



Avances y desafíos en el conocimiento de los bosques mesófilos de montaña de México

Advances and challenges in the knowledge on the tropical mountain cloud forests of Mexico

Dulce María Rosas Rangel¹, Manuel E. Mendoza^{1, 2*}, Alberto Gómez-Tagle³ y Conrado Tobón Marín⁴

¹ Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. Michoacán, México

³ Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales. Michoacán, México.

* Autor de correspondencia: mmendoza@ciga.unam.mx

² University of British Columbia. Department of Geography. Vancouver, BC. Canadá.

⁴ Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Medellín, Colombia.

RESUMEN

Los “bosques mesófilos de montaña” son ecosistemas que se caracterizan por el nivel de estratos arbóreos, abundantes helechos y epífitas. Actualmente esta formación vegetal se encuentra en forma de relictos en algunas de las cañadas del país, por lo que es importante conservar este ecosistema que ocupa menos de 1% del territorio nacional y que tiene un alto valor ante la escasez de agua y la pérdida de los bosques. Su importancia ecológica radica en la alta diversidad de flora y la presencia de especies endémicas en peligro de extinción que funcionan como cubierta protectora para evitar la erosión. Su importancia hidrológica deriva de la presencia de lluvias y nubosidad, neblina o niebla durante gran parte del año que reduce la incidencia de radiación solar disminuyendo las salidas de agua por evapotranspiración. Además, al ingreso de precipitación por lluvia hay que adicionar la precipitación horizontal de la niebla interceptada por el dosel. En este trabajo se presenta una revisión bibliográfica de los estudios realizados en México mediante búsquedas específicas y especializadas en buscadores académicos (Web of science, ScienceResearch, Academia.edu y Google scholar). Se encontró un alto índice de publicaciones de investigación ecológica en torno a la biodiversidad (fauna, listados florísticos y estructura de la vegetación), perturbación, sucesión secundaria, restauración ecológica; sin embargo, se identificaron un número limitado de trabajos sobre servicios ecosistémicos (hidrológicos y captura de carbono) y los más recientes están relacionados al cambio climático.

PALABRAS CLAVE: biodiversidad, bosque de niebla, cambio climático, edafología, ecohidrología, ecología.

ABSTRACT

The "tropical mountain cloud forest" are ecosystems characterized by the level of tree strata, abundant ferns and epiphytes. Currently this type of vegetation exists in the form of relicts in some of the country's glens, so it is important to conserve this ecosystem that occupies less than 1% of the national territory and has a high value in the face of water scarcity and forests loss. Its ecological importance lies in the high diversity of flora and the presence of endemic species at threat of extinction, which have a function as a protective cover to prevent soil erosion. Its hydrological importance derives from the presence of rains and cloudiness or fog during several months through the year, which reduces solar radiation incidence by decreasing water outflow associated to evapotranspiration. It is characterized by two inputs; one is rainfall and second is horizontal precipitation, associated to fog which is intercepted by canopy. In this work, a review of the studies carried out in Mexico through specific and specialized searches in online search engines (Web of Science, ScienceResearch, Academia.edu and Google Scholar) is presented. A high number of ecological peer-reviewed research publications was found about biodiversity (fauna, floristic listings and vegetation structure), disturbance, secondary succession, ecological restoration; however, a limited number of works on ecosystem services (hydrological and carbon capture) were identified; the most recent research is related to climate change.

KEYWORDS: biodiversity, cloud forest, climate change, edaphology, ecohydrology, ecology.



INTRODUCCIÓN

El término “bosque mesófilo de montaña (BMM)” se utilizó por primera vez en 1947 por Faustino Miranda, quien se refirió a un tipo de bosque en la cuenca del río Balsas que se desarrolla en el mismo piso altitudinal del encinar pero en condiciones de humedad más favorables, no obstante el término fue aceptado hasta 1978 cuando Jerzy Rzedowski, lo extendió a todo el territorio nacional (Rzedowski, 2006); los primeros estudios botánicos de un BMM fueron publicados 1966 para el estado de Veracruz (Gómez-Pompa, 1966) y en 1983 fue publicada la primera descripción florística de un BMM para el estado de Tamaulipas (Puig, Bracho y Sosa, 1983). Es hasta 1993, durante el simposio de bosques tropicales nublados de montaña en Puerto Rico que se consolida la definición más aceptada sobre este ecosistema, también llamado “bosque nublado” (*Tropical montane cloud forests*). Esta reunión marcó un parteaguas; fue a partir de 1995 que se incrementó la elaboración de artículos en revistas indizadas sobre la ecología de los BMM. De acuerdo con Villaseñor (2010) el término BMM es apropiado porque se refiere a todos los tipos de bosque húmedo de montaña incluyendo los bosques que pueden no tener elevadas precipitaciones o donde la niebla puede ser escasa gran parte del año. Sin embargo, existen sinonimias para referirse a este ecosistema entre ellas “bosque de niebla”, “bosque húmedo”, “bosque húmedo de montaña”, “bosque tropical montano”. Este ecosistema se caracteriza por presentar una composición de especies donde predominan árboles caducifolios de afinidad holártica mientras el sotobosque está conformado por especies tropicales perennifolias de afinidad neotropical con abundantes helechos y epífitas en las copas de los árboles (Toledo-Aceves, Meave, González-Espinosa y Ramírez-Marcial, 2011). En México se encuentran principalmente en la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre del Sur y la Sierra Madre de Chiapas (Holwerda y Gotsch, 2012). Tienen una presencia frecuente o persistente de nubes a nivel de la vegetación (Hamilton, Juvik y Scatena, 1995), por lo que este ecosistema, tiene alto valor hidrológico por la capacidad de provisión de recursos

hídricos derivado de la aportación de precipitación horizontal (Challenger y Caballero, 1998).

El BMM es sumamente importante por los servicios ecosistémicos que proporciona, entre ellos encuentran la regulación del clima, la producción de agua y de alimentos (De Groot, Wilson y Boumans, 2002). Su distribución es limitada como consecuencia de las condiciones climáticas y geofísicas específicas para su desarrollo. Actualmente los BMM se presentan en forma de islas ecológicas de vegetación húmeda rodeadas por comunidades subhúmedas, como el bosque de pino y encino en un intervalo altitudinal que va de los 600 m a los 2700 m snm. (Rzedowski, 2006). El BMM tiene una fuerte presión de carácter antropogénico, principalmente la tala ilegal, expansión de cultivos de frutales y agrícolas; esto reduce la infiltración en el subsuelo y la captura de agua por precipitación horizontal (Muñoz-Villers, 2008). El cambio de cobertura vegetal y uso del suelo produce cambios en los patrones locales de precipitación debido a que el suelo desnudo refleja una mayor cantidad de radiación solar, disminuyendo el reciclaje del vapor de agua hacia la atmósfera producto de la evapotranspiración (Bruijnzeel, 2011); asimismo los efectos del cambio climático sobre la diversidad biológica son alarmantes (Vásquez-Morales *et al.*, 2014). A pesar de que los BMM funcionan como cubierta de protección en zonas de alta pendiente, los estudios de los suelos presentes en este ecosistema son mínimos.

OBJETIVOS

El presente estudio muestra una revisión de la literatura publicada entre 1973 y 2017, con el objetivo de generar la información que permita conocer el estado actual y las tendencias de investigación en ecología, edafología, servicios ecosistémicos y cambio climático en el BMM de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

La información sobre los estudios de BMM realizados en México se obtuvo mediante motores de búsqueda en *Web of Science*, *Science Research*, *Academia.edu* y *Google Scholar* usando la cadena de texto “tropical montane cloud forest”,



“tropical upper montane forest”, “Humid montane forest”, las palabras clave “cloud forest”, “ecohydrology”, seleccionando únicamente los trabajos realizados en México, agrupándolos en los campos de la ecología (biodiversidad, perturbación-sucesión-restauración ecológica), edafología, servicios ecosistémicos (hidrológicos y captura de carbono), con especial enfoque en el campo de la ecohidrología y cambio climático. Se realizó una lista refinada con trabajos de investigación exclusivamente en México, considerando las principales líneas de investigación y las tendencias futuras en torno al conocimiento de los BMM. Empleando la información de las publicaciones por años se realizó una prueba de tendencia de Mann-Kendall programación estadística R v 3.4.3. (R Core Team, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al realizar la consulta en los buscadores científicos con la cadena “cloud forest” se encontraron 6823 para todo el mundo y para México 702; de ellos 5 corresponden a temas geológicos por lo que no se consideraron en este trabajo. Con la cadena de texto “tropical montane cloud forest”, se identificaron un total de 685 publicaciones en todo el mundo y 169 para México; usando el texto “Humid montane forest”, se encontraron un total de 377

publicaciones, de las cuales 54 corresponden a México; y con el texto “tropical upper montane forest” para el mundo se obtuvo un total de 258, de los cuales 15 corresponden a México (Fig. 1).

El término ‘bosque mesófilo de montaña’ se utilizó por primera vez en 1947. No obstante la primera publicación sobre BMM fue aplicado por Gómez-Pompa (1966) en un estudio botánico de la vegetación de Veracruz (Gómez-Pompa, 1966), posteriormente Vogelmann (1973) usa el termino en un estudio sobre la precipitación en los bosques nublados de Veracruz; en 1982 Jiménez-Ávila y Gómez-Pompa (1982) publicaron su libro sobre los estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero de Veracruz cultivado bajo la sombra del BMM; en 1983 se publicó la primera descripción florística de un BMM Tamaulipas (Puig *et al.*, 1983), y no fue sino hasta 1993 durante el simposio de bosques tropicales nublados de montaña (*Tropical montane cloud forest symposium*), realizado en Puerto Rico, que se consolidó la definición más aceptada sobre este ecosistema también llamado bosque nublado (*Tropical montane cloud forests*); esta reunión marcó un parteaguas provocando que a partir de 1995 se incrementara la publicación de artículos en revistas indizadas sobre la ecología de los BMM (Fig. 2).

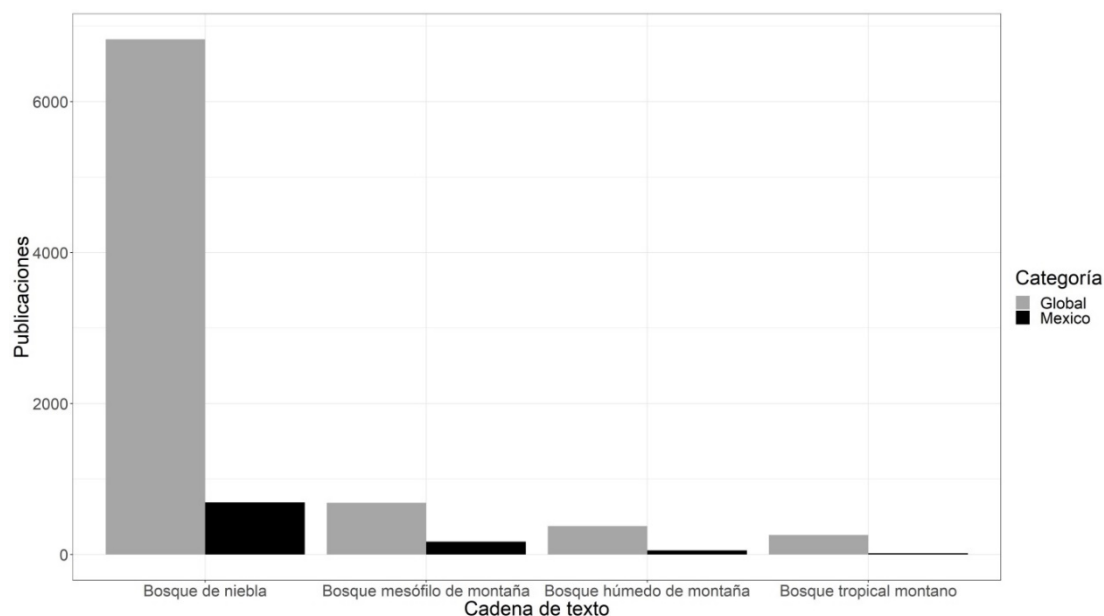


FIGURA 1. Número de artículos publicados en revistas nacionales e internacionales sobre BMM para México y el Mundo.

