

# Redistribución de la precipitación en un fragmento de bosque mixto en Durango, México

## Rainfall redistribution in a mixed forest fragment in Durango, Mexico

Humberto González-Rodríguez<sup>1</sup> , Tilo Gustavo Domínguez-Gómez<sup>2,3</sup> , Sacramento Corral-Rivas<sup>2</sup> , José Encarnación Luján-Soto<sup>2,3</sup> , Marco Vinicio Gómez-Meza<sup>4</sup> , César Gerardo Ramos-Hernández<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional km 145. CP. 67700. Linares, Nuevo León, México.

<sup>2</sup>División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de El Salto. Mesa del Tecnológico SN, Forestal, CP. 34942. El Salto, Durango, México.

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias Forestales, Programa institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango. Río Papaloapan y Boulevard Durango s/n. Col. Valle del Sur, CP. 34120. Durango, Durango, México.

<sup>4</sup>Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Nuevo León. No. 1515 Centro. CP. 66700. Marín, Nuevo León, México.

\*Autor de correspondencia: cesar.ramosh@uanl.edu.mx

### Artículo científico

Recibido: 15 de abril 2025

Aceptado: 09 de noviembre 2025

**RESUMEN.** Con el propósito de conocer la redistribución de la precipitación en un fragmento de bosque mixto en el ejido Adolfo Ruiz Cortines, Durango, se desarrolló un experimento entre 2017 y 2020 en una parcela forestal de 2 500 m<sup>2</sup>, donde se cuantificó la intercepción y flujo de agua de las precipitaciones; incidente, directa y escurrimiento cortical, con el fin de evaluar la pérdida por efecto de la intercepción del dosel y caracterizar las propiedades químicas del agua (pH (CaCl<sub>2</sub>) y CE ( $\mu$ S cm<sup>-1</sup>)). Se registraron 77 eventos de lluvia con una lámina de precipitación incidente de 2 236.1 mm. La precipitación directa para *Arbutus bicolor*, *Quercus rugosa* y *Q. sideroxyla* fue 63, 82 y 76%, respectivamente. El escurrimiento cortical representó 0.08% en *A. bicolor*, 0.41% en *Q. rugosa* y 0.88% en *Q. sideroxyla*. La intercepción fue de 34%, 18% y 17% para *A. bicolor*, *Q. rugosa* y *Q. sideroxyla*, respectivamente. El análisis químico del agua en el pluviolavado presentó un valor medio de pH de 5.9 para la precipitación incidente, disminuyendo a 5.6 para la precipitación directa y de 6.0 para el escurrimiento cortical. La CE presentó valores de 32.4 en la precipitación incidente, 39.63 en la precipitación directa y 116.04 en el escurrimiento cortical. Comprender la intercepción del agua es clave para reconocer que, desde una perspectiva hidrológica en el manejo forestal, la presencia y distribución de especies vegetales son fundamentales para garantizar un flujo adecuado de agua en el ecosistema, aspecto clave para mantener los procesos biogeoquímicos activos.

**Palabras clave:** Ecosistema forestal, escurrimiento cortical, flujo, intercepción.

**ABSTRACT.** In order understand the redistribution of precipitation in a fragment of mixed forest in the "Ejido" Adolfo Ruiz Cortines, Durango, an experiment was conducted between 2017 and 2020 at a 2500 m<sup>2</sup> forest plot, where the interception and water flow of precipitation, throughfall, and stemflow were measured to quantify losses due to canopy interception and to characterize the chemical properties of water (pH (CaCl<sub>2</sub>) and CE ( $\mu$ S cm<sup>-1</sup>)). A total of 77 rainfall events were recorded, with a precipitation of 2,236.1 mm. Throughfall for *Arbutus bicolor*, *Quercus rugosa*, and *Q. sideroxyla* was 63%, 82%, and 76%, respectively. Stemflow accounted for 0.08% in *A. bicolor*, 0.41% in *Q. rugosa*, and 0.88% in *Q. sideroxyla*. Interception losses were 34%, 18%, and 17% for *A. bicolor*, *Q. rugosa*, and *Q. sideroxyla*, respectively. The chemical analysis of rainwater showed a pH mean of 5.9 for precipitation, decreasing to 5.6 for throughfall and remaining at 6.0 for stemflow. Electrical conductivity values were 32.4 for precipitation, 39.63 for throughfall, and 116.04 for stemflow. Understanding water interception is crucial to recognizing that, from a hydrological perspective in forest management, the presence and distribution of plant species are essential to ensure adequate water flow in the ecosystem, a key aspect for maintaining active biogeochemical processes.

**Keywords:** Forest ecosystem, stemflow, flow, interception.

**Como citar:** González-Rodríguez H, Domínguez-Gómez TG, Corral-Rivas S, Luján-Soto JE, Gómez-Meza MV, Ramos-Hernández CG (2025) Redistribución de la precipitación en un fragmento de bosque mixto en Durango, México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios Núm. Esp. V: e4578. DOI: 10.19136/era.a12nV.4578.

## INTRODUCCIÓN

El impacto del cambio climático en los servicios ecosistémicos de los bosques es un hecho bien documentado que ha ido mucho más allá de la investigación y la ciencia y encaminada hacia las políticas internacionales para frenar sus efectos (ONU 2017). A pesar de que existen objetivos y estrategias para mantener el principio de sostenibilidad de los ecosistemas forestales, éstos deben ajustarse y adaptarse regionalmente a medida que los cambios tanto en el medio ambiente como en las condiciones socioeconómicas afectan a los bosques (Allen *et al.* 2015). En este contexto, el enfoque del manejo sustentable debe tener una orientación ecohidrológica (cuidado del agua), ya que es el elemento clave que vincula la mayoría de las presiones o tensiones globales y climáticas que afectan a las comunidades bióticas (Cederstrom *et al.* 2024). Los bosques de clima templado frío de la Sierra Madre Occidental en Durango han sido ampliamente estudiados desde un enfoque de manejo forestal para el aprovechamiento de recursos maderables y servicios ecosistémicos ambientales no maderables (Aguirre-Calderón 2015).

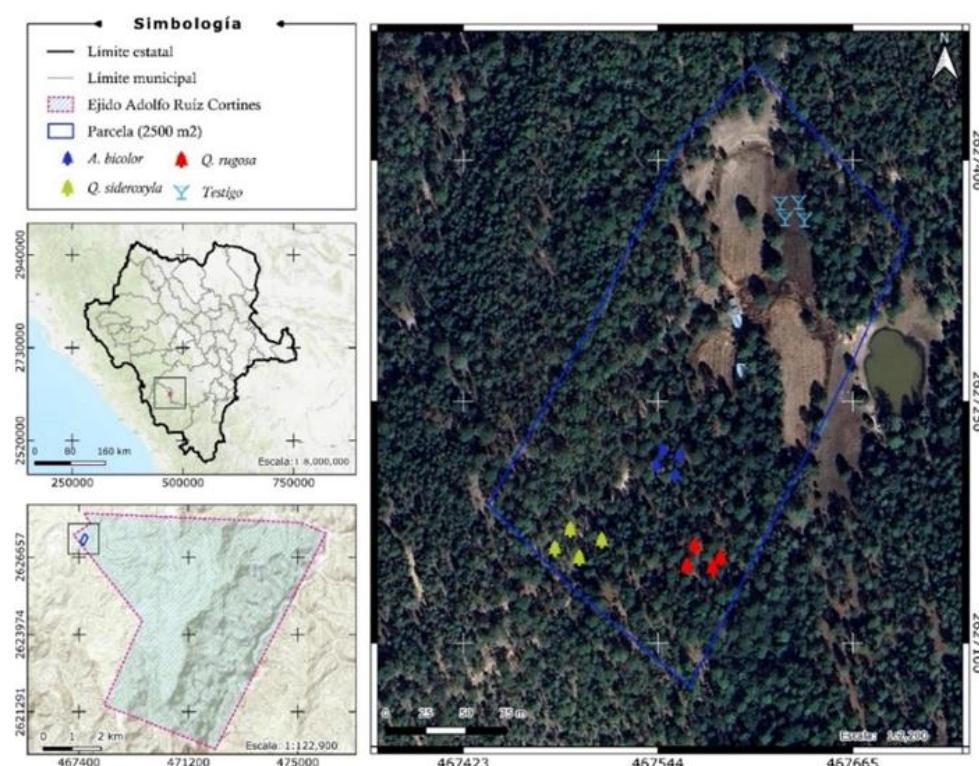
No obstante, han sido mucho menos estudiados en el contexto de la gestión forestal orientada al recurso hídrico, a pesar de que estos ecosistemas forestales son responsables de cambios en el mecanismo de entrada de las lluvias por su redistribución al interactuar con el dosel, que juega un papel primordial en el ciclo hidrológico local y regional (Zagyvai-Kiss *et al.* 2019). Mientras que Magliano *et al.* (2019), afirman que la intercepción por parte del dosel en el ciclo hidrológico suele ser uno de los componentes más complicados de medir, debido a los grandes lapsos de precipitaciones que se pueden presentar, que, a su vez, pueden evaporarse a la atmósfera. Durante este proceso, el agua cambia su recorrido a través del dosel de los árboles, lo cual ejerce una influencia directa en la forma en que la lluvia llega hasta el suelo (Méndez-González *et al.* 2008).

