

REDISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN TRES ESPECIES ARBUSTIVAS NATIVAS Y UNA PLANTACIÓN DE EUCALIPTO DEL NORESTE DE MÉXICO

• María Inés Yáñez-Díaz* • Israel Cantú-Silva •
• Humberto González-Rodríguez • José I. Uvalle-Sauceda •
Universidad Autónoma de Nuevo León, México

*Autor de correspondencia

Resumen

YÁÑEZ-DÍAZ, M.I., CANTÚ-SILVA, I., GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, H. & UVALLE-SAUCEDA, J.I. Redistribución de la precipitación en tres especies arbustivas nativas y una plantación de eucalipto del noreste de México. *Tecnología y Ciencias del Agua*. Vol. V, núm. 2, marzo-abril de 2014, pp. 71-84.

Se estudió la redistribución de las precipitaciones en tres especies del matorral submontano y una plantación de *Eucalyptus camaldulensis*, en Linares, Nuevo León, México. Mediciones de precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento fustal fueron llevadas a cabo del 18 de abril de 2009 al 7 de junio de 2010. Se determinaron y compararon la precipitación neta, pérdidas por intercepción, capacidad de almacenamiento del dosel, y valores de pH y conductividad eléctrica para las cuatro especies estudiadas. El análisis de 49 eventos de lluvia individuales sumaron un total de 978.77 mm de precipitación incidente, encontrándose que la precipitación directa para *Prosopis laevigata*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Ebenopsis ebano* y *Helietta parvifolia* representó 74, 85, 65 y 67%, respectivamente. Las pérdidas por intercepción del dosel fueron estimadas en 25, 15, 34 y 33% para *P. laevigata*, *E. camaldulensis*, *E. ebano* y *H. parvifolia*, respectivamente, donde la mayor intercepción en *E. ebano* y *H. parvifolia* puede deberse a que el dosel de estas especies es más denso y a la disposición geométrica de sus ramas, lo que contribuyó a mayor intercepción que *E. camaldulensis* y *P. laevigata*. El escurrimiento fustal presentó valores de 0.23% para *P. laevigata* hasta 3.66% en *E. camaldulensis*, y la capacidad de almacenamiento del dosel varió de 0.03 para *H. parvifolia* a 0.27 mm para *E. camaldulensis*. El pluviolavado presentó en general valores de pH ligeramente ácido y la conductividad eléctrica se incrementó conforme atravesaba el dosel de las especies, indicando un lavado de bases.

Palabras clave: pérdidas por intercepción, precipitación directa, escurrimiento fustal, capacidad de almacenamiento, *Prosopis laevigata*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Ebenopsis ebano*, *Helietta parvifolia*.

Abstract

YÁÑEZ-DÍAZ, M.I., CANTÚ-SILVA, I., GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, H. & UVALLE-SAUCEDA, J.I. Redistribution of Precipitation in Three Native Brush Species and a Eucalyptus Plantings in Northeastern Mexico. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*. Vol. V, No. 2, March-April, 2014, pp. 71-84.

The redistribution of precipitation was studied in three scrubland species and a Eucalyptus camaldulensis plantation in Linares, Nuevo Leon, Mexico. Measurements were taken of incident precipitation, throughfall and stemflow from April 18, 2009 to June 7, 2010. The following were determined and compared for the four species studied: net precipitation, interception loss, canopy storage capacity, pH and electrical conductivity. The analysis of 48 individual rainfall events resulted in a total of 978.77 mm of incident precipitation, finding throughfall for *Prosopis laevigata*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Ebenopsis ebano* and *Helietta parvifolia* of 74, 85, 65 and 67%, respectively. Canopy interception loss was estimated at 25, 15, 34 and 33% for *P. laevigata*, *E. camaldulensis*, *E. ebano* and *H. parvifolia*, respectively, for which most of the interception by *E. ebano* and *H. parvifolia* can be explained by the canopies of these species being more dense and the geometric arrangement of their branches, which contributed to more interception than that by *E. camaldulensis* and *P. laevigata*. Stemflow values ranged from 0.23% for *P. laevigata* to 3.66% for *E. camaldulensis*, and the canopy storage capacity ranged from 0.03 for *H. parvifolia* to 0.27 mm for *E. camaldulensis*. Rain leaching generally presented slightly acidic pH values and the electrical conductivity increased as it passed over the canopies, indicating base leaching.

Keywords: throughflow, stemflow, interception loss, storage capacity, *Eucalyptus camaldulensis*, *Ebenopsis ebano*, *Helietta parvifolia*, *Prosopis laevigata*.

Introducción

El ciclo hidrológico es el movimiento general del agua, ascendente por evaporación y descendente, primero por las precipitaciones y después en forma de escurrimiento superficial y subterránea. El balance hídrico es un equilibrio de las entradas y salidas de agua de un ecosistema. El principal efecto que tienen las plantaciones forestales sobre éstas es la cantidad de precipitación que es retenida por el dosel, la cual es colectada, almacenada y subsecuentemente evaporada. La medición y predicción de las pérdidas por intercepción de lluvia es un requerimiento esencial en el pronóstico de los efectos de la cubierta vegetal sobre el aprovechamiento del agua en el suelo (Aston, 1979; Cantú y González, 2002). Diversos estudios han contribuido a comprender la importancia de las cubiertas forestales, representándolas como un filtro que modifica de forma significativa la distribución espacial de la lluvia incidente y las variaciones espaciales de la humedad, y propiedades físicas y químicas de los suelos (Belmonte y Romero, 1999). Las precipitaciones y el patrón de recarga de los acuíferos son decisivos para entender el efecto que una plantación forestal ejerce sobre el recurso hídrico y su manejo. La intercepción y la cubierta vegetal se encuentran relacionados; cuanto más densa sea la cubierta vegetal, mayor volumen de lluvia se interceptará y el escurrimiento será menor (Rutter et al., 1971, citado por Prado et al., 2007).

La precipitación, representada por lo común por la lluvia y la nieve, es el principal factor que controla el ciclo hidrológico (Stravs et al., 2008); de igual manera interviene en los procesos ecológicos y geomorfológicos de una región (De Jong y Jetten, 2007). Del total de precipitación que llega al dosel de los árboles, su redistribución queda dividida en tres fracciones: intercepción, escurrimiento cortical y precipitación directa (figura 1). La precipitación retenida por la vegetación se denomina precipitación incidente; por lo común, la intercepción de lluvia se estima de

forma indirecta como la diferencia entre la precipitación incidente (arriba del dosel) y la precipitación directa (debajo del dosel), de tal manera que se representa con la expresión:

$$I = P_i - (P_d + S) \quad (1)$$

Donde I representa las pérdidas por intercepción, P_i es la precipitación incidente, P_d es la precipitación directa y S es el escurrimiento cortical.

