

Estudios de interceptación de lluvia en bosques de importancia hidrológico-forestal

Eulogio Flores Ayala¹, Fernando Carrillo Anzures, Francisco Becerra Luna, Fabián Islas Gutiérrez, Enrique Buendía Rodríguez, Miguel Acosta Mireles y Tomás Pineda Ojeda

Resumen. Se presentan resultados de una línea de investigación que tiene como meta medir las cantidades de lluvia que interceptan cuatro contrastantes comunidades forestales, en las cuencas hidrológico-forestales del Río Amajac y Río Texcoco, en los estados de Hidalgo y México, respectivamente. Se establecieron cuatro módulos de investigación con una superficie de 1.0 ha, el primero, en matorral inerme espinoso a una altitud de 1 920 msnm y tres más en bosques de alta montaña, ubicados en un rango de altitud de 2 850 a 3 650 msnm. En cada parcela, se realizaron mediciones dendrométricas de cada árbol a partir de 7.5 cm de diámetro normal. Durante los periodos de lluvia de los años 2007, 2009, 2010 y 2011, se realizaron mediciones de precipitación, determinándose cantidades de precipitación total y su distribución dentro de cada periodo de lluvia. Para las mediciones de precipitación total, se emplearon dos pluviómetros ubicados fuera de cada parcela. Para las mediciones de interceptación, se utilizaron en promedio 70 pluviómetros de lectura directa distribuidos aleatoriamente bajo dosel. Las mediciones de precipitación-interceptación se registraron por evento de lluvia. Las cantidades de lluvia interceptadas por el dosel de copas del arbolado se expresaron como porcentajes para cada uno de los cuatro grupos estudiados: Matorral (18.6%), oyamel (26.1%), encino (21.7%) y pino (19.2%). Se generaron los modelos estadísticos no lineales de la relación: precipitación total (mm) - lluvia interceptada (%), para cada tipo de bosque.

¹ Centro Experimental Valle de México, instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, e-mail: flores.eulogio@inifap.gob.mx

Palabras Clave: *Interceptación de lluvia, dosel, Acacia, Pinus, Quercus, Abies.*

ANTECEDENTES

La hidrología en ecosistemas arbolados está conformada por complejos procesos en los que interactúan factores bióticos y abióticos. Aun cuando la interceptación de la lluvia por la vegetación no es el principal factor en las estimaciones del balance hidrológico, sí permite identificar que las modificaciones en la cobertura arbórea afectan el balance hidrológico de un área arbolada, alterando el contenido de humedad del suelo, la escorrentía superficial del terreno (Sadeghi *et al.*, 2015) y el patrón de humedad del suelo.

El dosel de la vegetación arbórea regula el flujo que sigue la precipitación antes de llegar al piso forestal, modificando la trayectoria de la caída de las gotas dividiéndola en: lluvia directa, lluvia interfoliar, transcolación, y lluvia de escurrimiento fustal, o escurrimiento cortical. En el proceso de interceptación se reconoce que la vegetación forestal participa en la distribución espacial de la lluvia, alcanzando a la vegetación en los distintos estratos, y una vez que llega al piso forestal, presenta patrones de temporalidad, constituyendo un proceso de gran complejidad debido a los elementos estructurales del bosque y a su interacción con el ambiente (Kittredge, 1948; Dunne y Leopold, 2010).

Aun cuando los bosques no tienen influencia marcada de manera preponderante en los volúmenes de precipitación, su participación no se puede considerar como insignificante, en particular cuando se contabiliza la cantidad y la distribución de la lluvia que llega al piso del bosque (Kittredge, 1948; Dunne y Leopold, 2010); ésta es una de las razones principales por la que diversos estudios de ecología forestal se hayan dirigido a generar relaciones entre la composición y variabilidad espacial de la estructura de los bosques con la interceptación de la lluvia (Flores *et al.*, 2011; Návar, 2017).

