

Propiedades hidrológicas del dosel de los bosques de pino-encino en el noreste de México

Israel Cantú S.,* Humberto González R.*

Los estudios hidrológicos del bosque en regiones templadas han demostrado que las pérdidas por interceptación, la evaporación que resulta por la precipitación interceptada por el dosel del bosque y que es evaporada antes de que alcance el suelo, es un componente importante de la evaporación total¹. Por lo general, la interceptación se estima indirectamente como la diferencia entre la precipitación incidente (arriba del dosel) y la precipitación neta (debajo del dosel).^{2,3,4,5,6,7,8} La medición y predicción de las pérdidas por interceptación del bosque del agua de lluvia es un requerimiento esencial en el pronóstico de los efectos de la cubierta vegetal sobre el rendimiento de agua de una cuenca forestal. Por otra parte, operaciones forestales tales como el rociado aéreo de pesticidas y la aplicación de retardantes de incendios son más efectivas, mientras sean mejor interceptados y almacenados por el dosel de la vegetación. El noreste de México se ha caracterizado por su gran progreso, principalmente en la actividad industrial. Esto ha generado un dinámico cambio de uso de suelo, que aunado al aprovechamiento irracional de los recursos forestales, ha modificado notablemente los ciclos hidrológicos, el reabastecimiento de los mantos acuíferos, los hábitats naturales de la fauna silvestre, contribuyendo, además, al cambio climático global, y a un incremento en la pérdida de suelo por erosión. Uno de los paisajes de mayor importancia para el desarrollo regional lo constituye la Sierra Madre Oriental, ya que contribuye con importantes servicios ecológicos al área, donde sus grandes masas forestales regulan el clima, sirven como cuenca de captación, protegen contra la erosión al suelo, evitan azolves, amortiguan grandes avenidas de agua, y brindan zonas de esparcimiento, por mencionar sólo algunos, además, son primordiales desde el punto de vista del arraigo de importantes sectores de la



Parcela experimental en bosque de pino.

población, en cuyas manos está el cuidado de dichos recursos.⁹ Los bosques de pino-encino son muy comunes a lo largo de la Sierra Madre Oriental y por lo tanto es de gran importancia investigar las propiedades hidrológicas de estos bosques.

Materiales y métodos

El área de estudio se ubica dentro del Bosque Experimental de la Universidad Autónoma de Nuevo León a 50 km al suroeste de Linares, NL, México (24° 43' NL, 99° 52' WL, 1600 m snm). Tres parcelas experimentales (20 m x 20 m) con un estrato superior dominante de árboles de pino-encino, encino (*Quercus sp.*) y pino (*Pinus pseudostrabus* Lindl.) de 80 a 100 años de edad fueron seleccionadas. La precipitación y temperatura promedio anual son 13.9 °C y 639 mm, respectivamente. El 80% de la precipitación ocurre de mayo a octubre (figura 1).

Los suelos se caracterizan por ser de la clase kastanozem cálcico, de textura limosa en el suelo

* Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Apartado Postal 41, Linares, N.L., México 67700. E-mail: icantu@fcf.uanl.mx

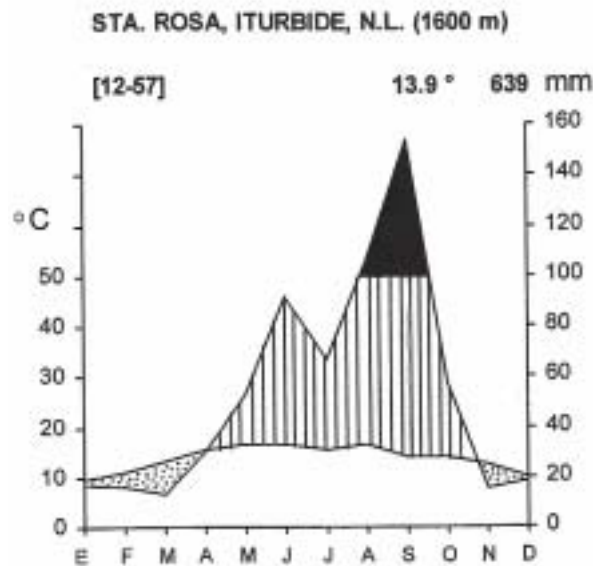


Fig. 1. Diagrama climático de la zona de estudio.

