



<http://dx.doi.org/10.5154/r.ctas.2022.0401a>

Versión en español

## Cambio climático y afectaciones en la franja de condensación del bosque de niebla en la Sierra Otomí-Tepehua, Hidalgo, México

Mario Castelán-Lorenzo<sup>1\*</sup>; Manuel Navarrete-González<sup>2</sup>

### Historial del artículo:

Recibido: 1 de abril, 2021.

Aceptado: 11 de diciembre, 2022

### \*Autor de correspondencia:

mcastelanl@chapingo.mx

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Área de Agronomía, Departamento de Preparatoria Agrícola, carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Edo. de México, C. P. 56230.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos, carretera México- Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Edo. de México, C. P. 56230.

### Resumen

El bosque mesófilo de montaña de la Sierra Otomí-Tepehua, Hidalgo, es quizá uno de los ecosistemas que ha sufrido alteraciones debido al cambio climático, como los del resto del país, que ha ocasionado disturbios en sus componentes y funcionamiento. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue comparar dos periodos (1941-1970 y 1951-2010) para encontrar evidencias de cambio en los parámetros temperatura y precipitación, además de los cambios en el comportamiento de la altitud de condensación de humedad, de acuerdo con el IPCC, utilizando el método de sensibilidad, estableciendo cuatro rangos de temperatura (1, 2, 4 y 6 °C). Como resultados, se encontró un aumento de temperatura de 0.47 °C y una disminución en la precipitación de 133 mm en la región, afectando la franja de condensación de humedad de la zona, que tiende a desplazarse más de 940 m, ante un aumento de 2 °C para el periodo 2090-2099. Con los probables cambios, la humedad atmosférica ya no condensaría en el bosque mesófilo de montaña, haciéndose necesaria su conservación y restauración.

► **Palabras clave:** Fragmentación, humedad atmosférica, precipitación, sensibilidad, temperatura.

### Introducción

Se estima que, en México, más del 50 % de los bosques de niebla o bosques mesófilos de montaña (BMM) han desaparecido (Challenger y Caballero, 1998). En los últimos años, un número creciente de estudios ha demostrado que el bosque de niebla y su biodiversidad son particularmente sensibles a los cambios causados por la fragmentación y destrucción (Rosas Rangel, et al., 2019; Williams, 1992). Además de la destrucción del hábitat, que disminuye las poblaciones de flora y fauna, al ser fragmentado el ecosistema, aumenta el riesgo de extinción local de las especies típicas de plantas y animales de este bosque, ya que son expuestas a una disminución de humedad y a los efectos de borde, expresados como más luz, viento y temperatura.

Con respecto a la climatología del bosque mesófilo de montaña, este ecosistema requiere estar inmerso en nubes de manera prolongada durante el año (Williams, 2007). A este respecto, Rojas-Soto, et al. (2012) y Rosas Rangel et al. (2019) indicaron que este ecosistema se verá afectado por cambios en la formación de nubes, en vista de que una serie de modelos climáticos globales sugieren una reducción del nivel de nubosidad como consecuencia del cambio climático, que se ha estimado en 54 y 76 % para el año 2050, lo cual podría alterar el equilibrio dinámico actual del bosque de niebla y que conlleva a la pérdida de biodiversidad, derivados de los cambios de altitud en la distribución de las especies y posiblemente la muerte de los bosques fríos al no tener a donde migrar, modificando la distribución del BMM en el este y sur de México, principalmente.

Saunders, et al. (1991), señalaron que los efectos negativos de la fragmentación se presentan especialmente a diferentes escalas y principalmente están dados por una alteración de microclima y dentro del remanente del bosque y el aislamiento de cada fragmento de los otros parches remanentes. Las principales amenazas son, la tala clandestina, los incendios, los desmontes para agricultura, ganadería, desarrollo urbano y caminos que son igualmente causas del cambio climático en mayor grado. Su lenta regeneración, la reducción de su distribución y su continua perturbación, han ocasionado que sean considerados frágiles, en peligro de extinción y con prioridad de conservación.