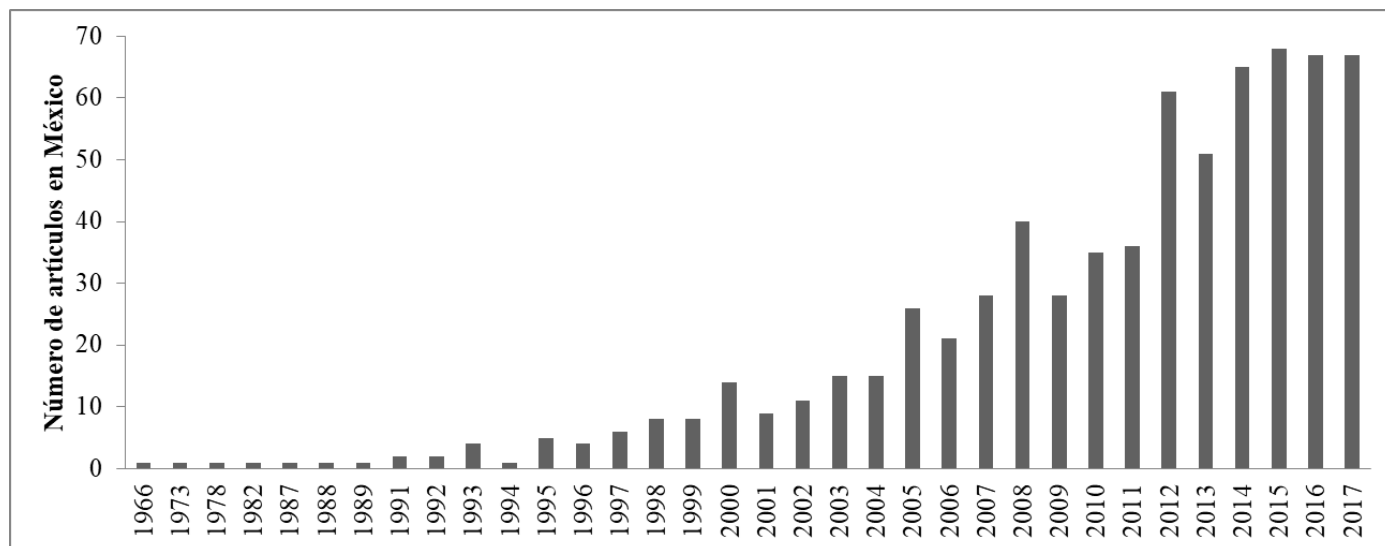


FIGURA 2. Número de artículos encontrados en *Web of Science* para el BMM de México usando la cadena de texto “cloud forest” (diciembre de 2017)

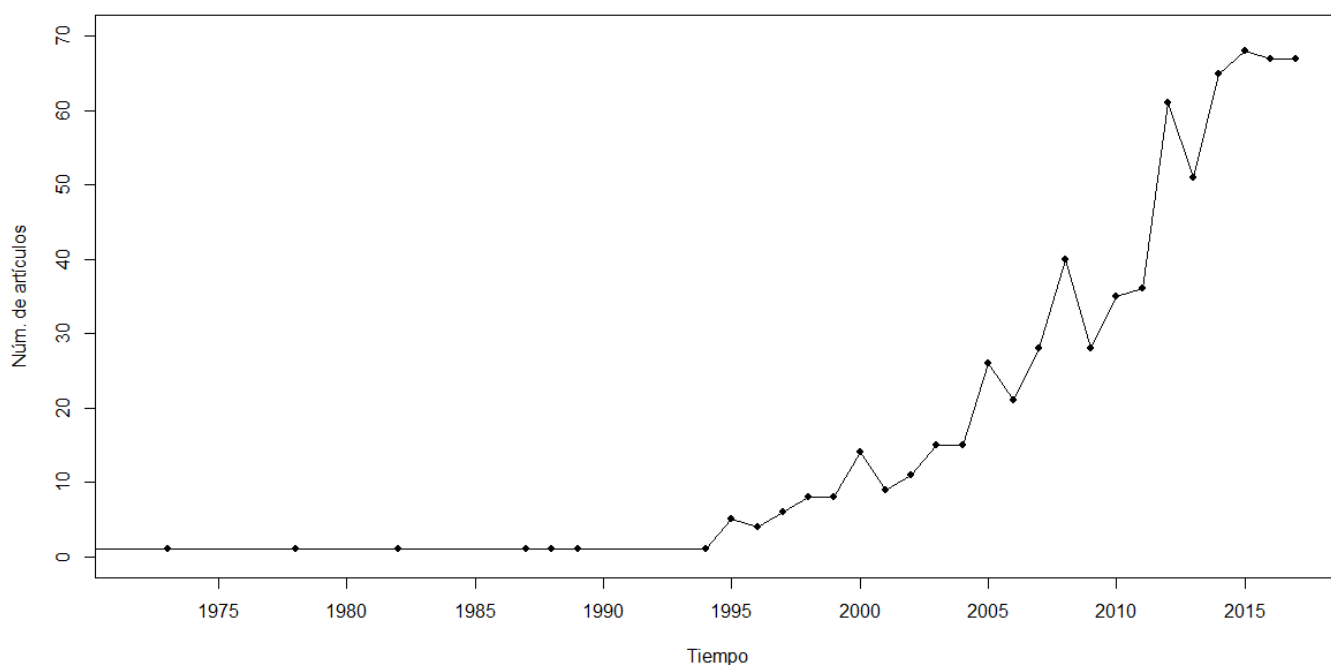


FIGURA 3. Número de artículos publicados sobre BMM en México desde 1973 a 2017.

La figura 3 muestra el incremento las publicaciones sobre BMM a partir de 1995, el cual podría estar asociado a que en la década de los 90's las políticas de conservación tuvieron gran auge en el país, principalmente por la aparición de instituciones gubernamentales que elaboraron políticas públicas para la conservación de estos ecosistemas, tal es el caso de la Comisión Nacional de Biodiversidad (Conabio) y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp). También puede indicar el interés de

los diversos grupos de investigación para estudiar este ecosistema. Sin embargo, a partir del 2015 los estudios realizados sobre BMM dejaron de incrementarse.

Los valores de la prueba de Mann-Kendall (Tabla 1), corroboran el patrón descrito, con alto valor de τ , el cual es estadísticamente significativo para el periodo analizado; es decir, el número de publicaciones de BMM siguen una tendencia positiva. El valor de τ indica que la relación es positiva a lo largo del tiempo.



TABLA 1. Resultados de la prueba de Mann-Kendall.

| Serie | Estadísticos de Mann-Kendall | | | | |
|-------|------------------------------|------------|--------------|------------|-----------------|
| | Score | Var(Score) | $\hat{\rho}$ | Valor de p | Z _{MK} |
| Total | 436.00 | 3706.6666 | 0.916776 | 9.005e-13 | z = 7.1449 |

Un par de antecedentes significativos, en relación con el estado del conocimiento del bosque mesófilo de montaña de México, fue el publicado por Conabio (2010) y Gual-Díaz y Rendón-Correa (2014), en estas publicaciones se abordan temas de diversidad, ecología, conservación y manejo sostenible de este ecosistema.

Los temas generales en lo que se engloban las investigaciones de los BMM en los buscadores científicos

se muestran en la figura 4; estos se agruparon en las temáticas de agronomía, biodiversidad y conservación, ecología, entomología, ciencias ambientales, ciencias forestales, micología, ornitología, botánica, ciencias del suelo, ciencias del agua y zoología, dentro de las cuales se encuentran inmersos los tópicos enfocados a los servicios ecosistémicos y el cambio climático de 1966 a diciembre de 2017.

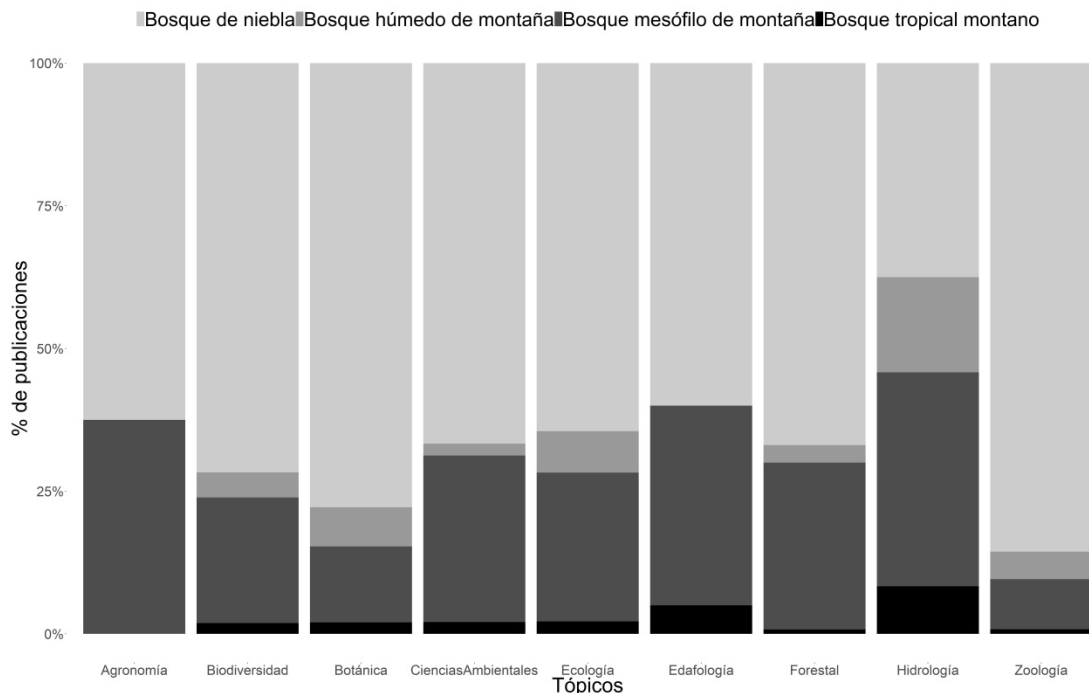


FIGURA 4. Porcentaje de los principales temas de investigación de los BMM en México en función de las agrupaciones en buscadores científicos.

