

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



**PÉRDIDAS POR INTERCEPCIÓN EN CUATRO ESPECIES DEL  
MATORRAL EN LINARES, N. L.**

**POR**

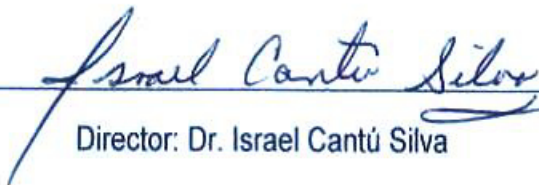
**CUAHUTEMOC TAMEZ PONCE**

**CÓMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAestrÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

**JUNIO, 2018**

**PÉRDIDAS POR INTERCEPCIÓN EN CUATRO ESPECIES DEL  
MATORRAL EN LINARES, N. L.**

**APROBACIÓN DE TESIS**

  
Director: Dr. Israel Cantú Silva

  
Co-director: Dr. Humberto González Rodríguez

  
Asesor: Dr. José Isidro Uvalle Saucedá

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Autónoma de Nuevo León, que me dio todo y abrió sus puertas del conocimiento esenciales para llegar a esta etapa de madurez científica y técnica. A la Facultad de Ciencias Forestales al haberme brindado todas las facilidades para permitir llevar a cabo esta investigación dentro de sus instalaciones, por permitir concretar mis estudios universitarios a nivel posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haberme otorgado una beca, de apoyo económico que se utilizó para la compra de material que se utilizó en el desarrollo del trabajo de investigación.

A mi director de tesis, Dr. Israel Cantú Silva por su dedicación, experiencia, paciencia, sus consejos, por su ayuda incondicional, quien con su experiencia ha sido una gran guía durante cada una de las etapas del desarrollo de esta tesis para concluir con la presente investigación y una gran parte del desarrollo de ese excelente trabajo se lo debo a usted. Que dios lo bendiga.

Al Dr. Humberto González Rodríguez, por su apoyo, sus conocimientos, confianza, nunca escatimó en el tiempo para corregir y mejorar este trabajo, sobre todo por ser una gran persona y excelente ser humano.

Al Dr. José I. Uvalle Saucedo por sus consejos, enseñanza, apoyo y su amistad, su visión crítica de muchos aspectos cotidianos de la vida, por su rectitud en su profesión como docente, por sus consejos, que ayudan a formarte como persona e investigador.

A la Dra. María Inés Yáñez Díaz por toda su paciencia, apoyo y consejos brindados durante el período escolar y durante el tiempo que escribí la tesis gracias por todas sus atenciones.

## DEDICATORIA

Le agradezco a Dios por todas las cosas maravillosas que me ha dado, al no dejarme caer y darme las fuerzas necesarias para afrontar cada reto a lo largo de mi vida y por su amor, gracia y su infinita bondad.

A mis padres Antonio Tamez Vargas y Irma Priscila Ponce Méndez, por haberme apoyado en todos los momentos en que más los he necesitado estar conmigo en las buenas y en las malas, soportar mi carácter, por siempre confiar en mí, apoyado, aconsejado y criado de la mejor manera posible y darme la mejor educación y ser mis ejemplos a seguir.

A mi hermano Antonio Tamez Ponce gracias por todo su apoyo confianza y estar conmigo en las buenas y en las malas y ayudarme cuando lo más lo he necesitado, a mi cuñada Antonina y mis sobrinos toñito y elenita.

A Karen, la mujer de mi vida, quien a lo largo de este camino siempre estado conmigo, apoyándome incondicionalmente y siempre impulsándome a no darme por vencido y siempre dar de mí lo mejor, este logro también es tuyo amor TE AMO.

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
2.1 Ciclo hidrológico.....	3
2.2 Principales componentes del ciclo hidrológico.....	5
2.3 Redistribución de las precipitaciones.....	8
2.4 Pérdidas por intercepción .....	13
2.4.1 Factores que intervienen en la intercepción .....	18
3. JUSTIFICACIÓN .....	20
4. HIPÓTESIS .....	21
5. OBJETIVOS.....	21
5.1 Objetivo general.....	21
5.2 Objetivos específicos .....	21
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
6.1 Localización del área de estudio.....	22
6.1.1 Clima .....	23
6.1.2 Suelo .....	23
6.1.3 Vegetación .....	24
6.2 Descripción de las especies a estudio .....	24
6.3 Características dasométricas.....	29
6.4 Medición de los componentes de las precipitaciones .....	30
6.4.1 Precipitación incidente (PI).....	31
6.4.2 Precipitación directa (PD).....	32
6.4.3 Escurrimiento fustal (Ef) .....	33
6.4.4 Pérdidas por intercepción (I) .....	34
6.4.5 Capacidad de almacenaje del dosel (CAD).....	35
6.5 Análisis Estadístico .....	36
7 RESULTADOS.....	37
7.1 Precipitación incidente .....	37
7.2 Precipitación directa (PD).....	38

7.3 Escurrimiento fustal (Ef) .....	41
7.4 Precipitación neta (PN).....	44
7.5 Capacidad de almacenamiento del dosel (CAD).....	46
7.6 Pérdidas por intercepción.....	49
7.7 Medidas dasométricas .....	53
8. DISCUSIÓN .....	55
9. CONCLUSIONES .....	59
10. BIBLIOGRAFÍA .....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo hidrológico .....	3
Figura 2. Representación en diagrama de bloques del sistema hidrológico global.....	4
Figura 3. Componentes de la redistribución de precipitación .....	11
Figura 4. Área de estudio.....	22
Figura 5. <i>Acacia farnesiana</i> (Huizache) .....	25
Figura 6. <i>Condalia hookeri</i> (Brasil).....	26
Figura 7. <i>Casemiroa greggii</i> (Chapote amarillo) .....	27
Figura 8. <i>Leucaena leucocephala</i> (Leucaena).....	28
Figura 9. Diámetro a la altura de pecho (DAP) .....	29
Figura 10. Área de copa (Especie <i>Acacia farnesiana</i> ).....	30
Figura 11. Canaletas de PVC instaladas para medir la precipitación Incidente .....	32
Figura 12. Canaleta de Precipitación Directa (Especie <i>Acacia farnesiana</i> ) .....	33
Figura 13. Escurrimiento fustal (Especie <i>Acacia farnesiana</i> ).....	34
Figura 14. Porcentaje de rangos de volúmenes de precipitación registrada durante el periodo de estudio .....	37
Figura 15. Numero de eventos de lluvia y precipitación acumulada mensual..	38
Figura 16. Relación de la Precipitación Directa (PD) vs Precipitación Incidente (PI) para <i>A. farnesiana</i> . .....	39
Figura 17. Relación de la Precipitación Directa (PD) vs Precipitación Incidente (PI) para <i>C. hookeri</i> . .....	40
Figura 18. Relación de la Precipitación Directa (PD) vs Precipitación Incidente (PI) para <i>C. greggii</i> .....	40
Figura 19. Relación de la Precipitación Directa (PD) vs Precipitación Incidente (PI) para <i>L. leucocephala</i> .....	41
Figura 20. Escurrimiento fustal (Ef) para <i>A. farnesiana</i> en relación con la precipitación incidente (PI) para una “n” de eventos de lluvia de 34 .....	42

Figura 21. Escurrimiento fustal (Ef) para <i>C. hookeri</i> en relación con la precipitación incidente (PI) para una “n” de eventos de lluvia de 30 .....	43
Figura 22. Escurrimiento fustal (Ef) para <i>C. greggii</i> en relación con la precipitación incidente (PI) para una “n” de eventos de lluvia de 33 .....	43
Figura 23. Relación de Precipitación neta (PN) vs Precipitación incidente (PI) para <i>A. farnesiana</i> para una “n” de eventos de lluvia de 61 .....	44
Figura 24. Relación de Precipitación neta (PN) vs Precipitación incidente (PI) para <i>C. hookeri</i> para una “n” de eventos de lluvia de 59.....	45
Figura 25. Relación de Precipitación neta (PN) vs Precipitación incidente (PI) para <i>C. greggii</i> para una “n” de eventos de lluvia de 59.....	45
Figura 26. Relación de Precipitación neta (PN) vs Precipitación incidente (PI) para <i>L. leucocephala</i> para una “n” de eventos de lluvia de 53 .....	46
Figura 27. Capacidad de almacenaje del dosel para <i>A. farnesiana</i> .....	47
Figura 28. Capacidad de almacenaje del dosel para <i>C. hookeri</i> .....	47
Figura 29. Capacidad de almacenaje del dosel para <i>C. greggii</i> .....	48
Figura 30. Capacidad de almacenaje del dosel para <i>L. leucocephala</i> .....	48
Figura 31. Pérdidas por intercepción para <i>A. farnesiana</i> .....	50
Figura 32. Pérdidas por intercepción para <i>C. hookeri</i> .....	51
Figura 33. Pérdidas por intercepción para <i>C. greggii</i> .....	51
Figura 34. Pérdidas por intercepción para <i>L. leucocephala</i> .....	52
Figura 35. Pérdidas por intercepción para cada uno de los análisis individuales durante los 63 eventos registrados durante el periodo experimental para cada una de las especies estudiadas.....	53



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de la lluvia según su intensidad .....	7
Cuadro 2. Rangos de pérdidas por intercepción e intercepción total durante el periodo de estudio para las cuatro especies bajo estudio .....	49
Cuadro 3. Características dasométricas de las especies bajo estudio (N= 4 por especie).....	54

## LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

CAD = Capacidad de almacenamiento del dosel

DAP = Diámetro a la altura del pecho

Ef = Escurrimiento fustal

I = Pérdidas por intercepción

PD = Precipitación directa

PI = Precipitación incidente

## RESUMEN

La intercepción de lluvia por la masa arbórea es un componente del ciclo hidrológico que está determinado por las condiciones climáticas y por las características de la vegetación. El objetivo del presente estudio, fue cuantificar la redistribución de las precipitaciones vía precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento fustal, estimando así las pérdidas por intercepción y la capacidad del almacenamiento del dosel para cuatro especies presentes en el matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. Para la medición de los componentes de precipitación incidente y directa, se utilizaron cuatro canaletas por especie, mientras que para la cuantificación del escurrimiento fustal se utilizaron mangueras adheridas al fuste. El análisis de 63 eventos de lluvia, distribuidos entre el 23 de septiembre de 2016 al 23 de febrero de 2018, sumaron un total de 611.61 mm de precipitación incidente. Los resultados para *Acacia farnesiana*, *Condalia hookeri*, *Leucaena leucocephala* y *Casemiroa greggii* para la precipitación directa fueron valores de 77, 73, 85 y 82%, respectivamente; mientras que el componente del escurrimiento fustal, osciló de 1.8% en *Acacia farnesiana* a 1.3% en *Condalia hookeri*. Los análisis de regresión entre la precipitación incidente y las pérdidas de intercepción arrojaron valores de 14, 16, 21 y 25% para *Leucaena leucocephala*, *Casemiroa greggii*, *Acacia farnesiana* y *Condalia hookeri*, respectivamente, siendo estas especies claves al momento de tomar decisiones de manejo en el rendimiento de agua en una cuenca, rechazando con esto la hipótesis planteada y concluyendo que las pérdidas por intercepción difieren entre las especies evaluadas.

**PALABRAS CLAVE:** Capacidad de almacenamiento del dosel, escurrimiento fustal, matorral, pérdidas por intercepción, precipitación directa, precipitación incidente.

## ABSTRACT

The rainfall interception from the arboreal mass is the component of the hydrological cycle that is determined by the climatic conditions and the characteristics of the vegetation. The objective of the present study was to quantify the redistribution of precipitation via gross precipitation, throughfall and stemflow, estimating interception losses and canopy storage capacity for four species the thornscrub in northeastern Mexico. For the measurement of the components of gross precipitation and throughfall, four troughs were used for each species, while for the quantification of stemflow hoses adhered in stem were used. The analysis of 63 rainfall events distributed between September 23th 2016 to February 23th added a total of 611.61 mm of gross precipitation. The results for *Acacia farnesiana*, *Condalia hookeri*, *Leucaena leucocephala* and *Casemiroa greggii*, for throughfall, showed values of 77, 73, 85 and 82%, respectively; while the component of the stemflow oscillated of 1.8% for *Acacia farnesiana* to 1.33% for *Condalia hookeri*. Linear regression analyzes between gross precipitation and interception loss for four species, showed values of 14, 16, 21 and 25% for *Leucaena leucocephala*, *Casemiroa greggii*, *Acacia farnesiana*, and *Condalia hookeri*, respectively, being these key species when making management decisions on the water yield in a basin, rejecting this hypothesis and concluding that people by interception differ among the evaluated species.

**Key words:** Canopy storage capacity, gross precipitation, loss interception, stemflow, throughfall, thornscrub.

# 1. INTRODUCCIÓN

La Hidrología proviene del griego hydros, que significa, agua; y logias, se define cómo la ciencia que estudia las leyes del agua (González, 2005).

El ciclo hidrológico es uno de los fenómenos más importantes de la naturaleza, se define como una serie de fenómenos por medio de los cuales el agua pasa de la superficie terrestre, en la fase de vapor, a la atmósfera y regresa en forma líquida y sólida (Bar, 1989; Taiwo, et al., 1999). La hidrología de una región está regida por su clima, vegetación, topografía y geología, aunque las actividades antrópicas modifican el medio ambiente, alterando el funcionamiento natural del ciclo hidrológico y su dinámico equilibrio (Mecca, 2008).