Por otra parte, Magaña y Gómez (2011) al igual que el IPCC (2014) llaman cambio climático a la modificación del clima con respecto al historial climático a nivel global o regional. Tales cambios se producen a muy diversas escalas de tiempo, sobre todo, en los parámetros temperatura y precipitación afectando este fenómeno global el equilibrio del bosque mesófilo de montaña al reducir la entrada de humedad a las zonas montañosas. Actualmente, se ha registrado menor precipitación, menos días con niebla y un incremento en la duración e intensidad de los periodos de sequía en las zonas donde se distribuye el BMM, los cuales han sido reconocidos como pieza fundamental para mitigar uno de los impactos que más afectan la vida sobre el planeta, el calentamiento global (Gerez-Fernández y Pineda-López, 2016; Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2017).

En Hidalgo, el bosque mesófilo se distribuye en la vertiente del Golfo de México de la Sierra Madre Oriental, normalmente a altitudes entre los 1 000 y 2 000 m, aunque su distribución altitudinal va de 750 a 2 400 m. Si la humedad no es suficientemente alta para el desarrollo del bosque mesófilo, pueden existir bosques de pino-encino o encino dentro de esta banda altitudinal. Debajo de dicha banda, la vegetación tropical reemplaza al bosque mesófilo y por encima de esa banda, los bosques de pino y pino-encino son los tipos de vegetación dominantes (Monterroso-Rivas, et al., 2013).

Existe preocupación global respecto al bosque de niebla, donde varios estudios sobre modelación de los impactos del calentamiento global en este ecosistema han señalado que se trata de un sistema particularmente sensible y vulnerable (Foster, 2001; Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2017; Monterroso-Rivas et al., 2013; Reyes, 2015). De esta manera, el presente trabajo consistió en comparar dos periodos de tiempo en los parámetros climáticos temperatura y precipitación para encontrar evidencias de cambio y, con ello, modificaciones en la franja de condensación de humedad, de acuerdo con el IPCC (2014), para la región de Tenango de Doria, estado de Hidalgo.

## Materiales y métodos

El municipio de Tenango de Doria se ubica en las estribaciones de la Sierra Madre Oriental, al este del estado

de Hidalgo, entre los paralelos 20° 15' y 20° 25' de latitud norte y los meridianos 98° 05' y 98° 20' longitud oeste, en un rango altitudinal de 700 a 2 800 msnm y con 1 660 m en la cabecera municipal (INEGI, 2007). Este municipio colinda al norte con los municipios de San Bartolo Tutotepec y Huehuetla, al este con el municipio de Huehuetla y el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, al sur con el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave y el municipio de Metepec, y al oeste con los municipios de Metepec y San Bartolo Tutotepec. En conjunto, los municipios mencionados constituyen la región conocida como la Sierra Otomí-Tepehua. Se tomó como referencia el municipio de Tenango de Doria, por ser el más importante en cuanto a la presencia de bosque mesófilo de montaña.

El municipio de Tenango de Doria, con base en información de las normales climatológicas, presenta un clima de tipo C(m)w''b(i)g, según el sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por García (2004), que corresponde al templado húmedo, con lluvias todo el año (47.0 %), templado húmedo, con abundantes lluvias en verano (31.0 %), semicálido húmedo, con lluvias todo el año (13.0 %) y semifrío húmedo, con abundantes lluvias en verano (9.0 %). El rango de temperatura va desde los 10 hasta los 20 °C y se tiene una precipitación de 1 100 a los 2 600 mm (INEGI, 2007). La precipitación media anual es de 1 868.6 mm y la temperatura media anual es de 16.7 °C (García, 2004).

Para obtener la tendencia de la temperatura y la precipitación y las gráficas respectivas, se emplearon las normales climatológicas de los periodos 1941-1970 y 1951-2010, proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (2021) y la CONAGUA (2010), analizando los valores medios mensuales de temperatura y precipitación, lo que permitió hacer la comparación de ambos periodos y observar si hubo cambios en los parámetros medidos a través de la estimación de estadísticos básicos, con el programa Statgraphics versión 19.3.