La intercepción es objeto de estudio, no sólo en la hidrología sino también en las diversas disciplinas en la que interviene; forma parte del ciclo hidrológico dentro del subsistema de agua atmosférica, junto a la precipitación, evaporación y transpiración, pero afecta otros componentes del ciclo hidrológico, como la infiltración, escurrimiento y evaporación del suelo, entre otras fases (Belmonte y Romero, 1999). La lluvia interceptada está influenciada principalmente por las características de la precipitación, características de la vegetación y las condiciones meteorológicas existentes en el momento de las lluvias (Huber, 2003).

Las intervenciones silvícolas o el reemplazo de vegetación altera los componentes de la redistribución de las precipitaciones, originando variaciones en las reservas de agua del suelo y en las cantidades de agua involucrada en la evaporación y percolación (Echeverría et al., 2007). Dentro de la literatura se registra un amplio rango de valores de pérdidas por intercepción que han sido estudiados según el tipo de cobertura vegetal o por otros factores involucrados en el proceso. Xiao et al. (2000) reportan valores de intercepción desde un 10 hasta un 59%, según la especie arbórea. Para la región de Linares, Nuevo León, se han hecho estudios sobre las pérdidas por intercepción para algunas especies del matorral espinoso tamaulipeco y del matorral submontano, esto debido a la importancia y el interés que se ha presentado en el aprovechamiento de dichas especies, en donde en los últimos años han ido en aumento las plantaciones de especies nativas para programas de reforestación.

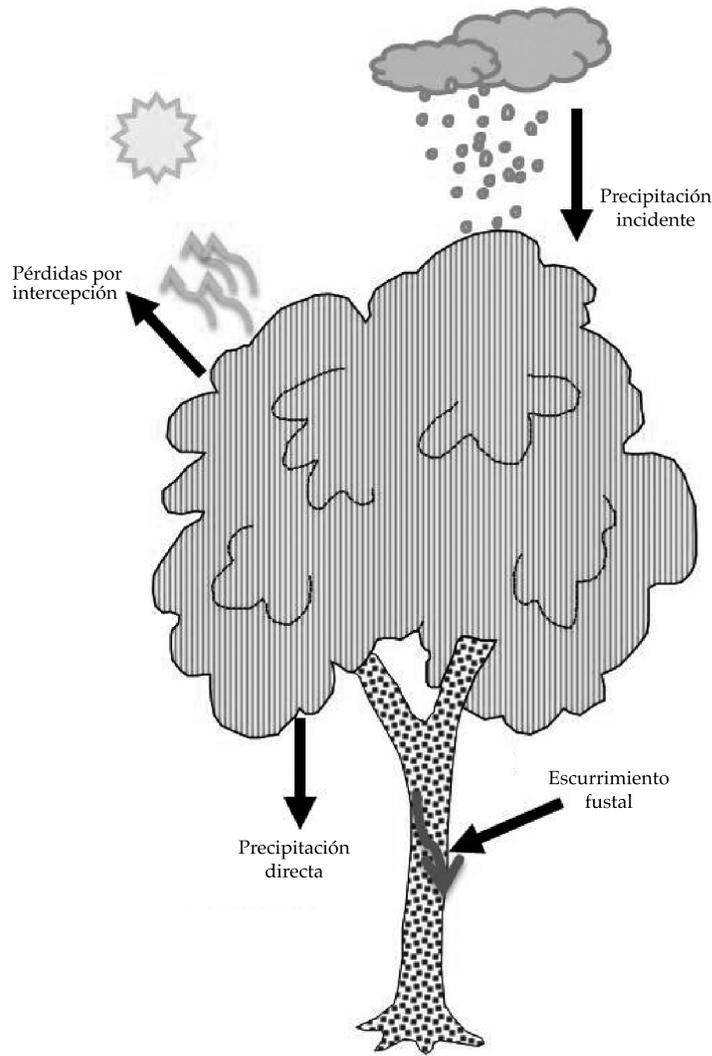


Figura 1. Diagrama del proceso de redistribución de precipitación.

La precipitación directa se refiere a la lluvia debajo del dosel; es decir, la cantidad de agua que fluye por el dosel a través de claros, o por goteo de las hojas y ramas (Crockford y Richardson, 2000; Xiao *et al.*, 2000; Huber, 2003; Cantú y González, 2005). La precipitación directa es considerada la principal fuente de abastecimiento de agua al suelo; por lo general, sus aportes constituyen entre el 74 y el 80% de la precipitación incidente (Oyarzún *et al.*, 1985). El nivel que existe entre el dosel y el suelo, así como los claros entre el dosel y las condiciones

del viento son características que influyen en la cantidad de precipitación directa (Crockford y Richardson, 2000).

El escurrimiento cortical o fustal es la fracción de precipitación que hace contacto con la cubierta y fluye hacia abajo por el fuste, alcanzando el suelo circundante a la base de éstos. Las cantidades de escurrimiento cortical están relacionadas de manera directa con la arquitectura del árbol (Murakami, 2009), con el área basal (Crockford y Richardson, 2000) y con la edad (Johnson, 1990) debido a

que los árboles más grandes y altos tienen mayor área de captación de agua de lluvia (Oyarzún *et al.*, 1985); la intensidad y duración de las precipitaciones incrementan de modo considerable el escurrimiento cortical (Oyarzún *et al.*, 1985). El valor relativo del escurrimiento cortical radica en el autoabastecimiento del agua a la base del árbol, ya que concentra el agua hacia el suelo alrededor del fuste (Huber, 2003); este aporte puede tener especial importancia durante periodos de escasas precipitaciones (Oyarzún *et al.*, 1985).

