



DOI: [10.29298/rmcf.v15i83.1443](https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i83.1443)

Artículo de investigación

Pérdidas de agua por intercepción de lluvia en un fragmento de bosque mixto en Durango

Water losses from rainfall interception in a fragment of a mixed forest in the state of *Durango*

César Gerardo Ramos Hernández¹, Israel Cantú Silva¹, Sacramento Corral Rivas², Francisco Javier Hernández², Tilo Gustavo Domínguez Gómez^{2,3*}

Fecha de recepción/Reception date: 20 de septiembre de 2023.

Fecha de aceptación/Acceptance date: 16 de febrero de 2024.

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. México.

²Instituto Tecnológico de El Salto, División de Estudios de Posgrado e Investigación. México.

³Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Forestales, Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales. México.

*Autor por correspondencia; correo-e: gustavo_dguezg@hotmail.com

*Corresponding author; e-mail: gustavo_dguezg@hotmail.com

Resumen

Para conocer las propiedades hidrológicas de un fragmento de bosque mixto en Durango, se desarrolló un experimento durante el periodo 2017-2020. Se cuantificó la distribución y el flujo de agua de las precipitaciones incidente, directa y escurrimiento fustal para cuantificar las pérdidas por intercepción y las propiedades físicas y químicas del agua. Se evaluaron 77 eventos, con una acumulación de 2 236.1 mm de precipitación. La precipitación directa para *Pinus durangensis*, *P. engelmannii* y *P. teocote* representó 72.4, 71.9 y 70.4 %, respectivamente. La lluvia que atravesó el dosel mostró una relación aceptable en referencia a la precipitación incidente, con valores promedio de 0.83 del Coeficiente de Determinación (R^2); el escurrimiento fustal fue de 0.41 para *P. durangensis*, 0.40 en *P. engelmannii* y 0.46 % en *P. teocote*, con un R^2 promedio de 0.47, y una mayor variación. Las pérdidas por intercepción fueron de 27, 28 y 29 %, respectivamente, con un R^2 entre 0.35 para *P. teocote* y 0.44 para *P. engelmannii*. El pH del pluviolavado fue de 5.9 para la precipitación incidente, que decreció a 5.0 en relación con la precipitación directa y 4.1 al escurrimiento fustal. La conductividad eléctrica evidenció un cambio químico en la composición del agua, con valores de $32.4 \mu\text{S cm}^{-1}$ para la precipitación incidente, $39.0 \mu\text{S cm}^{-1}$ en la precipitación directa y $75.0 \mu\text{S cm}^{-1}$ en el escurrimiento fustal. Las propiedades hidrológicas de las tres especies de coníferas no presentan variación en función de las diversas vías de redistribución de la lluvia.

Palabras clave: Escurrimiento fustal, intercepción, pluviolavado, precipitación, propiedades fisicoquímicas, propiedades hidrológicas.

Abstract

In order to understand the hydrological properties of a fragment of mixed forest in the state of *Durango*, Mexico, an experiment was carried out during the 2017-2020 period. The distribution and flow of rainwater incident rainfall, direct rainfall and stemflow, were quantified in order to assess the interception losses and the physical and chemical properties of the water. 77 events with an accumulation of 2 236.1 mm of rainfall were evaluated. Direct rainfall in *Pinus durangensis*, *P. engelmannii*, and *P. teocote* amounted to 72.4, 71.9, and 70.4 %, respectively.

The rainfall that trickled down through the canopy showed an acceptable relationship with respect to incident rainfall, with average values of 0.83 of the Coefficient of Determination (R^2); the stemflow was 0.41 for *P. durangensis*, 0.40 for *P. engelmannii*, and 0.46 % for *P. teocote*, with an average R^2 of 0.47 and a greater variation. The interception losses were 27, 28, and 29 %, respectively, with an R^2 ranging between 0.35, for *P. teocote*, and 0.44 for *P. engelmannii*. The pH of throughfall was 5.9 for incident rainfall, 5.0 for the direct rainfall, and 4.1 for stemflow. Electrical conductivity evidenced a chemical change in the water composition, with $32.4 \mu\text{S cm}^{-1}$ values for incident rainfall, $39.0 \mu\text{S cm}^{-1}$ for direct rainfall and $75.0 \mu\text{S cm}^{-1}$ for stemflow. The hydrological properties of the three species of conifers do not exhibit variation in terms of the various pathways of redistribution of rainfall.

Key words: Stemflow, interception, throughfall, rainfall, physiochemical properties, hydrological properties.

Introducción

La intercepción de la precipitación en los ecosistemas forestales tiene un rol importante en el retorno del agua a la atmósfera y en la cantidad que llega al suelo. El proceso de intercepción de la lluvia normalmente depende de las características de la lluvia (cantidad, intensidad, duración, tamaño y número de las gotas), condiciones micrometeorológicas, composición y distribución de especies, estructura del dosel (área foliar, densidad de copa, área de la superficie del fuste) y del clima (Sheng y Cai, 2019).

Las características de los procesos de la intercepción dentro del ciclo hidrológico en los bosques naturales es el resultado de las interacciones entre los componentes del ecosistema, por lo tanto, proyectan la dinámica del ciclo hídrico (Fathizadeh *et al.*, 2017), por ello es importante su estudio como requisito previo para el desarrollo de estrategias para la conservación del agua.

De acuerdo con Návar (2020), la intercepción de lluvia en los bosques de coníferas, los cuales están entre las formaciones vegetales con mayor capacidad de retención de agua, alcanza valores de hasta 25 % de la precipitación total; sin embargo, se ha descuidado la evaluación de la intercepción en el dosel y su posterior evaporación que afecta de manera directa el rendimiento hídrico de las cuencas

hidrológicas, debido principalmente a las dificultades que implica realizar mediciones directas en campo.

Una forma para estimar la intercepción de las precipitaciones consiste en dividir su redistribución en tres porciones: precipitación incidente, escurrimiento fustal y precipitación directa. La lluvia retenida en el dosel se denomina precipitación directa, mientras que la lluvia que cae directamente al suelo sin tener contacto con la vegetación, corresponde a la precipitación incidente, y el escurrimiento fustal es toda la lluvia que escurre por el tronco y llega hasta la base de árbol, la cual al sumarse con la precipitación directa, da como resultado la lluvia total que alcanza el suelo, conocida como precipitación neta (Cantú y González, 2005).

