

México de montañas, la importancia de incorporar la elevación en los estudios ecológicos

Lizabeth Carrillo-Arizmendi^{1*}, Marlín Pérez-Suárez¹
& Jesús Vargas-Hernández²

Resumen

México es un país dominado por montañas muchas de las cuales rebasan los 5,000 m de elevación. Esto resulta en la formación de gradientes ambientales debido a cambios en la humedad, pero sobre todo en cambios de la temperatura conforme se asciende en elevación, resultando en una gran variedad de climas y una alta biodiversidad en México. Bajo el contexto del cambio climático existe gran expectativa en cuál será el impacto de los incrementos de temperatura sobre biodiversidad mundial y particularmente en las zonas de montaña donde los incrementos de temperatura se han dado a una mayor velocidad que en las tierras bajas. Por lo anterior, la sobrevivencia de las especies vegetales, y biodiversidad en general, de las montañas ha recibido especial atención en los últimos años. Por tanto, el presente documento, tiene como finalidad plantear la importancia de llevar a cabo estudios ecológicos en donde se incluya la elevación como una variable imprescindible, dada la gran superficie de montañas que tiene México, y que hace de nuestro país una área altamente susceptible a los impactos del cambio climático, de tal manera que se pueda tener una mejor comprensión de los procesos ecológicos y de los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad a escala local, regional y global.

Palabras clave: Gradiente altitudinal, cambio climático, temperatura, biodiversidad, *Pinus hartwegii*.

Recibido: 03 de mayo de 2021.

Abstract

Mexico is a country dominated by mountains, many of which exceed 5,000 m in elevation. This results in the formation of environmental gradients due to changes in humidity, but especially in changes in temperature as elevation increases, resulting in a great variety of climates and high biodiversity in Mexico. In the context of climate change, there is a great expectation about the impact of temperature increases on global biodiversity, particularly in mountain areas where temperature increases have been occurring at a faster rate than in the lowlands. Therefore, the survival of plant species, and biodiversity in general, in mountains has received special attention in recent years. Therefore, the purpose of this document is to propose the importance of carrying out ecological studies in which elevation is included as an essential variable, given the large surface of mountains in Mexico, which makes our country an area highly susceptible to the impacts of climate change, to have a better understanding of the ecological processes and the impacts of climate change on biodiversity at local, regional, and global scales.

Key words: gradient altitudinal, climate change, temperature, biodiversity, *Pinus hartwegii*.

Aceptado: 20 de noviembre de 2021.

¹ Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo Piedras Blancas, 50200. Estado de México, México.

² Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, 56230. Texcoco, Estado de México, México.

* **Autor de correspondencia:** mperezs@uaemex.mx (MPS)

Introducción

La palabra montaña, derivada del latín *montis*, hace referencia a aquellas elevaciones naturales de terreno superiores a 500 m sobre la superficie terrestre (García Ruiz & Lasanta 1990). Estas se crean por la acumulación de rocas, tierra, piedras e incluso lava, presentando uno o más picos en la parte más elevada. Las montañas son los principales depósitos y reguladores de los flujos de agua dulce de la Tierra (70 %) (FAO 2018), así como de la calidad del aire y del clima. Además, las montañas desempeñan un papel clave en el suministro de energías renovables como la energía hidroeléctrica, solar, eólica y el biogás (FAO 2018), al tiempo que proporcionan sustento directo a 915 millones de personas (13 % de la población mundial) que viven en ellas.

