

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



**PROPIEDADES HIDROLÓGICAS DE UN FRAGMENTO
DE MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO EN EL
NORESTE DE MÉXICO**

TESIS

Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

Presenta:

Ing. María Inés Yáñez Díaz

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**

**PROPIEDADES HIDROLÓGICAS DE UN FRAGMENTO DE
MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO EN EL NORESTE
DE MÉXICO**

TESIS

Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

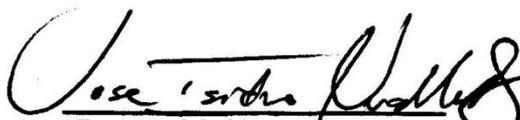
Presenta:

Ing. María Inés Yáñez Díaz

COMITÉ DE TESIS


Dr. Israel Cantú Silva
Director de Tesis


Dr. Humberto González Rodríguez
Asesor


Dr. José I. Uvalle Saucedo
Asesor


Dr. Tetsuya Kubota
Asesor Externo

Manifiesto que el presente trabajo aquí desarrollado fue para obtener el grado de Maestro en Ciencias Forestales. La información presentada es original y cuenta con apoyo de información de otros autores donde se dan los créditos correspondientes.

Ing. María Inés Yáñez Díaz
Septiembre 2013

DEDICATORIA

A Cristóbal Noé Martínez, por su amor y apoyo siempre...

*A mis hijos Cristóbal y Oscar, porque son mi fortaleza y
templanza...*

A mis Padres, por su apoyo incondicional...

A Dios, por la vida, familia y amigos que me ha brindado...

Inés

"El agua es el elemento y principio de las cosas"

Tales de Mileto

AGRADECIMIENTOS

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo para realizar mis estudios de Maestría.

A la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, a su personal académico, que siempre están dispuestos a transmitir sus conocimientos.

Al Dr. Israel Cantú Silva, director de esta tesis, por su gran apoyo y motivación para la culminación de esta etapa, que sin duda él ha sido un ejemplo y a quien le estoy profundamente agradecida por sus enseñanzas y consejos.

Al Dr. Humberto González Rodríguez, por sus valiosas aportaciones, sugerencias y dedicación en la revisión del escrito.

Al Dr. José I. Uvalle Saucedo por su contribución importante en la mejora de este trabajo, por su amistad y disposición siempre oportuna para ayudarme.

Al Dr. Tetsuya Kubota, por la revisión y sugerencias del presente trabajo.

Al personal administrativo de la Facultad de Ciencias Forestales, mis compañeros de trabajo y amigos que compartimos esta nuestra segunda casa, a mi amiga Elsa González y muy en especial para Alfredo Ortega así como a Cesar Uribe quienes me brindaron su valioso apoyo en campo y su amistad.

A todos mis compañeros y amigos de posgrado, sin excluir a ninguno, por el apoyo que siempre mostraron y los momentos inolvidables que compartimos, en especial a Judith, Alma y Griselda, quienes me enseñaron a ver que la amistad no se condiciona.

A todos mis amigos que sinceramente siempre tuvieron una palabra de aliento, una sonrisa o un *like* en mis momentos de angustia cuando me mortificaba por alguna tarea, clase o seminario, en general, gracias a todos por su amistad y los que de una u otra forma me ayudaron en este trabajo, un proyecto más de mi vida.

CONTENIDO

	Pag.
RESUMEN	I
ABSTRACT	II
LISTA DE FIGURAS.....	III
LISTA DE TABLAS	V
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. HIPÓTESIS	3
3. OBJETIVOS	3
3.1 <i>Objetivo General</i>	3
3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	3
CAPÍTULO II.....	5
4. ANTECEDENTES	5
4.1 <i>Ciclo Hidrológico</i>	5
4.2. <i>Redistribución de las Precipitaciones</i>	8
4.3 <i>Pérdidas por Intercepción</i>	10
4.4 <i>Variabilidad Espacial de la Precipitación Directa</i>	15
4.5 <i>Caracterización de la Vegetación</i>	16
CAPÍTULO III.....	20
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
5.1 <i>Localización del Área de Estudio</i>	20
5.2. <i>Medición de las Propiedades Hidrológicas</i>	23
5.2.1 <i>Precipitación Incidente</i>	23
5.2.2 <i>Precipitación Directa</i>	24
5.2.3 <i>Variabilidad Espacial</i>	24
5.2.4 <i>Escurrimiento Fustal</i>	25
5.2.5 <i>Pérdidas por Intercepción</i>	26
5.2.6 <i>Capacidad de Almacenaje del Dosel</i>	26

5.2.7 Pluviolavado (pH y Conductividad Eléctrica)	26
5.2.8 Caracterización de la Vegetación.....	26
5.3 <i>Análisis Estadísticos</i>	28
CAPÍTULO IV	29
6. RESULTADOS.....	29
6.1 <i>Precipitación Incidente</i>	29
6.2 <i>Precipitación Directa</i>	31
6.3 <i>Variabilidad Espacial</i>	31
6.4 <i>Escurrimiento Fustal</i>	33
6.5 <i>Precipitación Neta</i>	34
6.6 <i>Pérdidas por Intercepción</i>	35
6.7 <i>Capacidad de Almacenaje</i>	37
6.8 <i>Pluviolavado (pH y Conductividad Eléctrica)</i>	38
6.8.1 <i>Análisis de Varianza de la prueba Kruskal-Wallis</i>	43
6.9 <i>Caracterización de la Vegetación</i>	47
7. DISCUSIÓN	49
CAPÍTULO V	57
8. CONCLUSIONES	57
9. BIBLIOGRAFÍA	59
APÉNDICE	68
APÉNDICE A. FORMATO DE COLECTA Y ANÁLISIS DE EVENTOS DE LLUVIA	69
APÉNDICE B. EVENTOS DE LLUVIA Y SUS VALORES CORRESPONDIENTES A CADA COMPONENTE REGISTRADO DURANTE PERIODO DE ESTUDIO	70

RESUMEN

La intercepción de lluvia por los doseles en los ecosistemas áridos y semiáridos, es de suma importancia debido a la irregularidad y/o escases de las precipitaciones. Mediciones de las propiedades hidrológicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET) se llevaron a cabo del 18 de septiembre del 2011 al 04 de diciembre de 2012. El análisis de 56 eventos de lluvia sumaron un total de 749.8 mm, donde el 84% de las lluvias registradas fueron menor a 25 mm (47 eventos). La precipitación directa correspondió en un 61.7% de la precipitación incidente, donde la cantidad de lluvia que fluye por el dosel presento una estrecha relación con la precipitación incidente, con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.9744$. La variabilidad espacial de la precipitación directa mostro un coeficiente de variación de 28.8%. El valor de la capacidad de almacenamiento del dosel fue estimado en un valor de 0.17 mm. El escurrimiento fustal aportó el 1.0% de lluvia efectiva, mientras que las pérdidas por intercepción de la lluvia representaron el 37.7% del total de la precipitación incidente, jugando un papel importante para los recursos hídricos en estos ecosistemas. El análisis de vegetación, mostro a las especies *Diospyros texana* y *Havardia pallens* como las más frecuentes con un índice de valor de importancia (IVI) de 48.25 y 36.2%, respectivamente, además de una diversidad alfa de acuerdo al Índice de Shannon de $H' = 2.46$. El análisis de pH del pluviolavado presento un valor de 7.42 para la precipitación incidente disminuyendo a 7.21 y 6.95 para la precipitación directa y el escurrimiento fustal, respectivamente. Mientras que para la conductividad eléctrica se presentó un cambio químico mostrando valores de $71.7 \mu\text{S cm}^{-1}$ para la precipitación directa, duplicándose ese valor cuando la precipitación fluyó a través del dosel del MET.

ABSTRACT

Rainfall interception by canopies in arid and semiarid ecosystems is very important due to irregular and / or shortage of rainfall. Hydrologic property measurements of Tamaulipan thornscrub (MET) were carried out from September 18th 2011 to December 04th 2012. The analysis of 56 rain events totaled 749.8 mm, where 84% of the rains were less than 25 mm (47 events). Throughfall corresponded to 61.7% of the gross precipitation, where the amount of rain that passes through the canopy presented a close relationship with the rain on the canopy with a coefficient of determination of $R^2 = 0.9744$. Spatial variability of throughfall showed a coefficient of variation of 28.8%. Canopy storage capacity values were estimated from 0.17 mm. The stemflow accounted for 1.0% of effective rainfall, while interception loss of rain represented 37.7% of total incident precipitation, playing an important role in water resources in these ecosystems, the vegetation showed that, *Diospyros texana* and *Havardia pallens* species were the most frequent with importance value index (IVI) of 48.25 and 36.2%, respectively, plus an alpha diversity according to Shannon index $H' = 2.46$. The analysis of pH leaching rain presented a value of 7.42 gross precipitation decreasing 7.21 and 6.95 for the throughfall and stemflow, respectively. While for electrical conductivity a chemical change is present with $71.7 \mu\text{S cm}^{-1}$ for gross precipitation, doubling that value when precipitation flowed through the canopy of the MET.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama simplificado del ciclo hidrológico (Adaptado de Ward, 1975, Shaxson y Barber, 2005).	5
Figura 2. Diagrama de bloques del sistema hidrológico global (Chow <i>et al.</i> , 1994).....	7
Figura 3. Esquema simplificado de la redistribución de la lluvia (Belmonte y Romero, 1999a).....	9
Figura 4. Ubicación de las parcelas en el área de estudio, Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L. Campus Linares.....	21
Figura 5. Diagrama ombrotérmico para el área de estudio.....	22
Figura 6. Colectores para precipitación incidente.	24
Figura 7. Posiciones de movimiento para las canaletas de precipitación directa.	25
Figura 8. Colector para el escurrimiento fustal del MET.	25
Figura 9. Rangos de porcentaje de precipitación registrada durante el periodo de estudio.	29
Figura 10. Comportamiento de la precipitación mensual durante el periodo de estudio.	30
Figura 11. Relación entre la precipitación directa (mm) y la precipitación incidente (mm).	31
Figura 12. Coeficientes de variación de la precipitación directa por evento durante el periodo de estudio.....	32

Figura 13. Variabilidad espacial de los 20 colectores de la precipitación directa (12-62% C.V.).	32
Figura 14. Relación entre la precipitación directa (mm) y el coeficiente de variación (%).	33
Figura 15. Relación entre el escurrimiento fustal (mm) y la precipitación incidente (mm).	34
Figura 16. Relación entre la precipitación neta (mm) y la precipitación incidente (mm).	34
Figura 17. Relación entre las pérdidas por intercepción (mm) y la precipitación incidente (mm).	36
Figura 18. Análisis individual de las pérdidas por intercepción relacionado con la precipitación incidente con base a 56 eventos de lluvia.	36
Figura 19. Relación entre la capacidad de almacenaje del dosel (mm) y la precipitación incidente (mm).	37
Figura 20. Valores y comportamiento individual del pH para la precipitación incidente y la precipitación directa.	39
Figura 21. Comportamiento de pH obtenidos en 25 eventos para los tres componentes hidrológicos estudiados.	40
Figura 22. Valores y comportamiento individual de la conductividad eléctrica para cada componente de precipitación.	42
Figura 23. Comportamiento de la conductividad eléctrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) obtenidos en 25 eventos para los tres componentes hidrológicos estudiados.	43

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Algunos factores que intervienen en el proceso de intercepción de lluvia por la vegetación.	10
Tabla 2. Rangos de intercepción e intercepción total para el dosel del MET con base en 56 eventos de lluvia.....	35
Tabla 3. Resumen del análisis de regresión para describir las pérdidas por intercepción del MET.	35
Tabla 4. Valores de pH promedio en precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento fustal.	38
Tabla 5. Valores de CE promedio en precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento fustal.	41
Tabla 6. Resumen del análisis de la prueba de Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas. Valores P en negritas ($P < 0.05$) indican diferencias en las variables de pH y conductividad eléctrica en los 48 eventos analizados de precipitación incidente y precipitación directa.	44
Tabla 7. Resumen del análisis de la prueba de Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas. Valores P en negritas ($P < 0.05$) indican diferencias en las variables de pH y conductividad eléctrica en los 25 eventos analizados de precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento fustal.	46
Tabla 8. Especies vegetales registradas en el fragmento de MET estudiado...	47
Tabla 9. Parámetros ecológicos estimados para las especies identificadas.....	48

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El ciclo hidrológico define al movimiento general del agua, ascendente por evaporación y descendente primero por precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea (Sánchez, 2001). A pesar de que el concepto de ciclo hidrológico es simple, el fenómeno es complejo, involucrando ciclos interrelacionados de extensión continental, regional y local.

De la precipitación que ingresa en un ecosistema forestal, la vegetación es un factor importante en el ciclo hidrológico (Waring y Running, 2007), debido a que redistribuye las lluvias, interceptado y evaporando hacia la atmosfera una parte de la precipitación, esta fracción de agua incidente retenida es definida como la intercepción (Walker y Ataroff, 2005).

A la cantidad de la precipitación que llega al suelo por goteo de las hojas o que pasa directamente por el dosel, se le conoce como precipitación directa, en tanto, la porción que llega mediante el escurrimiento a través de los troncos corresponde al escurrimiento fustal. De las proporciones de las precipitaciones que llegan al suelo, éstas pueden escurrir superficialmente o infiltrarse en éste, determinando la cantidad de agua disponible para la cubierta vegetal o la que se integra al agua subterránea (Oyarzún *et al.*, 1985; Santiago, 2007).

El proceso de redistribución de las precipitaciones en sus componentes; precipitación directa, escurrimiento fustal e intercepción son objeto de estudios en diferentes tipos de vegetación, primero por la irregular distribución espacial y

temporal del agua dentro del balance hídrico (Campos, 1988), así como por las características morfológicas en la vegetación (Crockford y Richardson, 2000).

La importancia de la distribución de la lluvia al suelo se centra en las variaciones espaciales de los volúmenes de agua aportados al suelo por distintos tipos de cubierta (Belmonte *et al.*, 1996). La humedad del suelo desempeña un papel clave en el ciclo hidrológico al determinar las tasas de infiltración, percolación y escorrentía, y para entender la dinámica de la vegetación (Cerdeña, 1997).

El matorral es el recurso más abundante e históricamente más utilizado en las zonas áridas y semiáridas de México (García y Jurado, 2008). El matorral espinoso tamaulipeco (MET) cubre una superficie de 200,000 km² del noreste de México y sur de Texas (Alanís *et al.*, 2008). Es una comunidad arbustiva formada por la dominancia de especies espinosas, caducifolias una gran parte del año o áfilas (INEGI, 2009).

La intercepción en los ecosistemas áridos y semiáridos es de importancia debida principalmente a la irregularidad y/o escasez de las precipitaciones (Charles, 1998), repercutiendo en la variabilidad espacio-temporal de la humedad del suelo (Ceballos *et al.*, 2005).

En este contexto, el presente estudio efectuado en un fragmento del matorral espinoso tamaulipeco pretende ser un aporte al conocimiento de las propiedades hidrológicas, mediante mediciones de la precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento fustal (o cortical) para estimar las pérdidas por intercepción en este tipo de ecosistema que está regido por precipitaciones irregulares.

2. HIPÓTESIS

Las pérdidas por interceptación, precipitación directa, escurrimiento fustal y pluviolavado bajo la cobertura del Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET) son diferentes dependiendo del tipo de evento de lluvia.

Las pérdidas por interceptación de la cobertura del MET no representan una pérdida significativa por evaporación del agua de lluvia en el ecosistema.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

El presente estudio tiene el propósito de estimar las pérdidas por interceptación, la capacidad de almacenaje y propiedades fisicoquímicas del agua dentro del ecosistema matorral espinoso tamaulipeco, vía precipitación incidente, precipitación directa, escorrentía cortical, siguiendo el ciclo hidrológico dentro del subsistema interceptación.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer el porcentaje de lluvia interceptada para el ecosistema matorral espinoso tamaulipeco, cuantificando los flujos en los que se distribuye; precipitación incidente, precipitación directa, y escorrentía fustal, a través de eventos de lluvia.
- Estimar las pérdidas por interceptación para el fragmento de matorral espinoso tamaulipeco.

- Caracterizar la vegetación del fragmento de matorral espinoso tamaulipeco objeto de estudio.
- Estimar la capacidad de almacenamiento del dosel para el matorral espinoso tamaulipeco.
- Determinar la variabilidad espacial de la precipitación directa al suelo dentro del matorral espinoso tamaulipeco después de los eventos de lluvia.
- Estimar cuantitativamente el grado de salinidad y acidez del pluviolavado.

CAPÍTULO II

4. ANTECEDENTES

4.1 CICLO HIDROLÓGICO

El agua en la naturaleza no permanece estática, presenta un constante dinamismo en el cual se definen diferentes etapas o fases que se entrelazan generando un ciclo, fundamentado en que toda gota de agua, en cualquier momento que se considere, recorre un circuito cerrado, sin tener un camino único (Maderey y Jiménez, 2005). En este ciclo (Figura 1), el agua se mueve constantemente desde la atmósfera a la tierra, pasa por los ecosistemas (vegetación, animales y suelo) y por la corteza terrestre a los océanos y posteriormente regresa a la atmósfera (Jiménez, 1994).

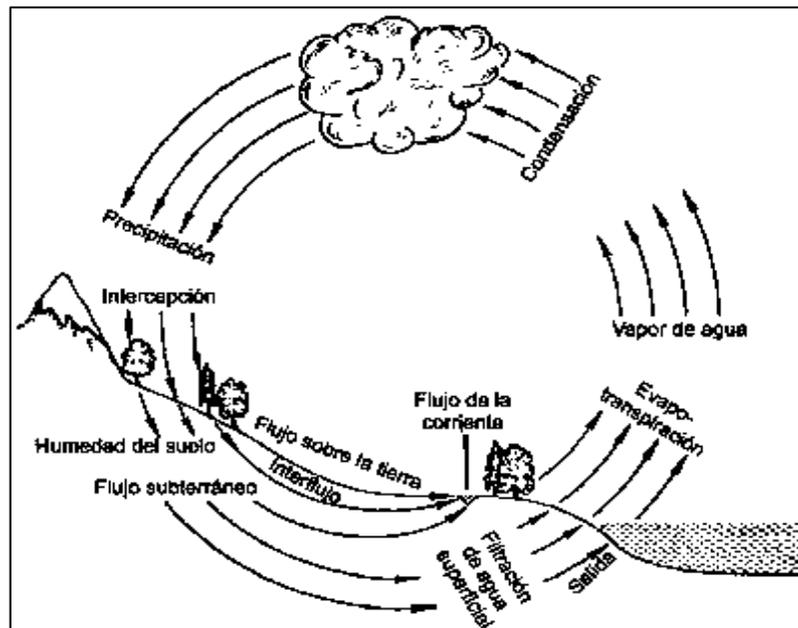


Figura 1. Diagrama simplificado del ciclo hidrológico (Adaptado de Ward, 1975, Shaxson y Barber, 2005).

La comprensión del ciclo hidrológico es esencial para el manejo eficiente del agua de lluvia y del agua del suelo (Shaxson y Barber, 2005). En términos descriptivos, se debe fundamentalmente a dos causas; la primera, al sol que proporciona la energía para elevar el agua mediante la evaporación y la segunda, a la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda en precipitación y escurrimiento (Campos, 1988).