La intercepción del dosel juega un rol importante en las interacciones de la tierra-atmósfera (Wang y Wang, 2007). Dentro del balance hídrico, un factor importante en la intercepción es la cantidad de lluvia que una comunidad de plantas colecta, almacena y consecuentemente pierde por evaporación. La cantidad de agua que es retenida por el dosel sin excederse sobre su superficie es conocida como la capacidad de almacenamiento o capacidad de saturación del dosel (Cantú y González, 2002, 2005). La capacidad de almacenamiento de agua por el dosel está definida mediante un coeficiente que expresa la cantidad de agua que se requiere para humedecer todo el dosel antes de que el agua empiece a escurrir a la superficie del suelo (Jaramillo, 2003).

La precipitación contribuye al lavado de nutrientes mediante la traslocación y el escurrimiento cortical, permitiendo el retorno de nutrientes de la biomasa vegetal aérea al suelo. La dinámica de los nutrientes en los ecosistemas se encuentra relacionada con el ciclo hídrico en lo referente al lavado de nutrientes (Jiménez *et al.*, 2006). En diversos estudios se ha demostrado que la precipitación directa y el escurrimiento cortical tienen efectos significativos en el contenido de nutrientes del suelo; la precipitación directa es volumétricamente mayor que el escurrimiento fustal, sin embargo este último es más rico químicamente (Watters y Price, 1987). Por lo general se encuentra una relación entre los valores de pH y conductividad eléctrica con el contenido de nutrientes. Estas propiedades fisicoquímicas del agua de lluvia son alteradas por procesos como evapo-

ración, intercambio de iones y solubilidad de la especie química, indicando de manera indirecta el contenido de nutrientes, permitiendo determinar el valor nutrimental que las especies de este estudio aportan al suelo.

En el presente trabajo se compara la redistribución de las precipitaciones con mediciones de la precipitación directa y precipitación incidente en tres especies arbustivas nativas del matorral submontano y una plantación de eucalipto en el noreste de México, donde los recursos hídricos son limitados.

Materiales y métodos

Área de estudio

El área de estudio se ubica en el campus experimental de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, a 8 km al sur del municipio de Linares, en el estado de Nuevo León, México, en las coordenadas N 24° 47'; O 99° 32', a una elevación de 350 msnm. Se encuentra en la región hidrológica RH25, conocida como San Fernando-Soto La Marina o Planicie Costera del Golfo Norte, en las cuencas de los ríos Bravo y Pánuco, y subcuenca Arroyo-Camacho, próximo a la Sierra Madre Oriental. Presenta un tipo de clima subtropical y semiárido, con verano cálido, lluvias entre abril y noviembre, y la presencia de un periodo de estiaje intraestival, con temperaturas de hasta 45 °C durante el verano, presentándose promedios mensuales de 14.7 °C en enero a 22.3 °C en agosto; la precipitación promedio anual es de 805 mm, con una distribución bimodal, con una asociación de suelo tipo vertisol de origen aluvio-columial profundos de coloración gris-oscuro, con subunidad mázico pélico, clase textural de tipo fina de arcillo-limosos con altos contenidos de montmorillonita y bajo contenido de materia orgánica, pH moderadamente alcalino (Uvalle, 2008).

La formación vegetal es matorral xerófilo del tipo de vegetación submontano y en etapa sucesional primaria. El matorral submontano ocupa aproximadamente 5 000 km², cerca del

8% del territorio del estado de Nuevo León; presenta su máxima distribución entre los 600 y 800 m de altitud (Estrada et al., 2005). Esta comunidad vegetal está constituida por plantas arbustivas, muy rica en formas de vida; el vigor, talla y distribución de las especies dominantes y codominantes están supeditados a la disponibilidad de agua y a la profundidad y fertilidad del suelo, caracterizado por la dominancia de especies espinosas y caducifolias una gran parte del año o áfilas (sin hojas). Los factores que tienen un efecto directo sobre la distribución de esta comunidad son el espesor del suelo, la exposición e influencia de las actividades humanas (Alanís y González, 2003).

Dentro del área de estudio se ubicó una parcela para cada especie estudiada: *Helietta parvifolia* (A. Gray) Benth. (Barreta), *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. Ex Willd) (Mezquite), *Ebenopsis ebano* (Berl.) Barneby & Grimes. (Ébano) y *Eucalyptus camaldulensis* (Dehnh.)

(eucalipto), así como un área libre sin árboles para establecer los testigos (precipitación incidente). Las especies *Helietta parvifolia* (barreta) y *Ebenopsis ebano* (ébano) son nativas; sin embargo, dentro del campus experimental de la Facultad de Ciencias Forestales se establecieron plantaciones de estas especies, incluyendo la especie introducida de *Eucalyptus camaldulensis* (eucalipto), con el fin de desarrollar diversos estudios de investigación. Estas plantaciones fueron realizadas en 1985 y a 25 años de su establecimiento han contribuido en diversos estudios de investigación, siendo el presente uno de ellos. La especie *Prosopis laevigata* (mezquite) se encuentra en un fragmento de matorral submontano colindante a las plantaciones establecidas, y se considera con densidad baja en relación con el matorral submontano (figura 2). Las características dasométricas de las especies estudiadas se presentan en el cuadro 1.



Figura 2. Ubicación de las parcelas experimentales, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Cuadro 1. Parámetros dasométricos de las especies utilizadas ($n = 4$ por especie).

Especie	Diámetro a la altura del pecho (cm)	Altura (m)	Área de copa (m ²)
<i>H. parvifolia</i>	6.73	5.43	5.92
<i>E. ebano</i>	10.68	5.75	9.95
<i>E. camaldulensis</i>	19.71	21.25	15.11
<i>P. laevigata</i>	21.05	7.45	39.15

Medición de los componentes de las precipitaciones

Se estableció una parcela de 100 m² (10 x 10 m) bajo el dosel de cada especie, donde se colocaron los colectores para precipitación directa y escurrimiento cortical. Adyacentes a las parcelas se establecieron los colectores para la precipitación incidente. Las mediciones de volumen colectado y la toma de una porción para el análisis de pH y conductividad eléctrica se realizó después de cada “evento de lluvia”, el cual es considerado como aquel periodo de precipitación que puede ser constituido por lluvias, lloviznas o chubascos, continuos, separados del anterior y posterior por un periodo seco de una duración mínima de ocho horas (figura 3).

Precipitación incidente

La precipitación incidente (arriba del dosel) fue colectada mediante canaletas de PVC de 0.1 m² (10 cm de ancho x 100 cm de largo) en forma de U, conectadas por medio de mangueras a recipientes de 20 L, donde se colectó el agua de lluvia. Las canaletas fueron cubiertas con una malla para evitar la obstrucción de hojarasca e insectos. Se instalaron cuatro canaletas a un metro con respecto al suelo, en un área abierta sin árboles, colindante a las parcelas experimentales.