La altitud de condensación es la altura en la que se presenta el enfriamiento y precipitación de las gotitas de agua o nubes existentes en la atmósfera (Tejeda, et al., 2018), la cual varía de acuerdo con la época del año, constituyendo la franja altitudinal donde se presenta la precipitación horizontal. Para la determinación de la altitud de condensación se determinaron diferencia de la temperatura ambiental (bulbo seco) y temperatura de bulbo húmedo, con las cuales se estimó la temperatura del punto de rocío ( $T_a$ ), la tensión de vapor actual ( $e_a$ ) (Allen, et al., 2006) y la tensión de vapor a saturación ( $e_s$ ) (Tejeda et al., 2018), empleando las tablas psicrométricas (CONAGUA, 2010), expresadas en las Ecuaciones (1), (2) y (3), donde  $T_a$  es temperatura del punto de rocío (°C),  $HR$  es humedad relativa (%), reportada en la normal climatológica,  $T$  es temperatura ambiental o temperatura de bulbo seco (°C),  $e_a$  es presión de vapor actual (hPa) y  $e_s$  significa presión de vapor de saturación (hPa).

$$Td = 8 \sqrt{\frac{HR}{100}} * (112 + 0.09T) + 0.1T - 112 \quad (1)$$

$$e_a = e(T_d) = 0.611e^{\left(\frac{17.27T_d}{T_d+237.3}\right)} \quad (2)$$

$$e_s = \exp\left(\frac{21.4T+494.41}{T+273.15}\right) \quad (3)$$

Asimismo, se calculó el Gradiente Térmico Real (*GTR*) del tramo Huehuetla-Tenango mediante la Ecuación (4):

$$GTR = 100 * \frac{\text{Diferencia de temperatura } (^\circ\text{C})}{\text{Diferencia de altitud (msnm)}}$$

La altitud de condensación de humedad se estimó a partir de la diferencia de la temperatura ambiental y la temperatura del punto de rocío, distribuida entre el gradiente térmico real del tramo Huehuetla-Tenango. Los cambios en la altitud de condensación se estimaron analizando las proyecciones del aumento de la sensibilidad en la temperatura media en 1, 2, 4 y 6 °C, respectivamente, de acuerdo con lo señalado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático a través del método de sensibilidad (Ahumada-Cervantes et al., 2020; IPCC, 2014), para analizar el comportamiento de dicha franja con los incrementos de temperatura. Al respecto, la sensibilidad se refiere al grado en que un sistema se ve afectado o cómo responde a los estímulos climáticos, ya sea de manera adversa o beneficiosa, por la variabilidad o el cambio en las variables climáticas (IPCC, 2014; Monterroso-Rivas et al., 2013).

## Resultados y discusión

En los últimos 70 años, el municipio de Tenango de Doria ha experimentado cambios en la temperatura y la precipitación, lo cual se ha debido a muchos factores, no solo por el aumento de la temperatura a nivel global, a causa de

las emisiones de gases de efecto invernadero, sino por las afectaciones locales, como el cambio de uso del suelo, los incendios, la deforestación, la fragmentación, entre otros. Con base en la información de la estación meteorológica del municipio, la comparación de datos de los dos periodos (1941-1970 y 1951-2010) indicó un aumento promedio de temperatura de 0.47 °C, pero con variabilidad alta, que alcanzó desviación estándar de 0.41 °C pues, en tanto que durante los meses invernales (diciembre-marzo) se tuvo aumento hasta de 1.04 °C, durante los meses de verano (junio-septiembre) la diferencia fue solo de 0.07 °C (Figura 1). En tanto, los datos indicaron que hubo una disminución en la precipitación, entre 26 y 86 mm, en los meses de junio a septiembre, aunque en las otras épocas del año no se observó una modificación importante (Figura 2). En el Cuadro 1 se muestran los estadísticos básicos del análisis de ambos parámetros.

Una característica importante de los bosques mesófilos es la presencia de niebla sobre la vegetación a lo largo del año (Williams, 2007). Además, se ha documentado la propiedad de extraer, de dicha neblina, una cantidad de agua adicional a la que llega en forma de lluvia, de tal manera que, aun en la época de estiaje, estos bosques proveen un aporte de agua muy importante a la hidrología local y regional (Monterroso-Rivas et al., 2013). Por tanto, el bosque mesófilo es un ecosistema que requiere y aprovecha las condiciones climáticas que lo envuelven. Los bosques mesófilos de México son ecosistemas poco estudiados por diversos motivos, entre ellos, su complejo funcionamiento y es justamente la franja de condensación a partir de la neblina la que se modifica con el aumento de temperatura.