Los principales componentes según Wu *et al.* (2024) en el proceso de redistribución de las precipitaciones son: la precipitación que fluye a través de los huecos del dosel o que gotea de él al suelo (precipitación directa), la precipitación que fluye a través del fuste (escurrimiento cortical) y la precipitación que se retiene en el dosel y se evapora de nuevo a la atmósfera (interceptación). El resto de la lluvia, es decir, el agua que llega al suelo se denomina precipitación neta (Dunkerley 2000, Xiao *et al.* 2000). Entre los elementos que intervienen en la intercepción se incluye: la intensidad y duración de los eventos de lluvia, siendo los de mayor importancia, debido a que aumenta o disminuye la cantidad de lluvia que es interceptada por el dosel de los árboles (Moraes-Frasson y Krajewski 2013), mientras que, la estructura de la vegetación suele ser de las variables más estudiadas en los procesos de redistribución de la lluvia. Otras variables, como; la velocidad y dirección del viento suelen ser condiciones que pueden llegar a orientar la trayectoria de las hojas y reducir las posibilidades de intercepción (Kermavnar y Vilhar 2017, Zabret *et al.* 2018). Considerando que son pocos los estudios realizados para evaluar las pérdidas por intercepción en especies forestales de los bosques mixtos en Durango. El objetivo del presente estudio fue estimar las propiedades hidrológicas y químicas del agua en las especies *Arbutus bicolor*, *Quercus sideroxyla* y *Quercus rugosa* en el ejido Adolfo Ruiz Cortines, Durango.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

El estudio se desarrolló en el ejido Adolfo Ruiz Cortines, Pueblo Nuevo, Durango (Figura 1), el cual se localiza en las coordenadas UTM zona 13 norte 2624828.77 m LN y 470145.60 m LE (Cruz-García *et al.* 2017). El clima según INEGI (2022) corresponde a templado subhúmedo y semifrío subhúmedo con lluvias en verano. Con una precipitación media anual que oscila de 800 y 1 200 mm. Las fluctuaciones en la temperatura media anual varían de -0.9 °C en enero hasta 22.5 °C en agosto, con una evaporación media anual de 97.7 mm. Estos valores se registraron utilizando un sensor automatizado tipo HOBO, modelo H8, ®Forestry Suppliers, Inc., instalado contiguo al área de estudio durante junio del 2018 a diciembre del 2020.



**Figura 1.** Localización del área de estudio en el ejido Adolfo Ruiz Cortines, Durango.

La Tabla 1 presenta las características estructurales de las especies estudiadas.

**Tabla 1.** Descripción estructural de las especies estudiadas.

Especie	Diámetro normal (cm)	Altura (m)	Cobertura de copa (m <sup>2</sup> )
<i>Arbutus bicolor</i> S. González, M. González et P. D. Sørensen.	14	14.0	7.1
<i>Quercus rugosa</i> Neé.	28	22.2	9.9
<i>Quercus sideroxyla</i> Bonpl.	20	16.4	9.5

## Medición de los componentes de las precipitaciones

Se delimitaron tres parcelas de  $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ , es decir, una parcela por especie de *Arbutus bicolor*, *Quercus rugosa* y *Quercus sideroxyla*, dentro de un área experimental de  $2\ 500\text{ m}^2$ . En cada parcela se instalaron cuatro colectores (uno por individuo) para estimar el escurrimiento cortical y precipitación directa, los cuales fueron considerados como repeticiones dentro de cada parcela, asumiendo una representación adecuada del dosel de cada especie. Para constatar la representatividad del dosel, los datos fueron comparados con los obtenidos por Domínguez-Gómez *et al.* (2018), quienes establecieron sitios para determinar la cobertura promedio de los taxa, obteniendo valores de  $8.2\text{ m}^2$  para *Arbutus bicolor*,  $11.5\text{ m}^2$  para *Quercus rugosa* y  $10.5\text{ m}^2$  para *Quercus sideroxyla*. Los registros de los eventos de lluvia y la toma de muestras de agua (100 ml) por evento, para su eventual análisis químico, se realizó durante el periodo del junio de 2017 a diciembre de 2020.

### Precipitación directa

La precipitación directa (mm), definida como la lluvia que impacta el dosel y posteriormente se escurre, se recolectó utilizando canaletas de PVC de  $0.1\text{ m}^2$  (10 cm de ancho X 100 cm de largo), establecidas en forma de U. Estas canaletas fueron conectadas mediante mangueras a recipientes de 20 L para la recolección del agua pluvial. Las canaletas se instalaron a una altura de 1.30 m sobre el suelo debajo del dosel de cada individuo seleccionado, quedando fijas en el mismo lugar a lo largo del periodo experimental. Para evitar la obstrucción al flujo de agua, se protegieron con una malla de nylon. En total se colocaron 12 canaletas (cuatro por especie).

### Precipitación incidente

La recolección de la precipitación incidente (mm), se realizó utilizando el diseño de canaletas previamente descrito. Se instalaron cuatro canaletas de PVC, con las dimensiones descritas, en un área desprovista de vegetación, adyacentes a las parcelas experimentales. Estas canaletas fueron consideradas como testigos o blancos para comparar y validar la cantidad de precipitación colectada en las parcelas experimentales.

### Escurrimiento cortical

Para cuantificar el escurrimiento cortical de *Arbutus bicolor*, se colocaron colectores de plástico en forma de embudo a 1.30 m de altura sobre el suelo, conectados a una manguera que transporta el agua a un contendor de 20 L, el cual estaba cubierto con su tapa. Para el complemento de las especies (*Quercus rugosa* y *Quercus sideroxyla*), se usaron mangueras de plástico aceradas de 3 cm de diámetro, con perforaciones de  $1.5\text{ cm} \times 2.5\text{ cm}$  a 4 cm de intervalos. Las mangueras se fijaron a los fustes sin corteza en forma de espiral dando dos vueltas y media hasta alcanzar una longitud de 2 m. Las secciones superiores e inferiores de las mangueras fueron aseguradas mediante clavos, y las fijaciones se sellaron con silicona para garantizar la estabilidad y evitar filtraciones.

### Pérdidas por intercepción

La estimación de las pérdidas por intercepción resultó de la diferencia entre la precipitación total con respecto a la precipitación que cae directamente al suelo, y el escurrimiento cortical, según la fórmula siguiente (Cantú-Silva y González-Rodríguez 2001):

$$I = Pp - Pd - Pf$$

Donde: I = Pérdidas por intercepción (mm), Pp = Precipitación incidente (mm), Pd = Precipitación directa (mm), y Pf = Escurrimiento cortical (mm).