Por lo tanto, la intercepción de lluvia se estima con la diferencia entre la precipitación incidente y la precipitación neta (Zabret *et al.*, 2018). No obstante, la pérdida de lluvia inducida por las variables climáticas y la estructura forestal son un problema para los estudios de intercepción en ecosistemas forestales (Yann *et al.*, 2015), lo que implica considerar el papel de los bosques en relación con los climas regionales, estatales y continentales en el ciclo del agua (Sheil y Murdiyarsa, 2009).

El agua que tiene contacto y fluye a través de la cubierta vegetal hasta alcanzar el suelo, en su trayecto se enriquece de elementos minerales y materia orgánica provenientes de los exudados de las hojas y del fuste de los árboles, lo que crea condiciones propicias para el desarrollo óptimo de las plantas (Béjar *et al.*, 2018). Además, las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua en los suelos bajo el dosel forestal desempeñan un papel crucial, ya que proporcionan agua de calidad a los arroyos, y al generar condiciones idóneas para el desarrollo de la fauna edáfica contribuyen a mantener una diversidad de microfauna alta (Neary *et al.*, 2009).

Dadas las consideraciones descritas y que son pocos los estudios realizados para evaluar el balance del agua precipitada que es interceptada por las especies forestales de la región de El Salto, Durango, el objetivo de este estudio fue estimar la cantidad de agua incidente, precipitación directa, escurrimiento fustal y pérdida

de agua de tres especies del género *Pinus* L. (*P. durangensis* Martínez, *P. engelmannii* Carrière y *P. teocote* Schltdl. & Cham.) del ejido Adolfo Ruiz Cortines, a fin de generar ecuaciones estadísticas de predicción de intercepciones en un fragmento de bosque mixto; además se incluye la caracterización del pluviolavado en las diversas vías de redistribución de la lluvia.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el ejido Adolfo Ruiz Cortines, ubicado en la Gran Meseta de la Sierra Madre Occidental en la subprovincia denominada Cañones Duranguenses dentro del municipio Pueblo Nuevo, en el estado de Durango, México. Geográficamente, se sitúa entre las coordenadas 23°41' y 23°45' latitud norte y entre los 105°14' y los 105°19' de longitud oeste (Figura 1). El tipo de clima corresponde a Semifrío Subhúmedo con lluvias en verano, e intervalos de precipitación entre 5 y 10.2 mm (García, 2004). El régimen de lluvia en la región suele ser escaso, las mayores precipitaciones ocurren de junio a septiembre, con una precipitación media anual de 850 mm (Domínguez-Gómez *et al.*, 2022). Las temperaturas en el sitio fluctúan de -0.9 °C en el mes de enero y 22.5 °C en agosto, con una evaporación media anual de 97.7 mm; datos obtenidos mediante un sensor automatizado tipo *HOBO* (Familia H8, *Forestry Suppliers, Inc.*®) ubicado en colindancia al sitio.

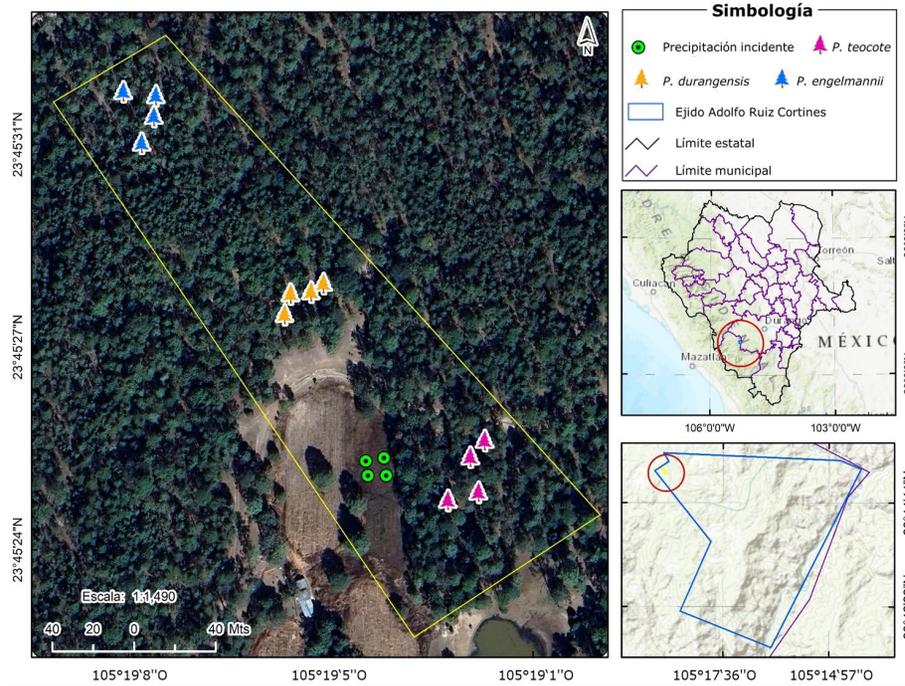


Figura 1. Ubicación del área de estudio en el contexto estatal.

De acuerdo con la cartografía editada por el INEGI (2010) en la Red Hidrográfica 2.0, el área de estudio se localiza dentro de la Región Hidrológica 11 (Presidio-San Pedro), la cual comprende la cuenca Río Presidio, que contiene la subcuenca de Arroyo El Jaral. Respecto a la vegetación, en la mayor parte del predio predominan los bosques de pino-encino con distintas condiciones de productividad, destaca la presencia de especies de pinos y encinos: *Pinus ayacahuite* C. Ehrenb. ex Schltl. var. *veitchi* (Roehl) Shaw, *P. cooperi* C. E. Blanco var. *ornelasii* (Martínez) C. E. Blanco, *P. durangensis*, *P. leiophylla* Schiede ex Schltl. & Cham., *P. teocote*, *Quercus durifolia* Seemen, *Q. rugosa* Née y *Q. sideroxylo* Bonpl. (Domínguez et al., 2018).

Medición de los componentes de las precipitaciones

A partir de la delimitación de un área experimental de 2 500 m², se ubicaron tres parcelas de 20×20 m, es decir, una parcela por especie, en cada una se colocaron recolectores de la precipitación directa y de escurrimiento fustal, los cuales fueron considerados como repeticiones dentro de cada parcela homogénea, y se asumió una representatividad del dosel. Las características dasométricas más relevantes que se midieron para los individuos de las tres especies por parcela fueron: diámetro normal (D_n , cm) empleando una forcípula *Haglöf*[®] Mantax Blue 500 mm, altura total (H , m) por medio de un clinómetro *Suunto Tandem*[®] 360PC/360R DG, y área de copa mediante una cinta *Truper*[®] TP50ME con orientación norte-sur y este-oeste (Silva-González *et al.*, 2021); con los datos de esta última variable se consideró la representatividad del dosel por especie. Los datos de cobertura se compararon con los de Domínguez-Gómez *et al.* (2022), quienes establecieron parcelas de estudio en la zona y determinaron que la cobertura promedio de los taxa estudiados fue de 8 m², por lo que se estableció que las coberturas obtenidas son representativas de las especies.