Según Foster (2001), el bosque de niebla se verá afectado por el cambio climático, en particular, cambios en la formación de nubes y, por ende, en la franja de condensación

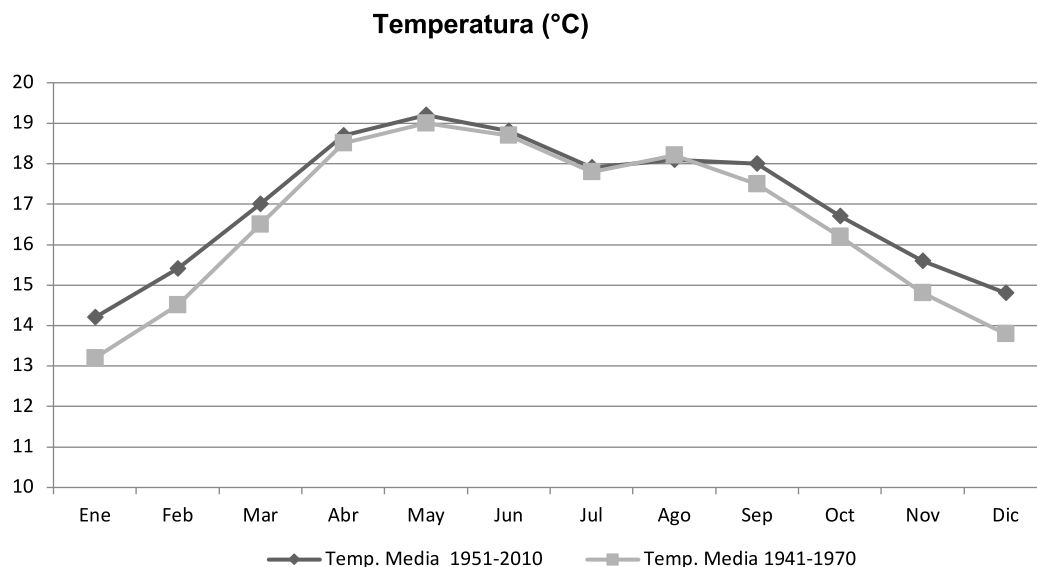


Figura 1. Cambio en la temperatura en los últimos 70 años en la Sierra Otomí-Tepehua, Hidalgo, México.

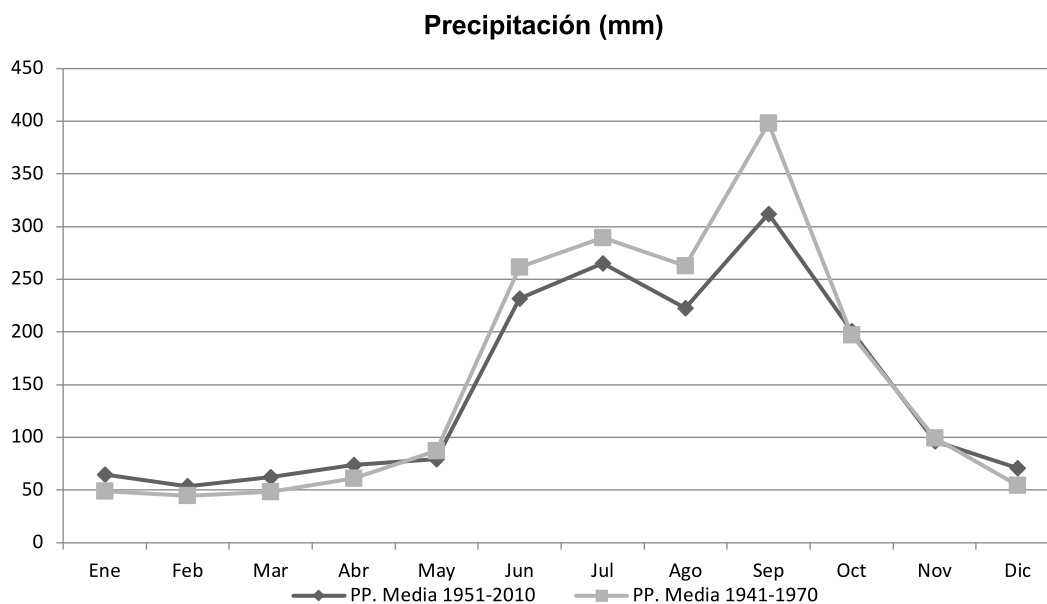


Figura 2. Cambio en la precipitación en los últimos 70 años en la Sierra Otomí-Tepehua, Hidalgo, México.