Precipitación directa

Se utilizó el mismo tipo de canaletas ya descritas para recolectar la precipitación que

pasa a través del dosel. Se colocaron cuatro canaletas por especie debajo del dosel del árbol de forma aleatoria, quedando fijas en el mismo lugar durante el periodo experimental.

Escurrimiento cortical

Para el escurrimiento cortical se utilizaron dos tipos de colectores. Para las especies de *Prosopis laevigata* y *Eucalyptus camaldulensis*, que presentan diámetros de fuste mayores a 15 cm, se utilizaron mangueras de plástico de 3 cm de diámetro, con perforaciones de 1.5 x 2.5 cm, separadas entre sí a intervalos de 4 cm, fijados a los fustes a 1 m de altura en forma de espiral. La opción de recolección de datos para las especies *Ebenopsis ebano* y *Helietta parvifolia*, que presentaban diámetros del fuste menores de 15 cm, fue mediante recipientes de plástico que cubrían el fuste en forma de collar, colocada a 1 m de altura al suelo, unidos a una manguera que transportaba el agua a los recipientes de colecta. Ambos sistemas de recolección se colocaron en cuatro árboles de cada especie estudiada, seleccionados al azar dentro de la parcela experimental.

Capacidad de almacenaje del dosel

La cantidad de agua almacenada en el dosel de una sola lluvia, suficiente como para exceder la capacidad de la vegetación para retener agua sobre su superficie, fue determinada por el método de Leyton *et al.* (1967), relacionando la precipitación incidente contra la precipitación directa para eventos de lluvia, con un valor máximo de 2.5 mm, conociendo el valor del



Figura 3. Colectores distribuidos al azar para precipitación directa establecida en una plantación de *Ebenopsis ebano*.

intercepto en el eje de la ordenada después de aplicar regresión lineal a los datos.

Pluviolavado

Se determinó el valor de pH y conductividad eléctrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) como propiedad fisicoquímica del agua en las muestras colectadas en cada componente; precipitación directa, precipitación incidente y escurrimiento cortical, mediante la medición directa de un electrodo del potenciómetro-conductivímetro marca Corning modelo 542.

Análisis de datos

Las mediciones se hicieron del 18 de abril de 2009 al 7 de junio de 2010, registrándose 49 eventos de lluvia. Con los datos obtenidos de precipitación incidente (P_i), precipitación directa (P_d) y escurrimiento cortical (S_f), se aplicó estadística descriptiva y modelos de regresión lineal que describen el comportamiento de los componentes de la precipitación sobre y bajo el dosel para los eventos de lluvia individuales obtenidos. Los valores de pH y conductividad eléctrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) para cada

uno de los componentes de la precipitación se sometieron a un análisis de varianza mediante el *Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales* (por su siglas en inglés, SPSS), versión estándar 13.0 para Windows (SPSS Inc., Chicago, IL.).

Resultados y discusión

Redistribución de las precipitaciones

El análisis de 49 eventos de lluvia acumuló un total de 978.77 mm registrados durante año y medio de estudio de campo. El comportamiento de las precipitaciones acumuladas mensualmente mostró la presencia de un mayor número de eventos de precipitaciones y más cantidad de milímetros de lluvia en los meses de septiembre de 2009 y abril de 2010, tal como se reporta en la temporada de lluvias en el sitio de estudio. El rango de lluvias individuales fluctuó de 0.47 a 115.34 mm, donde el 31% de las precipitaciones registradas fue menor a 5 mm; la mayor cantidad de eventos está comprendida entre 5 y 25 mm, con un 43%; las lluvias con cantidades entre 25 y 50 mm representaron el 18% del total; mientras que para el rango comprendido entre 50 y 75 mm,

así como entre 75 y 100 mm, fue de 2%; los eventos mayores a 100 mm representaron el 4% del total de las precipitaciones (figura 4).

El comportamiento de la redistribución de las precipitaciones para la precipitación directa (P_d) promedio de *Prosopis laevigata*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Ebenopsis ebano* y *Helietta parvifolia* representó el 72.6% de la precipitación incidente, constituido por 74.16, 84.68, 64.69 y 66.87%, respectivamente, para cada especie. El orden de permeabilidad del dosel fue de la siguiente manera: *Eucalyptus camaldulensis* > *Prosopis laevigata* > *Helietta parvifolia* > *Ebenopsis ebano*. Los análisis de regresión lineal entre la precipitación incidente y la precipitación directa mostraron valores relativamente altos del coeficiente de determinación (r^2), variando de 0.91 (*Helietta parvifolia*) a 0.95 (*Eucalyptus camaldulensis*).

La fracción del escurrimiento cortical promedio representó un 2.39% de la precipitación total, donde *Ebenopsis ebano* y *Eucalyptus camaldulensis* fueron las especies que presentaron un mayor porcentaje de escurrimiento fustal entre 3.29 y 3.66%, respectivamente. Sin embargo, para *Prosopis laevigata* sólo correspondió el 0.23%, y en

Helietta parvifolia no fue posible obtener el escurrimiento cortical debido a dificultades técnicas de medición. Por lo general, los valores observados concuerdan con lo encontrado por otros autores, tal como reportan Oyarzún et al. (1985), donde el aporte de este componente no es mayor al 5%. En general, los valores del coeficiente de determinación obtenido de las ecuaciones de regresión para el escurrimiento cortical variaron entre $r^2 = 0.78$ (*P. laevigata*) y 0.84 (*E. ebano*, *E. camaldulensis*), y presentaron mayor variación que la precipitación directa debido a las características de las lluvias y diferencias entre las especies que influyen en la cantidad de agua que llega al suelo en la base de los fustes, siendo irrelevante cuando se presentan lluvias de baja proporción de precipitación, además de que tiene una contribución mínima sobre la precipitación neta. El bajo porcentaje de escurrimiento cortical de *P. laevigata* en comparación con las demás especies pudiera deberse a que presenta una corteza más rugosa y agrietada, por lo que el autoabastecimiento hacia el suelo es menor que *Eucalyptus camaldulensis*, la cual presenta una corteza lisa y más altura, significando que la captación del agua de lluvia sea mayor, dirigiendo un mayor flujo de agua.