Los ecosistemas forestales están conformados por complejos procesos en los que interactúan factores bióticos que están relacionados con las características estructurales de la cubierta vegetal cómo la rugosidad de la vegetación y la capacidad de almacenamiento de los elementos de la vegetación (dosel, ramas, troncos, etc.) y los abióticos están relacionados con las características de la lluvia y las condiciones meteorológicas. Aun cuando la intercepción de la lluvia no es el principal factor para determinar las estimaciones hidrológicas (Webb et al., 2005), pero sí constituye una de las formas que permiten identificar cómo las modificaciones en la cobertura arbórea afectan el balance hidrológico de un área arbolada, alterando el contenido de la humedad del suelo y la escorrentía superficial del terreno (Flores et al., 2013).

La intercepción es aquella parte de la precipitación que es almacenada temporalmente sobre la superficie de las hojas y ramas, mientras que las pérdidas por intercepción corresponde a la evaporación del agua almacenada en las copas (Iroume y Huber, 2000).

El componente del ciclo hidrológico es el más difícil de medir teniendo en cuenta que, en períodos largos, el agua interceptada se evapora o discurre por el dosel vegetal llegando a infiltrarse incrementando la reserva del agua del suelo (De La Casa y Nasello, 2015). Los factores climáticos que afectan al ciclo hidrológico son: el viento, la radiación solar, la temperatura y la presión atmosférica (López, 2007).

Los estudios relacionados con la intercepción han sido ampliamente investigados en zonas de clima frío, templado y tropical, mientras que en ambientes semiáridos y áridos han sido escasos debido a la dificultad de aplicar las metodologías para cuantificar dicho fenómeno en especies arbustivas y herbáceas (Dohnal et al., 2014).

En regiones semiáridas, el ciclo del agua es un factor importante en el funcionamiento de los ecosistemas forestales, debido a que en estas regiones presenta un déficit hídrico y limitante que frecuentemente son consideradas como marginales y por lo general son poco estudiadas. A nivel nacional, estas áreas representan el 50% del territorio (Wattenbach et al., 2005). La región semiárida de México comprende las entidades de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Querétaro, Hidalgo, Guanajuato, Puebla y Guerrero (Morrone, 2005).

El presente estudio se llevó a cabo dentro del Campus Linares, en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, con la finalidad de determinar la redistribución de la precipitación, estimando la capacidad de almacenaje del dosel y comparando las pérdidas por intercepción para las especies *Acacia farnesiana*, *Condalia hookeri*, *Casemiroa greggii* y *Leucaena leucocephala* vía precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento fustal.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico (Figura 1), tiene una interacción constante con el ecosistema ya que los seres vivos dependen de esta para sobrevivir, y a su vez ayudan al funcionamiento del mismo (Duarte et al., 2006). Es el proceso de circulación del agua entre los distintos conjuntos que forman la hidrósfera (Budds, 2012). Se describe cómo un proceso de circulación de agua en la hidrosfera, siendo esta el sistema material construido por el agua que se encuentra bajo, y sobre la superficie de la tierra (Chow et al., 1994).

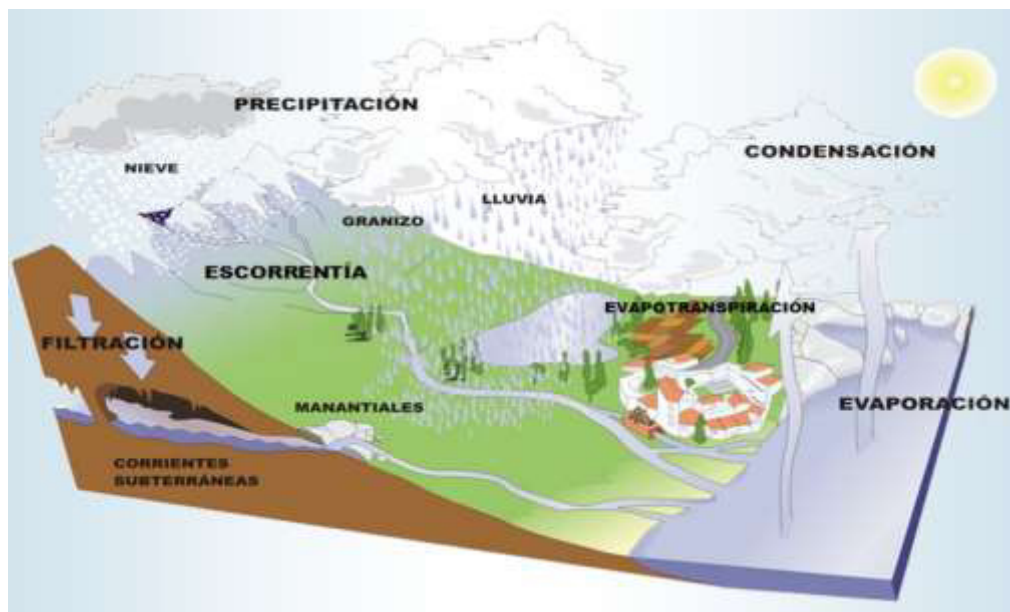


Figura 1. Ciclo hidrológico (Ordoñez, 2011).

Se define al ciclo hidrológico cómo un conjunto de procesos o trayectorias de flujos de agua, energía y sustancias químicas en la naturaleza, con independencia del estado en que se encuentre (Achkar, 2004).

Se define como un sistema al ciclo hidrológico (Figura 2), al conjunto de elementos o procesos físicos unidos a través de alguna forma de independencia, que actúa sobre un grupo de variables de entrada para convertirlas en las de salida. Cada uno de los procesos que conforman este sistema es el resultado de interrelaciones de factores de gran variabilidad espacial y temporal (Chow et al., 1994).

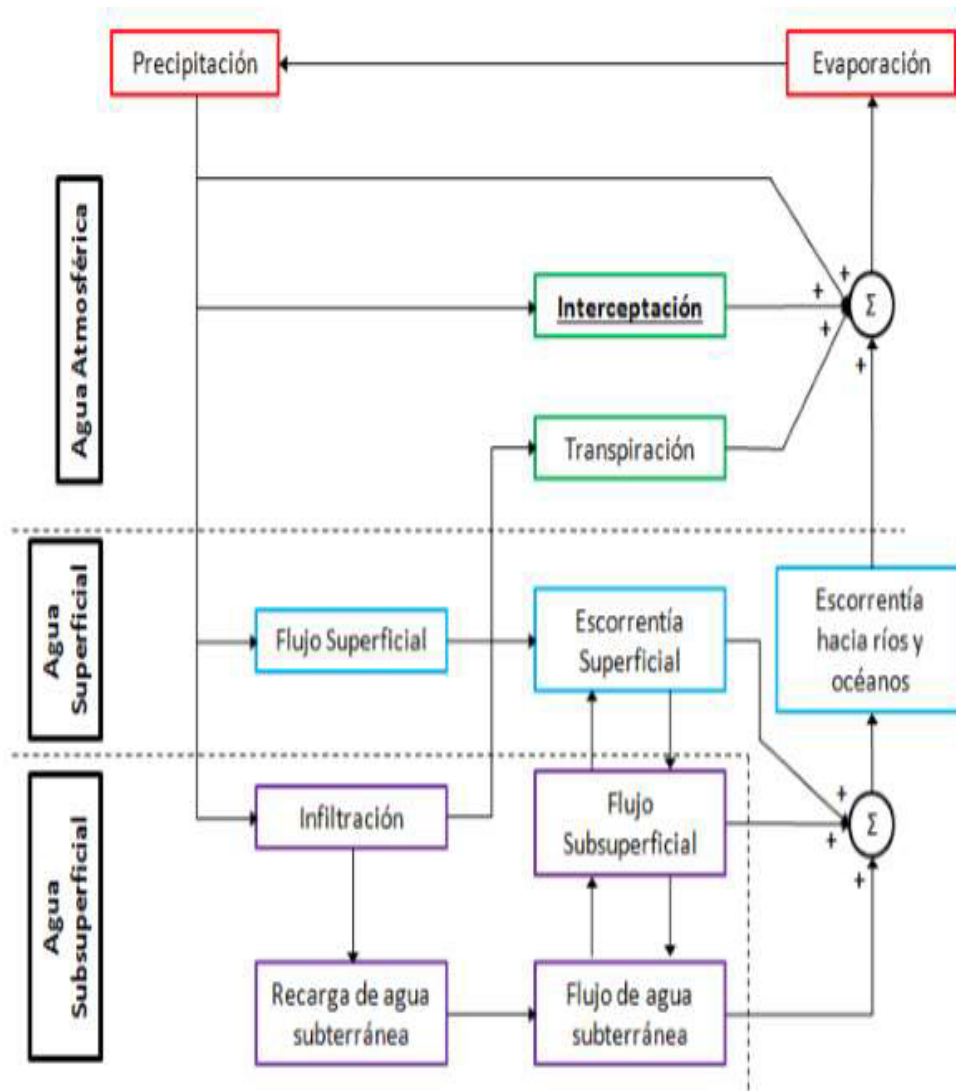


Figura 2. Representación en diagrama de bloques del sistema hidrológico global (Chow et al., 1994).



El agua atmosférica es “pura”, es la que ha sido evaporada del mar por el sol, desalada e incorporada a la atmósfera dentro del ciclo hidrológico, en esta fase no puede tener más contaminantes que los presentes en la atmósfera, no ocurre lo mismo cuando el agua toca la tierra, camino de los acuíferos subterráneos, el agua puede disolver muchos de los compuestos que encuentre en su camino, unas veces positivamente (aguas minerales de manantial, aguas medicinales, etc.) y en otras puede afectar de manera negativa, estas son consideradas las aguas con exceso de cal, de flúor, de magnesio, con restos de pesticidas, salobres, etc. (Mamani, 2013).

Se denomina agua superficial cuando el agua de lluvia o nieve llega a la superficie, una parte de esta es penetrada hasta los niveles subterráneos para sumarse al agua subterránea y otra se escurre (Tarbuck et al., 2005).

Las aguas superficiales es cuando el escurrimiento se forma en las aguas superficiales y consiste en las precipitaciones que no evaporaron, ni transpiraron, ni penetraron. En este proceso, el agua se mueve hacia lo profundo del suelo y en general hacia abajo (por la gravedad) muy lentamente; en ocasiones puede depositarse en ríos, lagos y océanos (Perdomo et al., 2001).

## **2.2 Principales componentes del ciclo hidrológico**

La evaporación es un proceso esencial del ciclo hidrológico, se define cómo el procesó físico por el cual el agua pasa del estado líquido en que se encuentra en almacenamientos, condiciones en el suelo, en las capas cercanas a la superficie en estado gaseoso y se transfiere a la atmósfera, es la cantidad de agua que se transforma en vapor desde superficies de agua libre, nieve o hielo, el suelo o la vegetación (Barco et al., 2000). La evapotranspiración se da en las plantas, es el agua que se pierde por evaporación en el suelo y transpiración en el material vegetal (Santiago, 2007).

La medida común de la evaporación está dada en milímetros por día, o a través de las plantas, por transpiración (Shook y Pomeroy, 2011).

La precipitación se define cómo toda forma de humedad, que tiene su origen en las nubes, hasta llegar hasta la superficie terrestre (Mejía et al., 2006). La formación de las nubes se da mediante el enfriamiento del aire por debajo de su punto de saturación, este fenómeno, puede tener lugar por varios procesos que conducen al ascenso adiabático con el consiguiente descenso de presión y descenso de temperatura. La intensidad y cantidad de precipitación dependerán del contenido de humedad del aire y de la velocidad vertical del mismo (Morales et al., 2007); de estos procesos se derivan los diferentes tipos de precipitación. Aproximadamente el 75% de la precipitación total anual que ocurre sobre los continentes retorna a la atmósfera en forma de vapor. A continuación se presentan los diferentes tipos de precipitación:

Aproximadamente el 75% de la precipitación total anual que ocurre sobre los continentes retorna a la atmósfera en forma de vapor, los diferentes tipos de precipitación:

- ✓ La precipitación ciclónica, se clasifica en precipitaciones frontales ocurre en cualquier presión barométrica, resultando el ascenso debido a la convergencia de masas de aire que tienden a llenar a zonas de bajas presión, se asocia a un frente frío o a un frente cálido y precipitación no frontal sucede lo contrario (Ramírez y Guadalupe, 2013).
- ✓ La precipitación convectiva, se refiere a las masas de aire caliente que ascienden, como consecuencia del calentamiento del suelo por efecto de la radiación solar, en este proceso ocurre un enfriamiento condensándose y formando la nubosidad de tipo cumuliforme, origen de las precipitaciones en forma de chubascos o tormentas y el ascenso de la masa de aire se debe generalmente a un mayor calentamiento en superficie (Sarochar et al., 2005).

- ✓ Precipitación orográfica, es el tipo de lluvia producida por el ascenso de una columna de aire húmeda al enfriarse alcanza el punto de saturación del vapor de agua; a continuación se enlistan los diferentes tipos de lluvia (Cuevas, 2001), clasificación de lluvias de acuerdo a su intensidad (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación de la lluvia según su intensidad (Pardo y Rodríguez, 2014).

Intensidad	mm/h	Observaciones
Ligera	<2.5	Las gotas se pueden identificar fácilmente unas de otras. Cuando existe una superficie expuesta seca esta tarda más de dos minutos en mojarse completamente.
Moderada	2.5-7.5	No se pueden identificar gotas individuales, se forman charcos con gran rapidez. Las salpicaduras de la precipitación se observan hasta cierta altura del suelo.
Fuerte	>7.5	La visibilidad es escasa y las gotas que salpican sobre la superficie se levantan varios centímetros.

La infiltración, proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo, cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones, valor que es variable en el tiempo en función de la humedad del suelo, el material que conforma al suelo, y la mayor o menor compactación que tiene el mismo (Maderey y Jiménez, 2001).