Particularmente, México por su relieve y conformación orográfica, es un país de montañas en donde además de los beneficios mencionados; las montañas también albergan gran diversidad biológica, albergando la mayor cantidad de especies vasculares en la Tierra. Esto es consecuencia, de la impresionante distribución elevacional de micrositios que son tomados por las especies a lo largo de cada montaña; además de las especies que habitan en las grandes elevaciones, donde solo son capaces de sobrevivir aquellas que han evolucionado para soportar las condiciones ambientales tan adversas (p.ej. bajas temperaturas extremas, presencia de nieve, altas radiaciones UV, altos vientos, suelos someros y poco fértiles, etc.). Estas especies, y la biodiversidad de las montañas en general, son consideradas entre las especies más susceptible al actual cambio climático, lo que podría provocar la desaparición de algunas de ellas, y con esto todos los beneficios que las montañas proveen a las comunidades humanas tanto

locales como regionales e incluso globales comprometiendo la propia capacidad de los seres humanos para mitigar y adaptarse al cambio climático actual. Por ello, el objetivo de este documento fue plantear la importancia de que en México se lleven a cabo estudios ecológicos que consideren la elevación como parte de las causas que pueden estar influyendo en la interacción entre los organismos con su medio y el impacto del cambio climático sobre la biodiversidad, proporcionando un panorama general de los elementos que respaldan esta inclusión. Es decir, considerar a los gradientes térmicos, zonas donde el clima se vuelve complejo y se modifica dependiendo su delimitación espacial (Olivares 2018). Estos gradientes térmicos pueden ser latitudinales o de elevación. Particularmente en las montañas se presentan los gradientes altitudinales de elevación, en donde las características climáticas y del tiempo atmosférico regional se modifican, principalmente conforme se asciende en altitud [disminución de la temperatura 6.5 °C por cada 1000 m de elevación (ISO, 1975)], lo cual conlleva a presentar diversas modificaciones en toda la estructura montañosa y en su funcionalidad.

¿Qué son los gradientes de elevación?

Los gradientes de elevación están asociados con gradientes de temperatura que cambian en cortas distancias a lo largo de una montaña. Así, al visualizar una montaña se observa una elevación rocosa homogénea y conforme se va ascendiendo en elevación, se pueden percibir cambios de temperatura (menores temperaturas a mayor elevación), mayor velocidad del viento, mayor intensidad en la radiación UV, menor cantidad de oxígeno (baja presión atmosférica), suelos poco desarrollados en incluso la presencia de nieve en la

parte más alta (Premoli & Mathiasen 2011). Dados estos cambios, y la influencia que el clima tiene en la distribución de la vegetación, a lo largo de un gradiente de elevación también es posible encontrar cambios notables en la vegetación dominante, incluso en cortas distancias. Por ejemplo, se pueden observar bosques de especies caducifolias en la parte más baja, coníferas en la parte media y alta, hasta llegar a las zonas donde las condiciones ambientales no permiten el establecimiento y crecimiento de formas de vida arbórea, encontrándose pastizales de alta montaña, hasta llegar a la zona nival, donde se desarrollan especies como musgos, líquenes y plantas en cojín (Fig. 1). Estas

últimas, representadas por especies que han pasado por largos periodos de evolución hasta adaptarse a las condiciones tan limitantes para el crecimiento vegetal que dominan en grandes elevaciones, y que poseen no solo un gran valor adaptativo, sino ecológico, llegando muchas de ellas a ser especies endémicas (Rosas-Sánchez & Pérez-Suárez 2021).

En relación con el efecto de que los cambios en temperatura podrían causar o tener sobre las especies presentes en las montañas, se sabe que las especies que tienen una relación más estrecha o que presentan una biología y ecología adaptada a las bajas temperaturas son por tanto más susceptibles a los incrementos de esta