superficial y arcillo-limosa en el subsuelo, con altos (K, Fe, Mn y Cu) y bajos (Zn y P) contenidos de nutrientes minerales. El pH de estos suelos es moderadamente alcalino (7.5-8.5), con bajos contenidos de materia orgánica (3%) y de nitrógeno (0.15%). La relación C:N es de 10:1 y la conductividad eléctrica de $150 \mu\text{S cm}^{-1}$. La descripción de los tres sitios forestales se presenta en la tabla 1.

Características del sitio	Sitios		
	Pino	Encino	Pino-Encino
Número de árboles por ha	246	312	466
Volumen (m^3ha^{-1})	60.0	26.0	40.0
Altura promedio del árbol (m)	12.0	9.0	16.4
Promedio de DAP (cm)	32.4	16.1	34.0
Promedio del área de copa (m^2)	37.2	36.8	77.8
Proyección área de copa (m^2m^{-2})	1.5	2.7	2.5
Pendiente (%)	15.0	25.0	15.0

Medición de los componentes de la precipitación

Después de cada evento de lluvia, la precipitación en el área abierta (precipitación incidente), la precipitación directa debajo del dosel vegetal y el

escurrimiento fustal se analizaron de octubre de 1996 a junio de 1999. La investigación se realizó en base al análisis de eventos de lluvia individuales. De esta manera, únicamente los eventos precedidos por lo menos de doce horas (en la noche) u ocho horas (en el día) sin lluvia anterior fueron considerados, bajo el supuesto que el dosel vegetal se encontraba seco^{1,10,11,12}. Un total de 99 eventos fueron analizados; de éstos, sólo los continuos se seleccionaron para obtener la capacidad de almacenaje del dosel.

Precipitación incidente

Se utilizaron canaletas de PVC de 1000 cm^2 (10 cm de ancho x 100 cm de largo) conectadas por medio de mangueras a recipientes de 20 L, en donde se colectó el agua de lluvia. Cuatro canaletas fueron instaladas a 1.0 m sobre la superficie del suelo en una área abierta sin árboles, colindante a las parcelas experimentales. Las canaletas se cubrieron con una malla para evitar la obstrucción con hojarasca e insectos al fluido del agua hacia los botes. La precipitación neta en este estudio se consideró como la cantidad de precipitación que alcanza el piso del bosque, la suma de la precipitación directa y el escurrimiento fustal.

Precipitación directa del dosel arbóreo

Se seleccionó una parcela (20 m x 20 m) dentro de cada cubierta vegetal a investigar (pino, encino y pino-encino) y se utilizaron el mismo tipo de canaletas anteriormente descritas para recolectar la precipitación directa (agua de lluvia que pasó a través del dosel). Debido a que las canaletas forman transectos continuos, éstas

deberán de ser más efectivas para controlar la variabilidad de la precipitación directa. Cuatro canaletas de plástico con una forma de U (1000 cm^2) se instalaron al azar a 1.0 m sobre la superficie del suelo debajo del dosel de un árbol. Cada canaleta fue conectada a un recipiente de plástico de 20 L y tam-

bién fueron cubiertas con una malla protectora para evitar contaminación por hojarasca e insectos. Las canaletas se establecieron permanentemente fijadas en el mismo lugar a lo largo del período de estudio.

Escurrimiento fustal

El agua del escurrimiento fustal se midió de los escurrimientos sobre los troncos de cuatro árboles, en los cuales se colectó la precipitación directa, en cada una de las parcelas experimentales (pino, encino y pino-encino).