Cuadro 1. Estadísticos básicos estimados para los periodos 1941-1970 y 1951-2010, de temperatura y precipitación.

Parámetros	Temperatura 1941-1970	Temperatura 1951-2010	Precipitación 1941-1970	Precipitación 1951-2010
Promedio	17.025	17.4083	144.5	133.433
Desviación estándar	1.62544	1.53235	89.8448	68.5089
Coeficiente de variación	9.55 %	8.80 %	62.18 %	51.34 %
Mínimo	14.2	14.5	61.1	62.6
Máximo	18.9	19.7	319.6	273.2
Rango	4,7	5.2	258.5	210.6
Sesgo estandarizado	-0.754163	-0.634786	1.14427	1.18399

de humedad a partir de las nubes, que se verá reducida. La franja actual varía a lo largo del año, de manera que se localiza entre 2 470 y 2 831 (msnm) en los meses de diciembre y enero, cuando la temperatura promedio se ubica en 14.5 °C, pero desciende hasta un rango de 1778 y 1 830 msnm en los meses de julio a septiembre, cuando la temperatura promedio es de 18.0 °C (Figura 3). Este comportamiento a lo largo del año es congruente con lo que reporta el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014). Sin embargo, este organismo ha indicado que, conforme se incrementa la temperatura ambiental, la condensación ocurrirá a mayores altitudes (Figura 4 y Cuadro 2). Por ejemplo, para el mes de mayo, que es el más caliente, ante un aumento de 1 °C la altitud de condensación aumenta 61 m con respecto a la actual, comparándola con el mes más frío es de 515 m.

El Gradiente Térmico Real (GTR) obtenido fue de 0.33 °C·100 m<sup>-1</sup>. El gradiente mínimo encontrado fue de 0.11 y ocurrió en el mes de diciembre, en tanto que el máximo fue de 0.53 °C y ocurrió en el mes de mayo. Este

cálculo fue con la finalidad de tener una mayor precisión al obtener la altura de condensación de humedad en el bosque mesófilo de la zona.

La franja de condensación se ve favorecida por los vientos provenientes del Golfo de México y, en la medida que se condensa la humedad por la vegetación, se permite la recarga de los acuíferos, permitiendo, a su vez, la provisión de agua al municipio de Huehuetla, que está a altitudes menores. La deforestación, el cambio de uso de suelo, el incremento en la temperatura ambiental, el incremento de la temperatura del suelo y los incendios forestales favorecen que el vapor de agua que ingresa por el movimiento ascendente de masas de aire no encuentre las condiciones para formar la neblina. De esta forma, conforme se incrementa la temperatura ambiental, la condensación ocurrirá a mayores altitudes, siempre y cuando existan las condiciones de condensación. Así, se ha comprobado que el calentamiento puede hacer que la base de las nubes se eleve sobre la altitud del bosque, por la sensibilidad del bosque al cambio climático (Bubb, et al., 2002).