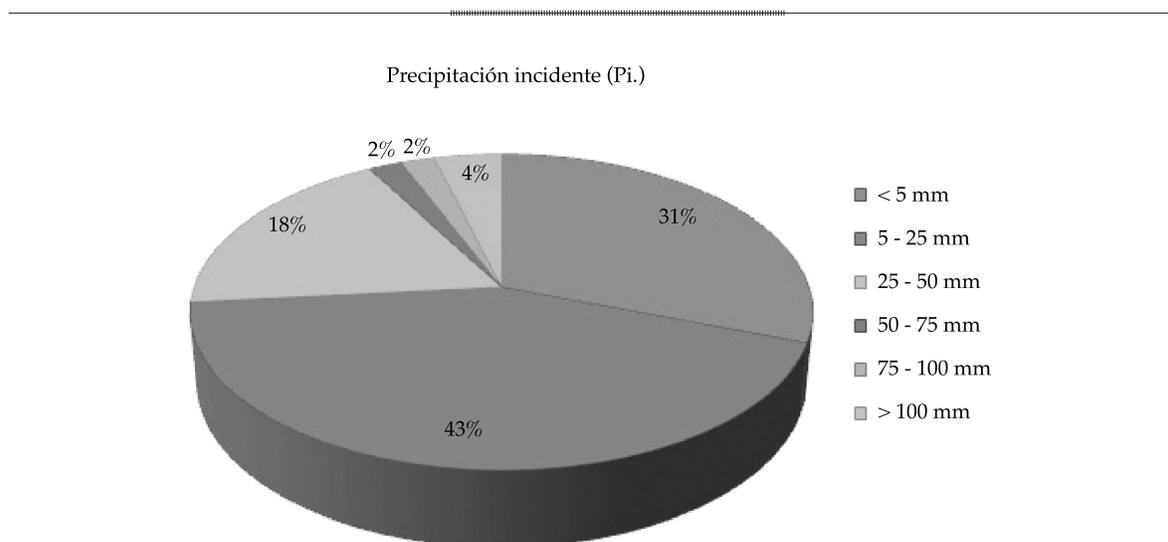


Figura 4. Porcentaje de eventos de lluvia de acuerdo con la cantidad registrada durante el periodo experimental.

La suma de precipitación directa (P_d) y el escurrimiento cortical (S_f) proporciona la precipitación neta (P_n), registrándose para las cuatro especies 72.9% de la precipitación incidente (P_i), donde para *P. laevigata*, *E. ébano* y *E. camaldulensis* le corresponden el 74.38, 65.49 y 84.84%, respectivamente. Para el caso de *H. parvifolia*, el valor es el mismo (67%), ya que no se consideró el componente de escurrimiento cortical. Las regresiones lineales para la precipitación neta de las cuatro especies en cuanto a la precipitación incidente presentaron una correlación significativa ($r^2 = 0.92$ a 0.95).

Las pérdidas por intercepción (I) del dosel vegetal se muestra en el cuadro 2, donde la diferencia entre la precipitación incidente y la precipitación neta correspondió, en promedio, a 27.1% de pérdidas por intercepción para las cuatro especies estudiadas, quedando en el siguiente orden: *Ebenopsis ebano* > *Helietta parvifolia* > *Prosopis laevigata* > *Eucalyptus camaldulensis*, donde *E. ebano* con 337 mm registró el valor mayor de intercepción, con un 34%, seguido por *H. parvifolia* con 336 mm, representando el 33% de la intercepción; para *P. laevigata* fue estimado en 215 mm, lo que representa el 25%, y finalmente la especie que presentó una menor intercepción con 200 mm es *E. camaldulensis*, correspondiéndole el 15%

de pérdidas por intercepción. Estos resultados indicaron que el dosel de *E. ebano* y *H. parvifolia* puede llegar a interceptar 1.5 veces más lluvia que otras especies (*E. camaldulensis* y *P. laevigata*), significando funciones hidrológicas muy diferentes en las cuencas donde se encuentren unas u otras especies.

Las estimaciones de la capacidad de almacenaje del dosel determinada por el método de Leyton *et al.* (1967) se obtuvieron de 10 eventos de lluvia que registraron valores por debajo de 2.5 mm, donde la capacidad de saturación para *Prosopis laevigata* se estimó en 0.1558 mm; *Ebenopsis ebano* con 0.1201 mm; *Eucalyptus camaldulensis* presentó la mayor saturación del dosel con 0.2782 mm, y *Helietta parvifolia* se estimó en 0.0303 mm (cuadro 3). Generalmente estos valores son considerados mínimos comparados con otros estudios, ya que en ninguna especie se presentaron valores de almacenaje mayor a 1 mm, tal como menciona Jaramillo (2003), quien reporta valores de almacenamiento de agua del follaje entre 0.4 mm, para una plantación de cafetal con sombrío de pino, hasta valores de 2.2 mm, que encontró en un bosque tropical multiestrato. En este estudio, *H. parvifolia* presentó menor capacidad de almacenamiento, pero obtuvo casi los mismos valores de pérdidas por intercepción

Cuadro 2. Relación entre la pérdida por intercepción y precipitación incidente (978.7 mm) durante el periodo experimental.

Especie	n	Rango de intercepción (mm) (%)		Intercepción total (mm) (%)	
		<i>E. ebano</i>	49	0.4 - 52.3	2.8 - 93.2
<i>E. camaldulensis</i>	48	0.0 - 28.2	0.4 - 68.3	200	15.2
<i>H. parvifolia</i>	49	0.1 - 53.2	3.6 - 76.6	336	33.1
<i>P. laevigata</i>	48	0.3 - 38.9	1.5 - 86.5	215	25.6

Cuadro 3. Valores de saturación del dosel para las cuatro especies estudiadas.

Especies	Capacidad de almacenaje	
	Valor de saturación (mm)	r^2
<i>H. parvifolia</i>	0.0303	0.8911
<i>E. ebano</i>	0.1201	0.6842
<i>E. camaldulensis</i>	0.2782	0.9275
<i>P. laevigata</i>	0.1558	0.7092

que *E. ebano*. Esto puede deberse a la disposición geométrica de las ramas, que contribuyó a los resultados obtenidos. En este sentido, Donoso (1983), citado por Valenzuela (2003), menciona que las pérdidas por intercepción encuentran sus máximos valores en edades intermedias, al producirse el cierre del dosel.