Una manguera de plástico acerada de 3 cm de diámetro, con perforaciones de 1.5 cm x 2.5 cm, a 4 cm de intervalo, se fijó sobre los fustes a 1.5 m de altura utilizándose como un tipo de recolector en espiral para el escurrimiento fustal. Cada tronco fue



Tronco de encino para escurrimiento fustal

preparado (sin corteza) colocándose la manguera sobre una superficie lisa. Los recolectores en espiral se prensaron contra el fuste a lo largo de la superficie previamente limpia y lisa, asegurándose al tronco. Las partes superiores e inferiores de las mangueras se fijaron con alambre y se sellaron con silicón. Cada recolector en espiral formó dos y media vueltas alrededor del tronco a un ángulo aproximado de 30° sobre el plano horizontal. Cada recolector en espiral se conectó a un recipiente de plástico de 50 L. A partir del área de la copa, se obtuvo un factor

de conversión para cada árbol para transformar el volumen de agua recolectado a mm de precipitación.

Estimación de la capacidad de almacenaje del dosel

Las pérdidas por interceptación son regidas por el número de ciclos de mojado y secado que ocurren en la vegetación, éstos a la vez, generalmente dependerán del número y distribución de tamaño de las lluvias. La característica relevante de la vegetación es la cantidad de agua almacenada en el dosel en una sola lluvia que sea suficiente para exceder la capacidad de la vegetación para retener agua sobre su superficie. Esta característica es conocida como capacidad de almacenaje de interceptación o capacidad de saturación del dosel¹³. Así, la capacidad de almacenaje del dosel fue determinada relacionando la precipitación incidente (P_i) contra la precipitación neta (P_n) para tormentas individuales continuas de hasta 2.5 mm. La capacidad de almacenaje del dosel se obtuvo conociendo el valor de la interceptación del eje y después de aplicar regresión lineal a los datos. La proyección vertical de las copas de los árboles de las parcelas experimentales se representa en la figura 2.

Resultados

La variabilidad espacial de la precipitación directa promedió 12% en los doseles de pino y encino, mientras que para el dosel de pino-encino fue de 17%.

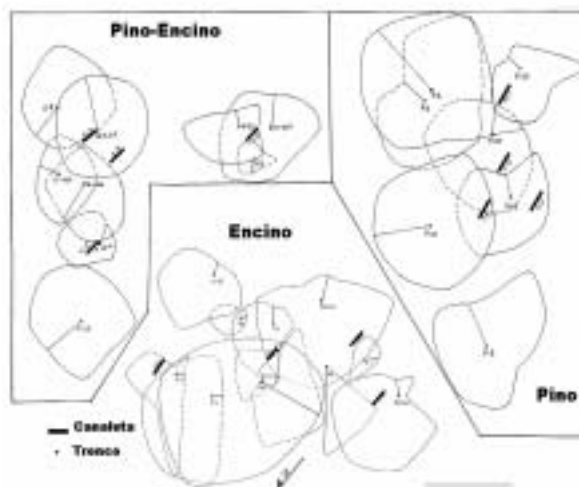


Fig. 2. Proyección vertical del dosel de los árboles en las parcelas de pino, encino y pino-encino.

La desviación estándar mostró un incremento aproximadamente lineal con el incremento de la precipitación directa (figura 3). Resultados similares han sido reportados en bosques mixtos de encino por otros autores.^{14,15}

Los análisis de regresión lineal entre la precipitación neta y la precipitación incidente en los tres tipos de dosel investigado, mostraron valores de correlación ($r = 0.974 - 0.984$) altamente significativos ($P < 0.001$). La variabilidad del escurrimiento fustal promedió 66, 126 y 73% para pino, encino y pino-encino, respectivamente. Las pérdidas por intercep-

este estudio fue de 0.03, 0.50 y 0.60% para pino, encino y pino-encino, respectivamente. Los valores estimados para la capacidad de almacenaje del dosel para pino y pino-encino fueron de 0.25 mm, mientras que para el encino fue de 0.17 mm. Los bajos valores de saturación, aparentemente se deben a las características del dosel y a la presencia de precipitación horizontal, que es típica de estos bosques. La figura 4 muestra la variación en las pérdidas por intercepción de los diferentes eventos de lluvia en los tres tipos de coberturas. Estas variaciones fueron dependientes de la cantidad de precipitación.