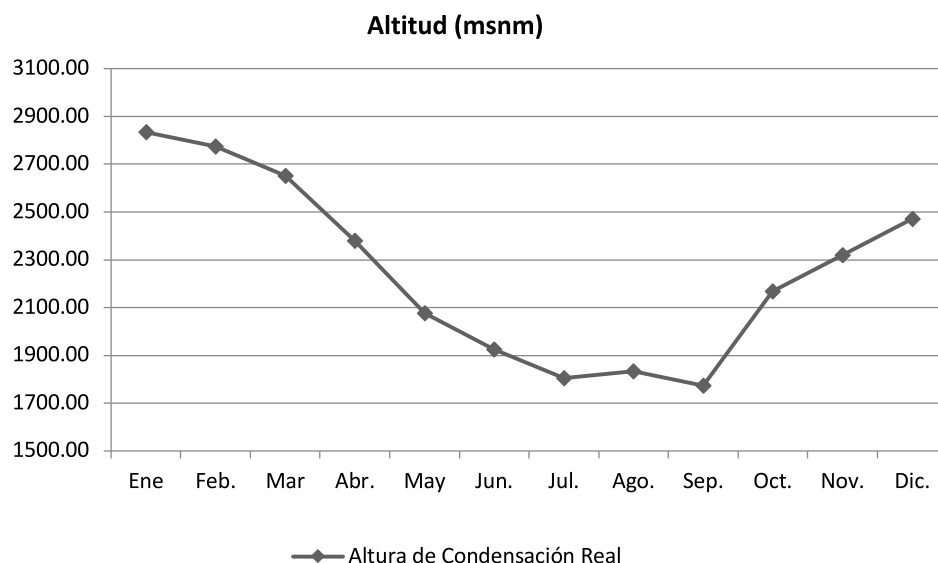


Figura 3. Altura de condensación actual en la Sierra Otomí-Tepehua, Hidalgo, México.

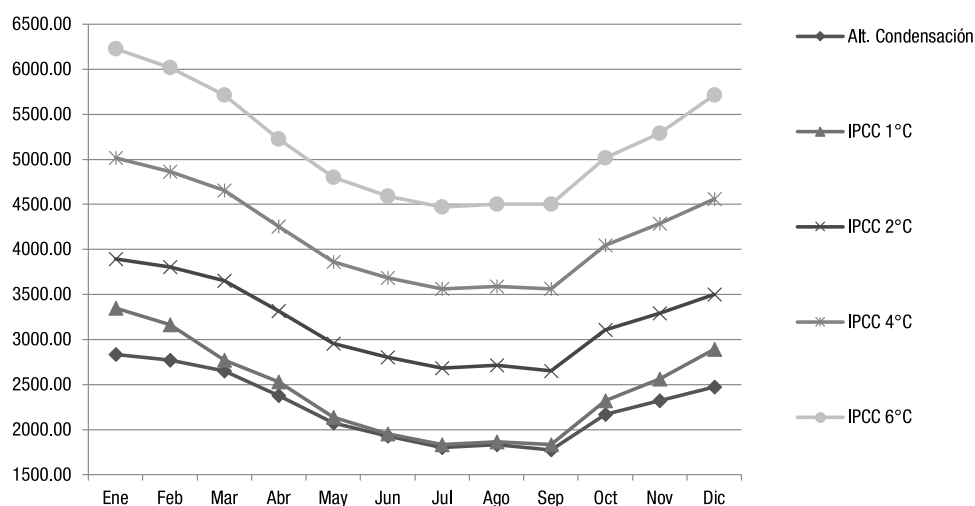


Figura 4. Comportamiento en las alturas de condensación según proyecciones en los incrementos de temperatura del IPCC (2014).

Cuadro 2. Altitudes de condensación (msnm) con el aumento de la temperatura IPCC, 2014.

Mes	Altitud actual (m)	1 °C	2 °C	4 °C	6 °C
Ene	2833.94	3349.09	3894.55	5015.76	6227.88
Feb	2773.33	3167.27	3803.64	4864.24	6015.76
Mar	2652.12	2773.33	3652.12	4652.12	5712.73
Abr	2379.39	2530.91	3318.79	4258.18	5227.88
May	2076.36	2136.97	2955.15	3864.24	4803.64
Jun	1924.85	1955.15	2803.64	3682.42	4591.52
Jul	1803.64	1833.94	2682.42	3561.21	4470.30
Ago	1833.94	1864.24	2712.73	3591.52	4500.61
Sep	1773.33	1833.94	2652.12	3561.21	4500.61
Oct	2167.27	2318.79	3106.67	4046.06	5015.76
Nov	2318.79	2561.21	3288.48	4288.48	5288.48
Dic	2470.30	2894.55	3500.61	4561.21	5712.73



Con las normales climatológicas actualmente disponibles del municipio de Tenango de Doria, al comparar los periodos 1971-2000 y 1981-2010, se presenta una disminución en el parámetro niebla. En el primer periodo se registran 2.8 d con neblina, mientras que, en el segundo, solo se registran 0.5 d (Servicio Meteorológico Nacional, 2021), lo cual indica una clara disminución en la formación de neblina que tiende a desplazarse hacia altitudes mayores.