Las temáticas de investigación de los BMM se han diversificado en los últimos años. Inicialmente se realizaron estudios ecológicos, pero posteriormente surgieron investigaciones en ecohidrología, filogenética, edafología y recientemente en hidropedología. En la figura 5 se muestra la distribución potencial del BMM en el territorio nacional (Conabio, 2010), así como los principales tópicos de investigación en el país. De acuerdo con Conabio (2010) los

estados con los BMM mejor preservados son: Chiapas, Guerrero, Oaxaca e Hidalgo.

Ecología

La mayoría de las publicaciones sobre BMM son de carácter ecológico; destacan los temas de biodiversidad (flora y fauna), disturbio o perturbación, sucesión secundaria y restauración ecológica. Siempre se considera que el BMM es un tipo de vegetación complejo y heterogéneo que

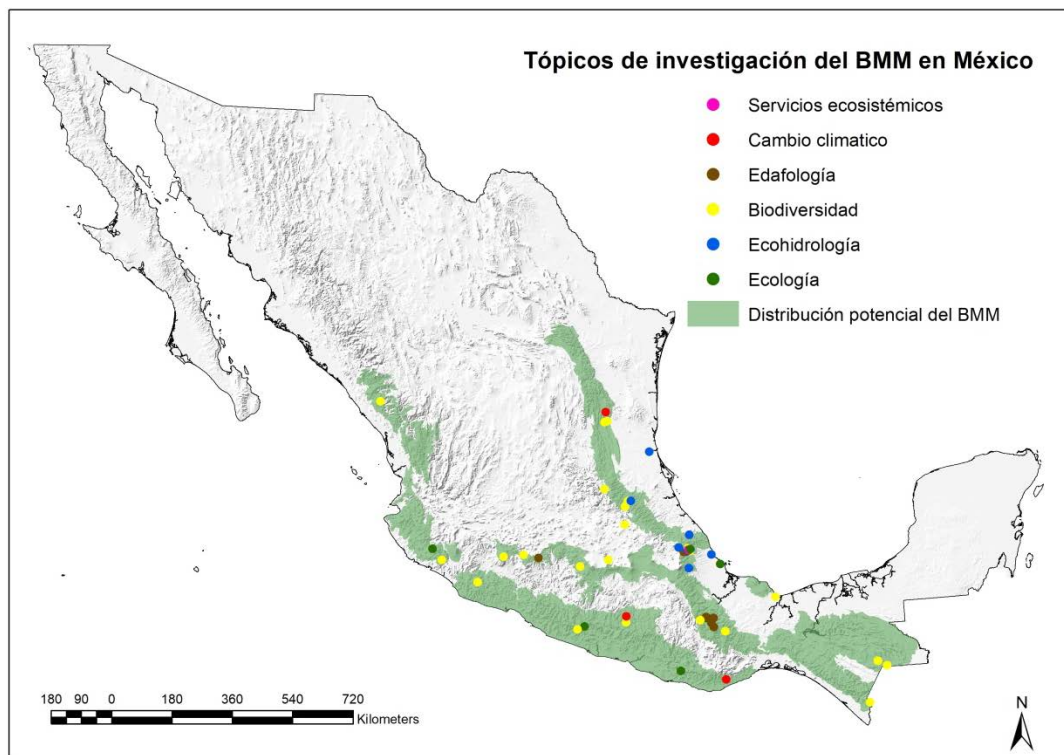


FIGURA 5. Distribución de los principales tópicos de estudio para BMM en México (verde).

comprende diferentes comunidades arbóreas, los cuales responden en su composición y fisonomía a las diferentes condiciones geográficas y ecológicas en las que se distribuyen (Luna, Velázquez y Velázquez, 2001). Destacan los trabajos pioneros en ecología del BMM para Veracruz publicados a partir de 1966 (Gómez-Pompa, 1966; Gómez-Pompa, 1978) y Tamaulipas (Puig *et al.*, 1983). Se considera que el BMM es uno de los ecosistemas más diversos por unidad de superficie (Puig, 1993; Rzedowski, 2006); la gran biodiversidad es el resultado de una vasta historia evolutiva.

La composición mixta de especies de afinidad templada (dosel) y afinidad tropical (subdosel y sotobosque) propician que también sea percibido como una selva dentro de un bosque cuyos troncos y ramas se cubren de musgos y epífitas vasculares (109 publicaciones), entre las cuales destacan las orquídeas y helechos que alcanzan gran variedad y endemismo (Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2014). Se ha comprobado dentro de los BMM que aquellos que tienen mayor precipitación, humedad y altitud poseen mayor biodiversidad y que a medida que disminuye la

humedad desciende la biodiversidad (Williams-Linera, Toledo-Garibaldi y Hernández, 2013). Recientemente se ha documentado la historia evolutiva y filogenética de los helechos arborescentes presentes en los BMM de toda Mesoamérica (Sosa, Ornelas, Ramírez-Barahona y Gándara, 2016).

La riqueza florística está muy bien documentada en trabajos de tesis, pero también existe un alto número de publicaciones en artículos indizados (203 publicaciones), entre los que destacan las publicaciones de florística y análisis fitogeográfico del BMM del estado de Tamaulipas e Hidalgo (Puig, Bracho y Sosa, 1987; Puig, 1989; Briones, 1991); Guerrero (Meave, Soto, Calvo, Paz y Valencia, 1992; Luna y Llorente, 1993); el BMM del estado de Querétaro (Zamudio, Rzedowski, Carranza y Calderón de Rzedowski, 1992); la diversidad florística del BMM en la montaña de Guerrero (Catalán, López-Mata y Terrazas, 2003); la descripción de una nueva especie denominada *Cladocolea molotensis* (Loranthaceae), la cual se ubica en una zona poco estudiada del estado de Guerrero (Martínez-Ambríz y Lozada-Pérez, 2016); y la documentación de la diversidad y



estructura arbórea-arbustiva del BMM del Sistema Volcánico Transversal de Michoacán (Santana *et al.*, en 2014).

Algunas especies de epífitas han sido estudiadas en el estado de Veracruz con mayor detalle debido a su importancia ecológica (Toledo-Aceves y Hernández-Apolinar, 2016). Además de las epífitas, los BMM albergan una gran diversidad de hongos, muchos de ellos endémicos (González-Ávila, Luna-Vega, García-Sandoval y Contreras-Medina, 2016). Recientemente, Del Olmo-Ruiz, García-Sandoval, Alcántara-Ayala, Véliz y Luna-Vega (2017) realizaron una colecta de datos en donde resumen la distribución y dominancia de los hongos en el neotrópico incluyendo los del BMM de México.

Las publicaciones sobre diversidad de fauna se agruparon en el tópico de zoología donde se incluyen mamíferos (48), aves (22), artrópodos (9) anfibios (7), reptiles (5) (Flores-Villela y Gerez 1994; Perfecto y Vandermeer, 2002; Arellano, Favila y Huerta, 2005; Pineda, Moreno, Escobar y Halffter, 2005; Pinkus *et al.*, 2006; Jiménez-Valverde, Gómez, Lobo, Baselga y Hortal, 2008; Maya-Morales, Ibarra-Núñez, León-Cortés y Infante, 2012; Gual-Díaz y Goyenechea, 2014; Castaño-Meneses, Palacios-Vargas, Cano-Santana, García-Franco y Rico-Gray, 2016; Díaz-García, Pineda, López-Barrera y Moren, 2017; García-García, Vázquez, Novelo-Gutiérrez y Favila, 2017; García-Martínez, Valenzuela-González, Escobar-Sarria, López-Barrera y Castaño-Meneses).

La pérdida de la riqueza y biodiversidad se asocia a la perturbación y fragmentación de los bosques. El número de estudios sobre perturbación ecológica en BMM de México aún es limitado (48 publicaciones), especialmente si se considera que México alberga 10% de las especies endémicas del planeta y 30% son exclusivas de BMM. El efecto del clareo natural o antropogénico en la perturbación de los bosques fue estudiado por Arriaga (1988). En este aspecto se consideran el efecto del disturbio y fragmentación en relación con la riqueza de especies arbóreas y las modificaciones en el uso del suelo (Jardel-Peláez, Santiago, Cortes-Montaño y Castillo-Navarro, 2004;

Cayuela, Golicher, Benaya, González-Espinoza y Ramírez-Marcial, 2006; Williams-Linera, 2007). Otro tema de investigación es la respuesta de las epífitas a la perturbación antropogénica (Wolf, 2005); en este sentido, Calderón-Aguilera *et al.* (2012) realizaron una evaluación de las perturbaciones naturales y humanas en los ecosistemas de México, incluyendo el BMM, en donde consideran que la recuperación prístina de este ecosistema puede tardar 90 años y con presencia de ganado hasta 150 años; previamente Arriaga (1988) estimó la tasa de rotación de un BMM en 158 años para las áreas perturbadas por causas naturales y 90 años para las áreas alteradas por causas conjuntas (es decir, naturales más inducidas por el hombre). Algunos autores consideran que los efectos en la pérdida de funciones del ecosistema se aprecian hasta después de 12 años de ocurrido el disturbio (Calderón-Aguilera *et al.*, 2012).

Una vez que la perturbación se reduce, se da inicio al proceso de *sucesión secundaria* y en consecuencia se inicia la recuperación del bosque original a lo largo del tiempo (Williams-Linera, 2015); en este tema se han realizado varias publicaciones en BMM de Chiapas, Jalisco, Tamaulipas y Veracruz. Entre los artículos pioneros destaca la dinámica sucesional y la sucesión forestal (Jardel-Peláez, 1991; Sánchez y García, 1993), la sucesión de la vegetación arbórea (Muniz-Castro, Williams-Linera y Rey, 2006), la germinación de especies amenazadas con técnicas de propagación para la producción de encinos en áreas perturbadas (García-De La Cruz, López-Barrera y Ramos-Prado, 2016), el análisis del efecto del microhábitat en la supervivencia de las plántulas (García-Hernández, López-Barrera y Vázquez-Reyes, (2016) propagación y reintroducción de la especie *Oreomunnea mexicana* en el BMM (Atondo-Bueno, López-Barrera, Bonilla-Moheno, Williams-Linera y Ramírez-Marcial, 2016).

La sucesión secundaria se puede promover a través del uso de técnicas de *restauración ecológica* o rehabilitación productiva en áreas previamente transformadas o degradadas, originalmente ocupadas por BMM. La restauración es fundamental para la conservación del BMM;

en 1999 iniciaron las primeras investigaciones en este tema (Ortiz-Arrona, 1999). Generalmente en la restauración se busca reintroducir las especies maderables que son útiles para los pobladores (Saldaña-Acosta, Ortiz-Arrona, Zuloaga-Aguilar y Jardel-Peláez, 2001). En estos trabajos los autores que se han enfocado en la restauración con especies nativas en función del grado de perturbación, resaltan la importancia de aplicar el conocimiento ecológico y entender los procesos de regeneración natural para la sucesión ecológica, así como las interacciones de las especies (Ramírez-Marcial, Camacho-Cruz, González-Espinosa y López-Barrera, 2006; Pedraza y Williams-Linera, 2003; Álvarez-Aquino, Williams-Linera y Newton, 2004; Quintana-Ascencio, Ramírez-Marcial, González-Espinosa y Martínez-Ico, 2004; González-Espinosa *et al.*, 2012, Williams-Linera, 2015). Los estudios recientes sobre la tasa de germinación de los árboles del BMM de Veracruz y su potencial de propagación (Toledo-Aceves, 2017), así como altas tasas de éxito en la recuperación temprana del bosque al eliminar los pastos pequeños, sugieren que se favorece el establecimiento de las especies arbóreas ya presentes en el banco de semillas del suelo (Williams-Linera, Bonilla-Moheno y López-Barrera, 2016). De acuerdo con Conabio (2010) los estados con prioridad alta de conservación en función de su biodiversidad y endemismo son: Chiapas, Hidalgo, Jalisco, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí y Tabasco.

Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos son un conjunto de procesos naturales y funciones biológicas, físicas y químicas dentro del ecosistema, las cuales sostienen la vida y el bienestar del ser humano directa e indirectamente (De Groot, 2002). Entre los beneficios que proporcionan los BMM se encuentran: a) la purificación del aire, b) el abastecimiento de agua dulce, c) la mitigación de las sequías e inundaciones, d) la generación y preservación del suelo, e) el reciclado y movimiento de nutrientes, f) la captura de carbono, g) el control de plagas, h) la polinización de cultivos, i) el abastecimiento de madera y j) el mantenimiento de la biodiversidad. Los beneficios mencionados son esenciales

para la función de los ecosistemas y para que estos presten sus servicios (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). A pesar de la relevancia del BMM las tasas de deforestación son muy altas, afectando la provisión de los servicios ecosistémicos antes mencionados. En este ámbito destacan los estudios sobre el efecto del cambio de uso sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Martínez *et al.*, 2009).

Se ha documentado que, las modificaciones en los métodos ancestrales de cultivo de milpa, así como la introducción de nuevas variedades de maíz en sitios ocupados anteriormente por BMM alteran los índices de agrodiversidad (Pérez-García y Del Castillo, 2017). Los cafetales dentro del BMM también proporcionan refugio a los mamíferos medianos (García-Burgos, Gallina y González-Romero, 2014) y favorecen la conservación de epífitas (Hietz, 2005; Solís-Montero, Flores-Palacios y Cruz-Angon, 2005).

En este sentido, se ha estudiado el efecto de la calidad del paisaje de los BMM en las poblaciones de hormigas de zonas ribereñas y en la provisión de servicios ecosistémicos (García-Martínez, Valenzuela-González, Escobar-Sarria, López-Barrera y Castaño-Meneses, 2017) y la polinización diurna y nocturna de las epífitas (Aguilar-Rodríguez, Krömer, García-Franco y MacSwiney, 2016).

Otro tema relacionado con servicios ecosistémicos es el almacenamiento y la captura de CO₂ en cafetales dentro del BMM (Pineda-López, Ortiz-Ceballos y Sánchez-Velásquez, 2005). Este tema es trascendental ya que el carbono almacenado en el suelo de los ecosistemas terrestres duplica el contenido de carbono en la atmósfera, y la reducción de dicho almacén, por las actividades antrópicas es una fuente adicional de CO₂ a la atmósfera que puede acelerar el cambio climático (Cramer *et al.*, 2001). En Tamaulipas se estudió el carbono almacenado por diferentes especies en un BMM (Rodríguez, Jiménez, Aguirre y Treviño, 2006). En el estado de Oaxaca se estudió la relación de la composición florística y estructural de los BMM y su incidencia en los contenidos de carbono almacenado (Álvarez-Arteaga, García-Calderón,



Krasilnikov y García-Oliva, 2013). En Michoacán se estudió el contenido de carbono orgánico y la retención de agua en los suelos del BMM (Anaya, Mendoza, Rivera, Páez y Olivares-Martínez, 2016), identificando que tienen alta retención de agua y carbono orgánico, pero son suelos muy susceptibles a cambios antropogénicos que presentan con alto grado de intemperismo.

Los servicios hidrológicos brindados por este ecosistema permiten formular esquemas de pago por estos servicios (pago por servicios ambientales, PSA), como un mecanismo para aumentar la cobertura boscosa y favorecer el manejo sustentable de los recursos naturales con el establecimiento de mercados enfocados en la provisión del agua potable y la producción de energía hidroeléctrica, así como la prevención de los desastres naturales (Manson, 2004). Respecto a la provisión de agua de los BMM, Asbjornsen *et al.* (2017), realizaron un análisis sobre la provisión de servicios hidrológicos y los pagos que reciben los propietarios de los bosques, encontrando un desajuste entre los montos de pago y los costos de oportunidad por lo que recomiendan modificar los esquemas de pago por servicios hidrológicos. Los beneficios ambientales derivados del PSA son limitados. Los programas de PSA se han evaluado para conocer su efectividad en la protección de bosques, encontrando que las tasas de deforestación en las propiedades que reciben pagos de PSA son relativamente menores en comparación con las propiedades no inscritas en los programas, pero los programas no impidieron la pérdida neta de bosques (Scullion, Thomas, Pérez-Maqueo y Logsdon, 2011).

Los sitios de BMM del estado de Oaxaca que mantienen un alto grado de conservación están relacionados con lo accidentado del terreno y la baja tasa de población, la tenencia de la tierra y los subsidios de los esquemas de pagos por servicios ambientales (Van Vleet, Bray y Durán, 2016).

Edafología

La edafología estudia el suelo como componente fundamental del ecosistema ya que da soporte a las plantas, provee de hogar y alimento a los organismos y en su interior

se desarrollan procesos asociados a los flujos de nutrientes. El suelo provee una serie de servicios ecosistémicos necesarios para la vida en el planeta, como la regulación del ciclo hidrológico y el almacenamiento de carbono (Palm, Sánchez, Ahamed y Awiti, 2007). Las relaciones entre los procesos edafológicos o pedológicos e hidrológicos se engloban en un nuevo campo de estudio definido como hidropedología (Lin, 2003). Los primeros trabajos sobre los suelos presentes en los sitios ocupados por BMM se enfocaron en las zonas cafetaleras del estado de Veracruz (Jiménez-Ávila y Gómez-Pompa, 1982). En ellos se comparó la producción de nutrientes, almacenamiento de agua en el suelo, biomasa en el bosque y el cafetal. En gran medida, la distribución de los suelos en el BMM depende del material parental y se considera que el principal grupo de suelo en este ecosistema es el Podzol (Arteaga *et al.*, 2008). En el piso forestal los suelos de los BMM son húmedos con alto contenido de materia orgánica y humus (Hamilton *et al.*, 1995). El BMM enfrenta fuertes presiones de extracción forestal y cambio de uso de suelo a agricultura, las cuales pueden afectar las funciones ecológicas del suelo (Anaya *et al.*, 2016) los estados con mayor presión antropogénica en los BMM en México son Chiapas, Hidalgo y Veracruz (Conabio, 2010)

Una vez ocurrido el cambio de la cobertura y uso del suelo se origina la pérdida de la fertilidad y cambios en la composición mineralógica que afectan, la disponibilidad de nutrientes, que a su vez propician cambios en las propiedades del suelo y modifican la estructura de la vegetación (Bautista-Cruz y Del Castillo, 2005; Negrete-Yankelevich, Fragoso, Newton y Heal, 2007). Las técnicas de cultivo como la quema en zonas ocupadas por BMM modifican las propiedades del suelo, a tal grado que se estima que requieren un período de descanso de al menos 100 años con el fin de alcanzar una buena calidad del suelo en ecosistemas de BMM (Bautista-Cruz, Del Castillo, Etchevers-Barra, Gutiérrez-Castorena y Baez, 2012). Los grupos de suelos presentes en los BMM han sido escasamente estudiados en México; a la fecha solo Álvarez-Arteaga, Krasilnikov y García-Calderón, (2012), realizaron

un estudio de la distribución vertical de la descomposición de materia orgánica en un gradiente altitudinal del BMM en la Sierra Juárez de Oaxaca. La producción de biomasa en los BMM de los cafetales fue descrita para los sistemas agroforestales de Veracruz por Jiménez-Ávila y Gómez-Pompa (1982). De acuerdo con los resultados de Campos (2014), la temperatura del suelo y su agua retenida coregulan la transpiración del suelo. De acuerdo con Marín-Castro, Geissert, Negrete-Yankelevich y Gómez-Tagle (2016), el uso del suelo, el porcentaje de arcillas y el contenido previo de humedad determina la conductividad hidráulica y su distribución espacial. Por lo tanto, el conjunto de datos existentes sugiere que el calentamiento global podría tener un efecto negativo en la disponibilidad de agua en el suelo de los BMM, resultando en la disminución de la transpiración del suelo. En general el funcionamiento del componente subsuperficial ha sido aún menos estudiado debido a las dificultades metodológicas asociadas al trabajo en el perfil del suelo (Martínez-Yrizar, Álvarez-Sánchez y Maass, 2017).

Ecohidrología

La ecohidrología es el estudio de las interacciones entre la vegetación y la hidrología mediante la comprensión de los mecanismos en los que influyen las relaciones suelo-planta-agua-atmósfera a escala de ecosistema, cuenca hidrográfica o paisaje dentro del ciclo del agua (Asbjornsen *et al.*, 2011). En este sentido, los servicios ecosistémicos hidrológicos propician o limitan la vida en el planeta. En el campo de la ecohidrología se incluyen investigaciones sobre el efecto del cambio de la cobertura y el uso del suelo en la escorrentía e intercepción de lluvia y niebla por diferentes estratos de la vegetación, cambios en la dinámica hídrica, la vulnerabilidad de los bosques ante el cambio climático. Estas publicaciones son menores a pesar de que el primer trabajo sobre niebla y precipitación en México fue publicado en 1973. La primera aproximación de la ecohidrología general de los BMM con cultivos cafetaleros fue publicada por Jiménez-Ávila y Gómez-Pompa, en 1982 y posteriormente Barradas (1983) estimó que el *Pinus montezumae* Lambert, alcanza a captar hasta 57.9 L de agua

por hora a partir de la niebla en las montañas de Veracruz. Es hasta 2007 que los estudios hidrológicos, principalmente en el estado de Veracruz, empiezan a tener auge, midiendo en cuencas instrumentadas, los principales procesos del ciclo hidrológico como la intercepción de lluvia y niebla (precipitación horizontal) en los diferentes estratos de la vegetación, así como la escorrentía e infiltración en relación con el grado de conservación o disturbio en el que se encuentran estos bosques. El mayor número de publicaciones se han realizado en el estado de Veracruz; entre ellas destacan las siguientes: a) el manejo de los recursos hídricos como la captación de agua y la prevención de ciclos de inundación y sequía (Manson, 2004), b) la relación entre la intercepción de la lluvia y la niebla por el dosel en BMM secundario y maduro (Holwerda, Bruijnzeel, Muñoz-Villers, Equihua y Asbjornsen, 2010), c) la influencia de la cobertura del suelo con la estacionalidad de niebla y precipitación (Ponette-González, Weathers y Curran, 2010), d) los efectos del cambio de uso de suelo en la generación de escorrentía (Muñoz-Villers y McDonnell, 2013; Ponette-González *et al.*, 2013) y e) efectos hidrológicos del cambio de uso de suelo en el BMM (Muñoz-Villers *et al.*, 2015). Adicionalmente, se han realizado comparaciones de balance hídrico entre BMM maduro y secundario (Muñoz-Villers *et al.*, 2012a), estudios de escorrentía en relación con la precipitación (Muñoz-Villers y McDonnell, 2012b).