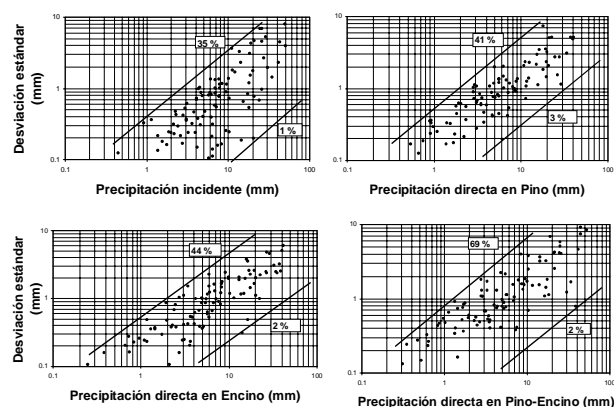


Fig. 3. Variabilidad espacial de la precipitación directa (%) y la relación entre la media y la desviación estándar de la precipitación directa de pino, encino y pino-encino.

ción acumuladas para el periodo investigado fueron de 19.2, 13.6 y 23% para pino, encino y pino-encino, respectivamente. Estos valores representaron 187, 132 y 224 mm, respectivamente (tabla II). Los resultados indican que el dosel de encino es el más permeable y por consiguiente muestra las menores pérdidas por intercepción. El resumen de los análisis de regresión entre las pérdidas por intercepción y la precipitación incidente para los tres tipos de coberturas investigadas se presenta en la tabla III. En general, dependiendo de la intensidad de lluvia, el escurrimiento fustal nunca se observó en eventos de lluvia menores de 4 mm en el bosque de encino. Otros autores^{15,16} han reportado resultados similares para un bosque mixto de encinos. El bosque de pino-encino y pino requirieron de 5 y 6.5 mm, respectivamente, para permitir que ocurriera el escurrimiento fustal. La estimación del escurrimiento fustal tiene un efecto mínimo sobre la precipitación neta, debido a la baja proporción de precipitación involucrada, la cual en

Discusión

La alta variabilidad observada en el escurrimiento fustal del encino pudo deberse a que los fustes de los árboles no eran rectos y el goteo del escurrimiento se presentó en gran parte de las ramas, convirtiéndose este escurrimiento en precipitación directa. Por otra parte, el total de precipitación cuantificada durante el periodo de estudio, representó el 58% de la precipitación promedio anual de la zona. Esta anomalía en la precipitación se debió al efecto del fenómeno «El Niño», el cual provocó un inusual periodo de sequía en el noreste de México. De tal manera que los resultados se deben de interpretar en el contexto de esta inusual distribución de la precipitación. Los bajos coeficientes de regresión de la intercepción (tabla III), sugieren que otros factores tales como: niebla, rocío, intensidad de lluvia, continuidad del evento de lluvia, velocidad del viento, entre otros, deben de ser tomados en cuenta para poder predecir con mayor exactitud la intercepción.

Conclusiones

Esta investigación ha indicado que el efecto del bosque de encinos, a nivel cuenca, podría representar una fuente importante de aprovechamiento de los recursos hídricos con respecto al bosque de pino y pino-encino en la región noreste de México. Esto se sustenta en el hecho de que las pérdidas por intercepción en los doseles de pino, encino y pino-encino para 99 tormentas individuales fueron de 187, 132 y 224 mm, respectivamente. Esto sugiere que el manejo sustentable del bosque de encinos, como un recurso para la conservación de recursos hídricos, puede jugar un papel importante en regiones semiáridas, en donde el agua es uno de los princi-

Tipo de dosel	n	Rango de intercepción		Intercepción total	
		(mm)	(%)	(mm)	(%)
Encino	94	0 - 9.1	0 - 56	132	13.6
Pino	99	0 - 11	0 - 71	187	19.2
Pino-Encino	93	0 - 9.8	0 - 83	224	23.0

Tipo de dosel	n	Y-valor de intercepción			Pendiente			R ²
		β_0	(EEE)	Valor -P	β_1	(EEE)	Valor -P	
Encino	94	0.453	0.179	0.013*	0.090	0.013	0.000***	0.351
Pino	99	0.531	0.173	0.003**	0.144	0.011	0.000***	0.640
Pino-Encino	93	0.939	0.205	0.000***	0.135	0.015	0.000***	0.482

^a El error estándar estimado (EEE) para los coeficientes de regresión es incluido
 *** P ≤ 0.001; ** P ≤ 0.01, * P ≤ 0.05.