Las precipitaciones en ecosistemas forestales se han dividido en precipitación directa (PD), escurrimiento fustal (EF) y pérdida por interceptación (I). Esta clasificación es importante en estudios de hidrología forestal (Marin *et al.*, 2000; Lida *et al.*, 2005): La precipitación neta (PN) es la cantidad de lluvia que llega al suelo, resultado de la adición de la precipitación directa (PD), translocación y el escurrimiento cortical (EF) (Manfroi *et al.*, 2004; Levia y Herwitz, 2005; André *et al.*, 2008). La PD1 es la cantidad de lluvia que llega al piso del bosque pasando a través de las copas de los árboles. La transcolación es el goteo del agua retenida de forma temporal por los componentes generalmente foliares de los árboles, PD2. El EF es la fracción de la lluvia que llega al piso del bosque, deslizándose por los fustes y ramas de los árboles (Staelens *et al.*, 2008; Levia y Germer, 2015), en donde la arquitectura del arbolado y características de la corteza juegan un papel importante (Návar, 1993). Finalmente, la interceptación de lluvia (I) es parte de la precipitación retenida por el dosel de copas que no alcanza el piso del bosque por el humedecimiento de las estructuras forestales, y por la evaporación de la lluvia interceptada durante la precipitación (Taghi *et al.*, 2013). La I se calcula de forma indirecta por la diferencia de la medición de la precipitación bruta (PB), medida por encima del dosel o en un área cercana en el abierto, y la suma de PD1, PD2 y EF (Aussenac, 1981).

$$I = PB - (PD1 + PD2 + EF)$$

De acuerdo con Sadeghi *et al.* (2015) y Návar (2017) para bosques Mexicanos, la interceptación de lluvia puede representar de 14 a 26% de la precipitación total (PB) en bosques montanos, templados, áridos y tropicales.

La interceptación de lluvia y su posterior evaporación afecta al rendimiento hídrico de las cuencas hidrográficas; su estudio es complejo y puede ser altamente variable. A escala sinóptica, los factores climáticos

como la velocidad y la exposición del viento, la intensidad y duración de la lluvia, y la incidencia de niebla, determinan la pérdida de interceptación. A escala local, un control importante de la pérdida de interceptación es la densidad y composición de la vegetación, dentro de las cuales, el área foliar determina la capacidad de la copa para almacenar temporalmente el agua y evaporarla durante o después de la precipitación. Otros factores también participan, como la exposición de la copa, irregularidad y la forma en que penetra el agua de lluvia en el dosel (Fleischbein *et al.*, 2005, Siegert y Levia, 2014).

Los diversos componentes del proceso de interceptación de las lluvias se han medido y modelado para muchos tipos de vegetación, con especial énfasis en los rodales forestales (Návar, 2011, 2013, 2017). Aun cuando estos estudios de medición de la interceptación han sido ampliamente estudiados, resulta conveniente reconocer la importancia de los modelos de interceptación de lluvias para predecir los efectos de los cambios en la cobertura vegetal en los recursos hídricos (David *et al.*, 2005; Návar, 2013). Aparte de permitir la extrapolación de los resultados de las mediciones, tanto en el espacio como en el tiempo, los modelos de interceptación también proporcionan información sobre los mecanismos del proceso de interceptación por la vegetación arbórea y de los atributos que controlan estos procesos (David *et al.*, 2005; Návar *et al.*, 2008). Para el caso de México, Flores *et al.* (2011) hacen una recopilación de los trabajos, en el tema de interceptación, reportados hasta el año 2007, destacando sus aportes por tipo de comunidad arbórea. Návar (2017) recopilan 96 estudios de caso donde aplican cuatro modelos de interceptación para cuatro diferentes tipos de bosque de México.