Después de cada evento de lluvia, se realizó la medición del volumen de lluvia de agua precipitada y la toma de una muestra para su análisis químico. Dichas mediciones se llevaron a cabo a partir de junio de 2017 a diciembre de 2020.

Precipitación incidente. La colecta de la lluvia que llega directamente al suelo, sin tener contacto con el dosel vegetal, se recolectó utilizando canaletas en forma de U hechas con PVC de 0.1 m² (100 cm de largo×10 cm de ancho), las cuales fueron conectadas con mangueras a recipientes de 20 L para la recolecta del agua de lluvia; las canaletas se recubrieron con una malla, a fin de evitar su obstrucción con residuos (Figura 2A). En total, se instalaron cuatro canaletas a 1.30 m con respecto al suelo en un lugar desprovisto de vegetación (Yáñez-Díaz *et al.*, 2014).



A = Precipitación incidente y directa; B = Escurrimiento fustal.

Figura 2. Diseño de las canaletas utilizadas para la recolecta de las precipitaciones.

Precipitación directa. Se utilizó el mismo diseño de la canaleta descrita anteriormente. Se instalaron por parcela de cada especie cuatro canaletas (una por individuo) situadas en la parte baja del dosel de los árboles seleccionados; quedaron fijas en el mismo lugar durante todo el periodo experimental. El total de canaletas fue de 12, ubicadas dentro del sitio de estudio.

Escurrimiento fustal. Para llevar a cabo las mediciones del escurrimiento fustal, se usaron mangueras aceradas de plástico, con perforaciones de 1.5×2.5 cm, colocadas a cada 4 cm. Las mangueras se pusieron sobre los troncos desprovistos de corteza, en forma de espiral, en dos vueltas y media hasta alcanzar una altura máxima de 2 m. Con el fin de evitar la pérdida de lluvia, las mangueras fueron selladas con silicón en la parte superior e inferior (Figura 2B), y se colocaron en los mismos individuos seleccionados para la medición de la precipitación directa (Béjar *et al.*, 2018).

Pluviolavado. Con el fin de conocer los valores de conductividad eléctrica (CE) y pH de las muestras que se recolectaron en cada uno de los componentes

(precipitación directa, incidente y escurrimiento fustal), se realizó una medición de manera directa mediante un electrodo de potenciómetro-conductivímetro *Consort Multiparameter Analyser*[®] modelo C3010.

Pérdidas por intercepción. La intercepción se estimó como la diferencia entre la precipitación incidente y la suma de la precipitación directa y el escurrimiento fustal (Cantú y González, 2005) a través de la Ecuación 1:

$$I = PI - (PD + SF) \quad (1)$$

Donde:

I = Pérdidas por intercepción (mm)

PI = Precipitación incidente (mm)

PD = Precipitación directa (mm)

SF = Escurrimiento fustal (mm)

Mediante análisis estadístico y regresión lineal, se obtuvieron las estimaciones de los valores de intercepción para cada especie bajo estudio. Todo ello permitió conocer los valores específicos acerca de los volúmenes de agua interceptada para cada especie.

Análisis estadístico

Para demostrar si las variables dependientes pH y conductividad eléctrica provienen de una distribución normal y cumplir con los supuestos básicos relacionados a normalidad de residuos, homogeneidad de varianza de residuos e independencia de residuos para ajustar un modelo de regresión y análisis de varianza, se aplicó la

prueba de *Kolmogorov* y *Shapiro-Wilk* (Brown y Forsythe, 1974). Al no cumplir con los supuestos antes señalados, se llevó a cabo la prueba no paramétrica de *Kruskal-Wallis* (Ott y Longnecker, 2001) en el programa estadístico *Statistical Package for Social Sciences* (*SPSS* por sus siglas en inglés) versión 22.0 para *Windows* (IBM, 2016), con un nivel de significancia de 5 %.

La predicción de la precipitación interceptada, precipitación directa y escurrimiento fustal en función de la precipitación incidente se realizó a través del análisis de regresión lineal simple cuya expresión del modelo es la Ecuación 2. La estimación de los parámetros fue aplicando la técnica de mínimos cuadrados.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 \times x_{i1} + \dots + \beta_p \times x_{ip} + e_i \quad (2)$$

Donde:

y_i = Variable dependiente

x_i = Variable independiente

β_0 = Ordenada al origen

β_1 = Parámetro de la pendiente

e_i = Error aleatorio o perturbación; ($i=1,2,\dots,n$) de la observación i -ésima, siendo n el número de observaciones utilizadas en el ajuste del modelo.

Resultados y Discusión

Precipitación incidente y directa, escurrimiento fustal y pérdidas por intercepción

Durante los cuatro años de estudio (junio 2017-diciembre de 2020) se registraron 2 236.1 mm, distribuidos en 77 eventos de lluvia. Las precipitaciones acumuladas a lo largo del periodo de experimentación indicaron que el año 2018 presentó más número de eventos (23 eventos); sin embargo, la mayor lámina de lluvia se registró en 2020 (649.0 mm) (Figura 3), y representó 29 % del total acumulado.

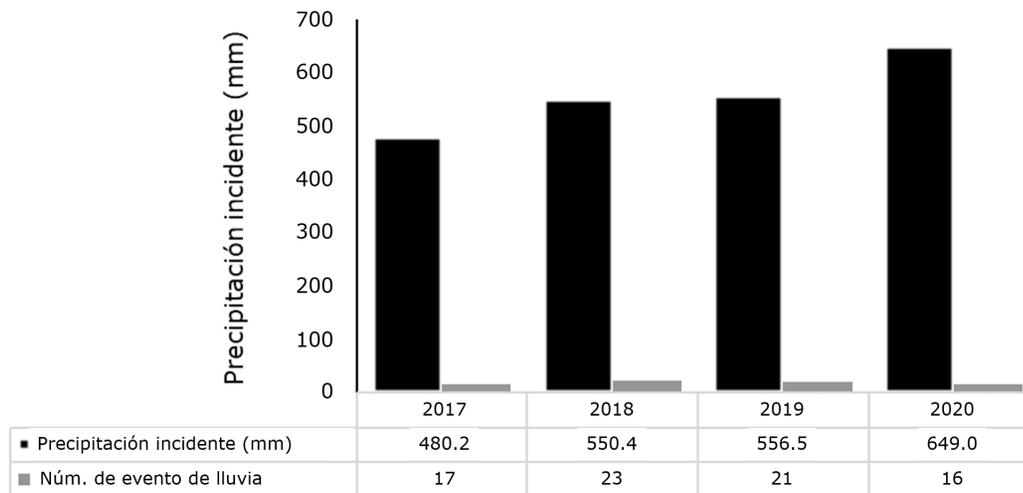


Figura 3. Precipitación acumulada durante el periodo experimental.