Horton (1933) demostró que la precipitación, cuando alcanza la superficie del suelo, infiltra los suelos superficiales a una velocidad que disminuye con el tiempo. La disminución es causada principalmente por el relleno de los poros del suelo con el agua. Los ensayos controlados realizados en diversos tipos de suelo por muchos hidrólogos, a lo largo de los años, han demostrado que la disminución es más rápida y la tasa final constante es menor para los suelos arcillosos con poros finos que para los suelos arenosos de textura abierta. Si en cualquier momento, durante un evento de lluvia, la tasa de lluvia excede la capacidad de infiltración, el exceso de agua se acumula sobre la superficie del suelo, las condiciones necesarias para que ocurra es una intensidad de lluvia

mayor a la conductividad hidráulica saturada y la duración de la lluvia debe ser mayor que el tiempo requerido para que el suelo se sature en la superficie. Es esta agua estancada la que está disponible para el flujo de ladera en forma de arroyos superficiales.

### **2.3 Redistribución de las precipitaciones**

La lluvia es la principal vía de ingreso de agua en los ecosistemas terrestres, la principal fuente de ingreso de agua es la precipitación atmosférica, fundamentalmente en forma de lluvia se mide en milímetros al año (Escobar et al., 2008).

La redistribución de las precipitaciones es el proceso mediante el cual las gotas de agua sobre el dosel de los árboles esta experimenta un cambio (Yáñez et al., 2014); la componente más significativa es la intercepción (Cantú y González, 2002).

La redistribución de la lluvia (Figura 3) es el producto de la intercepción por la copa de los árboles; este proceso puede reducir considerablemente la cantidad de agua precipitada que alcanza la superficie del suelo (Yáñez et al., 2014) y sus principales componentes son:

- ✓ Pérdida por intercepción (PI), se refiere a la cantidad de agua que es retenida por las plantas y luego es evaporada o absorbida por las plantas (Marín et al., 2000; Lida et al., 2005).

Depende fuertemente del tiempo y la intensidad de la lluvia, la estructura de la vegetación y las condiciones meteorológicas que controlan la evaporación durante y después de la lluvia (Rutter et al., 1975). Los estudios de interceptación de lluvia indican que la interceptación (Xiao et al., 2000) está controlada por:

- Las características de la precipitación, cómo la intensidad de la lluvia, la estructura de la copa, como el índice del área foliar y la morfología de la hoja.
  - Los parámetros meteorológicos tales como la velocidad del viento, la humedad relativa y la radiación neta.
- ✓ Precipitación directa (PD), es referida a la fracción de la lluvia que pasa directamente a través del follaje y a través de las hojas y ramas (García, 2006), es un componente crítico de los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos de los ecosistemas boscosos con un grado característicamente alto de variabilidad temporal y espacial (Potter et al., 1991; Moffat et al., 2002).

La precipitación directa es la que pasa directamente a través del dosel de una planta sin entrar en contacto con ninguna superficie vegetativa, la caída de liberación se intercepta inicialmente y posteriormente gotea de la planta (Dunkerley, 2000; Abrahams et al., 2003).

Engman (1983) definió la precipitación directa cómo la porción de precipitación incidente que penetra o gotea a través del dosel de una planta se pueden distinguir dos tipos de caída: libre y liberación.

Consiste en determinar los volúmenes de caída representativa bajo cubierta vegetal (Czarnowski y Olszewski, 1970; Peterson y Rolfe, 1979; Puckett, 1991; Rodrigo y Ávila, 2001; Carlyle-Moses, 2004).

- ✓ El escurrimiento fustal (Ef) es generalmente una componente menor del balance hídrico de los ecosistemas forestales mientras que la densidad del tallo y la estructura (Levia et al., 2010), se define cómo la fracción de

la lluvia que alcanza el suelo del bosque corriendo por los tallos de los árboles después de que la lluvia incidente es interceptada por hojas y ramas, hasta alcanzar el tronco principal y luego escurre por la superficie hasta llegar al suelo (Staelens et al., 2008; Iroume y Huber, 2000).

Las siguientes características de los árboles y de la lluvia son de suma importancia para la estimación del escurrimiento fustal (Crockford y Richardson, 2000):

- El tamaño de la copa: entre mayor sea el tamaño de la copa para un diámetro de tronco dado, mayor será el escurrimiento fustal.
- Forma de la hoja y orientación. Si el ángulo de la hoja está por encima del plano horizontal, es decir, si la punta de la hoja está por encima del peciolo, y tiene una forma cóncava, el agua almacenada podrá ser conducida hacia las ramas cuando están se encuentran inclinadas tiene un mayor potencial de aporte al escurrimiento fustal.
- Tipo de corteza, para cada una de las especies a estudio son distintos su grosor y sus efectos son sustanciales y el tipo de corteza son superficies lisas conllevan a mayores valores de escurrimiento fustal, en cambio cortezas con capacidad de absorción, producen menor cantidad de escurrimiento fustal, ya que la corteza debe saturarse antes de que exista este flujo.
- Los espacios en el follaje pueden afectar al escurrimiento fustal aumentando su volumen debido a que un mayor número de gotas podrán ser retenidas por las ramas, esto depende en mayor medida de la forma de la hoja y su orientación.

- Intensidad de la lluvia. Altas intensidades hacen que se exceda la capacidad de transporte de agua en las ramas produciendo goteo y por ende menor escurrimiento fustal, se presenta en caso contrario se da para eventos con intensidades menores.



Figura 3. Componentes de la redistribución de precipitación (Elaboración propia).

Para cada una de las especies a estudio se determinó su Capacidad de almacenaje del dosel (CAD) la definen Cantú y González (2002) cómo una característica de la vegetación de la cantidad que es almacenada durante un evento de lluvia suficiente para exceder la capacidad de la vegetación para retener agua sobre su superficie.

La capacidad de almacenaje del dosel, menciona Holder (2007), que depende de las condiciones climáticas (precipitación, temperatura, etc.) cómo de las diferentes características estructurales de las especies vegetales (índice de área foliar, tipo de hojas etc.), es uno de los factores de control más importante de la interceptación de lluvia (Rutter et al., 1971; Gash, 1979; Liu, 1997).

Para determinar la capacidad de almacenamiento del dosel se pueden aplicar tres métodos: método de regresión (Leyton et al., 1967), método de ampliación (Herwitz, 1985) y método de teledetección (Calder y Wright, 1986; Bouten et al., 1996). El método de Leyton (1967), se ha usado frecuentemente para estimar la capacidad de almacenamiento del dosel, para predecir la intercepción.

Las precipitaciones constituyen uno de los elementos característicos del clima de cualquier región. Para algunos ecosistemas terrestres, son la principal y a veces la única provisión de agua, por ejemplo, en las zonas semiáridas la productividad está estrechamente relacionada con la precipitación anual y su distribución estacional. Por tanto, es necesario conocer en qué medida el árbol modifica la cantidad de agua aportada por las precipitaciones que llega al suelo (Calabuig et al., 1977).

El volumen total de las precipitaciones que llegan al suelo durante un período determinado, se expresa en función del nivel que alcanzarían sobre una proyección horizontal de la superficie terrestre. En la hidrología, es fundamental medir el valor exacto de las precipitaciones, por lo tanto, es muy importante que se tenga en cuenta que se coloque de manera adecuada el equipo de trabajo



que se utilizará durante el experimento para capturar la mayor cantidad de precipitación durante cada evento de lluvia para impedir las pérdidas por evaporación, efectos del viento y salpicaduras (Rehfeldt et al., 2012).

## **2.4 Pérdidas por intercepción**

El proceso de intercepción o pérdidas por intercepción, es un concepto donde se involucra cualquier tipo de cubierta sobre el suelo, sea natural o artificial (De Groen y Savenije, 2006). Estas investigaciones se remontan a partir de la publicación de Horton (1919), quién es considerado cómo el pionero de estos estudios, dentro de los cuales se puede citar entre los años 20 y 50. Estos trabajos que se realizaron se enfocaron sobre los efectos de las copas de los bosques de madera dura en las precipitaciones (Zon, 1927; Mitchell, 1930; Wood 1937; Trimble y Weitzman, 1954).

Zon (1927) concluyó que un bosque de hoja ancha intercepta aproximadamente el 13% de la lluvia anual. Mitchell (1930), reportó que un bosque de madera dura y cicuta en el norte de Wisconsin, retenía el 25% de la lluvia durante el período foliar y el 16% de la lluvia durante el período sin hojas y un promedio de 18% anual. Trimble y Weitzman (1954) encontraron que las marquesinas de madera de los Apalaches interceptan aproximadamente el 25% de la lluvia bruta anual.

La interceptación y el flujo del tallo fueron los primeros trabajos que se desarrollaron entre los que se pueden citar a Kittredge (1948), en una plantación de pino canario (*Pinus canariensis* C. Smith) reportando valores de 0.25 mm y un estudio realizado por Rowe y Colman (1951) en una plantación de Pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Laws) reportando valores de 2.75 mm.

En trabajos previos, Horton (1919) definió la intercepción total cómo la capacidad de almacenamiento de la hoja más la evaporación durante una

tormenta. Consideró la interceptación cómo el proceso donde la lluvia es interceptada por el dosel de la vegetación y redistribuida cómo caída, flujo de tallo y evaporación de la vegetación.

Pero es a partir de la década de los años sesenta y setentas que empiezan a adquirir desarrollo notable, entre los cuales se pueden citar a Leyton et al. (1967), Aussenac (1968), Raap y Romane (1968), Thompson (1972), y Aston (1979).

Rutter (1963), menciona que las tasas de evaporación del agua interceptada son mucho más altas para el bosque que para aquellas donde se presenta poca vegetación porque el bosque tiene una conductividad aerodinámica marcadamente más alta. En cambio, para aquellas donde la vegetación es abundante, las tasas de evaporación del agua interceptada exceden en gran medida las tasas de transpiración en condiciones idénticas porque no hay control fisiológico por parte de las plantas. Por tanto, la pérdida por interceptación puede considerarse cómo una adición neta sustancial a la transpiración. Además, calculó que la pérdida por interceptación anual de una plantación de *Pinus sylvestris* L., de 16 años de antigüedad en el sur de Inglaterra, fue del 32% de la precipitación incidente. Helvey y Patric (1965) determinaron la proporción de lluvia incidente atribuida al flujo del tallo que varía de 0 a 23%. Merriam (1961) y Zinke (1967), estudiaron las pérdidas por interceptación utilizando relaciones derivadas empíricamente con la lluvia bruta.

Rutter et al. (1971), fueron los primeros en presentar un modelo conceptual basado en la física. El modelo representa el proceso de interceptación mediante un balance de agua corriente de entrada, almacenamiento y salida de lluvia en forma de drenaje y evaporación.

Rutter et al. (1975), desarrollaron la versión definitiva del modelo, agregando un módulo de flujo de tallo, en el que una fracción de la entrada de lluvia se desvía

directamente a un compartimento que comprende los troncos, determinando que las pérdidas de interceptación depende en gran medida del momento y la intensidad de la lluvia, la estructura de la vegetación y las condiciones meteorológicas que controlan la evaporación durante y después de la lluvia. Las primeras aplicaciones de los modelos de tipo Rutter fueron hechas por Calder (1977) y Gash y Morton (1978).

Ford y Deans (1977), también encontraron una mayor concentración de raíces finas cerca de los tallos del árbol concluyeron que el crecimiento de las raíces está relacionado positivamente con una mayor disponibilidad de agua, entonces se espera que esto refleje el patrón espacial del flujo de agua al suelo del bosque.

Casi una década después de que se desarrollara el modelo Rutter, presentó el primer modelo de interceptación analítica, proporcionando una solución simplificada. El modelo de Gash (1979), representa la entrada de lluvia cómo una serie de tormentas discretas que están separadas por intervalos suficientemente largos para que el dosel y los tallos se sequen por completo.

Esta suposición es posible debido al secado rápido de los doseles del bosque. Cada tormenta individual se divide en tres fases posteriores: humectación, saturación y secado del dosel y ésta separación enfatiza la importancia relativa del clima contra la estructura de la planta. Para las dos primeras de estas fases, las tasas reales de evaporación y precipitación se reemplazan por sus tasas medias para todo el período que se está modelando.

Los modelos posteriores de tipo Rutter, fueron propuestos en las décadas de los 80' y 90' por Massman (1983). Difiere del modelo de Rutter, en sus ecuaciones de drenaje y evaporación (Liu, 1997). El modelo de Jiagang (1988), de los otros modelos de tipo Rutter, es que incluye múltiples capas de dosel y, por lo tanto, una humectación progresiva del dosel.

Calder (1986), desarrolló un modelo distinto del proceso de interceptación que es conceptualmente muy diferente de los modelos tipo Rutter y Gash. Calder empleó la distribución de probabilidad de Poisson para determinar el número de gotas de lluvia que golpean el dosel y son retenidas por él. El agua del dosel almacenada se vuelve a mover por evaporación o, cuando se excede el umbral de almacenamiento.

Tolk et al. (1995), definieron la interceptación cómo la cantidad de agua interceptada y evaporada del dosel. La interceptación es la parte de la lluvia que cae sobre la vegetación y se evapora sin llegar al suelo. La interceptación es considerable, especialmente para la vegetación rugosa aerodinámicamente cómo los bosques, debido a su alta conductancia aerodinámica, que puede dar como resultado una alta tasa de evaporación. La interceptación equivale al 10-50% de la precipitación en el bosque y representa un porcentaje aún mayor del uso total de agua de los bosques (Klassen et al., 1998).

Para el siglo XXI, la interceptación de lluvia se reconoce cómo un proceso hidrológico de considerable importancia en la gestión de los recursos hídricos, pero también en el contexto del cambio climático (Arnell, 2002). De Groen y Savenije (2006), definen las pérdidas por interceptación cómo el flujo de vapor que se retroalimenta de la humedad generada por las precipitaciones antes de que se origine escurrimiento superficial o infiltración.