También se han realizado un análisis del funcionamiento hídrico en plantaciones de café dentro del BMM (Holwerda, Bruijnzeel, Barradas y Cervantes, 2013), investigaciones de la ecofisiología del BMM en función de los días con presencia de niebla (Gotsch *et al.*, 2014), observaciones de la transpiración del BMM durante la noche (Alvarado-Barrientos *et al.*, 2015), la estimación de la evapotranspiración (Ballinas, Esperón-Rodríguez y Barradas, 2015), un análisis de los factores que influyen en los tiempos de concentración de los flujos de agua en cuencas experimentales (Muñoz-Villers, Geissert y McDonnell, 2016), la respuesta estomática de las especies arbóreas del BMM en función del potencial hídrico de las hojas y su



transpiración (Esperón-Rodríguez y Barradas, 2016), el análisis de los efectos de la pendiente en los microclimas y en el consumo de agua de los árboles mediante la medición de flujo de savia de un BMM (Berry, Gotsch, Holwerda, Muñoz-Villers y Asbjornsen, 2016). Además, se realizó la medición de isótopos estables en BMM para entender la dinámica ecohidrológica (Goldsmith *et al.*, 2012).

En el estado de Veracruz, además se han estudiado las relaciones entre el clima y el uso del suelo en relación con el intercambio de energía, al evaluar los cambios en el intercambio de energía superficial asociado con la conversión de BMM a cultivos de café bajo sombra y caña de azúcar (Holwerda, Alvarado-Barrientos y González-Martínez, 2016), así como la influencia del grosor de la hojarasca y la estructura de las raíces en la conductividad hidráulica del suelo en los BMM secundarios (Marín-Castro, Negrete-Yankelevich y Geissert, 2017). Adicionalmente, se han usado organismos bioindicadores como *Odonata* para determinar la calidad del agua en este ecosistema (García-García *et al.*, 2017).

Con relación a la relación precipitación intercepción Nívar (2017), realizó una revisión de datos de precipitación e intercepción, la cual permitió adaptar modelos de intercepción de lluvia para los ecosistemas forestales de México, incluyendo los BMM, encontrando que el promedio empírico de intercepción para BMM es de 14% de la precipitación total. En este sentido Martínez-Yrizar y colaboradores (2017) publicaron un diagnóstico aproximado de la dinámica hidrológica y los flujos de nitrógeno y fósforo de los ecosistemas terrestres incluyendo algunas publicaciones de BMM, los resultados sugieren que, aunque existen investigaciones ecohidrológicas para México, aún falta investigar una importante cantidad de sitios, dada la heterogeneidad en el componente arbóreo de este ecosistema.

Cabe mencionar que la búsqueda de artículos sobre ecohidrología es compleja porque este tema está inmerso dentro de la ecología y la agricultura cuando se relaciona con la evapotranspiración, y con la hidrología en general cuando se trata de estudios sobre cuencas experimentales o

balance hídrico. Existen un total de 61 estudios ecohidrológicos para distintos ecosistemas del país, de ellos el mayor número es para matorrales xerófilos y tan solo 21 para BMM.

Cambio climático

El cambio climático es una consecuencia del calentamiento global debido el incremento de la temperatura del planeta como resultado del aumento en la proporción de los gases de efecto invernadero en la atmósfera (Williams-Linera, 2007). El cambio global estaría afectando el equilibrio del BMM al reducir la entrada de humedad; actualmente se ha registrado menor precipitación, menos días con niebla y un incremento en la duración e intensidad de los periodos de sequía (Foster, 2001; Sánchez-Ramos y Dirzo, 2014). Los bosques 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, 2011). El primer pronóstico en zonas cafetaleras, publicado por Barradas y Fanjul (1984), concluye que la deforestación de BMM provoca un descenso en la temperatura de 2°C, ocasionando heladas en los cafetales. Las publicaciones en esta área no son muy alentadoras en cuanto al futuro del BMM. Por un lado, se estima que el CO₂ en la atmósfera se duplicará de 2025 a 2050 y bajo este escenario habrá una disminución del agua aprovechable en el centro de México (Maderey y Jiménez 2000). Por otro lado, Monterroso-Rivas, Ramírez-García, Gómez-Díaz, Velázquez-Juárez y Rendón-Medel (2016), realizaron una evaluación de la disponibilidad hídrica del BMM en el estado de Hidalgo y consideran que el escenario de cambio climático para 2050 duplicará la demanda hídrica de las plantas. Mientras que las modificaciones de los patrones meteorológicos ya están afectando la riqueza florística (Salas-Morales, Meave y Trejo, 2015). Los modelos de cambio climático pronostican una disminución de las epífitas derivado del aumento de las temperaturas y el cambio de los regímenes de precipitación y condensación de nubes (Krömer, Acebey, Kluge y Kessler, 2013), ya que este grupo de plantas es altamente vulnerable a la pérdida

de hábitat y al cambio climático (Mondragón, Valverde y Hernández-Apolinar, 2015).

Los modelos bioclimáticos predicen la desaparición de especies características del BMM como *Magnolia schiedeana* y su tendencia a desplazarse al noreste de México (Vásquez-Morales *et al.*, 2014) y *Oreomunnea mexicana*, especie considerada, por un lado, de importancia biológica y cultural y, por otro, altamente especializada y sensible a los cambios ambientales, por lo que se estima una reducción de su hábitat a nivel nacional entre 36% y 55%, es (Alfonso-Corrado *et al.*, 2017). En el centro de Veracruz, el índice de vulnerabilidad permitió concluir que la especie más vulnerable ante el cambio climático, debido al el incremento gradual de la temperatura y la radiación, es *Liquidambar styraciflua* y la menos vulnerable *Persea longipes* (Esperón-Rodríguez y Barradas 2015a); así mismo, la especie más tolerante al estrés hídrico fue *Quercus xalapensis* (Esperón-Rodríguez y Barradas, 2015b). Los resultados anteriores sugieren que la distribución geográfica de las plantas se está modificando en respuesta al cambio climático (Prieto-Torres, Navarro-Sigüenza, Santiago-Alarcon y Rojas-Soto, 2016).

El bosque de niebla también se verá afectado por otros procesos atmosféricos, en particular los cambios en la formación de nubes. Una serie de modelos climáticos globales sugieren una reducción del nivel de nubosidad como consecuencia del cambio climático, lo cual podría alterar el equilibrio dinámico actual del bosque de niebla. Los resultados incluyen la pérdida de la biodiversidad derivados de los cambios de altitud en la distribución de las especies y posiblemente la muerte de los bosques fríos por no tener a donde moverse (Foster, 2001). Se prevé que el cambio climático podría afectar la distribución del BMM en el este y sur de México para el año 2050, como consecuencia de la reducción de la nubosidad, la cual se estima será entre 54% y 76% (Rojas-Soto, Sosa y Ornelas, 2012), ya que el BMM requiere estar inmerso en nubes de manera prolongada (Williams-Linera, 2007). Para el caso de México, la mayor parte de los escenarios de cambio estimados con diversos modelos plantean un incremento de

las temperaturas y una disminución de la precipitación para las áreas en que se distribuyen los principales BMM del país. Ponce-Reyes *et al.* (2012), estiman que para el 2080 hasta 68% de este ecosistema podría desaparecer en el país por los movimientos de la zona nubosa.

Gerez-Fernández y Pineda-López (2011) abordan la relación entre los BMM, calentamiento global y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la estrategia REDD+ con el fin de reducir la generación de gases de invernadero, así como y mitigar sus efectos; identificaron que las opciones más efectivas y económicas incluyen mejorar el manejo forestal y la conservación de bosques. El cambio climático no solo afectaría la flora, el grupo de los artrópodos serían afectados directamente como es el caso de la polilla *Coreura albicosta* Draudt, una especie rara y, aparentemente, endémica conocida solo de los bosques nublados del sur de México (Hernández-Baz, Romo, González, Hernández y Pastrana, 2016).

En las últimas décadas se han incrementado los artículos relacionados con el cambio climático en el bosque, pero los estudios para BMM de México aún son limitados en algunas zonas del territorio nacional, la mayoría están enfocados en el posible efecto sobre ciertas especies y no sobre el ecosistema en general, por lo que se hace evidente la necesidad de investigación en este tema para poder comprender y cuantificar el impacto del calentamiento global en el BMM de México.

CONCLUSIONES

Las principales líneas de investigación abordadas en los BMM están enfocadas a temas ecológicos; iniciando con la riqueza florística mediante la descripción de los componentes arbóreos, estructura y composición, la riqueza de especies animales por unidad de superficie, la fragmentación de bosque por procesos antrópicos o naturales, y consecuentemente con los procesos de sucesión secundaria y restauración ecológica. Sin embargo, en las últimas décadas sobresalen las investigaciones sobre servicios ambientales, proporcionados por este ecosistema. Los campos emergentes de la ecología y la hidropedología buscan deducir lo que sucede en el interior



del suelo y en la interacción entre planta y atmosfera. El trabajo multidisciplinario elaborado recientemente ayuda a entender el funcionamiento ecohidrológico del BMM. A pesar de la importancia hídrica del BMM y la escasez de agua dulce en el planeta, no se tienen las políticas de manejo adecuadas para este ecosistema altamente vulnerable a las presiones antropogénicas, por lo que se consideran necesaria la formulación de políticas que favorezcan su conservación ante el cambio de cobertura y uso del suelo. Se recomienda que en los modelos de cambio climático se incluya la vulnerabilidad antropogénica además de las variaciones climáticas.

Las publicaciones sobre este ecosistema no son numerosas y faltan áreas geográficas por estudiar (Sierra de Guerrero, Sierra de Tenzo, Puebla; Sierra de Milcumbres y Sierra sur de Michoacán), durante 2017 se descubrieron nuevos géneros de arácnidos y nuevas especies de plantas, pero los modelos indican que podría desaparecer antes de que logremos descubrir toda la riqueza biológica y entendamos su funcionamiento hídrico. Dado que los trabajos de investigación en áreas como la Edafología y la Ecohidrología son muy escasos y están concentrados en pocas localidades en México se hace un llamado a incrementar investigaciones en estos temas en zonas con BMM.

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo se realizó dentro del proyecto de investigación: “Evaluación espacio-temporal de valor hidrológico de un bosque mesófilo de montaña”, auspiciado por el programa PAPIIT clave IN107016. D.M.R.R. agradece al Conacyt la beca doctoral proporcionada; M.E.M. agradece a PASPA UNAM por su beca sabática.