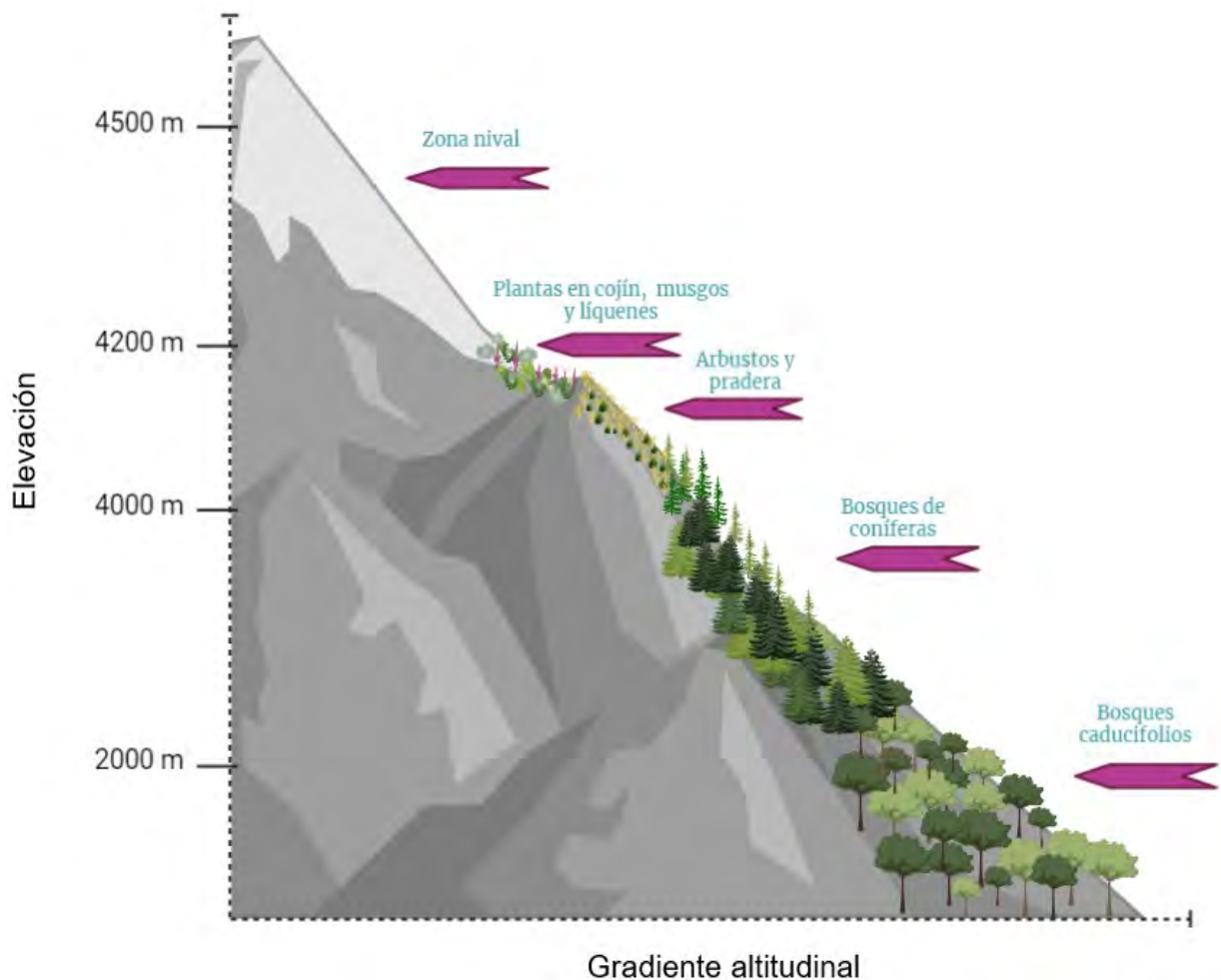


Figura 1. Distribución de especies vegetales a lo largo de un gradiente de elevación (Elaboración propia).

variable ambiental, por lo que podrían responder adaptándose a las nuevas condiciones, o bien migrando hacia mayores elevaciones donde pudieran encontrar las condiciones de temperatura más idóneas; sin embargo, muchas de estas especies podrían no ser capaces de adaptarse o migrar hacia mayores elevaciones a la velocidad en que se dan los incrementos de temperatura, y por tanto, extinguirse. Ante este panorama, las grandes elevaciones de las montañas juegan y jugarán un papel sumamente importante en la sobrevivencia de muchas especies ante los incrementos de temperatura global.

