



DOI: [10.29298/rmcf.v15i83.1439](https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i83.1439)

Artículo de investigación

Intercepción de lluvia en bosques del ejido Adolfo Ruiz Cortines, Pueblo Nuevo, Durango

Rainfall interception in forests of the *Adolfo Ruiz Cortines* *ejido, Pueblo Nuevo, Durango*

Cristiam Hernández Manzanarez¹, Tilo Gustavo Domínguez Gómez^{1,2*},
Ernesto Rodríguez García¹, Israel Cantú Silva³, José Javier Corral Rivas²,
José Guadalupe Colín¹, Humberto González Rodríguez³

Fecha de recepción/Reception date: 7 de septiembre de 2023.
Fecha de aceptación/Acceptance date: 16 de febrero de 2024.

¹Instituto Tecnológico de El Salto. División de Estudios de Posgrado e Investigación. México.

²Universidad Juárez del Estado de Durango, Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales. México.

³Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: gustavo_dquezg@hotmail.com

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

Resumen

Se estudió la redistribución de la precipitación en dos especies del género *Pinus* en el ejido Adolfo Ruiz Cortines, Pueblo Nuevo, Durango, con el objetivo de evaluar la precipitación incidente, precipitación directa, escurrimiento fustal, pérdidas por intercepción, valores de pH y conductividad eléctrica para las especies *Pinus teocote* y *Pinus engelmannii*. Se evaluaron 26 eventos de lluvia, en una parcela de 2 500 m², donde se midieron las propiedades hidrológicas durante el periodo de junio a diciembre de 2019. Los resultados indicaron una precipitación incidente de 812.28 mm. La precipitación directa en *P. engelmannii* y en *P. teocote* representó 84.93 y 83.15 %, respectivamente, con un promedio de 84 % de la precipitación total. El escurrimiento fustal representó 0.29 % para *P. engelmannii* y 0.33 % en *P. teocote*; mientras que las pérdidas por intercepción del dosel vegetal fueron de 16.52 % para *P. teocote* y 15 % para *P. engelmannii*. En el pH del pluviolavado, el valor más alto respecto a la precipitación incidente fue 7.0, para el escurrimiento fustal de *P. teocote* de 4.7 y para *P. engelmannii* de 5.5; la precipitación directa registró un pH de 5.4 para las dos especies. La conductividad eléctrica mostró una tendencia de aumento conforme recorría las copas y fustes de los árboles; se obtuvo un valor de 29.5 $\mu\text{S cm}^{-1}$ en la precipitación incidente, 44.4 $\mu\text{S cm}^{-1}$ en la precipitación directa y el escurrimiento fustal registró valores superiores, con un promedio de 90.2 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

Palabras claves: Escurrimiento fustal, intercepción, pluviolavado, precipitación incidente, precipitación directa, propiedades hidrológicas.

Abstract

The redistribution of rainfall was studied in two species of the *Pinus* genus in the *Adolfo Ruiz Cortines ejido, Pueblo Nuevo, state of Durango*, with the aim of evaluating incident rainfall, direct rainfall, stemflow, interception losses, pH values, and electrical conductivity for *Pinus teocote* and *Pinus engelmannii*. Twenty-six rainfall events were assessed in a 2 500 m² plot, where hydrological properties were measured from June to

December 2019. Results indicated an incident rainfall of 812.28 mm. Direct rainfall in *P. engelmannii* and *P. teocote* amounted to 84.93 and 83.15 %, respectively, with an average of 84 % of total rainfall. Stemflow amounted to 0.29 % for *P. engelmannii* and 0.33 % for *P. teocote*. Meanwhile, canopy interception losses were 16.52 % for *P. teocote* and 15 % for *P. engelmannii*. In the rainfall pH, the highest value compared to the incident rainfall was 7.0, for the stemflow of *P. teocote* it was 4.7 and for *P. engelmannii* it was 5.5; direct rainfall recorded 5.4 pH for both species. The electrical conductivity exhibited an increasing trend as it traveled through the tree crowns and stems; a value of $29.5 \mu\text{S cm}^{-1}$ was obtained for the incident rainfall, $44.4 \mu\text{S cm}^{-1}$ for the direct rainfall, and the stemflow registered higher values, with an average of $90.2 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Key words: Stemflow, interception, rainfall throughfall, incident rainfall, direct rainfall, hydrological properties.

Introducción

El ciclo hidrológico es un proceso de circulación general que implica un despliegue complejo de los movimientos y transformaciones del agua (Echeverría *et al.*, 2007). Dentro de un sistema hidrológico, el agua interceptada puede ser una pérdida o ganancia del recurso, según sea el escenario. Cuando el agua retenida en la cubierta vegetal se evapora por efecto del viento y la temperatura, es una pérdida; si procede de la humedad del aire o de la condensación, la intercepción representa un incremento o ganancia del recurso (Tamez *et al.*, 2018).

La cantidad de precipitación que llega a la superficie del terreno depende, en gran medida, del tipo y densidad de la cubierta vegetal (Iroume y Huber, 2000). Diversas investigaciones han contribuido a comprender la importancia de las cubiertas forestales como un filtro que modifica de forma significativa la distribución espacial de las lluvias y las variaciones espaciales de la humedad, así como las propiedades físicas y químicas de los suelos (Yáñez-Díaz *et al.*, 2014).

Las pérdidas por intercepción alcanzan valores importantes a nivel de cuenca hidrográfica, al igual que en diversas coberturas arbóreas. En bosques de coníferas, se han determinado pérdidas de entre 21 y 48 % de la precipitación media anual (López-Lambraño *et al.*, 2017). La medición y predicción de las pérdidas por

intercepción de lluvia por el bosque es un requisito esencial en el pronóstico de los efectos de la cubierta vegetal sobre el rendimiento del agua de una cuenca (Cantú y González, 2005).

