



# El bosque mesófilo de montaña, veinte años de investigación ecológica ¿qué hemos hecho y hacia dónde vamos?

Tropical montane cloud forest, twenty years of ecological research. What have we done and where are we going?

Guadalupe Williams-Linera<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ecología, A.C. Carretera Antigua a Coatepec 351 Xalapa, Veracruz, México.  
guadalupe.williams@inecol.mx

## RESUMEN

El bosque mesófilo de montaña (BMM) es un tema de actualidad y, pareciera que con larga tradición de investigación ecológica pero el BMM, desde un punto de vista ecológico, ha empezado a estudiarse intensamente en los últimos 20 años con un impresionante desarrollo y despunte en varias áreas solamente en los últimos 10 años. El objetivo del presente artículo es presentar una revisión de 1995 a 2014 de varios temas de investigación para tener una retrospectiva, una visión actual y un vislumbre de hacia dónde se dirigen los estudios futuros de ecología del bosque mesófilo de montaña de México y particularmente en el bosque de Veracruz. Los temas más estudiados en el BMM están relacionados con biodiversidad y perturbaciones. En la última década se han consolidado temas prácticos que aparentemente tuvieron que esperar a que las condiciones de perturbación y destrucción del bosque los impulsaran, como son la restauración ecológica y los servicios ecosistémicos. Los temas a futuro deben relacionar la resiliencia del bosque, procesos y componentes ante los efectos del cambio climático.

**PALABRAS CLAVE:** biodiversidad, cambio climático, ecología del bosque de niebla, restauración ecológica, revistas científicas, *Web of Science*.

## ABSTRACT

Tropical montane cloud forest (TMCF) is a current issue. It would appear that TMCF had an extended tradition in ecological research, but it is only during the last 20 years that it has been intensively studied. The last 10 years have seen an impressive development in ecological knowledge and the emergence of several research lines. The objective of this paper is to present a review of the TMCF ecological research published in 1995-2014 to have a retrospective, a current view and a glimpse of future studies in Mexico and, particularly, in the state of Veracruz. Biodiversity and disturbance have been the most addressed issues in TMCF. In the last decade, following disturbance and habitat loss of the TMCF, more applied topics such as ecological restoration and ecosystem services have been consolidated. Forthcoming topics will be relating forest resilience with forest processes, components and climate change effects.

**KEYWORDS:** biodiversity, climate change, cloud forest ecology, ecological restoration, scientific journals, *Web of Science*.

## INTRODUCCIÓN

El bosque mesófilo de montaña incluye una de las más importantes colecciones de la biodiversidad de México, ensambles de plantas, animales y hongos que son vitales

para el funcionamiento del ecosistema y además provee bienes y servicios ambientales, incluyendo ecoturismo. Pero la sustentabilidad y permanencia a mediano y largo plazo está amenazada por la destrucción del hábitat y por

el cambio climático (Sánchez-Ramos y Dirzo, 2014). El bosque mesófilo de montaña (BMM) se ha convertido en un tema de actualidad y, pareciera que, con larga tradición de investigación ecológica pero el BMM, desde un punto de vista ecológico, ha empezado a estudiarse intensivamente en los últimos 20 años con un impresionante despunte en varias áreas solamente en los últimos 10 años y un vislumbre reciente en otras líneas de investigación que aún falta explorar.

El término ‘bosque mesófilo de montaña’ se utilizó por primera vez hace más de 65 años cuando Faustino Miranda (1947) se refirió a un tipo de bosque en la cuenca del río Balsas que se desarrolla en el mismo piso altitudinal del encinar, pero ocupa las barrancas, donde las condiciones de humedad en el suelo y en el aire son favorables. El término fue ampliamente aceptado desde que Jerzy Rzedowski (1978) lo extendió a todo el territorio nacional y acotó que el BMM tiene una distribución limitada y fragmentaria ya que las condiciones climáticas que requiere se presentan en zonas restringidas que corresponde en México al clima húmedo de altura. Efectivamente, el término BMM es muy apropiado porque se refiere a todos los tipos de bosque húmedo de montaña (Villaseñor, 2010) incluyendo bosques que pueden no ser altamente lluviosos o donde la niebla puede ser rara durante gran parte del año.

El BMM desde un punto de vista florístico y estructural ha llamado la atención de viajeros y colectores desde el siglo XIX (Williams-Linera, 2007) quienes lo describieron de varias maneras. Los estudios formales se pueden encontrar desde mediados del siglo XX y descripciones de sitios desde hace decenas de años. Sin embargo, investigaciones y publicaciones netamente ecológicas fueron escasas antes de los 90s.

En México, la ecología empieza a desarrollarse como ciencia en la década de los 70s. El puñado de artículos sobre ecología que aparecieron en esa década trataban temas que se encontraban en la frontera en algunas ramas de la ecología básica y aplicada y aún en ecología teórica (Guevara-Sada, 1990). La década de los 80s se considera como la década de la consolidación de las especialidades en eco-

logía, tales como ecofisiología, interacción planta-animal, ecología y genética de poblaciones (Guevara-Sada, 1990).