El ciclo hidrológico puede verse como un sistema, definido como un conjunto de elementos o procesos físicos unidos través de algunas formas de interdependencia, que actúa sobre un grupo de variables de entradas para convertirlas en las salidas, donde los procesos integrados son resultados de interrelaciones de varios factores de gran variabilidad espacial y temporal (Campos, 1988).

Chow *et al.*, (1994), representa al ciclo hidrológico global como un sistema, dividido en tres subsistemas: 1. El sistema de agua atmosférica que incluye los procesos de precipitación, evaporación, intercepción y transpiración; 2. El sistema de agua superficial que presenta los procesos de flujo superficial, escorrentía superficial, nacimientos de agua subsuperficial y subterráneas y escorrentía hacia ríos y océanos; y 3. El sistema de agua subsuperficial donde se presentan los procesos de infiltración, recarga de acuíferos, flujo subsuperficial y flujo de agua subterránea (Figura 2).

En todo sistema o subsistema del ciclo hidrológico, el principio que indica que el agua ni se crea ni se destruye se expresa con la ecuación denominada balance hídrico (Ecuación 1) que comprende relacionar la cuantificación del agua y los parámetros involucrados que circula por el ciclo (Campos, 1988).

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \text{Cambio de almacenamiento}$$

Ecuación 1

El modelo de balance hídrico es un equilibrio entre las entradas y salidas de agua donde la variable principal de entrada es la precipitación y como salida es la evaporación (Santiago, 2007).

Cada una de las fases es un proceso fundamental del ciclo hidrológico, permitiendo la disponibilidad de este importante recurso renovable, adquiriendo una mayor importancia al interior de los ecosistemas forestales, donde las etapas del ciclo se vuelven más complejas, sujetas a un mayor número de factores que modifican la calidad y cantidad de agua producida (Cárcamo, 2006). La cantidad de agua en el mundo es constante, cerca del 70% de la superficie de la tierra está cubierta de agua y aproximadamente el 2.5% es agua dulce, el agua está continuamente cambiando de una forma a otra (líquida, sólida, gaseosa) y se mueve a diferentes velocidades (Shaxson y Barber, 2005; UNESCO, 2009).

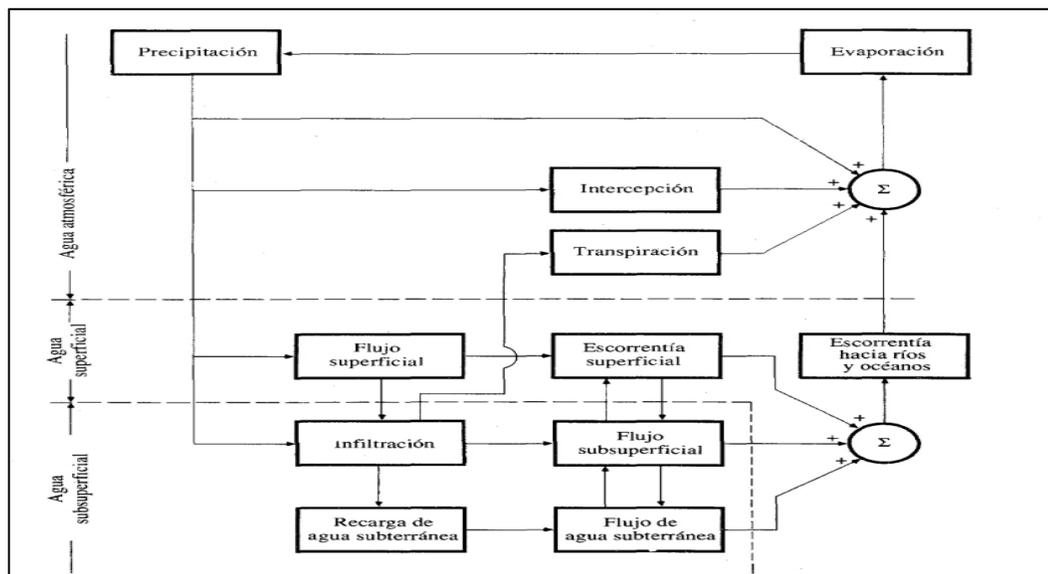


Figura 2. Diagrama de bloques del sistema hidrológico global (Chow *et al.*, 1994).

El ciclo hidrológico es una característica importante de todos los ecosistemas (Waring y Running, 2007). Gayoso *et al.* (2000), citado por Vargas (2007), mencionan que el ciclo hidrológico en un ecosistema depende fundamentalmente de las características de la vegetación, suelo y precipitación.

4.2. REDISTRIBUCIÓN DE LAS PRECIPITACIONES

La precipitación es la principal vía de ingreso de agua en los ecosistemas terrestres (Escobar y Maass, 2008). La precipitación es la caída de agua de las nubes, en estado líquido o sólido (Ayllón, 1996).

Al llegar las gotas de agua sobre el dosel de los árboles esta experimenta un cambio que se denomina redistribución de las precipitaciones, que altera la dirección, cantidad e intensidad de agua que llega al suelo.

De la cantidad total de precipitaciones incidentes que ingresa al ecosistema (Figura 3), una cantidad es retenida por las copas de los árboles que se conoce como intercepción y una parte de ella se reintegra a la atmosfera por evaporación, llamado esto pérdidas por intercepción (Cantú y González, 2002).

De la cantidad de agua que llega a la superficie del suelo, a través de los árboles, es llamada precipitación neta, esta sigue dos vías, una mediante los claros de los árboles o por goteo de las hojas y ramas llamada precipitación directa, la otra vía es mediante el escurrimiento por el tronco de los árboles, llamada escurrimiento fustal (Huber *et al.*, 1985; Cantú y González, 2005; Pizarro *et al.*, 2008).

Las precipitaciones que alcanzan el suelo y penetran en él, modifican la reserva del agua edáfica, se utiliza en la evapotranspiración o la recarga de los estratos inferiores del suelo (Echeverría *et al.*, 2007).

El escurrimiento fustal generalmente es considerado de poca importancia debido a la baja cantidad de precipitación involucrada, sin embargo su valor relativo contribuye al autoabastecimiento de agua a la base del árbol, concentrando el agua hacia el suelo alrededor del tronco (Oyarzún *et al.*, 1985; Huber, 2003; Cantú y González, 2002).

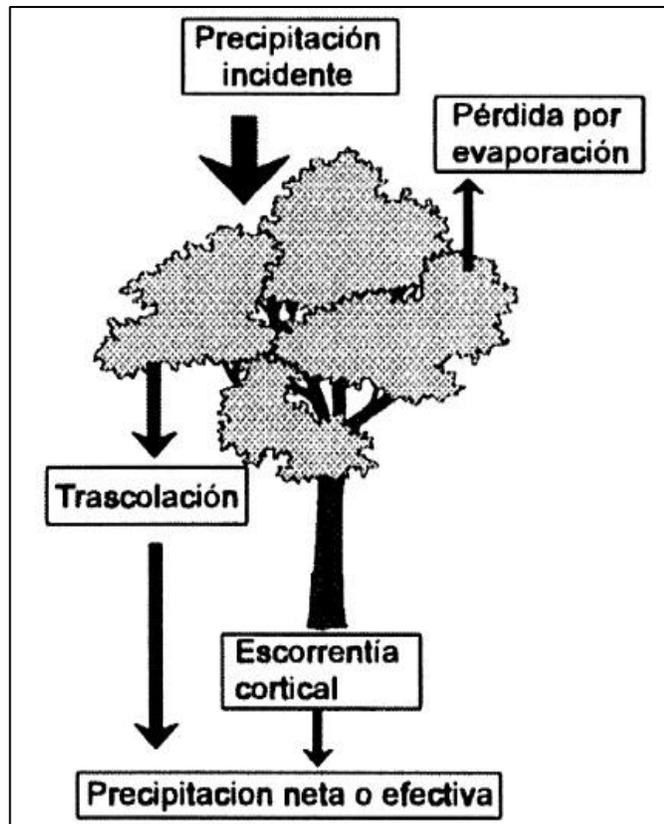


Figura 3. Esquema simplificado de la redistribución de la lluvia (Belmonte y Romero, 1999a).

Existen diversos autores que han detallado los diferentes factores que afectan la redistribución de las precipitaciones, tales como: Características de la vegetación: especie, densidad, cobertura, estructuras vegetativas, edad, convergencia de las ramas, tamaño, forma y orientación de las hojas, tipo de corteza. Propiedades de la lluvia: intensidad, cantidad, duración y tipo del evento. Además de los factores meteorológicos: dirección y velocidad del viento, radiación solar y temperatura (Horton, 1919; Kittredge, 1948; Fahey, 1964; Rutter y Morton, 1977; Huber y Oyarzún, 1984; Oyarzún *et al.*, 1985; Crockford y Richardson, 1990a, 1990b, 2000; Puigdefábrega, 2001; Huber, 2003; Germer *et al.*, 2006; Prado *et al.*, 2007; Stravs *et al.*, 2008; Ahmadi *et al.*, 2009).

Becerra *et al.* (2009), mencionan que aunque el proceso de intercepción de lluvia por la vegetación parece simple, están involucrados otros factores que hacen compleja su evaluación (Tabla 1).

Tabla 1. Algunos factores que intervienen en el proceso de intercepción de lluvia por la vegetación.

VEGETACIÓN	CLIMÁTICOS	DEL SITIO
Especie	Duración de la lluvia	Exposición
Diámetro, altura	Intensidad de la lluvia	Altitud
Características foliares	Tipo: agua/nieve	Pendiente
Características de corteza	Día/noche	Ubicación
Tolerancia de la especie	Época del año	
Edad	Distribución anual	
Densidad	Condición de lluvia previa	
Presencia de epifitas	Velocidad del viento	
Composición de especies		
Arquitectura del árbol		
Arquitectura de hojas		
Bosque natural		
Plantación		

Adaptado de Becerra *et al.*, 2009

4.3 PÉRDIDAS POR INTERCEPCIÓN

Horton en 1919, fue pionero en el tema de la intercepción de las precipitaciones por la vegetación para bosques de coníferas de clima templado y bosques tropicales (Mateos y Schnabel, 1998). Horton (1919) define la intercepción de la lluvia como una pérdida de precipitación por procesos de evaporación, que de otro modo estaría disponible para el suelo.

Fahey (1964), menciona que para fines de la década de 1940 la literatura respecto al efecto de las precipitaciones sobre la vegetación presenta un crecimiento apreciable.

Sin embargo la mayor producción de estos trabajos comenzó en la década de los años setenta, con diversos enfoques en los estudios desde diseño de pluviómetro, técnicas de mediciones y procesos, así como la atribución de la interceptación en las diferentes ramas de las ciencias ambientales (Mateos y Schnabel, 1998; Belmonte y Romero, 1999a).

Zinke (1967), presenta una revisión de literatura sobre estudios con respecto en la función de la interceptación en los bosques de Estados Unidos, desde el contexto del balance hídrico de una cuenca hidrográfica.

Hamilton y Rowe (1949), consideran a la interceptación como el proceso en el que la lluvia es atrapada por la cubierta vegetal distribuyéndola como precipitación directa, escurrimiento fustal, absorción y evaporación desde la vegetación (Zinke, 1967).

Más tarde, Helvey y Patric (1965), incluyen en el concepto de pérdidas por interceptación, no solo la lluvia que queda retenida en la cubierta vegetal, involucrando también a la lluvia retenida en la hojarasca, las cuales se evaporan sin aumentar la humedad del suelo mineral (Chorley, 1978).

Poco ha cambiado esta definición a través de los estudios; Germer *et al.* (2006), mencionan que la interceptación de precipitación es la cantidad de lluvia interceptada por la cubierta vegetal, que se evapora durante el evento de lluvia o después de que cesó la lluvia.

La interceptación de lluvia o pérdidas por interceptación presenta una complejidad para ser evaluada directamente, por lo cual se estima de manera indirecta como

una diferencia entre la precipitación incidente medida sobre el dosel o en un área abierta colindante y la precipitación neta, debajo el dosel (Ecuación 2) (Hamilton y Rowe, 1949; Huber y Oyarzún, 1984; Dunin *et al.*, 1988; Cantú y Okumura, 1996b; Belmonte y Romero, 1999a; Cantú y González, 2002, 2005; Echeverría *et al.*, 2007; Ahmadi *et al.*, 2009).

$$I = P_i - (P_d + P_f) \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde: I = pérdidas por intercepción (mm), P_i = precipitación incidente, P_d = precipitación directa (mm) y P_f = escurrimiento fustal (mm).

Sin embargo, el proceso de intercepción es más complejo e involucra implicaciones más amplias de las que se pueden apreciar en un juicio rápido, a medida que se avanza en los estudios de intercepción han surgido nuevos conceptos (Belmonte y Romero, 1999a).

Entre los datos de intercepción que se han observado, la mayoría consisten en modelos de regresión lineal entre la pérdida de intercepción y las precipitaciones (Aston, 1979). La medición y predicción de las pérdidas por intercepción de los bosques es un requerimiento esencial en el pronóstico de los efectos de la cubierta vegetal sobre el rendimiento hídrico de las cuencas forestadas (Cantú y Okumura, 1996a, 1996b; Cantú y González, 2002, 2005).

Estudios de intercepción se han llevado a cabo en diferentes regiones climáticas y tipos de bosques. Zinke (1967), citado por Xiao *et al.* (2000), en su revisión de literatura registra valores de intercepción entre un 15 y 59 % de la precipitación en diferentes especie arbórea en bosques de Estados Unidos. Puigdefábregas (2001), señala que en muchos casos puede alcanzar el 30% de la precipitación incidente.

Fahey (1964), en una plantación de *Pinus radiata* con una cobertura de copa de 40 a 50%, ubicada en Dunedin, Nueva Zelanda, registro pérdidas por

intercepción de 49%. Valores más bajos para de esta misma especie fue reportado por Oyarzún *et al.* (1985), en Valdivia, Chile, en 3 plantaciones con diferente densidad y edad de manejo: 733 arb/ha con 26 años; 1392 arb/ha con 9 años; y 443 arb/ha con 9 años, reportaron 14, 18 y 9% de pérdidas por intercepción encontrando una relación directa entre la cobertura del dosel y la intercepción. Mientras que Huber (2003), estimo un 33% de pérdidas por intercepción para una plantación joven de *Pinus radiata* en el secano interior de Chile.

Belmonte y Romero (1999b), estimaron las pérdidas por intercepción para *Pinus halepensis* en Murcia, en un periodo de 4 años de investigación, donde obtuvieron valores de entre 26 y 28% de pérdidas por intercepción en años pluviométricamente normales y valores cercanos a los 40% de pérdidas por intercepción en años secos con bajo promedio de precipitación.

Conclusiones similares reporto Huber (2003), en un estudio en la zona del secano interior de chile, donde concluye que el porcentaje de precipitaciones interceptado por el dosel durante el estío fue mayor que durante los meses más lluviosos. Crockford y Richardson (2000), mencionan que en presencia de eventos de baja intensidad y duración, las pérdidas por intercepción son mayores. Oyarzún *et al.* (1985), señalan que la intercepción disminuye con el incremento de la intensidad y duración de las lluvia, porque a medida que aumenta la duración, las copas se saturan aumentando la precipitación directa y disminuyendo la intercepción.

Mateos y Schnabel (2001), reportaron para la especie *Quercus rotundifolia* en la península iberia, España, un valor promedio de 26.8% de pérdidas por intercepción. Augusto *et al.* (2009), estiman un valor de 13% de intercepción para un bosque caducifolio seco en una región tropical semiárida en Brasil. Cantú y González (2002), realizaron un estudio en bosques de pino-encino en la Sierra Madre Oriental, en la región noreste de México, reportando valores de

pérdidas por intercepción de 19.2, 13.6 y 23% para pino, encino y pino-encino, respectivamente.

Herbst *et al.* (2008) citado por Bravo (2011), mencionan que los montos de las pérdidas por intercepción varían fuertemente con la estructura y edad del bosque y el clima presente. Investigaciones indican que generalmente las coníferas presentan una pérdida por intercepción anual mayor que las latifoliadas caducifolias, producto de la reducción de la cobertura en el periodo de receso vegetativo de estas últimas (Bravo, 2011).

Entre algunos estudios realizados en México, Becerra *et al.* (2009), consideran que el trabajo efectuado por Cervantes (1988), es el primer estudio encontrado en la literatura mexicana, el cual se realizó en la región de Chamela, Jalisco, durante el periodo de 1984-1986. En este estudio Cervantes (1988), reporta un valor de pérdidas por intercepción de 30.19% para la comunidad tropical en el Estado de Jalisco, México.

Generalmente los estudios que se han efectuado en México sobre intercepción de lluvia son pocos, alrededor de 19 trabajos de investigación con publicaciones nacionales e internacionales y la mayoría son reportados para la vegetación de zonas áridas y semiáridas en condiciones naturales (Becerra *et al.*, 2009).

Cantú y González (2005), estudiaron 3 especies de arbustos representativos del matorral submontano en el noreste de México, donde estimaron pérdidas por intercepción de 18, 15 y 22% para *Acacia berlandieri*, *A. rigidula* y *Diospyros texana*, respectivamente.

Návar *et al.* (2008), reporto un valor de 11.4% de pérdidas por intercepción para especies de leguminosas del nordeste de México. Mastachi *et al.* (2010), en la región semiárida de Querétaro reporta valores entre 15 a 27% de pérdidas por intercepción para las especies de *Prosopis laevigata* y *Acacia farnesiana*.

Belmonte *et al.* (1999), mencionan que las pérdidas por intercepción en zonas áridas y semiáridas pueden resultar más elevadas que en medios templados, presentándose valores superiores al 35% de la precipitación anual.

Finalmente, los diversos tipos de vegetación aun en zonas climáticas contrastante están involucrados en mayor o menor magnitud, en los procesos de escurrimiento e infiltración o en intercepción y evaporación. (Cervantes, 1988).

4.4 VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN DIRECTA

La precipitación directa es considerada la principal fuente de abastecimiento de agua al suelo, con aportes del 74 a 80% de la precipitación incidente (Oyarzún *et al.*, 1985).

La precipitación directa o translocación se dispersa por toda la superficie cubierta, alcanzando superficies muy diversas, según se trate de superficies cubiertas por individuos aislados, pequeños bosquetes o extensos bosques y matorrales (Belmonte y Romero, 1999b).

La vegetación forestal participa en la distribución espacial de la lluvia que golpea a dicha vegetación en distintos estratos y que llega al piso forestal presentando patrones de temporalidad (Flores *et al.*, 2013).

La distribución espacial de la lluvia que alcanza el suelo, presenta efectos en aspectos tales como la distribución de la humedad edáfica, las propiedades físicas y químicas del suelo, el establecimiento de áreas preferenciales de inicio de escorrentía superficial o en la distribución de las raíces finas (Belmonte *et al.*, 1999b).

Belmonte *et al.* (1996), estudiaron el volumen y la variabilidad espacial de la lluvia trascolada bajo bosque y matorral mediterráneo semiárido, donde concluyen que el volumen total de lluvia trascolada varía en los distintos tipos de cubierta, para el matorral la distribución de los aportes al suelo por translocación varía entre el 40 y 90% de la lluvia.