Dadas las consideraciones descritas, el objetivo de este trabajo fue determinar la cantidad del agua de lluvia retenida por el dosel (follaje), a través de medir el proceso de interceptación de lluvia por el dosel arbóreo, y generar modelos estadísticos de interceptación en cuatro comunidades vegetales forestales en la micro cuenca del Río Amajac,

en el estado de Hidalgo, y en la cuenca del Río Texcoco, en el Estado de México.

MATERIALES Y METODOS

En 2007, se inició, en el Campo Experimental Valle de México, una línea de investigación en el ámbito de la hidrología forestal en la micro cuenca del Río Amajac, en el estado de Hidalgo, y en la cuenca del Río Texcoco, en el Estado de México, orientada al estudio de la interceptación del agua de lluvia por la cobertura arbórea, seleccionándose cuatro tipos distintos, mismos que fueron estudiados en años diferentes: matorral inerme espinoso, localizado a 1960 msnm; bosque de *Abies religiosa* (Kunt) Schltdl. & Cham, localizado a 3000 msnm; bosque de *Quercus spp.*, ubicado a 2900 msnm y, finalmente, bosque de *Pinus hartwegii* Lindl., localizado a 3650 msnm (Figura 1).

Figura 1. Tipos de vegetación en las cuatro áreas de estudio



a) Matorral inerme espinoso



b) *Quercus spp*

c) *Abies religiosa*d) *Pinus hartwegii*

La vegetación en cada parcela, estrato arbóreo y sotobosque fue identificada mediante colectas botánicas, en el Herbario de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. El diseño de los módulos consistió en parcelas de 1.0 ha (100 x 100 m) en donde se tomó información de campo de las especies arbóreas dominantes y se realizaron mediciones de variables dendrométricas: diámetro a la altura del pecho, medida con cinta diamétrica, con aproximación al centímetro; altura total y altura de fuste limpio, medida con clinómetro Suunto; ubicación de cada árbol dentro de cada parcela y de los pluviómetros, con aproximación al decímetro, utilizando coordenadas cartesianas. Adicionalmente, se tomaron mediciones del desnivel del terreno para generar su relieve.

Para conocer la cantidad de precipitación total anual y su distribución, para cada tipo de bosque, se tomaron mediciones de la precipitación diaria en condiciones abiertas. Para la medición de la cantidad de lluvia interceptada, en cada módulo, se dispuso de una distribución aleatoria de 75 pluviómetros de lectura directa (Tru-Chek®) bajo el dosel, equipo con una precisión de 0.1 mm, colocados a una altura de 0.9 m sobre el nivel del piso para evitar el efecto de salpicado (Prasad *et al.*, 2017). Basándose en Xiao *et al.* (2000) y Sadeghi *et al.* (2015), el procedimiento para expresar la cantidad de lluvia interceptada fue mediante la diferencia entre la precipitación total medida en condiciones abiertas y el promedio general obtenido del volumen del agua de los colectores, localizados bajo el dosel de la vegetación por cada evento de lluvia.

El estudio inició en el 2007 y 2008, con Matorral inerme espinoso, seguida con Bosques de Oyamel en 2009, continuándose en 2010 con Encino, y concluyéndose en 2011 con Pino. Este procedimiento permitió generar los valores de interceptación para cada especie por evento de precipitación y precipitación total anual. En este estudio no se cuantificó el escurrimiento fustal, porque éste generalmente representa un bajo porcentaje del componente de interceptación, el cual, según datos, puede ser menor a 5% (Levia y Germer, 2015; Asadian y Weiler, 2009). Con base en la dispersión de puntos se analizó la relación de la precipitación total, contra el porcentaje de interceptación. Con el fin de correlacionar estadísticamente los valores de precipitación y de interceptación, para cada tipo de vegetación, de manera independiente se ajustaron, mediante análisis de regresión, modelos no lineales (Hosseini *et al.*, 2012; Sadeghi *et al.*, 2015). Los criterios de selección de los mejores modelos ajustados incluyeron el coeficiente de determinación y significancia de los parámetros de regresión. El análisis estadístico se realizó en el programa SAS® (SAS, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de sitio, precipitación media anual y vegetación dominante

Las características generales, en cuanto a la localización de los distintos sitios, se reportan en el Cuadro 1, en el cual se presenta información sobre la especie dominante, localidad, paraje, altitud y el año en que se realizó el estudio.

