

# EL PAPEL DEL BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA EN LOS PROGRAMAS “PAGOS POR SERVICIOS AMBIENTALES HIDROLÓGICOS” EN MÉXICO

## THE ROLE OF THE MOUNTAIN MESOPHYLL FOREST IN THE “PAYMENT FOR HYDROLOGIC ENVIRONMENTAL SERVICES” PROGRAMS IN MÉXICO

Robert H. Manson<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ecología, A.C., Carretera Antigua a Coatepec No. 351, El Haya, Xalapa, Veracruz C.P. 91070.

\*Autor de correspondencia: robert.manson@inecol.mx

---

### RESUMEN

Se revisaron los argumentos y contexto nacional que motivaron la creación de varios tipos de programas de pago por servicios hidrológicos (PSAH) en México, así como su desempeño. Se describe el papel que ha jugado el bosque de mesófilo de montaña (BMM) en estos programas, resaltando varios estudios de importancia sobre el clima local, determinando la capacidad del BMM para contribuir al gasto anual en cuencas con PSAH. En particular, se anota que en las cuencas del centro de Veracruz no existen condiciones aptas para el BMM como fuente de agua importante a escalas anuales. Sin embargo, hay evidencia de su importancia en la regulación de flujo base y calidad del agua. Se indica cómo estos beneficios podrían interesar a varias instancias de gobierno que aún no están financiando estos programas, resaltando un llamado para apoyar más estudios hidrológicos y monitoreo constante en las cuencas con PSAH.

**Palabras clave:** Bosque mesófilo, agua, cuencas, Veracruz.

### ABSTRACT

The arguments and national context that motivated the creation of several types of hydrological services payment programs (programas de pago por servicios hidrológicos, PSAH) in México were reviewed, as well as their performance. The role that the mountain mesophyll forest (MMF) has played in these programs is described, highlighting several important studies about the local climate, determining the capacity of the MMF to contribute to the annual expenditure in basins with PSAHs. In particular, it is noted that in the basins of central Veracruz there are not apt conditions for the MMF as an important source of water at annual scales. However, there is evidence of its importance in the regulation of the base flow and water quality. The way in which these benefits could interest many government instances, which are yet to finance these programs, is shown, highlighting a call to support more hydrological studies and constant monitoring of the basins with PSAHs.

**Keywords:** mesophyll forest, water, basins, Veracruz.

---

**Agroproductividad:** Vol. 10, Núm. 1, enero. 2017. pp: 44-49.

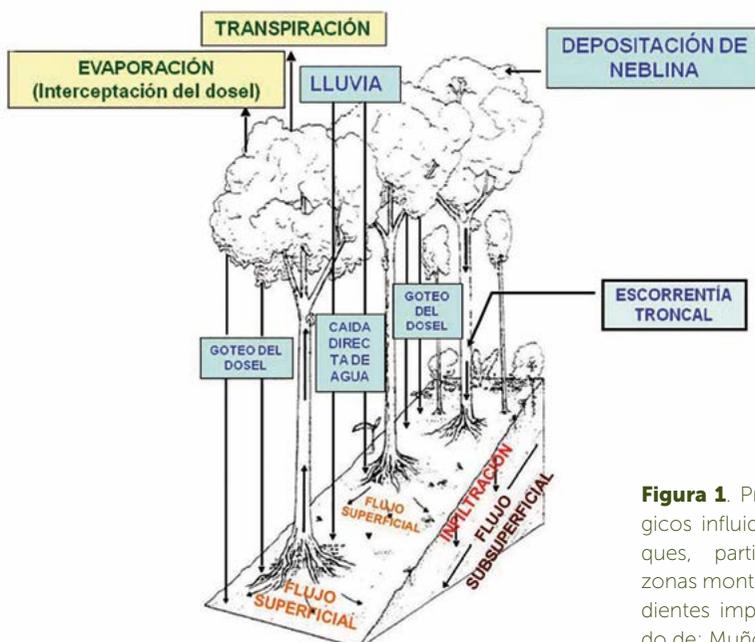
**Recibido:** octubre, 2016. **Aceptado:** diciembre, 2016.