La interceptación de lluvia es el proceso por el cual el agua de lluvia modifica su trayectoria al ser interceptada por el dosel de los árboles, ejerciendo de esta manera, una marcada influencia en el patrón de la lluvia que alcanza a llegar al piso forestal (Návar et al., 2008). Una vez interceptada, el agua es retenida por las hojas y ramas de los árboles, incluso en presencia de plantas epifitas, a partir de este momento puede continuar su trayectoria por una o más de estas

tres vías: evaporarse, gotear desde la copa, o fluir por las ramas hasta la base del fuste (García, 2006).

El modelo Xiao et al. (2000), fue desarrollado para estimar la intercepción de árboles individuales. Se diferencia de los otros modelos de tipo Rutter en que cubre la arquitectura del dosel tridimensional y, por tanto, requiere parámetros especiales de arquitectura del dosel.

Huxman et al. (2004), Troch et al. (2009) y Yang et al. (2016), estudiaron los efectos climáticos sobre la eficiencia en el uso del agua de la vegetación. Cantú y González (2005), estudiaron tres especies arbustivas representativas del matorral submontano en el noreste de México, donde estimaron pérdidas por intercepción para *Acacia berlandieri*, *A. rigidula* y *Diospyros texana*, obteniendo valores de 18, 15 y 22%, respectivamente.

Kirchner (2006) estudió las relaciones empíricas entre diferentes procesos de cuencas hidrográficas. Peel et al. (2010), evaluaron el impacto de la vegetación sobre la hidrología en cuencas grandes y pequeñas y estudiaron la evapotranspiración anual.

La intercepción se define cómo la cantidad de precipitación total que se capta durante un evento de lluvia, por lo que además de la vegetación, otros factores cómo la velocidad del viento, la intensidad y la duración de la lluvia, influyen durante cada evento (Flores et al., 2013). La intercepción, en el ciclo hidrológico, es una de los componentes más difícil de cuantificar, debido a periodos largos de precipitación interceptada pueden a su vez evaporarse hacia la atmósfera (Velázquez y Jaramillo, 2009).

Las pérdidas por intercepción se rigen por la cantidad de ciclos de humectación y secado en la vegetación; la característica relevante de la vegetación es la cantidad de agua almacenada en el dosel durante un solo evento, suficiente para exceder la capacidad de la vegetación y retener el agua en su superficie

(Cantú y Okumura 1996). Cuando se modela en hidrología, la intercepción es tomada cómo un porcentaje fijo de la precipitación; sin embargo, la intercepción influye fuertemente en las condiciones de humedad del suelo, la cual es muy importante para la generación de escurrimiento (Savenije, 2004).

#### **2.4.1 Factores que intervienen en la intercepción**

Entre los elementos que intervienen en la intercepción, se encuentran la duración e intensidad de la lluvia, la velocidad y dirección del viento, así como la estructura de la vegetación. A continuación se describen cada uno de estos factores (Ahmadi et al., 2009):

- ✓ Intensidad de lluvia puede aumentar o disminuir dependiendo el tipo de cobertura vegetal. Ya que la capacidad de almacenamiento no es uniforme en condiciones atmosféricas secas, la intercepción es controlada por su duración y la intensidad de la lluvia (Loescher et al., 2002); son características que están interrelacionadas para un mismo período de retorno, al aumentarse la duración de la lluvia, disminuye su intensidad del agua que es interceptada en el dosel de la vegetación (Tsukamoto et al., 1988; Toba y Otha, 2005).
  
- ✓ La velocidad y dirección del viento; estos factores ocasionan que la entrada de la lluvia por la copa de los árboles ocurra en distintos ángulos y al conjuntarse con la heterogeneidad de la vegetación, ocasionan cambios en los caminos del agua (Gómez et al., 2002). De acuerdo con algunos estudios realizados, se ha encontrado que velocidades altas puede direccionar las hojas en su trayectoria y reducir las probabilidades de intercepción, así mismo, para zonas tropicales y con abundante vegetación, la posibilidad de que una gota alcance el suelo sin tocar antes alguna superficie de la vegetación es relativamente muy baja (Herwiz y Slye, 1995; Van Stan et al., 2011). Cuanto más rápido se

mueva el aire, más rápidamente se renueva el aire humedecido que está en contacto con el follaje (Allen et al., 1998).

- ✓ La estructura de la vegetación se refiere a las variaciones morfológicas tales como troncos, ramas y hojas características de las especies, lo que provocan diferencias en la capacidad de intercepción (Mastachi, 2010). Por ello, cualquier modificación de la vegetación por la acción humana dentro de una cuenca, al menos a pequeña escala, puede alterar significativamente los procesos hidrológicos (Bullock y McCartney 1996; Ataroff y Naranjo, 2009). Los individuos de una misma especie también presentan diferencias (variación intraespecífica) debido a la edad o a que su crecimiento no sigue un patrón determinado y se ven reflejadas en su capacidad de intercepción (Návar et al., 1999).
  
- ✓ Índice de área foliar; describe las propiedades fundamentales de la interacción de la planta con la atmósfera, especialmente en cuanto a radiación, energía; su valor depende de la especie, fenología de un cultivo y a la disponibilidad de agua. El índice de área foliar en relación con la intercepción se incrementa proporcionalmente con respecto a su magnitud (Martin y Stephens, 2005).

### 3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación tiene como objetivo cuantificar los componentes de la redistribución de las precipitaciones vía precipitación incidente, precipitación directa, escurrimiento fustal, capacidad de almacenamiento del dosel y pérdidas por interceptación en cuatro especies del Matorral en Linares, N.L. en el Campus de la Facultad de Ciencias Forestales, en donde se seleccionaron cuatro especies que no han sido analizadas en cada una de los componentes anteriormente mencionadas. Las especies estudiadas son: *Acacia farnesiana*, *Condalia hookeri*, *Casemiroa greggii* y *Leucaena leucocephala*, con la finalidad de incrementar la cantidad de especies que pertenecen al matorral dentro del Campus, se tendrá el propósito de analizar la distribución del agua de lluvia a través del proceso de interceptación. Cabe mencionar que en México son contados los trabajos que se han realizado relacionados con el tema de pérdidas por interceptación, la mayor parte de estas investigaciones se han efectuado en suelos semiáridos en el norte del país, esto debido a la importancia y el interés que se ha presentado en el aprovechamiento de estas especies, en donde en los últimos años, ha ido en aumento las plantaciones de especies nativas para programas de reforestación, por lo que el presente trabajo ayudará a fortalecer el conocimiento sobre el comportamiento de las especies seleccionadas dentro del balance hídrico del ecosistema. Anteriormente, el concepto del proceso de interceptación de lluvia era un componente no relevante en el ciclo hidrológico, pero a través de los años ha ido tomando auge siendo incorporado en otros procesos.



## **4. HIPÓTESIS**

Las pérdidas por intercepción de lluvia y su capacidad de almacenaje entre las especies vegetales son iguales.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo general**

Cuantificar los componentes de la redistribución de las precipitaciones: precipitación incidente, precipitación directa, escurrimiento fustal, capacidad de almacenamiento del dosel y pérdidas de por intercepción en cuatro especies del Matorral en Linares, N.L.

### **5.2 Objetivos específicos**

- Cuantificar cada uno de los componentes de la redistribución de la precipitación para las cuatro especies, a través de eventos de lluvia.
- Determinar la capacidad de almacenamiento de agua para cada tipo de cubierta vegetal y compararlas entre ellas.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Localización del área de estudio

El área de estudio (Figura 4), se ubica en el Campus experimental de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, a 8 km al sur del área urbana del municipio de Linares, en el estado de Nuevo León, México, en las coordenadas N 24° 47'; O 99° 32', a una elevación de 350 msnm. Se encuentra en la región hidrológica RH25, conocida como San Fernando-Soto La Marina o Planicie Costera del Golfo Norte, en las cuencas de los Ríos Bravo y Pánuco, y subcuenca Arroyo-Camacho, próximo a la Sierra Madre Oriental (Uvalle, 2008). Abarcan una superficie de 7,500 km<sup>2</sup> aproximadamente y los niveles freáticos varían entre 5 y 50 m de profundidad. También se cuenta con presas y canales de derivación que benefician directamente la actividad agrícola y citrícola (Saucedo, 2011).



Figura 4. Área de estudio (Elaboración propia).

### **6.1.1 Clima**

El clima que presenta Linares, Nuevo León, modificada por García (1973) citado por Charles (1998), de acuerdo con la clasificación de Köppen es (A) C (x') (w'') a (e) es de tipo extremoso semi-cálido-subhúmedo debido a la posición geográfica en la zona subtropical de altas presiones, con influencia de vientos alisios húmedos y vientos fríos del Norte durante el invierno (Alanís, 2006). Teniendo cómo promedio anual de 805 mm de precipitación aproximadamente (Uvalle, 2008). Cuenta con dos períodos de lluvia en los de meses de Marzo-Junio y Septiembre-Octubre, cuenta con la presencia de un periodo de estiaje intraestival, con temperaturas de hasta 45°C durante el verano se presentan en los meses de Julio y Agosto. La temperatura promedio anual es de 22.4°C con temperaturas en verano mayores a 40°C y en invierno alcanzando hasta los 0°C en Invierno (Saucedo, 2011); los regímenes de lluvias pueden cambiar año con año, dependiendo de la influencia de los fenómenos climáticos globales.

### **6.1.2 Suelo**

Los suelos del área del matorral corresponden con una distribución bimodal (la distribución de la lluvia en dos periodos), con una asociación de suelo tipo vertisol de origen aluvio-coluvial, profundos y de color obscuro a gris oscuro, con subunidad mázico pélico. Se caracterizan por un alto contenido de arcilla con altos contenidos de montmorillonita, bajo contenido relativo de materia orgánica. El pH es moderadamente alcalino (7.2-8.2). La roca madre consiste de lutitas formadas en el cretácico superior, desplazadas y perturbadas por movimientos aluviales y coluviales en los periodos Pleistoceno y Holoceno (Foroughbakhch y Fierro, 1989).

### 6.1.3 Vegetación

El tipo de vegetación es semiárido-subtropical, localizado dentro de la Provincia de la Planicie Costera del Golfo Norte, constituido por especies deciduas y siempre verdes o perennes, con un amplio rango de patrones de crecimiento, diversidad en la longevidad foliar, dinámicas de crecimiento y de contrastantes desarrollos fenológicos (González y Cantú, 2001). El Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET) es el ecosistema más abundante e históricamente más utilizado en las zonas áridas y semiáridas del noreste de México (García y Jurado, 2008), posee una diversidad bastante densa de 15,000 a 21,000 individuos/ha de especies arbóreas, arbustivas, y constituye una tercera parte de la diversidad de la flora leñosa, la cual aprovecha la población rural para el uso tradicional silvoagropecuario, así como fuente de alimentación, combustible, herbolaria, construcción de muebles rústicos, productos artesanales y construcción de casas de habitación rural (Foroughbakhch et al., 2009).

### 6.2 Descripción de las especies a estudio

Nombre científico: *Acacia farnesiana* (L) Wild.

Nombre(s) común(es): Huizache, espino, espino blanco.

Familia: Fabaceae (Leguminosae).

*Acacia farnesiana* (Figura 5) es un árbol pequeño que tiene una altura que varía desde los 2 hasta los 4 m de alto, presentando un fuste recto con ramas ascendentes y en ocasiones horizontales, sus hojas son alternas, flores de color amarillo oro, fruto una legumbre de color café rojizo a púrpura o negro con dos semillas por hilera. Estas características se usan en la medicina herbolaria (Little y Wadsworth, 1964). Su distribución es las zonas cálidas del país forman parte de la vegetación secundaria de selvas bajas caducifolias inermes o

espinosas y de matorrales espinosos cómo el Matorral Espinoso Tamaulipeco (García, 1997).



Figura 5. *Acacia farnesiana*.

Nombre científico: *Condalia hookeri*, William.

Nombre común: Brasil.

Familia: Rhamnaceae.

*Condalia hookeri* (Figura 6), es un árbol generalmente alto que llega a alcanzar los 9 m de altura, con irregular expansión de la copa, ramas primarias de 10-35 cm de longitud, robustas a delgadas, arqueadas y ligeramente flexuosas o casi rectas, desarrolla pocas a numerosas ramas secundarias espinosas de 2-7 cm



de longitud, hojas alternas o fasciculadas de 2-4, la lámina obovada, con la parte más ancha cerca del ápice, de 15-20 mm de longitud por 8-12 mm de ancho, flores pequeñas, verdosas de 2-3; pedicelos en la antesis menos de 1 mm de longitud, en los frutos de 1-2 mm de longitud, sépalos deltoides, de 1 mm de longitud, el fruto es una drupa de color negro cuando está maduro y jugoso cuando está completamente maduro, globoso de 4-5 mm de longitud; 1-2 semillas. Su distribución se da principalmente en suelos secos (García, 1997; Fernández et al., 2013).



Figura 6. *Condalia hookeri*.

Nombre científico: *Casemiroa greggii*, (S. Watson) F. Chiang

Nombre común: Chapote amarillo.

Familia: Rutaceae.

*Chapote amarillo* (Figura 7), es encontrado generalmente en áreas con suelos y ambientes húmedos, es un árbol que alcanza los 4 hasta los 8 m de altura con una copa redondeada, hojas alternas, con glándulas punteadas, hojas alternas, persistentes, digitadamente 2 o 3 foliadas, de 3 a 10 cm de largo. Flor de color verde amarillenta, son pequeñas dado que su periodo de floración puede ser extenso ocurre en el mes de Marzo y produce frutos de Mayo hasta Agosto (Ruiz y Coronado, 2012), también las producen fuera de temporada y esto aparentemente se estimula, en parte, por el agua disponible para el árbol, su fruto es una drupa, globosa, es de color amarilla al madurar comestible, 1.5 a 2 cm largo, con una semilla con color café castaño 1.2 a 1.4 cm largo (Alanís y González, 2003).