Los resultados encontrados en las pérdidas por intercepción son similares a los reportados por Cantú y González (2005) en una investigación del mismo ecosistema, estudiando las especies de *Acacia berlandieri*, *A. rigidula* y *Diospyros texana*, las cuales mostraron valores de 18, 15 y 22%, respectivamente, y una capacidad de almacenamiento de 0.24, 0.14 y 0.14 mm de las especies mencionadas. González et al. (2009), citado por Guevara et al. (2010), reportan en dos sitios de estudio valores de 21 a 27% de intercepción de lluvia por el dosel de *P. laevigata*. Huber y Trecaman (2004) mencionan que para el porcentaje de intercepción, las características del dosel adquieren mayor importancia a medida que la precipitación disminuye.

Los resultados de los análisis de regresión de la intercepción se muestran en el cuadro 4, donde los rangos del coeficiente de determinación obtenidos del análisis de regresión entre la precipitación incidente y la intercepción fluctuaron entre $r^2 = 0.40$ para *E. camaldulensis* hasta valores de 0.82 en *E. ebano*, la cual presentó un mayor porcentaje de pérdidas por intercepción. Estos valores indican que otros factores están influyendo en las pérdidas por intercepción, tales como intensidad de lluvia, velocidad del viento, eventos diurnos o nocturnos y evapotranspiración, entre otras

variables que deben ser tomadas en cuenta en un análisis de regresión múltiple. Así también, *E. camaldulensis* es la especie de mayor altura y con un dosel medio, la cual presentó los valores más bajos de intercepción. El análisis individual de las precipitaciones ocurridas mostró que la lluvia que llega al suelo no es una fracción constante de la lluvia total, sino que las lluvias incipientes tienden a ser más interceptadas (figura 5).

Pluviolavado

Las propiedades fisicoquímicas del agua de lluvia, tales como el pH y la conductividad eléctrica (CE), indican cómo los nutrientes depositados sobre las especies modifican la composición química del agua de lluvia. La lixiviación o absorción de estos nutrientes es inferido indirectamente por el valor de pH y la conductividad eléctrica ocurrida durante los eventos de lluvias, comparando los contenidos sobre y bajo del dosel, así como el valor presente en el escurrimiento cortical de las cuatro especies estudiadas. El cuadro 5 muestra los valores obtenidos, donde el pH promedio para la precipitación incidente fue de 6.61; para la precipitación directa, el valor bajó a 6.56 en las cuatro especies (*Prosopis laevigata*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Ebenopsis ebano* y *Helietta parvifolia*) y en el escurrimiento fustal se obtuvo un pH menor de 6.30, observándose que los valores de pH por lo general disminuían a medida que la cantidad de lluvia era menor.

En cambio, la conductividad eléctrica se mostró inversamente proporcional al pH, al aumentar sus valores conforme fluía el agua

Cuadro 4. Resumen del análisis de regresión para describir las pérdidas por intercepción para los doseles de las especies estudiadas.

Especies	n	Y-valor del intercepto (β_0)			Pendiente (β_1)			R^2 ajustado
		(β_0)	(EEE)	(valor-P)	(β_1)	(EEE)	(valor-P)	
<i>E. ebano</i>	49	0.345	0.023	< 0.001	0.014	0.748	0.985	0.821
<i>E. camaldulensis</i>	48	0.152	0.027	< 0.001	1.103	0.876	0.215	0.395
<i>H. parvifolia</i>	49	0.331	0.029	< 0.001	0.241	0.948	0.800	0.723
<i>P. laevigata</i>	48	0.256	0.032	< 0.001	0.130	0.897	0.886	0.571

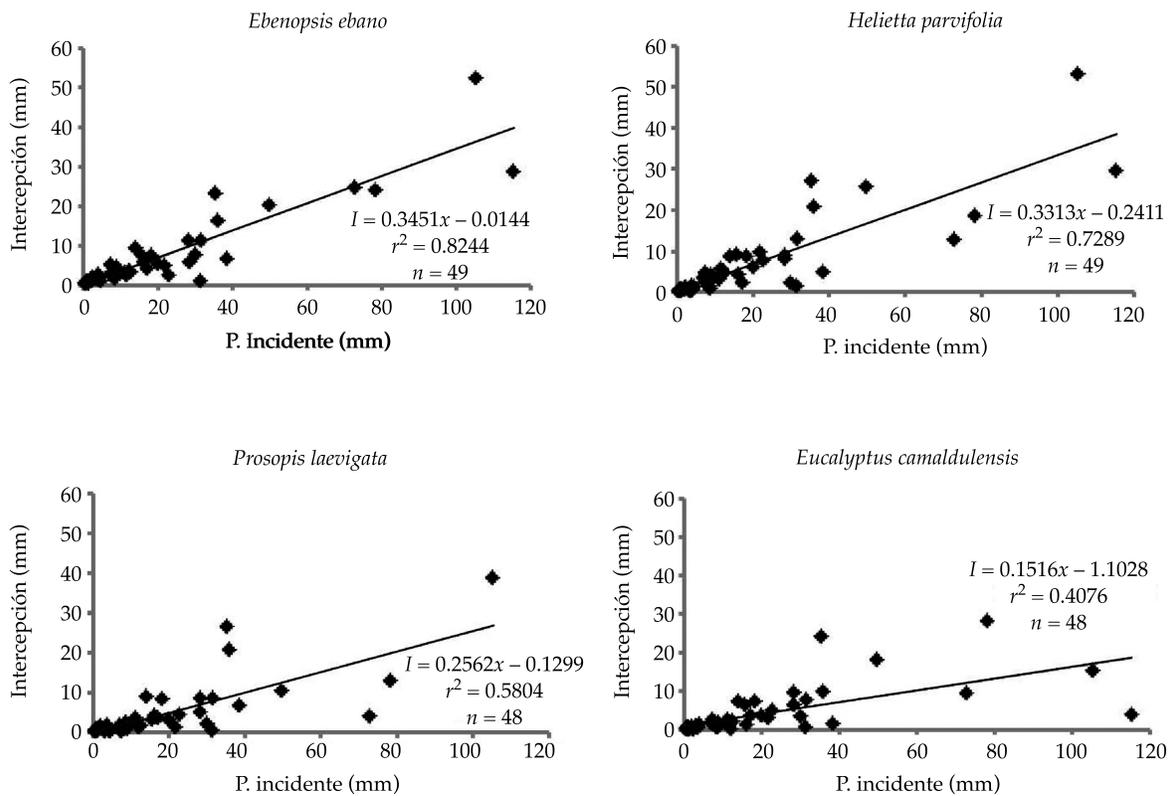


Figura 5. Relación entre las pérdidas por intercepción y la precipitación incidente para el dosel de las cuatro especies.