El porcentaje de la precipitación directa registrada fue de 72.4, 71.9 y 70.4 % para *P. durangensis*, *P. engelmannii* y *P. teocote*, respectivamente, lo cual fue en promedio 73.91 % del total de la precipitación incidente. El análisis de regresión lineal demostró que existe una aceptable relación entre la precipitación directa e

incidente en cada una de las especies estudiadas. En los tres taxa, los valores de R^2 fueron superiores a 0.70.

Besteiro y Rodríguez (2012), al estudiar la distribución temporal de las precipitaciones y su redistribución bajo una plantación de *Pinus radiata* D. Don, registraron 69.2 % de precipitación directa en relación con la precipitación incidente. Los análisis de regresión lineal mostraron un valor de Coeficiente de correlación (R^2)>0.80; es decir que la cantidad de agua que pasa a través del dosel tiene una estrecha relación con el agua sobre el mismo, aun cuando son diferentes especies de pinos, ello indica que la cubierta vegetal dada por los pinos influye de manera inmediata en la redistribución de la lluvia. Además, se ha señalado que el dosel de estos taxones forma un sistema de amortiguamiento y redirección de las gotas, por lo que estas llegan al suelo de una manera más suave y menos impactante, lo cual impide que se presente un proceso de desprendimiento de partículas del suelo y se evita un proceso de erosión (Tonello *et al.*, 2014).

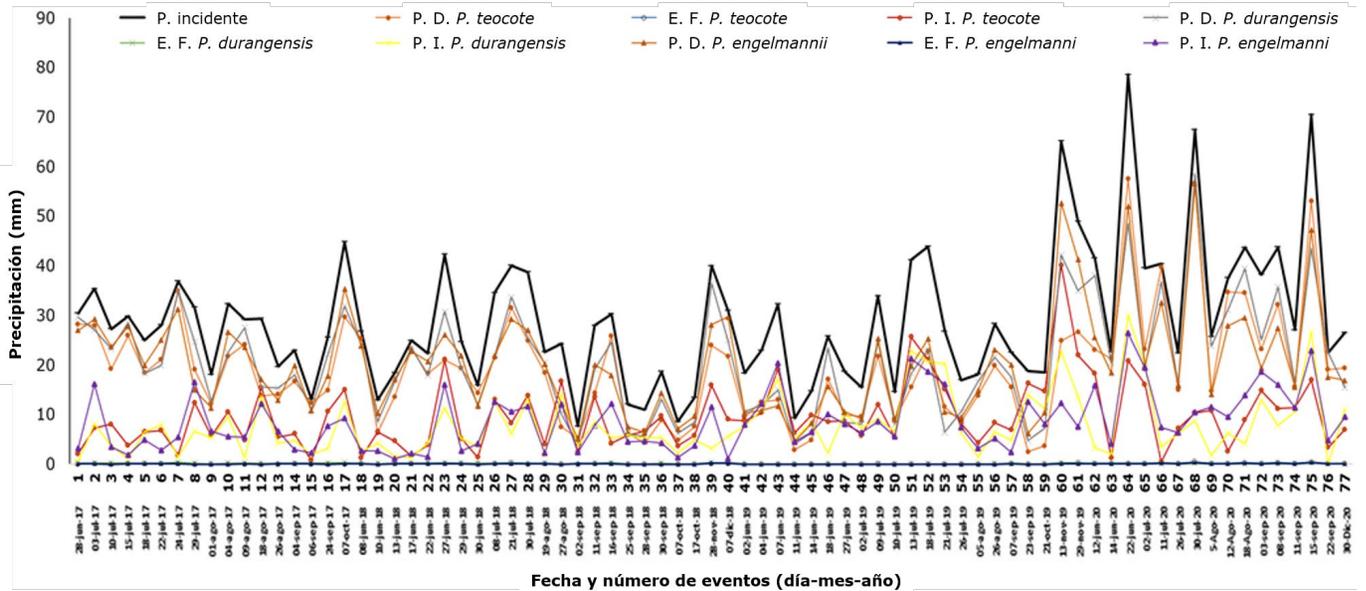
El porcentaje de los escurrimientos fustales, en relación con la precipitación incidente, fue menor a uno por ciento en cada una de las especies. Además, se apreció muy poca variación en los porcentajes, por lo que se puede considerar como no significativo; principalmente se asocia a que las características dasométricas y fenológicas de las especies bajo estudio son muy similares. Los porcentajes de escurrimiento fustal para *P. durangensis*, *P. engelmannii* y *P. teocote* fueron de 0.41, 0.40 y 0.46 %, respectivamente; las similitudes en los porcentajes se relacionan, principalmente, con su tipo de corteza, diámetro y altura. Las tres especies presentan fustes con estrías, así como diámetros y alturas similares (Cuadro 1).

Cuadro 1. Datos dasométricos de las especies bajo estudio.

Especie	Diámetro normal (cm)	Altura (m)	Cobertura de copa (m²)
<i>Pinus teocote</i> Schltdl. & Cham.	30	22.7	8.0
<i>Pinus durangensis</i> Martínez	28	22.5	7.5
<i>Pinus engelmannii</i> Carrière	32	21.0	7.0

A pesar de que el escurrimiento fustal se considera de poca relevancia debido a que suele representar una minúscula fracción de la precipitación total (incidente), tiene importantes implicaciones biogeoquímicas en los ecosistemas forestales, las cuales van más allá de la abundancia o escasez de agua para el suelo cercano a los fustes (Levia y Germer, 2015; Van Stan y Gordon, 2018). Por ejemplo, es una fuente significativa del abastecimiento de agua para las especies vegetales suprimidas o que se desarrollan en los estratos inferiores de los bosques (Tamez *et al.*, 2018), y brinda un mayor arrastre tanto de solutos, como de partículas que incorporan nutrientes al suelo (Wang *et al.*, 2011).