### Pluviolavado

Para determinar los valores de conductividad eléctrica (CE,  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) y pH ( $\text{CaCl}_2$ ) de las muestras recolectadas de cada componente (precipitación directa, precipitación incidente y escurrimiento cortical), se realizaron mediciones directas utilizando un electrodo de potenciómetro-conductivímetro Consort Multiparameter Analyser®, modelo C3010.

### Análisis estadístico

El análisis de los datos de precipitación directa, precipitación incidente y escurrimiento cortical se realizó mediante la comparación de medias y regresión lineal simple cuya expresión del modelo se presenta en la siguiente Ecuación. La estimación de los parámetros fue aplicando la técnica de mínimos cuadrados:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_{i1} + \dots + \beta_p \cdot x_{ip} + e_i$$

Donde  $y_i$  = variable dependiente,  $x_i$  = variable independiente,  $\beta_0$  = la ordenada al origen,  $\beta_1$  = el parámetro de la pendiente y  $e_i$  = el 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.

Los datos de pH y CE obtenidos a través de los diferentes eventos de lluvia para la precipitación directa, precipitación incidente y escurrimiento cortical, para las diferentes especies, fueron sometidos a un análisis estadístico dadas las características de las variables mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Ott 1993), y para probar la hipótesis de normalidad se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov, Shapiro Wilk y Levene (Steel y Torrie 1980) con el software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versión 24 (IBM Corp 2016).

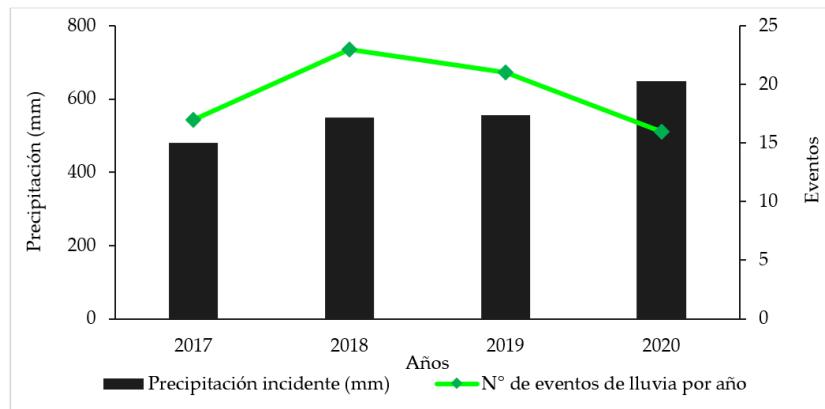
## RESULTADOS

Durante el periodo de estudio, se registraron 77 eventos de lluvia, acumulando un total de 2 236.1 mm. En la Figura 2, se observa que la mayor cantidad de eventos de lluvia fueron 23 en el año 2018. Sin embargo, la mayor cantidad de precipitación se registró en el año 2020, alcanzando los 649.04 mm. La variabilidad entre la frecuencia de eventos y la cantidad de precipitación total sugiere variaciones en la intensidad y distribución de las lluvias.

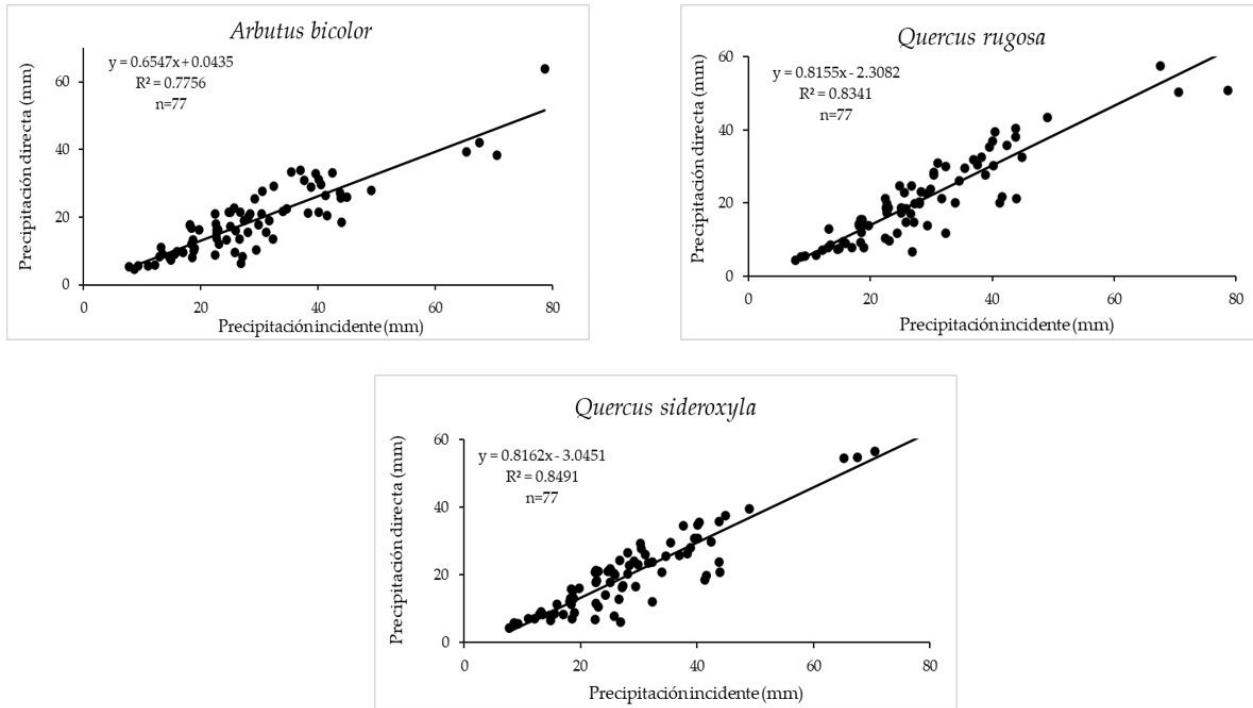
### Precipitación directa

La precipitación directa promedio de los 77 eventos de lluvia registrados para *A. bicolor* fue de 65.47%, en *Q. rugosa* de 81.55% y de 81.62% para *Q. sideroxyla*, promediando 76.21% de la precipitación incidente. Al explicar la varianza total de la precipitación directa con el análisis de regresión lineal mostró coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de 0.77 para *A. bicolor*, 0.83 para *Q. rugosa* y 0.84 para *Q. sideroxyla* (Figura 3). Demostrando que existe una relación altamente significativa

( $p<0.01$ ) entre la precipitación directa y precipitación incidente en cada una de las especies estudiadas.