REFERENCIAS

- Aguilar-Rodríguez, P. A., Krömer, T., García-Franco, J. G., & MacSwiney, G. (2016). From dusk till dawn: nocturnal and diurnal pollination in the epiphyte *Tillandsia heterophylla* (Bromeliaceae). *Plant Biology*, 18(1), 37-45. doi:10.1111/plb.12319
- Alfonso-Corrado, C., Naranjo-Luna, F., Clark-Tapia, R., Campos, J. E., Rojas-Soto, O. R., Luna-Krauletz, M. D., & 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. doi: 10.3390 / f8080261
- Alvarado-Barrientos, M. S., Holwerda, F., Geissert, D. R., Muñoz-Villers, L. E., Gotsch, S. G., Asbjornsen, H., & Dawson, T. E. (2015). Nighttime transpiration in a seasonally dry tropical montane cloud forest environment. *Trees*, 29(1), 259-274. doi: 10.1007/s00468-014-1111-1
- Álvarez-Aquino, C., Williams-Linera, G., & Newton, A. C. (2004). Experimental native tree seedling establishment for the restoration of a Mexican cloud forest. *Restoration Ecology*, 12 (3), 412-418. doi: 10.1111/j.1061-2971.2004.00398.x
- Álvarez-Arteaga, G., García-Calderón, N. E., Krasilnikov, P. & García-Oliva, F. (2013). Almacenes de carbono en bosques montanos de niebla de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Agrociencia*, 47(2), 171-180.
- Álvarez-Arteaga, G., Krasilnikov, P. & García-Calderón, N. E. (2012). Vertical distribution and soil organic matter composition in a montane cloud forest, Oaxaca, Mexico. *European Journal of Forest Research*, 131(6), 1643-1651. doi: 10.1007/s10342-012-0643-4
- Anaya, C. A., Mendoza, M., Rivera, M., Páez, R., & Olivares-Martínez, L. D. (2016). Contenido de carbono orgánico y retención de agua en suelos. *Agrociencia*, 50(2), 251-269.
- Arteaga, G. Á., Calderón, N. G., Krasilnikov, P. V., Sedov, S. N., Targulian, V. O. & Rosas, N.V. (2008). Soil altitudinal sequence on base-poor parent material in a montane cloud forest in Sierra Juárez, Southern Mexico. *Geoderma*, 144(3), 593-612. doi: 10.1016/j.geoderma.2008.01.025. doi:10.5751/ES-09144-220225
- Arellano, L., Favila, M., & Huerta, C. (2005). Diversity of dung and carrion beetles in a disturbed Mexican tropical montane cloud forest and on shade-coffee plantations. *Biodiversity and Conservation*, 14(3), 601-615. doi: 10.1007/s10531-004-3918-3
- Arriaga, L. (1988). Gap Dynamics of a Tropical Cloud Forest in Northeastern Mexico. *Biotropica*, 20(3), 178-184. doi: 10.2307/2388232
- Asbjornsen, H., Manson, R., Scullion, J., Holwerda, F., Muñoz-Villers, L. E., Alvarado-Barrientos, S., & Bruijnzeel, A. (2017). Interactions between payments for hydrologic services, landowner decisions, and ecohydrological consequences: synergies and disconnection in the cloud forest zone of central Veracruz, Mexico. *Ecology and Society*, 22(2). doi:10.1007/s10531-004-3918-3

- Asbjornsen, H., Goldsmith, G. R., Alvarado-Barrientos, M. S., Rebel, K., Van Osch, F. P., Rietkerk, M. & Gómez-Tagle, A. (2011). Ecohydrological advances and applications in plant–water relations research: a review. *Journal of Plant Ecology*, 4(1-2), 3-22. doi: 10.1093/jpe/rtr005
- Atondo-Bueno, E. J., López-Barrera, F. Bonilla-Moheno, M., Williams-Linera, G., & Ramírez-Marcial, N. (2016). Direct seeding of *Oreomunnea mexicana*, a threatened tree species from Southeastern Mexico. *New forests*, 47(6), 845-860. doi: 10.1007/s11056-016-9548-2
- Ballinas, M., Esperón-Rodríguez, M. & Barradas, V. L. (2015). Estimating evapotranspiration in the central mountain region of Veracruz, Mexico. *Bosque*, 36(3-2015). doi: 10.4067/S0717-92002015000300011
- Bautista-Cruz, A., Del Castillo, R. F., Etchevers-Barra, J. D., Gutiérrez-Castorena, M. C., & Baez, A. (2012). Selection and interpretation of soil quality indicators for forest recovery after clearing of a tropical montane cloud forest in Mexico. *Forest Ecology and Management*, 277, 74-80. doi: 10.1016/j.foreco.2012.04.013
- Bautista-Cruz, A., & Del Castillo, R. F. (2005). Soil changes during secondary succession in a tropical montane cloud forest area. *Soil Science Society of America Journal*, 69(3), 906-914. doi:10.2136/sssaj2004.0130
- Barradas, V. L., & Fanjul, L. (1984). La importancia de la cobertura arbórea en la temperatura del agroecosistema cafetalero. *Biótica*, 9(4), 415-421.
- Barradas, V. L. (1983). Capacidad de captación de agua a partir de la niebla en *Pinus montezumae* Lambert, de la región de las grandes montañas del estado de Veracruz. *Biótica*, 8(4), 427-431.
- Briones, O. L. (1991). Sobre la flora, vegetación y fitogeografía de la Sierra de San Carlos, Tamaulipas. *Acta Botánica Mexicana*, 15-43
- Berry, Z. C., Gotsch, S.G., Holwerda, F. Muñoz-Villers, L. E., & Asbjornsen, H. (2016). Slope position influences vegetation-atmosphere interactions in a tropical montane cloud forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 221, 207-218. doi: 10.1016/j.agrformet.2016.02.012
- Calderón-Aguilera, L. E., Rivera-Monroy, V. H., Porter-Bolland, L., Martínez-Yrizar, A., Ladah, L. B., Martínez-Ramos, M., & Pérez-Salicrup, D. R. (2012). An assessment of natural and human disturbance effects on Mexican ecosystems: current trends and research gaps. *Biodiversity and Conservation*, 21(3), 589-617. doi: 10.1007/s10531-011-0218-6
- Campos, A. (2014). Trends in soil respiration on the eastern slope of the Cofre de Perote Volcano (Mexico): Environmental contributions. *Catena*, 114, 59-66. doi: 10.1016/j.catena.2013.10.010
- Castaño-Meneses, G., Palacios-Vargas, J. G., Cano-Santana, Z., García-Franco, J.G., & Rico-Gray. (2016). The Role of Arthropods in the Growth of *Tillandsia violacea* (Bromeliaceae) in a Mexican Temperate Forest. *The American Midland Naturalist*, 175(2), 286-294. doi: 10.1674/0003-0031-175.2.286
- Catalán, H. C., López-Mata, L., & Terrazas, T. (2003). Estructura y composición florística y diversidad de especies leñosas de un bosque mesófilo de montaña de Guerrero México. *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica*, 74(2), 209-230
- Cayuela, L., Golicher, D. J., Benaya, J. M., González-Espinoza, M., & Ramírez-Marcial, N. (2006). Fragmentation, disturbance and tree diversity conservation in tropical montane forests. *Journal of Applied Ecology*, 43(6), 1172- 1181. doi: 10.1111/j.1365-2664.2006.01217.x
- Challenger, A., & Caballero, J. 1998. *Utilización y Conservación de los Ecosistemas Terrestres de México: Pasado, Presente y Futuro*. Conabio, Instituto de Biología. Sierra Madre, México, D. F. 847 p.
- Cramer, W., Bondeau, A., Woodward, F. I., Prentice, I. C., Betts, R. A., Brovkin, V., & Kucharik, C. (2001). Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO₂ and climate change: results from six dynamic global vegetation models. *Global change biology*, 7(4), 357-373. doi: 10.1046/j.1365-2486.2001.00383.x
- Comisión Nacional de Biodiversidad [Conabio]. (2010). *El Bosque Mesófilo de Montaña en México: Amenazas y Oportunidades para su Conservación y Manejo Sostenible*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 197 p
- De Groot, R.S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological economics*, 41(3), 393-408. doi: 10.1016/S0921-8009(02)00089-7
- Del Olmo-Ruiz, M., García-Sandoval, R., Alcántara-Ayala, O., Véliz, M., & Luna-Vega, I. (2017). Current knowledge of fungi from Neotropical montane cloud forests: distributional patterns and composition. *Biodiversity and Conservation*, 26(8), 1919-1942. doi: 10.1007/s10531-017-1337-5
- Díaz-García, J. M., Pineda, E., López-Barrera, F., & Moren, C. E. (2017). Amphibian species and functional diversity as indicators of restoration success in tropical montane forest. *Biodiversity and Conservation*, 26 (11), 2569-2589. doi: 10.1007/s10531-017-1372-2



- Esperón-Rodríguez, M., & Barradas, V. L. (2016). Stomatal responses of tree species from the cloud forest in central Veracruz, México. *Botanical Sciences*, 94(2), 311-321. doi: 10.17129/botsci.490
- Esperón-Rodríguez, M., & Barradas, V. L. (2015a). Comparing environmental vulnerability in the montane cloud forest of eastern Mexico: A vulnerability index. *Ecological Indicators*, 52, 300-310. doi: 10.1016/j.ecolind.2014.12.019
- Esperón-Rodríguez, M., & Barradas, V. L. (2015b). Ecophysiological vulnerability to climate change: water stress responses in four tree species from the central mountain region of Veracruz, Mexico. *Regional Environmental Change*, 15(1), 93-108. doi: 10.1007/s10113-014-0624-x
- Flores-Villela, O., & Gerez, P. (1994). *Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo*. Conabio - UNAM 439 p.
- Foster, P. (2001). The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews*, 55(1-2), 73-106. doi: 10.1016/S0012-8252(01)00056-3
- García-Burgos, J., Gallina, S., & González-Romero, A. (2014). Relación entre la riqueza de mamíferos medianos en cafetales y la heterogeneidad espacial en el centro de Veracruz. *Acta zoológica mexicana*, 30(2), 337-355.
- García-De La Cruz, Y., López-Barrera, F., & Ramos-Prado, J. (2016). Germination and seedling emergence of four endangered oak species. *Madera y Bosques*, 22(2), 77-87. doi: 10.21829/myb.2016.2221326
- García-García, P. L., Vázquez, G., Novelo-Gutiérrez, R., & Favila, M. E. (2017). Effects of land use on larval Odonata assemblages in cloud forest streams in central Veracruz, Mexico. *Hydrobiologia*, 785(1), 19-33. doi: 10.1007/s10750-016-2900-x
- García-Hernández, M. A., López-Barrera, F., & Vásquez-Reyes, V. M. (2016). Microhabitat affects acorn removal in three sympatric and endangered Neotropical oak species. *Ecological research*, 31(3), 343-351. doi: 10.1007/s11284-016-1342-2
- García-Martínez, M. Á., Valenzuela-González, J. E., Escobar-Sarria, F., López-Barrera, F., & Castaño-Meneses, G. (2017). The surrounding landscape influences the diversity of leaf-litter ants in riparian cloud forest remnants. *PLoS one*, 12(2), e0172464. doi: 10.1371/journal.pone.0172464
- Gerez-Fernández, P., & Pineda-López, M. R. (2011). Los bosques de Veracruz en el contexto de una estrategia estatal REDD+. *Madera y Bosques*, 17(3), 7-27. doi: 10.21829/myb.2011.1731140
- Goldsmith, G. R., Muñoz-Villers, L. E., Holwerda, F., McDonnell, J. J., Asbjornsen, H. & Dawson, T. E. (2012). Stable isotopes reveal linkages among ecohydrological processes in a seasonally dry tropical montane cloud forest. *Ecohydrology*, 5(6), 779-790. doi: 10.1002/eco.268
- Gómez-Pompa, A. (1978). *Ecología de la vegetación del estado de Veracruz*. México: Continental.
- Gómez-Pompa, A. (1966). *Estudios botánicos en la región de Misantla, Veracruz*. Mexico: Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables.
- González-Ávila, P. A., Luna-Vega, I., García-Sandoval, R., & Contreras-Medina, R. (2016). Distributional patterns of the Order Gomphales (Fungi: Basidiomycota) in Mexico. *Tropical Conservation Science*, 9(4), 1940082916667140. doi: 10.1177/1940082916667140
- González-Espinosa, M., Meave, J. A., Ramírez-Marcial, N., Toledo-Aceves, T., Lorea-Hernández, F. G., & Ibarra-Manríquez, G. (2012). Los bosques de niebla de México: conservación y restauración de su componente arbóreo. *Revista Ecosistemas*, 21(1-2).
- Gotsch, S. G., Asbjornsen, H., Holwerda, F., Goldsmith, G. R., Weintraub, A. E., & Dawson, T. E. (2014). Foggy days and dry nights determine crown-level water balance in a seasonal tropical montane cloud forest. *Plant, Cell & Environment*, 37(1), 261-272. doi: 10.1111/pce.12151
- Gual-Díaz, M., & Rendón-Correa, A. (Comps.). (2014). *Bosques mesófilos de montaña de México: diversidad, ecología y manejo*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 352 p.
- Gual-Díaz, M., & Goyenechea, I. (2014). Anfibios en el bosque mesófilo de montaña en México. En M. Gual-Díaz & A. Rendón-Correa (Comps.), *Bosques mesófilos de montaña de México: diversidad, ecología y manejo* (pp. 249-261). México, D.F.: Conabio.
- Hamilton, L. S., Juvik, J. O., & Scatena, F. N. (Eds.). (1995). *Tropical montane cloud forests*. Ecological Studies, New York: Springer Verlag. doi: 10.1007/978-1-4612-2500-3
- Hernández-Baz, F., Romo, H., González, J. M., Hernández, M. J., & Pastrana, R. G. (2016). Maximum entropy niche-based modeling (Maxent) of potential geographical distribution of *Coreura albicosta* (Lepidoptera: Erebiidae: Ctenuchina) in Mexico. *Florida Entomologist*, 99(3), 376-380. doi: 10.1653/024.099.0306
- Hietz, P. (2005). Conservation of vascular epiphyte diversity in Mexican coffee plantations. *Conservation Biology*, 19(2), 391-399. doi: 10.1111/j.1523-1739.2005.00145.x