El análisis individual de la lluvia total, precipitación directa, escurrimiento fustal e intercepción en cada evento evidenció escasa variabilidad (Figura 4). La mayor acumulación de lluvia ocurrió durante el último periodo, comprendido a partir del evento 60; destacó el evento 64 que presentó la mayor cantidad de agua acumulada para las tres especies. En contraste, el de menor acumulación correspondió al evento 31. Los eventos con mayor precipitación demuestran que al aumentar la cantidad de lluvia incidente, los valores en las otras vías de redistribución se incrementan como producto del escurrimiento de agua en los diversos componentes del dosel forestal. Yáñez-Díaz *et al.* (2014) señalan que la lluvia que se deposita sobre el suelo, no es una fracción constante de la precipitación total.



P. = Precipitación; P. D. = Precipitación Directa; E. F. = Esgurrimiento Fustal; P. I. = Pérdidas por intercepción.

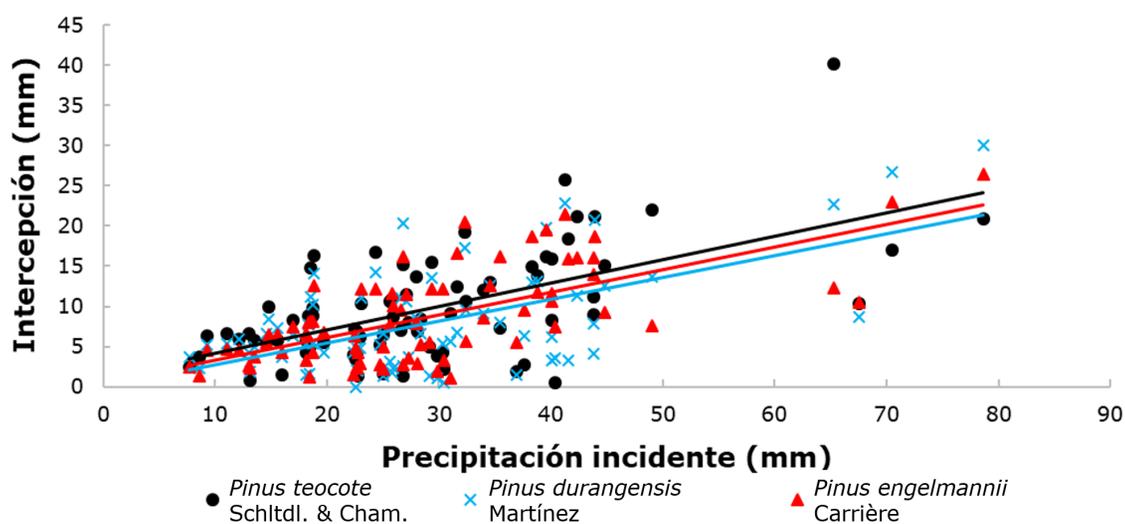
Figura 4. Dinámica de la precipitación total para las tres especies bajo estudio en las diferentes vías de redistribución de los eventos de lluvia durante el periodo experimental.

Las pérdidas por intercepción del dosel correspondieron, en promedio, a 28.13 % para las tres especies estudiadas; *P. durangensis* 27.16 %, *P. engelmannii* 28.07 % y *P. teocote* 29.17 %. Los intervalos de intercepción en el presente estudio están dentro de los valores de intercepción citados en la literatura especializada para bosques similares (Flores *et al.*, 2016; Magliano *et al.*, 2019); lo anterior comprueba que los patrones en los valores de las pérdidas por efecto de la intercepción del dosel siguen una tendencia.

Entender los procesos de intercepción por parte del dosel vegetal brinda la oportunidad de tener herramientas de predicción hidrológica (Deng *et al.*, 2022), ya que es un componente importante del equilibrio hídrico y energético en los ecosistemas forestales. No obstante, los múltiples agentes que intervienen en este

proceso y sus interacciones son bastantes complejos (Su *et al.*, 2022). El dosel es la primera parte de la vegetación en entrar en contacto con la lluvia y en afectar su redistribución, lo que hace que su arquitectura y la variación de su estructura aumente la heterogeneidad espacial a través de las diversas vías de redistribución de la lluvia (Schumacher y Christiansen, 2015). En consecuencia, la relación entre el dosel y la interceptación se ha convertido en un tema central en la investigación hidrológica (Su *et al.*, 2016).

En varios estudios (Rotenberg y Yakir, 2010; Wang y Guo, 2023) se ha demostrado que la interceptación es un componente importante, el cual influye en los microclimas y en el balance hídrico, ya que afecta la cantidad de lluvia que llega al suelo y desempeña un papel en la regulación de la tasa de transpiración de los árboles (Zore *et al.*, 2022). En la Figura 5 se ilustra la dispersión de los datos de la precipitación incidente e interceptación en relación con las tres especies de coníferas durante el periodo experimental.



Cada valor representa la media de las cuatro repeticiones por especie durante los 77 eventos registrados.

Figura 5. Relación entre la precipitación incidente (mm) y la interceptación (mm) para las diferentes especies.

Los resultados del análisis de regresión lineal entre la precipitación incidente y las pérdidas por efecto de la intercepción se muestran en el Cuadro 2, donde los coeficientes de determinación (R^2) estimados fueron de 0.35, 0.44 y 0.36 para *P. durangensis*, *P. engelmannii* y *P. teocote*, respectivamente. Estos valores sugieren una correlación moderada e indican que, aunque la precipitación incidente influye en las pérdidas por intercepción, existen múltiples factores que inciden tanto pasiva como activamente en este proceso. El Coeficiente de determinación para las ecuaciones fue significativo en los tres casos, por lo que se confirma que cuando la cantidad de precipitación incidente (mm) aumenta, se incrementan los valores absolutos de intercepción del dosel.

Cuadro 2. Ecuaciones para estimar las pérdidas por intercepción de las diferentes especies estudiadas.