Su distribución se da en bosques mixtos o matorral submontano (Alanís y González, 2003). La madera del chapote es de grano cerrado y dura, y muy similar en apariencia a la de *Citrus*, a veces se usa para ejes de carretas u otros artículos que requieren una fuerza considerable (Plummer et al., 1941).



Figura 7. *Casemiroa greggii*.

Nombre científico: *Leucaena leucocephala*, Lam

Nombre (s) común (es): Leucaena, guaje.

Familia: Fabaceae.

*Leucaena leucocephala* (Figura 8), es un árbol generalmente alto que va desde los 3 hasta los 12 m de altura, presenta una copa redondeada ligeramente abierta y rala, hojas alternas, bipinadas, su fruto son vainas oblongas, estipitadas, en capítulos florales de 30 o más vainas, de 11 a 25 cm de largo por 1.2 a 2.3 cm de ancho, verdes cuando tiernas y cafés cuando maduran, conteniendo de 15 a 30 semillas, su distribución se da principalmente en suelos secos (Zarate, 1987). Dentro del área de estudio, la presente especie ha sido introducida. Debido a que se encuentra en regeneración, no se puede contemplar en el experimento de escurrimiento fustal debido a que los diámetros de sus fustes son demasiados pequeños.



Figura 8. *Leucaena leucocephala*.



### 6.3 Características dasométricas

Se entiende por dasometría cómo la especialidad de la ingeniería forestal que trata de la determinación o estimación de las dimensiones de variables de medida en individuos arbóreos (Imaña et al., 2014). A continuación, se realiza una descripción general de las características dasométricas, que fueron utilizadas durante el periodo de estudio.

Diámetro a la altura del pecho (DAP), en cada una de las especies se midieron sus diámetros con ayuda de una forcípula a la altura estándar de 1.30 m (Figura 9), así como la altura.



Figura 9. Diámetro a la altura de pecho (DAP).

El área de copa de los árboles en estudio fue medido respecto a la rosa de los vientos, el primero en dirección Norte-Sur, el segundo perpendicular al anterior

de Este-Oeste y así sucesivamente para ambas direcciones, Norte-Oeste, Norte-Este, Sur-Oeste, Sur-Este. Las mediciones se realizaron con el empleo de una cinta métrica (Figura 10).



Figura 10. Área de copa (Especie *Acacia farnesiana*).

#### **6.4 Medición de los componentes de las precipitaciones**

Las pérdidas por interceptación y su capacidad de almacenamiento fueron estimadas mediante las mediciones de los componentes; precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento fustal. Se seleccionó una parcela de 10 m x 10 m para cada una de las especies de interés. La medición de los componentes se realizó después de cada evento de precipitación considerada cómo todo suceso de lluvia, llovizna o chubasco, de duración indeterminada y separada por un periodo seco con duración mínima de 8 horas o hasta el cese

del escurrimiento total en la vegetación para cada una de las especies de estudio. El procedimiento consistió en coleccionar el volumen total de la precipitación mediante una probeta de 2000 mm. Estas mediciones fueron realizadas a partir del 23 de septiembre de 2016 hasta 27 de Febrero del 2018, registrándose 63 eventos de lluvias.

#### **6.4.1 Precipitación incidente (PI)**

La precipitación incidente (PI), se determinó mediante la utilización de canaletas de PVC de 0.1 m<sup>2</sup> (10 cm de ancho x 100 cm de largo) y una resolución de 0.01 mm de medición, cada una de ellas se cubrieron con una malla especial con el objetivo de impedir el paso de insectos o cualquier materia que pudiera obstruir el paso del agua. Para la colecta de la lluvia se colocaron recipientes de 20 L de capacidad equipadas con mangueras para facilitar la captación de agua durante cada evento. Se instalaron 4 canaletas a 1 m sobre el suelo en un área abierta sin árboles, colindante a las parcelas experimentales (Figura 11).



Figura 11. Canaletas de PVC instaladas para medir la precipitación Incidente.

#### **6.4.2 Precipitación directa (PD)**

Para cuantificar la precipitación directa (PD) se sigue un procedimiento similar a la precipitación incidente, colocando por parcela cuatro canaletas distribuidas al azar en cada una de las especies a estudio, colocándolas debajo de las copas de árbol estableciéndolas fijas durante todo el periodo de nuestra investigación con el objetivo de obtener la mayor cantidad de agua durante cada evento de lluvia. Cabe mencionar que se tiene que dejar pasar las 8 horas para su posterior colecta en caso que en ese rango de tiempo ocurra algún tipo de precipitación (llovizna, lluvia o chubasco), se tendrá que esperar que cese para contar de nuevo las 8 horas y que haya finalizado el escurrimiento de las copas de los árboles en los que se colocaron las canaletas para nuestro estudio (Figura 12).





Figura 12. Canaleta de Precipitación Directa (Especie *Acacia farnesiana*).

### 6.4.3 Esgurrimiento fustal (Ef)

El escurrimiento fustal (Ef) fue medido en cuatro árboles de cada una de las especies de *Acacia farnesiana*, *Condalia hookeri*, *Casemiroa greggii*, con excepción de *Leucaena leucocephala* la cual presentó diámetros de fustes de 7 cm impidiendo la cuantificación de este componente siendo el diámetro un criterio para la selección de los árboles.

Para realizar su medición en cada una de las especies a estudiar, se seleccionaron cuatro árboles por parcela que no tuvieran ramas ni bifurcaciones en la parte baja del tronco y que además fueran lo más recto posible.

Posteriormente, cada tronco se descortezó parte de él de las especies a estudiar con ayuda de un machete con el objetivo de tener el fuste más limpio y

se utilizaron mangueras aceradas de 3 cm de diámetro, con perforaciones de 2.5 cm en 4 cm de intervalo, adheridos a los fustes a 1 m de altura, con dos vueltas y media al tronco, se prensaran alrededor del fuste donde las mangueras se fijaran con alambre, remaches, y selladas con silicón con el objetivo de que la manguera no se desprenda por donde escurrirá el agua a recipientes de 20 L (Figura 13).



Figura 13. Escurrimiento fustal (Especie *Acacia farnesiana*).

#### **6.4.4 Pérdidas por intercepción (I)**

Las pérdidas por intercepción (I) es la diferencia entre la precipitación neta con la incidente, se define cómo la cantidad de la lluvia que es interceptada por las copas y troncos de los árboles y luego es evaporada (Huber y Oyarzún, 1984).

#### **6.4.5 Capacidad de almacenaje del dosel (CAD)**

La Capacidad de almacenaje del dosel (CAD) se obtuvo relacionando la precipitación incidente y la precipitación directa para eventos de lluvia con un valor máximo de 2.5 mm (Leyton et al., 1967; citado por Yáñez, 2014).

## 6.5 Análisis Estadístico

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.

Las pérdidas por intercepción se estiman mediante a siguiente formula (Hamilton y Rowe, 1949; Huber y Oyarzún, 1984; Dunin et al., 1988; Cantú y Okumura, 1996; Belmonte y Romero, 1999; Cantú y González, 2002, 2005; Echeverría et al., 2007; Ahmadi et al., 2009; Yañez et al., 2014):

$$I = PI - Pn$$

Dónde:

- I= Pérdidas por intercepción (mm).
- PI = Precipitación incidente (mm).
- Pn = Sumatoria de la precipitación directa y escurrimiento fustal (mm).

Algunos estudios sugieren que la intercepción aumenta con el aumento de la intensidad de la lluvia debido a la saturación gradual de la copa (Aston, 1979). La intercepción de lluvia puede representar entre 10 y 50% de la precipitación directa (Llorens y Domingo, 2007).



## 7 RESULTADOS

### 7.1 Precipitación incidente

El análisis de 63 eventos de lluvia distribuidos entre el 22 de septiembre de 2016 al 27 de febrero del 2018, sumaron un total de 611.61 mm de precipitación incidente, con eventos en un rango de 0.14 a 56.5 mm.

Durante el periodo de estudio, los resultados de precipitación incidente, para 34 eventos de lluvia individuales sumaron un total de 45.66 mm, obteniendo un 46% del total de eventos transcurridos durante el periodo de estudio para aquellos valores que oscilaron en el rango de menores o iguales a 5 mm, en el rango de los valores mayores de 5 a 10 mm, correspondió un porcentaje de 22% con un total de precipitación incidente de 106.62 mm, en el rango de los valores de 10 a 25 mm presentó un total de 26% con un total de 276.32 mm de precipitación incidente. Por último, los eventos mayores de 25 mm, donde solo se registraron 4 eventos con un total de precipitación incidente de 183.01 mm, correspondiendo el 6% (Figura 14).

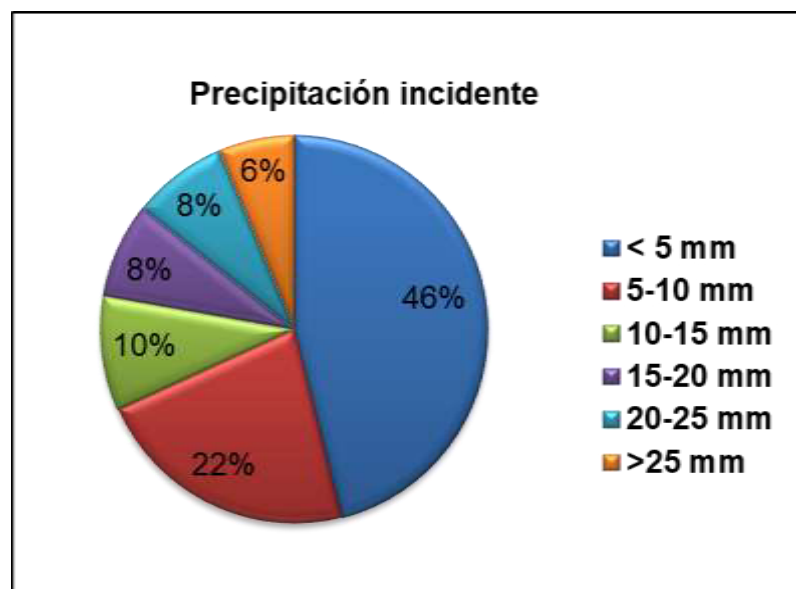


Figura 14. Porcentaje de rangos de volúmenes de precipitación registrada durante el periodo de estudio.

En la distribución mensual de las precipitaciones, se puede observar que en el año 2016 y 2017 se presentaron las precipitaciones mayores en los meses de octubre, marzo, y abril y junio con 61.94, 64.76, 60.29 y 65.99 mm, respectivamente, La precipitación más alta se presentó en el año 2017 con un valor de 65.99 mm, para el mes de junio. Cabe mencionar que durante el periodo de estudio, en el 2017 se colectaron los eventos de menor precipitación con una cantidad de dos eventos para el mes de febrero de 1.8 mm y un solo evento para el mes de noviembre con el valor más bajo, con valores 0.73 mm durante los 63 eventos registrados que duro el estudio (Figura 15).

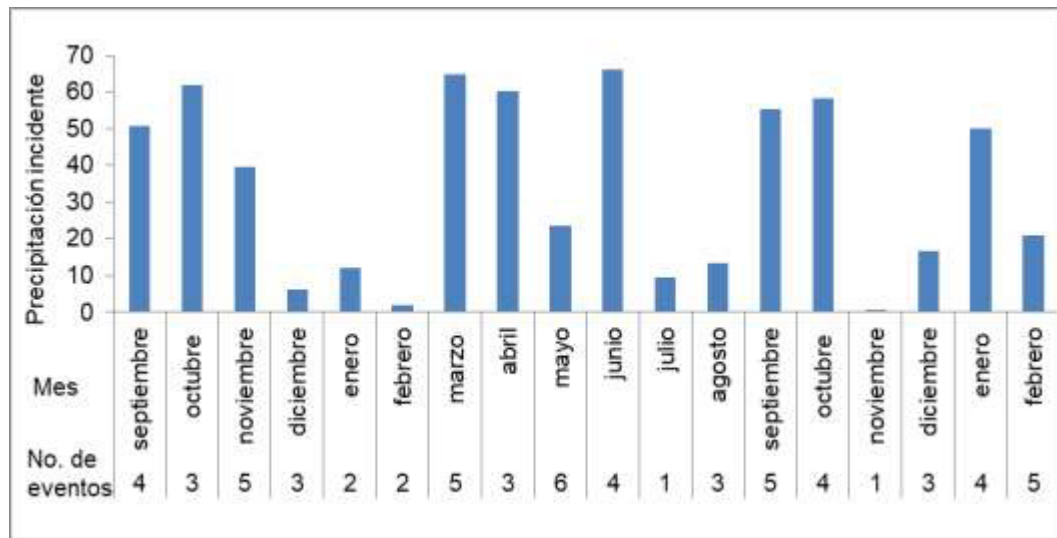


Figura 15. Numero de eventos de lluvia y precipitación acumulada mensual.

## 7.2 Precipitación directa (PD)

La precipitación directa obtenida fue de 77% para *A. farnesiana*, 73% en *C. hookeri*, 85% para *L. leucocephala* y para *C. greggii* 82%, representando en promedio el 79.25% de la precipitación incidente, durante el periodo de estudio. Los análisis de regresión lineal entre las especies que se estudiaron, mostraron valores altos en el coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Cabe señalar que las especies de *C. greggii* y *L. leucocephala* mostraron los valores más altos con una  $R^2= 0.96$ , mientras que para *A. farnsesiana* y *C. hookeri* una  $R^2= 0.91$  y

0.93, respectivamente. La mayor precipitación directa se encontró en el rango de 0 a 5 mm con 59.5% en promedio de las especies estudiadas, sin embargo los menores valores se ubicaron en el rango de 0 a 25 mm obteniendo un promedio 1.5%. Detalladamente la especie que presentó mayor porcentaje de precipitación directa fue *C. hookeri* con 66% en el rango de 0 a 5 mm, es importante detallar que para las especies *C. hookeri* y *L. leucocephala* no se registraron valores de precipitación directa en el rango de 20 a 25 mm (Figuras 16, 17, 18, y 19).

