturalmente lento, que puede ocurrir a lo largo de muchos años. Es por ello, que algunos científicos han propuesto que este proceso sea "asistido" para acelerarlo, es decir, que se trasladen especies vegetales a áreas en altitudes donde se prevé que las condiciones climáticas serán más adecuadas en el futuro. Para lograr esto, es imprescindible que las acciones que permitan esta migración estén fundamentadas en conocimientos científicos que documenten cuáles serían las respuestas de las especies bajo diferentes condiciones ambientales, programar la intervención requerida y los costos de esta. En este contexto se han realizado diversos estudios directamente en el área de distribución de las especies (*in situ)* y fuera de ella (*ex situ*), con la finalidad de conocer la variabilidad genética de varias poblaciones de una misma especie arbórea distribuida en diferentes altitudes (Sáenz-Romero *et al*. 2012), asimismo evaluar cómo es su desempeño reproductivo en diferentes poblaciones (López-Toledo *et al*. 2017), y más recientemente, también se ha evaluado la respuesta germinativa de semillas provenientes de diferentes altitudes ante un estrés térmico e hídrico (George-Miranda *et al*. 2022), estos trabajos ayudan a establecer lineamientos y zonificaciones para el movimiento de planta a lo largo de gradientes altitudinales o latitudinalmente (norte-sur) (Viveros-Viveros *et al*. 2009, Sáenz-Romero *et al*. 2016). Aunque aún hay varios vacíos de información, se está avanzando y es un tema prioritario cuando se trata de crear estrategias eficaces de manejo para la conservación de los bosques de México ante esta nueva realidad ambiental.

Referencias

Aitken, S. N., Yeaman, S., Holliday, J. A., Wang, T., & Curtis-McLane, S. 2008. Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Applications*, 1(1), 95-111. https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2007.00013.x

George-Miranda, S., Guillén, S., Viveros-Viveros, H., Montero-Nava, R., & Pérez, J. L. M. 2022. Low germination rate of *Pinus hartwegii* seeds from trees growing at high elevations: Vulnerability to climate change? *Forest Ecology and Management*, 507, 120001. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.120001

Heilprin, A. 1892. The temperate and alpine flo-

Desde el Herbario CICY
17: 61-66 (13/marzo/2025)
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/
ISSN: 2395-8790

ras of the giant volcanoes of Mexico. *Proceedings of the American Philosophical Society* 30: 4-22.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2023. IPPC (2023) IPPC overview. Accessed: 20 October 2023. https://www.ippc.int/en/about/overview/

López-Toledo, L., Heredia-Hernández, M., Castellanos-Acuna, D., Blanco-García, A., & Saénz-Romero, C. 2017. Reproductive investment of *Pinus pseudostrobus* along an altitudinal gradient in Western Mexico: Implications of climate change. *New Forests* 48: 867-881. https://doi.org/10.1007/s11056-017-9597-6

López-Ruiz, B. A. 2020. Origen y evolución de los cactus. *Contactos*, *Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería* 118: 57-62. https://contactos.izt.uam.mx/index.php/contactos/article/view/86/69

Sáenz-Romero, C., Rehfeldt, G. E., Soto-Correa, J. C., Aguilar-Aguilar, S., Zamarripa-Morales, V., & López-Upton, J. 2012. Altitudinal genetic variation among *Pinus pseudostrobus* populations from Michoacán, México: Two location shadehouse test results. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35(2): 111-121.

Sáenz-Romero, C., Lindig-Cisneros, R.A., Joyce, D.G., Beaulieu, J., St. Clair, J.B., & Jaquish, B. C. 2016. Migración asistida de las poblaciones forestales para la adaptación de árboles ante el cambio climático. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 22(3): 303-323. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.10.052

Salas, J. S., Guerra, V. M. M., Domínguez, R. P., Arredondo, F. M. S., Hernández, E. S. O., & Ybarra, E. J. 2011. Cambio climático: ¿precursor de migración de especies vegetales en la montaña más alta del norte de México? *CIENCIA-UANL* 14(2): 137-143. https://www.redalyc.org/pdf/402/40218433006.pdf

Sklenář, P., Romoleroux, K., Muriel, P., Jaramillo, R., Bernardl, A., Díazgranados, M., & Moret, P. 2021. Distribution changes in páramo plants from the equatorial high Andes in response to increasing temperature and humidity variation since 1880. *Alpine Botany* 131: 201-212. https://doi.org/10.1007/s00035-021-00270-x

Steinmann, V. W., Arredondo-Amezcua, L., Hernández-Cárdenas, R. A., & Ramírez-Amezcua, Y. 2021. Diversity and origin of the Central Mexican alpine flora. *Diversity* 13(1): 31. https://doi.org/10.3390/d13010031

Viveros-Viveros, H., Sáenz-Romero, C., Vargas-Hernández, J. J., López-Upton, J., Ramírez-Valverde, G., & Santacruz-Varela, A. 2009. Altitudinal genetic variation in *Pinus hartwegii* Lindl. I: Height growth, shoot phenology, and frost damage in seedlings. *Forest Ecology and Management* 257: 836-842. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.10.021

Desde el Herbario CICY
17: 61-66 (13/marzo/2025)
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/
ISSN: 2395-8790

Desde el Herbario CICY, 17: 61-66 (13-marzo-2025), es una publicación semanal editada por el Herbario CICY del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., con oficinas en Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Tel. 52 (999) 942-8330 Ext. 110, **www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/, webmas@cicy.mx.** Editores responsables: Germán Carnevali, Patricia Rivera Pérez y José Luis Tapia Muñoz. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Responsable de la publicación: José Fernely Aguilar Cruz, Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 13 de marzo de 2025. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura del editor de la publicación. De la misma manera, la responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos, le corresponde totalmente a los autores de los ensayos.