Especie	n	Ecuación	R²	EEE	P-valor
<i>Pinus durangensis</i> Martínez	77	$y = 0.2716x + 0.0405$	0.35	5.28	<0.001
<i>Pinus engelmannii</i> Carrière	77	$y = 0.2807x + 0.4812$	0.44	4.44	<0.001
<i>Pinus teocote</i> Schltld. & Cham.	77	$y = 0.2914x + 1.2052$	0.36	5.45	<0.001

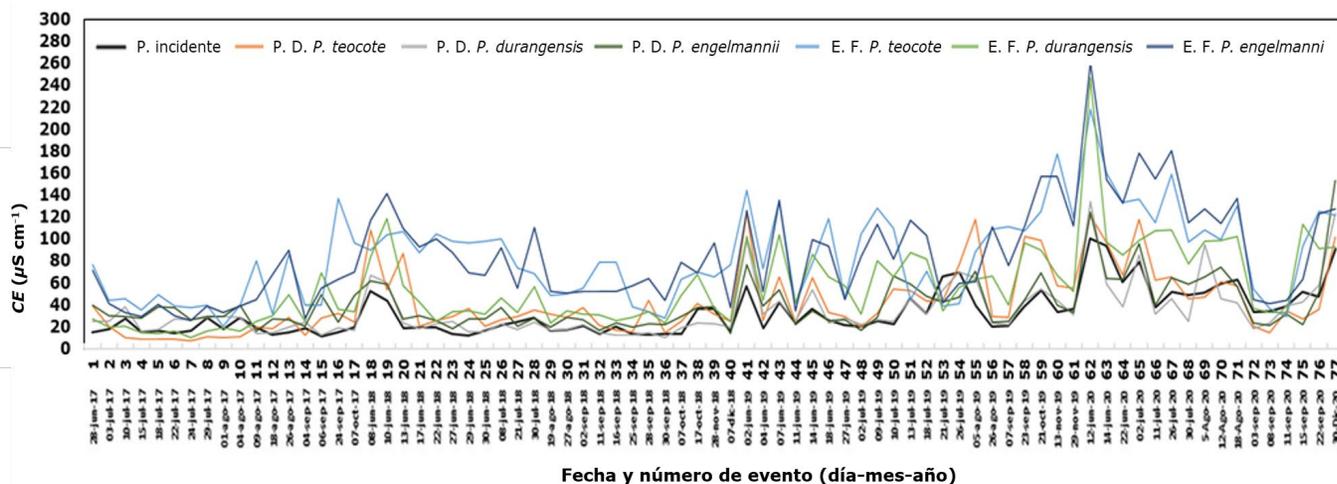
EEE = Error Estándar Estimado.

Pluviolavado

Conductividad eléctrica

El agua que atraviesa el dosel de las especies estudiadas presentó cambios constantes en los valores de la conductividad eléctrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$), tanto en la

precipitación directa como en el escurrimiento fustal en relación con la precipitación incidente. Con base en los resultados, es razonable suponer que a medida que el agua pasa por la cubierta vegetal, arrastra diversas sales minerales que originan cambios en esta propiedad. En la Figura 6 se aprecia el comportamiento de la *CE*.



P. = Precipitación; P. D. = Precipitación Directa; E. F. = Ecurrimiento Fustal. Cada valor graficado representa la media ($n=4$).

Figura 6. Variación temporal de la conductividad eléctrica en los diversos componentes de la redistribución de lluvia.

El resumen de los valores de la *CE* se muestra en el Cuadro 3. La precipitación incidente presentó $32.4 \mu\text{S cm}^{-1}$, que muestra un aumento en comparación con los valores para la precipitación directa en las tres especies estudiadas. Del análisis de los datos de la conductividad eléctrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) del agua recolectada, el escurrimiento fustal tuvo un comportamiento más variado respecto a la precipitación directa, con valores por encima de la precipitación incidente debido principalmente a que se presenta una mayor incorporación de partículas y sedimentos durante el movimiento del agua a través del fuste y las hojas. Estos razonamientos permiten suponer diferencias en las composiciones químicas entre

los diversos componentes, que se asocian a la presencia de diversas sales minerales e incorporación de partículas (Luna-Robles *et al.*, 2019). Otro factor que altera el comportamiento de la conductividad eléctrica es la cantidad y arrastre de aniones corticales, ya que cuando la ocurrencia y la cantidad de eventos de lluvia disminuyen, se registra más acumulación de iones en la atmósfera, los cuales serán arrastrados por las lluvias posteriores (Pérez-Suárez *et al.*, 2006).

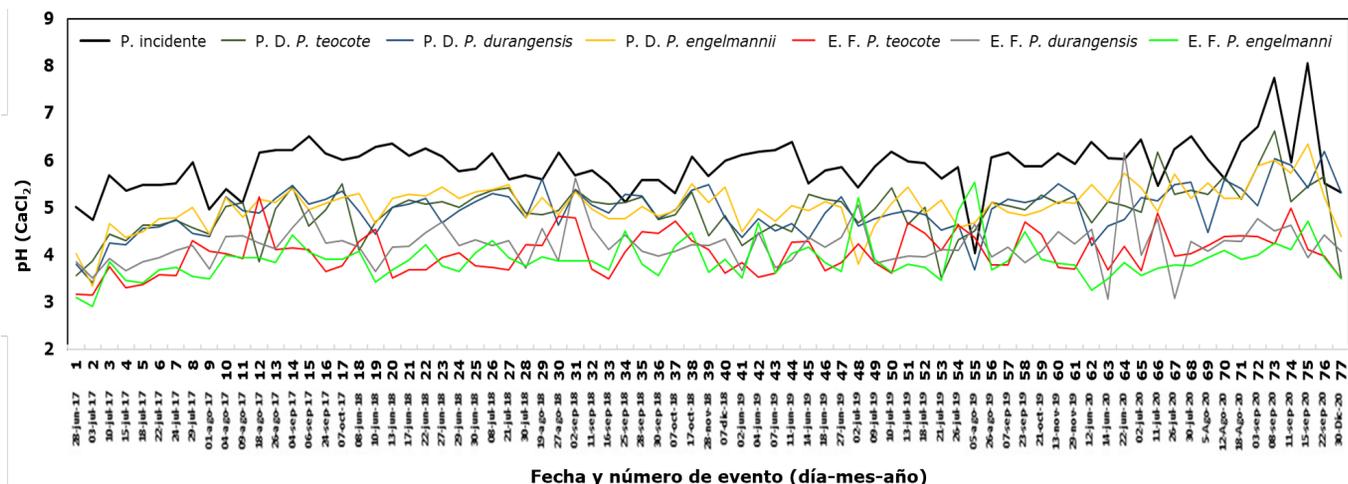
Cuadro 3. Valores promedio de conductividad eléctrica y pH de la precipitación directa (PD), incidente (PI) y escurrimiento fustal (SF).