Monterroso-Rivas et al. (2013) evaluaron el comportamiento futuro del bosque mesófilo de montaña en el Estado de Hidalgo, a partir del análisis de la distribución geográfica potencial de ocho especies forestales representativas, considerando escenarios de cambio climático. En ese trabajo se encontró, que es posible la reducción de la superficie óptima de crecimiento para seis especies, las cuales componen principalmente el estrato arbóreo alto del bosque. A partir de esto, discernieron que el ecosistema puede verse seriamente afectado como consecuencia del cambio climático.

Con el aumento de 2 °C en la temperatura, para el periodo 2090-2099, la franja de condensación tiende a desplazarse 946 m más de la altura de condensación actual que existe en la zona, de tal manera que llega un punto donde ya no se presenta condensación, al no chocar la humedad atmosférica con la vegetación del bosque, generando la pérdida de humedad. Según Krömer, et al. (2013), existen modelos de cambio climático que pronostican una disminución de las plantas epífitas derivado del aumento de la temperatura, cambio en el régimen y estacionalidad de la precipitación y la condensación de las nubes. Una de las consecuencias del desplazamiento de la franja de condensación es la modificación del hábitat, por ello, modelos bioclimáticos predicen la desaparición de especies endémicas del bosque mesófilo de montaña, tales como magnolia (*Magnolia schiedeana* Schltdl.), que en opinión de Vásquez-Morales et al. (2014), se desplazará al noreste de México, y el palo de zopilote (*Oreomunnea mexicana* (Standl.) J. F. Leroy), considerado como en riesgo de extinción y como sensible a los cambios ambientales, estimando una reducción de su hábitat entre 36 y 55 % a nivel nacional (Alfonso-Corrado et al., 2017). Asimismo, es importante mencionar que la región Otomí-Tepehua está siendo afectada principalmente por el cambio de uso del suelo, al utilizarlo para la ganadería y la agricultura de temporal, dejando frágil el suelo, al no tener la vegetación adecuada para su retención, ocasionando los deslaves y derrumbes en la zona.

## Conclusiones

En las últimas siete décadas se ha presentado de forma particular un aumento de temperatura de 0.47 °C y una disminución en la precipitación de 133 mm en la región, afectando la franja de condensación de humedad de la

zona, que tiende a desplazarse ante un aumento de 2 °C. La magnitud del problema que se generara si la temperatura llegara a los parámetros establecidos por el IPCC (2014), afectaría negativamente a la flora y fauna. Por ello, es importante implementar algunas medidas de mitigación para amortiguar los efectos, como la conservación y restauración de algunas partes del bosque, con especies endémicas, manteniendo la diversidad biológica y, asimismo, la reducción al mínimo de impactos negativos sobre ella, con la conservación *in situ*. Con los probables cambios, la humedad atmosférica ya no condensaría en el bosque mesófilo de montaña, haciéndose necesaria su conservación y restauración.

## Referencias

- Ahumada-Cervantes, R., González-Márquez, L. C., García-López, P. A., y Cota-Montes, D. (2020). Evaluación de la sensibilidad, asociada a factores sociodemográficos y económicos, de una zona rural expuesta a los impactos de la variabilidad y el cambio climático en México. *Acta Universitaria*, 30, e2831. <https://doi.org/10.15174.au.2020.2831>
- Alfonso-Corrado, C., Naranjo-Luna, F., Clark-Tapia, R., Campos, J. E., Rojas-Soto, O. R., Luna-Krauletz, M. D., Bodenhorn, B., Gorgonio-Ramírez, M., y Pacheco-Cruz, N. (2017). Effects of environmental changes on the occurrence of *Oreomunnea mexicana* (Juglandaceae) in a biodiversity hotspot cloud forest. *Forests*, 8(8), 261. <https://doi.org/10.3390/f8080261>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo, guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje (56)*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Bubb, P., Aldrich, M., y Sayer, J. (2002). Los bosques de niebla tropicales de montaña: es hora de actuar. *Unasylva*, 53(208), 1.
- Challenger, A., y Caballero, J. (1998). *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. UNAM. Instituto de Biología. Agrupación Sierra Madre, S.C.
- CONAGUA. (2010). *Manual teórico práctico del observador meteorológico de superficie*. México: Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Foster, P. (2001). The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews*, 55(1-2), 73-106. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(01\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00056-3)
- García, A. E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gerez-Fernández, P., y Pineda-López, M. del R. (2016). Los bosques de Veracruz en el contexto de una estrategia estatal REDD+. *Madera y Bosques*, 17(3), 7-27. <https://doi.org/10.21829/myb.2011.1731140>