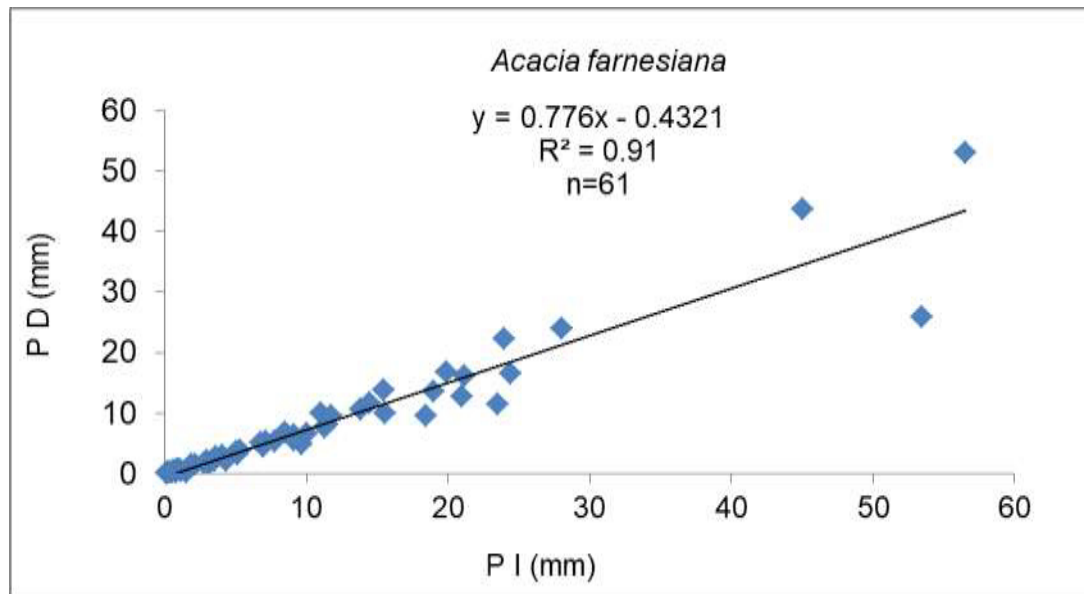


Figura 16. Relación de la Precipitación Directa (PD) vs Precipitación Incidente (PI) para *A. farnesiana*.

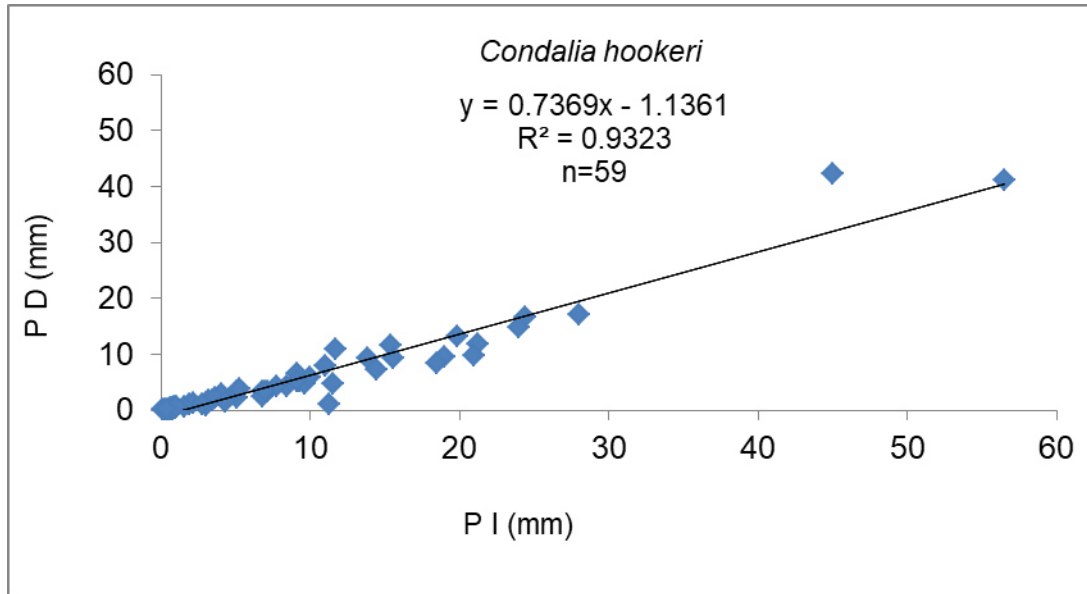


Figura 17. Relación de la Precipitación Directa (PD) vs Precipitación Incidente (PI) para *C. hookeri*.

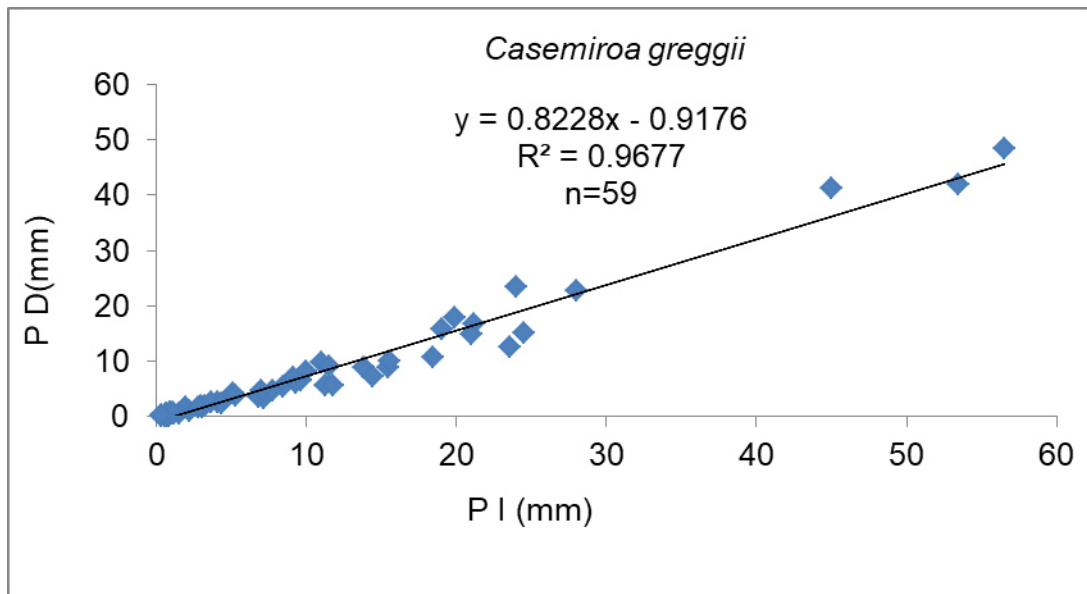


Figura 18. Relación de la Precipitación Directa (PD) vs Precipitación Incidente (PI) para *C. greggii*.

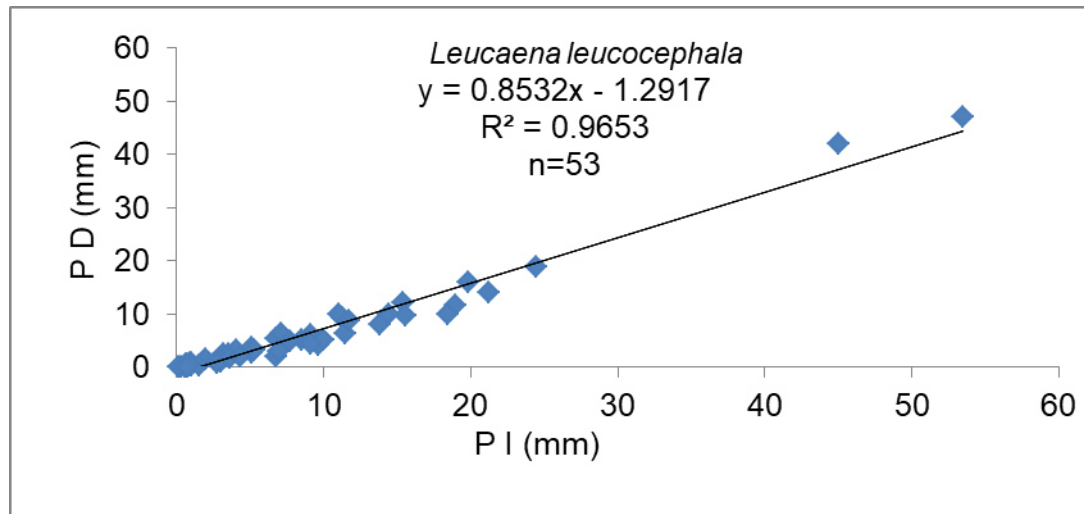


Figura 19. Relación de la Precipitación Directa (PD) vs Precipitación Incidente (PI) para *L. leucocephala*.

### 7.3 Escurrimiento fustal (Ef)

El escurrimiento fustal se determinó en tres de las cuatro especies que se estudiaron, debido a que *L. leucocephala* presenta, en promedio, diámetros de 7 cm, relativamente muy pequeños para poder realizar el experimento para dicha especie. Durante los 63 eventos registrados de precipitación incidente, cabe mencionar que este experimento fue realizado a partir del evento número 13 y la “n” de valores varió para cada una de las especies que se analizaron en base a la intensidad de lluvia ya que entre menos precipitación, en ocasiones no era posible la colecta del escurrimiento fustal. Durante los eventos donde fue colectado dicho componente, el valor más bajo que se presentó durante el periodo de estudio fue de .170 mm para la especie *A. farnesiana*, con lo que respecta a la colecta que presentó mayor cantidad fue de 20 mm de escurrimiento fustal correspondiente para la especie de *C. greggii*. Los valores obtenidos en porcentaje fueron de 1.18% para *A. farnesiana*, 1.33% en *C. hookeri*, 1.62% para *C. greggii*, representando en promedio, el 1.37% de la precipitación incidente durante el periodo de estudio. Los análisis de regresión

lineal en comparación con la precipitación directa, el valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), fue relativamente bajo con valores de  $R^2= 0.39$  para *C. greggii* con 33 eventos de lluvia, el valor más alto fue para la especie de *A. farnesiana* con una  $R^2= 0.76$  con una cantidad de 34 eventos de lluvia individuales durante nuestro periodo de estudio, mientras que para *C. hookeri* se obtuvo una  $R^2= 0.51$  para una cantidad de 30 eventos de lluvia (Figuras 20,21,22).

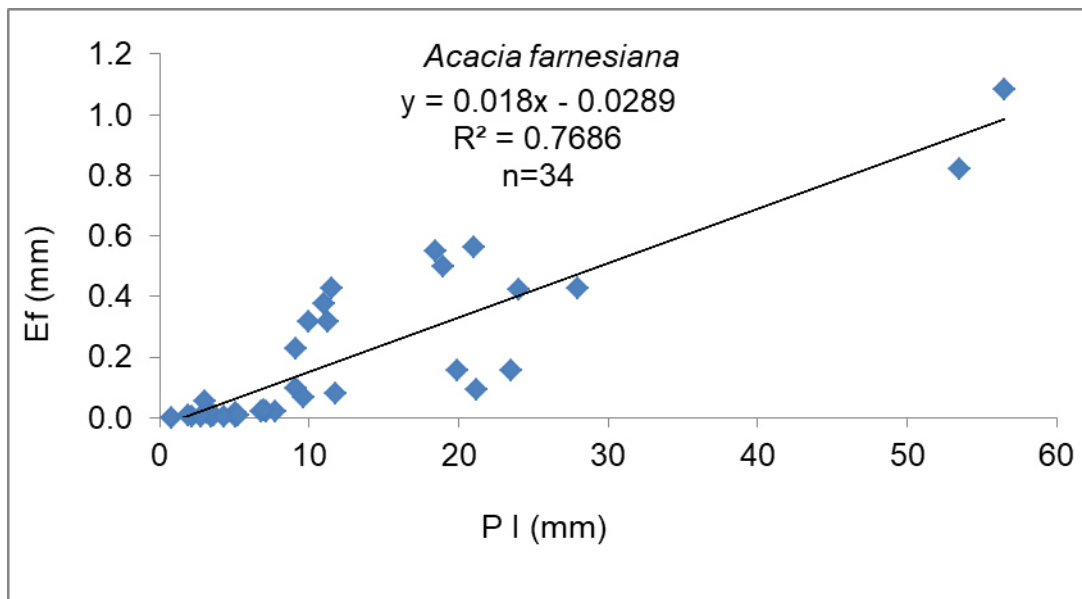


Figura 20. Escurrimiento fustal (Ef) para *A. farnesiana* en relacion con la precipitacion incidente (PI) para una "n" de eventos de lluvia de 34.

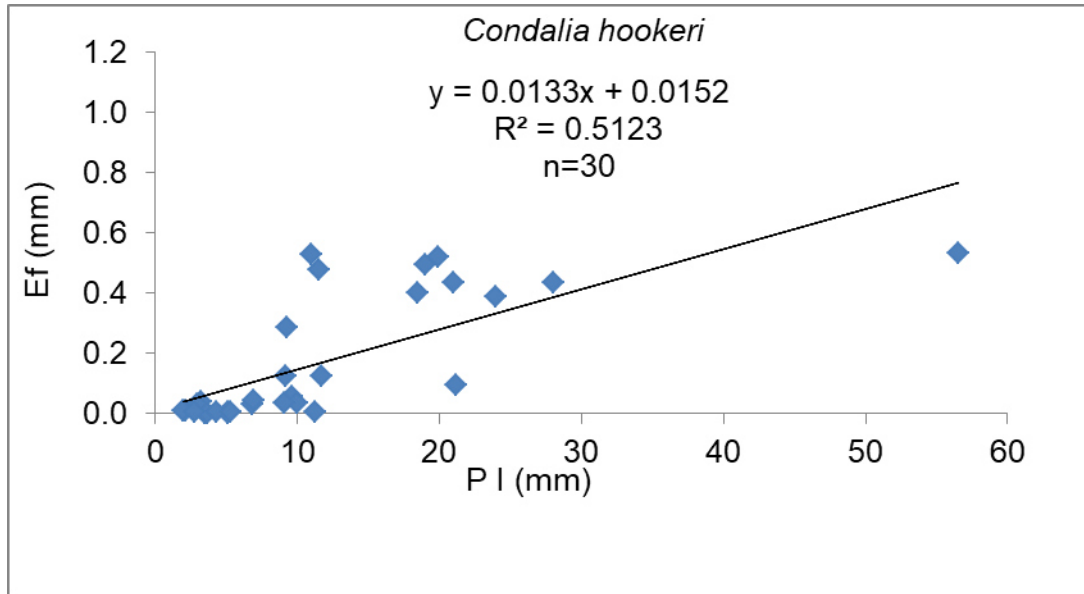


Figura 21. Escurrimiento fustal (Ef) para *C. hookeri* en relacion con la precipitacion incidente (PI) para una "n" de eventos de lluvia de 30.