Grandes montañas del centro de México

Aproximadamente el 47 % (alrededor de 92 millones de hectáreas) del territorio

mexicano está cubierto por montañas (SEMARNAT 2004), menos del 35 % de estas es menor a los 500 m (CONABIO 2016), por lo que México se ha distinguido por ser un país con montañas de gran elevación. En más de la mitad del país se pueden encontrar elevaciones que rebasan los 1,000 m, siendo la montaña más alta el Pico de Orizaba también conocido como Citlaltépetl con una elevación de 5,747 m (Fig. 2) ubicado en el Estado de Veracruz.

Las montañas mexicanas, conforman además cadenas montañosas como la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre Occidental y el Eje Neovolcánico Transversal (Fig. 3), las cuales influyen en la distribución de humedad y temperatura ambiental, generando gran diversidad de climas en México. Y es precisamente esto

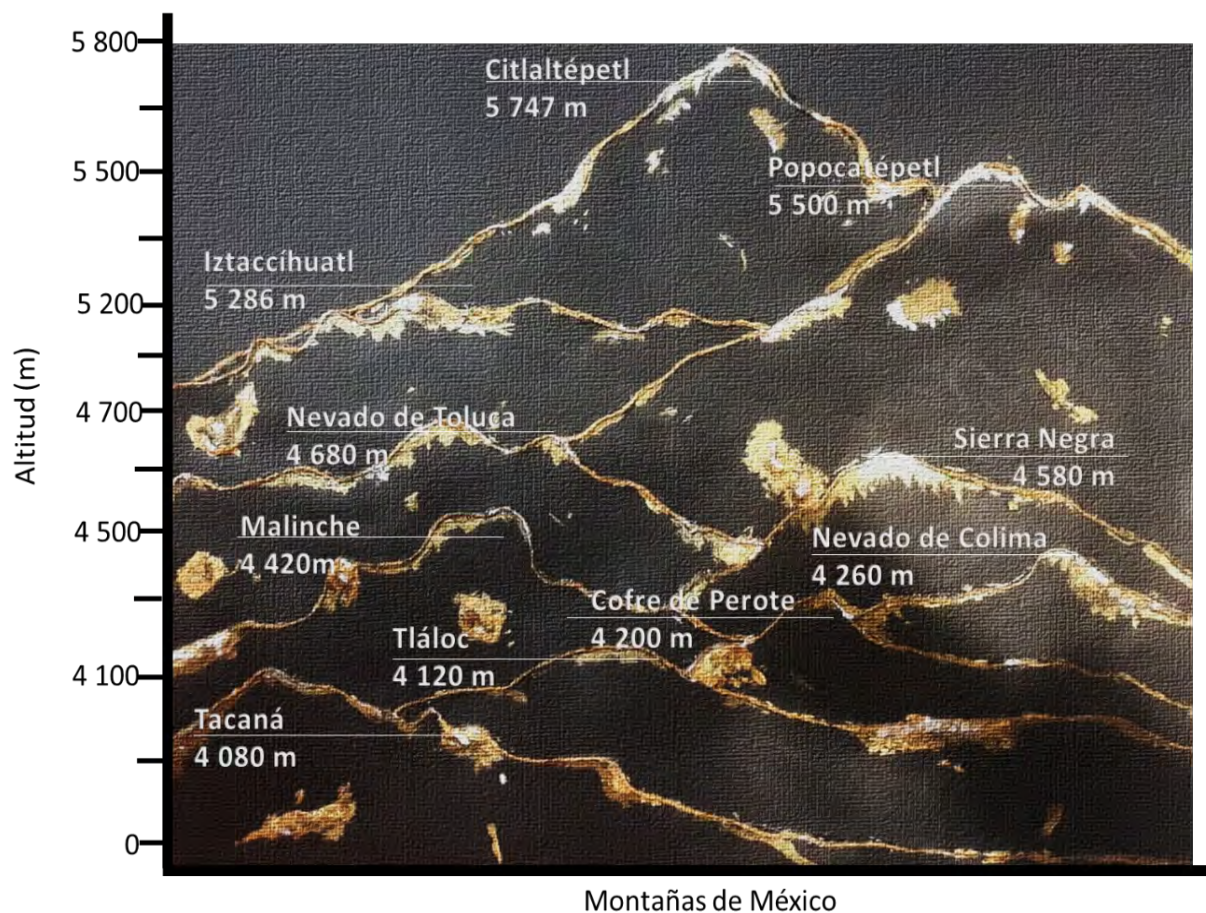


Figura 2. Las diez montañas más altas de México (Elaboración propia).



Figura 3. Distribución geográfica de las principales cadenas montañosas de México (Elaboración propia).

último, lo que generó la necesidad de crear una clasificación de climas para México como el de Enriqueta García (Trejo 2000) quien de acuerdo con la clasificación de Köppen identificó que mientras en torno a las montañas los climas dominantes son templados y húmedos, en sus partes más elevadas es frío polar.