Para el caso de México, esta área de investigación ha sido poco explorada, en particular, en el estado de Durango; gran parte de las investigaciones se han centrado en vegetación de ambientes semiáridos en el norte del país. Dado que en los bosques templados el género arbóreo más abundante y de mayor importancia maderable es *Pinus* L., el objetivo del presente estudio fue evaluar las pérdidas de precipitación por intercepción mediante la precipitación incidente, precipitación directa, escurrimiento fustal y propiedades físicas y químicas del agua en el ciclo hidrológico dentro del subsistema de intercepción en dos especies del género *Pinus* del ejido Adolfo Ruiz Cortines, municipio Pueblo Nuevo, Durango.

Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio

La investigación se llevó a cabo en el ejido Adolfo Ruiz Cortines, municipio Pueblo Nuevo, Durango, México. Se localiza en la región suroeste del estado de Durango, en la Sierra Madre Occidental, como parte de la subprovincia denominada Cañones Duranguenses, 20 km al sureste de la ciudad de El Salto, Durango, a una mediana altura de 2 480 msnm (INEGI, 2014), su acceso es a

través de la carretera Durango-Mazatlán, y geográficamente se localiza en las coordenadas UTM Zona 13N 0467600, 2627410 (Figura 1).

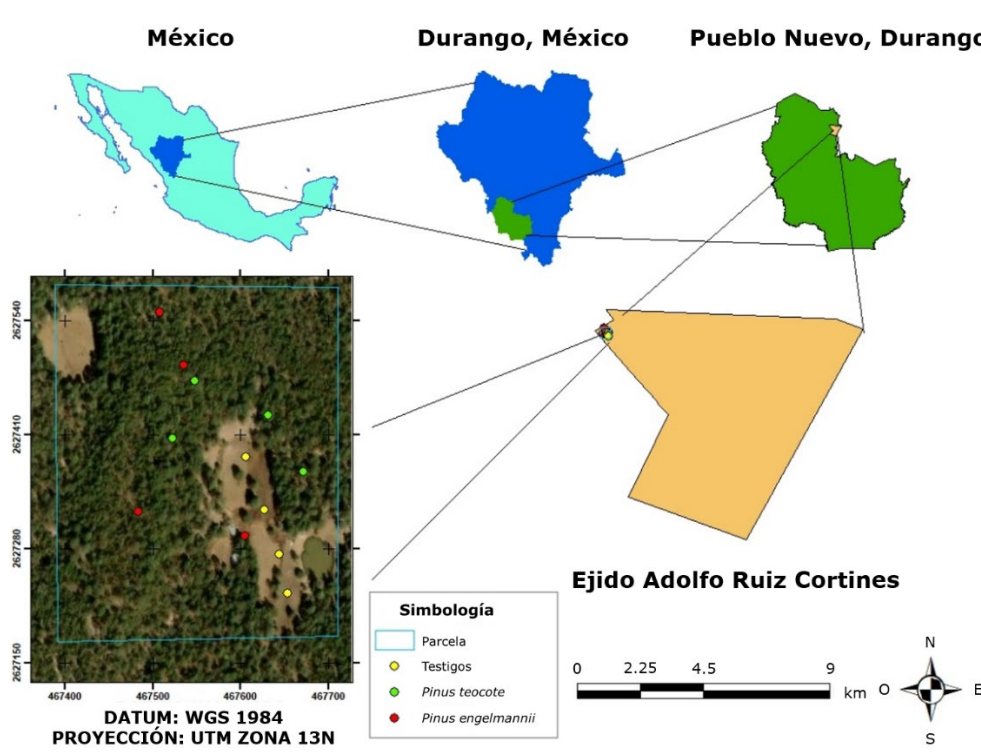


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Los tipos de climas presentes corresponden al templado subhúmedo y semifrío subhúmedo, con lluvias en verano (García, 2004). El régimen de lluvias es escaso, aunque en ciertas épocas del año la precipitación puede alcanzar intensidades importantes en el intervalo de 5 a 50 mm, con una precipitación media anual de 800-1 200 mm, los meses de marzo a mayo son los menos lluviosos del año (INEGI, 2014).

De acuerdo a la carta edafológica del INEGI (2014), los suelos del área de estudio son de tipo Litosol, Regosol y Cambisol, tienen una profundidad media de 10 cm, una textura media y 18 % de pedregosidad.

Las comunidades vegetales más importantes del ejido están compuestas por bosques mezclados con especies de los géneros *Pinus*, *Quercus* L. y especies arbustivas (INEGI, 2014).

Especies estudiadas

Las especies de estudio fueron *Pinus teocote* Schltldl. & Cham. y *Pinus engelmannii* Carrière, las cuales son importantes en representatividad del ejido.

Pinus teocote tiene una amplia distribución natural en México y Guatemala, crece en altitudes de 1 000 a 3 000 m en suelos francos-arcillosos, climas subhúmedos y húmedos, con precipitación anual en un intervalo de 1 000 a 1 500 mm (López *et al.*, 2017). Es un árbol de porte mediano, copa redondeada e irregular, alcanza entre 10 y 20 m de altura (Guerra-De la Cruz *et al.*, 2019). Sus fascículos están rodeados por una vaina de color castaño oscuro que mide de 5 a 9 mm de longitud, con tres hojas aciculares, de forma triangular, flexibles, de 7 a 10 cm de longitud y los márgenes aserrados. Presenta conos ovoides u ovoide-cónicos, de 4 a 7 cm de longitud, simétricos; escamas con apófisis aplanadas o ligeramente elevadas, uniformes (Pérez *et al.*, 2019). Los frutos maduran y la dispersión de las semillas ocurre durante el mes de enero. Las semillas son negruzcas, angulosas, de unos 4 mm de largo, por 2 a 3 mm de ancho. El árbol se reconoce por su corteza áspera y rugosa, de color grisáceo; su madera es dura, pesada y resinosa (Alba, 2006).