**Figura 2.** Distribución de la precipitación incidente y número de eventos de lluvia.

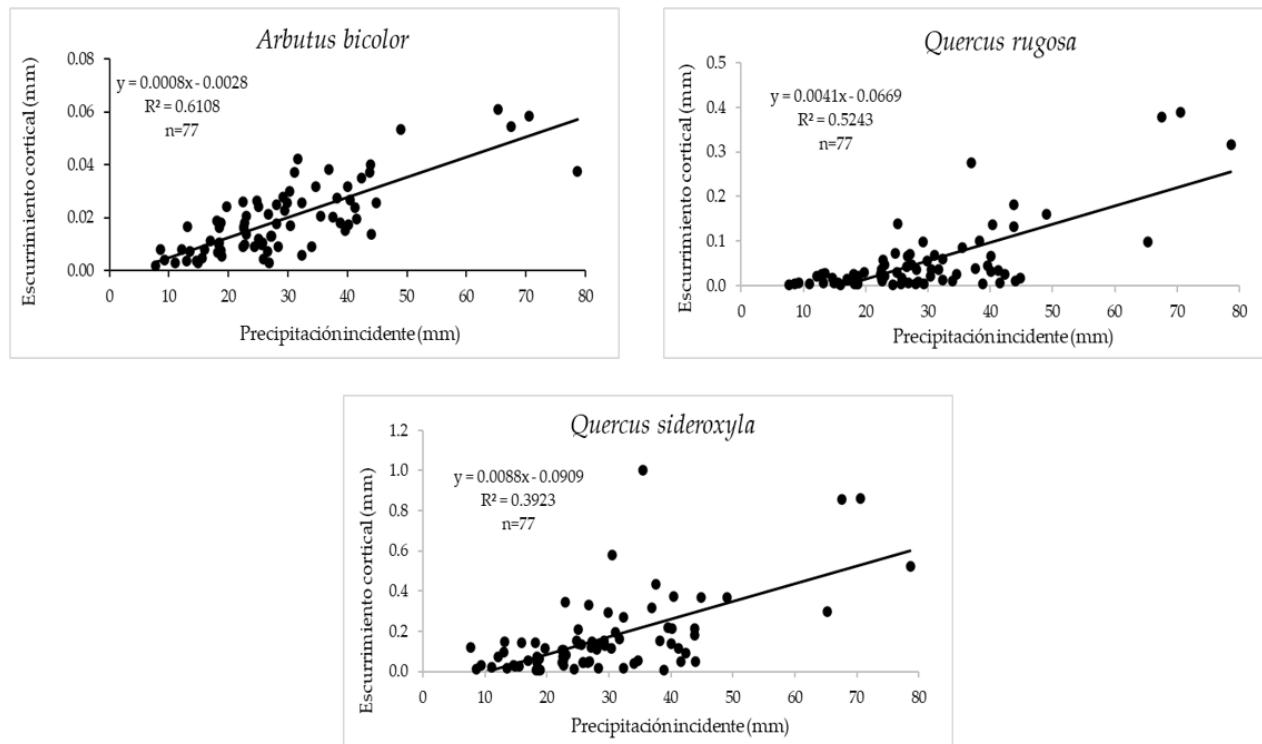


**Figura 3.** Relación entre la precipitación incidente (mm) y la precipitación directa (mm) para las diferentes especies.

### Escurrimiento cortical

El porcentaje de lluvia durante el escurrimiento cortical mostró variación en las tres especies estudiadas. Es probable que este comportamiento esté asociado a las características físicas del fuste. *A. bicolor* presentó el menor porcentaje de escurrimiento cortical (0.08%) como resultado de tener su corteza lisa; además, las dimensiones del fuste, la altura y el diámetro de copa son menores, lo que provoca que el agua no fluya directamente al fuste. En el caso de *Q. sideroxyla*, aunque el fuste de esta especie no muestra gran cantidad de estrías, presentó el mayor porcentaje de escurrimiento

cortical (0.88%). En cambio, *Q. rugosa* fue la especie que presentó una corteza con más estrías, por lo que el agua fluyó de manera más regular, con un 0.41% de la precipitación total (Figura 4).



**Figura 4.** Relación entre la precipitación incidente (mm) y el escurrimiento cortical (mm) para las diferentes especies.

Los valores del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) estimados a través de análisis de regresión lineal indicaron una variación entre especies, fluctuando de 0.39 a 0.61.

### Pérdida por intercepción

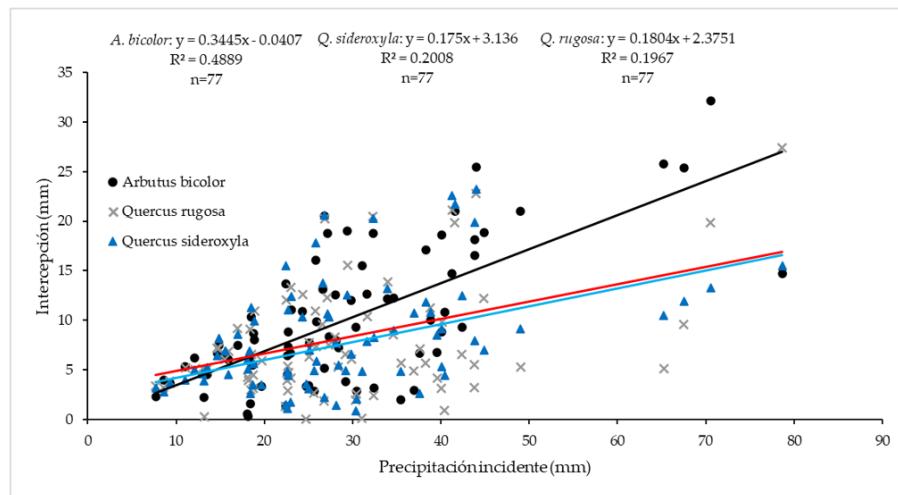
Las pérdidas por intercepción del dosel se presentan en el Tabla 2, ordenadas de manera descendente por especie (*A. bicolor* > *Q. rugosa* > *Q. sideroxyla*), donde; *Q. sideroxyla* presentó el menor valor de intercepción con 17.50%, seguida por *Q. rugosa* con 18.04%, mientras que *A. bicolor* mostró una mayor intercepción con 34.45% y, por lo tanto, una mayor pérdida. Lo anterior indica que el dosel de *A. bicolor* puede llegar a interceptar hasta dos veces más lluvia con relación a los *Quercus*.

**Tabla 2.** Porcentajes de intercepción de las diferentes especies.

Especie	n	Precipitación incidente (mm)	Pérdidas por intercepción (%)
<i>Arbutus bicolor</i>	77		34.45
<i>Quercus rugosa</i>	77	2,236.1	18.04
<i>Quercus sideroxyla</i>	77		17.50

Los resultados derivados del análisis de regresión lineal para la intercepción en *Q. rugosa* y *Q. sideroxyla*, no presentaron variación con valores de coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.196 y

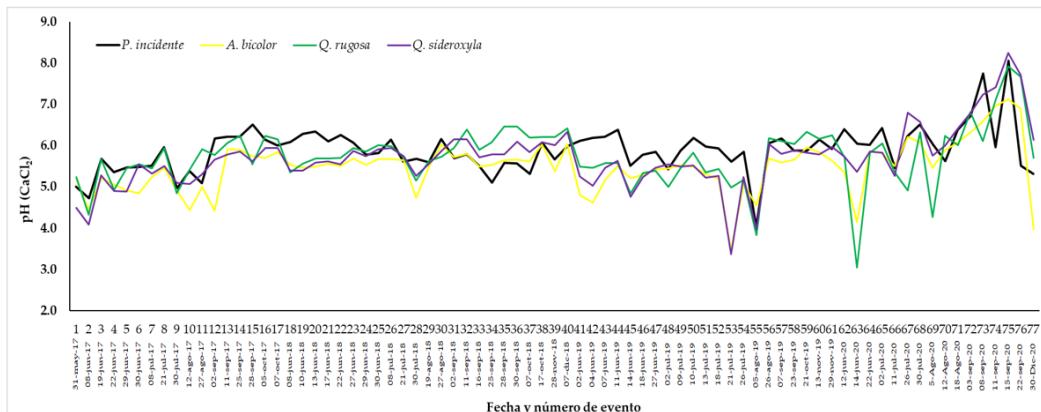
0.200, respectivamente. Mientras que *A. bicolor* mostró el valor de  $R^2$  más alto con 0.488 (Figura 5). Los resultados observados sugieren la variabilidad que presenta el dosel de las diferentes especies estudiadas en los bosques mixtos de la región.



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

### Pluviolavado

Durante el periodo experimental, se observaron variaciones entre el pH de la precipitación incidente y el pH de la precipitación directa de las especies bajo estudio. De acuerdo con los resultados observados, dichas variaciones se pueden atribuir a que, una vez que el agua entra en contacto con el dosel y fluye a través de este, ésta se carga de partículas presentes en la superficie de follaje, lo que induce una alteración en esta propiedad. El cambio más significativo se observó en la precipitación directa de *A. bicolor*, promediando un pH de 5.48, en comparación con la precipitación incidente, el cual mostró un valor de 5.90. Por otro lado, *Q. rugosa* y *Q. sideroxyla* presentaron valores promedio en pH de 5.75 y 5.70, respectivamente. En la Figura 6 se muestra el comportamiento del pH en relación con la precipitación incidente y precipitación directa para las especies estudiadas en las diferentes fechas de cada evento de lluvia registrado.