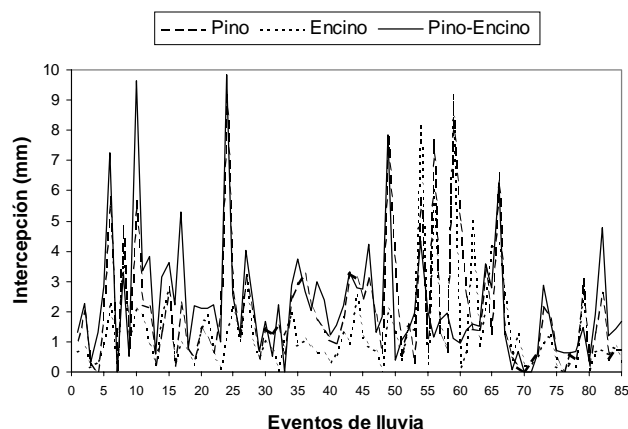


Fig. 4. Pérdidas por intercepción en base a tormentas individuales, para el dosel de pino, encino y pino-encino.

pales factores limitantes. Así también, las especies de *Quercus sp.* usadas en programas de reforestación, pueden ser recomendadas como una alternativa para un mejor aprovechamiento hidrológico en esta región. Finalmente, es importante señalar que los resultados del presente estudio fundamentan el

valor ecológico (servicio ambiental) que proporcionan los bosques de encino de la Sierra Madre Oriental en el noreste de México.

Agradecimientos

El presente estudio fue financiado por la Fundación Internacional para la Ciencia, IFS (D/2811-1) y también por el programa de apoyo a la investigación científica y tecnológica, PAICYT (CN327-00). Asimismo se agradece la asistencia técnica de Nicolás Hernández, Elsa González y Manuel Soto con el trabajo de campo.

Resumen

Con la finalidad de investigar la intercepción de la lluvia en el bosque, se llevaron a cabo mediciones de la precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento fustal en tres tipos de cobertura vegetal con un alto valor ecológico, pino, encino y pino-encino en la región noreste de México. El coeficiente de variación de la precipitación directa en pino y encino fue de 12%, mientras que para pino-encino fue de 17%. La variabilidad del escurrimiento fustal promedió 66, 126 y 73% para pino, encino y pino-encino, respectivamente. Análisis de regresión lineal de la precipitación directa con la precipitación incidente en los tres tipos de cobertura vegetal, mostraron una correlación altamente significativa ($r = 0.974 - 0.984$). El total de precipitación incidente durante el periodo experimental fue de 974 mm y las pérdidas por intercepción del dosel fueron estimadas en 19.2, 13.6 y 23% para pino, encino y pino-encino, respectivamente. El escurrimiento fustal no ocurrió en eventos de lluvia menores de 4 mm, y en los tres tipos de coberturas investigadas representó una mí-

nima proporción de la precipitación incidente; 0.60, 0.50 y 0.03% para pino, encino y pino-encino, respectivamente. Valores de capacidad de almacenaje del dosel fueron estimados para pino y pino-encino en 0.25 mm, mientras que para encino fue de 0.17 mm.

Palabras clave: Pino, Encino, Intercepción del dosel, Precipitación directa, Escurrimiento fustal.

Abstract

Interception loss, gross precipitation, throughfall and stemflow beneath pine, oak, and pine-oak natural forest canopies in northeastern Mexico was measured. Coefficients of variation for throughfalls in pine and oak canopies were 12% whereas for the pine-oak it was 17%. The variability of stemflow averaged 66, 126 and 73% for pine, oak and pine-oak, respectively. Linear regression analysis for net precipitation with gross precipitation for the three canopies studied showed high significant correlation ($r = 0.974 - 0.984$). The total precipitation during the experimental period was 974 mm and the interception loss from the forest canopy was estimated in 19.2, 13.6 and 23% for pine, oak and pine-oak, respectively. Stemflow did not occur for rainfall events below 4 mm and, in all canopies, represents a minimum proportion of the gross precipitation 0.60, 0.50 and 0.03% for pine, oak and pine-oak, respectively. Canopy storage capacity values were estimated for pine and pine-oak in 0.25 mm, whereas for oak canopy it was 0.17 mm.