## INTRODUCCIÓN

Los servicios ambientales o ecosistémicos son aquellos procesos e interacciones de ecosistemas, así como las especies que los comprenden y que ayuden a mantener el bienestar humano (Daily, 1997). Existe cada vez más interés en la cuantificación y valoración de estos servicios debido al deterioro de los ecosistemas, a su capacidad de brindar estos servicios, y por los costos económicos enormes asociados con su restauración o reemplazo a nivel mundial (MEA, 2005). De particular preocupación son los servicios hidrológicos, dado que los seres humanos ya están aprovechando más de la mitad del agua dulce de la Tierra y lo que queda, está en zonas muy poco accesibles y requería mejor manejo (Postel, 2000); y el crecimiento poblacional y la reconversión acelerada de ecosistemas naturales para fines productivos, así como el cambio climático global, complican aún más el manejo de los recursos hídricos para el futuro (Vitousek *et al.*, 1997; Bonan, 2008; Heathwaite, 2010). Los servicios hidrológicos pueden ser clasificados en cinco grandes rubros, incluyendo la regulación del agua extraída para uso humano, mejoramiento de agua para el aprovechamiento *in situ*, la mitigación de daños relacionados con el agua, los servicios culturales y los servicios de apoyo relacionados con el agua (Brauman *et al.*, 2007). Los ecosistemas boscosos juegan un papel sobresaliente en el mantenimiento de los procesos ecohidrológicos importantes para la generación de estos servicios (Calder, 2002; Lele, 2009). Por ejemplo, debido a su compleja estructura, los múltiples estratos de vegetación de los bosques y selvas interceptan el agua de lluvia de manera muy eficiente, canalizándola lentamente por sus hojas, ramas y troncos hacia el suelo. Una vez llegando al suelo de estos ecosistemas, la densa hojarasca, hierbas y arbustos ayudan a detener el escurrimiento pluvial, mientras que sus suelos y raíces generan un alto porcentaje de porosidad y materia orgánica, actuando como una esponja para el agua de lluvia y facilitando su infiltración hacia el subsuelo y la recarga de los mantos acuíferos (Figura 1) (Neary *et al.*, 2009). Menos es-

currimiento pluvial también es importante en mitigar los problemas de erosión de suelos y azolvamiento de los ríos, particularmente en cuencas con pendientes pronunciadas y suelos susceptibles (Zuazo y Pleguezuelo, 2008).

La remoción de bosques, particularmente en las partes altas de la cuenca, y su reemplazo por cultivos, plantaciones de árboles o potreros mal manejados (sobrecarga de animales), puede aumentar la compactación de los suelos y el escurrimiento pluvial y reducir la recarga de los mantos acuíferos (Figura 1) (Morgan, 1995; Greenwood y McKenzie, 2001; Little *et al.*, 2009). Estas condiciones provocan aumentos en el gasto anual de los ríos y ciclos de inundaciones y sequías. En la época de lluvias, un mayor escurrimiento pluvial resulta en mayor rapidez a la cual se eleva el nivel de los ríos, justo después de una tormenta (flujos pico), lo cual contribuye de manera importante al riesgo de inundaciones (Bradshaw *et al.*, 2007). Menos infiltración y recarga de mantos acuíferos en la época de lluvias a su vez, puede traducirse en menos gasto en la época de secas, lo cual deja las comunidades aledañas expuesta a problemas de escasez de agua. La vegetación natural en zonas ribereñas puede ser además, una barrera importante capaz de filtrar y detener una proporción importante de fertilizantes, excretas de animales domésticos y otros contaminantes, antes de que lleguen al río (Anbumozhi *et al.*, 2005). La vegetación ribereña, en general, y los bosques de galería, en particular, también pueden ser importantes en la estabilización de los bordes de los ríos y el mantenimiento de condiciones micro-climáticas



**Figura 1.** Procesos hidrológicos influenciados por los bosques, particularmente en zonas montañosas con pendientes importantes (Tomado de: Muñoz-Villers, 2008).