Pinus engelmannii, comúnmente conocido como pino real, Apache, pino de hoja larga de Arizona y pino rojo, crece en laderas de cañones secos, moderadamente húmedos, crestas, mesetas, laderas más bajas, valles y terrazas de arroyos, en altitudes de 1 500-2 700 m, en climas de semiáridos hasta templados-subhúmedos (Ávila-Flores *et*

al., 2016). Árbol de talla media de 15 a 25 m de altura, por 60 a 80 cm de diámetro a la altura del pecho; hojas perennes; florece en invierno, los conos maduran de finales de octubre hasta mediados de diciembre. Su distribución natural se restringe a los estados de Chihuahua, Sonora, Sinaloa, Durango y Zacatecas (Santos *et al.*, 2018).

Medición de los componentes de las precipitaciones

Las pérdidas por intercepción se estimaron considerando las variables precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento fustal. La precipitación incidente es el total de la lluvia que cae sobre la cubierta vegetal. La precipitación directa es la fracción de la lluvia que pasa directamente a través del follaje, hojas y ramas. El escurrimiento fustal consiste en la fracción de precipitación que fluye por el fuste y alcanza el suelo (Cantú y González, 2002). Se estableció una parcela de 2 500 m² para la selección de las dos especies de interés. La medición de los componentes se realizó después de cada evento de lluvia, considerado como cualquier lluvia, lloviznas o chubascos, separados del anterior y posterior por un periodo seco de una duración mínima de 8 horas (Cantú y González, 2005).

En la selección de los cuatro individuos por especie, se consideraron árboles dominantes que estuvieran libres de plagas o cualquier otro daño físico, con características dasométricas similares en diámetro normal (cm), altura (m) y área de copa (m²). Con los datos de esta última variable se definió la representatividad del dosel de cada taxón (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características dasométricas de las especies bajo estudio.

Especie	Diámetro normal (cm)	Altura (m)	Área de copa (m²)
<i>Pinus teocote</i> Schltdl. & Cham.	33	17.0	7.1
<i>Pinus engelmannii</i> Carrière	35	15.0	7.0

La precipitación incidente fue recolectada mediante canaletas de PVC (marca TRUPER®, modelo Nmx-e-199/1) de 0.1 m² (10 cm de ancho×100 cm de largo) en forma de U, conectadas por medio de mangueras (marca TRUPER®, modelo MAN-1R) a recipientes de 20 L (Figura 2A). Las canaletas fueron cubiertas con una malla para evitar que la hojarasca, insectos o cualquier material pudiera obstruir el paso del agua. Se instalaron cuatro canaletas a 1 m con respecto al suelo en un área abierta sin árboles, aproximadamente a 25 m de la cobertura arbórea, esto con el fin de evitar que el arbolado influyera en la captación de la precipitación incidente (Yáñez-Díaz *et al.*, 2014).



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

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

Para la recolección de la precipitación directa, se utilizó el mismo tipo de canaletas descritas anteriormente. Se colocaron cuatro canaletas por especie debajo de la copa del árbol; cada una se conectó a un recipiente de plástico de 20 L y se le cubrió con una malla protectora para evitar contaminación por hojarasca e insectos. No se removieron durante todo el periodo de estudio.

En el registro del escurrimiento fustal se utilizaron los mismos cuatro árboles por especie que se usaron para medir la precipitación directa, se emplearon mangueras de plástico (marca *TRUPER*[®], modelo MAN-1R) de 3 cm de diámetro, una manguera por árbol, con perforaciones de 1.5×2.5 cm, retiradas entre sí a distancias de 4 cm, pegadas a los fustes a 1 m de altura y colocadas de manera espiral, de tal manera que dieran dos vueltas y media al tronco, se fijaron con clavos de 1" y sellaron con silicón por donde se transportaba el agua a los botes de recolecta (Figura 2B) (Cantú y González, 2002). Se mantuvieron fijas en los árboles seleccionados durante todo el periodo experimental. En la Figura 1 de la ubicación de área de estudio se observa la ubicación y distribución de los árboles dentro de la parcela de estudio.

El análisis de las pérdidas por intercepción para cada especie se estimó como la diferencia entre la precipitación incidente y la suma de la precipitación directa y el escurrimiento fustal, mediante la aplicación de estadística descriptiva y análisis de regresión lineal con la siguiente fórmula (Cantú y González, 2005):

$$I = PI - (PD + SF)$$

Donde:

I = Pérdidas por intercepción (mm)

PI = Precipitación incidente (mm)

PD = Precipitación directa (mm)

SF = Escurrimiento fustal (mm)

Para el pluviolavado se determinó la conductividad eléctrica (*CE*) y el pH como propiedades físicas y químicas del agua en las muestras recolectadas en cada componente (precipitación directa, precipitación incidente y escurrimiento fustal) mediante la medición directa de un electrodo del potenciómetro-conductivímetro marca *Consort Multi-Parameter Analyser*[®] modelo C6010. Es importante conocer la relación de la lluvia y contenido de *CE* y pH, ya que los nutrientes se concentran en ellos, los cuales son indispensables para el desarrollo de las plantas (Béjar *et al.*, 2018).

A los valores obtenidos de pH y conductividad eléctrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) para los diferentes componentes de precipitación se les realizó una prueba de normalidad *Kolmogorov-Smirnov* con el paquete estadístico *SPSS* versión 22.0 (Méndez y Cuevas, 2013). La distribución de los datos no cumplió el supuesto de normalidad, por lo que se realizó un análisis estadístico mediante la prueba no paramétrica de *Kruskal-Wallis* con el Paquete Estadístico *SPSS* versión 22.0 (Méndez y Cuevas, 2013).