Zhan *et al.* (2007), al llevar a cabo un estudio de la variabilidad espacial de la precipitación directa en una plantación de pino (*Pinus tabulaeformis*) en el norte de China, demostraron en sus resultados que el coeficiente de variación de translocación tiende a declinar conforme la intensidad de lluvia aumenta.

4.5 CARACTERIZACIÓN DE LA VEGETACIÓN

El ecosistema denominado matorral espinoso tamaulipeco (MET) es bastante diverso respecto a las especies arbóreas, arbustivas y subarbustivas, que ha sido fragmentado por décadas para dar al suelo uso agrícola y ganadero (Alanís *et al.*, 2008). Las plantas presentes en el MET se distinguen por un amplio rango de grupos taxonómicos que presentan diversidad en la longevidad foliar, dinámicas de crecimiento y desarrollo fenológico (McMurtry *et al.*, 1996, citado por González *et al.*, 2010).

La caracterización de la vegetación es importante debido a que la distribución de las especies no es similar en las comunidades vegetales, la identificación de especies vegetales del matorral es relevante en el entendimiento de la estructura de la vegetación, la diversidad de especies, abundancia y la dinámica de las comunidades vegetales (González *et al.*, 2010).

Los procesos hidrológicos en los que la vegetación interviene dependen con frecuencia de parámetros que se relacionan directamente con el tipo de cubierta

vegetal existente en la superficie del suelo (Díaz, 2007). Las pérdidas por interceptación en bosques con doseles cerrados son más altas que en superficies herbáceas, lo que indica que la cantidad de precipitación que alcanza el suelo decrece a medida que el dosel es más denso (Oyarzún *et al.*, 1985). Las características del dosel adquieren mayor importancia a medida que la precipitación disminuye (Huber e Iroume, 2001).

Por lo tanto, la vegetación juega un importante papel en la hidrología, ya que afecta al balance de agua de la superficie en todos sus componentes, los flujos hidrológicos más importantes que se ven afectados por la vegetación son la interceptación de la lluvia, infiltración, escorrentía superficial y evapotranspiración, que a su vez afectan a procesos como el almacenamiento de agua en el suelo y la erosión, por lo que la caracterización de la vegetación debe ser, por tanto, el paso previo al estudio de los flujos de agua que tienen lugar en la misma (Díaz, 2007). Gómez (2000), menciona que la vegetación condiciona el contenido de humedad a través de los patrones de interceptación impuestos por la cubierta vegetal.

Modificaciones en las cubiertas vegetales que afecten a las propiedades de la copa pueden tener importantes consecuencias en la dinámica de la partición de lluvia y afectar al balance de agua a nivel local e incluso regional, en los ambientes semiáridos que se caracterizan por una gran variabilidad en la cantidad y distribución de las precipitaciones. La partición de lluvia puede ser un mecanismo importante de aprovisionamiento de agua que permita a las plantas amortiguar y superar las restricciones hídricas propias de estos ambientes (García, 2006).

Para determinar la condición de los ecosistemas se consideran índices estructurales y variables dasométricas, donde los métodos de caracterización dependen de los objetivos (Jiménez *et al.*, 2009).

Existen diversos trabajos donde se han estudiado la composición y estructura de la vegetación presente en el matorral espinoso tamaulipeco; González *et al.* (2010), estudiaron el estatus de la vegetación arbustiva y arbórea en tres sitios de los municipios de Los Ramones, China y Linares, Nuevo León, México, donde registraron un total de 1741 individuos pertenecientes a 20 familias, encontrándose que no hay diferencia en la biodiversidad entre los sitios.

Alanís *et al.* (2008), evaluaron la diversidad de especies arbóreas y arbustivas en el matorral espinoso tamaulipeco con distinto historial de uso en 16 sitios del municipio de Linares, Nuevo León, donde concluyen que a pesar de las similitudes en condiciones edáficas, topográficas, altitudinales y ambientales, los sitios presentaban diferencias en su composición florística por los distintos usos antropogénicos.

García y Jurado (2008), caracterizaron la vegetación de matorral con condiciones prístinas en el municipio de Linares, Nuevo León, encontrando que debido a la falta de planeación en el aprovechamiento de los recursos naturales, el matorral de Linares, Nuevo León ha sido modificado casi en su totalidad, donde menos del 1% de la superficie ocupada por el matorral presenta vegetación original.

Jiménez *et al.* (2012), estudiaron la regeneración a mediano plazo de la vegetación leñosa del matorral espinoso tamaulipeco en un área con historial de uso agrícola en el municipio de Linares, Nuevo León, encontrando que el MET presenta una extraordinaria capacidad de regeneración y alta riqueza y diversidad, de acuerdo a los indicadores utilizados.

Los estudios de interceptación constituyen una manera de identificar cómo es que las condiciones actuales en la cobertura arbórea, o las modificaciones a esta condición estructural, afectan el balance hidrológico de un área arbolada, ya

sea por la aplicación de técnicas silvícolas o por perturbaciones naturales (Flores *et al.*, 2013).

A pesar de los diversos estudios realizados en el matorral espinoso tamaulipeco en Linares, Nuevo León, para el fragmento donde se realiza la presente investigación no existe datos sobre la diversidad y los parámetros ecológicos de las especies presentes que ayuden a comprender el comportamiento de los procesos hidrológicos para determinada vegetación.

CAPÍTULO III

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La presente investigación se realizó en el campus de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, el cual se localiza en las coordenadas geográficas 24° 47' 51.22'' de latitud norte y 99° 32' 29.71'' de longitud oeste, cuenta con una elevación 350 msnm y se ubica a 8 km al sur del Municipio de Linares, en el Estado de Nuevo León, México (Figura 4).

El sitio de estudio es un fragmento de vegetación pertenece al Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET), según lo observado en campo y de acuerdo a la clasificación de Rzedowski (Rzedowski, 2006). El MET se distribuye en el noreste de México y sur de Texas, con una superficie de más de 200,000 Km² desde el municipio de Llera de Canales, Tamaulipas y los límites sureños de la Sierra Azul de Tamaulipas hasta el altiplano Edwards en Texas y las faldas de la Sierra Madre Oriental hasta el Golfo de México (Alanís *et al.*, 2008).

La cubierta vegetal del municipio de Linares, Nuevo León se ha convertido en un complejo mosaico que incluye áreas agrícolas, pastizales inducidos, fragmentos de vegetación primaria con grado alto de disturbio y numerosos fragmentos de vegetación secundaria de diferentes dimensiones y edades, debido generalmente a los desmontes, la ganadera extensiva y la explotación selectiva de especies (González, 1996).

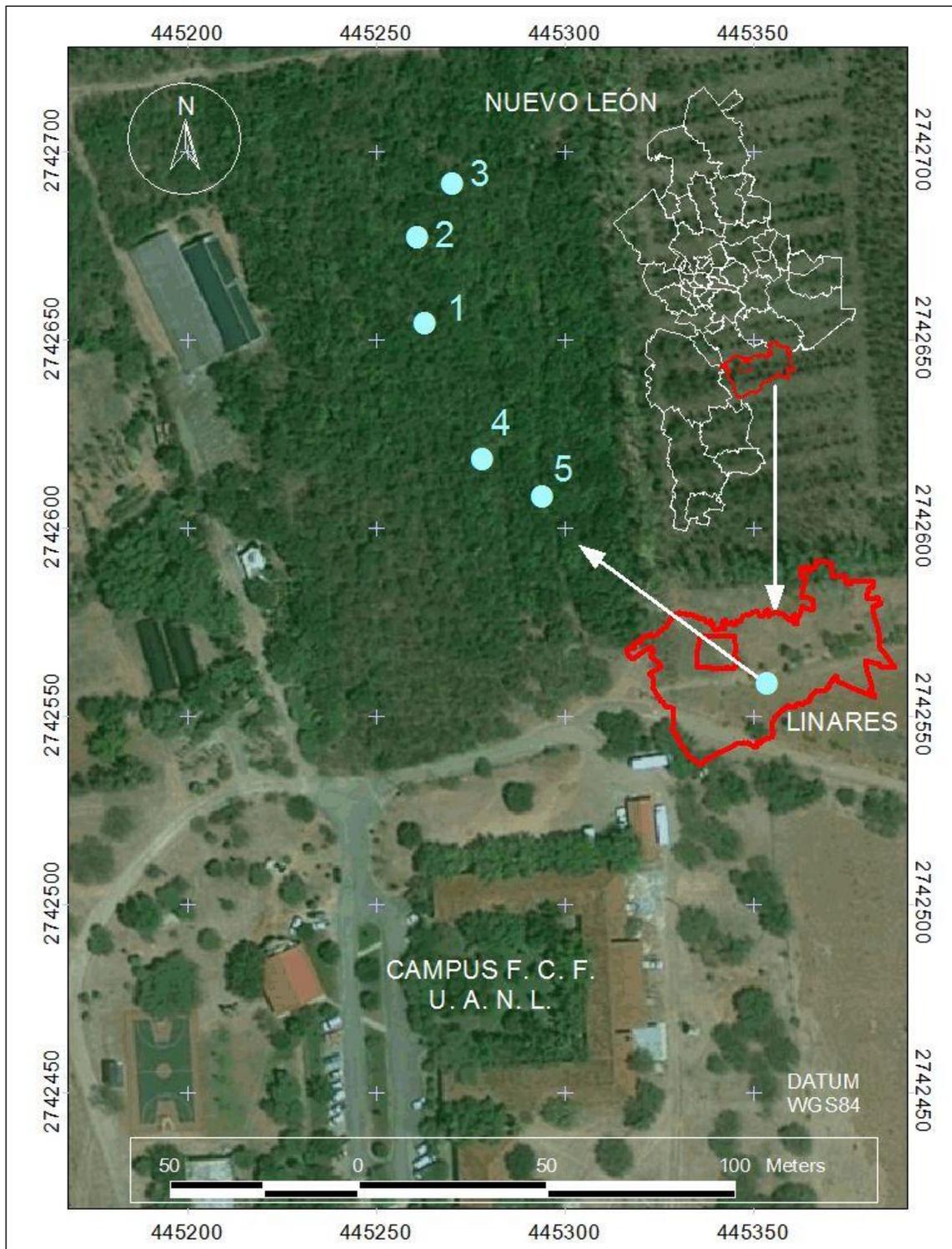


Figura 4. Ubicación de las parcelas en el área de estudio, Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L. Campus Linares.

El MET está constituido por la dominancia de especies espinosas, caducifolias una gran parte del año o áfilas (sin hojas). Se presentan especies arbustivas de 1.5 a 2.0 m de altura, donde algunas forman parte del estrato arbustivo de otros matorrales o mezquiales aledaños. Existe un gran número de especies arbustivas, generalmente espinosas, tales como *Celtis pallida*, *Acacia rigidula*, *Randia aculeata*, *Castela tortuosa*, *Condalia lycioides*, *Condalia obovata*, *Bernardia myricaefolia*, *Forestiera angustifolia*, *Karwinskia humboldtiana*, entre otras (INEGI, 2009).

El clima según la clasificación de Köppen (1938) modificada por García (1981), el tipo de clima se define para el área de estudio como un clima subtropical y semiárido con verano cálido, con lluvias entre los meses de abril a noviembre y con la presencia de un periodo de estiaje intraestival presentándose temperaturas de hasta 45°C durante el verano, con temperatura promedio entre 14.7°C a 22.3°C, la precipitación promedio anual es de 805 mm con una distribución bimodal. La Figura 5 muestra la precipitación (mm) y la temperatura (°C) promedio de 49 años de observaciones para la estación Linares.

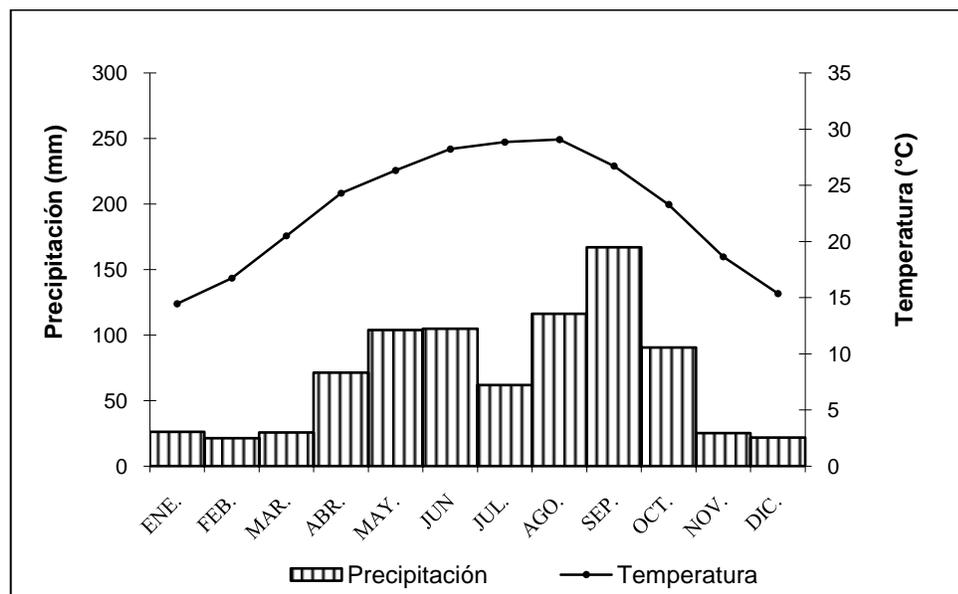


Figura 5. Diagrama ombrotérmico para el área de estudio

5.2. MEDICIÓN DE LAS PROPIEDADES HIDROLÓGICAS

El fragmento del matorral espinoso tamaulipeco (MET) cubre un área de 5000 m², se establecieron cinco parcelas de 10 m x 10 m dentro del sitio de estudio, donde se colocaron los colectores de precipitación directa, escorrentía cortical y adyacentemente a las parcelas se establecieron los colectores para la precipitación incidente.

El procedimiento de muestreo consistió en tomar mediciones de volumen de lluvia y una muestra para el análisis fisicoquímico (Apéndice A), después de cada evento de lluvia, la cual es considerada como aquel periodo de precipitación, que puede ser constituido por lluvias, lloviznas o chubascos, más o menos continuos, separados del anterior y posterior por un periodo seco de una duración mínima de 8 horas.

Estas mediciones fueron realizadas a partir de 18 de septiembre de 2011 al 4 de diciembre de 2012, registrándose 56 eventos de lluvias individuales.

5.2.1 PRECIPITACIÓN INCIDENTE

La precipitación incidente es decir la lluvia que cae sobre el dosel de la vegetación fue determinadas mediante la utilización de 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 colectaba el agua de lluvia, las canaletas fueron recubiertas de una malla para evitar la obstrucción de hojarasca e insectos (Figura 6).

Para esta medición se instalaron 4 canaletas a 1 m sobre el suelo en un área abierta sin árboles, colindante a las parcelas experimentales.

5.2.2 PRECIPITACIÓN DIRECTA

Para medir la precipitación que fluye a través del dosel de la vegetación se utilizaron el mismo tipo de canaletas descritas anteriormente, se colocaron 4 canaletas en cada parcela, debajo del dosel de forma al azar, dando un número total de 20 canaletas ubicada en las 5 parcelas del MET.



Figura 6. Colectores para precipitación incidente.

5.2.3 VARIABILIDAD ESPACIAL

La variabilidad espacial de la precipitación directa MET se estimó utilizando 20 canaletas ubicadas debajo del dosel de la cobertura de la vegetación. El método utilizado fue el llamado “roving gauge”, el cual se caracteriza porque los colectores de agua no se encuentran fijos. Las canaletas fueron estratégicamente rotadas después de cada 5 eventos registrados, procediendo a girar la canaleta 45° a la derecha, tomando en cuenta 5 posiciones de movimiento siendo la posición 1(180°), 2(135°), 3(90°), 4(45°) y 5(0°)

registrando el dosel que predomina en cada posición, con el fin de controlar la variabilidad espacial (Figura 7).

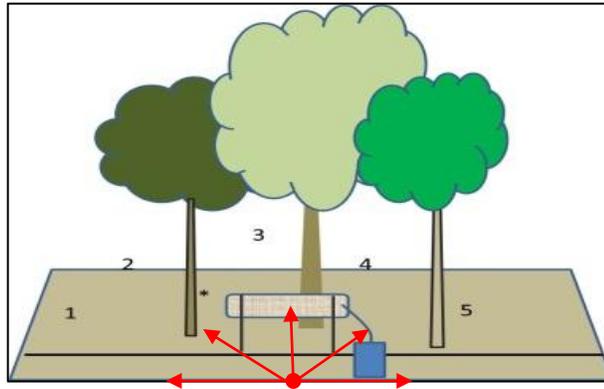


Figura 7. Posiciones de movimiento para las canaletas de precipitación directa.

5.2.4 ESCURRIMIENTO FUSTAL

Para medir el escurrimiento del agua que fluye en el fuste se seleccionaron 3 árboles en cada una de las parcelas experimentales, utilizándose mangueras de plástico acerada de 3 cm de diámetro, con perforaciones de 1.5 cm x 2.5 cm, a 4 cm de intervalos, estas mangueras se fijaron a los fustes a 1 m de altura utilizándose como un tipo espiral dando dos vueltas y media al tronco, se prensaron al fuste preparado (sin corteza) y las partes superiores e inferiores de las mangueras se fijaron con alambre y sellados con silicón, por donde se transportaba el agua a los botes de colecta (Figura 8).

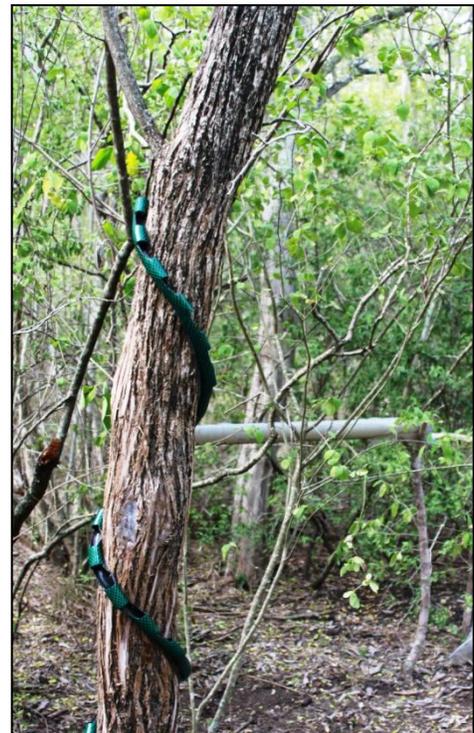


Figura 8. Colector para el escurrimiento fustal del MET.

5.2.5 PÉRDIDAS POR INTERCEPCIÓN

Para estimar el porcentaje de las pérdidas por intercepción se utilizaron las mediciones de precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento fustal, aplicando estadística descriptiva y análisis de regresión lineal se estimó los valores de las pérdidas por intercepción para la vegetación de MET.

5.2.6 CAPACIDAD DE ALMACENAJE DEL DOSEL

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 se determinó por el método de Leytón *et al.* (1967), relacionando la precipitación incidente contra la precipitación directa para eventos de lluvia con un valor máximo de 2.5 mm.

5.2.7 PLUVIOLAVADO (PH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA)

Se realizaron determinaciones de pH y conductividad eléctrica de las muestras de agua de lluvia colectada, mediante medición directa usando un electrodo con un potenciómetro-conductivímetro marca CORNING Modelo 542.