El clima presente en las montañas de México confluye con las características de los suelos y por tanto genera que los tipos de vegetación presente en ellas sean únicos. Así, en las zonas altas de las montañas se presentan bosques alpinos de *Quercus* y *Pinus*, característicos por la capacidad que tienen para adaptarse a condiciones de la alta montaña. En la Sierra Madre Oriental predomina el bosque de *Quercus* y tanto en la Sierra Madre Occidental como en el Eje Neovolcánico transversal se concentra gran cantidad de bosques del género *Pinus* (Rzedowski 2006). Sin embargo,

en los pisos de mayor elevación existen también una gran variedad de formas de vida, por ejemplo en la cima del Nevado de Toluca, después de la línea de bosques, podemos encontrar extensos pastizales con especies como *Muhlenbergia* y *Festuca toluensis* (Fig. 4A), también se encuentra *Lupinus montanus* (Fig. 4B), entre muchas otras especies (Fig. 4C) y a partir de ahí hasta la zona nival, incluyendo el cono volcánico, se pueden observar plantas en cojín (*Arenaria bryoides* Fig. 4D) (Rosas-Sánchez & Pérez-Suárez 2021), líquenes (Fig. 4F), Rosa de Montaña o Rosa de las Nieves (*Eryngium monocephalum* Cav.) (Fig. 4E y F), etc., denotando la gran diversidad de especies que albergan las montañas aun en las zonas más inhóspitas para muchas especies.