Resultados y Discusión

Precipitación incidente

Durante el periodo comprendido entre el 2 de junio al 31 de diciembre de 2019 se registraron 26 eventos de lluvia, con un total acumulado de 812.28 mm (Figura 3). Estos valores coinciden con lo citado por Domínguez-Gómez *et al.* (2022), quienes durante ocho meses de estudio registraron 30 eventos de lluvia y un acumulado de 856.25 mm de precipitación en el mismo ejido. Valores superiores registran Rodríguez *et al.* (2010) en una plantación de *Pinus pinaster* Aiton de 9 años de edad, donde estudiaron las características de la precipitación neta, y obtuvieron una precipitación de 938.2 mm durante el año 2007. Las diferencias entre los estudios se deben a que las condiciones climáticas son distintas para cada zona (altitud, temperatura, precipitación anual), el número de eventos y las características de las lluvias influyen mucho: la duración del evento puede variar entre unos pocos minutos, horas o varios días de precipitaciones. Por otra parte, la frecuencia con la que se presentan las precipitaciones en cada área de estudio es diferente al tiempo promedio que transcurre entre los acontecimientos de dos eventos de lluvia.

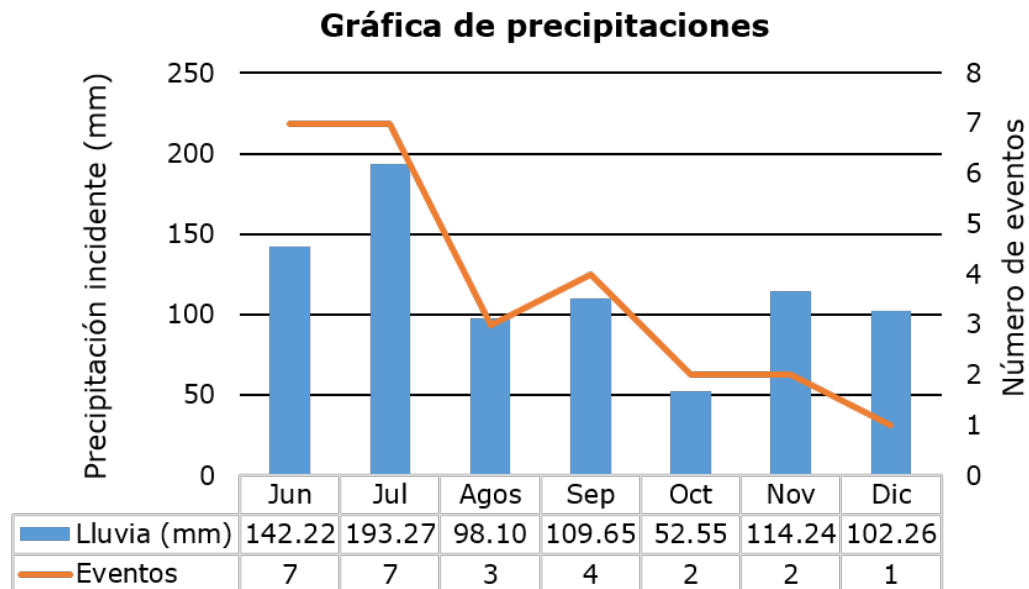


Figura 3. Número de eventos y precipitación mensual durante el periodo de estudio.

Precipitación directa

La precipitación directa promedio para *P. teocote* y *P. engelmannii* representó 84 % de la precipitación incidente. Los análisis de regresión lineal arrojaron valores del Coeficiente de Determinación (R^2) de 0.829 (*P. teocote*) y 0.857 (*P. engelmannii*) (figuras 4 y 5), lo cual evidenció que el incremento en precipitación directa dada la precipitación incidente es la misma, es decir, por cada unidad de incremento en precipitación incidente, la precipitación directa aumenta en 0.84 unidades. Se observó el mismo efecto en ambas especies, aunque la ordenada al origen fue diferente. Rodríguez *et al.* (2010) señalan valores en una plantación de *Pinus pinaster* de 72.7 % de precipitación directa. Gómez-Tagle *et al.* (2015), en un bosque tropical montano de pino-encino en el centro de México, consignan 80.6 % de precipitación directa, con un Coeficiente de Determinación de $R^2=0.976$, lo que indica que el agua que atraviesa el dosel de los árboles está muy relacionada con la lluvia total. Tamez *et al.* (2018) obtuvieron valores de 77 % para *Acacia farnesiana* (L.) Willd., 76 % para *Condalia hookeri* M. C. Johnst., 86 % para *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit y 83 % *Casimiroa greggii* (S. Watson) F. Chiang. En particular, la precipitación directa es afectada por la densidad foliar, forma de las copas, disposición de las hojas de los árboles y posición de las ramas.

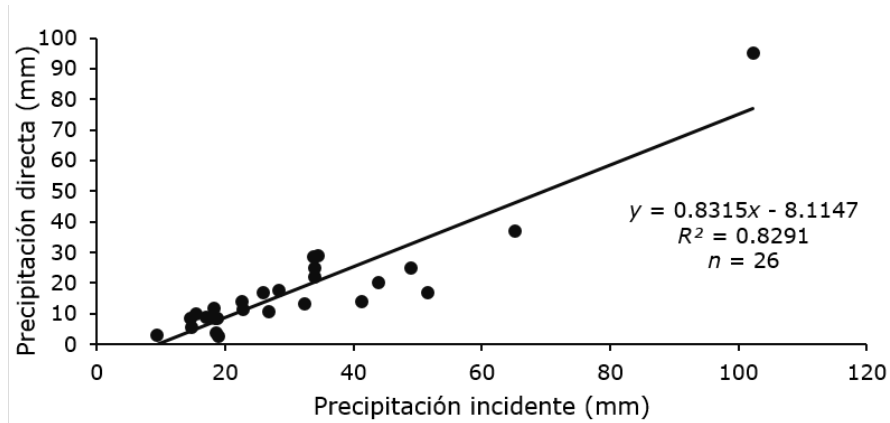


Figura 4. Relación entre la precipitación incidente y la precipitación directa para *Pinus teocote* Schlttdl. & Cham.