Los ecólogos mexicanos tradicionalmente concentraron su actividad en los bosques tropicales perennifolios, los bosques tropicales caducifolios y los matorrales xerófilos, y hasta antes de la década de los 90s, los bosques mesófilos de montaña recibieron escasa atención (Martínez-Ramos, 1994). Martínez-Ramos (1994) menciona que del total de artículos científicos sobre los bosques mexicanos aparecidos en revistas de circulación nacional e internacional de 1980 a 1994 ( $n = 259$ ), solo el 5% ( $n = 13$ ) se referían al BMM.

En 1993, se hizo una revisión exhaustiva de estudios sobre la ecología del bosque mesófilo para una presentación en el Congreso Mexicano de Botánica (Williams-Linera, 1993), y se compiló una lista de alrededor de 80 publicaciones entre artículos, libros y tesis. Entre ellas, 21 artículos tratan diversos aspectos ecológicos y fueron publicados en revistas científicas internacionales y principalmente en revistas nacionales como *Acta Botanica Mexicana*, *Biotica* y *Boletín de la Sociedad Botánica Mexicana* (Tabla 1).

La ecología tiene su origen en la historia natural y por eso las primeras publicaciones tienden a ser muy descriptivas y específicas para un sitio (Sutherland *et al.*, 2013).

Tabla 1. Número de artículos publicados en revistas internacionales y nacionales antes de 1995.

Tema	antes 1980	1980-1994
Dinámica de claros/disturbio	-	2
Epífitas y hemiepífitas	-	2
Estructura de la vegetación y composición	3	5
Ecohidrología/niebla	1	-
Hojarasca/descomposición	-	2
Ecología/biología reproductiva	-	2
Sucesión secundaria/bordes	-	6
Banco de semillas del suelo	-	1



Esto lo vemos también en las publicaciones de BMM; se han publicado decenas de artículos con descripciones puntuales de sitios con BMM en revistas nacionales. Los estudios del bosque mesófilo de montaña anteriores a 1993 se enfocaron necesariamente en describir el bosque; destacan estudios de comunidades en lugares como la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas (Puig y Bracho, 1987) o Guerrero (Meave *et al.*, 1992). Desde entonces ha habido avances notables, sin embargo, cabe destacar que muchos de los temas de estudio sobre la ecología de bosques mesófilos que se consolidarían en la última década ya se habían iniciado en la década de los 90s e incluso antes. Por ejemplo, perturbación y dinámica de claro (Arriaga, 1988), estudios de la sucesión secundaria (González-Espinosa *et al.*, 1991), los cafetales como agroecosistemas (Jiménez-Avila y Gómez-Pompa, 1982), e incluso la ecohidrología (Vogelmann, 1973). Hay temas que han avanzado de cero a alcanzar un franco proceso de consolidación y actualmente están siendo muy estudiados como la restauración ecológica, o los servicios ambientales.

En el presente artículo se revisan las tendencias en la investigación reciente (20 años) llevada a cabo en BMM de México y particularmente en el bosque de Veracruz – y por tratarse de un ensayo especial para celebrar a *Madera y Bosques*, se hace un breve recuento de que ha pasado por las páginas de la revista durante esos 20 años.

El objetivo del presente artículo es presentar una revisión de 1995 a 2014 y una mirada hacia el futuro de la investigación en ecología del bosque mesófilo de montaña. Las preguntas son: ¿Qué hemos avanzado en ecología del BMM de Veracruz en la última década? y ¿Hacia dónde vamos? Los temas para agrupar áreas de investigación se eligieron para tener una retrospectiva, una visión actual y un vislumbre de hacia donde se dirigen los estudios futuros.

## MÉTODOS

La información sobre el número de artículos publicados en revistas indexadas se obtuvo en una búsqueda avanzada del *Web of Science* (WoS) realizada en septiembre del 2015. Se utilizó la cadena de texto: “*tropical montane cloud forest\* or tropical lower montane forest\* or tropi-*

*cal upper montane forest\*\**”, extrayendo después las referencias sobre “México” y a continuación sobre “Veracruz”. Las bases de datos anuales se filtraron eliminando las referencias sobre otros tipos de vegetación. Únicamente se contaron publicaciones que estuvieran relacionadas con campos de la ecología (procesos, poblaciones, comunidades, ecosistemas, grupos de organismos) excluyendo estudios con un objetivo en la descripción de nuevas especies o en presentar listados de especies. Hay varias formas de cortar el pastel para clasificar los artículos en grupos de interés, para esta revisión se decidió considerar temas generales como biodiversidad, disturbio, sucesión, restauración, servicios ambientales y cafetales (Tabla 2).

Tabla 2. Temas generales y cadenas utilizadas en la búsqueda de artículos indexados publicados entre 1995 y 2014 sobre el bosque mesófilo de montaña. Los valores son el número global de artículos (GL), los artículos sobre investigación ecológica en México (MX) y en Veracruz (VE).