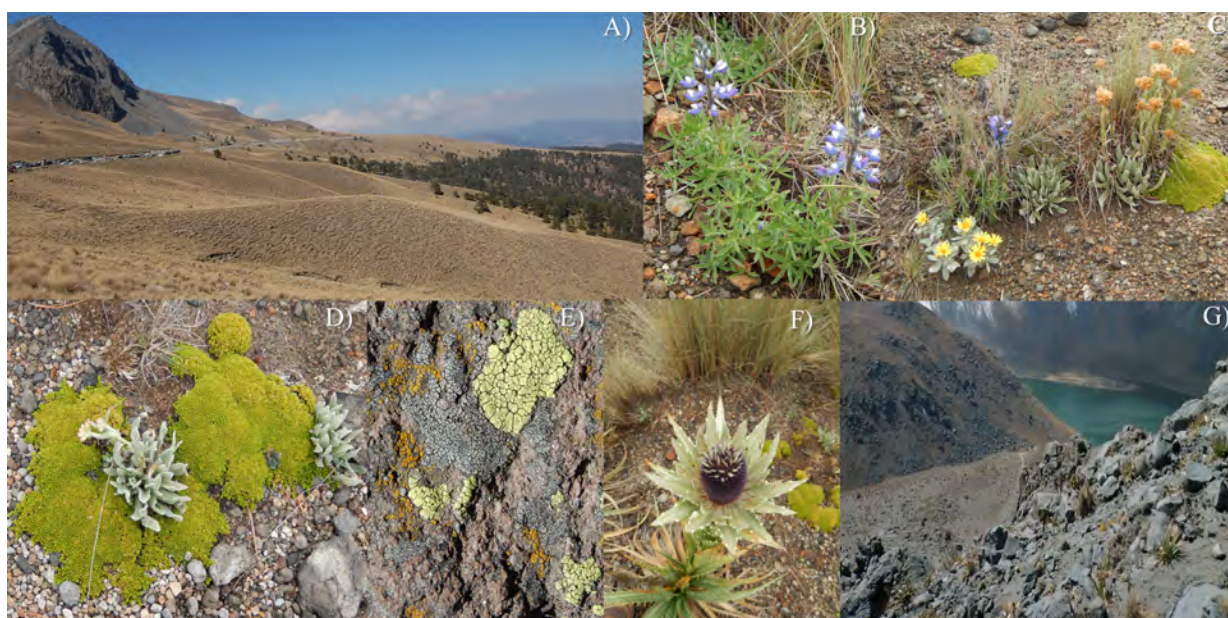


Figura 4. Diversidad de plantas creciendo en los pisos de gran elevación en las montañas (Fotografía: Marlín Pérez Suárez).

La biodiversidad en las montañas mexicanas y el impacto del cambio climático

A nivel mundial se tiene registradas 575 especies de coníferas y de 350 a 500 especies de encino. En las montañas mexicanas, se distribuyen 35 especies de pino y 109 de encino, muchas de ellas endémicas; por lo que México se considera como su principal centro de diversificación (Gernandt & Pérez-de la Rosa 2014). Uno de los casos más notables en relación con la alta montaña es *Pinus hartwegii* Lindl., denominado como el pino mexicano de las alturas (Fig.5), primordial para mitigación y adaptación de la sociedad mexicana al cambio climático; sin embargo, esto depende a su vez de la propia adaptación y supervivencia de la especie a los incrementos de temperatura esperados (Rodríguez-Echeverría 2021).

Los cambios de temperatura, específicamente los incrementos son parte característica del cambio climático, mismo que hace referencia a cualquier cambio en el clima a lo largo del tiempo como resultado de la variabilidad natural o de la actividad

humana (IPCC 2002). En este sentido, se ha observado que la velocidad a la cual la temperatura ambiental ha aumentado presenta una elevada correlación con el incremento en la emisión de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera por las actividades humanas, principalmente en el periodo posterior a la revolución industrial, llegando a una media global de 419.05 ppm, en abril de 2021 (NOAA 2021).

A nivel global se proyecta que para el 2050 todos los países incrementarán su temperatura de 1.8 °C a 2.0 °C; llegando a un incremento en la concentración atmosférica de CO₂ que alcanzaría los 800 ppm para el año 2100, ya que un aumento de temperatura de 3 °C duplicaría prácticamente la concentración de dicho gas efecto invernadero (NOAA 2021). En términos globales, se predice, a través de los modelos de circulación general, que la temperatura del planeta tendrá un incremento aproximado de 0.2 °C por decenio; aunado a una mayor frecuencia de fenómenos atípicos (calor extremo y fenómenos meteorológicos intensos con vientos



Figura 5. Bosques de *Pinus hartwegii* en el Nevado de Toluca (Fotografía: Marlín Pérez Suárez).

de velocidades máximas) (IPCC 2002). Para México, las proyecciones no son más favorables, ya que se proyecta un incremento de temperatura de entre 1.5 °C y 2.5 °C para el año 2020, llegando hasta los 2.0 °C y 4 °C para el año 2080, con variaciones significativas a nivel regional.