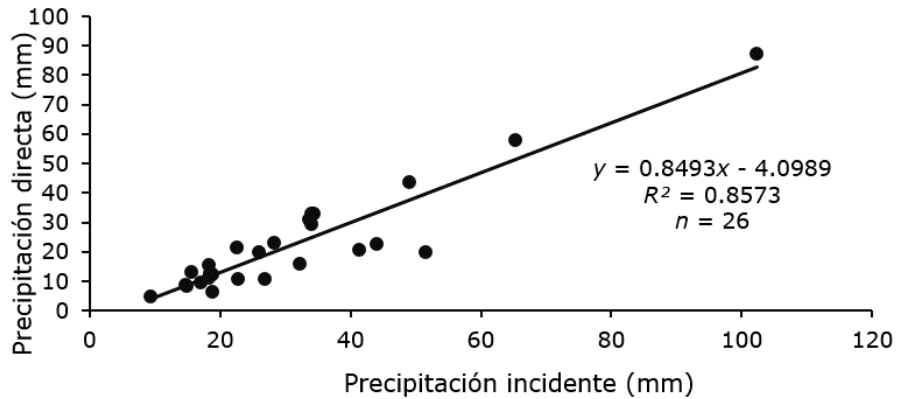


Figura 5. Relación entre la precipitación incidente y la precipitación directa para *Pinus engelmannii* Carrière.

Escurrimiento fustal

El escurrimiento fustal promedio para las dos especies fue de 0.31 % del total de la precipitación incidente; no se observan diferencias entre las dos especies debido a que presentan características dasométricas y fenotípicas similares. Los valores del Coeficiente de Determinación fueron de $R^2=0.766$ (*P. teocote*) y 0.605 (*P. engelmannii*) (figuras 6 y 7); también se observa en las figuras 6 y 7 que las precipitaciones incidentes de 20 a 40 mm tienen un mejor ajuste, por lo tanto, explican de manera más notable el escurrimiento fustal. Domínguez-Gómez *et al.* (2022) registran valores similares para la precipitación total en *P. engelmannii* de 0.46 % y *Quercus rugosa* Née de 0.11 %.

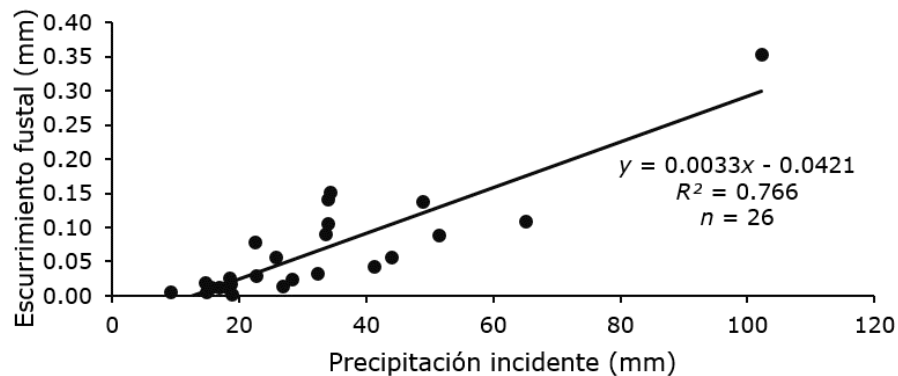


Figura 6. Relación de la precipitación incidente y el escurrimiento fustal para *Pinus teocote* Schltldl. & Cham.

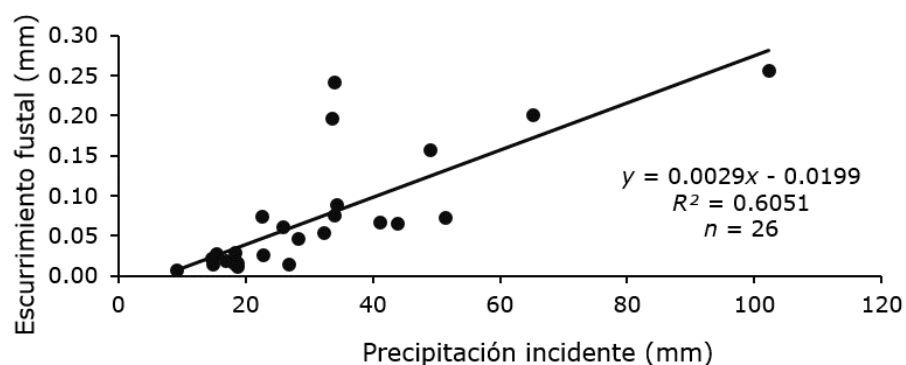


Figura 7. Relación de la precipitación incidente y el escurrimiento fustal para *Pinus engelmannii* Carrière.

Por el contrario, Huber y Oyarzún (1983) documentan cifras superiores en un bosque adulto de *Pinus radiata* D. Don, con 13 % de escurrimiento fustal; los diferentes porcentajes de este aporte se explican principalmente por las características de las precipitaciones y de las condiciones meteorológicas. Rodríguez *et al.* (2010) indican que la cantidad de agua escurrida por el tronco en una plantación de *Pinus pinaster* fue 4.0 % de la precipitación total; Tamez *et al.* (2018) señalan que este componente es fuente importante de abastecimiento de agua para las especies vegetales suprimidas o que se desarrollan en los estratos inferiores de los bosques.

En general, el agua que llega al suelo puede asociarse a la especie, la edad, variables dasométricas (altura y diámetro normal), área de la copa (Cuadro 1) y la dirección de las ramas hacia el tallo; algunos taxones tienen un fuste más limpio, esto ayuda a que las ramas no obstaculicen el trayecto del agua que llega directamente al tronco, si la corteza es rugosa o tiene estrías.