**Figura 6.** Comportamiento del pH en la precipitación directa y precipitación incidente.

Por otra parte, los valores de pH en el escurrimiento cortical para *Q. rugosa* y *Q. sideroxyla* mostraron valores promedios de 6.35 y 5.98, respectivamente, sugiriendo un aumento de la alcalinidad en comparación con la precipitación incidente (5.90). Mientras que, para *A. bicolor*, el valor medio de pH fue de 5.66, siendo la especie que no presentó aumento en su alcalinidad en comparación con la precipitación incidente, como se aprecia en la Figura 7.

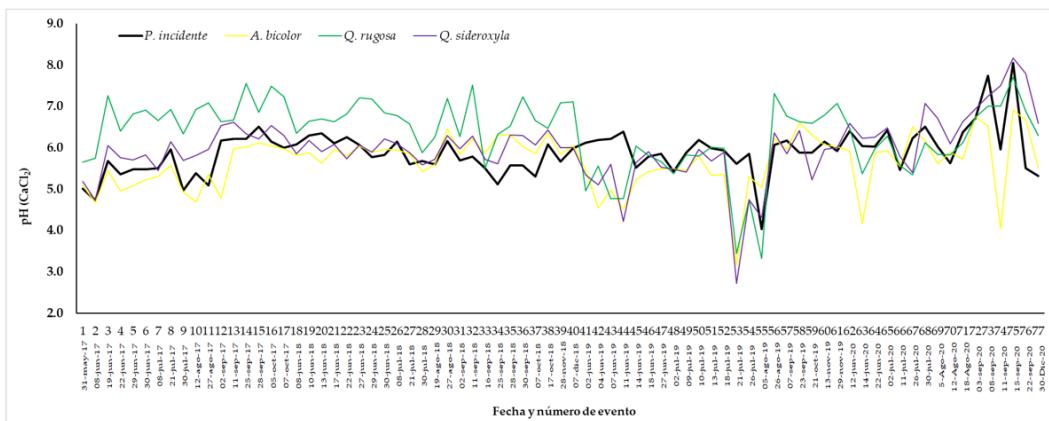


Figura 7. Comportamiento del pH en el escurrimiento cortical y precipitación incidente.

El agua que fluyó a través del dosel de las especies estudiadas mostró cambios en los valores de la conductividad eléctrica. La precipitación incidente presentó un valor medio de  $32.4 \mu\text{S cm}^{-1}$ , mientras que los valores medios para las tres especies bajo estudio fueron ligeramente superiores. *A. bicolor* presentó un valor promedio de  $36.51 \mu\text{S cm}^{-1}$ , *Q. rugosa* de  $42.11 \mu\text{S cm}^{-1}$  y *Q. sideroxyla* de  $40.28 \mu\text{S cm}^{-1}$  (Figura 8).

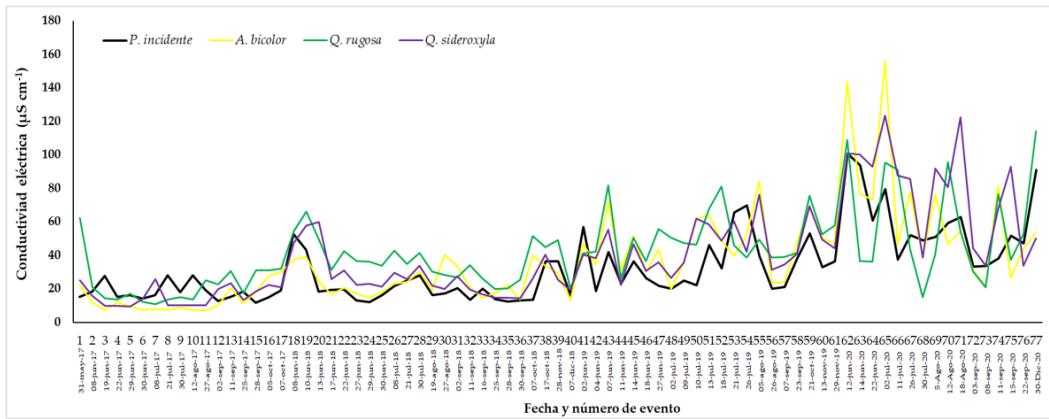
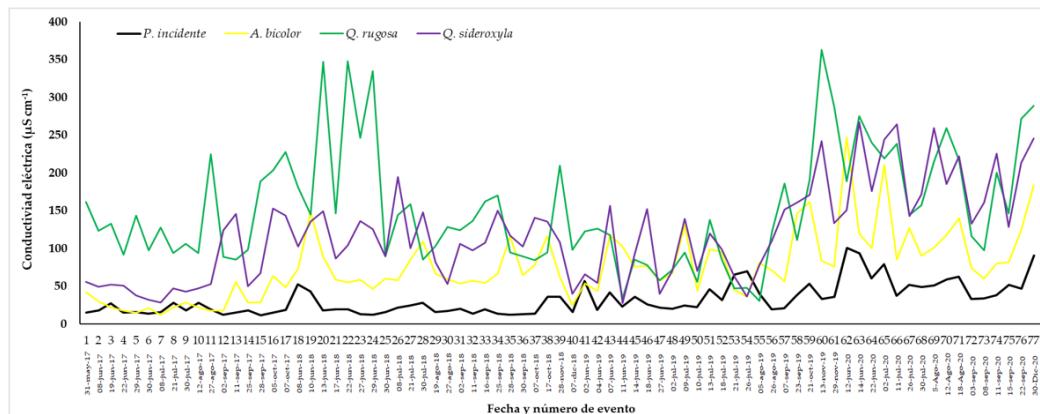


Figura 8. Comportamiento de la conductividad eléctrica en la precipitación directa y precipitación incidente.

Los valores de la conductividad eléctrica en la solución del escurrimiento cortical mostraron un comportamiento variado en comparación a la precipitación directa, *Q. rugosa* presentó el valor más alto ( $152.64 \mu\text{S cm}^{-1}$ ), seguido de *Q. sideroxyla* ( $119.81 \mu\text{S cm}^{-1}$ ) y *A. bicolor* ( $75.66 \mu\text{S cm}^{-1}$ ), como se ilustra en la Figura 9.



**Figura 9.** Comportamiento de la conductividad eléctrica en el escurrimiento cortical y precipitación incidente.

## DISCUSIÓN

### Precipitación directa

La precipitación media anual registrada durante el periodo experimental fue de 560 mm, valor inferior a la media anteriormente reportada de 812.28 mm (Hernández-Manzanarez *et al.* 2024), lo que indica condiciones relativamente secas durante el estudio. Aun así, la proporción de precipitación directa observada se ubicó dentro del rango reportado para bosques templados de transición en la Reserva Natural de Liaoheyuan, China (66.7-788%, Dong *et al.* 2020), y para bosques mixtos de coníferas y latifoliadas del centro-este de Nepal (62.1-79.5, Badu *et al.* 2022). Dichos valores superan lo documentado en bosques cultivados de *Eucalyptus* spp en Brasil (58.6-58.9%, Paula *et al.* 2020), pero son ligeramente menores a los intervalos registrados en *Eucalyptus cloeziana*, *Pinus caribea* var. *hondurensis* y bosque semidecidual de Iperó-SP (77.2-86.2%, Tonello *et al.* 2014). En conjunto, estos resultados sugieren que las especies analizadas presentan una capacidad de intercepción intermedia. Se ha demostrado que variables como la densidad del dosel, la estructura de las ramas, el índice de área foliar y la intensidad de la lluvia determinan la proporción de la precipitación directa (Cayuela *et al.* 2018), afectando la reposición de agua al suelo y, por ende, la productividad del ecosistema (Whitworth-Hulse *et al.* 2020).

Los análisis de regresión lineal mostraron valores del coeficiente de determinación superiores en las especies del género *Quercus* ( $R^2 = 0.84$ ) respecto al género *Arbutus* ( $R^2 = 0.77$ ). Esto sugiere una relación más estrecha entre la cantidad de agua que fluye a través del dosel y el agua retenida en él para las especies de *Quercus*. Esta mayor correlación podría reflejar una estructura más compleja y densa del follaje en *Quercus*, que contribuye al amortiguamiento del impacto de las gotas de lluvia y reduce la erosión hídrica al limitar el contacto directo del agua con el suelo desnudo (Zore *et al.* 2022).