5.2.8 CARACTERIZACIÓN DE LA VEGETACIÓN

En las parcelas estudiadas se realizaron mediciones de las variables altura (m), diámetros (0.10 y 1.30 m), diámetro de copa y cobertura de copa (norte-sur, este-oeste), de cada especies presente en la parcela de 10 x 10 m (100 m²), para obtener los parámetros estructurales de la vegetación tales como

abundancia relativa, frecuencia relativa, dominancia relativa e índice de valor de importancia mediante las siguientes ecuaciones:

Abundancia relativa

$$A_r = \frac{n}{N} * 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Dominancia relativa

$$D_r = \frac{c}{C} * 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

Frecuencia relativa

$$F_r = \frac{m}{M} * 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

Índice de Valor de Importancia mediante

$$A_r + D_r + F_r \quad \text{Ecuación 6}$$

Dónde:

A_r = Abundancia relativa

D_r = Dominancia relativa

F_r = Frecuencia relativa

n = Número de individuos de la especie i

N = Número total de individuos

c = Área de copa de la especie i

C = Área de copa total

m = Frecuencia de la especie i en los sitios de muestreo

M = Sumatoria de las frecuencias de las especies en los sitios de muestreo

La diversidad alfa mediante el Índice de Shannon & Weiner (H') con la ecuación:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i * \ln (P_i) \quad \text{Ecuación 7}$$
$$P_i = n_i/N$$

Dónde:

S = Número de especies presentes

N = Número total de individuos

n_i = Número de individuos de la especie i .

5.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Para las mediciones de precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento fustal se aplicó estadística descriptiva y análisis de regresión lineal para describir el comportamiento de los componentes hidrológicos, con los eventos individuales de hasta 2.5 mm se determinó la capacidad de almacenamiento, obteniéndolo del intercepto de la precipitación incidente frente a la precipitación neta.

La caracterización de la vegetación se estimó mediante ecuaciones matemáticas, y la diversidad mediante el Índice de Shannon (Shannon, 1948) para relacionar la vegetación con las propiedades hidrológicas.

Los valores obtenidos de pH, y conductividad eléctrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) para los componentes de precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento fustal, se sometió 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.).

CAPÍTULO IV

6. RESULTADOS

6.1 PRECIPITACIÓN INCIDENTE

Durante el periodo de estudio que correspondió del 18 de septiembre del 2011 al 4 de diciembre de 2012, se registraron 56 eventos de lluvias (Apéndice B), los cuales sumaron un total de 749.8 mm de precipitación incidente, en un rango de 0.23 a 73.5 mm.

En la Figura 9 se observa que del total de eventos de lluvia, el 84% fueron menores a 25 mm, se registró un 11% de precipitaciones entre 25 a 50 mm y para eventos de 50 a 75 mm solo se registraron 3 eventos que corresponden a un 5%.

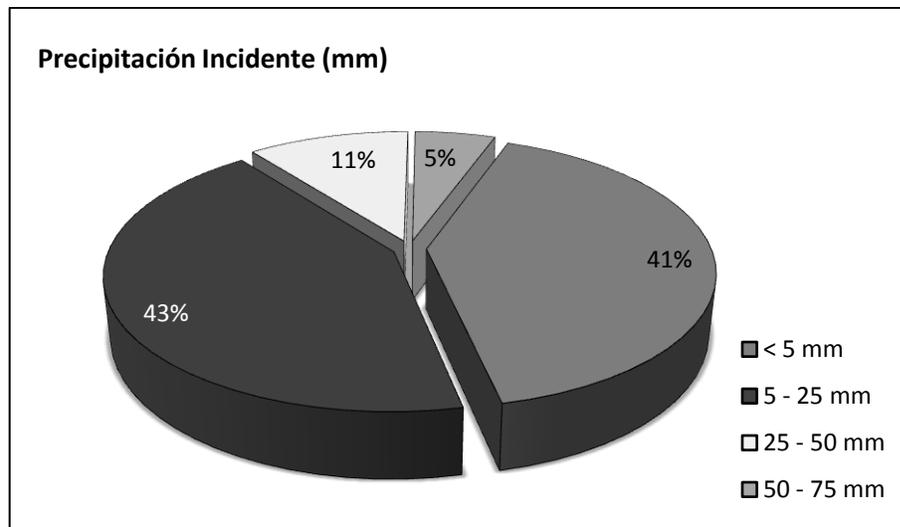


Figura 9. Rangos de porcentaje de precipitación registrada durante el periodo de estudio.

El comportamiento mensual de las precipitaciones ocurrió tal como se muestra en el gráfico de la Figura 10, se observa que la mayor cantidad de lluvia se presentó en el mes de junio de 2012 donde se alcanzó 142 mm de precipitación, los meses de febrero y agosto del mismo año ocurrieron el mayor número de eventos con un total de 7 cada uno, los cuales registraron 98 y 86.5 mm, respectivamente.

De acuerdo a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2011), para México el 68% de la precipitación normal mensual ocurren entre junio y septiembre, para esta área las precipitación con mayor cantidad de lluvia durante el periodo 2012 ocurrieron en los meses de febrero, junio y de los meses de agosto a noviembre del mismo periodo, mostrando una precipitación desigual. El mes con menor cantidad de precipitación correspondió a diciembre donde se registró solamente un evento.

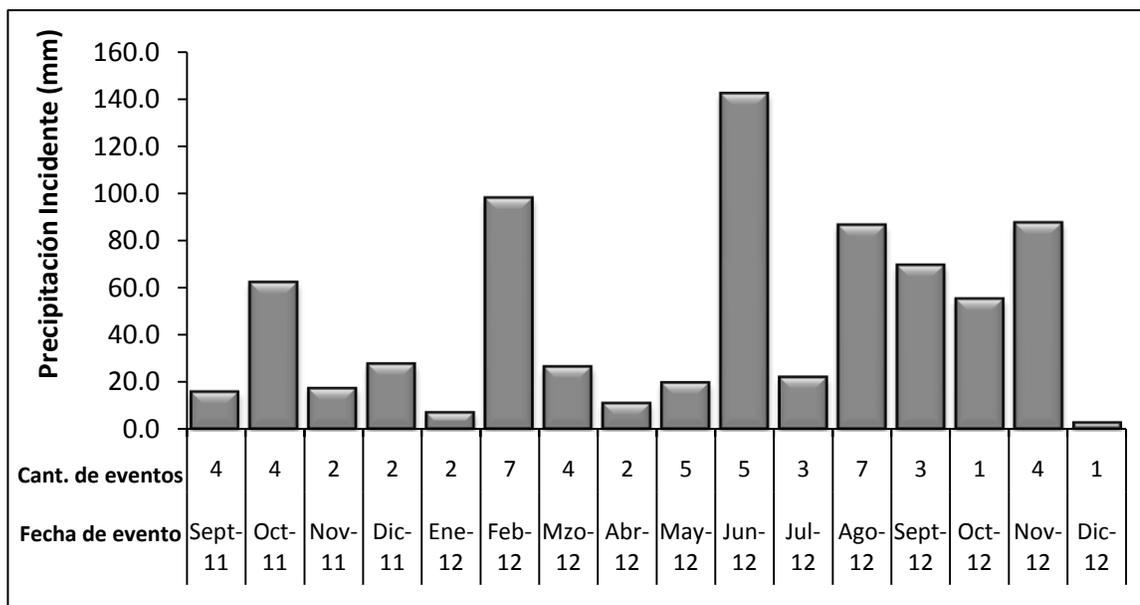


Figura 10. Comportamiento de la precipitación mensual durante el periodo de estudio.

6.2 PRECIPITACIÓN DIRECTA

La cobertura de los doseles presentes en el fragmento del matorral espinoso tamaulipeco, permitió una translocación de 61.7% de la precipitación incidente, presentando la precipitación directa una relación con la precipitación incidente sobre el dosel con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.9744$, indicando una estrecha relación entre estas dos variables (Figura 11).

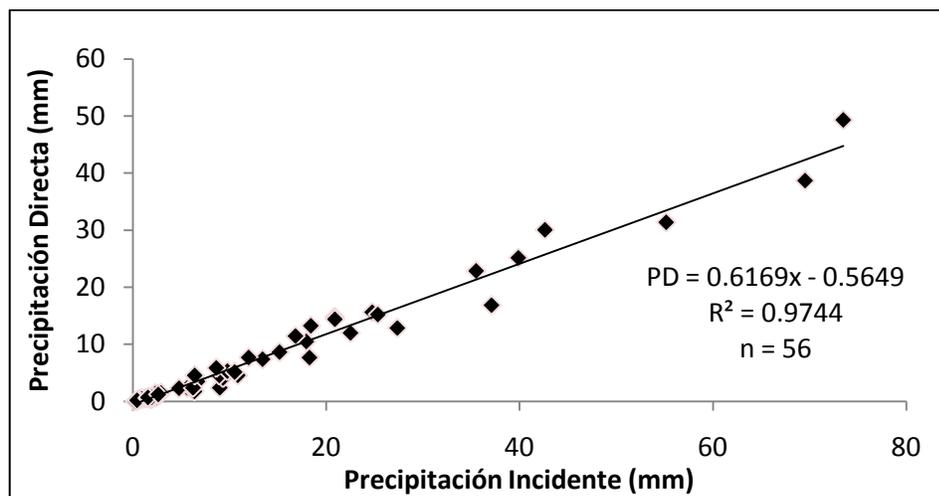


Figura 11. Relación entre la precipitación directa (mm) y la precipitación incidente (mm).

6.3 VARIABILIDAD ESPACIAL

La variabilidad espacial de la precipitación directa mostro en promedio un coeficiente de variación de 28.8%, en un rango entre 11.7 a 61.8% (Figura 12). La desviación estándar promedio correspondió a 1.9 y mostro un incremento lineal a medida que aumentaba la precipitación directa (Figura 13).

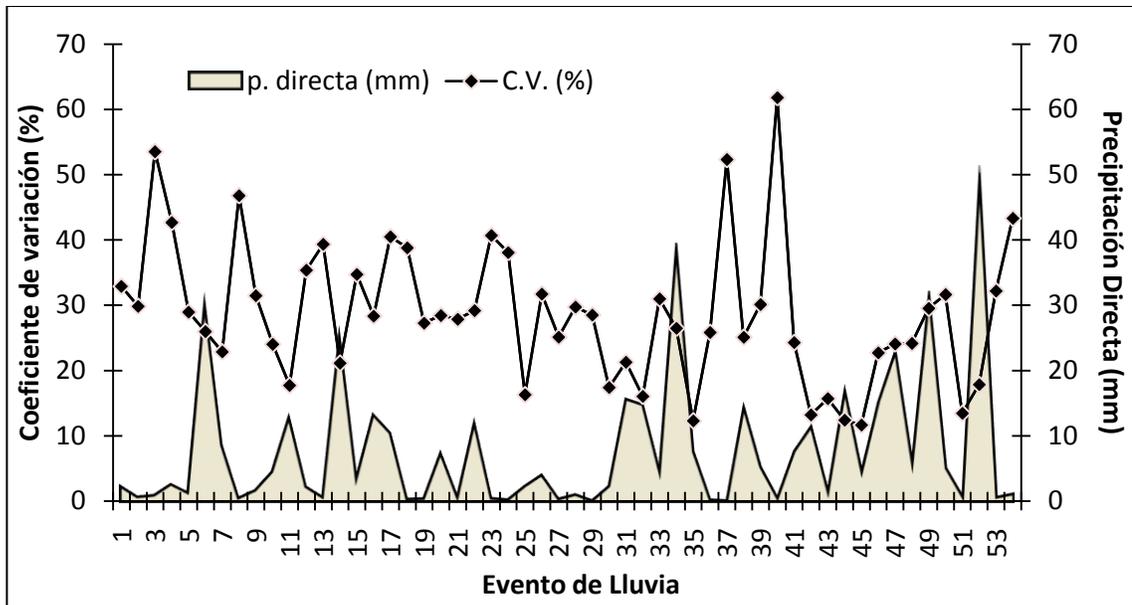


Figura 12. Coeficientes de variación de la precipitación directa por evento durante el periodo de estudio.

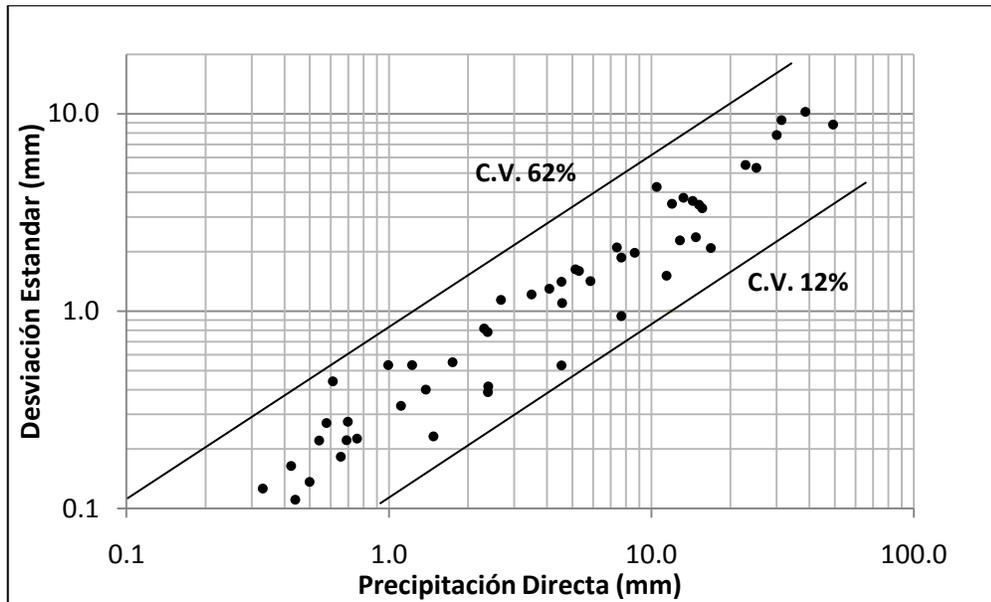


Figura 13. Variabilidad espacial de los 20 colectores de la precipitación directa (12-62% C.V.).

El coeficiente de variación mostró un incremento curvilíneo al decrecer la precipitación con valores menores a 10 mm, a mayor cantidad de precipitación directa, la variabilidad espacial de la lluvia bajo el dosel del matorral espinoso tamaulipeco permanece relativamente constante (Figura 14).

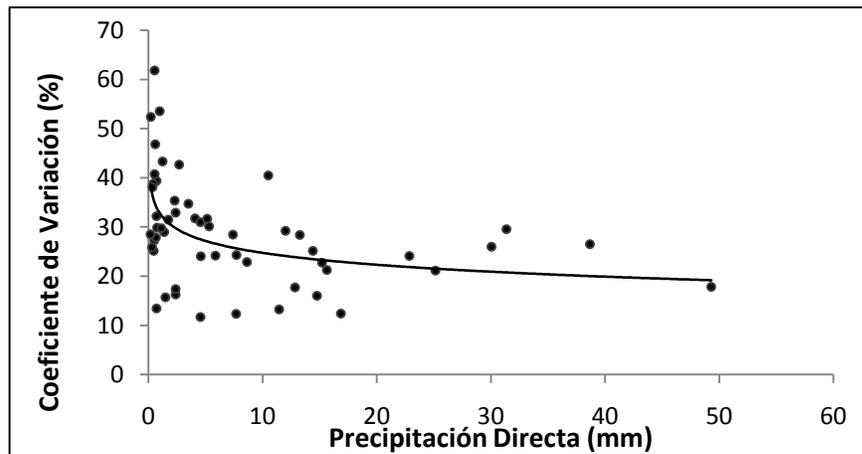


Figura 14. Relación entre la precipitación directa (mm) y el coeficiente de variación (%).

6.4 ESCURRIMIENTO FUSTAL

La fracción del escurrimiento fustal o cortical represento el 1% de la precipitación incidente, con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.8824$ (Figura 15), con un numero de evento de $n = 29$, siendo estos eventos donde se registró precipitación para este componente, representando solamente 4.8 mm del total de la precipitación incidente. El valor obtenido de escurrimiento fustal concuerda con otros estudios en especies de este tipo de ecosistema, donde los valores son relativamente más bajos, esto puede deberse al traslape de las copas.

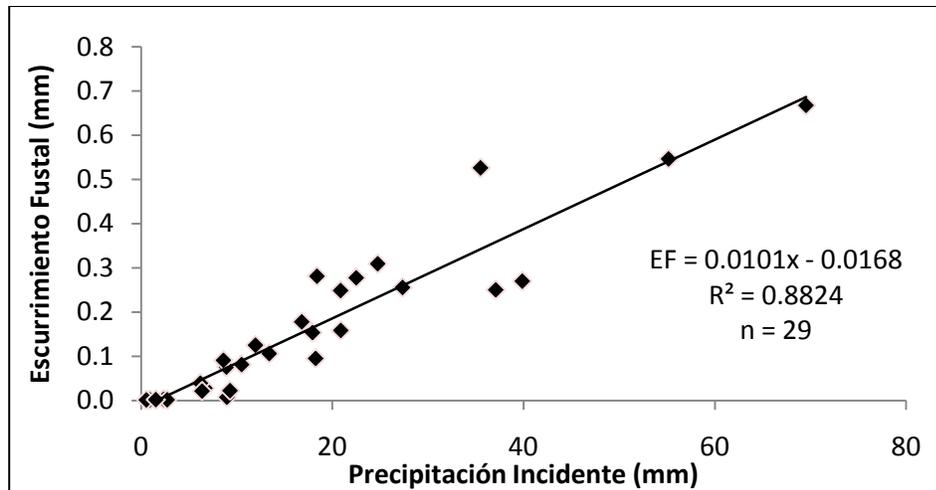


Figura 15. Relación entre el escurrimiento fustal (mm) y la precipitación incidente (mm).

6.5 PRECIPITACIÓN NETA

La precipitación neta corresponde a la precipitación directa más la porción de lluvia del escurrimiento fustal. Se registró un total de 62.3% de precipitación total que llega al suelo, marcando una pequeña diferencia con respecto a la precipitación incidente (61.7%), debido a la pequeña proporción del escurrimiento fustal involucrada, el coeficiente de determinación se mantuvo igual a lo obtenido en la precipitación directa con una $R^2 = 0.9758$ (Figura 16).

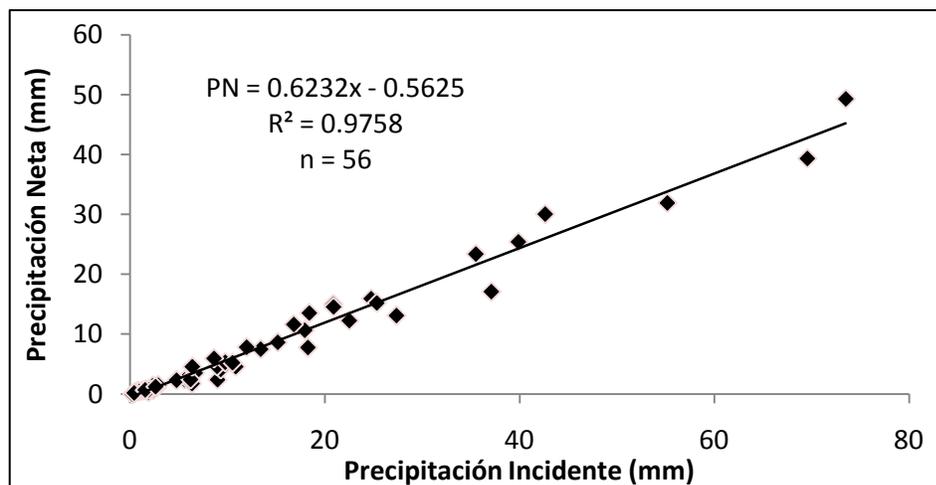


Figura 16. Relación entre la precipitación neta (mm) y la precipitación incidente (mm).