- Holwerda, F., Alvarado-Barrientos, S., & González-Martínez, M. (2016). Surface energy exchange in a tropical montane cloud forest environment: Flux partitioning, and seasonal and land cover-related variations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 228, 13-28. doi: 10.1016/j.agrformet.2016.06.011
- Holwerda, F., Bruijnzeel, L. A., Barradas, V. L., & Cervantes, J. (2013). The water and energy exchange of a shaded coffee plantation in the lower montane cloud forest zone of central Veracruz, Mexico. *Agricultural and forest meteorology*, 173, 1-13. doi: 10.1016/j.agrformet.2012.12.015
- Holwerda, F., & Gotsch, S. (2012). La niebla y la ecología del bosque mesófilo de montaña en México. *Boletín de Ciencias de la Atmósfera* (06), 1-6.
- Holwerda, F., Bruijnzeel, L. A., Muñoz-Villers, L. E., Equihua, M., & Asbjornsen, H. (2010). Rainfall and cloud water interception in mature and secondary lower montane cloud forests of central Veracruz, México. *Journal of Hydrology*, 384(1), 84-96. doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.01.012
- Jardel-Peláez, E. J., Santiago, A. L., Cortes-Montaña, C. M., & Castillo-Navarro, F. (2004). Sucesión y dinámica de rodales. En R. Cuevas-Guzmán, & E. J. Jardel-Peláez (Eds.), *Flora y Vegetación de la Estación Científica Las Joyas* (pp. 179-203). Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- Jardel-Peláez, E. J. (1991). Perturbaciones naturales y antropogénicas y su influencia en la dinámica sucesional de los bosques de Las Joyas, Sierra de Manantlán, Jalisco. *Tiempos de Ciencia*, 22, 9-26.
- Jiménez-Ávila, E., & Gómez-Pompa, A. (Eds.). (1982). *Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero*. Xalapa, México: Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos.
- Jiménez-Valverde, A., Gómez, J. F., Lobo, J. M., Baselga, A., & Hortal, J. (2008). Challenging species distribution models: the case of *Maculinea nausithous* in the Iberian Peninsula. In *Annales Zoologici Fennici* 45(3), 200-210. doi: 10.5735/086.045.0305
- Krömer, T., Acebey, A. Kluge, J., & 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. doi: 10.1016/j.flora.2013.03.003
- Lin, H. (2003). Hydopedology. *Vadose Zone Journal*, 2(1), 1-11. doi:10.2136/vzj2003.1000
- Luna, I., Velázquez, A., & Velázquez, E. (2001). Los bosques nublados de México. En Kappelle M. & Brown A. D. (Eds.), *Bosques nublados del neotrópico* (pp. 183-229). Santo Domingo, Heredia, Costa Rica: Instituto Nacional de la Biodiversidad,
- Luna, I., & Llorente, J. (1993). *Historia natural del parque ecológico estatal Omiltemi, Chilpancingo, Guerrero, México*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Maderey, L. E., & Jiménez, A. (2000). Los recursos hidrológicos del centro de México ante un cambio climático global. En C. Gay, (Eds.), *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México* (pp. 39-53). México: Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Manson, R. H. (2004). Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. *Madera y Bosques*, 10(1), 3- 20. doi: 10.21829/myb.2004.1011276
- Marín-Castro, B. E., Negrete-Yankelevich, S., & Geissert, D. (2017). Litter thickness, but not root biomass, explains the average and spatial structure of soil hydraulic conductivity in secondary forests and coffee agroecosystems in Veracruz, Mexico. *Science of the Total Environment*, 607, 1357-1366. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.07.064
- Marín-Castro, B. E., Geissert, D., Negrete-Yankelevich, S., & Gómez-Tagle, A. (2016). Spatial distribution of hydraulic conductivity in soils of secondary tropical montane cloud forests and shade coffee agroecosystems. *Geoderma*, 283, 57-67. doi: 10.1016/j.geoderma.2016.08.002
- Martínez-Ambriz, E., & Lozada-Pérez, L. (2016). *Cladocolea molotensis (Loranthaceae)*, a new species for the cloud forest of Guerrero, México. *Phytotaxa*, 265(2), 151-156. doi: 10.11646/phytotaxa.265.2.7
- Martínez, M. L., Pérez-Maqueo, G., Vázquez, G. Castillo-Campos, J., García-Franco, K., Mehlreter, M., Equihua, M., & Landgrave, R. (2009). Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. *Forest Ecology and Management*, 258(9), 1856-1863. doi: 10.1016/j.foreco.2009.02.023
- Martínez-Yrizar, A., Álvarez-Sánchez, J., & Maass, M. (2017). Análisis y perspectivas del estudio de los ecosistemas terrestres de México: dinámica hidrológica y flujos de nitrógeno y fósforo. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 27-41. doi: 10.1016/j.rmb.2017.10.008
- Maya-Morales, J., Ibarra-Núñez, G., León-Cortés, J. L., & Infante, F. (2012). Understory spider diversity in two remnants of tropical montane cloud forest in Chiapas, Mexico. *Journal of Insect Conservation*, 16(1), 25-38. doi: 10.1007/s10841-011-9391-x
- Meave, J., Soto, M. A., Calvo, L. M., Paz, H., & Valencia, S. (1992). Análisis sin ecológico del bosque mesófilo de montaña de Omiltemi, Guerrero. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 53(1), 31-77.



- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis*. Washington, D.C: World Resources Institute.
- Miranda, F. (1947). Estudios sobre la vegetación de México. V. Rasgos de la vegetación en la Cuenca del Río de las Balsas. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 8, 95-114.
- Mondragón, D., Valverde, T., & Hernández-Apolinar, M. (2015). Population ecology of epiphytic angiosperms: a review. *Tropical Ecology*, 56, 1–39.
- Monterroso-Rivas, A. I., Ramírez-García, A. G., Gómez-Díaz, J. D., Velázquez-Juárez, Y., & Rendón-Medel, R. (2016). Cambio en la disponibilidad hídrica futura en un bosque mesófilo de montaña de México. *Interciencia*, 41(4), 266-272.
- Muniz-Castro, M. A., Williams-Linera, G., & Rey B., J. M. (2006). Distance effect from cloud forest fragments on Veracruz, Mexico. *Journal of Tropical Ecology*, 22(4), 431- 440. doi: 10.1017/S0266467406003221
- Muñoz-Villers, L. E., Geissert, D. R., & McDonnell, J. J. (2016). Factors influencing stream baseflow transit times in tropical montane watersheds. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(4), 1621. doi: 10.5194/hess-20-1621-2016
- Muñoz-Villers, L. E., Holwerda, F., Alvarado-Barrientos, M. S., Geissert, D., Marín-Castro, B., Gómez-Tagle, A., & Bruijnzeel, A. (2015). Efectos hidrológicos de la conversión del bosque de niebla en el centro de Veracruz, México. *Bosque (Valdivia)*, 36(3), 395-407. doi: 10.4067/S0717-92002015000300007
- Muñoz-Villers, L.E., & McDonnell, J.J. (2013). Land use change effects on runoff generation in a humid tropical montane cloud forest region. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(9), 3543-3560. doi: 10.5194/hess-17-3543-2013
- Muñoz-Villers, L. E., Holwerda, F., Gómez-Cárdenas, M., Equihua, M., Asbjornsen, H., Bruijnzeel, L. A., & Tobón, C. (2012a). Water balances of old-growth and regenerating montane cloud forests in central Veracruz, México. *Journal of Hydrology*, 462, 53-66. doi: 10.1016/j.jhydrol.2011.01.062
- Muñoz-Villers, L. E., & McDonnell, J. J. (2012b). Runoff generation in a steep, tropical montane cloud forest catchment on permeable volcanic substrate. *Water Resources Research*, 48(9). doi: 10.1029/2011WR011316
- Návar, J. (2017). Fitting rainfall interception models to forest ecosystems of Mexico. *Journal of Hydrology*, 548, 458-470. doi: 10.1016/j.jhydrol.2017.03.025
- Negrete-Yankelevich, S., Fragoso, C., Newton, A. C., & Heal, O. W. (2007). Successional changes in soil, litter and macroinvertebrate parameters following selective logging in a Mexican Cloud Forest. *Applied Soil Ecology*, 35(2), 340-355. doi: 10.1016/j.apsoil.2006.07.006
- Ortiz-Arrona, C. (1999). *Environmental effects on cloud forest tree seedling establishment under a Pinus canopy in Mexico*. Tesis M.Sc. Departamento de Ciencias en Suelo y Cubierta Vegetal. Universidad de Aberdeen, Aberdeen, Escocia.
- Palm, C., Sánchez, P., Ahamed, S., & Awiti, A. (2007). Soils: A contemporary perspective. *Annual Review of Environment and Resources*, 32, 99-129. doi: 10.1146/annurev.energy.31.020105.100307
- Pedraza, R. A., & Williams-Linera, G. (2003). Evaluation of native tree species for the rehabilitation of deforested areas in a Mexican cloud forest. *New Forests*, 26(1), 83-99. doi: 10.1023/A:1024423511760
- Pérez-García, O., & Del Castillo, R. F. (2017). Shifts in swidden agriculture alter the diversity of young fallows: Is the regeneration of cloud forest at stake in southern Mexico?. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 248, 162-174. doi: 10.1016/j.agee.2017.07.024
- Perfecto, I., & Vandermeer, J. (2002). Quality of agroecological matrix in a tropical montane landscape: Ants in coffee plantations in southern Mexico. *Conservation Biology*, 16(1), 174-182. doi: 10.1046/j.1523-1739.2002.99536.x
- Pineda, E., Moreno, C., Escobar, F., & Halffter, G. (2005). Frog, bat, and dung beetle diversity in the cloud forest and coffee agroecosystems of Veracruz, Mexico. *Conservation Biology*, 17(2), 400-410. doi: 10.1111/j.1523-1739.2005.00531.x
- Pineda-López, M. R., Ortiz-Ceballos, G., & Sánchez-Velásquez, L. R. (2005). Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz. *Madera y Bosques*, 11(2), 3-14. doi: 10.21829/myb.2005.1121253
- Pinkus, R., Ibarra-Nú, M. A., Atnez, G., Parra-Tabla, V., García-Ballinas, J. A., & Hénaut, Y. (2006). Spider diversity in coffee plantations with different management in Southeast Mexico. *Journal of Arachnology*, 34(1), 104-112. doi: 10.1636/M03-044.1
- Ponce-Reyes, R., Reynoso-Rosales, V. H., Watson, J. E., Van DerWal, J., Fuller, R. A., Pressey, R. L., & Possingham, H. P. (2012). Vulnerability of cloud forest reserves in Mexico to climate change. *Nature Climate Change*, 2, 448-452. doi: 10.1038/nclimate1453
- Ponette-González, A. G., Marín-Spiotta, E., Brauman, K. A., Farley, K. A., Weathers, K. C., & Young, K. R. (2013). Hydrologic connectivity in the high-elevation tropics: Heterogeneous responses to land change. *BioScience*, 64(2), 92-104. doi: 10.1093/biosci/bit013