Pérdidas por intercepción

Las pérdidas por intercepción del dosel corresponden en promedio a 15.76 % para las dos especies, con un Coeficiente de Determinación promedio relativamente bajo para ambas especies ($R^2=0.155$). Lo anterior indica que la relación entre la precipitación incidente y la pérdida por intercepción está determinada por otros factores como el viento, la intensidad y duración de la lluvia, o si las precipitaciones fueron durante el día o en la noche (figuras 8 y 9). Se observa que, a mayor precipitación incidente, las pérdidas por intercepción disminuyen; las lluvias menores tienden a ser mejor interceptadas por el dosel de los árboles. Echeverría *et al.* (2007) documentan que un bosque perdió 33 % y una pradera 13 % debido a la evapotranspiración. Cantú y González (2005) calcularon pérdidas por intercepción de 18, 15 y 22 % para *Acacia berlandieri* Benth., *Acacia rigidula* Benth. y *Diospyros texana* Scheele, respectivamente. Yáñez-Díaz *et al.* (2014) citaron pérdidas por intercepción de 25, 15, 34 y 33 % para *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnst., *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., *Ebenopsis ebano* (Berland.) Barneby & J. W. Grimes y *Helietta parvifolia* (A. Gray ex Hemsl.) Benth., respectivamente.

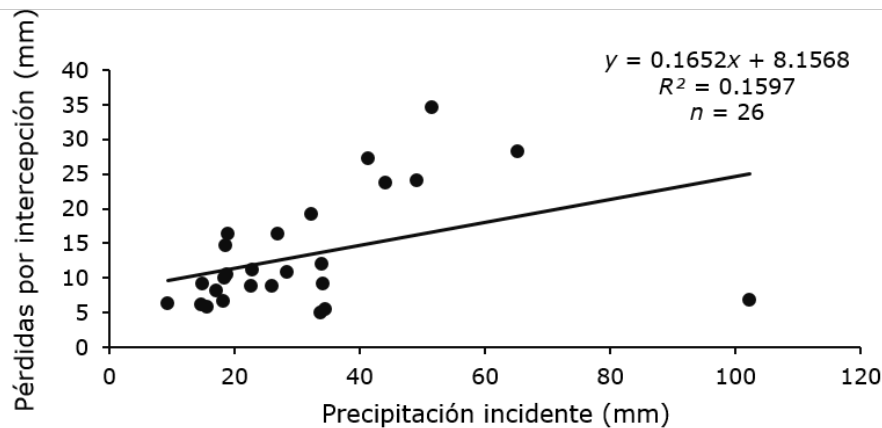


Figura 8. Relación de la precipitación incidente y las pérdidas por intercepción de *Pinus teocote* Schltdl. & Cham.

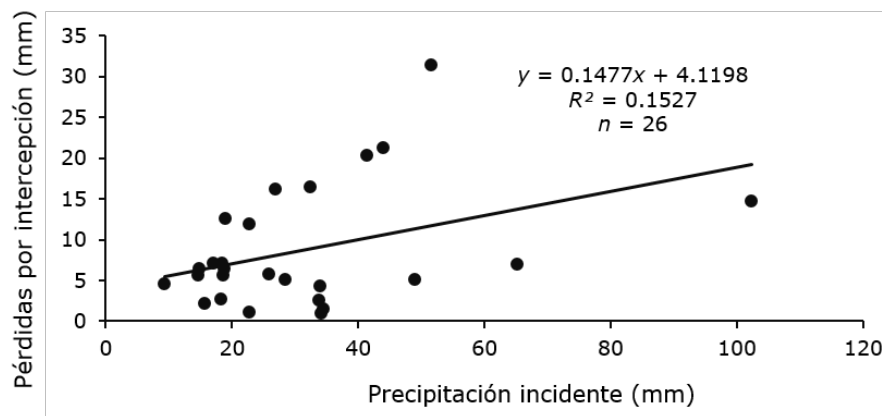


Figura 9. Relación de la precipitación incidente y las pérdidas por intercepción de *Pinus engelmannii* Carrière.

León *et al.* (2010) describen pérdidas por intercepción en un pinar de 19 %, en robleal con 14.5 % y un cipresal con un 10.2 %. Gómez-Tagle *et al.* (2015) indican que el mayor porcentaje de interceptación ocurre en eventos pequeños (<5 mm), pero tiende a estabilizarse en aproximadamente 20 % para una precipitación bruta >20 mm. Huber y Oyarzún (1983) consignan que las precipitaciones con aportes inferiores a 20 mm, discontinuas, o de baja intensidad permiten intercepciones más

altas porque la lluvia es retenida casi en su totalidad por las copas o está expuesta a un mayor tiempo para evaporarse. De igual manera, según Iroume y Huber (2000), el porcentaje del agua interceptada disminuye a medida que aumentan los montos totales de las lluvias, pero a partir de los 30 mm de precipitación, las cantidades relativas de intercepción tienden a mantenerse constantes en 20 y 30 %. La intercepción de la lluvia para cada ecosistema puede estar influenciada, principalmente, por la densidad y cobertura del dosel de cada especie, las temperaturas promedio, la velocidad del viento y el tamaño de la gota de lluvia. Se ha demostrado que la intercepción es un componente importante que incide en los microclimas y en el balance hídrico, ya que afecta la cantidad de lluvia que llega al suelo.