(menos sol, sólidos en suspensión y temperaturas altas) que permiten la auto-recuperación de ríos contaminados (Sweeney *et al.*, 2004). Finalmente, ya que diferentes ecosistemas tienen diferentes tasas de evapotranspiración, albedo y estructuras verticales, cambios de uso de suelo a grandes escalas, pueden afectar la cantidad de energía solar capturada, los patrones de corrientes de aire, su carga de humedad y, eventualmente, los patrones de formación de nubes y precipitación que se experimenta a nivel regional, particularmente en zonas montañosas (Figura 1) (Lawton *et al.*, 2001; Bonan, 2008). Estudios realizados en Costa Rica, han demostrado cómo la deforestación en la zona costera está impactando los patrones de formación de nubes y la precipitación en la zona montañosa (Lawton *et al.*, 2001). Para detener la degradación de los servicios ecosistémicos en general, y los servicios hidrológicos en particular, proporcionados por ecosistemas, es necesario fomentar su cuantificación y valoración (Kremen y Ostfeld 2005; Brauman *et al.*, 2007). Muchos de los bienes generados por los ecosistemas tienen mercados, y por eso es posible calcular su valor directamente. Sin embargo, esto no es posible para los servicios hidrológicos proporcionados por los bosques, y por eso su valor está subestimado en la toma de decisiones y análisis de costos y beneficios de diferentes alternativas de desarrollo. Para atender este problema y eliminar muchas de las externalidades en las transacciones económicas que están provocando el deterioro de los ecosistemas boscosos, existe cada vez más interés en el desarrollo de programas de pago por servicios hidrológicos (PSAH) capaces

de crear incentivos económicos para la conservación y restauración de los bosques, proporcionando estos servicios (Engel *et al.*, 2008; Brouwer *et al.*, 2011; Wunder *et al.*, 2013). A continuación se describen los esfuerzos de crear y fortalecer programas de PSAH en México. Asimismo, se examinan las justificaciones para el fuerte enfoque de estos programas en el bosque mesófilo de montaña y su éxito hasta la fecha en conservar éstos, y otros tipos de bosque en el país. Finalmente, se concluye con una recomendación de cómo mejorar el desempeño de estos programas para que sigan promoviendo la conservación y el uso sustentable del bosque mesófilo de montaña en el futuro.

## MATERIALES Y MÉTODOS

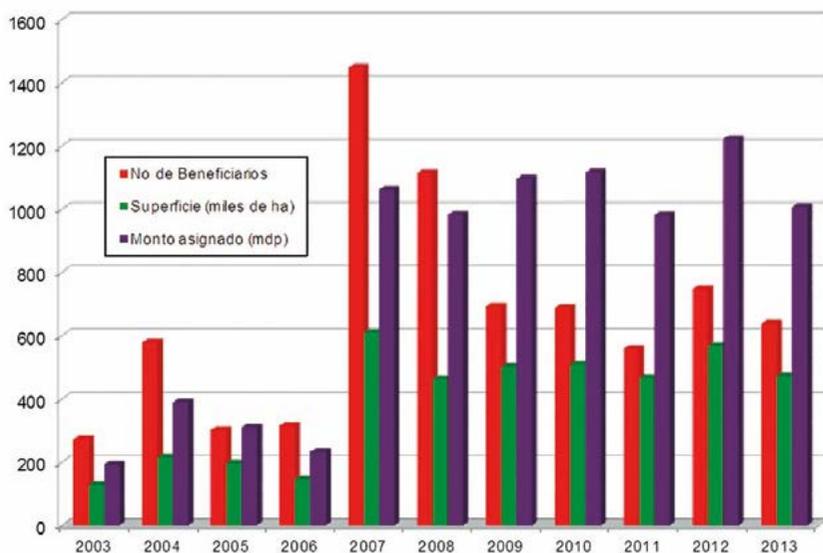
### **Desarrollo: antecedentes y logros**