En cuanto a las precipitaciones pluviales, se prevé que en México haya una reducción de hasta 15 % para el invierno en las zonas del centro y 5 % en el Golfo. Aunado a lo anterior, es probable que se retrase el inicio de invierno, y/o haya un desfase en las estaciones en gran parte del país. Asimismo, los modelos climáticos (CRNMCM5 y GDFL_CM3 MCG con un forzamiento radiactivo (RCP) de 4,5 (emisiones de CO2 constantes) y 8,5 (emisiones de CO2 crecientes) predicen un incremento de la temperatura de 0.7 °C a 2.1 °C, y una reducción de la precipitación de 7.5 % para 2050 en los

bosques de alta montaña del centro de México (Manzanilla-Quiñones et al. 2018, Manzanilla-Quiñones et al. 2019). Estos cambios sin duda repercutirán notablemente en los ecosistemas de montaña y los servicios provistos por estas, tanto a las comunidades locales como regionales e incluso, en su momento, globales.

¿Cómo es que las montañas regulan el clima?

Los ecosistemas presentes en las montañas son una fuente de intercambio de energía entre el ecosistema y la atmósfera (Da Silva et al. 2012). Al presentarse cambios en la vegetación en distancias tan cortas conforme se asciende en elevación, las montañas son capaces de regular el clima a diferentes escalas espaciales (local, regional) y de contribuir en su conjunto al clima global. Cada ecosistema tiene un calor latente, es decir, aquel que es transportado por las moléculas de

vapor de agua; y un calor sensible, aquel transportado por las moléculas de aire, contribuyendo en su conjunto al balance energético a dichas escalas espaciales. Los bosques tienen la capacidad de mitigar el impacto de olas de calor a largo plazo, a través de su acceso a reservas profundas de agua, de tal manera que se puede seguir transpirando incluso cuando se ha agotado la humedad en los niveles superiores del suelo (Sanderson *et al.* 2012). La humedad de los suelos, en conjunto con la cobertura forestal, contribuyen de manera significativa al mantenimiento de la temperatura característica de zonas templadas o frías de las montañas, debido a la capacidad calorífica del agua, es decir al calor que se requiere para elevar la temperatura del agua 1°C manteniéndose húmedos prácticamente todo el año, evitando así que el agua pueda evaporarse. Cuando hay suficiente humedad en los suelos, el enfriamiento local por el bosque es causado por la evapotranspiración (Sanderson *et al.* 2012), proceso que predomina en latitudes bajas. En latitudes medias y altas, el clima es regulado principalmente por el albedo, característica que influye en la regulación de la temperatura terrestre mediante un proceso de enfriamiento devolviendo la radiación solar a la atmósfera una vez que choca con la superficie terrestre (Bonan 2008). Sin embargo, esto depende del color de la superficie en cuestión; por ejemplo, la vegetación disminuye el albedo, es decir la fracción de luz solar que es reflejada por la superficie del suelo a la atmósfera (Borghetti 2009), ya que los colores oscuros absorben más la radiación solar y por lo tanto se refleja menos luz solar hacia el exterior. Es decir, cuanta más vegetación haya, la temperatura se incrementa en mayor medida, lo mismo que la evaporación de agua de la superficie y la transpiración de la vegetación, haciendo un efecto de enfriamiento que permite la regulación del clima y por tanto su menor variabilidad.

Conclusiones

Las montañas distribuidas en la mayoría de los países del mundo son consideradas como enigmáticas y atractivas por los diferentes procesos naturales que se llevan a cabo en ellas; además del interés que genera conocer cómo es que las distintas formas de vida arbórea se han adaptado y evolucionado a grandes elevaciones. En México las montañas son clave para la mitigación y adaptación local y regional al cambio climático a través de los múltiples servicios que brindan los ecosistemas establecidos a lo largo de los gradientes de elevación de estas áreas. No obstante, la susceptibilidad al cambio climático ha puesto en riesgo el establecimiento y supervivencia de las especies vegetales que habitan en ellas, por lo que incrementar nuestro conocimiento sobre el efecto que la elevación tiene sobre los mecanismos y procesos ecológicos que controlan la distribución de estas especies es de suma importancia para predecir su futuro y el de nosotros como sociedad.