6.6 PÉRDIDAS POR INTERCEPCIÓN

Los resultados de las pérdidas por intercepción del dosel del matorral espinoso tamaulipeco se presentan en la Tabla 2. Rangos de intercepción e intercepción total para el dosel del MET con base en 56 eventos de lluvia. Se estimó un valor de 37.7% con un rango de intercepción entre 0.23 a 30.2 mm, correspondiendo del 26.5 al 100% de intercepción cuando no se presentó translocación de la lluvia.

Tabla 2. Rangos de intercepción e intercepción total para el dosel del MET con base en 56 eventos de lluvia.

Tipo de dosel	Rango de intercepción		Intercepción total	
	(mm)	(%)	(mm)	(%)
<i>MET</i>	0.23 - 30.19	26.5 - 100	314.01	37.7

El total de precipitación interceptada en los 56 eventos fue de 314.0 mm de 749.8 mm de precipitación incidente, con un coeficiente de determinación relativamente alto de $R^2 = 0.9364$ (Figura 17). El resumen del análisis de regresión entre las pérdidas por intercepción del dosel presente en el MET y la precipitación incidente se presenta en el Tabla 3.

Tabla 3. Resumen del análisis de regresión para describir las pérdidas por intercepción del MET.

Dosel	n	Y-valor del intercepto (β_0)			Pendiente (β_1)			R^2 Ajustado
		(β_0)	(EEE)	(valor-P)	(β_1)	(EEE)	(valor-P)	
<i>MET</i>	56	0.377	0.088	<0.001	0.5519	0.754	0.471	0.935

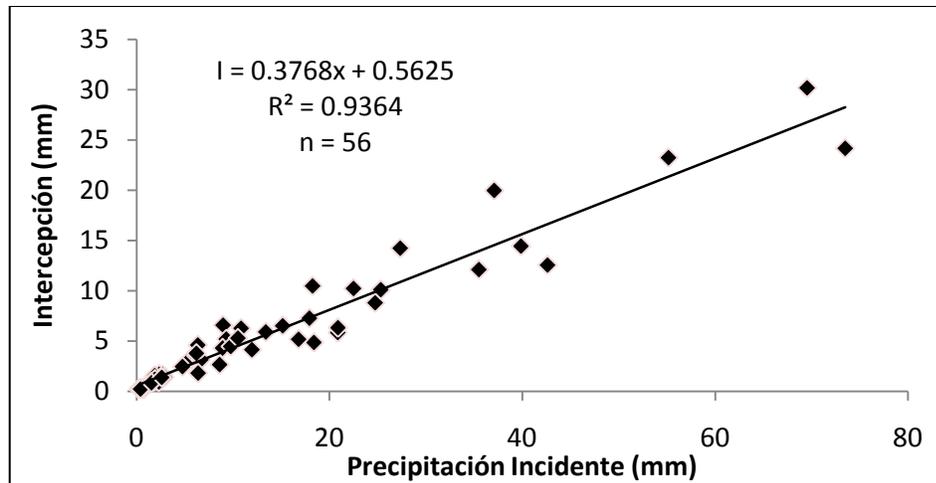


Figura 17. Relación entre las pérdidas por interceptación (mm) y la precipitación incidente (mm).

En la Figura 18, se presenta un análisis individual de las precipitaciones ocurridas en el área de estudio donde se colectaron 56 eventos de lluvia, se observa el comportamiento de la precipitación incidente y de las pérdidas por interceptación para cada evento ocurrido, en general se muestra que la lluvia que se deposita al suelo no es una fracción constante de la lluvia total, como se observa en el grafico las lluvias incipientes tienden a ser más interceptadas.

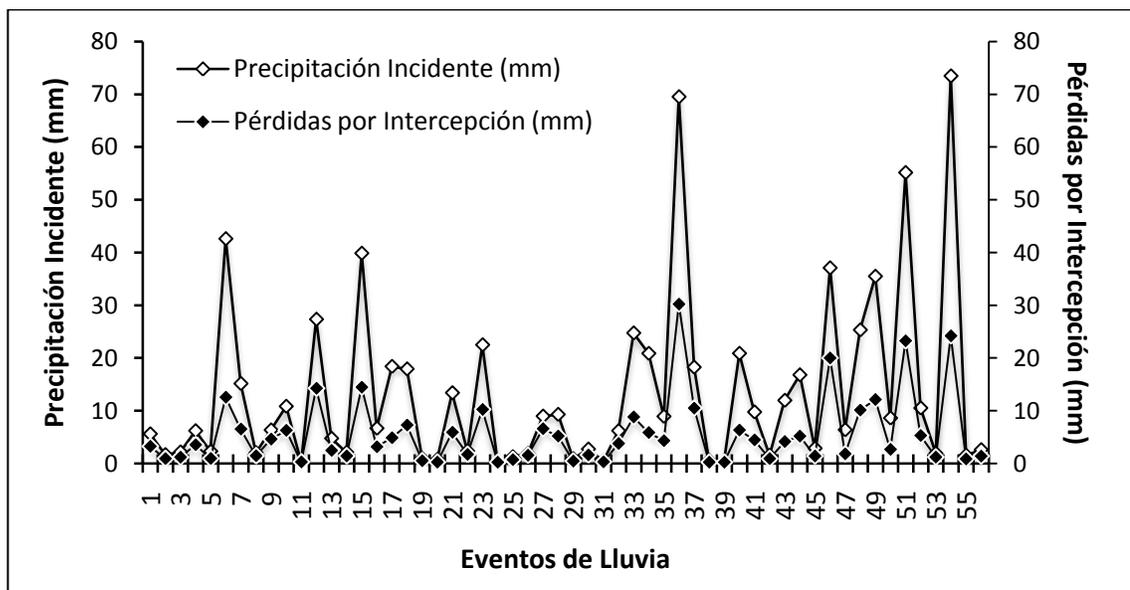


Figura 18. Análisis individual de las pérdidas por interceptación relacionado con la precipitación incidente con base a 56 eventos de lluvia.

6.7 CAPACIDAD DE ALMACENAJE

Se encontró que la cantidad de lluvia estimada para saturar el dosel fue analizada con 16 eventos de lluvia con valores menores a 2.5 mm, estimándose en 0.176 mm (Figura 19), con una $R^2 = 0.5982$, este valor de coeficiente de determinación refleja la variabilidad de los doseles del MET, así como el escaso número de eventos menores a 2.5 mm para poder relacionar esta capacidad de almacenaje con la cantidad de lluvia interceptada, aunque el valor de saturación es similar a lo encontrado por Cantú y González (2005), en tres especies de un ecosistema similar, con valores entre 0.14 y 0.24 mm.

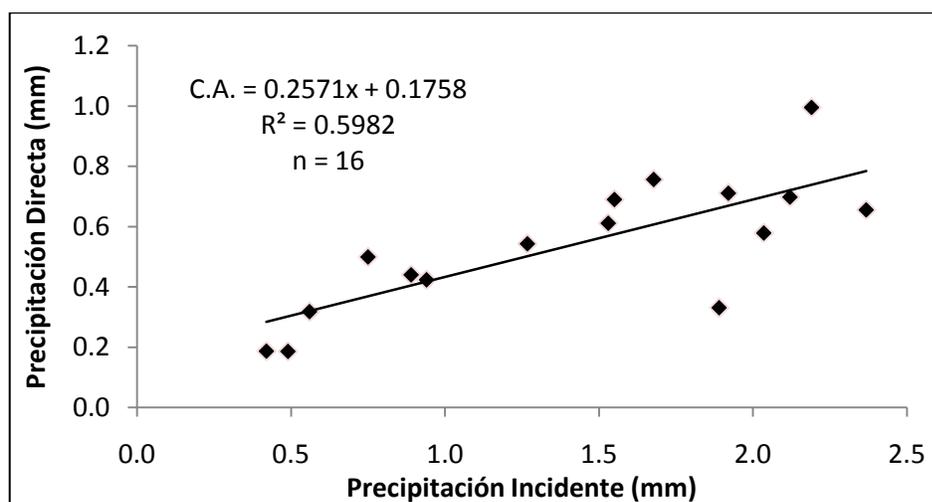


Figura 19. Relación entre la capacidad de almacenaje del dosel (mm) y la precipitación incidente (mm).

6.8 PLUVIOLAVADO (PH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA)

El agua que fluye a través del dosel de la vegetación, cambia químicamente su composición, ya sea por el lavado de los elementos depositado en seco o debido a la lixiviación de nutrientes desde el follaje y/o adsorción directa de los iones presentes en el agua de lluvia. En este estudio se determinó de las propiedades fisicoquímicas del pluviolavado, a través de mediciones del pH y conductividad eléctrica de los componentes de las propiedades hidrológicas.

pH

En la Tabla 4, se muestran los resultados promedios obtenidos en la determinación del pH para los componentes estudiados, donde la precipitación incidente presento un valor mayor con 7.44 de pH a lo obtenido en la precipitación directa y el escurrimiento fustal, donde se obtuvieron valores de pH de 7.23 y 6.95, respectivamente, la variación entre los valores que se presentan se observa una desviación estándar mínima, con valores de 0.34 a 0.40 de pH.

Tabla 4. Valores de pH promedio en precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento fustal.

pH	Precipitación Incidente	Precipitación Directa	Escurremient Fustal
<i>n</i>	48	48	25
<i>Promedio</i>	7.44	7.23	6.95
<i>Desviación estándar</i>	0.34	0.40	0.37

El comportamiento del pH para los componentes de precipitación incidente y precipitación directa que fluye a través del dosel del fragmento del MET, se presenta en el Figura 20. De los 48 eventos donde se cuantificó y se analizó el pH se presentaron diversos tipos de eventos en donde la mayoría fueron menores a 30 mm.

El evento 24 fue el que presentó el valor más bajo de pH para la precipitación incidente con pH de 6.35, mientras que para la precipitación directa el valor más bajo ocurrió en el evento 35 con un pH de 6.36. Los valores más altos de pH se registraron para la precipitación incidente y precipitación directa en los eventos 27 y 29 con un pH de 8.12 y 8.17 respectivamente.

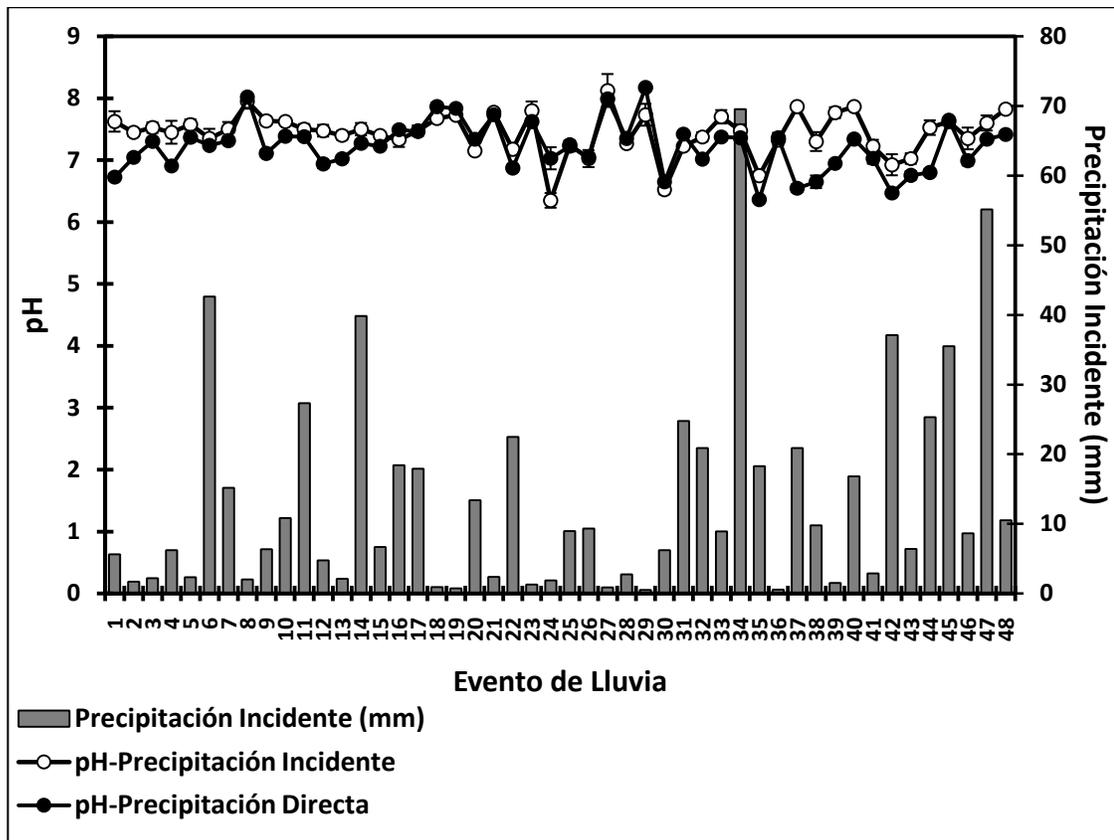


Figura 20. Valores y comportamiento individual del pH para la precipitación incidente y la precipitación directa.

El escurrimiento fustal es un componente que involucra una pequeña proporción de la lluvia, por lo que únicamente se cuantificó en 25 eventos de los registrados durante el periodo de estudio. Para comparar la precipitación incidente y precipitación directa con los valores obtenidos para el escurrimiento fustal, se tomaron solo los eventos en donde se registraron los tres componentes.

Se observa que los valores de pH en la precipitación incidente y precipitación directa son mayores a lo observado en el escurrimiento fustal representando esto una ligera acidificación del agua que llega al suelo cuando esta fluye a través del dosel y fuste, el evento que registro un menor valor de pH es el evento 16 con 6.14, mientras que en el evento 15 ocurrió el valor mayor de pH con 7.53 (Figura 21).

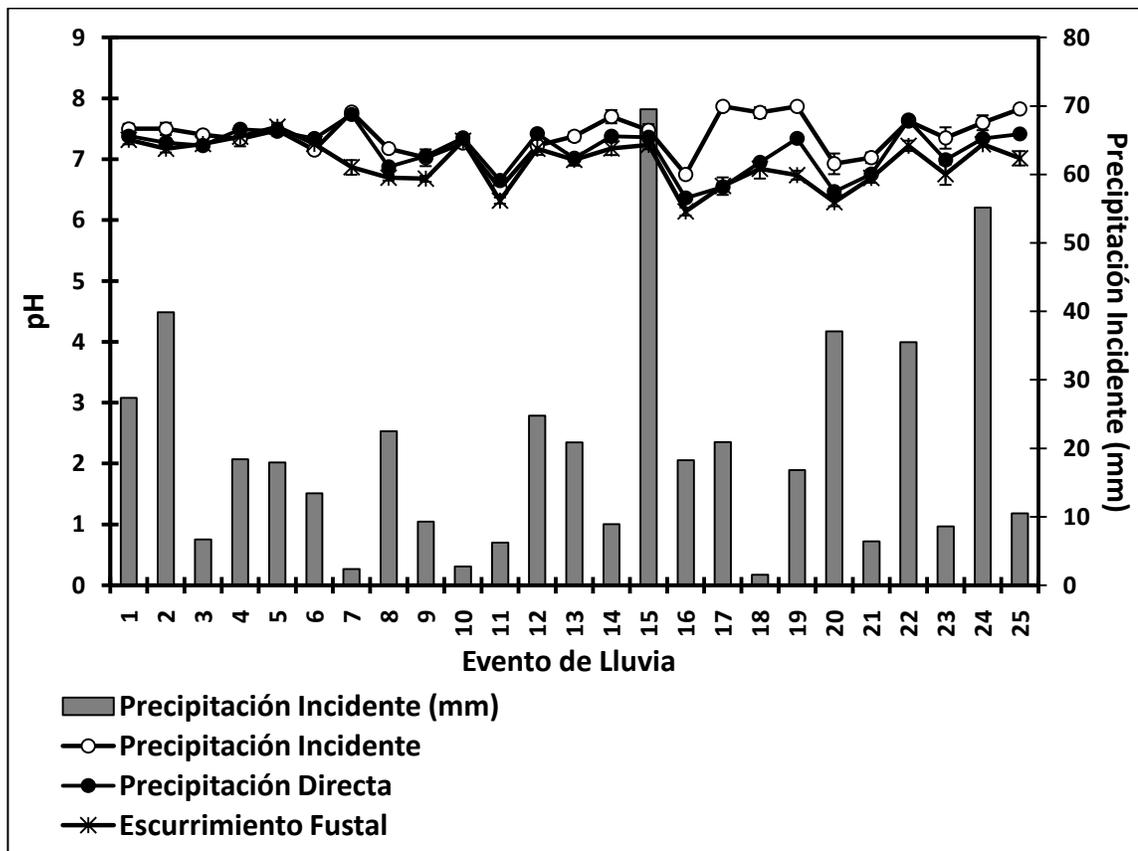


Figura 21. Comportamiento de pH obtenidos en 25 eventos para los tres componentes hidrológicos estudiados.

Conductividad eléctrica

Los resultados obtenidos de la conductividad eléctrica para el pluviolavado se muestran en la Tabla 5, donde se observa que la precipitación incidente cambió químicamente al pasar la precipitación a través del dosel y del fuste, llegando al

suelo un agua ligeramente más salina. La precipitación directa durante el pluviolavado incremento su CE al modificarla 2.8 veces en promedio al fluir por el dosel de las especies del matorral espinoso tamaulipeco con valores de $51.65 \mu\text{S cm}^{-1}$ en precipitación incidente a $146.6 \mu\text{S cm}^{-1}$ para la precipitación directa. Al pasar la lluvia a través del fuste también se incrementó la concentración química de cationes que duplicaron el valor de la conductividad eléctrica a diferencia de la lluvia directa al suelo con un valor promedio de $129.4 \mu\text{S cm}^{-1}$ para el escurrimiento fustal.

Tabla 5. Valores de CE promedio en precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento fustal.

Conductividad eléctrica	Precipitación Incidente	Precipitación Directa	Escurrimiento Fustal
<i>n</i>	48	48	25
<i>Promedio ($\mu\text{S cm}^{-1}$)</i>	57.65	146.61	129.44
<i>Desviación estándar</i>	38.72	94.61	90.11

Los resultados obtenidos para la conductividad eléctrica en los componentes de precipitación incidente y precipitación directa a través de 48 eventos de lluvia, se muestra en la Figura 22, se observa que a través de los eventos los valores de precipitación incidente son menores en comparación de la lluvia que atraviesa el dosel, tal como se mencionó anteriormente.