Un conjunto de factores contribuyeron a la creación de programas de PSAH en México, siendo quizá los más importantes el deterioro de los recursos forestales, sus servicios hidrológicos y los recursos hídricos del país (Manson, 2004). Durante una gran parte del siglo pasado, México tuvo una de las tasas de deforestación más elevadas en América Latina. Cifras de la CONAFOR (2012) muestran que desde la década de los noventa, las tasas anuales de transformación de bosques empezaron a disminuir: 1990 a 2000 (0.5%), 2000 a 2005 (0.3%), y 2005 a 2010 (0.2%). Sin embargo, durante este mismo periodo México perdió un promedio de 0.39% de su cobertura cada año; es decir, 5.489 millones de hectáreas en total. Por otro lado, el país enfrenta múltiples retos en el manejo de los recursos hídricos, incluyendo 64% menos agua disponible per cápita comparado a mediados del siglo pasado,

debido al crecimiento poblacional, 140 acuíferos sobreexplotados que surten agua a 40 millones de mexicanos, y modelos climáticos prediciendo que la situación solo empeorará en términos de sequías y tormentas tropicales (CONAGUA, 2002; 2006; Emanuel, 2005; Wehner *et al.*, 2011). Con base en esta problemática, y pérdidas anuales del orden de 5% a 8% del PIB, debido al deterioro y la degradación ambiental (INEGI, 2016), México decidió lanzar el programa nacional de PSAH en 2003 (Manson, 2004). Este programa fue creado a través de la transferencia de 2.5% de las cobros por concesiones del agua desde CONAGUA al Fondo Forestal Mexicano, un fideicomiso creado y operado por la CONAFOR. En sus primeros diez años de operación (2003 a 2013), y con contratos de cinco años, este programa logró realizar unos \$8585 mil millones de pesos en pagos a unos 7351 beneficiarios, protegiendo así 4.27 millones de ha de bosques en el país (Figura 2). En 2008, la CONAFOR creó otro tipo de programa de PSAH, basado en aportaciones concurrentes y dando más libertad a los actores locales en el diseño y operación de sus programas (Manson *et al.*, 2013). Durante el periodo de 2008 a 2013 se logró establecer 83 de estos programas, protegiendo y restaurando 350 mil ha de bosque con pagos, alcanzando \$972 millones de pesos.

### **El papel del bosque de niebla**

Desde el arranque de los programas de PSAH en México hubo mucho interés en el bosque de niebla o mesófilo de montaña (BMM) como un proveedor importante de servicios hidrológicos. Uno de los retos iniciales en la creación del programa nacional fue determinar

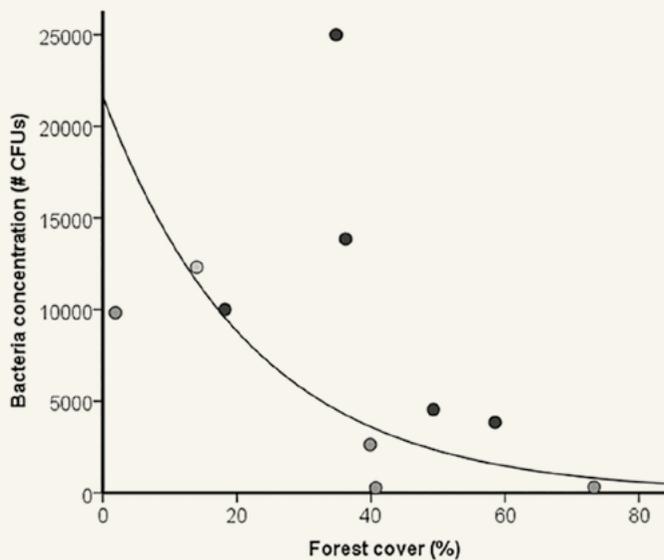


**Figura 2.** Desarrollo del programa nacional de PSAH en México en términos del número de personas o grupos beneficiados, y el total de recursos recibidos y de superficie boscosa conservada.