### Escurrimiento cortical

En cuanto al escurrimiento cortical, existe evidencia de que este componente representa un bajo porcentaje en relación con la precipitación incidente (Metzger *et al.* 2021). No obstante, está ampliamente documentado que desempeña un papel clave en la hidrología, biogeoquímica y

ecología (Van-Stan y Allen 2020). Esto se debe a la eficiente reposición de agua al suelo, ya que el agua que fluye por el fuste de los árboles llega al suelo del bosque a una velocidad mucho menor que la tasa de infiltración estable, siendo dirigida cerca de las raíces, lo que reduce la escorrentía superficial, provocando que la infiltración ocurra de manera gradual y minimizando la erosión del suelo (Pinos *et al.* 2023). Además, entre las principales implicaciones biogeoquímicas destacan la concentración y el flujo de solutos, partículas y esporas de hongos (Tucker *et al.* 2020).

En el presente estudio, la escorrentía cortical correspondió a 0.45% de la precipitación total, valor superior al encontrado por Paula *et al.* (2020), quienes reportaron un 0.06% para este componente en un rodal de *Eucalyptus* spp. en Vitória da Conquista, Brasil, y al observado por Domínguez-Gómez *et al.* (2021), con un valor de 0.28% para un ecosistema de *Quercus* en la Sierra Madre Occidental, México. Sin embargo, este valor es notablemente más bajo en comparación con lo reportado por Pinos *et al.* (2021) para un rodal de *Pinus sylvestris*, que registró un rango entre 4.6 y 7.2%. Los valores promedio del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) para el escurreimiento cortical fueron de 0.46 para los *Quercus* y de 0.61 para el *Arbutus*, lo que indica una baja correlación con la precipitación incidente. Estos resultados pueden ser atribuidos a la variabilidad en la magnitud y frecuencia de los eventos de lluvia (Shinzato *et al.* 2011) y al tipo de corteza, que influye en la capacidad de conducción de agua (Chen *et al.* 2019).

### Pérdida por intercepción

El comportamiento de las pérdidas por intercepción concuerda con lo reportado por Yang *et al.* (2023), quienes, al estudiar la intercepción de lluvia en un bosque semiárido de abeto perennifolio, obtuvieron un valor de 25.2%. Este resultado indica que el bosque semiárido tiende a perder una porción de precipitación similar a la de un bosque mixto natural. Sin embargo, estos valores difieren a lo reportado por Yang *et al.* (2024), quienes documentaron una pérdida del 32.5% en un bosque primario maduro mixto de hoja ancha y coníferas. Por su parte, Mastachi-Loza *et al.* (2010), al estudiar el comportamiento de las pérdidas por intercepción en *Prosopis laevigata* y *Acacia farnesiana* en la región semiárida del centro de México, obtuvieron un promedio de 20% de intercepción, comparable con las estimaciones aquí realizadas.

En general, *Arbutus bicolor* presentó una intercepción relativa más alta (34.5%) en comparación con los *Quercus* (17.7%). Estas diferencias pueden atribuirse a la mayor capacidad de almacenamiento del dosel, dadas las características particulares del follaje de cada especie, aun cuando los sitios se encuentren contiguos. *Arbutus bicolor*, con una intercepción relativa de 34.5%, demuestra una capacidad significativa para retener agua en su dosel. Esto puede atribuirse, en parte, a las características físicas de sus hojas y ramas, como la textura y la disposición, lo que puede favorecer una mayor retención de agua. En cambio, las especies de *Quercus*, con una intercepción relativa de 17.7%, muestran una menor capacidad de almacenamiento en comparación con *Arbutus bicolor*. Esto podría ser resultado de las características morfológicas y físicas que presentan una capacidad inferior para retener agua, como la hidrofobicidad de las hojas de estas especies (Holder y Gibbes 2017).

Entender estas diferencias es crucial para la gestión forestal y la conservación de los recursos hídricos (Deng *et al.* 2022). Las especies con mayor capacidad de intercepción pueden desempeñar un papel importante en la regulación del ciclo hidrológico, afectando la cantidad de agua que llega

al suelo y, en consecuencia, la disponibilidad de agua para especies que se desarrollan en estratos inferiores (Tamez-Ponce *et al.* 2018).

Las pérdidas por intercepción son determinantes en la función ecohidrológica de las cuencas forestales, ya que influyen en el rendimiento de la escorrentía y en el equilibrio entre las necesidades hídricas humanas y ecológicas (Yang *et al.* 2023). Además, la partición del agua a través del dosel y las características del uso hídrico de las plantas definen las funciones ecohidrológicas de cada ecosistema. Parte del agua interceptada se evapora directamente desde las superficies vegetales, contribuyendo al proceso de evapotranspiración (van-Der Ent *et al.* 2010), lo que a su vez regula la humedad ambiental y el microclima local (Tang *et al.* 2021). En los bosques mixtos, la combinación de especies genera un patrón complejo de intercepción y escurrimiento a lo largo del año (Wang *et al.* 2024), lo que demanda mayor atención y monitoreo continuo para desarrollar estrategias de manejo forestal que maximicen los beneficios ecológicos de los bosques.

### Pluviolavado

Respecto a los parámetros fisicoquímicos, se observaron diferencias significativas en el pH durante algunos eventos de lluvia. Estas variaciones se atribuyen a diferentes factores; entre ellos, destaca la acumulación de aerosoles sobre la superficie de hojas, ramas y tallos de las plantas. Además, las hojas acumulan nutrientes durante los procesos de fotosíntesis y transpiración (Luna-Robles *et al.* 2019). Durante el flujo del agua a través del dosel y del fuste, se liberan compuestos al solubilizar y lavar una amplia diversidad de sustancias derivadas de la deposición atmosférica o liberadas por los tejidos de las plantas, como compuestos orgánicos, gases o iones disueltos (Cronan y Reiners 1983, Levia Jr. y Frost 2003, Levia *et al.* 2011). El tipo de evento de lluvia y la dirección del viento, que transportan nutrientes que se concentran en los fustes de los árboles, revelan indirectamente el comportamiento de los nutrientes a través del pluviolavado (García-Ledezma *et al.* 2018). También se ha demostrado que el dosel vegetal puede neutralizar los aportes ácidos provocados por las lluvias ácidas (Gauslaa *et al.* 2021). Estos y otros procesos similares resultan en una química de precipitación directa y escurrimiento cortical específica de cada especie arbórea (Asplund *et al.* 2015). Mientras que Zhang *et al.* (2021), señalan que la cantidad y calidad de agua se ven alteradas por el dosel de los árboles que conforman los bosques, modificando el pH de la lluvia. En tanto que García-Ledezma *et al.* (2018), reportan que las pérdidas por intercepción de lluvia en el Matorral Espinoso Tamaulipeco bajo diferente intensidad de lluvia, indicaron que el pH de la precipitación incidente mostró una tendencia similar, con valores de 6.7. En lo referente a la conductividad eléctrica, Domínguez-Gómez *et al.* (2018), documentaron valores medios de 27.17, 117.35 y 127.65  $\mu\text{S cm}^{-1}$  para la precipitación incidente, directa y escurrimiento cortical, respectivamente, en un ecosistema mixto de la región de Durango. Los autores observaron que, una vez que el agua fluyó tanto por el dosel como por el fuste, los valores de conductividad aumentaron debido al arrastre de sales minerales y al depósito de sólidos. En otro estudio, Béjar-Pulido *et al.* (2018), encontraron una conductividad eléctrica promedio de 15.33  $\mu\text{S cm}^{-1}$  en precipitación incidente; mientras que, para la precipitación directa fue de 12.08  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , indicando una ligera disminución. En el caso del escurrimiento cortical, la conductividad eléctrica fue de 39.06  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , lo que sugiere que la lluvia, al fluir a través del fuste, aumenta sus valores. Mientras que García-Ledezma *et al.* (2018), documentaron un incremento en los valores de la conductividad eléctrica después de que el agua

fluyó por el dosel, reportando para precipitación incidente un valor de  $105.56 \mu\text{S cm}^{-1}$ , que aumentó al fluir a través del tallo, alcanzando un valor de  $187.63 \mu\text{S cm}^{-1}$ .