Temas generales	Cadena	GL	MX	VE
Bosque mesófilo de montaña	<i>tropical montane cloud forest or tropical lower montane forest* or tropical upper montane forest*</i>	987	138	62
Diversidad	<i>diversity</i>	391	80	35
Biodiversidad	<i>biodiversity</i>	190	37	18
Árboles	<i>tree*</i>	527	83	38
Disturbio/perturbación	<i>disturbance</i>	193	40	13
Sucesión secundaria	<i>succession*</i>	131	30	9
Restauración ecológica	<i>restoration</i>	58	18	9
Servicios ecosistémicos	<i>ecosystem services or environmental services</i>	28	6	4
Cafetales	<i>coffee</i>	42	26	21
Cambio climático	<i>global change or clima* change</i>	254	31	13
Ecohidrología	<i>hydrology or ecohydrology</i>	39	4	4

En una lista depurada donde se verificó que se trataran exclusivamente temas ecológicos e investigación llevada a cabo en México, se analizaron las principales líneas de investigación que se han desarrollado en la última década, que han pasado de cero publicaciones a un incremento considerable, es decir, las temáticas que han despegado o comenzado a despegar en los últimos años, y la investigación prometedor a futuro.

Para detectar algunos de los artículos más citados en cada tema se usó como herramienta el factor *b-index* del WoS. Esta métrica indica el número de artículo que tienen al menos “*b*” número de citas. Es un indicador útil porque descuenta el peso desproporcionado de artículos altamente citados o de artículos recientemente publicados que todavía no están citados (WoS, Hirsch, 2005).

El procedimiento seguido tiene sus limitaciones; en primer lugar, solamente se consultó el WoS, y sabemos de una enorme cantidad de artículos han aparecido en español en revistas nacionales. Segundo, sin duda alguna, otros autores harían una lista diferente ya que muchos artículos aparecen en varios grupos y no se intentó hacer cruzamientos para los objetivos de esta revisión. Tercero, la selección de temas fue necesariamente arbitraria, pero la búsqueda, aunque no es exhaustiva, se espera que indique las tendencias sobre el número de publicaciones por tema y por década.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al consultar WoS usando la cadena de ‘*tropical montane cloud forest\* or tropical lower montane forest\* or tropical upper montane forest\**’, el resultado fue más acotado que usando otras cadenas. A nivel mundial, anteriormente a 1979 no hubo publicaciones registradas sobre bosques mesófilos, y entre 1980 y 1994 se encontraron menos de 50 publicaciones. Posteriormente, y a partir de 1995 se incrementó notablemente la producción de artículos en revistas indexadas: de 1995 a 2004 llegaron a 288 artículos, y de 2005 a 2014 se registraron 699 (Fig. 1). En 1995 ocurrió un parteaguas, tal vez catalizado por reuniones internacionales sobre bosques de niebla llevadas a cabo en 1993 o tal vez era el tiempo de maduración del interés por

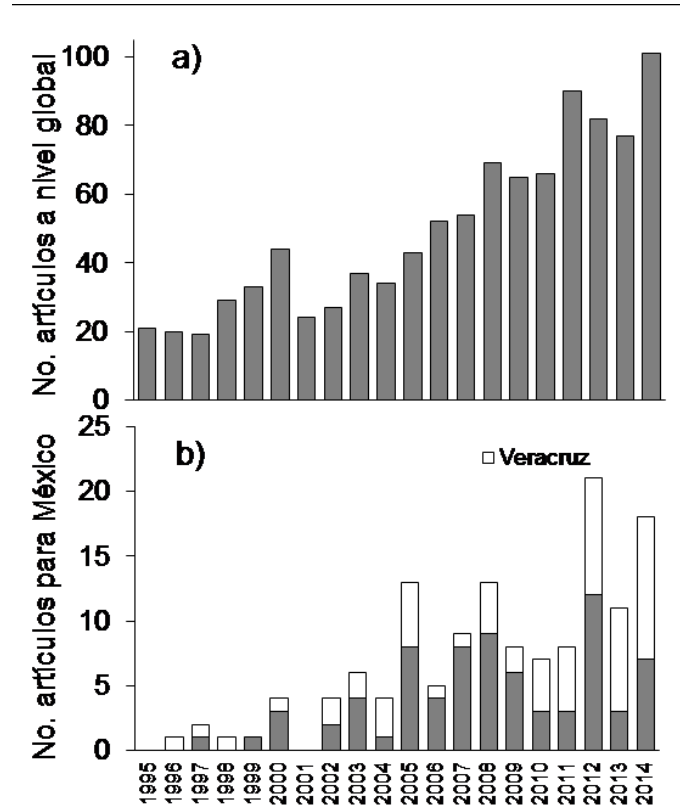


FIGURA 1. Número de artículos encontrados en *Web of Science* para la cadena “*tropical montane cloud forest\* or tropical lower montane forest\* or tropical upper montane forest\**” en septiembre 2015 (lista depurada). a) número de artículos a nivel global, b) número de artículos sobre México (barra completa) y Veracruz (parte blanca de la barra).

conocer el ecosistema lo cual captó la atención de más investigadores. Dado lo anterior, se decidió comparar dos décadas: 1995 a 2004 y 2005 a 2014.

Al usar número de artículos obviamente que hay una fuerte desviación ya que se trata también de un reflejo en el aumento global de publicaciones sobre ecología de bosques húmedos de montaña (Fig. 1a). Sin embargo, el porcentaje de artículos sobre BMM de México se duplicó respecto al total de artículos publicados a nivel global según el WoS pasando de 8.0% (23) en 1995-2004 a 16.2% (113) en 2005-2014 (Fig. 1b, 2a).