el monto a pagar a los propietarios, cuyos bosques se encuentran dentro de las zonas elegibles para recibir estos estímulos económicos. Después de mucho debate, reuniones con expertos y encuestas de campo, se decidió establecer un monto fijo de \$450.00 ha<sup>-1</sup> (pesos mexicanos) para predios con BMM y \$350.00 para otros tipos de bosque templado basado en el método de costos de oportunidad (Muñoz-Piña *et al.*, 2008). Esta decisión se basó en el conocimiento de expertos y la observación de que, por estar en condiciones de niebla, el BMM tenía la doble virtud de una baja tasa de evapotranspiración y una masa de epífitas que aumentó mucho su superficie y por eso la captura de la precipitación horizontal en la forma de condensación (Figura 1) (Hamilton, 1995; Manson, 2004; Muñoz-Piña *et al.*, 2008). Sin embargo, aunque sigue el interés en la conservación y restauración de este tipo de bosque por los múltiples servicios ecosistémicos que proporciona (Toledo-Aceves *et al.*, 2011), parece que el papel del BMM en procesos hidrológicos es más complicado y variable que como se contempló originalmente (Bruijnzeel *et al.*, 2011). Evidencia de nuevos estudios sugiere que el valor hidrológico del BMM no es constante (Scatena *et al.*, 2010), sino que depende de cambios geográficos en clima y los patrones de neblina y viento (Jarvis y Mulligan, 2011). Por ejemplo, la contribución observada del BMM con la captura de la precipitación horizontal puede variar entre 22 mm a 1990 mm o de 5% a 75% de la precipitación total anual modelado en una cuenca particular; igualmente, rangos de evapotranspiración pueden más que duplicar de 550 mm a 1280 mm, dependiendo del contexto climático local (Bruijnzeel *et al.*, 2011). Estudios realizados en cuencas en el centro de Veracruz, considerado un laboratorio para la creación de programas de PSAH, muestran que los remanentes de BMM tienden a no ser muy importantes en capturar más agua (precipitación horizontal <2% del total anual y evapotranspiración de 1325 mm al año (Holwerda *et al.*, 2010; Muñoz-Villers *et al.*, 2012; Alvarado-Barrientos *et al.*, 2014) y resaltan el peligro de supuestos de que bosques del mismo tipo tengan un comportamiento constante en la provisión de servicios ecosistémicos.

Estos resultados resaltan la urgencia de más estudios realizados *en situ* para cuantificar la provisión de servicios, el monitoreo de largo plazo de los programas de PSAH para asegurar que estén teniendo los efectos deseados, así como un manejo más creativo del concepto de servicios hidrológicos, más allá que la provisión anual del agua (Brouwer *et al.*, 2011; Manson *et al.*, 2013); por ejemplo, los mismos estudios citados en el centro del estado de Veracruz muestran que mientras los remanentes de BMM no aportan mucho en términos de gasto anual, puedan ser muy importantes comparados con otros usos de suelo en asegurar un flujo base durante la época de secas (35% a 75% más alto en cuencas dominadas por bosques comparadas con pastizales (Muñoz-Villers y McDonnell, 2013). Otro estudio realizado por Mokondoko Delgadillo *et al.* (2016) en la misma zona resaltan cómo las franjas de BMM ubicadas en zonas ribereñas regulan la calidad del agua y cantidad de enfermedades gastrointestinales en comunidades aledañas, con un valor económico similar a lo utilizado en los programas de PSAH (Figura 3).

Estos resultados y la desagregación del concepto de servicios hidrológicos podrían ser utilizados para gestionar aún más recursos para los programas de PSAH, operando en zonas de BMM de instancias gubernamentales como la Secretaría de Salud Pública (contaminación bacteriológica), la SAGARPA y la SENER (sólidos totales en suspensión y sus implicaciones para la fertilidad de suelos y vida productiva de presas hidroeléctricas) y la Secretaría de Protección Civil (flujo base y flujo pico durante épocas de lluvias y secas, respectivamente (Manson *et al.*,



**Figura 3.** La relación entre la cobertura de BMM bien conservada en zonas ribereñas de 50-100 m de ancho y las concentraciones de bacterias (*Escherichia coli*) detectadas en muestras mensuales del agua en ríos y arroyos en la cuenca del Río Antigua con alta (puntos negros) o baja (puntos grises) incidencia de cólera.