Cuadro 1. Localización de los cuatro módulos de investigación, nombre del paraje y año de establecimiento

MÓDULO	Localización	Paraje	Coordenadas	Año
Matorral Inerme Espinoso	La Estancia, Atotonilco el Grande, estado de Hidalgo.	La Laja: 1,920 m snm	20° 17' 37.02" 98° 42' 14.17"	2007
Oyamel	Ejido de San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México.	Atlapulco: 3,000 m snm	19° 26' 16.92" 98° 45' 40.81"	2009
Encino	Ejido de San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México.	Tlatzala: 2,900 m snm	19° 27' 09.11" 98° 46' 19.23"	2010
Pino	Ejido de San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México.	Cañada Honda: 3,650 m snm	19° 25' 09.85" 98° 44' 15.51"	2011

Cuadro 2. Características dasométricas de la vegetación para cada módulo de investigación.

MÓDULO	Número de árboles/ ha	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (m)	Área basal (m²/ha)
Matorral Inerme Espinoso ¹:	367	6.12	3.76	6.32
<i>Acacia farnesiana</i> (huizache)	244	4.54	3.32	1.31
<i>Eysenhardtia polystachya</i> (palo dulce)	68	4.72	4.02	0.34
<i>Juniperus flaccida</i> (enebro)	55		5.54	4.67
<i>Opuntia</i> sp (nopal)	27	15.14		
Oyamel ¹:	369	29.60	22.10	33.98
<i>Abies religiosa</i> (oyamel)	315	31.83	24.22	32.36
<i>Garrya laurifolia</i> (aguacatillo)	36	14.28	8.01	0.62
<i>Quercus rugosa</i> (encino)	10	20.35	13.55	0.34
<i>Cupressus lindleyi</i> (cedro)	4	33.75	12.87	0.49
<i>Prunus serotina</i> Sub. (capulín)	3	15.17	11.16	0.06
<i>Pinus</i> sp	1	37.50	26.00	0.11

Encino ¹:	807	11.00	5.52	10.71
<i>Quercus rugosa</i> (hoja ancha)	352	10.30	5.47	4.02
<i>Quercus deserticola</i> (hoja ancha)	397	11.81	5.50	5.86
<i>Quercus laurina</i> (laurelillo)	10	9.15	7.15	0.07
<i>Quercus laurina</i> (laurelillo)	42	7.80	5.04	0.28
<i>Arbutus tesellata</i> (madroño)	2	8.40	4.75	0.01
<i>Garrya laurifolia</i> (aguacatillo)	4	32.35		0.45
<i>Cupressus lindleyi</i> (cedro)			13.00	
Pino ¹:	133	43.83	21.44	23.26
<i>Pinus hartwegii</i>				

1/ Identificación taxonómica realizada por el Dr. Enrique Guizar Nolasco. Herbario de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo.

Para el caso de Matorral, *Pinus*, *Abies* y *Quercus*, se midieron 44, 72, 74 y 63 eventos de precipitación, respectivamente. Los resultados indican que para Matorral se reporta una precipitación acumulada anual de 866.70 mm, para el bosque de *Pinus hartwegii* se presentó una precipitación de 680.20 mm, en el bosque de *Abies religiosa* de 707.70 mm y para el bosque de *Quercus* spp de 503.00 mm. Los rangos de variación por evento fueron: *Pinus* de 0.2-23.5 mm, *Abies* de 0.2-33 mm y *Quercus* de 0.2-38 mm. Para el caso de *Pinus* y *Abies*, se presentaron datos atípicos, el primero de 82 mm y el segundo de 62 mm, respectivamente.