a través del dosel, presentando $100.57 \mu\text{S cm}^{-1}$ para la precipitación incidente; $189.93 \mu\text{S cm}^{-1}$ para la precipitación directa; para el escurrimiento cortical, los valores fueron similares a la precipitación incidente. Sin embargo, en la especie *Prosopis laevigata*, se observó un incremento considerable a $1\ 219 \mu\text{S cm}^{-1}$ debido probablemente a la fenología de la especie, ya que tal vez muestre un lavado más rico en el aspecto nutricional a través de su fuste agrietado, pues comparándolo con el agua que fluye a través de la copa existe una diferencia muy marcada.

Los análisis de varianza de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas en pH y CE de la precipitación incidente, y la precipitación directa para las cuatro especies en 42 eventos de lluvia, presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$)

en la mayoría de los eventos para las dos variables. Así, se procedió a realizar una prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas, mediante la prueba estadística de Komolgorov-Smirnov y la prueba de Levene, donde en 23 eventos no se cumplieron los supuestos de normalidad de datos para pH y CE, según la prueba de Komolgorov-Smirnov, además de que no se cumplieron los supuestos de la homogeneidad de varianza de acuerdo con la prueba de Levene para 27 eventos de lluvia. Con la prueba no paramétrica, la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U se utilizó para mostrar diferencias significativas a $P < 0.005$ entre las especies de estudio en los eventos de lluvia individuales, no encontrándose diferencias significativas en la comparación de la precipitación incidente contra la precipitación directa de las cuatro

Cuadro 5. Valores promedio de pH y conductividad eléctrica de precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento cortical en las cuatro especies estudiadas.

Especie	Precipitación directa			Escurrimiento cortical		
	<i>n</i>	pH	CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	<i>n</i>	pH	CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
<i>E. ebano</i>	41	6.69	281	18	6.87	104
<i>E. camaldulensis</i>	42	6.44	134	33	5.74	100
<i>H. parvifolia</i>	42	6.73	185	17	6.63	80
<i>P. laevigata</i>	41	6.39	158	30	5.96	1 219
Promedio		6.56	189.5		6.30	376
Precipitación incidente	42	6.61	100			

especies estudiadas. Los resultados de los análisis estadísticos indican que las diferencias entre los eventos se deben a la particularidad de cada evento de lluvia, la cual está influenciada por el tipo de tormenta y dirección del viento, que acarrea concentraciones de nutrimentos según el área y que son depositados en los fustes de los árboles. Jiménez *et al.* (2006) reportan un incremento en los valores de pH y conductividad eléctrica en su paso a través de las hojas y ramas de los árboles de un bosque secundario y unas plantaciones forestales, atribuyéndolo al aumento de bases.

Conclusiones

La redistribución de la lluvia para las especies investigadas quedó dividida en un 72.9% de precipitación neta y 27.1% de pérdidas por intercepción, de un total de 978.77 mm de precipitación registradas en 49 eventos, donde la mayor cantidad de eventos está comprendida entre 5 y 25 mm, con un 43%. De las cuatro especies investigadas, los doseles de *Ebenopsis ebano* y *Heliopsis parvifolia* presentaron los valores más altos de pérdidas por intercepción de lluvia con el 34 y 33%, respectivamente, seguida por los doseles de *Prosopis laevigata* con 25% y un 15% de *Eucalyptus camaldulensis*. El escurrimiento cortical tuvo un aporte mínimo sobre la precipitación neta, sin embargo se reconoce su importancia ecológica en estos tipos de ecosistemas. La capacidad de almace-

namiento del dosel fue mayor para *P. laevigata* y *E. camaldulensis*, debido a diferencias en las características dasométricas de las especies. El análisis de pH y la conductividad eléctrica del pluviolavado varió en la redistribución de la precipitación, donde el pH mostró valores ligeramente ácidos a neutros y presentó un comportamiento similar entre los eventos de lluvia. La conductividad eléctrica presentó una tendencia a incrementarse conforme la lluvia fluye a través del dosel, y enriqueciéndose aún más en el escurrimiento cortical, donde *P. laevigata* presentó los valores más altos. Este tipo de investigaciones son herramientas de decisión para la reforestación y restauración de ecosistemas, en lo referente a la selección de especies a plantar y el efecto que tiene sobre el balance hídrico del ecosistema, sobre todo para el noreste de México, donde el pronóstico de las pérdidas por intercepción es fundamental debido a que resulta un problema medioambiental, al ser los recursos hídricos limitados o reducidos, siendo de suma importancia el manejo de la vegetación sobre los efectos de aprovechamiento del agua en los suelos.

Recibido: 15/06/2012
Aceptado: 18/06/2013

Referencias

ALANÍS, G.J. y GONZÁLEZ, D. *Flora nativa ornamental para el área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México.*