Pluviolavado

Se obtuvo un valor promedio de pH en la precipitación incidente de 5.7; la precipitación directa en *P. teocote* y *P. engelmannii* fue en promedio de 4.7; esto quiere decir que el agua que pasó a través de las copas de los árboles disminuyó ligeramente el pH en relación a la precipitación incidente; y para el escurrimiento fustal, cuando la lluvia recorre el fuste del árbol se acidifica un poco, alcanzando un valor promedio de 3.8. Domínguez-Gómez *et al.* (2022) registraron para la precipitación directa en sitios con *P. engelmannii*, valores de pH mínimos y máximos de 4.46 y 5.78, mientras que para *Q. rugosa* correspondieron a 5.16 y 6.78, respectivamente. El escurrimiento fustal indica que en *P. engelmannii* el pH más alto es de 6.08, y para *Q. rugosa* 7.51. Las diferencias de pH entre cada especie estudiada están ligadas a la acumulación de partículas en las hojas, ramas y tallos,

ya que las partículas atmosféricas retenidas y acumuladas son arrastradas por el agua hasta llegar al suelo (Béjar *et al.*, 2018). El viento influye, ya que acarrea iones volátiles que se encuentran en la atmósfera para adherirse al árbol, además que cada una de las especies tienen diferentes características que aumentan o disminuyen la química del agua que fluye de las hojas y del fuste hasta el suelo. Valores de pH elevados pueden alterar el funcionamiento de los ecosistemas forestales, principalmente por el desbalance nutrimental provocado por la acidificación del suelo, lo cual genera problemas en los procesos del crecimiento (generativo y vegetativo) de las plantas (Pérez-Suárez *et al.*, 2006).

El valor promedio de la conductividad eléctrica en la precipitación incidente fue de $29.5 \mu\text{S cm}^{-1}$, para la precipitación directa de $48.9 \mu\text{S cm}^{-1}$ en *P. teocote* y para *P. engelmannii* fue $39.9 \mu\text{S cm}^{-1}$, para el escurrimiento fustal de $87.9 \mu\text{S cm}^{-1}$ para *P. engelmannii* y en *P. teocote* su valor fue de $92.5 \mu\text{S cm}^{-1}$. Pérez-Suárez *et al.* (2006) obtuvieron valores muy inferiores a los del presente estudio: la *CE* en el Desierto de los Leones fue de $8 \mu\text{S cm}^{-1}$ y en Zoquiapan de $7 \mu\text{S cm}^{-1}$, donde se menciona que hubo un incremento de la *CE* al final de la temporada de lluvias, esto es probablemente debido a un efecto de dilución, ya que al disminuir la cantidad y frecuencia de lluvia hay mayor acumulación de iones en la atmósfera, los cuales son lavados por la lluvia posterior.

La *CE* hace referencia a las condiciones que afectan la relación suelo-planta, a la calidad y la disponibilidad de agua, nutrimentos para las plantas y los microorganismos. La acumulación de sales en el suelo puede causar a las plantas dificultades en la absorción del agua, generar toxicidad de iones específicos e interferencia de sales en los procesos fisiológicos (efectos indirectos) que reducen el crecimiento y el desenvolvimiento de las plantas (Terrazas, 2019).

Prueba Kruskal-Wallis

Los análisis de varianza de la prueba *Kruskal-Wallis* para detectar diferencias significativas en pH y *CE* de la precipitación incidente, la precipitación directa y el escurrimiento fustal para las dos especies en 26 eventos de lluvia, presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en la mayoría de los eventos para las dos variables. Estos resultados indican que la lluvia que se deposita sobre la cubierta vegetal (precipitación directa) y del fuste del árbol (escurrimiento fustal) se enriquece en cuanto a materia orgánica y elementos minerales como producto de los exudados de las hojas y fuste del árbol, esto los hace químicamente diferentes a la lluvia de la precipitación incidente.

Conclusiones

Las especies de *Pinus* no solo ofrecen beneficios ecológicos y económicos para la zona norte del país por su aprovechamiento maderable, sino que además son muy importantes dentro del ciclo hidrológico. Los datos obtenidos sirven para tomar mejores decisiones en materia de recuperación y forestación de cuencas, disminución de sequías e inundaciones mediante programas de reforestación en los que la selección de especies por plantar se realice a partir de criterios basados en los resultados de este estudio. Con la información generada en la presente investigación se comprueba que *Pinus teocote* tiene la capacidad de retener más agua, por lo cual puede utilizarse para reforestar zonas de riesgo de inundación; al contrario, *Pinus engelmannii* incorpora mayor agua al suelo, por ello es

recomendable para los programas de recuperación y mantenimiento de cuencas hidrológicas.

La precipitación directa es afectada por la densidad foliar, forma de las copas, disposición de las hojas de los árboles y posición de las ramas. El estudio de pH y conductividad eléctrica del pluviolavado evidencia variaciones químicas en su composición, conforme al comportamiento de la lluvia a través del dosel, además está estrechamente relacionado a la cantidad de milímetros de lluvia del evento: a mayor lluvia, el pH disminuye. La conductividad eléctrica tiende a incrementarse conforme atraviesa el dosel, aumentando aún más a lo largo del escurrimiento fustal.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico de El Salto, así como a los proyectos: "Caracterización de los Servicios Ecosistémicos en Bosques Mixtos de la Sierra Madre Occidental en la Región de El Salto, Durango, México" Proyecto TECNM, Clave 5086.19-P, y "Servicios Ecosistémicos en Bosque de Pino-Encino de la Sierra de Durango" Clave ITES-INV-2022-004. El autor de correspondencia agradece al Conahcyt por la beca de estancia posdoctoral realizada en la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Juárez del Estado de Durango. Se reconoce al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango (Cocyted) por el financiamiento otorgado para la publicación de este artículo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Cristiam Hernández Manzanarez: toma de datos en campo, interpretación de los resultados, análisis estadístico, estructura y redacción del manuscrito; Tilo Gustavo Domínguez Gómez: diseño de la investigación, interpretación, revisión y corrección del manuscrito; Ernesto Rodríguez García: toma de datos en campo, análisis de los datos de campo, estructura y redacción del manuscrito; Israel Cantú Silva: revisión, diseño e interpretación de los resultados; José Javier Corral Rivas: corrección del manuscrito; José Guadalupe Colín: corrección y revisión del documento; Humberto González Rodríguez: revisión y estructura del manuscrito.