A continuación se presentan las tendencias temáticas de las publicaciones encontradas. Dentro de cada uno de



los temas presentados se mencionan los artículos sobre BMM publicados en las últimas dos décadas y que han sido muy citados. Definitivamente, el aumento en el número de publicaciones en revistas indexadas internacionales es un buen indicador del desarrollo de las investigaciones sobre BMM. Respecto al número de citas, como lo mencionan Bradshaw *et al.* (2011), aunque no consideramos que las citas científicas por sí solas reflejen suficientemente el valor de un artículo, si nos dan un indicador de su influencia sobre direcciones de investigación.

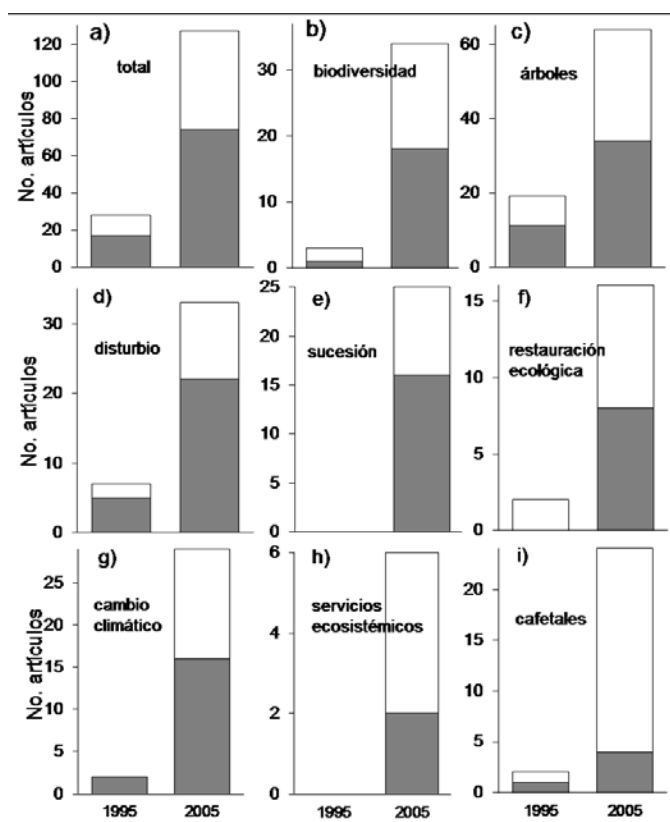


FIGURA 2. Número de artículos publicados en 1995-2004 y 2005-2014 de acuerdo a grupos de interés. Las barras representan el número de artículo encontrados para México según la búsqueda en WoS de septiembre 2015. La parte blanca de cada barra es el número de artículo para Veracruz. a) número total de artículos encontrados en la búsqueda, b) biodiversidad, c) árboles, d) disturbio natural y antropogénico, e) sucesión secundaria, f) restauración ecológica, g) cambio climático, h) servicios ecosistémicos, y g) cafetales.

## Biodiversidad

En conjunto, los bosques mesófilos de montaña son el tipo de vegetación más diverso en México en relación a la superficie que ocupan. Por lo tanto no es sorpresa, el gran número de publicaciones que encontramos usando el término '*diversity*', a nivel global pasa de 83 publicaciones en 1995-2004 a 308 en la última década, igualmente en México y en Veracruz, el crecimiento es espectacular con 87.5% y 85.7% más artículos en la última década. Recientemente, los estudios enfocados en diversidad han incorporado conceptos como diversidad funcional, así que acotando a '*biodiversity*' WoS dio una salida de 169 publicaciones a nivel global, 34 para México y 16 para Veracruz (Fig. 2b).

En Veracruz, los estudios publicados tienen un fuerte sesgo hacia la ecología de comunidades con la mayoría sobre árboles (Fig. 2c). Las epífitas son una parte ineludible de la diversidad de los BMM, así que siguen en número de publicaciones (94). Los artículos sobre biodiversidad y ecología de aves y mamíferos (murciélagos) son aún pocos (7), y solo se registraron tres para anfibios.

Es interesante destacar que a nivel global, entre los artículos más citados (*h-index*) se encuentran tres sobre diversidad en Veracruz, uno sobre la diversidad de anfibios, murciélagos y escarabajos en el BMM y agroecosistema cafetalero (Pineda *et al.*, 2005), otro sobre anfibios y fragmentación (Pineda y Halffter, 2004) y otro más sobre la riqueza de especies de árboles y disturbio (Williams-Linera, 2002).

## Disturbio

La perturbación es cualquier evento relativamente discreto en tiempo que quebranta la estructura de un ecosistema o de la población y cambia la disponibilidad de recursos o el ambiente físico. Las perturbaciones ocurren en un intervalo continuo desde niveles mínimos como la extracción de unos pocos individuos (árboles, aves, orquídeas) de un bosque, hasta la conversión de uso del suelo a algo muy diferente a lo que originalmente fue (bosque a potrero), o incluso a la destrucción completa del sitio (bosque a urbanización).

En ecología del BMM, el disturbio ha sido un área de interés de mucho tiempo y se enfocó a la dinámica de claros y a sucesión. Actualmente, las perturbaciones naturales y antropogénicas se relacionan con procesos, ensamblaje de especies, interacciones, fragmentación, efecto de borde, conservación de remanentes, y la restauración ecológica. Un artículo reciente indica que el tiempo está maduro para analizar los efectos de las perturbaciones naturales y antropogénicas sobre los ecosistemas mexicanos (Calderón-Aguilera *et al.*, 2012).