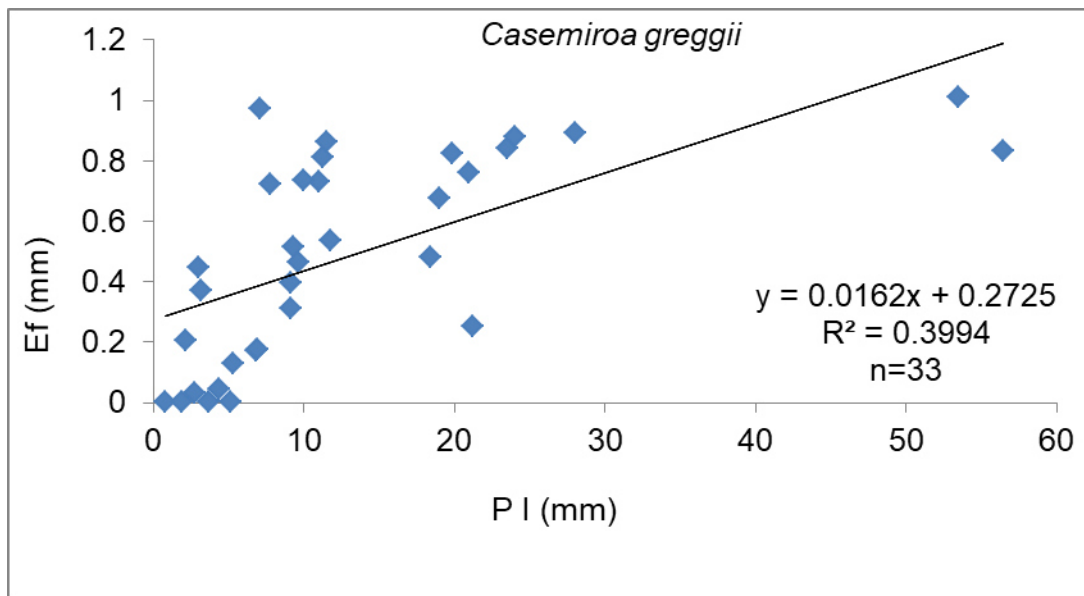


Figura 22. Escurrimiento fustal (Ef) para *C. greggii* en relacion con la precipitacion incidente (PI) para una "n" de eventos de lluvia de 33.

#### 7.4 Precipitación neta (PN)

La precipitación neta se obtuvo a partir de la suma de la precipitación directa y el escurrimiento fustal. Para el caso de la especie *Leucaena leucocephala* no se realizó dicho cálculo debido a que en el presente estudio no se obtuvo escurrimiento fustal, siendo el diámetro un criterio que se toma en cuenta para realizar dicho experimento. Los resultados fueron de 78%, 74%, 83% y 85% para *Acacia farnesiana*, *Condalia hookeri*, *Casemiroa greggii* y *Leucaena leucocephala* representando en promedio el 80% de la precipitación incidente. Los análisis de regresión lineal entre las especies que se estudiaron, mostraron valores altos en el coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Cabe señalar que las especies de *C. greggii* y *L. leucocephala* mostraron los valores más altos con una  $R^2 = 0.96$  con lo que respecta a *A. farnesiana* y *C. hookeri*, una  $R^2 = 0.91$  y  $0.93$  respectivamente (Figuras 23, 24, 25, y 26).

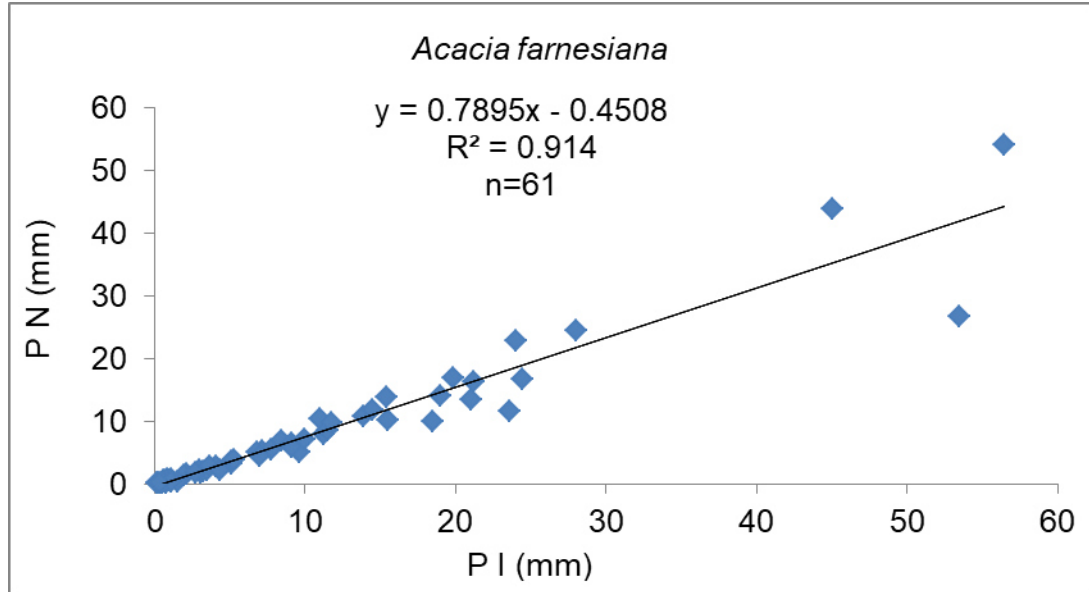


Figura 23. Relación de Precipitación neta (PN) vs Precipitación incidente (PI) para *A. farnesiana* para una "n" de eventos de lluvia de 61.



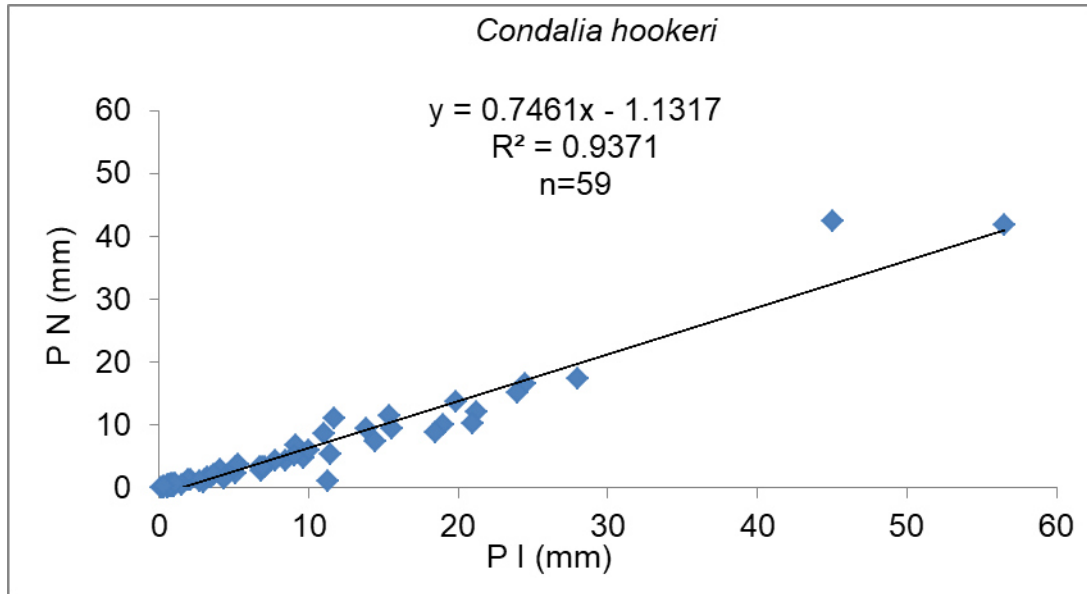


Figura 24. Relación de Precipitación neta (PN) vs Precipitación incidente (PI) para *C. hookeri* para una “n” de eventos de lluvia de 59.

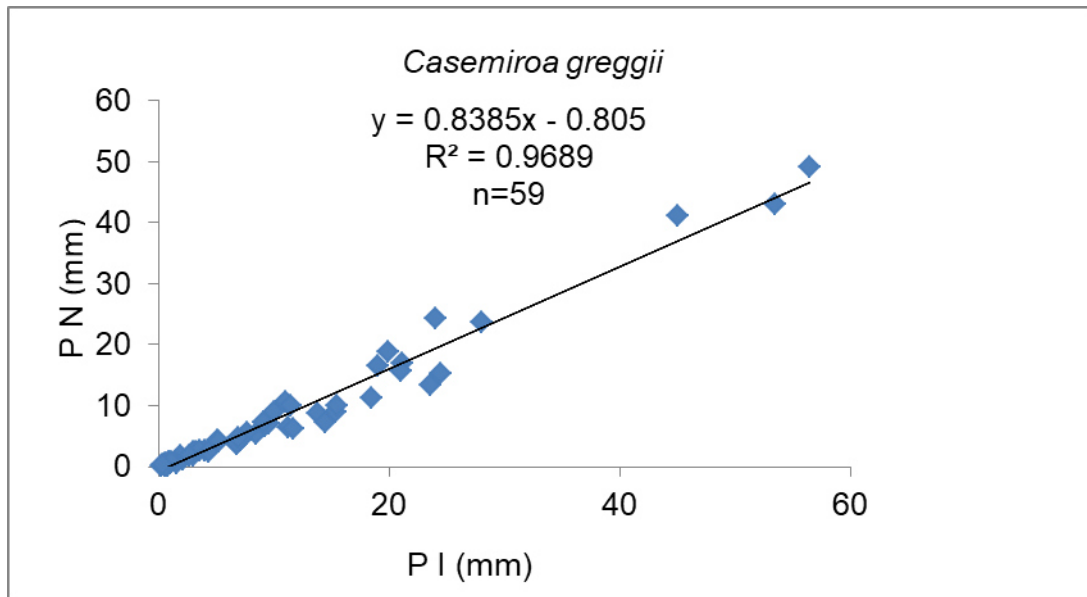


Figura 25. Relación de Precipitación neta (PN) vs Precipitación incidente (PI) para *C. greggii* para una “n” de eventos de lluvia de 59.

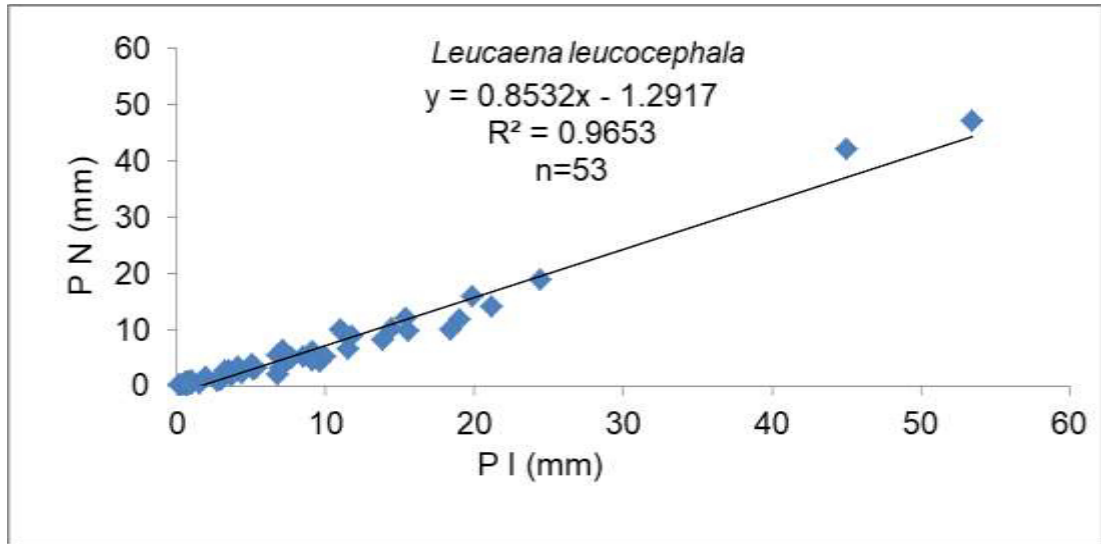


Figura 26. Relación de Precipitación neta (PN) vs Precipitación incidente (PI) para *L. leucocephala* para una “n” de eventos de lluvia de 53.

### 7.5 Capacidad de almacenamiento del dosel (CAD)

La capacidad de almacenamiento del dosel, se obtuvo a partir de la relación de la precipitación incidente y la precipitación directa para eventos de lluvia menores o iguales de 2.5 mm, por ende en base a esta relación nuestro número de eventos varió para cada una de las especies analizadas. Los resultados fueron de 0.03 mm para *A. farnesiana* para una cantidad de eventos de lluvia de 21, la especie de *C. hookeri* registró para un número de eventos de 19 el valor de 0.10 mm, con una misma cantidad de eventos para la especie *C. greggii* el valor fue de 0.06 mm, y la especie que registró el valor más bajo de la componente en estudio fue para la especie de *L. leucocephala* de 0.02 mm con una “n” de eventos de 16. En los análisis de regresión lineal, se obtuvieron valores en el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) para *A. farnesiana*, *C. hookeri*, *C. greggii* y *L. leucocephala* fue 0.71, 0.82, 0.64 y 0.58, respectivamente (Figuras 27, 28, 29, y 30).