Medidas de Interceptación de lluvia

Para realizar la medición de las cantidades de lluvia durante el proceso de interceptación, el número de registros de los eventos de lluvia medidos variaron en cantidad, siendo éstos los eventos significativos para estos años en la zona de estudio.

El procedimiento de cálculo consistió en medir la cantidad de lluvia interceptada, tomando la diferencia entre la precipitación total medida en condiciones abiertas y el promedio general obtenido del volumen del agua de los colectores, localizados bajo el dosel de la vegetación por cada evento de lluvia, expresada como porcentaje de la precipitación total.

$$I = P_t - P_{bd}$$

Donde;

I = Cantidad de lluvia interceptada

P_t = Cantidad de precipitación total medida en áreas aledañas sin vegetación

P_{bd} = Cantidad de precipitación medida bajo dosel

Se obtuvieron los siguientes resultados. Estos valores se reportan como porcentaje en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Resultados de las medidas de interceptación (%) en los tres módulos de investigación

Módulo	Año	Precipitación Total Anual (mm)	Altitud (m s.n.m.)	Eventos de lluvia	Intercepción (%)
Matorral	2007	866.70 ¹	1 920	44	18.6
Oyamel	2009	707.70 ²	3 000	74	26.1
Encino	2010	503.00 ³	2 850	63	21.7
Pino	2011	680.20 ⁴	3 600	72	19.2

Periodos de toma de datos: 1. 17 junio al 31 de diciembre; 2. 22 mayo al 30 de septiembre; 3. 27 mayo al 30 de octubre; 4. 24 junio al 30 de septiembre.

Los porcentajes de lluvia interceptados indican las cantidades de lluvia que se pierden por evaporación al ser interceptada por la cobertura arbolada.

Generación de Modelos de Interceptación

De acuerdo con la dispersión de puntos de la relación precipitación total contra porcentaje de interceptación, y con el fin de correlacionar estadísticamente estas cantidades de interceptación, se realizó una regresión no lineal utilizando el procedimiento PROC GLM de SAS®.

Se ensayaron modelos de tipo logarítmico y exponencial (Scatena, 1990; Hosseini *et. al.*, 2012; Sadegi *et. al.*, 2015: 20-22.

$$y = a \ln X + b$$

$$y = a X^{-b}$$

donde:

y = Interceptación de lluvia bajo dosel, en porcentaje

X= Precipitación total (en abierto), medida en mm

Ln= logaritmo natural

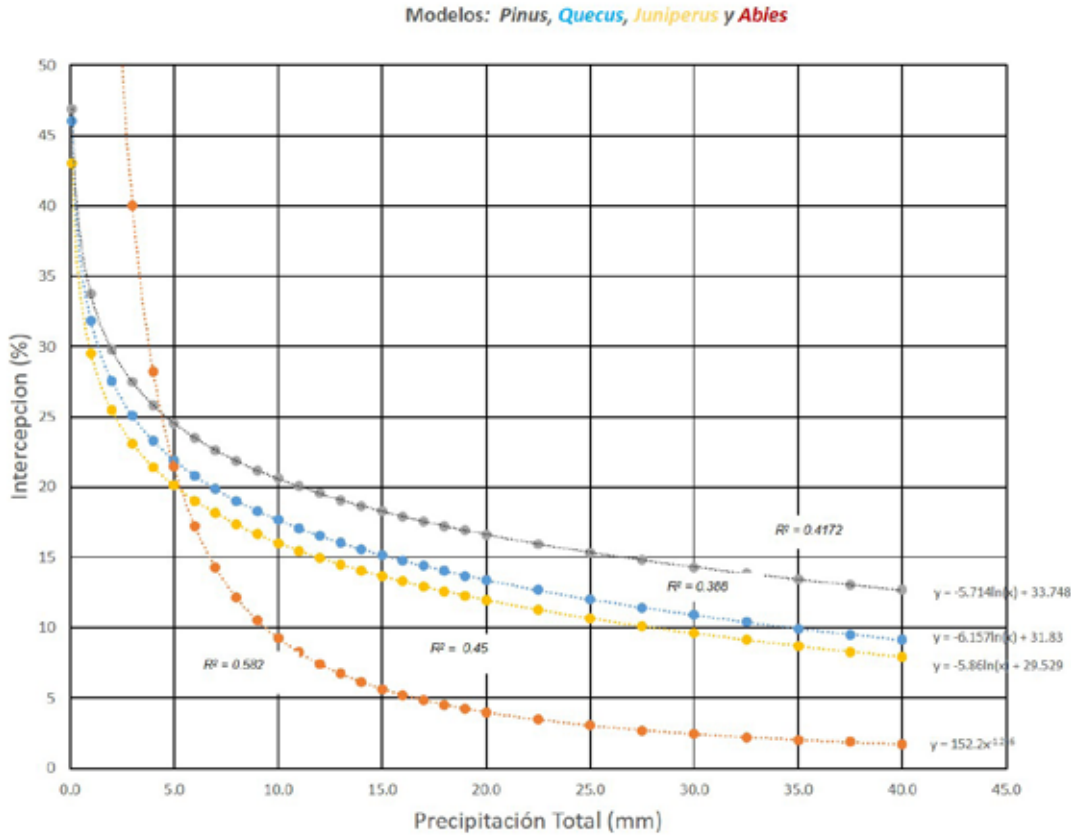
a, b = coeficientes de regresión

Para el análisis estadístico, se utilizó el procedimiento PROC GLM de SAS®. Los modelos obtenidos fueron los siguientes:

Cuadro 4. Modelos estadísticos obtenidos para cada especie

Módulo	Modelo	Coefficiente de Determinación
Oyamel	$y = 152.2 X^{-1.216}$	$R^2 = 0.5815$
Matorral	$y = -5.8603 \ln X + 29.529$	$R^2 = 0.4500$
Encino	$y = -6.1571 \ln X + 31.830$	$R^2 = 0.3883$
Pino	$y = -5.7137 \ln X + 33.748$	$R^2 = 0.4172$

Figura 2. Comportamiento gráfico de los modelos de regresión obtenidos para las especies estudiadas



Exponencial negativa para *Abies religiosa* (Kunt) Schldl. & Cham.; logarítmica negativa para Matorral inerme espinoso, *Pinus hartwegii* Lind. y *Quercus spp.*, de la relación porcentaje de intercepción como función de la precipitación total.

La gráfica anterior muestra el comportamiento de la interceptación de lluvia que refleja una parte de la condición o estructura del bosque en cuanto a las características dasométricas de las especies estudiadas. Por una parte, *Abies* tiende a formar masas de mayor densidad que Matorral, *Pinus* y *Quercus*, y dado su hábito de mantener una gran proporción de índice de área foliar a lo largo del fuste, da por resultado que las cantidades de retención de agua de lluvia de esta especie son mayores que las otras. Lo anterior explica por qué la interceptación en *Abies* sea mayor aun en bajos valores de precipitación total, situación que se refleja en el resultado obtenido.

Por otro lado, aunque el comportamiento de la interceptación es similar en los bosques de Matorral, Encino y Pino, es evidente la mayor curva de interceptación en el bosque de Pino, lo cual puede atribuirse a la mayor densidad en área basal, así como la altura y diámetro promedio en este tipo de asociación. Esta aseveración se refuerza con el comportamiento observado en el bosque de *Abies* con relación a sus variables dasométricas.