2013). Recientes cambios en los términos de referencia para los programas locales de PSAH, y un aumento en el interés en el monitoreo comunitario de cuencas (Flores-Díaz *et al.*, 2013), podrían aportar recursos para un monitoreo de largo plazo en cuencas con BMM.

## CONCLUSIONES

Esta revisión de los programas de PSAH en México, muestra que existe una amplia gama de justificaciones para su enfoque en los BMM. Sin embargo, los operadores de estos programas deben ser conscientes de cómo las condiciones climatológicas locales puedan afectar la capacidad de los BMM a brindar estos servicios. No apostar todo en un solo tipo de servicio hidrológico (gasto anual), sino buscar resaltar la amplia gama de servicios que este tipo de bosque pueda proporcionar. Fomentar estudios hidrológicos y el monitoreo de largo plazo en las cuencas de interés, con el fin de contar con información necesaria para evaluaciones periódicas y mejoras continuas de estos programas.

## LITERATURA CITADA

- Alvarado-Barrientos M.S. Holwerda F. Asbjornsen H. Dawson T.E. y Bruijnzeel L.A. 2014. Suppression of transpiration due to cloud immersion in a seasonally dry Mexican weeping pine plantation. *Agricultural and Forest Meteorology* 186: 12-25.
- Anbumozhi V. Radhakrishnan J. Yamaji E. 2005. Impact of riparian buffer zones on water quality and associated management considerations. *Ecological Engineering* 24:517-523.
- Bonan G.B. 2008. Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. *Science* 320:1444-1449.
- Bradshaw C.J.A. Sodhi N.S. Peh K.S.H. Brook B.W. 2007. Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world. *Global Change Biology* 13:2379-2395.
- Brauman K.A. Daily G.C. Duarte T.K. Mooney H.A. 2007. The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. *Annual Review of Environmental Resources* 32:67-98.
- Brouwer R. Tesfaye A. Pauw P. 2011. Meta-analysis of institutional-economic factors explaining the environmental performance of payments for watershed services. *Environmental Conservation* 38:380-392.
- Bruijnzeel L.A. Mulligan M. Scatena F.N. 2011. Hydrometeorology of tropical montane cloud forests: emerging patterns. *Hydrological Processes* 25(3):465-498.
- Calder I. R. 2002. Forests and hydrological services: reconciling public and science perceptions. *Land use and water resources research* 2(2):1-12.
- CONAFOR. 2012. Datos proporcionados por la Coordinación General de Producción y Productividad, Comisión Nacional Forestal, Guadalajara, México.
- CONAGUA. 2002. Compendio básico del agua en México: 2002. Comisión Nacional del Agua. México, D.F.
- CONAGUA. 2006. Agua en México. Subdirección General de Programación, Comisión Nacional del Agua. México, D.F.
- Daily G.C. 1997. *Nature's services. Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press. Nueva York.
- Emanuel K. 2005. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature* 436:686-688.
- Engel S. Pagiola S. Wunder S. 2008. Designing payments for environmental services in theory and practice: an overview of the issues. *Ecological Economics* 65:663-674.
- Flores-Díaz A. Ramos-Escobedo M. Manson R. Ruiz-Córdova S. Vidriales G. Deutsch W. y Aranda E. 2013. Monitoreo comunitario del agua: retos y aprendizaje desde la perspectiva de Global Water Watch-México. Memorias en Extenso, Mesa VIII, pp. 903-915. III Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Morelia, Michoacan. 27-30 de agosto.
- Greenwood K.L. McKenzie B.M. 2001. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41:1231-1250.
- Hamilton L.S. 1995. Mountain cloud forest conservation and research: a synopsis. *Mountain Research and Development* 15(3):259-266.
- Heathwaite A.L. 2010. Multiple stressors on water availability at global to catchment scales: understanding human impact on nutrient cycles to protect water quality and water availability in the long term. *Freshwater Biology* 55:241-257.
- 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, Mexico. *Journal of Hydrology* 384(1):84-96.
- INEGI. 2016. Cuentas Económicas y Ecológicas de México. Consultado 8/04/16: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/ee/>
- Kremen C. Ostfeld R.S. 2005. A call to ecologists: measuring, analyzing, and managing ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment* 3:540-548.