El número de estudios sobre perturbación es relativamente alto en México pero en los bosques de Veracruz es relativamente bajo (Fig. 2d). Los artículos más citados en este grupo (*h-index*) se refieren al efecto del disturbio y la riqueza de especies de árboles (Williams-Linera, 2002; Cayuela *et al.*, 2006), y la respuesta de las epífitas a la perturbación antropogénica (Wolf, 2005).

### Sucesión secundaria

La sucesión secundaria es el proceso de recuperación del bosque original a lo largo del tiempo y fue un tema de investigación que se ha desarrollado de manera notable en México pero sobretodo en el bosque tropical perennifolio (Guevara-Sada, 1990; Martínez-Ramos, 1994). Para los BMM, muchos temas ya se habían iniciado en la década de los 90s, como es el estudio de la sucesión secundaria (Tabla 1). En México, hay varias publicaciones, particularmente para los BMM de Chiapas y Jalisco, pero pocos estudios para BMM en Veracruz (Fig. 2e): este es uno de los temas que recientemente se han consolidado. Entre los artículos más citados se encuentran uno sobre vegetación arbórea (Muñiz-Castro *et al.*, 2006) y dos relacionados con los cambios en varias propiedades del suelo (Bautista-Cruz y del Castillo, 2005; Negrete-Yankelevich *et al.*, 2007).

### Restauración ecológica

El BMM es de prioridad crítica para la conservación de la biodiversidad debido a que se encuentra amenazado por la pérdida de cobertura, hábitat y funciones (Sánchez-Ramos y Dirzo, 2014). De ahí ha surgido la necesidad de desarro-

llar urgentemente las bases ecológicas para la restauración de áreas degradadas y asegurar la continuidad de su funcionamiento. Por lo tanto, los estudios sobre la restauración ecológica del BMM representan un tema de investigación que se está fortaleciendo tanto para México como para Veracruz con un aumento en 100% en la última década (Fig. 2f). Hay artículos experimentales recientes que aún no entran al grupo de *h-index*, pero otros sobre restauración utilizando especies nativas en sitios con diferente nivel de perturbación están dentro de los más citados (Pedraza y Williams-Linera, 2003; Alvarez-Aquino *et al.*, 2004).

### Servicios ambientales

La degradación de los bosques tiene consecuencias graves en la pérdida de los llamados servicios ecosistémicos que son los beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas incluyendo servicios de aprovisionamiento, regulación, culturales y de apoyo (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). En los últimos años, es cada vez más evidente que los desastres naturales, el problema del agua y la degradación de los bosques están relacionados. Por lo tanto no es sorpresa que el tema de los servicios ambientales sea un área de consolidación muy actual y que las publicaciones a nivel global (excepto una) y para México, detectadas por la WoS correspondan a los últimos 10 años (Fig. 2h). Dentro de los más citados a nivel global (*h-index*), destacan para los BMM un estudio sobre el efecto del cambio de uso del suelo sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Martínez *et al.*, 2009), el efecto sinérgico entre cobertura del suelo, lluvia y estacionalidad de niebla y precipitación (Ponette-González *et al.*, 2010), y otro sobre escorrentía y captación de precipitación (Muñoz-Villers y McDonnell 2012).

### Cafetales

El estudio del agroecosistema cafetalero ha presentado un desarrollo interesante ya que hace varias décadas se iniciaron estudios que no tuvieron seguimiento (Jiménez-Avila y Gómez-Pompa, 1982) pero que en la última década han repuntado con un aumento del 100% en



publicaciones en revistas indexadas; tan solo en Veracruz han aparecido 20 artículos en revistas con factor de impacto (Fig. 2i). Los artículos *h-index* para cafetales también están en relación con anfibios, murciélagos y escarabajos (Pineda *et al.*, 2005; Pineda y Halfpeter, 2004; Arellano *et al.*, 2005), hormigas (Perfecto y Vandermeer 2002), la conservación de epífitas (Hietz, 2005; Solís-Montero *et al.*, 2005), su estructura y diversidad de árboles (López-Gómez *et al.*, 2008), y con los servicios ecosistémicos que prestan (Martínez *et al.*, 2009; Ponette-González *et al.*, 2010).

### Otras áreas

El cambio global está reduciendo críticamente la entrada de humedad al BMM, se registra menor precipitación, menos días con neblina y aumento en la duración e intensidad de los periodos de sequía (Foster, 2001; Sánchez-Ramos y Dirzo, 2014). Los ecosistemas de montaña están siendo afectados, por lo tanto la investigación y las publicaciones han aumentado en 81% a escala global mientras que a escala de México en 93%. Para el BMM de Veracruz este acercamiento es novedoso, y pasó de ninguno a 13 artículos relacionados con el cambio global en la última década (Fig. 2g). Esta área es nueva y las pocas publicaciones para México todavía no están incluidas en el *h-index*.