El evento 34 es donde se presentó un valor más bajo de conductividad eléctrica tanto para la precipitación incidente como para la precipitación directa con un valor de 14.97 y $23.89 \mu\text{S cm}^{-1}$. Mientras que el valor más alto de conductividad eléctrica correspondió al evento 21 con un valor de $155.05 \mu\text{S cm}^{-1}$ para la precipitación incidente y el evento 12 con $373.8 \mu\text{S cm}^{-1}$ para la precipitación directa.

También se muestra claramente en la Figura 22, como a mayor precipitación ocurrida se presenta una disminución en los valores de la conductividad

eléctrica ocurrida, esto a la dilución de las partículas existentes en el pluviolavado.

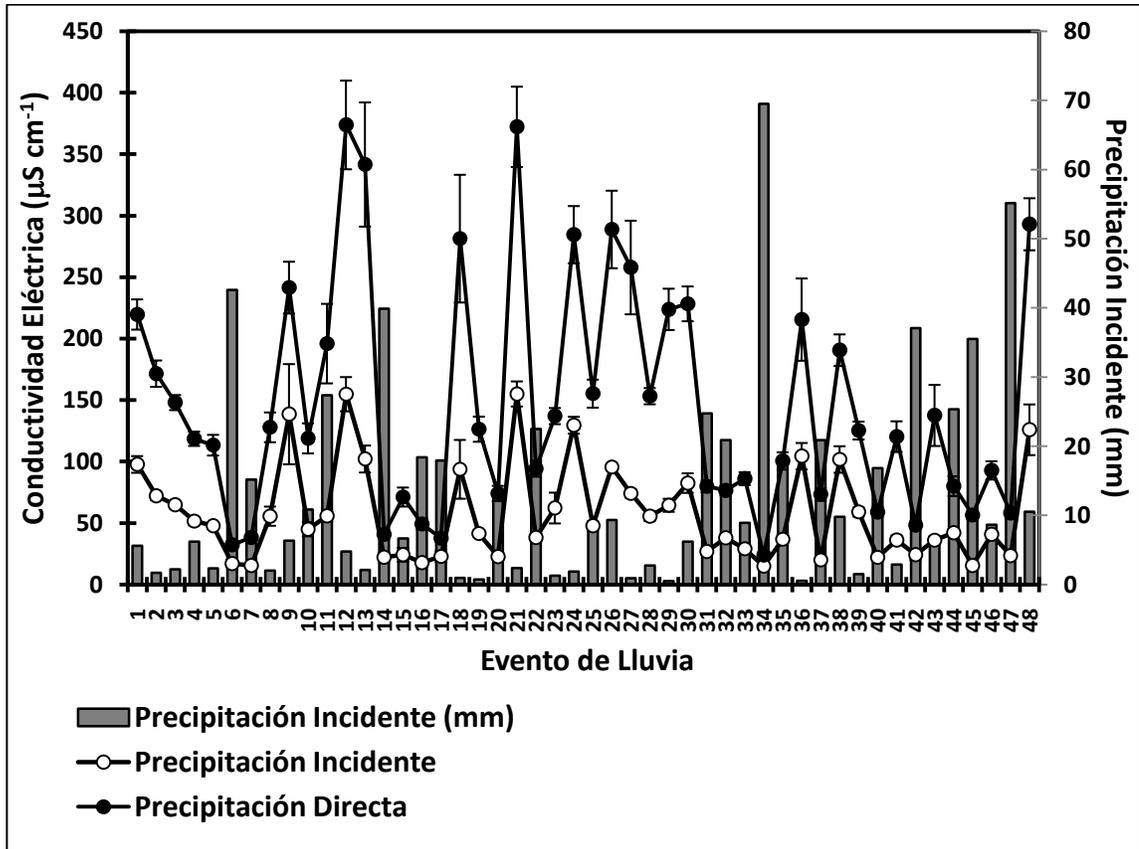


Figura 22. Valores y comportamiento individual de la conductividad eléctrica para cada componente de precipitación.

Al igual que el análisis pH, la conductividad eléctrica fue analizada en 25 eventos donde se presentó el escurrimiento fustal. La Figura 23 muestra claramente la tendencia de la conductividad eléctrica de la precipitación que fluye a través del dosel y así como del escurrimiento fustal. Se observa que los valores de la precipitación incidente son menores a los otros dos componentes que muestran valores similares en eventos donde se registra una mayor cantidad de precipitación, a diferencia en eventos de baja proporción donde se muestra una marcada diferencia entre los tres componentes para la mayoría de los eventos registrados.

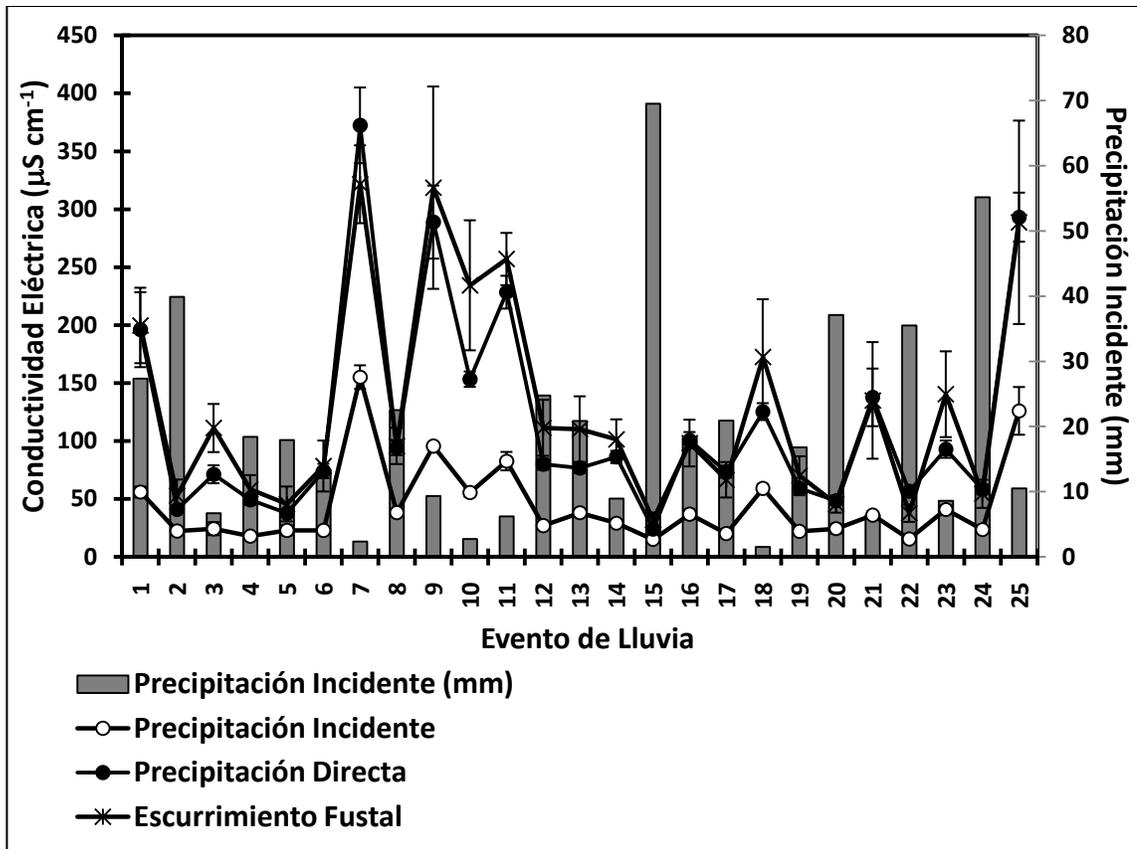


Figura 23. Comportamiento de la conductividad eléctrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) obtenidos en 25 eventos para los tres componentes hidrológicos estudiados.

6.8.1 ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA PRUEBA KRUSKAL-WALLIS

Los valores de pH y conductividad eléctrica que se obtuvieron a través de los eventos de lluvia para la precipitación incidente, precipitación directa y el esguerrimiento fustal, se sometieron a un análisis estadístico mediante la prueba no-paramétrica de Kruskal-Wallis debido a que los datos no cumplían los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza.

Se realizó dos análisis de las variables pH y conductividad eléctrica, en el primero se comparó la precipitación incidente con la precipitación directa en 48 eventos de lluvia registrados para las dos variables, mientras que en el segundo

análisis se sometieron 25 eventos de lluvia donde se involucró al escurrimiento fustal comparándolo de igual manera con la precipitación incidente y la precipitación directa para las dos variables (pH y conductividad eléctrica). El resumen del análisis de la prueba Kruskal-Wallis, para detectar diferencias significativas en las variables de pH y conductividad eléctrica para la precipitación incidente y precipitación directa se presenta en la Tabla 6.

Los resultados obtenidos en este análisis, para la variable de pH ocurrieron 26 eventos que presentan diferencias significativas ($P < 0.05$), de los 48 eventos analizados. Mientras que para la variable de conductividad eléctrica, en 45 eventos existen diferencias significativas ($P < 0.05$), únicamente en tres eventos no se presentaron diferencias significativas, lo que indica que la lluvia del pluviolavado que fluye a través del dosel es químicamente diferente a la lluvia de la precipitación incidente en la mayoría de los eventos ocurridos.

Tabla 6. Resumen del análisis de la prueba de Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas. Valores P en negritas ($P < 0.05$) indican diferencias en las variables de pH y conductividad eléctrica en los 48 eventos analizados de precipitación incidente y precipitación directa.

Evento	Fecha de evento	pH		C.E.	
		χ^2	valor p	χ^2	valor p
1	18/09/11	9.6380	0.002	9.5090	0.002
2	19/09/11	7.9170	0.005	9.6000	0.002
3	23/09/11	4.1760	0.041	9.3910	0.002
4	29/09/11	9.1768	0.002	9.1429	0.002
5	01/10/11	2.2211	0.136	8.6667	0.003
6	09/10/11	1.7691	0.183	7.8400	0.005
7	10/10/11	2.4226	0.120	7.4390	0.006
8	11/10/11	0.1177	0.732	8.5804	0.003
9	08/11/11	6.5546	0.010	3.1587	0.076
10	09/11/11	5.4421	0.020	8.7353	0.003
11	09/12/11	1.3323	0.248	9.5000	0.002
12	28/01/12	8.4161	0.004	9.2788	0.002
13	29/01/12	7.0753	0.008	7.7143	0.005
14	04/02/12	4.7079	0.030	5.3088	0.021
15	05/02/12	3.5109	0.061	6.6125	0.010
16	07/02/12	1.9830	0.159	7.1126	0.008

17	10/02/12	0.0034	0.954	5.1282	0.024
18	16/02/12	2.5490	0.110	3.7647	0.052
19	16/02/12	3.1143	0.078	8.2500	0.004
20	24/02/12	4.9303	0.026	8.6667	0.003
21	08/03/12	0.0562	0.813	9.6042	0.002
22	27/03/12	7.1377	0.008	9.6000	0.002
23	29/03/12	1.0133	0.314	9.2788	0.002
24	06/04/12	6.2207	0.013	8.0176	0.005
25	08/04/12	0.0096	0.922	7.0000	0.008
26	17/04/12	0.0034	0.954	8.6667	0.003
27	09/05/12	0.1209	0.728	7.3846	0.007
28	11/05/12	1.0766	0.299	6.7500	0.009
29	14/05/12	6.5822	0.010	7.7143	0.005
30	15/05/12	2.1876	0.139	9.6042	0.002
31	31/05/12	8.7912	0.003	9.6000	0.002
32	01/06/12	7.0672	0.008	9.2727	0.002
33	18/06/12	6.0199	0.014	9.6000	0.002
34	20/06/12	0.3885	0.533	4.7040	0.030
35	30/06/12	7.2833	0.007	8.2139	0.004
36	01/07/12	0.0615	0.804	3.7556	0.053
37	13/07/12	7.2703	0.007	9.0000	0.003
38	05/08/12	6.1395	0.013	6.0000	0.014
39	13/08/12	7.4653	0.006	9.2727	0.002
40	20/08/12	7.6731	0.006	9.5047	0.002
41	22/08/12	1.3469	0.246	7.0000	0.008
42	29/08/12	6.8517	0.009	6.2051	0.013
43	30/08/12	4.5094	0.034	6.8824	0.009
44	13/09/12	8.9720	0.003	8.4706	0.004
45	14/09/12	0.0062	0.937	9.6084	0.002
46	23/09/12	3.0153	0.082	8.2500	0.004
47	14/10/12	3.9132	0.048	9.5047	0.002
48	14/11/12	8.4927	0.004	8.0128	0.005

El segundo análisis de la prueba de Kruskal-Wallis para las mismas variables de pH y conductividad eléctrica, donde se agregó el componente de la lluvia que llega al suelo por escurrimiento fustal, comparándolo con la precipitación incidente y la precipitación directa para 25 eventos registrados, mostro una tendencia similar al primer análisis realizado, para el pH resultaron 16 eventos en donde existen diferencias significativas ($P < 0.05$) de los 25 eventos

registrados, mientras que para la conductividad eléctrica, 22 eventos presentan diferencias significativa ($P < 0.05$) de los 25 eventos analizados. El resumen de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas en las variables de pH y conductividad para la precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento fustal se presenta en la

Tabla 7.

Tabla 7. Resumen del análisis de la prueba de Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas. Valores P en negritas ($P < 0.05$) indican diferencias en las variables de pH y conductividad eléctrica en los 25 eventos analizados de precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento fustal.

Evento	Fecha de evento	pH		C.E.	
		χ^2	valor p	χ^2	valor p
1	09/12/11	2.189	0.335	10.514	0.005
2	04/02/12	6.902	0.032	4.696	0.096
3	05/02/12	3.679	0.159	9.159	0.010
4	07/02/12	3.332	0.189	7.722	0.021
5	10/02/12	0.099	0.952	5.114	0.078
6	24/02/12	5.058	0.080	9.418	0.009
7	08/03/12	13.485	0.001	10.170	0.006
8	27/03/12	12.061	0.002	10.381	0.006
9	17/04/12	10.129	0.006	9.669	0.008
10	11/05/12	1.310	0.519	9.263	0.010
11	15/05/12	13.449	0.001	11.384	0.003
12	31/05/12	10.547	0.005	10.408	0.005
13	01/06/12	7.269	0.026	9.871	0.007
14	18/06/12	8.464	0.015	10.278	0.006
15	20/06/12	5.594	0.061	4.846	0.089
16	30/06/12	14.881	0.001	9.352	0.009
17	13/07/12	7.824	0.020	11.140	0.004
18	13/08/12	9.281	0.010	9.986	0.007
19	20/08/12	21.339	< 0.001	10.389	0.006
20	29/08/12	12.945	0.002	6.477	0.039
21	30/08/12	5.509	0.064	7.643	0.022
22	14/09/12	13.278	0.001	13.426	0.001
23	23/09/12	4.986	0.083	9.273	0.010
24	14/10/12	6.789	0.034	9.642	0.008
25	14/11/12	13.910	0.001	7.157	0.028

6.9 CARACTERIZACIÓN DE LA VEGETACIÓN

Los resultados obtenidos para el análisis de vegetación del matorral espinoso tamaulipeco (MET) del sitio de estudio, se registraron un total de 11 familias distribuidas en 18 especies con un total de 285 individuos en las 5 parcelas muestreadas. Entre las especies presentes en el área evaluada se encuentran; *Acacia rigidula*, *Amyris madrensis*, *Celtis pallida*, *Condalia hookeri*, *Forestiera angustifolia* y *Zanthoxylum fagara*, entre otras (Tabla 8).

Tabla 8. Especies vegetales registradas en el fragmento de MET estudiado.

Nombre científico	Nombre común	Familia
<i>Acacia rigidula</i> .	Chaparro prieto	Leguminosae
<i>Amyris madrensis</i>	Barretilla	Rutaceae
<i>Bernardia myricaefolia</i>	Oreja de ratón	Euphorbiaceae
<i>Syderoxylon celastrina</i>	Coma	Sapotaceae
<i>Caesalpinia mexicana</i>	Árbol del potro	Leguminosae
<i>Celtis pallida</i>	Granjeno	Ulmaceae
<i>Condalia hookeri</i>	Brasil	Rhamnaceae
<i>Cordia boissieri</i>	Anacahuita	Boraginaceae
<i>Diospyros texana</i>	Chapote negro	Ebenaceae
<i>Diospyros palmeri</i>	Chapote manzano	Ebenaceae
<i>Ehrentia anacua</i>	Anacua	Boraginaceae
<i>Helietta parvifolia</i>	Barreta	Rutaceae
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	Coyotillo	Rhamnaceae
<i>Parkinsonia aculeata</i>	Retama	Caesalpiaceae
<i>Havardia pallens</i>	Tenaza	Leguminosae
<i>Randia laetevirens</i>	Cruceto	Rubiaceae
<i>Forestiera angustifolia</i>	Panalero	Oleaceae
<i>Zanthoxylum fagara</i>	Colima	Rutaceae

Las especies con mayor dominancia de cobertura son *Diospyros texana* (Chapote negro) y *Condalia hookeri* (Brasil). La altura promedio de las especies presentes fue de 4.17 m y una cobertura promedio total de 109.14 m². Las especies que predominan son: *Diospyros texana* (Chapote negro) y *Havardia pallens* (Tenaza), las cuales presentan valores altos en abundancia, dominancia

y frecuencia para el área estudiada, siendo 48.25 y 36.2% de Índice de Valor de Importancia (IVI) respectivamente. Mientras que las especies con menor Índice de Valor de Importancia son *Caesalpinia mexicana*, *Helietta parvifolia* y *Parkinsonia aculeata* con valores de 2.15, 2.92 y 2.99% IVI respectivamente (Tabla 9).

El resultado obtenido al aplicar el Índice de Shannon-Wiener para el sitio de estudio dio un valor $H' = 2.46$ para el fragmento de matorral espinoso tamaulipeco (MET).

Tabla 9. Parámetros ecológicos estimados para las especies identificadas

Nombre científico	No. Individuos	Cobertura (m ²)	Altura (m)	A (%)	D (%)	F (%)	IVI (%)
<i>Diospyros texana</i>	45	8.10	5.14	15.79	24.39	8.06	48.25
<i>Havardia pallens</i>	43	4.53	5.42	15.09	1.77	8.06	36.21
<i>Condalia hookeri</i>	26	8.35	4.76	9.12	4.69	8.06	31.72
<i>Amyris madrensis</i>	38	2.49	1.76	13.33	2.06	8.06	27.78
<i>Zanthoxylum fagara</i>	26	5.90	4.33	9.12	13.06	8.06	27.65
<i>Forestiera angustifolia</i>	24	4.46	2.46	8.42	1.03	8.06	23.66
<i>Acacia rigidula</i>	19	3.65	3.42	6.67	4.24	8.06	19.42
<i>Celtis pallida</i>	15	4.03	3.70	5.26	14.53	8.06	17.52
<i>Cordia boissieri</i>	8	7.80	4.71	2.81	1.85	6.45	13.50
<i>Syderoxylon celastrina</i>	13	2.76	3.75	4.56	0.96	6.45	13.45
<i>Bernardia myricaefolia</i>	12	2.20	2.09	4.21	0.19	4.84	10.82
<i>Ehrentia anacua</i>	3	10.24	4.58	1.05	2.44	3.23	6.34
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	3	1.79	1.74	1.05	0.22	4.84	6.26
<i>Randia laetevirens</i>	4	0.84	2.28	1.40	7.17	3.23	4.85
<i>Diospyros palmeri</i>	3	9.35	3.99	1.05	10.46	1.61	4.52
<i>Parkinsonia aculeata</i>	1	15.54	7.27	0.35	4.19	1.61	2.99
<i>Helietta parvifolia</i>	1	14.26	7.15	0.35	0.36	1.61	2.92
<i>Caesalpinia mexicana</i>	1	2.85	6.50	0.35	6.39	1.61	2.15
Total	285	109.14	4.17	100	100	100	

A = abundancia; D = dominancia; F = frecuencia; IVI = índice de valor de importancia

7. DISCUSIÓN

Los resultados presentados en este estudio donde el objetivo fue estimar los valores de las propiedades hidrológicas en sus componentes precipitación incidente, precipitación directa, escurrimiento fustal, así como la capacidad de almacenamiento del dosel, valores de pH y conductividad eléctrica y la caracterización de la vegetación para un fragmento del matorral espinoso tamaulipeco (MET) presentaron los siguientes datos:

En un total de 56 eventos de lluvia registrados durante el periodo del 18 de septiembre de 2011 al 4 de diciembre de 2012, sumaron un total de 749.8 mm de precipitación incidente, en un rango de precipitaciones de 0.23 a 73.5 mm, donde la mayoría de las precipitaciones ocurridas con un 84% fueron menores a 25 mm. Del total de la precipitación el 61.7% paso a través del dosel como precipitación directa con un alto valor de determinación $R^2 = 0.97$ indicando una estrecha relación con la precipitación incidente.