- Lawton R.O. Nair U.S. Pielke Sr. R.A. Welch R.M. 2001. Climatic impact of tropical lowland deforestation on nearby montane cloud forests. *Science* 294: 584-587.
- Lele S. 2009. Watershed services of tropical forests: from hydrology to economic valuation to integrated analysis. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 1(2):148-155.
- Little C. Lara A. McPhee J. Urrutia R. 2009. Revealing the impact of forest exotic plantations on water yield in large scale watersheds in South-Central Chile. *Journal of Hydrology* 374: 162-170.
- Manson R.H. 2004. Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. *Madera y Bosques* 10(1):3-20.
- Manson R. Barrantes G. y Bauche Petersen P. 2013. Lecciones de Costa Rica y México para el desarrollo y fortalecimiento de programas de pago por servicios ambientales hidrológicos en América Latina. En: Lara A. Latorra P. Manson R. y Barrantes G. Eds. *Servicios ecosistémicos hídricos: estudios de caso en América Latina y el Caribe*, 143-168, Imprenta América, Valdivia, Chile.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being: current state and trends*. Island Press. Washington.
- Mokondoko S.P. Manson R.H. Pérez-Maqueo O. 2016. Economic costs of changes in land cover on water quality and public health in central Veracruz, Mexico. *Ecosystem Services*. En Prensa.
- Morgan R.P.C. 1995. *Soil Erosion and Conservation*. Longman. Londres.
- Nearly D.G. Ice G.G. Jackson C.R. 2009. Linkages between forest soils and water quality and quantity. *Forest Ecology and Management*, 258(10):2269-2281.
- Muñoz-Piña, C. Guevara A. Torres J.M. Braña J. 2008. Paying for the hydrological services of Mexico's forests: Analysis, negotiations and results. *Ecological economics* 65(4):725-736.
- Muñoz-Villers, L. 2008. Efecto del cambio en el uso del suelo sobre la dinámica hidrológica y calidad de agua en el trópico húmedo del centro de Veracruz, México. Doctorado en Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México, D.F. 93 p.
- Muñoz-Villers L.E. Holwerda F. Gómez-Cárdenas M. Equihua M. Asbjornsen H. Bruijnzeel L.A. Marín-Castro B.E. and Tobón C. 2012. Water balances of old-growth and regenerating montane cloud forests in central Veracruz, Mexico. *Journal of Hydrology* 462:53-66.
- Muñoz-Villers L.E. y 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.
- Postel S.L. 2000. Entering an era of water scarcity. *Ecological Applications* 10:941-948.
- Sweeney B.W. Bott T.L. Jackson J.K. Kaplan L.A. Newbold J.D. Standley L.J. Hession W.C. Horwitz R.H. 2004. Riparian deforestation, stream narrowing, and loss of stream ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Science* 101:14132-37
- 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.
- Vitousek P.M. Mooney H.A. Lubchenco J. Melillo J.M. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277: 494-499.
- Wehner M. Easterling D.R. Lawrimore J.H. Heim Jr R.R. Vose R.S. Santer B.D. 2011. Projections of future drought in the Continental United States and Mexico. *Journal of Hydrometeorology* 12(6): 1359-1377.
- Wunder S. 2013. When payments for environmental services will work for conservation. *Conservation Letters* 6(4):230-237.
- Zuazo V.H.D. Pleguezuelo C.C.R. 2008. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers, a review. *Agronomy for Sustainable Development* 28:65-86.