Finalmente, los análisis de varianza realizados mediante la prueba de Kruskal-Wallis revelaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en 29 de los 77 eventos analizados entre la precipitación directa e incidente y en 52 eventos entre el escurrimiento cortical y precipitación incidente para las tres especies estudiadas. En cambio, la conductividad eléctrica mostró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en 32 de los 77 eventos entre la precipitación directa e incidente y en 69 de los 77 eventos entre el escurrimiento fustal y la precipitación incidente para las tres especies estudiadas.

## CONCLUSIONES

La intercepción de la cubierta forestal, en proporción con la precipitación total, representa el 23.3%, valor que provee información sobre este componente a escala local. La cantidad de agua interceptada en las cuencas hidrológicas está influenciada por el tipo y la disposición de la vegetación. Por lo que, desde una perspectiva hidrológica en el manejo forestal, la presencia y distribución de especies vegetales es crucial para asegurar un flujo adecuado de agua en el ecosistema, lo cual es esencial para mantener los procesos biogeoquímicos. El género *Quercus* tiene gran importancia como recurso para la conservación del agua. Las especies de este género pueden ser utilizadas como una alternativa para la conservación hidrológica de una cuenca o área específica, lo que se refleja en el volumen de agua disponible. Mientras que *Arbutus bicolor*, que presentó una mayor pérdida por efecto de la intercepción, no representa un gran riesgo a nivel cuenca debido a su baja distribución y abundancia. En zonas con mayor abundancia de esta especie, se recomienda aplicar prácticas silvícolas para mejorar el aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos. Estos resultados pueden favorecer la formulación de políticas para la conservación del recurso hídrico y contrarrestar los efectos del cambio climático.

## AGRADECIMIENTOS

Al Tecnológico de México-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 y a CONHACYT por el apoyo de la beca de posgrado (CVU: 1012839) del autor por correspondencia para la realización de esta investigación.

## CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

## LITERATURA CITADA

- Aguirre-Calderón OA (2015) Manejo Forestal en el Siglo XXI. *Madera y Bosques* 21: 17-28.
- Allen CD, Breshears DD, McDowell NG (2015) On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere* 6(8): 1-55. <https://doi.org/10.1890/ES15-00203.1>
- Asplund J, Ohlson M, Gauslaa Y (2015) Tree species shape the elemental composition in the lichen *Hypogymnia physodes* transplanted to pairs of spruce and beech trunks. *Fungal Ecology* 16: 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2015.03.006>
- Badu M, Ghimire CP, Bruijnzeel LA, Nuberg I, Meyer WS (2022) Net precipitation, infiltration and overland flow production in three types of community-managed forest in the Mid-hills of East Central Nepal. *trees. Forests and People* 8: 100218. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100218>
- Béjar-Pulido SJ, Cantú-Silva I, Domínguez-Gómez TG, González-Rodríguez H, Monciváis-Mormolejo JG, Yáñez-Díaz MI, Luna-Robles EO (2018) Redistribución de la precipitación y aporte de nutrientos en *Pinus cooperi* C.E. Blanco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(50): 94-120. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.237>
- Cantú-Silva I, González-Rodríguez H (2001) Interception loss, throughfall and stemflow chemistry in pine and oak forests in northeastern Mexico. *Tree Physiology* 21(12-13): 1009-1013. <https://doi.org/10.1093/treephys/21.12-13.1009>.
- Cayuela E, Llorens P, Sánchez-Costa E, Levia DF, Latron J (2018) Effect of biotic and abiotic factors on inter- and intra-event variability in stemflow rates in oak and pine stands in a Mediterranean mountain area. *Journal of Hydrology* 560: 396-406. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.03.050>
- Cederstrom CJ, Vivoni ER, Mascaro G, Svoma B (2024) Forest treatment effects on watershed responses under warming. *Water Resources Research* 60(6): e2023WR035627. <https://doi.org/10.1029/2023WR035627>
- Chen S, Cao R, Yoshitake S, Ohtsuka T (2019) Stemflow hydrology and DOM flux in relation to tree size and rainfall event characteristics. *Agricultural and Forest Meteorology* 279: 107753. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107753>
- Cronan CS, Reiners WA (1983) Canopy processing of acid precipitation by conifer and hardwood forest in New England. *Oecologia* 59(2): 216-223. <https://doi.org/10.1007/BF00378839>
- Cruz-García F, Contreras-Balderas AJ, García-Salas JA, Gallardo-Reynoso JP (2017) Dieta de la nutria neotropical (*Lontra longicaudis annectens*) en Pueblo Nuevo, Durango, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88(3): 701-709. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.07.001>
- Deng J, Yu Y, Shao J, Lu S, Liu F, Li Z, Shi X (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. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109399>
- Domínguez-Gómez TG, Hernández-González BN, González-Rodríguez H, Cantú-Silva I, Alanís-Rodríguez E, del Socorro-Alvarado M (2018) Estructura y composición de la vegetación en cuatro sitios de la Sierra Madre Occidental. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(50): 9-34. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.227>
- Domínguez-Gómez TG, Vicente-Juan S, Velásquez-Ortiz EG, Córdova-Delgado ES, Cantú-Silva I, Yáñez-Díaz MI, Hernández FJ, Colín JG (2021) Intercepción de la precipitación en *Pinus engelmannii* Carr. y *Quercus rugosa* Née en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines, Pueblo Nuevo, Durango. *Revista e-CUCBA* 9(17): 173-181. <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi17.225>
- Dong L, Han H, Kang F, Cheng X, Zhao J, Song X (2020) Rainfall partitioning in Chinese Pine (*Pinus tabuliformis* Carr.) stands at three different ages. *Forests* 11(2): 243. <https://doi.org/10.3390/f11020243>