Al analizar los porcentajes de interceptación de lluvia en los cuatro casos, se observa que son congruentes con los valores obtenidos en otros bosques templados (Aussenac, 1981) y de matorral (Návar *et al.*, 2008). Aussenac (1981) y Návar *et al.* (2008) reportan valores de interceptación de 21.5% para bosques de *Pinus halepensis*; de 20.4 y 24.9% para *Quercus sessiliflora*, y 18.68% para *Acacia rigidula*, los cuales son congruentes con los observados en el presente estudio, aunque distintos para *Abies*. Valores reportados por Cantú-Silva y González-Rodríguez (2001), para *Quercus*, de 13.5%, localizados en Linares, NL, México, difieren de los encontrados en este estudio, explicable por las distintas condiciones climáticas. De acuerdo con otros estudios, estos resultados son consistentes con la investigación en el tema, en términos del comportamiento de los modelos de interceptación (Hosseini *et al.*, 2012; Sadeghi *et al.*, 2015). Es importante resaltar que los resultados del presente estudio sugieren que otras variables, como la densidad (Kittredge, 1948; Torres-Rojo, 2014) o la

estructura del bosque (Gadow *et al.*, 2011), aquí no analizadas, participan de manera importante en el proceso de interceptación de lluvia, dada por la estrecha dependencia de los atributos del arbolado, su distribución espacial y las características/ dimensiones del dosel.

CONCLUSIONES

La metodología permitió la generación de resultados propuestos en el objetivo, lográndose obtener cuatro modelos que describen adecuadamente los valores y comportamiento de la interceptación de lluvia para cada especie dominante analizada en el estudio. Las características evaluadas permiten, mediante los modelos propuestos, el pronóstico de los efectos de la cubierta vegetal sobre el ingreso del agua de lluvia en el piso forestal, en la zona de estudio.

No se realizan comparaciones entre modelos dado que los cuatro módulos presentan características distintas en cuanto a especies, altitud, exposición y condiciones microambientales.

De acuerdo con las diferencias estadísticas encontradas en los distintos modelos de interceptación, es posible que otras variables requieran incorporarse al análisis en la modelación del proceso de interceptación de lluvia.

Es necesario ampliar este tipo de estudios a otras regiones forestales y elaborar un programa de monitoreo permanente que permita soportar y ampliar los resultados de investigación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean hacer patente su agradecimiento a las autoridades ejidales de la comunidad de San Pablo Ixayoc, municipio de Texcoco, Estado de México, por su apoyo y las facilidades de acceso a sus bosques para la realización del presente trabajo de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- André, F. *et al.*, 2008, "Effects of biological and meteorological factors on stemflow chemistry within a temperate mixed Oak-beech stand", en *Science of the total environment* (393): 72-83.
- Asadian, Y. y M. Weiler, 2009, "A New approach in measuring rainfall Interception by urban trees in coastal British Columbia", en *Water Qual. Res. J. Can.* 44 (1): 16-25.
- Aussenac, G., 1981, "L'interception des précipitations par les peuplements forestiers", en *La Houille blanche* (7-8): 531-536.
- Cantú, I. y H. González, 2001., "Interception loss, throughfall and stemflow chemistry in pine and oak forests in northeastern Mexico", en *Tree Physiology* 21: 1009-1013.
- David, J. *et al.*, 2005, "Evaporation of intercepted rainfall", en Anderson, M. (Ed.), *Encyclopedia of Hydrological Sciences*, John Wiley and Sons. Ltd.
- Fleischbein, K. *et al.*, 2005, "Rainfall interception in a lower montane forest in Ecuador: effects of canopy properties", en *Hydrological Processes* 19(7): 1355-1371.
- Flores, A. *et al.*, 2011, "Intercepción de lluvia por vegetación forestal. Estado actual de la investigación en México e Hidalgo", en *Aportes para el desarrollo del estado de Hidalgo*, vol. 1, *Agua y Medio Ambiente*, Ed. Miguel Ángel Porrúa, México.
- Gadow, K. *et al.*, "Forest Structure and Diversity", en Pukkala, T. y K. Gadow (Eds.), *Continuous Cover Forestry, Book Series Managing Forest Ecosystems*, Vol. 24, Springer Science-Business Media.
- Hosseini, G. *et al.*, 2012, "Throughfall, stemflow, and rainfall interception in a natural pure forest of chestnut-leaved Oak (*Quercus castaneifolia* C.A. Mey.) in the Caspian Forest of Iran", en *Ann. For. Res.*, 55(2): 197-206.
- Kittredge, J., 1948, *Forest influences. The effects of woody vegetation on climate, water, and soil, with applications to the conservation of water and the control of floods and erosion*, Dover Publications, Inc., Nueva York.