Especies	n	pH		CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)		PI	
		PD	SF	PD	SF	pH	CE
<i>Pinus teocote</i> Schltdl. & Cham.	77	4.9±0.06	4.0±0.05	42.2±3.60	84.1±4.80	5.9±0.07	32.4±2.45
<i>Pinus durangensis</i> Martínez	77	5.0±0.06	4.2±0.05	34.5±2.90	56.4±4.45		
<i>Pinus engelmannii</i> Carrière	77	5.0±0.05	3.9±0.05	40.2±2.83	84.6±5.30		

Los valores representan la media±error estándar de la media ($n=77$).

pH

Al analizar el comportamiento del pH tanto en la precipitación directa como en el escurrimiento fustal de las tres especies bajo estudio, se observó que sus valores correspondieron, en su mayoría, a moderadamente ácidos, en tanto que para la precipitación incidente fueron ligeramente ácidos (Figura 7).



P. = Precipitación; P. D. = Precipitación Directa; E. F. = Ecurrimiento Fustal. Cada valor graficado representa la media ($n=4$).

Figura 7. Conducta del pH en los diversos componentes de la redistribución de la lluvia.

En el Cuadro 3 se observa que el pH promedio para la precipitación incidente fue de 5.9, para la precipitación directa en las tres especies bajó a 5.0, mientras que en el escurrimiento fustal el valor alcanzó 4.1. Estudios como el realizado por Béjar *et al.* (2018), quienes estudiaron la redistribución de la precipitación y aporte de nutrimentos en *Pinus cooperi* C. E. Blanco, documentaron resultados con la misma tendencia; sus registros de pH para la precipitación incidente fueron entre 4.42 y 6.12, pero una vez que el agua fluyó por el dosel disminuyó ligeramente a 4.21, y una vez que el agua entró en contacto y fluyó por el fuste tendió a acidificarse y alcanzar cifras de 3.85.

Los análisis de varianza de la prueba de *Kruskal-Wallis* para detectar diferencias significativas para las variables de *CE* y pH de las tres vías de redistribución de la lluvia de los 77 eventos analizados para las tres especies, presentaron diferencias significativas ($P<0.05$) en la mayoría de los casos para el pH (56 de los 77 eventos), mientras que la *CE* en 18 de los 77 eventos presentó diferencias. Los resultados del análisis estadístico mostraron que las diferencias entre los eventos

están influenciadas por la particularidad de cada evento de lluvia, en la cual incide la intensidad de la tormenta y la dirección del viento, lo que provoca que diversas partículas sean depositadas modificando los valores del pluviolavado en las diversas vías de redistribución (Yáñez-Díaz *et al.*, 2014).

Conclusiones

Las propiedades hidrológicas bajo los diferentes doseles de las especies estudiadas no presentan diferencias ni variación en función de las vías de redistribución de la lluvia. La interceptación de la cubierta vegetal representa 28.1 %, valores que ayudan a tener conocimiento de dicho componente a escala local. El valor de la interceptación en las cuencas hidrológicas depende del tipo de cubierta vegetal y distribución de la misma, lo anterior ha permitido reconocer que, para el manejo forestal, visto desde el punto de vista hidrológico, la existencia y distribución de especies es de suma importancia para el manejo del agua dentro del ecosistema, ya que contribuye a mantener activos los procesos biogeoquímicos.

El pH y la conductividad eléctrica presentan cambios conforme el agua fluye a través del dosel y de sus diferentes componentes, con variación entre las diferentes vías de redistribución de la lluvia, y presenta diferencias significativas en la mayoría de los meses durante el periodo experimental para las tres especies de coníferas bajo análisis.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico de El Salto por el apoyo técnico para la realización de esta investigación, así como al proyecto "Ciclos Biogeoquímicos en Bosques de la Sierra Madre Occidental de la Región de El Salto, Durango, México", Proyecto TECNM. 5746.16-P. A Conahcyt por el apoyo de la beca de posgrado para la realización de esta investigación y a la beca posdoctoral otorgada al autor de correspondencia.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

César Gerardo Ramos Hernández: desarrollo de la investigación, análisis de datos y redacción del manuscrito; Israel Cantú Silva: diseño experimental y revisión del manuscrito; Sacramento Corral Rivas: análisis de datos y revisión del manuscrito; Francisco Javier Hernández: revisión del manuscrito; Tilo Gustavo Domínguez Gómez: planeación, desarrollo de la investigación y toma de datos en campo.

Referencias

Béjar P., S. J., I. Cantú S., T. G. Domínguez G., H. González R., ... y E. O. Luna R. 2018. Redistribución de la precipitación y aporte de nutrimentos en *Pinus cooperi* C.

- E. Blanco. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 9(50):94-120. Doi: 10.29298/rmcf.v9i50.237.
- Besteiro, S. I. y A. M. Rodríguez V. 2012. Redistribución de las precipitaciones sobre plantaciones forestales en un predio del partido de La Plata, Buenos Aires. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata 111(2):75-82. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/101680>. (11 de abril de 2023).
- Brown, M. B. and A. B. Forsythe. 1974. Robust tests for the equality of variances. Journal of the American Statistical Association 69(346):364-367. Doi: 10.1080/01621459.1974.10482955.
- Cantú S., I. y H. González R. 2005. Pérdidas por intercepción de la lluvia en tres especies de matorral submontano. Ciencia UANL 8(1):80-85. http://eprints.uanl.mx/1629/1/perdidas_intercepcion_lluvia.pdf. (11 de abril de 2023).
- Deng, J., Y. Yu, J. Shao, S. Lu, ... and X. Shi. 2022. Rainfall interception using the revised Gash analytical model for *Pinus sylvestris* var. *mongolica* in a semi-humid region of NE China. Ecological Indicators 143:109399. Doi: 10.1016/j.ecolind.2022.109399.
- Domínguez G., T. G., B. N. Hernández G., H. González R., I. Cantú S., E. Alanís R. y M. del S. Alvarado. 2018. Estructura y composición de la vegetación en cuatro sitios de la Sierra Madre Occidental. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 9(50):9-34. Doi: 10.29298/rmcf.v9i50.227.
- Domínguez-Gómez, T. G., S. Vicente-Juan, E. G. Velásquez-Ortíz, E. S. Córdova-Delgado, ... y J. G. Colín. 2022. Intercepción de la precipitación en *Pinus engelmannii* Carr. y *Quercus rugosa* Née en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines, Pueblo Nuevo, Durango. e-CUCBA 9(17):173-181. Doi: 10.32870/ecucba.vi17.225.
- Fathizadeh, O., S. M. Hosseini, A. Zimmermann, R. F. Keim and A. D. Boloorani. 2017. Estimating linkages between forest structural variables and rainfall interception parameters in semi-arid deciduous oak forest stands. The Science of the Total Environment (601-602):1824-1837. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.233.