- Dunkerley D (2000) Measuring interception loss and canopy storage in dryland vegetation: a brief review and evaluation of available research strategies. *Hydrological Processes* 14(4): 669-678. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(200003\)14:4<669::AID-HYP965>3.0.CO;2-I](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(200003)14:4<669::AID-HYP965>3.0.CO;2-I)
- García-Ledezma YW, Cantú-Silva I, González-Rodríguez H, Yáñez-Díaz MI (2018) Pérdidas por intercepción de lluvia en el Matorral Espinoso Tamaulipeco bajo diferentes intensidades de raleo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(49): 148-164. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i49.178>
- Gauslaa Y, Goward T, Asplund J (2021) Canopy throughfall links canopy epiphytes to terrestrial vegetation in pristine conifer forests. *Fungal Ecology* 52: 101075. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2021.101075>
- Hernández-Manzanarez C, Domínguez-Gómez TG, Rodríguez-García E, Cantú-Silva I, Corral-Rivas JJ, Colín JG, González-Rodríguez H (2024) Intercepción de lluvia en bosques del ejido Adolfo Ruiz Cortines, Pueblo Nuevo, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 15(83): 4-27. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i83.1439>
- Holder CD, Gibbes C (2017) Influence of leaf and canopy characteristics on rainfall interception and urban hydrology. *Hydrological Sciences Journal* 62(2): 182-190. <https://doi.org/10.1080/02626667.2016.1217414>
- IBM Corp (2016) IBM SPSS Statistics for Windows (Version 24.0) [Computer software]. Armonk, NY: IBM Corp. <https://www.ibm.com/mx-es/products/spss-statistics>. Fecha de consulta: 23 de Agosto de 2025
- INEGI (2022) Aspectos geográficos de Durango. Compendio 2022. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/889463913276.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463913276.pdf). Fecha de consulta: 15 de enero de 2025
- Jian S, Zhang X, Li D, Wang D, Wu Z, Hu C (2018) The effects of stemflow on redistributing precipitation and infiltration around shrubs. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 66(1): 79-86. <https://doi.org/10.1515/johh-2017-0043>
- Kermavnar J, Vilhar U (2017) Canopy precipitation interception in urban forest in relation to stand structure. *Urban Ecosystems* 20: 1373-1387. <https://doi.org/10.1007/s11252-017-0689-7>
- Levia DF, Keim RF, Carley-Moses DE, Frost EE (2011) Throughfall and stemflow in wooded ecosystem. In: Levia DF, Carley-Moses DE, Tanaka T (eds) *Forest hydrology and biogeochemistry – synthesis of past research and future directions*. Ecological Studies 216. Springer, Dordrecht. pp. 425-444. [http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-1363-5\\_21](http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-1363-5_21)
- Levia Jr DF, Frost EE (2003) A review and evolution of stemflow literature in the hydrology and biogeochemical cycle of forested and agricultural ecosystems. *Journal Hydrology* 274(1-4): 1-29. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00399-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00399-2)
- Luna-Robles EO, Cantú-Silva I, González-Rodríguez H, Marmolejo-Monsiváis JG, Yáñez-Díaz MI, Béjar-Pulido SJ (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. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2018.12.096>
- Magliano PN, Whitworth-Hulse JI, Baldi G (2019) Interception, throughfall and stemflow partition in drylands: Global synthesis and meta-analysis. *Journal of Hydrology* 568: 638-645. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.042>
- Mastachi-Loza CA, González-Sosa E, Becerril-Piña R, Braud I (2010) Pérdidas por intercepción en mezquite (*Prosopis laevigata*) y huizache (*Acacia farnesiana*) de la región semiárida del centro de México. *Tecnología y Ciencias del Agua* 1(1): 103-120.
- Méndez-González J, Návar-Cháidez DJ, González-Ontiveros V (2008) Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. *Investigaciones Geográficas* 65: 38-55.
- Metzger JC, Filipzik J, Michalzik B, Hildebrandt A (2021) Stemflow infiltration hotspots create soil microsites near tree stems in an unmanaged mixed beech forest. *Frontiers in Forests and Global Change* 4: 701293. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.701293>

- Moraes-Frasson RP, Krajewski WF (2013) Rainfall interception by maize canopy: Development and application of a process-based model. *Journal of Hydrology* 489: 246-255. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.03.019>
- ONU (2017). United Nations Strategic Plan for Forests 2017–2030. <https://www.un.org/esa/forests/documents/un-strategic-plan-for-forests-2030/index.html>. Fecha de consulta: 26 de noviembre de 2025
- Ott L (1993) An introduction to statistical methods and data analysis. Boston, Massachusetts. Duxbury Press. pp. 730
- Paula A, Brilhante FS, Tagliaferre C, Castro-Filho MN, Amaral-Batista WC, Barreto-García PAB (2020) Precipitação efetiva e interceptação pluviométrica em povoamento de *Eucalyptus* spp. em vitória da conquista – ba. *Holos* 5: 1-12. <https://doi.org/10.15628/holos.2020.9896>
- Pinos J, Latron J, Levia DF, Llorens P (2021) Drivers of the circumferential variation of stemflow inputs on the boles of *Pinus sylvestris* L. (Scots pine). *Ecohydrology* 14: e2348. <https://doi.org/10.1002/eco.2348>
- Pinos J, Flury M, Latron J, Llorens P (2023) Routing stemflow water through the soil via preferential flow: a dual-labelling approach with artificial tracers. *Hydrology and Earth System Sciences* 27(15): 2865-2881. <https://doi.org/10.5194/hess-27-2865-2023>
- Shinzato ET, Tonello KC, Gasparoto EAG, Valente ROA (2011) Escoamento pelo tronco em diferentes povoados florestais na Floresta Nacional de Ipanema em Iperó, Brasil Stemflow in different forest fragments of Ipanema National Forest in Iperó, Brazil. *Scientia Forestalis* 39(92): 395-402.
- Steel RGD, Torrie JH (1980) Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. 2nd Edition, McGraw-Hill Book Company, New York. pp. 633.
- Tamez-Ponce C, Cantú-Silva I, González-Rodríguez H, Yáñez-Díaz MI, Uvalle-Sauceda JI (2018) Pérdidas por intercepción en cuatro especies de matorral en el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(49): 126-147. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i49.177>
- Tang C, Liu Y, Li Z, Guo L, Xu A, Zhao J (2021) Effectiveness of vegetation cover pattern on regulating soil erosion and runoff generation in red soil environment, southern China. *Ecological Indicators* 129: 107956. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107956>
- Tonello KC, Gasparoto EAG, Shinzato ET, Valente ROA, Dias HC (2014) Precipitação efetiva em diferentes formações florestais na Floresta Nacional de Ipanema. *Revista Árvore* 38(2): 383-390. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000200020>
- Tucker A, Levia DF, Katul GG, Nanko K, Rossi LF (2020) A network model for stemflow solute transport. *Applied Mathematical Modelling* 88: 266-282. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2020.06.047>
- Van-Der-Ent R J, Savenije HHG, Schaefli B, Steele-Dunne SC (2010) Origin and fate of atmospheric moisture over continents. *Water Resources Research* 46(9): 1-12. <https://doi.org/10.1029/2010WR009127>
- Van-Stan JT II, Allen ST (2020) What we know about stemflow's infiltration area. *Frontiers in Forests and Global Change* 3: 61. <https://doi.org/10.1029/2010WR009127>
- Wang W, Xu C, Lin TC, Yang Z, Liu X, Xiong D, Chen D, Chen G, Yang Y (2024) Forest structure regulates response of erosion-induced carbon loss to rainfall characteristics. *Forests* 15(7): 1269. <https://doi.org/10.3390/f15071269>
- Whitworth-Hulse IJ, Magliano PN, Zeballos SR, Gurvich DE, Spalazzi F, Kowaljow E (2020) Advantages of rainfall partitioning by the global invader *Ligustrum lucidum* over the dominant native *Lithraea molleoides* in a dry forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 290: 108013. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108013>
- Wu Q, Yang R, Zeng H, Wang X, Chen G (2024) Responses of rainfall partitioning to water conditions in Chinese forests. *Journal of Hydrology* 637: 131410. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131410>

- Xiao Q, McPherson EG, Ustin SL, Grismer ME, Simpson JR (2000) Winter rainfall interception by two mature open-grown trees in Davis, California. *Hydrological Processes* 14(4): 763-784. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(200003\)14:4<763::AID-HYP971>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(200003)14:4<763::AID-HYP971>3.0.CO;2-7)
- Yang J, He Z, Feng J, Lin P, Du J, Guo L, Liu Y, Yan J (2023) Rainfall interception measurements and modeling in a semiarid evergreen spruce (*Picea crassifolia*) forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 328: 109257. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109257>
- Yang J, Wang A, Shen L, Dai G, Liu Y, Zhang Y, Fei W, Wu J (2024) The impact of canopy on nutrient fluxes through rainfall partitioning in a mixed broadleaf and coniferous forest. *Forests* 15(4): 623. <https://doi.org/10.3390/f15040623>
- Zabret K, Rakovec J, Šraj M (2018) Influence of meteorological variables on rainfall partitioning for deciduous and coniferous tree species in urban area. *Journal Hydrology* 558: 29-41. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.025>
- Zagyvai-Kiss KA, Kalicz P, Szilágyi J, Gribovszki Z (2019) On the specific water holding capacity of litter for three forest ecosystems in the eastern foothills of the Alps. *Agricultural and Forest Meteorology* 278: 107656. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107656>
- Zhang S, Yu J, Pan T, Gao X, Qiu Z, Hou L (2021). Difference between rainfall and throughfall chemistry for different forest stands in the Qinling Mountains, China. *Hydrology Research* 52(2): 523-535. <https://doi.org/10.2166/nh.2021.015>
- Zore A, Bezak N, Šraj M (2022) The influence of rainfall interception on the erosive power of raindrops under the birch tree. *Journal of Hydrology* 613: 128478. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128478>