- Levia, F. y S. Herwitz, 2005, "Interspecific variation of bark water storage capacity of three deciduous tree species in relation to stemflow yield and solute flux to forest soils", en *Catena* 64: 117-137.
- Levia, F. y S. Germer, 2015, "A review of stemflow generation dynamics and stemflow-environment interactions in forests and shrublands", en *Rev. Geophys.*, 53:673-714, doi:10.1002/2015RG000479.
- Lida, S. et al., 2005, "Change of interception process due to the succession from Japanese red pine to evergreen oak", en *Journal of Hydrology*, 315: 154-166.
- Manfroi, O. et al., 2004, "The stemflow of trees in a Bornean lowland tropical forest", en *Hydrological Processes* 18(13): 2455-2474.
- Marin, C. et al., 2000, "Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia", en *Journal of Hydrology* 237: 40-57.
- Návar, J., 1993, "The causes of stemflow variation in three semi-arid growing species of northeastern Mexico", en *Journal of Hydrology*, 145(1-2): 175-190.
- Návar, Ch. et al., 2008, "Intercepción de la lluvia en especies de leguminosas del nordeste de México", en *Terra Latinoamericana* 26 (1):61-68.
- Návar, J., 2011, "Stemflow variation in Mexico's northeastern forest communities: Its contribution to soil moisture content and aquifer recharge", en *Journal of Hydrology* 30: 35-42.
- Návar, J., 2013, "The performance of the reformulated Gash's interception loss model in Mexico's northeastern temperate forests", en *Hydrological Processes* 27: 1626-1633.
- Návar, J., 2017, "Fitting rainfall interception models to forest ecosystems of Mexico", en *Journal of Hydrology* 548: 458-470
- Prasad, G. et al., 2017, "Measurement and modeling of rainfall interception by two differently aged secondary forests in upland eastern Madagascar", en *Journal of Hydrology* 545: 212-225.

- Taghi, M. *et al.*, 2013, "The role of rainfall size in canopy interception loss: An observational study in a typical beech forest", en *Middle-East Journal of Scientific Research* 3(7): 876-882.
- Sadeghi, M. *et al.*, 2015, "Differences in rainfall interception during the growing and non-growing seasons in a *Fraxinus rotundifolia* Mill. plantation located in a semiarid climate", en *Journal of Agricultural Science and Technology* 17(1): 145-156.
- Scatena, N., 1990, "Watershed scale rainfall interception on two forested watersheds in the Luquillo mountains of Puerto Rico", en *Journal of Hydrology* 113(1990): 89-102.
- Siegert, M. y D. Levia, 2014, "Seasonal and meteorological effects on differential stemflow funneling ratios for two deciduous tree species", en *Journal of Hydrology* 519: 446-454.
- Staelens, J. *et al.*, 2008, "Rainfall partitioning into throughfall, stemflow, and interception within a single beech (*Fagus sylvatica* L.) canopy: influence of foliation, rain event characteristics, and meteorology", en *Hydrological Processes* 22(1): 33-45.
- Statistical Analysis System Institute (SAS), 2007, *The SAS System for Windows ver. 9.1.3*. SAS Institute Inc. Cary, NC, EUA.
- Torres, M., 2014, "Exploring volume growth-density of mixed multiaged stands in northern Mexico", en *Agrociencia* 48(4): 447-461.
- Xiao, Q. *et al.*, 2000, "Winter rainfall interception by two mature open-grown trees in Davis, California", en *Hydrological Processes* 14(4): 763-784.