El valor obtenido de la precipitación que fluye a través del dosel sugiere que es menor cuando se estudia en una comunidad en comparación a los resultados en especies individuales, tales como los reportados por Cantú y González (2005), quienes obtuvieron valores de precipitación directa entre 78 a 85% para tres especies del matorral submontano para la misma región de este estudio. Sin embargo en otro estudio, Yáñez *et al.* (2011), reportan valores de entre 65 a 85% para cuatro especies estudiadas ubicadas en plantaciones para la misma región, en donde establece que las diferencias en la cantidad de lluvia que fluye a través del dosel se debe principalmente a las características dasométricas y la proyección vertical del dosel.

García (2006), concluye que como resultado de la repartición de lluvia la cantidad total que llega al suelo bajo la copa de las plantas es menor que en los claro, puesto que una fracción de la lluvia interceptada se evapora en la copa,

sin embargo, la repetición de la lluvia da lugar a una distribución del agua en el suelo que favorece la disponibilidad de agua para las plantas y que está determinada por la estructura de las copas.

La variabilidad espacial de la lluvia que fluye a través del dosel del fragmento de MET estudiado, presento en promedio un coeficiente de variación de 28.8%, en un rango entre 11.7 a 61.8%, regido por la cantidad de precipitación incidente involucrada, ya que a menor cantidad de lluvia se presenta un mayor coeficiente de variación debido a los diferentes doseles presentes.

Conclusiones similares presentó Flores *et al.* (2003), quienes estudiaron los flujos de precipitación penetrante en bosques subtropicales de la Sierra Madre Oriental, analizando la variabilidad intra e inter-eventos, donde la variabilidad de la precipitación fue mayor entre los eventos de varias tormentas que entre los ocurrido en un mismo eventos, siendo más significativo en eventos pequeños donde la cobertura del dosel presenta una influencia reduciendo la precipitación penetrante y aumentando la variabilidad espacial.

Belmonte y Romero (1999b), en su estudio sobre la variabilidad espacial de la precipitación bajo cobertura de pino ponen en manifiesto que se producen importantes variaciones espaciales en la cantidad de lluvia que alcanza el suelo en los distintos sectores dentro de una misma parcela, presentando efectos en la distribución de la humedad del suelo, las propiedades fisicoquímicas del suelo así como el establecimiento de áreas preferenciales de inicio de escorrentía superficial.

Los resultados obtenidos para la fracción del escurrimiento fustal correspondieron solamente a 4.8 mm de la precipitación incidente siendo esto el 1% de total, para 29 eventos de lluvia donde se alcanzó a presentar el escurrimiento fustal, el coeficiente de determinación correspondió a $R^2 = 0.8824$. El valor obtenido de escurrimiento fustal es relativamente bajo y

generalmente en especies arbustivas en estos tipos de ecosistemas es difícil de cuantificar. Cantú y González (2005), indica que este componente representa una mínima proporción de la precipitación incidente para especies del matorral.

Ahora bien, estos valores obtenidos que son relativamente bajos puede deberse al traslape de las copas, las cuales juega un papel importante al cambiar el flujo del agua del escurrimiento convirtiéndose en precipitación directa.

Pizarro *et al.* (2008), concluyen en su estudio de comparación entre bosques nativos y plantaciones de *Pinus radiata*, que el factor superposición de copas y el volumen de copas influyen directamente en la intercepción.

Wang *et al.* (2011), estudiaron el escurrimiento fustal en arbustos xerófilos y concluye que este tipo de ecosistema donde las precipitaciones suelen ser pequeñas y de baja intensidad, el escurrimiento fustal es de gran importancia para mantener la humedad del suelo.

Por otra parte, Murakami (2009) menciona que las cantidades del escurrimiento fustal están influenciadas por la arquitectura del árbol y la edad reportando una disminución en valores de 5.9 a 2.8% durante el periodo de un año.

El total de precipitación interceptada en los 56 eventos fue de 314.01 mm de los 749.8 mm de precipitación incidente, correspondiendo el 37.7% a pérdidas por intercepción, indicando que por cada 100 mm, 37.7 mm se pierden generalmente por evaporación, quedando lo restante para continuar el ciclo hidrológico mediante la infiltración y escorrentía.

El rango de intercepción obtenido varió entre 0.23 a 30.2 mm, es decir del 26.5 al 100% cuando no se presentó translocación de lluvia. Con un coeficiente de determinación relativamente alto de $R^2 = 0.9364$.

Según Belmonte *et al.* (1999), estudios realizados para ambientes áridos y semiáridos, las pérdidas por intercepción pueden resultar más elevadas que en medios templados llegando a ser en algunos casos superiores al 35%. En general la mayoría de los estudios sobre pérdidas por intercepción de lluvia que se han realizado en zonas áridas y semiáridas se efectúan para especies en particular establecidas en plantaciones o individuos aislados o que predominan dentro de la comunidad (Cantú y González, 2005; Návar *et al.*, 2008; Mastachi *et al.*, 2010; Cantú *et al.*, 2012; Flores *et al.*, 2013).

En un estudio donde se comparó los valores de intercepción en especies establecidas en plantaciones pertenecientes al mismo ecosistema tales como *Acacia rigidula*, *A. berlandieri*, *Diospyros texana*, *Prosopis laevigata*, *Helietta parvifolia* y *Ebenopsis ebano* presentaron valores de 15, 18, 22, 25, 33 y 34%, respectivamente (Cantú *et al.*, 2012). En comparación, el valor alto de la intercepción para el MET se debe a la cobertura de los doseles dentro del matorral y entre las especies a la diferencia en las características de los doseles.

Los resultados difieren contrastantemente con lo reportado por Charles (1998), quien obtuvo un valor de 18.8% de pérdidas por intercepción para una comunidad de MET cercana al sitio de estudio. Návar *et al.* (2008), registraron valores de pérdidas por intercepción para las especies de *P. pallens*, *A. berlandieri*, *E. ebano* y *A. rigidula*, valores de 5.96, 7.63, 13.38 y 18.68%, respectivamente asociados a diferencias en los parámetros de biomasa y la estructura de la copa de los arbustos estudiados.

González *et al.* (2009), citado por Guevara *et al.* (2010), reportaron valores para el dosel de *Prosopis laevigata* entre 21 y 27% de pérdidas por intercepción para dos sitios de estudios. Mastachi *et al.* (2010), reporto para las especies *P. laevigata* y *Acacia farnesiana* valores de intercepción promedio entre 20.6 y 22%, respectivamente.

Otro estudio realizado en una comunidad de matorral inerme espinoso donde predominan *Acacia farnesiana* (Huizache) efectuada en Atotomilco el Grande, Hidalgo obtuvieron mediante un modelo de regresión tipo logarítmico una intercepción promedio de 18.6% y una $R^2 = 0.4076$ y una variabilidad de 40.7%, durante eventos medidos en el año 2007, concluyen que existen otras variables no consideradas que explicarían el comportamiento del proceso de intercepción (Flores *et al.*, 2013).

El comportamiento por evento ocurrido de las precipitaciones mostró que la lluvia que llega al suelo no es una fracción constante de la lluvia total, ya que las lluvias incipientes tienden a ser más interceptadas las cuales pueden llegar al 100%. Córcega y Silva (2011), concluyen que para precipitaciones pequeñas (menores a 2.5 mm), el porcentaje de intercepción puede llegar hasta 100%, lo cual sugiere que alrededor de este valor de precipitación estaría la capacidad máxima de retención de agua en el follaje.

La estimación de la capacidad de almacenamiento de los doseles presentes en el MET, se estimó en 0.17 mm para 16 eventos que se registraron con valores de lluvia menores a 2.5 mm, se presentó un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.5982$ donde se entiende que otros factores influyen en la capacidad de almacenaje del dosel. Valores similares fue reportado para tres especies de un ecosistema similar entre 0.14 y 0.24 mm por Cantú y González (2005).

Los resultados de pH y conductividad eléctrica nos reflejan de manera indirecta el comportamiento químico de la composición del agua de lluvia a pasar a través del dosel o escurrir por el fuste del árbol, debido al lavado de los elementos depositados en seco y/o a la lixiviación de nutrientes desde el follaje, así como también a la adsorción directa por las copas de los iones presentes en el agua de lluvia. Los resultados muestran el cambio del pH con un valor de 7.4 para la precipitación incidente disminuyendo ligeramente a 7.2 para la precipitación directa hasta 6.9 para el escurrimiento fustal. Esta misma

tendencia en disminución de los valores de pH a través del pluviolavado pero sin cambios significativos entre ellos, ocurrieron en un estudio para un ecosistema similar donde Yáñez *et al.* (2011), reportan valores de pH de 6.6 para la precipitación incidente, 6.5 en precipitación directa y 6.3 para el escurrimiento fustal en 4 especies estudiadas.

Los resultados de la conductividad eléctrica muestran que hubo un cambio químico a través del pluviolavado del MET, presentando un ligero aumento en la salinidad, la precipitación incidente dio como resultado en la conductividad eléctrica de $71.7 \mu\text{S cm}^{-1}$, duplicándose ese valor al fluir a través del dosel de las especies presentes en el MET a $145 \mu\text{S cm}^{-1}$, para el escurrimiento fustal también aumentó en promedio a $126.8 \mu\text{S cm}^{-1}$. Tendencias similares en aumento de la conductividad eléctrica para la precipitación directa y el escurrimiento fustal se presentó en estudios tales como Cantú y González (2002), para un bosque de pino, encino y pino-encino. Así como Yáñez *et al.* (2011), para 4 especies establecidas en plantaciones para la misma región de estudio.

El análisis estadístico mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, al no presentar los datos una normalidad y homogeneidad de varianza, indicó que existen diferencias significativas entre los eventos en los tres componentes, precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento fustal para las variables de pH y conductividad eléctrica, los que indica el lavado o asimilación de partículas en seco que altera químicamente el agua de lluvia que llega al suelo después de que fluye a través del dosel y/o fuste.

Uno de los principales factores que influye en la cantidad de agua interceptada son las características de la vegetación (Huber, 2003), conocer el estatus de la vegetación arbustiva y arbórea relacionándola con las propiedades hidrológicas es de vital importancia para considerar el manejo que se puede dar a la vegetación con el fin de disminuir las pérdidas por intercepción y mejorar la cantidad de agua que llega al suelo.

Los resultados obtenidos de la caracterización para la vegetación del MET donde se identificaron 18 especies, presentan una altura promedio de 4.17 m y una cobertura promedio total de 109.14 m² para las cinco parcelas muestreadas.

Las especies que predominan son *Diospyros texana* y *Havardia pallens* con IVI de 48.3 y 36.2%, respectivamente. Siendo *D. texana* una de las especies que presenta una mayor cobertura para el MET estudiado. En el estudio efectuado por Cantú y González (2005), de las especies que investigaron se encuentra *D. texana* la cual reporto un valor de pérdidas por intercepción de 22%, siendo la de mayor valor en ese estudio. Sin embargo fuera de esta especie no existen trabajos que relacione este tipo de vegetación con las propiedades hidrológicas.

Por otra parte el fragmento de MET mostró un valor de diversidad alfa de $H' = 2.46$ de acuerdo al Índice de Shannon-Wiener, valor similar a otros ecosistemas del noreste de México, donde la variación en el patrón de la diversidad de las especies está dada por las condiciones microclimáticas del sitio, el ambiente físico y condiciones ecológicas del hábitat, y en cierta medida a los cambios de uso de suelo (Alanís *et al.*, 2008; González *et al.*, 2010).

García (2006), hace un exhaustivo trabajo comparando tres especies con diferentes estructuras de copas y sistemas radiculares para un ecosistema semiárido en Almería, España y concluye que existe una estrecha relación entre la estructura de la copa, la partición de lluvia y la estructura del sistema radicular, además de que existen diferencias en la distribución de la lluvia a lo largo de la vida de las plantas, presentando mayor habilidad las plantas pequeñas para canalizar la lluvia a la base del tallo, debido a que la estructura de la copa es más lineal, con el crecimiento aumenta la ramificación y aparecen estructuras reproductivas y defensivas (espinas) que confiere a una estructura más compleja reflejando una disminución de la escorrentía.

El efecto de la vegetación sobre el comportamiento de los procesos hidrológicos y los aportes de agua al suelo fue estudiado por Huber (2003), quien estudio el

efecto del establecimiento de plantación de *Pinus radiata* sobre los recursos hídrico en un matorral de espino (*Acacia caven*), los efectos de la plantación fueron negativos para la disponibilidad del agua ya que redujo la cantidad de precipitaciones que alcanzaron el suelo y aumento el consumo de agua por evapotranspiración. Así como también por Huber y Trecaman (2004), compararon en dos sitios el efecto del raleo sobre una plantación de *Pinus radiata*, concluyendo que la reforestación reduce la cantidad de agua que llega al suelo atenuándose con un adecuado manejo de la densidad.

CAPÍTULO V

8. CONCLUSIONES

En el fragmento de matorral espinoso tamaulipeco (MET) estudiado se identificaron 18 especies, de las cuales *Diospyros texana* y *Condalia hookeri*, presentan mayor dominancia de cobertura influyendo en el comportamiento de las propiedades hidrológicas.

La caracterización del fragmento del MET presenta una diversidad de Shannon-Wiener (H') de 2.46, valor comúnmente encontrado para ecosistemas del noreste de México, por lo que sitios similares pudiesen presentar el mismo comportamiento en cantidad de agua interceptada. La interacción entre la vegetación y el comportamiento de las precipitaciones es de significancia considerable desde el punto de vista, hidrológico y ecológico. Cualquier manejo que se haga a la vegetación influirá en los procesos hidrológicos y de los aportes de agua al suelo.

Durante aproximadamente 15 meses de mediciones se registraron 56 eventos de lluvias con un total de 749.8 mm de precipitación incidente, donde el 84% de las precipitaciones fueron menores a 25 mm y solo el 5% para lluvias mayores a 50 mm.

El dosel del MET permitió una translocación del 61.7% de precipitación directa, obteniéndose mayor translocación de lluvia dentro del matorral, a diferencia los estudios realizados para especies individuales, esto debido a la diversidad de especies que presenta un traslape de copas influyendo en la variabilidad espacial, la cual en promedio resultó en un valor de 28.8% de coeficiente de variación, en donde a menor cantidad de lluvia se presenta una mayor diferencia en la variación de lluvia translocada.

El escurrimiento fustal represento una mínima proporción de la precipitación involucrada del 1%, valor comúnmente encontrado para estos tipos de ecosistemas de especies arbóreas y arbustivas donde es difícil cuantificar este componente de manera general. Además debido al traslape de copas se observó que este componente cambiaba de dirección al pasar a ser cuantificado como precipitación directa.

La capacidad del almacenamiento del dosel de las especies presentes en el MET, se estimó en un valor de 0.17 mm valor de saturación generalmente encontrada en este tipo de especies y que presenta una característica importante en el rendimiento del agua en estos ecosistemas semiáridos.

El análisis de pH y conductividad eléctrica del pluviolavado de acuerdo a las pruebas realizadas a través de eventos, presentó variaciones químicas en su composición conforme la lluvia fluía a través del dosel, indicando de manera indirecta el comportamiento por el lavado de los elementos depositados en seco o a la lixiviación de nutrientes desde el follaje y/o adsorción directa por las copas de los iones presentes en el agua de lluvia.

El fragmento de MET estudiado registró un porcentaje de pérdidas por intercepción de lluvia con un valor de 37.7%, lo cual representa una pérdida significativa del recurso hídrico en este tipo de ecosistemas semiáridos, ya que este es el factor limitante principal para la región noreste de México.

Las pérdidas por intercepción, precipitación directa, escurrimiento fustal y pluviolavado bajo la cobertura del MET fueron diferentes dependiendo del tipo de evento de lluvia.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Alanís E., Jiménez J., Aguirre O., Treviño E., Jurado E. y González M. 2008. Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco. *Ciencia UANL XI (1): 56-62.*
- Ahmadi M., Attarod P., Marvi M., Rahmani R. y Fathi J. 2009. Partitioning rainfall into throughfall, stemflow, and interception loss in an oriental beech (*Fagus orientalis* Lipskiy) forest during the growing season. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry 33: 557-568.*
- Aston A. 1979. Rainfall interception by eight small trees. *Journal of Hydrology 42: 383-386.*
- Augusto M., De Araújo J. y Bronstert A., 2009. Interception measurements and assessment of Gash model performance for a tropical semi-arid region. *Revista Ciencia Agronómica 40 (2): 165-174.*
- Ayllón T. 1996. Elementos de meteorología y climatología, Trillas. México. 197 p.
- Becerra F., Flores E. y Buendía E. 2009. Estudios de interceptación de lluvia por vegetación forestal en Atotonilco el Grande, Hidalgo. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. *Innova Ciencia 1. 40 p.*
- Belmonte F. y Romero A. 1999a. Interceptación en algunas especies del Matorral Mediterráneo. 1ª edición. Universidad de Murcia. 202 p.
- Belmonte F. y Romero A. 1999b. Balance hídrico y distribución espacial de la trascolación bajo cobertura de pino: Influencia de la dirección del viento y la pendiente de la ladera. *Lurralde investigación y espacio. 22: 339-350.*
- Belmonte F., Romero A. y López F. 1996. Volumen y variabilidad espacial de la lluvia trascolada bajo bosque y matorral mediterráneo semiárido. *Ecología 10: 95-104.*
- Belmonte F., Romero A., López F. y Hernández L. 1999. Óptimo de cobertura vegetal en relación a las pérdidas de suelo por erosión hídrica y las pérdidas de lluvia por interceptación. *Papeles de Geografía No. 30: 5-15.*

- Bravo R. 2011. Redistribución de las precipitaciones en un renoval de Roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst.) en la Comuna de Máfil, Región de los Ríos, Chile. Tesis de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 55 p.
- Campos D.F. 1988. Procesos del ciclo hidrológico. Tercera reimpresión. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, S.L.P., México. 27 p.
- Cantú I. y Okumura T. 1996a. Rainfall partitioning in a mixed white oak forest with dwarf bamboo undergrowth. *Journal of Environmental Hydrology* 4: 1-16.
- Cantú I. y Okumura T. 1996b. Throughfall, stemflow and interception loss in a mixed white Oak forest (*Quercus serrata* Thunb.) *Journal of Forest Research* 1: 123-129.
- Cantú I. y González H. 2002. Propiedades hidrológicas del dosel de los bosques de Pino-encino en el Noreste de México. *Ciencia UANL* V (1): 72-77.
- Cantú I. y González H. 2005. Pérdidas por interceptación de la lluvia en tres especies de Matorral Submontano. *Ciencia UANL* VIII (1): 80-85.
- Cantú I., González H. y Yáñez M. 2012. Throughfall, stemflow and interception loss in six tamaulipan thornscrub species and in an undisturbed thornscrub plot, northeastern Mexico. 3rd International conference on forest and water in changing environment, Book of abstracts. Fukuoka, Japón. 48 p.
- Cárcamo C. P. 2006. Redistribución de precipitaciones en bosques de sucesión avanzada de Coihue-Mañío-Tepa, en la Cordillera de los Andes, Decima Región. Tesis de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. 74 p.
- Ceballos A., Martínez J., Hernández V., Morán C. y Casado S. 2005. Variabilidad espacio-temporal de la humedad del suelo en el sector semiárido de la cuenca del Duero (España). *Cuaternario y Geomorfología (Rev. C&G)* 19(3-4): 63-77.