Keywords: Pine, Oak, Interception loss, Throughfall, Stemflow

Referencias

- Gash, J.H.C. and A.J. Morton. 1978. An application of the Rutter model to the estimation of the interception loss from Thetford forest. *J. Hydrol.* 38: 49-58.
- Voigt, G. K. 1960. Distribution of rainfall under forest stands. *Forest Science* 6 (1): 2-10.
- Mitscherlich, G. 1971. Wissenschaft und Fortschritt, aufgezeigt am Beispiel: Wald und Wasser. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* 142 (10): 237-246.
- Heuveldop, J., Mitscherlich, G. and Kuentler, E. 1972. Über Kronendurchlass, Stammablauf und Interceptionsverlust von Douglasienbeständen am Süd- und Nordhang. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* 143 (6): 117-121.
- Weihe, J. 1974. Benetzung und Interzeption von Buchen- und Fichtenbeständen in Nordrhein-Westfalen, I. Die Regenmessung im Freiland mit regenschreiben ohne windschutz. *Allg. Forst- u. J. Ztg.* 145 (1): 1-10; 30-40.
- Bultot, F, Dupriez, G.L. and Bodeux, A. 1976. Interception Potentielle Journaliere de la Pluie par Divers Peuplements Forestiers. *J. Hydrol.* 31: 381-392.
- Tanaka, K., Okumura, T., Goto, I. and Hasegawa, T. 1984. A Research on the Functional Property of the Broad-Leaved Forest for Water Resource Conservation (III). *Bulletin of the Tottori Univ. Forests.* 14: 43-56. (en Japonés)
- Loustau, D., Berbigier, P., Granier, A. and Moussa, E.H. 1992. Interception loss, throughfall and stemflow in a maritime pine stand. I. Variability of throughfall and stemflow beneath the pine canopy. *J. Hydrol.* 138: 449-467.
- Enkerlin, H. E. 1997. Ordenamiento Ecológico y Modelos para el Manejo Sostenible de la Sierra Madre Oriental de Coahuila y Nuevo León. <http://uninet.mty.itesm.mx/ecosis/oe.html>
- Mitscherlich, G. and W. Moll. 1970. Untersuchungen über die niederschlags- und bodenfeuchtigkeitsverhältnisse in einigen nadel und laubholzbeständen in der nähe von Freiburg/Br. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* 141: 49-60.
- Jackson, I.J. 1975. Relationships between rainfall parameter and interception by tropical forest. *J. Hydrol.* 24: 215-238.
- Rowe, L.K. 1983. Rainfall interception by an evergreen beech forest, Nelson, New Zealand. *J. Hydrol.* 66: 143-158.
- Leyton, L., E.R.C. Reynolds y F.B. Thompson. 1967. Rainfall interception in forest and moorland. *In* *Int. Symp. on Forest Hydrology.*
- Duijsings, J.J.H.M., J.M. Verstraten y W. Bouten. 1986. Spatial variability in nutrient deposition under oak/beech canopy. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 149:718-727.
- Cantú, S.I. y T. Okumura. 1996. Throughfall, stemflow and interception loss in a mixed white oak forest (*Quercus serrata* THUNB.). *J. For. Res.* 1: 123-129.
- Brown, J.H. y Barker, A.C. 1970. An analysis of Throughfall and Stemflow in Mixed Oak Stands. *Water Resour. Res.* 6(1): 316-323.



LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
INVITA A LA

C Á T E D R A
EL COLEGIO NACIONAL



*Mesas redondas y conferencias impartidas
por escritores, científicos, artistas, humanistas
integrantes de este centro de excelencia
que se destaca por fomentar la*

LIBERTAD POR EL SABER

Año 2002



Mayores informes en la Secretaría de Extensión y Cultura
Teléfonos: 8329 4112 y 8329 4126