- Ponette-González, A. G., Weathers, K. C., & Curran, L. M. (2010). Water inputs across a tropical montane landscape in Veracruz, Mexico: synergistic effects of land cover, rain and fog seasonality, and interannual precipitation variability. *Global Change Biology*, 16(3), 946-963. doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.01985.x
- Prieto-Torres, D. A., Navarro-Sigüenza, A. G., Santiago-Alarcon, D., & Rojas-Soto, O. R. (2016). Response of the endangered tropical dry forests to climate change and the role of Mexican Protected Areas for their conservation. *Global Change Biology*, 22(1), 364-379. doi: 10.1111/gcb.13090
- Puig, H. (1993). *Árboles y arbustos del bosque mesófilo de montaña de la Reserva El Cielo, Tamaulipas, México*. México: Instituto de Ecología.
- Puig, H. (1989). Análisis fitogeográfico del bosque mesófilo de Gómez Farías. *Biotam*, 1(2), 34-53.
- Puig, H., Bracho, R., & Sosa, V. (1987). Bosque mesófilo de montaña: Composición florística y estructura. En: Puig, H. y Bracho, R. (Eds). *El bosque mesófilo de montaña de Tamaulipas* (pp. 55-80). México: Instituto de Ecología, A. C.
- Puig, H., Bracho, R. & Sosa, V. (1983). Composición florística y estructura del bosque mesófilo en Gómez Farías, Tamaulipas, México. *Biótica*, 8, 339-359
- Quintana-Ascencio, P. F., Ramírez-Marcial, N., González-Espinosa, M., & Martínez-Ico, M. (2004). Sapling survival and growth of conifer and broad-leaved trees in successional highland habitats in Mexico. *Applied Vegetation Science*, 7, 81-88. doi: 10.1111/j.1654-109X.2004.tb00598.x
- R Core Team. (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ramírez-Marcial, N., Camacho-Cruz, A., González-Espinosa, M., & López-Barrera, F. (2006). Establishment, survival and growth of tree seedlings under successional montane oak forests in Chiapas, Mexico. En M. Kappelle, (Ed.), *Ecology and conservation of neotropical oak forests* (pp. 177-189) Berlin, Heidelberg: Springer. doi: 10.1007/3-540-28909-7_14
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. (1ra edición digital). México: Conabio.
- Rodríguez L., R., Jiménez P., J., Aguirre C., O., A., & Treviño G., E., J. (2006). Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. *Ciencia UANL*, 9(2).
- Rojas-Soto, O. R., Sosa, V., & 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. doi: 10.1007/s10531-012-0327-x
- Salas-Morales, S. H., Meave, J. A., & Trejo, I. (2015). The relationship of meteorological patterns with changes in floristic richness along a large elevational gradient in a seasonally dry region of southern Mexico. *International Journal of Biometeorology*, 59(12), 1861-1874. doi: 10.1007/s00484-015-0993-y
- Saldaña-Acosta, A., Ortiz-Arrona, C., Zuloaga-Aguilar, S. & Jardel-Peláez, E. J. (2001). *Regeneración de especies maderables de bosque mesófilo de montaña en la Sierra de Manantlán. Memorias del V Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales* (pp. 365- 374). Guadalajara, México. Sociedad Mexicana de Recursos Forestales A. C. y Universidad de Guadalajara, Jal.
- Sánchez-Ramos, G., & Dirzo, R. (2014). El bosque mesófilo de montaña: un ecosistema prioritario amenazado. En M. Gual-Díaz y A. Rendón-Correa, Comps. *Bosques mesófilos de montaña de México: diversidad, ecología y manejo* (pp. 109-139). México, D. F.: Conabio.
- Sánchez, V. L. R., & García, M. E. (1993). Sucesión forestal en los bosques mesófilos de montaña y de *Pinus* de la Sierra de Manantlán, Jalisco, México. *Agrociencia Serie Recursos Naturales*, 3, 7-26
- Santana, G., Mendoza, M., Salinas, V. Pérez-Salicrup, D., Martínez, & Aburto, I. (2014). Análisis preliminar de la diversidad y estructura arbórea-arbustiva del bosque mesófilo en el Sistema Volcánico Transversal de Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(4), 1104-1116. doi: 10.7550/rmb.41519
- Scullion, J., Thomas, C. W., Vogt, K. A., Pérez-Maqueo, O., & Logsdon, M. G. (2011). Evaluating the environmental impact of payments for ecosystem services in Coatepec (Mexico) using remote sensing and on-site interviews. *Environmental Conservation*, 38(4), 426-434. doi: 10.1017/S037689291100052X
- Solís-Montero, L., Flores-Palacios, A., & Cruz-Angon, A. (2005). Shade-coffee plantations as refuges for tropical wild orchids in central Veracruz, Mexico. *Conservation Biology*, 19(3), 908-916. doi: 10.1111/j.1523-1739.2005.00482.x
- Sosa, V., Ornelas, J. F., Ramírez-Barahona, S., & Gándara, E. (2016). Historical reconstruction of climatic and elevation preferences and the evolution of cloud forest-adapted tree ferns in Mesoamerica. *PeerJ* 2696(4), 1-25. doi: 10.5061/dryad.709t8.
- Toledo-Aceves, T. (2017). Germination rate of endangered cloud forest trees in Mexico: potential for ex situ propagation. *Journal of Forest Research*, 22(1), 61-64. doi: 10.1080/13416979.2016.1273083



- Toledo-Aceves, T., & Hernández-Apolinar, M. (2016). Population dynamics of the epiphytic bromeliad *Tillandsia butzii* in cloud forest. *Acta Oecologica*, 71(2016), 47e51. doi: 10.1016/j.actao.2016.01.007
- Toledo-Aceves, T., Meave, J. A., González-Espinosa, M., & Ramírez-Marcial, N. (2011). Tropical montane cloud forests: current threats and opportunities for their conservation and sustainable management in Mexico. *Journal of environmental management*, 92(3), 974-981. doi: 10.1016/j.jenvman.2010.11.007
- Vásquez-Morales, S. G., Téllez-Valdés, O., del Rosario Pineda-López, M., Sánchez-Velásquez, L. R., Flores-Estevez, N., & Viveros-Viveros, H. (2014). Effect of climate change on the distribution of *Magnolia schiedeana*: a threatened species. *Botanical Sciences*, 92(4), 575-585. doi: 10.17129/botsci.116
- Van Vleet, E., Bray, D. B., & Durán, E. (2016). Knowing but not knowing: Systematic conservation planning and community conservation in the Sierra Norte of Oaxaca, Mexico. *Land Use Policy*, 59, 504-515. doi: 10.1016/j.landusepol.2016.09.010
- Villaseñor, J. L. (2010). *El bosque húmedo de montaña en México y sus plantas vasculares: catálogo florístico-taxonómico*. México, D.F.: Conabio-UNAM.
- Vogelmann, H. W. (1973). Fog precipitation in the cloud forests of eastern Mexico. *Bioscience*, 23(1), 96-100. doi: 10.2307/1296569
- Williams-Linera, G., Bonilla-Moheno, M., & López-Barrera, F. (2016). Tropical cloud forest recovery: the role of seed banks in pastures dominated by an exotic grass. *New forests*, 47(3), 481-496. doi: 10.1007/s11056-016-9526-8
- Williams-Linera, G. (2015). El bosque mesófilo de montaña, veinte años de investigación ecológica ¿qué hemos hecho y hacia dónde vamos? *Madera y Bosques*, 21(Esp.), 51-61. doi: 10.21829/myb.2015.210426
- Williams-Linera, G., Toledo-Garibaldi, M., & Hernández, C. G. (2013). How heterogeneous are the cloud forest communities in the mountains of central Veracruz, Mexico? *Plant Ecology*, 214(5), 685-701. doi: 10.1007/s11258-013-0199-5
- Williams-Linera, G. (2007). *El bosque de niebla del centro de Veracruz: ecología, historia y destino en tiempos de fragmentación y cambio climático*. Xalapa, Veracruz: Instituto de Ecología, A.C.-Conabio.
- Wolf, J. H. D. (2005). The response of epiphytes to anthropogenic disturbance of pine-oak forests in the highlands of Chiapas, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 212(1- 3), 376-393. doi: 10.1016/j.foreco.2005.03.027
- Zamudio, S., Rzedowski, J., Carranza, G. E., & Calderón de Rzedowski, G. (1992). *La Vegetación en el estado de Querétaro*. Pátzcuaro, Michoacán, México: Instituto de Ecología.

Manuscrito recibido el 12 de abril de 2018

Aceptado el 24 de septiembre de 2018

Publicado el 29 de julio de 2019

Este documento se debe citar como:

Rosas R., D. M., Mendoza, M. E., Gómez-Tagle, A., & Tobón M., C. (2019). Avances y desafíos en el conocimiento de los bosques mesófilos de montaña de México. *Madera y Bosques*, 25(1), e2511759. doi: 10.21829/myb.2019.2511759



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