- Cerda A. 1997. Distribución de la humedad del suelo en las cárcavas del sur del país valenciano. Cuadernos de Geografía. Universidad de Valencia 61: 1-13.
- Cervantes L., 1988. Intercepción de lluvia por el dosel en una comunidad tropical. Tecnología y Ciencias del Agua 2(4):38-42.
- Charles C. M. 1998. Medición y estimación de los componentes de la intercepción en cuatro comunidades representativas del nordeste de México. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L., Linares, N.L. 95 p.
- Chorley R. 1978. Glossary of terms. Hillslope Hydrology, M.J. Kirkby (ed.). Wiley, Chichester, UK. 365-375.
- Chow V T., Maidment D. y Mays L. 1994. Hidrología aplicada. McGraw-Hill Interamericana, S.A. 584 p.
- CONAGUA. 2011. Estadísticas del agua en México, edición 2011. Comisión Nacional del Agua. 185 p.
- Córcega E. y Silva O. 2011. Evaluación de la intercepción de la lluvia en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.), bosque tropical semidecíduos y conuco en laderas de montaña. Revista de la Facultad de Agronomía (UCV) 37(2): 47-54.
- Crockford R. y Richardson D. 1990a. Partitioning of rainfall in a Eucalypt forest and Pine plantation in southeastern Australia: II Stemflow and factors affecting stemflow in a dry sclerophyll Eucalypt forest and a *Pinus radiata* plantation. Hydrological Processes 4: 145-155.
- Crockford R. y Richardson D. 1990b. Partitioning of rainfall in a Eucalypt forest and Pine plantation in southeastern Australia: III Determination of the canopy storage capacity of a dry sclerophyll Eucalypt forest. Hydrological Processes 4: 157-167.
- Crockford R. y Richardson D. 2000. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception effect of forest type, ground cover and climate. Hydrological Processes 14: 2903-2920.

- Díaz A. 2007. Series temporales de vegetación para un modelo hidrológico distribuido. Grupo de hidrología e hidráulica agrícola. Departamento de Agronomía, Universidad de Córdoba. 121 p.
- Dunin F., O’loughlin E. y Reyenga W. 1988. Interception loss from eucalypt forest: lysimeter determination of hourly rates for long term evaluation. *Hydrological processes* 2: 315-329.
- Echeverría C., Huber A. y Taberlet F. 2007. Estudio comparativo de los componentes del balance hídrico en bosque nativo y una pradera en el sur de Chile. *Bosque* 28(3): 271-280.
- Escobar E. y Maass M. 2008. Diversidad de procesos funcionales en los ecosistemas, en *Capital Natural de México Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO, México. 161-189.
- Fahey B. 1964. Throughfall and interception of rainfall in a stand of *radiata Pine*. *Journal of Hydrology (New Zealand)*. 17-26.
- Flores E., Becerra F., Buendía E., Carrillo F., Terrazas G., Pineda T. y Acosta M. 2013. Intercepción de lluvia por matorral inerme espinoso en Atotonilco el Grande, Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(2): 285-298.
- Flores J., Carlyle D., Price A. y Návar J. 2003. Throughfall fluxes in subtropical montane forests of the Sierra Madre Oriental (Nuevo León, México). VI Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Nuevas tecnologías para el manejo forestal. Sociedad Mexicana de Recursos Forestales. UASLP 330-331 p.
- García E. 2006. Efecto de la estructura de la copa en la repartición de lluvia de tres especies arbustivas en clima semiárido. Universidad de Almería. 438 p.
- García, J. y Jurado E. 2008. Caracterización del matorral con condiciones prístinas en Linares, N.L., México. *Ra Ximhai* 4(1): 1-21.
- Germer S., Elsenbeer H. y Moraes J. 2006. Throughfall and temporal trends of rainfall redistribution in an open tropical rainforest, south-western

- Amazonia (Rondônia, Brazil). *Hydrology and Earth System Sciences* 10: 383-393.
- Gómez A. 2000. Variabilidad espacio-temporal del contenido de humedad del suelo en una zona mediterránea semiárida. Efectos de las condiciones antecedentes en la respuesta hidrológica. Escuela técnica superior de Ingenieros de Montes. Madrid. 246 p.
- González M. 1996. Análisis de la vegetación secundaria de Linares N.L., México. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L., Linares, N.L. 117 p.
- González H., Ramírez R., Cantú I., Gómez M. y Uvalle J. 2010. Composición y estructura de la vegetación en tres sitios del estado de Nuevo León, México. *Polibotánica* 29: 91-106.
- Guevara E., Cervantes J., Suzán A., González S., Hernández S., Malda B. y Martínez D. 2010. Fog interception by Ball moss (*Tillandsia recurvata*). *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 7: 1655-1676.
- Hamilton E. y Rowe P. 1949. Rainfall interception by chaparral in California. U.S. Forest Serv. Calif. Forest and Range Expt. Sta. 43 p.
- Helvey J. y Patric J. 1965. Canopy and litter interception of rainfall by Hardwoods of Eastern United States. *Water Resources Research* 1(2): 193-206.
- Horton R. 1919. Rainfall interception. *Monthly Weather Review*. Ed Charles F. Brooks. 47(9): 608-623.
- Huber A. 2003. Cambios en el balance hídrico provocado por la forestación con *Pinus radiata* D. Don en el secado interior del centro de Chile. *Gestión Ambiental* 9: 57-66.
- Huber A. e Iroume A. 2001. Variability of annual rainfall partitioning for different sites and forest covers in Chile. *Journal of Hydrology* 248 (1-4): 78-92.
- Huber A. y Oyarzún C. 1984. Factores reguladores de la intercepción en un bosque adulto de *Pinus radiata* (D. Don.). *Bosque (Valdivia)* 5(2): 59-64.

- Huber A., Oyarzún C. y Ellies A. 1985. Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata* y una pradera. II: Humedad del suelo y evapotranspiración. *Bosque* 6(2): 74-82.
- Huber A. y Trecaman R. 2004. Respuesta del balance hídrico al raleo de una plantación joven de *Pinus radiata* (D. Don) en el secano Interior de Chile. *Terra Latinoamericana* 22: 417-424.
- INEGI. 2009. Guía para la interpretación de cartografía uso del suelo y vegetación Escala 1:250000 Serie III. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 74 p.
- Jiménez F. 1994. El ciclo hidrológico y el hombre: Hacia un uso sostenible del agua. CATIE. Área de manejo de cuencas hidrográficas. Costa Rica. 28 p.
- Jiménez J., Alanís E., Aguirre O., Pando M. y González M. 2009. Análisis sobre el efecto del uso del suelo en la diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco. *Madera y Bosques*. 15(3): 5-20.
- Jiménez J., Alanís E., Ruiz J., González M., Yerena J. y Alanís G. 2012. Diversidad de la regeneración leñosa del matorral espinoso tamaulipeco con historial agrícola en el noreste de México. *Ciencia UANL* 15(58): 66-71.
- Kittredge J. 1948. *Forest influences*. New York: McGraw-Hill Book Co. 99-114.
- Leytón L., Reynolds E. y Thompson F. 1967. Rainfall interception in forest and moorland. *In Int. Symp. on Forest Hydrology*. 163-178.
- Maderey L. y Jiménez A. 2005. Principios de Hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico. *Geografía para el siglo XXI. Serie Textos Universitarios Núm. 1*. 105 p.
- Mastachi C., González E., Becerril R. y Braud I. 2010. Pérdidas por intercepción en mezquite (*Prosopis laevigata*) y Huizache (*Acacia farnesiana*) de la región semiárida del centro de México. *Tecnología y Ciencia del Agua*. 1(8).
http://www.imta.gob.mx/tyca/index.php?page=shop.product_details&flypa

ge=flypage.tpl&product_id=723&category_id=125&option=com_virtuemart&Itemid=1 Revisado 08/10/2010.

- Mateos R. y Schnabel S. 1998. Medición de la interceptación de las precipitaciones por la encina (*Quercus rotundifolia* Lam.): Metodología e instrumentación. Universidad de la Rioja, Dialnet. 95-112.
- Mateos B. y Schnalbel. 2001. Rainfall interception by Holm oaks in Mediterranean open woodland. Cuadernos de Investigación Geográfica 27: 27-38.
- Murakami S. 2009. Abrupt changes in annual stemflow with growth in a young stand of Japanese cypress. Hydrological Research Letters 3: 32-35.
- Návar J., Méndez J. y González H. 2008. Interceptación de la lluvia en especies de leguminosas del nordeste de México. Terra Latinoamericana 26: 61-68.
- Oyarzún C., Huber A. y Vásquez S. 1985. Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata* L. Redistribución de las precipitaciones. Bosque 6 (1): 3-14.
- Pizarro R., Vallejos O., Balocchi F., Morales F. y León L. 2008. Determinación de las interceptaciones de agua en bosques nativo maulino y en plantaciones de *Pinus radiata* D. 4^{to} Congreso Chileno de Ciencias Forestales, Campus Talca de la Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 25 p.
- Prado A., Hernández L. y Ventura E. 2007. Interceptación de lluvia por *Lysiloma microphylla* en el Municipio de Querétaro, Qro. Universidad Autónoma de Querétaro. 5 p.
- Puigdefábregas J. 2001. Factores que controlan las relaciones entre precipitación, escorrentía e infiltración en zonas áridas y sus implicaciones en la gestión del agua. En: Pulido A., Pulido P. y Calaforra J. 2001. Problemática de la gestión del agua en regiones semiáridas ISBN 84-8108-240-6: 29-36.
- Rzedowski J. 2006. Vegetación de México. 1^a. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 p.

- Rutter A. y Morton A. 1977. A predictive model of rainfall interception in forests. III. Sensitivity of the model to stand parameters and meteorological variable. *J. appl. Ecol.* 14:567-588.
- Sánchez F. J. 2001. El ciclo hidrológico. Departamento de geología. Universidad Salamanca, España. 7 p.
- Santiago H. L. 2007. Medición y análisis de la intercepción de lluvia en un bosque de encino: Aplicación a la microcuenca La Barreta. Tesis de grado de Maestría en Líneas terminal recursos hídricos y ambiental, Universidad Autónoma de Querétaro, Fac. de Ingeniería, Santiago de Querétaro, Querétaro. 124 p.
- Shannon C. 1948. The mathematical theory of communication. En C.E. Shannon; W. Weaver (Ed). Univ. of Illinois. Press 134-154.
- Shaxson F. y Barber R. 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo. *Boletín de suelos de la FAO.* 79. 112 p.
- Stravs L., Brilly M. y Sraj M. 2008. Chapter 25: Precipitation interception modeling using machine learning methods-The Dragonja river basin case study. R.J. Abrahart *et al* (eds.) *Practical Hydroinformatics*. Water Science and Technology Library 68. Springer 347-358.
- UNESCO, 2009. El agua en un mundo en constante cambio. 3er. Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la cultura. 16 p.
- Vargas P. 2007. Redistribución de las precipitaciones, escorrentía y producción de sedimentos en una microcuenca cubierta por bosque nativo en la provincia de Valdivia. Tesis de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. 53 p.
- Walker R. y Ataroff M. 2005. Intercepción y drenaje en las epifitas de dosel de una selva nublada venezolana. En: Ataroff M. y Silva J. *Dinámica hídrica en sistemas neotropicales*. ICAE, Univ. Los Andes, Mérida, Venezuela. 11-18.

- Wang X., Wang Z., Berndtsson R., Zhang Y. y Pan Y. 2011. Desert shrub stemflow and its significance in soil moisture replenishment. *Hydrology and Earth System Sciences* 15. 561-567.
- Waring R. y Running S. 2007. *Forest Ecosystems: Analysis at multiple scales*. Elsevier Academic Press. USA 3^{ra}. Edition. 440 p.
- Xiao Q., McPherson E., Ustin S. y Grismer M. 2000. A new approach to modeling tree rainfall interception. *Journal of Geophysical Research* 105(23): 29173-29188.
- Yáñez M. I. 2011. Redistribución de la precipitación en tres especies nativas y una plantación de *Eucalyptus camaldulensis*, en Linares, Nuevo León, México. Tesis de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León. 88 p.
- Zhan W., Zhang Z., Wu J. y Xiao J. 2007. Spatial variability of throughfall in a Chinese Pine (*Pinus tabulaeformis*) plantation in northern China. *Frontiers of Forestry in China* 2(2): 169-173.
- Zinke P. 1967. Forest interception studies in the United States. *International Symposium on Forestry Hydrology*. Ed. by Sopper and Bull. Pergamon Press, Oxford. 137-161.

APÉNDICE

APÉNDICE A. FORMATO DE COLECTA Y ANÁLISIS DE EVENTOS DE LLUVIA

<u>Pérdidas por intercepción de lluvia MET</u>					
<u>Formato de colecta y análisis de la precipitación</u>					
Evento No. _____				capturado _____	
Fecha-lluvia _____		Fecha-colecta _____		Fecha-análisis _____	
Clave	ml lluvia	ml bote	Total	pH.	C.E.
T1					
T2					
T3					
T4					
P1.1					
P1.2					
P1.3					
P1.4					
P2.1					
P2.2					
P2.3					
P2.4					
P3.1					
P3.2					
P3.3					
P3.4					
P4.1					
P4.2					
P4.3					
P4.4					
P5.1					
P5.2					
P5.3					
P5.4					
SF 1					
SF 2					
SF 3					
SF 4					
SF 5					
SF 6					
SF 7					
SF 8					
SF 9					
SF 10					
SF 11					
SF 12					
SF 13					
SF 14					
SF 15					
OBSERVACIONES:					
Colecta por: _____					

APÉNDICE B. EVENTOS DE LLUVIA Y SUS VALORES CORRESPONDIENTES A CADA COMPONENTE REGISTRADO DURANTE PERIODO DE ESTUDIO

Evento	Fecha de evento	Componentes de la precipitación				
		PI	PD	EF	PN	I
1	18/09/11	5.62	2.38	0.000	2.38	3.24
2	19/09/11	1.68	0.76	0.000	0.76	0.92
3	23/09/11	2.19	1.00	0.000	1.00	1.19
4	29/09/11	6.21	2.67	0.000	2.67	3.54
5	01/10/11	2.33	1.38	0.000	1.38	0.94
6	09/10/11	42.62	30.06	0.000	30.06	12.56
7	10/10/11	15.16	8.64	0.000	8.64	6.52
8	11/10/11	2.04	0.58	0.000	0.58	1.46
9	08/11/11	6.36	1.75	0.000	1.75	4.61
10	09/11/11	10.85	4.57	0.000	4.57	6.28
11	05/12/11	0.29	0.00	0.000	0.00	0.29
12	09/12/11	27.35	12.85	0.255	13.11	14.24
13	28/01/12	4.77	2.30	0.000	2.30	2.47
14	29/01/12	2.12	0.70	0.000	0.70	1.42
15	04/02/12	39.87	25.15	0.270	25.42	14.45
16	05/02/12	6.68	3.50	0.027	3.52	3.16
17	07/02/12	18.40	13.25	0.281	13.53	4.87
18	10/02/12	17.93	10.50	0.153	10.65	7.28
19	16/02/12	0.94	0.42	0.001	0.42	0.52
20	16/02/12	0.75	0.50	0.000	0.50	0.25
21	24/02/12	13.41	7.39	0.106	7.50	5.91
22	08/03/12	2.37	0.66	0.002	0.66	1.71
23	27/03/12	22.51	11.99	0.277	12.27	10.24
24	28/03/12	0.23	0.00	0.000	0.00	0.23
25	29/03/12	1.27	0.54	0.000	0.54	0.72
26	06/04/12	1.89	0.33	0.000	0.33	1.56
27	08/04/12	8.98	2.39	0.007	2.39	6.59
28	17/04/12	9.31	4.09	0.022	4.11	5.20
29	09/05/12	0.89	0.44	0.000	0.44	0.45
30	11/05/12	2.74	1.11	0.001	1.11	1.63
31	14/05/12	0.49	0.19	0.000	0.19	0.30
32	15/05/12	6.21	2.39	0.039	2.43	3.78
33	31/05/12	24.75	15.63	0.309	15.94	8.81
34	01/06/12	20.87	14.77	0.248	15.02	5.85
35	18/06/12	8.93	4.54	0.075	4.62	4.31
36	20/06/12	69.53	38.67	0.667	39.34	30.19
37	30/06/12	18.26	7.68	0.095	7.78	10.48

38	01/07/12	0.56	0.32	0.001	0.32	0.24
39	11/07/12	0.42	0.19	0.000	0.19	0.23
40	13/07/12	20.89	14.40	0.158	14.55	6.34
41	05/08/12	9.77	5.30	0.000	5.30	4.47
42	13/08/12	1.53	0.61	0.000	0.61	0.92
43	20/08/12	11.97	7.70	0.125	7.82	4.15
44	20/08/12	16.81	11.45	0.178	11.63	5.18
45	22/08/12	2.89	1.48	0.000	1.48	1.41
46	29/08/12	37.09	16.86	0.250	17.11	19.98
47	30/08/12	6.39	4.55	0.021	4.57	1.82
48	13/09/12	25.33	15.22	0.000	15.22	10.12
49	14/09/12	35.50	22.86	0.526	23.38	12.12
50	23/09/12	8.62	5.86	0.091	5.95	2.67
51	14/10/12	55.16	31.37	0.546	31.92	23.24
52	14/11/12	10.52	5.14	0.081	5.22	5.30
53	17/11/12	1.92	0.71	0.000	0.71	1.21
54	23/11/12	73.48	49.31	0.000	49.31	24.17
55	26/11/12	1.55	0.69	0.002	0.69	0.86
56	04/12/12	2.62	1.23	0.000	1.23	1.39

PI = Precipitación incidente, PD= Precipitación Directa, PN=Precipitación Neta, EF= Escurrimiento Fustal, I= Pérdidas por Intercepción.