- Descripción y requerimiento de las especies para el paisaje urbano.* Monterrey, México: Universidad Autónoma de Nuevo León, R. Ayuntamiento de Monterrey, 2000-2003, 2003, 128 pp.
- ASTON, A.R. Rainfall interception by eight small trees. *Journal of Hydrology*. Vol. 42, 1979, pp. 383-386.
- BELMONTE, S.F. y ROMERO, D.A. *Intercepción en algunas especies del matorral mediterráneo.* Cuadernos de Ecología y Medioambiente, 7. Murcia: Universidad de Murcia, 1999, 202 pp.
- CANTÚ, S.I. y GONZÁLEZ, R.H. Propiedades hidrológicas del dosel de los bosques de pino-encino en el noreste de México. *Ciencia UANL*. Vol. V, núm. 1, 2002, pp. 72-77.
- CANTÚ, S.I. y GONZÁLEZ, R.H. Pérdidas por intercepción de la lluvia en tres especies de matorral submontano. *Ciencia UANL*. Vol. VIII, núm. 1, 2005, pp. 80-85.
- CROCKFORD, R. and RICHARDSON, D. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrological Processes*. Vol. 14, 2000, pp. 2903-2920.
- DEJONG, S.M. and JETTEN, V.G. Estimating spatial patterns of rainfall interception from remotely sensed vegetation indices and spectral mixture analysis. *International Journal of Geographical Information Science*. Vol. 21, No. 5, 2007, pp. 529-545.
- EICHEVERRÍA, C., HUBER, A. y TABERLET, F. Estudio comparativo de los componentes del balance hídrico en bosque nativo y una pradera en el sur de Chile. *Bosque*. Vol. 28, núm. 3, 2007, pp. 271-280.
- ESTRADA, C.E., VILLARREAL, Q.J.A. y JURADO, E. Leguminosas del norte del estado de Nuevo León, México. *Acta botánica mexicana*. Vol. 73, 2005, pp. 1-18.
- GUEVARA, E.A., CERVANTES, J.M., SUZÁN, A.H., GONZÁLEZ, S.E., HERNÁNDEZ, S.L., MALDA, B.G. y MARTÍNEZ, D.M. Fog interception by Ball moss (*Tillandsia recurvata*). *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. Vol. 7, 2010, pp. 1655-1676.
- HUBER, A. Cambios en el balance hídrico provocado por la forestación con *Pinus radiata* D. Don en el secano interior del centro de Chile. *Gestión Ambiental*. Vol. 9, 2003, pp. 57-66.
- HUBER, A. y TRECAMAN, R. Respuesta del balance hídrico al raleo de una plantación joven de *Pinus radiata* (D. Don) en el secano Interior de Chile. *Terra Latinoamericana*. Vol. 22, 2004, pp. 417-424.
- JARAMILLO, R.A. La lluvia y el transporte de nutrimentos dentro de ecosistemas de bosques y cafetales. *Cenicafé*. Vol. 54, núm. 2, 2003, pp. 134-144.
- JIMÉNEZ, R.C., CALVO, A.J.C. y ARIAS, A.D. Lavado de nutrientes en plantaciones forestales de *Vochysia ferruginea* Mart. y *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm. Sarapiquí, Costa Rica. *Kuru. Revista Forestal*. Vol. 3, núm. 8, 2006, pp. 16-26.
- JOHNSON, R.C. The interception, throughfall and stemflow in a forest in highland Scotland and the comparison with other upland forests in the U.K. *Journal of Hydrology*. Vol. 118, 1990, pp. 281-287.
- LEYTON, L., REYNOLDS, E.R.C., and THOMPSON F.B. *Rainfall interception in forest and moorland.* In Int. Symp. on Forest Hydrology. Sopper, W.E. and Lull, H.W. (editors). Oxford: Pergamon, 1967, pp. 163-178.
- MURAKAMI, S. Abrupt changes in annual stemflow with growth in a young stand of Japanese cypress. *Hydrological Research Letters*. Vol. 3, 2009, pp. 32-35.
- OYARZÚN, C.E., HUBER, A.W. y VÁSQUES, S.G. Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata* I. Redistribución de las precipitaciones. *Bosque*. Vol. 6, núm. 1, 1985, pp. 3-14.
- PRADO, F.A., HERNÁNDEZ, S.L. y VENTURA, R.E. Intercepción de lluvia por *Lysiloma microphylla* en el Municipio de Querétaro. Querétaro, México: Universidad Autónoma de Querétaro, 2007, p. 5.
- STRAVS, L., BRILLY, M., and SRAJ, M. Chapter 25: Precipitation interception modeling using machine learning methods-The Dragonja river basin case study, R.J. Abrahart et al. (editors). *Practical Hydroinformatics, Water Science and Technology*. Library 68. Springer, 2008, pp. 347-358.
- UVALLE, J.I. *Características fisiológicas y nutrimentales en especies arbustivas forrajeras nativas de la flora del noreste de México.* Tesis de doctorado en Ciencias con Especialidad en Alimentos. San Nicolás de los Garza, México: Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, julio, 2008, pp. 171.
- VALENZUELA, C.P.A. *Pérdidas de agua por intercepción en plantaciones de Pinus radiata D. Don en la zona del secano interior de la VII Región de Chile.* Tesis de Ingeniero Forestal. Valdivia: Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, 2003, 92 pp.
- WATTERS, R.J. and PRICE, A.G. The influence of stemflow from standing dead trees on the fluxes of some ions in a mixed deciduous forest. *Canadian Journal of Forest Research*. Vol. 18, 1987, pp. 1490-1493.
- WANG, D. and WANG, G. Toward a robust canopy hydrology scheme with precipitation subgrid variability. *Journal of Hydrometeorology*. Vol. 8, 2007, pp. 439-446.
- XIAO, Q., MCPHERSON, E.G., USTIN, S.L., and GRISMER, M.E. A new approach to modeling tree rainfall interception. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 105, No. 23, 2000, pp. 29173-29188.

Dirección institucional de los autores

Ing. María Inés Yáñez Díaz

Área de especialidad: Edafología e Hidrología Forestal
 Facultad de Ciencias Forestales
 Universidad Autónoma de Nuevo León
 Carretera Nacional km 145
 Apartado Postal 41
 67700 Linares, Nuevo León, MÉXICO
 Teléfonos: +52 (821) 2124 895, 2124 3010
 mainnes61@hotmail.com

Dr. Israel Cantú Silva

Área de especialidad: Hidrología Forestal
Facultad de Ciencias Forestales
Universidad Autónoma de Nuevo León
Carretera Nacional km 145
Apartado Postal 41
67700 Linares, Nuevo León, MÉXICO
Teléfonos: +52 (821) 2124 895, 2124 3010
icantu59@gmail.com

Dr. Humberto González Rodríguez

Área de especialidad: Fisiología vegetal
Facultad de Ciencias Forestales
Universidad Autónoma de Nuevo León
Carretera Nacional km 145
Apartado Postal 41
67700 Linares, Nuevo León, MÉXICO
Teléfonos: +52 (821) 2124 895, 2124 3010
gonhumberto@gmail.com

Dr. José I. Uvalle Saucedo

Área de especialidad: Manejo de Pastizales y Fauna
Silvestre
Facultad de Ciencias Forestales
Universidad Autónoma de Nuevo León
Carretera Nacional km 145
Apartado Postal 41
67700 Linares, Nuevo León, MÉXICO
Teléfonos: +52 (821) 2124 895, 2124 3010
joseuvalle@yahoo.com