Agradecimientos

Agradecemos al árbitro anónimo que proporcionó comentarios que enriquecieron el presente trabajo.

Referencias

- Bonan, B.G. 2008.** Forest and Climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forest. *Science*. 320: 1444-1449.
- CONABIO. 2016.** Bases fisiográficas. [En línea] Disponible en: <https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMxC2.pdf> (Acceso el 30 de octubre de 2018).
- Da Silva, V., R.S., Almeida, V., Dantas, A.C., Da Costa, V.P., Singh & G.F. Das Chagas. 2012.** Sensible and latent heat storage fluxes within the canopy air-space in the Amazon rainforest. *Forest research*. 1: 1-5.

- FAO. 2018.** ¿Por qué las montañas son importantes? [En línea] Disponible en: <http://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1071889/> (Acceso 17 de noviembre de 2018).
- Borghetti, M. 2009.** Foreste, azoto e albedo, un trio decisamente interessante. *Forest@* 6: 2-3 [online: 2009-01-28]. URL: <http://www.sisef.it/forest@/>.
- García Ruiz, J.M. & T. Lasanta. 1990.** Land-use changes in the Spanish Pyrenees. *Mountain Research and Development*. 10: 267-279.
- Gernandt, D.S. & J.A. Pérez-de la Rosa. 2014.** Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85: S126-S133. <https://doi.10.7550/rmb.32195>
- IPCC. 2002.** Cambio climático y biodiversidad. Documento técnico, V edición del IPCC. [En línea] Disponible en: <https://archive.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-sp.pdf> (Acceso el 5 de octubre de 2018).
- ISO. 1975.** Standard Atmosphere; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 1975.
- Manzanilla-Quiñones, U., O.A., Aguirre-Calderón, J.J., Jiménez-Pérez, E.J., Treviño-Garza & J.I. Yerena-Yamallel. 2018.** Climate change scenarios (CMIP-5) for three protected natural areas in the Transversal Neovolcanic belt. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 9(50). <https://doi.org/10.29298/emcf.v9i50.225>
- Manzanilla-Quiñones, U., O.A., Aguirre-Calderón, J., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza & J.I. Yerena-Yamaliel. 2019.** Distribución actual y futura del bosque subalpino de *Pinus hartwegii* Lindl en el eje Neovolcánico Transversal. *Madera y Bosques*. 25(2), e2521804. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521804>
- NOAA global analysis. 2021.** Head of Climate Monitoring and Attribution. [En línea] Disponible en: <https://www.co2.earth/> (Acceso el 12 de mayo de 2021).
- Premoli, A. & P. Mathiasen. 2011.** Respuestas eco-fisiológicas adaptativas y plásticas en ambientes secos de montaña: *Nothofagus pumilio*, el árbol que acaparó los Andes australes. *Ecología Austral*. 21: 251-269.
- Rzedowski J. 2006.** Vegetación de México. CONABIO. Primera edición digital [En línea] Disponible en: https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf (Acceso el 5 de octubre de 2018).
- Rosas-Sánchez, M.M. & M. Pérez-Suárez. 2021.** Plantas en cojín, esenciales para la biodiversidad en la alta montaña. *Herreriana*. 3: 23-27.
- Rodríguez-Echeverría, S. 2021.** Cambio global y montañas. *Ecosistemas* 30(1): 2218. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2218>
- Sanderson, M., M., Santini, R., Valenti & E. Pope. 2012.** Relationships between forests and weather. Met office Hadley centre. Forest, Europe Union. [En línea] Disponible en: https://ec.europa.eu/environment/forests/pdf/EU_Forests_annex1.pdf (Acceso el 25 de septiembre de 2018).
- SEMARNAT. 2004.** Montañas. [En línea] Disponible en: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen/03_suelos/cap3.html (Acceso el 25 de septiembre de 2018).
- Trejo, I. 2000.** Enriqueta García Amaro de Miranda (Una investigadora incansable). *Investigaciones geográficas*. 41, 175-176.