- Flores A., E., V. Guerra De la C., G. H. Terrazas G., F. Carrillo A., ... y E. Buendía R. 2016. Intercepción de lluvia en bosques de montaña en la cuenca del río Texcoco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(37):65-76. Doi: 10.29298/rmcf.v7i37.52.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México. Coyoacán, D. F., México. 90 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2010. Red hidrográfica edición 2.0. Cuenca R. Baluarte. Región H. Presidio-San Pedro. Escala 1:50 000. Carta: RH11C. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825006855>. (12 de abril de 2023).
- International Business Machines (IBM). 2016. Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) V22.0. Chicago, IL, United States of America. IBM Inc.
- Levia, D. F. and S. Germer. 2015. A review of stemflow generation dynamics and stemflow-environment interactions in forests and shrublands. *Reviews of Geophysics* 53(3):673-714. Doi: 10.1002/2015RG000479.
- Luna-Robles, E. O., I. Cantú-Silva, H. González-Rodríguez, J. G. Marmolejo-Monsiváis, M. I. Yáñez-Díaz and S. J. Béjar-Pulido. 2019. Nutrient input via gross rainfall, throughfall and stemflow in scrubland species in northeastern Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 25(2):235-251. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2018.12.096.
- Magliano, P. N., J. I. Witworth-Hulse and G. Baldi. 2019. Interception, throughfall and stemflow partition in drylands: Global synthesis and meta-analysis. *Journal of Hydrology* 568:638-645. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.10.042.
- Návar, J. 2020. Modeling rainfall interception loss components of forests. *Journal of Hydrology* 584:124449. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.124449.
- Neary, D. G., G. G. Ice and C. R. Jackson. 2009. Linkages between forest soils and water quality and quantity. *Forest Ecology and Management* 258(10):2269-2281. Doi: 10.1016/j.foreco.2009.05.027.

- Ott, R. L. and M. Longnecker. 2001. An introduction to statistical methods and data analysis. Duxbury. Pacific Grove, CA, United States of America. 1152 p.
- Pérez-Suárez, M., V. M. Cetina-Alcalá, A. Aldrete, M. E. Fenn y L. L. Landois-Palencia. 2006. Química de la precipitación pluvial en dos bosques de la cuenca de la Ciudad de México. *Agrociencia* 40(2):239-248. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952006000200239&script=sci_arttext. (2 de enero de 2023).
- Rotenberg, E. and D. Yakir. 2010. Contribution of semi-arid forests to the climate system. *Science* 327(5964):451-454. Doi: 10.1126/science.1179998.
- Schumacher, J. and J. R. Christiansen. 2015. Forest canopy water fluxes can be estimated using canopy structure metrics derived from airborne light detection and ranging (LiDAR). *Agricultural and Forest Meteorology* 203:131-141. Doi: 10.1016/j.agrformet.2014.12.007.
- Sheil, D. and D. Murdiyarso. 2009. How forest attract rain: An examination of a new hypothesis. *BioScience* 59(4):341-347. Doi: 10.1525/bio.2009.59.4.12.
- Sheng, H. and T. Cai. 2019. Influence of rainfall on canopy interception in mixed broad-leaved—Korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains, Northeastern China. *Forest* 10(3):248. Doi: 10.3390/f10030248.
- Silva-González, E., O. A. Aguirre-Calderón, E. J. Treviño-Garza, E. Alanís-Rodríguez y J. J. Corral-Rivas. 2021. Efecto de tratamientos silvícolas en la diversidad y estructura forestal en bosques templados bajo manejo en Durango, México. *Madera y Bosques* 27(2):e2722082. Doi: 10.21829/myb.2021.2722082.
- Su, L., C. Zhao, W. Xu and Z. Xie. 2016. Modelling interception loss using the revised Gash model: A case study in a mixed evergreen and deciduous broadleaved forest in China. *Ecohydrology* 9(8):1580-1589. Doi: 10.1002/eco.1749.
- Su, L., J. Yang, X. Zhao and Y. Miao. 2022. Effects of fire on interception loss in a coniferous and broadleaved mixed forest. *Journal of Hydrology* 613:128425. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2022.128425.
- Tamez P., C., I. Cantú S., H. González R., M. I. Yáñez D. y J. I. Uvalle S. 2018. Pérdidas por interceptación en cuatro especies de matorral en el noreste de México.

Revista Mexicana de Ciencias Forestales 9(49):126-147. Doi: 10.29298/rmcf.v9i49.177.

Tonello, K. C., E. A. Goes G., E. T. Shinzato, R. de O. Aversa V. e H. C. Teixeira D. 2014. Precipitação efetiva em diferentes formações florestais na Floresta Nacional de Ipanema. Revista Árvore 38(2):383-390. Doi: 10.1590/S0100-67622014000200020.

Van Stan, J. T. and D. A. Gordon. 2018. Mini-review: Stemflow as a resource limitation to near-stem soils. Frontiers Plant Science 9:1-7. Doi: 10.3389/fpls.2018.00248.

Wang, Q. and J. Guo. 2023. Rainfall interception loss as a function of leaf area index and rainfall by soybean. Theoretical and Applied Climatology 155(1):289-297. Doi: 10.1007/s00704-023-04633-8.

Wang, X. P., Z. N. Wang, R. Berndtsson, Y. F. Zhang and Y. X. Pan. 2011. Desert shrub stemflow and its significance in soil moisture replenishment. Hydrology and Earth System Science 15(2):561-567. Doi: 10.5194/hess-15-561-2011.

Yann, W., X. Deng, X. Chen, D. Tian, W. Xiang and Y. Peng. 2015. Long-term variations of rainfall interception in different growth stages of Chinese fir plantations. Hydrological Sciences Journal 60(12):2178-2188. Doi: 10.1080/02626667.2014.964243.

Yáñez-Díaz, M. I., I. Cantú-Silva, H. González-Rodríguez y J. I. Uvalle-Sauceda. 2014. Redistribución de la precipitación en tres especies arbustivas nativas y una plantación de Eucalipto del noreste de México. Tecnología y Ciencias del Agua 5(2):71-84. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v5n2/v5n2a5.pdf>. (15 de marzo de 2023).

Zabret, K., J. Rakovec and M. Šraj. 2018. Influence of meteorological variables on rainfall partitioning for deciduous and coniferous tree species in urban area. Journal of Hydrology 558:29-41. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.01.025.

Zore, A., N. Bezak and M. Šraj. 2022. The influence of rainfall interception on the erosive power of raindrops under the birch tree. *Journal of Hydrology* 613:128478. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2022.128478.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 [Atribución-No Comercial \(CC BY-NC 4.0 Internacional\)](#)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.