Ecohidrología es una de las áreas de investigación que pasó de cero a presentar un sólido avance, incluyendo investigaciones sobre el efecto del uso del suelo, escorrentía e intercepción de lluvia y niebla por diferente vegetación. Dentro de la ecohidrología una de las actividades que parece estar aumentando son los estudios sobre servicios ambientales, especialmente lo relacionado con los recursos hídricos, la vulnerabilidad de los bosques ante el cambio climático, y efectos de la deforestación sobre la hidrología y bioquímica del bosque. Para el BMM de México y Veracruz, las publicaciones son muy recientes, sin embargo hay artículos dentro del *h-index* que tratan sobre la intercepción de la lluvia y la niebla por el dosel de bosque secundario y maduro (Holwerda *et al.*, 2010; Ponette-González *et al.*, 2010).

### Madera y Bosques – 20 años de estudios

Hace 20 años apareció la revista *Madera y Bosques* proporcionando un espacio muy valioso para científicos latinoamericanos trabajando en aspectos aplicados del manejo de los recursos. La participación de trabajos sobre ecología ha sido irregular, particularmente para los BMM. Pero al revisar los 20 años de *Madera y Bosques* se encontró que ya desde los primeros números se presentaron artículos relacionados con el bosque mesófilo en temas tan diversos como alternativas para enriquecer cafetales y proteger el suelo de la erosión introduciendo palma camedor (*Chamaedorea elegans*) y macadamia (Sosa y Mendoza, 1996). Por ser la línea de la revista se pueden encontrar varios artículos sobre la anatomía de la madera de especies de BMM (Aguilar-Rodríguez y Castro-Plata, 2006) e incluso sobre el uso de la madera de especies de BMM para laudería (Quintanar *et al.*, 1998). Los temas sobre encinos (*Quercus* spp.) van desde la anatomía de la madera, encinos como recurso forestal, y aprovechamiento de la madera (Pérez-Olvera y Dávalos-Sotelo, 2008). El crecimiento diamétrico de los árboles del BMM es una variable esencial relacionada con reforestación, plantaciones, y proyectos de restauración ecológica (Williams-Linera, 1996). Otro artículo específicamente sobre BMM del centro de Veracruz nos indica que solo queda el 10% de bosque no perturbado (Williams-Linera *et al.*, 2002). Otros temas tratados en la revista están relacionados con servicios ambientales, como el almacenamiento y la captura de CO<sub>2</sub> en cafetales (Pineda-López *et al.*, 2005) y el manejo de los recursos hídricos (Manson, 2004). Un artículo de actualidad y relacionado con los BMM, calentamiento global y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero es sobre la estrategia REDD+ (Gerez-Fernández y Pineda-López, 2011).

### Direcciones futuras

En los últimos años han aparecido publicaciones clave que pretenden analizar avances y señalar líneas para el desarrollo de la ecología. En estas publicaciones se han revisado las preguntas de importancia para la conservación de la diversidad biológica (Sutherland *et al.*, 2009), y en otra

se presentan las preguntas enfocadas a cuestiones fundamentales de ecología (Sutherland *et al.*, 2013). Esas preguntas se centran en temas como el funcionamiento del ecosistema, cambio climático, áreas protegidas, manejo y restauración de ecosistemas y manejo de especies. Si para los bosques mesófilos de montaña esas preguntas se contestaran de manera clara y contundente, podrían contribuir muchísimo a entender el funcionamiento, a la conservación y uso sustentable de la diversidad biológica de esos bosques en la práctica. Esas preguntas pudieran parecer hoy como demasiado del tipo de ciencia básica, pero debemos recordar que la ciencia y las preguntas avanzan y el bosque no.

Para los próximos años sería muy importante ver artículos que se enfoquen en contestar las preguntas clave de investigación básica en campos aplicados. La ecología moderna es una disciplina altamente colaborativa (Sutherland *et al.*, 2013) por lo que se debe incentivar una mayor participación de ecólogos en temas interdisciplinarios de ecología, recursos hídricos y cambio climático. Se debe hacer un esfuerzo por combinar muchas disciplinas y por unir ecología de organismos, de comunidades, biología filogenética, atributos funcionales de las especies para entender ensambles de comunidades. Al mismo tiempo se deberían incorporar estudios de perturbación natural y antropogénica, bosques perturbados, servicios ecosistémicos, restauración ecológica, y efectos del cambio climático.

## CONCLUSIÓN

Los procesos ecológicos más estudiados en el BMM están relacionados con biodiversidad, perturbaciones, y sucesión secundaria. Otras áreas como restauración ecológica y servicios ambientales se han incrementado notablemente. Cabe destacar que gran parte de los temas ecológicos ya se habían abordado en la década de los 90s pero algunos ahora están retomándose como es el estudio de la sucesión secundaria, los cafetales como agroecosistemas, y los disturbios naturales y antropogénicos. Hay otros aspectos más prácticos que tuvieron que esperar a que las condiciones ambientales los impulsaran y que ya están en

un franco proceso de consolidación como son la restauración ecológica, y los servicios ambientales. Hay otros tópicos que están empezando a estudiarse o a despejar como la biología evolutiva (filogenias) y la ecohidrología. Muy necesariamente, hacen falta estudios sobre la resiliencia del bosque y sus componentes ante efectos de cambio climático.