- Gual-Díaz, M., y Rendón-Correa, A. (2017). Los bosques mesófilos de montaña de México. *Agroproductividad*, 10(1), 3–9.
- INEGI. (2007). *Anuario estadístico del Estado de Hidalgo. Tomo I*. México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014 : informe de síntesis. C Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (R. K. Pachauri & L. A. Meyer, eds.). Ginebra, Suiza: IPCC.
- Krömer, T., Acebey, A., Kluge, J., y Kessler, M. (2013). Effects of altitude and climate in determining elevational plant species richness patterns: A case study from Los Tuxtlas, Mexico. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 208(3), 197–210. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2013.03.003>
- Magaña, V., y Gómez, M. L. (2011). Escenarios regionales del cambio climático e impactos en áreas naturales protegidas: hacia una estrategia de adaptación. In R. Sánchez, C. Ballesteros, & N. Pavón (Eds.), *Cambio Climático: aproximaciones para el estudio de su efecto sobre la biodiversidad* (pp. 39–48). Pachuca, Hidalgo: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Monterroso-Rivas, A. I., Gómez-Díaz, J. D., y Tinoco-Rueda, J. A. (2013). Bosque mesófilo de montaña y escenarios de cambio climático: una evaluación en Hidalgo, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 19(1), 29–43. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.03.029>
- Reyes, O. M. (2015). *Efectos del cambio climático en la distribución geográfica de árboles de bosque de niebla en la parte centro de México: Hidalgo, Puebla y Veracruz*. Puebla: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Rojas-Soto, O. R., Sosa, V., y Ornelas, J. F. (2012). Forecasting cloud forest in eastern and southern Mexico: conservation insights under future climate change scenarios. *Biodiversity and Conservation*, 21(10), 2671–2690. <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0327-x>
- Rosas Rangel, D. M., Mendoza, M. E., Gómez-Tagle, A., y Tobón Marín, C. (2019). Avances y desafíos en el conocimiento de los bosques mesófilos de montaña de México. *Madera y Bosques*, 25(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511759>
- Saunders, D. A., Hobbs, J. R., y Margules, R. C. (1991). Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology*, 5(1), 18–32. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1991.tb00384.x>
- Servicio Meteorológico Nacional. (2021). *Normales climatológicas por Estado*. Retrieved from <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=hgo>
- Tejeda, M. A., Méndez, P. I. R., Rodríguez, N. C., y Tejeda, Z. E. (2018). *La humedad en la atmósfera, bases físicas, instrumentos y aplicaciones*. Colima, México: Universidad de Colima.
- Vásquez-Morales, S. G., Téllez-Valdés, O., Pineda-López, M. del R., Sánchez-Velásquez, L. R., Flores-Estevez, N., y Viveros-Viveros, H. (2014). Effect of climate change on the distribution of *Magnolia schiedeana*: a threatened species. *Botanical Sciences*, 92(4), 575–585. <https://doi.org/10.17129/botsci.116>
- Williams, L. G. (1992). Ecología del paisaje y el bosque mesófilo de montaña en el centro de Veracruz. *Ciencia y Desarrollo*, 18(105), 132–138.
- Williams, L. G. (2007). *El bosque de niebla del centro de Veracruz: ecología, historia y destino en tiempos de fragmentación y cambio climático*. Xalapa, Veracruz, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad e Instituto de Ecología, A.C.