Referencias

- Alba L., J. 2006. Movimiento de especies forestales en el estado de Veracruz, México. Tesis doctoral. Instituto de Genética Forestal, Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver., México. 76 p.
- Ávila-Flores, I. J., J. C. Hernández-Díaz, M. S. González-Elizondo, J. A. Prieto-Ruíz and C. Wehenkel. 2016. *Pinus engelmannii* Carr. in northwestern México: A review. Pakistan Journal of Botany 48(5):2159-2166. [http://pakbs.org/pjbot/PDFs/48\(5\)/49.pdf](http://pakbs.org/pjbot/PDFs/48(5)/49.pdf). (20 de febrero de 2023).
- 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.
- Cantú S., I. y H. González R. 2002. Propiedades hidrológicas del dosel de los bosques de pino-encino en el noreste de México. Ciencia UANL 5(1):72-78. http://eprints.uanl.mx/972/1/propied_hidrol.pdf. (25 de febrero de 2023).

- 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. (20 de febrero de 2023).
- 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.
- Echeverría, C., A. Huber y F. Taberlet. 2007. Estudio comparativo de los componentes del balance hídrico en un bosque nativo y una pradera en el sur de Chile. *Bosque* 28(3):271-280. Doi: 10.4067/S0717-92002007000300013.
- 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. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1>. (25 de febrero de 2023).
- Gómez-Tagle, A., A. F. Gómez-Tagle, J. A. Ávila O. y L. A. Bruijnzeel. 2015. Partición de la precipitación en un bosque tropical montano de pino-encino en el centro de México. *Bosque* 36(3):505-518. Doi: 10.4067/S0717-92002015000300017.
- Guerra-De la Cruz, V., F. Islas-Gutiérrez, E. Flores-Ayala, M. Acosta-Mireles, ... y T. Pineda-Ojeda. 2019. Modelos locales altura-diámetro para *Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus teocote* Schiede ex Schltdl. en Nanacamilpa, Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10(51):133-156. Doi: 10.29298/rmcf.v10i51.407.
- Huber J., A. y C. Oyarzún O. 1983. Precipitación neta e intercepción en un bosque adulto de *Pinus radiata* (D. Don). *Bosque* 5(1):13-20. Doi: 10.4206/bosque.1983.v5n1-02.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2014. Guía para la interpretación de cartografía. Uso del Suelo y Vegetación. Escala 1:250 000. Serie V. INEGI. Aguascalientes, Ags., México. 195 p.

https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/usosuelo/metadatos/guia_inter_usosuelov.pdf. (25 de febrero del 2023).

Iroume, A. y A. Huber. 2000. Intercepción de las lluvias por la cubierta de bosques y efecto en los caudales de crecida en una cuenca experimental en Malalcahuello, IX Región, Chile. *Bosque* 21(1):45-56. Doi: 10.4206/bosque.2000.v21n1-05.

León P., J. D., M. I. González H. y J. F. Gallardo L. 2010. Distribución del agua lluvia en tres bosques altoandinos de la Cordillera Central de Antioquia, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín* 63(1):5319-5336. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v63n1/a10v63n01.pdf>. (20 de febrero de 2023).

López S., J. Á., J. Méndez G., A. Zermeño G., J. Cerano P. y M. A. García A. 2017. Impacto de descortezadores en el incremento radial de *Pinus teocote* Schiede. ex Schltdl. & Cham. y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 8(41):82-108. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v8n41/2007-1132-remcf-8-41-00082.pdf>. (20 de febrero de 2023).

López-Lambraño, A. A., C. Fuentes, E. González-Sosa y A. A. López-Ramos. 2017. Pérdidas por intercepción de la vegetación y su efecto en la relación intensidad, duración y frecuencia (IDF) de la lluvia en una cuenca semiárida. *Tecnología y Ciencias del Agua* 8(4):37-56. Doi: 10.24850/j-tyca-2017-04-03.

Méndez V., S. y A. Cuevas R. 2013. Manual introductorio al SPSS Statistics Standard Edition 22. Universidad de Celaya. Celaya, Gto., México. 55 p. https://www.fibao.es/media/uploads/manual_de_spss_universidad_de_celaya.pdf. (25 de febrero de 2023).

Pérez O., C. de la P. y J. Ceja-Romero. 2019. Anatomía de la hoja de seis especies de *Pinus* del estado de Durango, México. *Madera y Bosques* 25(1):1-11. Doi: 10.21829/myb.2019.2511698.

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/pdf/agro/v40n2/1405-3195-agro-40-02-239.pdf>. (25 de febrero de 2023).

Rodríguez S., J. A., F. Díaz-Fierros y B. Soto. 2010. Características de la precipitación neta en una plantación de *Pinus pinaster*. *Revista Cuaternario y Geomorfología* 24(3-4):25-31.

[http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/images/vol24_3_4/Cuater%2024\(3-4\)_\(02\)Rodriguez%20Suarez.pdf](http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/images/vol24_3_4/Cuater%2024(3-4)_(02)Rodriguez%20Suarez.pdf). (25 de febrero de 2023).

Santos S., O. O., M. A. González T. y R. López A. 2018. Producción de semilla y potencial biológico de tres especies de *Pinus* en Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(50):538-549. Doi: 10.29298/rmcf.v9i50.264.

Tamez P., C., I. Cantú S., H. González R., M. I. Yáñez D. y J. I. Uvalle S. 2018. Pérdidas por intercepción 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.

Terrazas R., J. M. 2019. Aprovechamiento del suelo salino: agricultura salina y recuperación de suelos. *Apthapi* 5(1):1539-1563. http://revistasbolivianas.umsa.bo/pdf/apt/v5n1/v5n1_a16.pdf. (25 de febrero de 2023).

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>. (25 de febrero del 2023).



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.