La ecología del BMM se ha consolidado en los últimos 20 años y ha tenido un desarrollo espectacular en los últimos 10 años, donde aumentó cinco veces el número de artículos publicados en revistas indexadas. Durante ese tiempo surgieron preguntas que no hubieran podido ser previstas hace una década. Durante los próximos años tenemos que anticipar las opciones de manejo, hacer restauración proactiva y minimizar los impactos del crecimiento poblacional, de los cambios de uso de suelo, de la fragmentación extrema y aún del cambio global sobre los bosques mesófilos montaña.

Para finalizar, cabría un comentario sobre el impacto de la investigación. Creemos que en los últimos 20 años se han tendido puentes sólidos entre la investigación para entender el funcionamiento del BMM, y la transmisión de conocimiento a la sociedad y a las autoridades del sector forestal pero faltan los nuevos caminos: la gobernanza para la conservación, restauración y uso sustentable de estos bosques que desaparecen.

## REFERENCIAS

- Aguilar-Rodríguez, S. y B.J. Castro-Plata. 2006. Anatomía de la madera de doce especies del bosque mesófilo de montaña del Estado de México. *Madera y Bosques* 12(1):95-115.
- Alvarez-Aquino, C., G. Williams-Linera y A. C. Newton. 2004. Experimental native tree seedling establishment for the restoration of a Mexican cloud forest. *Restoration Ecology* 12(3):412-418.
- Arellano, L., M. Favila y C. Huerta. 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.
- Arriaga, L. 1988. Gap dynamics of a tropical cloud forest in Northeastern Mexico. *Biotropica* 20(2):178-184.





- Bradshaw, C.J.A., N.S. Sodhi, W.F. Laurance y B.W. Brook. 2011. Twenty Landmark Papers in Biodiversity Conservation, pp. 97-112. In: I. Pavlinov, ed. Research in Biodiversity - Models and Applications. 364 p. <http://www.intechopen.com/books/research-in-biodiversity-models-and-applications/twenty-landmark-papers-in-biodiversity-conservation>. Publicado online 12 octubre 2011.
- Bautista-Cruz, A. y R.F. del Castillo. 2005. Soil changes during secondary succession in a tropical montane cloud forest area. *Soil Science Society of America Journal* 69(3):906-914.
- Calderón-Aguilera, L.E., V.H. Rivera-Monroy, L. Porter-Bolland, A. Martínez-Yrizar, L.B. Ladah, M. Martínez-Ramos, J. Alcocer, A.L. Santiago-Pérez, H.A. Hernández-Arana, V.M. Reyes-Gómez, D.R. Pérez-Salícup, V. Díaz-Nuñez, J. Sosa-Ramírez, J. Herrera-Silveira y A. Búrquez. 2012. An assessment of natural and human disturbance effects on Mexican ecosystems: current trend and research gaps. *Biodiversity and Conservation* 21(3):589-617.
- Cayuela, L., Golicher, D.J., Benayas, J.M.R., González-Espinosa, M. y Ramírez-Marcial, N. 2006. Fragmentation, disturbance and tree diversity conservation in tropical montane forests. *Journal of Applied Ecology* 43(6):1172-1181.
- Foster, P. 2001. The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews* 55(1-2):73-106.
- Gerez-Fernández, P. y M.R. Pineda-López. 2011. Los bosques de Veracruz en el contexto de una estrategia estatal REDD. *Madera y Bosques* 17(3):7-27.
- González-Espinosa, M., P.F. Quintana-Ascencio, N. Ramírez-Marcial y P. Gaytán-Guzmán. 1991. Secondary succession in disturbed *Pinus-Quercus* forests of the highlands of Chiapas, Mexico. *Journal of Vegetation Science* 2(3):351-360.
- Guevara-Sada, S. 1990. Historia de la ecología terrestre en México. *Ciencias* 4 (especial):89-95.
- Hietz, P. 2005. Conservation of vascular epiphyte diversity in Mexican coffee plantations. *Conservation Biology* 19(2):391-399.
- Hirsch, J.E. 2005. An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102(46):16569-16572
- Holwerda, F., L.A. Bruijnzeel, I.E. Muñoz-Villers, M. Equihua y H. Asbjornsen. 2010. Rainfall and cloud water interception in mature and secondary lower montane cloud forests of central Veracruz, Mexico. *Journal of Hydrology* 384(1-2):84-96.
- Jiménez-Avila, E. y A. Gómez-Pompa. 1982. Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero. INIREB. Xalapa, Veracruz. 143 p.
- López-Gómez, A.M., G. Williams-Linera y R.H. Manson. 2008. Tree species diversity and vegetation structure in shade coffee farms in Veracruz, Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 124(3-4): 160-172.
- Manson, R.H. 2004. Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. *Madera y Bosques* 10(1):3-20.
- Martínez, M.L., O. Pérez-Maqueo, G. Vázquez, G. Castillo-Campos, J. García-Franco, K. Mehlreter, M. Equihua, y R. Landgrave. 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.
- Martínez-Ramos, M. 1994. Estudios y perspectivas sobre ecología vegetal en México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 55:75-91.
- Meave, J., M. A. Soto, L. M. Calvo, H. Paz y S. Valencia. 1992. Análisis sinecológico del bosque mesófilo de montaña de Omiltemi, Guerrero. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 53(1):31-77.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. Ecosystems and human well-being: synthesis. Island Press, Washington, D.C. 155 p.
- 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.
- Muñiz-Castro, M.A., G. Williams-Linera y J. M. Rey Benayas. 2006. Distance effect from cloud forest fragments on

- plant community structure in abandoned pastures in Veracruz, Mexico. *Journal of Tropical Ecology* 22(4):431-440.
- Muñoz-Villers, L.E. y J. J. McDonnell. 2012. Runoff generation in a steep, tropical montane cloud forest catchment on permeable volcanic substrate. *Water Resources Research* 48, Num. W09528.
- Negrete-Yankelevich, S., C. Fragoso, A.C. Newton y O.W. Heal. 2007. Successional changes in soil, litter and macroinvertebrate parameters following selective logging in a Mexican Cloud Forest. *Applied Soil Ecology* 35(2):340-355.
- Pedraza, R. A. y G. Williams-Linera. 2003. Evaluation of native tree species for the rehabilitation of deforested areas in a Mexican cloud forest. *New Forests* 26(1): 83-99.
- Pérez-Olvera, C.P. y R. Dávalos-Sotelo. 2008. Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. *Madera y Bosques* 14(3):43-80
- Perfecto, I. y J. Vandermeer. 2002. Quality of agroecological matrix in a tropical montane landscape: Ants in coffee plantations in southern Mexico. *Conservation Biology* 16(1):174-182.
- Pineda, E. y G. Halffter. 2004. Species diversity and habitat fragmentation: frogs in a tropical montane landscape in Mexico. *Biological Conservation* 117(5):499-508.
- Pineda, E., C. Moreno, F. Escobar y G. Halffter. 2005. Frog, bat, and dung beetle diversity in the cloud forest and coffee agroecosystems of Veracruz, Mexico. *Conservation Biology* 17(2):400-410.
- Pineda-López, M.R., G. Ortiz-Ceballos y L.R. Sánchez-Velásquez. 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.
- Ponette-González, A.G., K.C. Weathers y L.M. Curran. 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.
- Puig, H. y R. Bracho, eds. 1987. El Bosque Mesófilo de Montaña de Tamaulipas. Instituto de Ecología, A.C. México, D.F. 186 p.
- Quintanar, I.A., M. de Icaza, L. Rivera y C.P. Pérez Olvera. 1998. Algunas características anatómicas y acústicas de tres especies de angiospermas de Huayacocotla, Ver. *Madera y Bosques* 4(1):15-25.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa, México, 314 pp.
- Sánchez-Ramos, G. y R. Dirzo. 2014. El bosque mesófilo de montaña: un ecosistema prioritario amenazado. In: M. Gual-Díaz y A. Rendón-Correa, comps. Bosques mesófilos de montaña de México: diversidad, ecología y manejo. CONABIO. México, D.F. p: 109-139.
- Solís-Montero, L., A. Flores-Palacios y A. Cruz-Angon. 2005. Shade-coffee plantations as refuges for tropical wild orchids in central Veracruz, Mexico. *Conservation Biology* 19(3):908-916.
- Sosa, M.A. y M.A. Mendoza. 1996. Posibilidades financieras de diversificación en cafetales mexicanos. *Madera y Bosques* 2(1):33-44.
- Sutherland W.J., W.M. Adams, R.B. Aronson, et al. 2009. One Hundred Questions of Importance to the Conservation of Global Biological Diversity. *Conservation Biology* 23(3):557-567.
- Sutherland, W.J., R.P. Freckleton, H.C.J. Godfray, et al. 2013. Identification of 100 fundamental ecological questions. *Journal of Ecology* 101(1):58-67.
- Villaseñor, J.L. 2010. El bosque húmedo de montaña en México y sus plantas vasculares: catálogo florístico-taxonómico. CONABIO-UNAM. México, D.F. 40 p.
- Vogelmann, H. W. 1973. Fog precipitation in the cloud forests of eastern Mexico. *Bioscience* 23(1):96-100.
- Williams-Linera, G. 1993. Simposio de Ecología de Comunidades: Contribución a los Estudios de Manejo, Conservación, Biodiversidad y Funcionamiento. El bosque mesófilo de montaña. XII Congreso Mexicano de Botánica. Mérida, Yucatán 3 al 8 de octubre.
- Williams-Linera, G. 1996. Crecimiento diamétrico de árboles caducifolios y perennifolios del bosque mesófilo de montaña en los alrededores de Xalapa. *Madera y Bosques* 2(2):53-65.
- Williams-Linera, G. 2002. Tree species richness complementarity, disturbance and fragmentation in a Mexican tropical



- montane cloud forest. *Biodiversity and Conservation* 11(10):1825-1843.
- Williams Linera, G. 2007. El bosque de niebla del centro de Veracruz: ecología, historia y destino en tiempos de fragmentación y cambio climático. Instituto de Ecología, A.C.-CONABIO. Xalapa, Veracruz. 208 p.
- Williams-Linera, G., Manson, R. H. y Isunza-Vera, E. 2002. La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México. *Madera y Bosques* 8(1):73-89.
- 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.

Manuscrito recibido el 4 de febrero de 2014.

Aceptado el 5 de septiembre de 2015.

Este documento se debe citar como:

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(Núm. esp.):51-61.