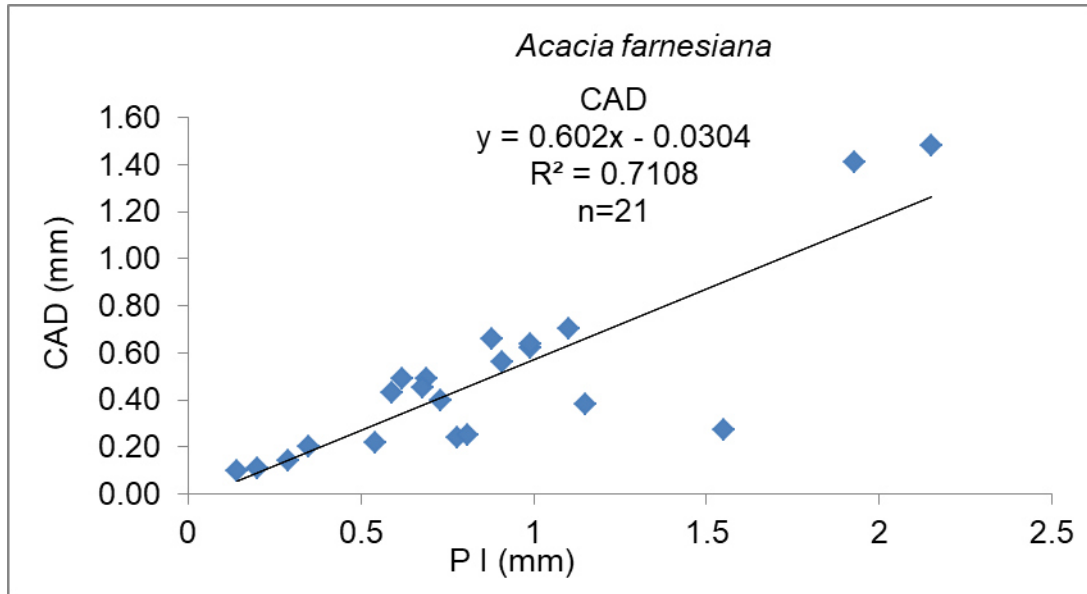


Figura 27 Capacidad de almacenaje del dosel para *A. farnesiana*.

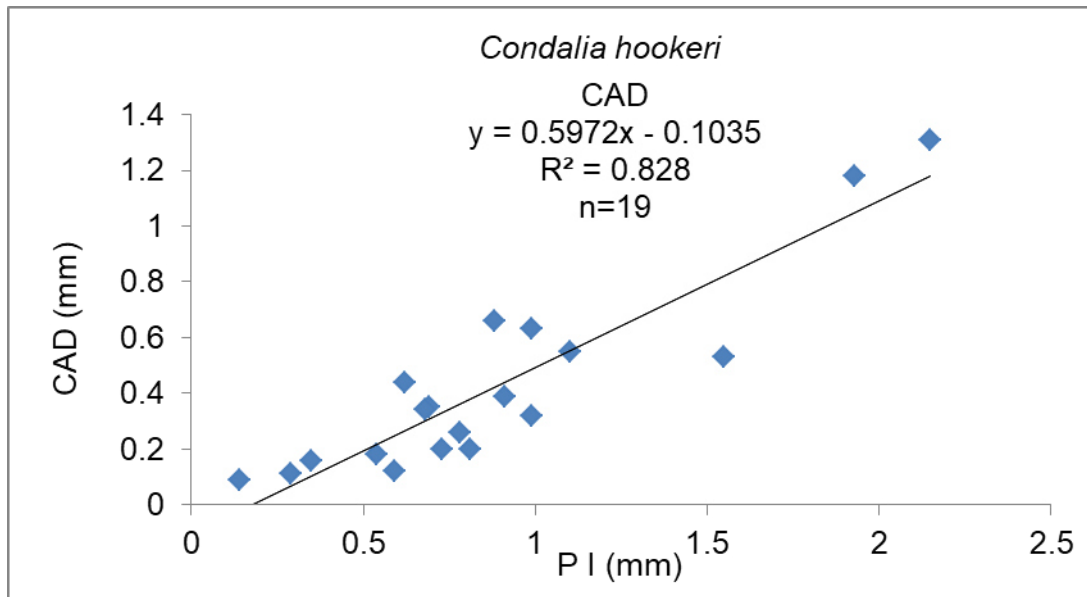


Figura 28. Capacidad de almacenaje del dosel para *C. hookeri*.

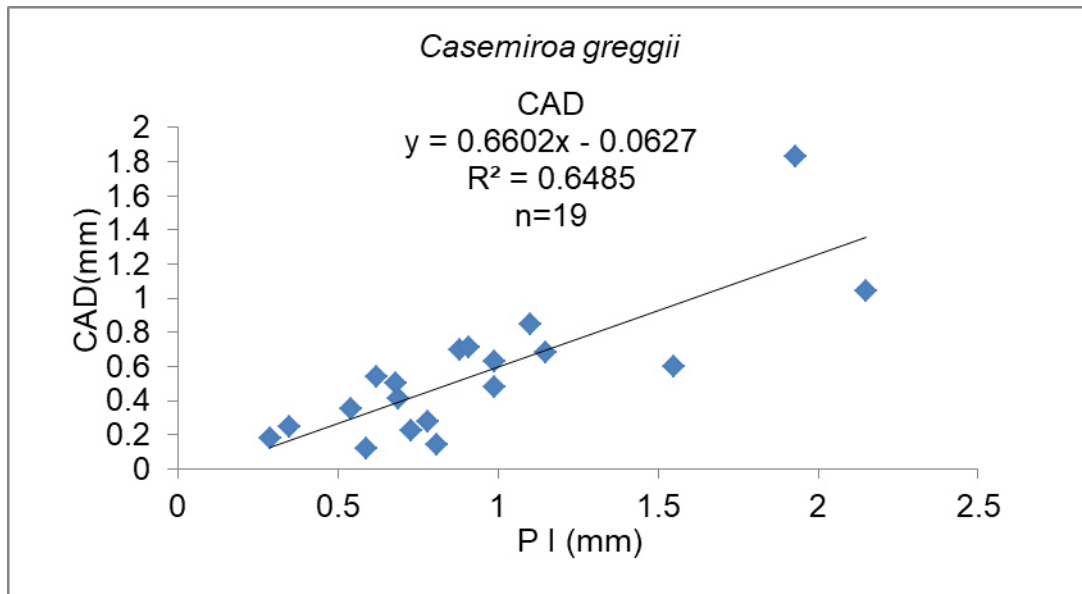


Figura 29. Capacidad de almacenaje del dosel para *C. greggii*.

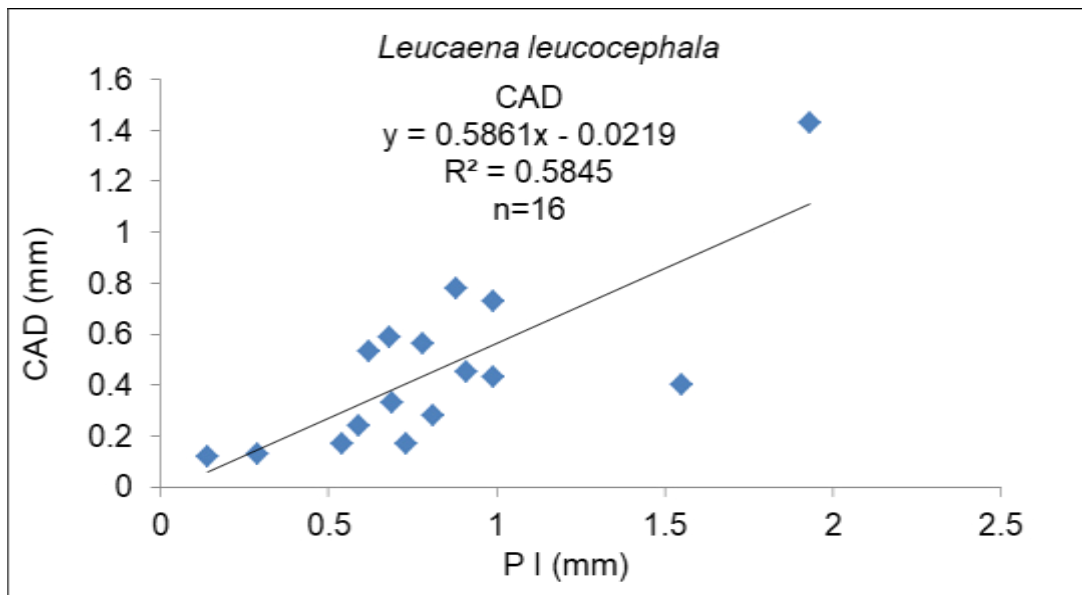


Figura 30. Capacidad de almacenaje del dosel para *L. leucocephala*.

## 7.6 Pérdidas por intercepción

Los rangos de intercepción, así como las pérdidas por intercepción total para cada una de las cuatro especies de estudio durante 63 eventos fue de la siguiente manera: Los rangos de intercepción obtenidos fueron para *A. farnesiana* 2.88 a 82.58%, siendo la especie *C. hookeri* en la que se obtuvo el mayor rango de 5.88 a 91.43%, mientras que *L. leucocephala* presentó los valores más bajos con valores de 6.46 a 76.71 %, mientras los valores de intercepción total para las especies a estudio la que presento mayor para la especie *C. hookeri* con 25% seguida por *A. farnesiana* con 21% siendo *L. leucocephala* la que presento menor intercepción total con 14%, finalmente *C. greggii* en el rango de intercepción obtuvo los valores intermedios de 3.36 a 82.71% y 16% de la intercepción total (Cuadro 2).

Cuadro 2. Rangos de pérdidas por intercepción e intercepción total durante el periodo de estudio para las cuatro especies bajo estudio.

Tipo de dosel	n	Rango de intercepción		Intercepción total	
		(mm)	%	(mm)	%
<i>A. farnesiana</i>	61	0.04-26.9	2.88-82.58	152.86	21
<i>C. hookeri</i>	59	0.05-14.73	5.88-91.43	202.13	25
<i>C. greggii</i>	59	0.08-10.55	3.36-82.71	145.18	16
<i>L. leucocephala</i>	53	0.10-8.5	6.46-76.71	135.05	14

Las pérdidas por intercepción se obtuvieron mediante la diferencia de precipitación incidente y la precipitación neta. Los análisis de regresión lineal entre la precipitación incidente y la intercepción para *A. farnesiana*, *C. hookeri*, *C. greggii* y *L. leucocephala* arrojaron valores de  $R^2$  de 0.43, 0.63, .59 y 0.53,

respectivamente; así mismo, los valores obtenidos para pérdidas de interceptación del dosel fueron de 21%, 25%, 16% y 14%, respectivamente.

Se considera cómo una pérdida, cuando el agua retenida en la cubierta vegetal se evapora o al momento en que suceda el evento de lluvia parte de esta agua se queda retenida en las hojas de los árboles y se evapora por condiciones del viento y temperatura. Si el agua interceptada procede de la humedad del aire o de la condensación, la interceptación representa un incremento o ganancia del recurso (Figuras 31, 32, 33, y 34).

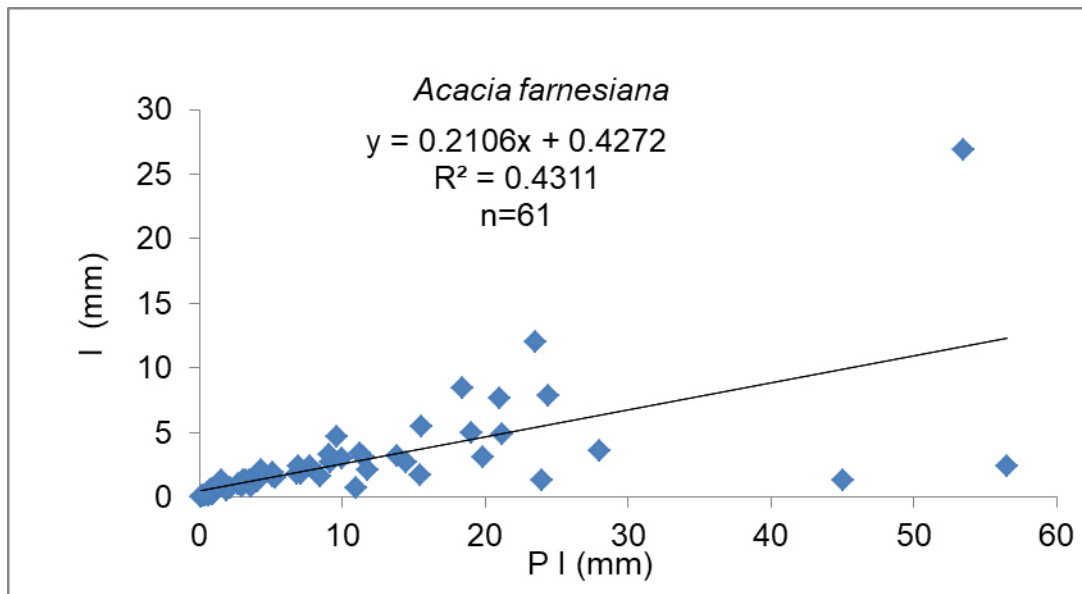


Figura 31. Pérdidas por interceptación para *A. farnesiana*.

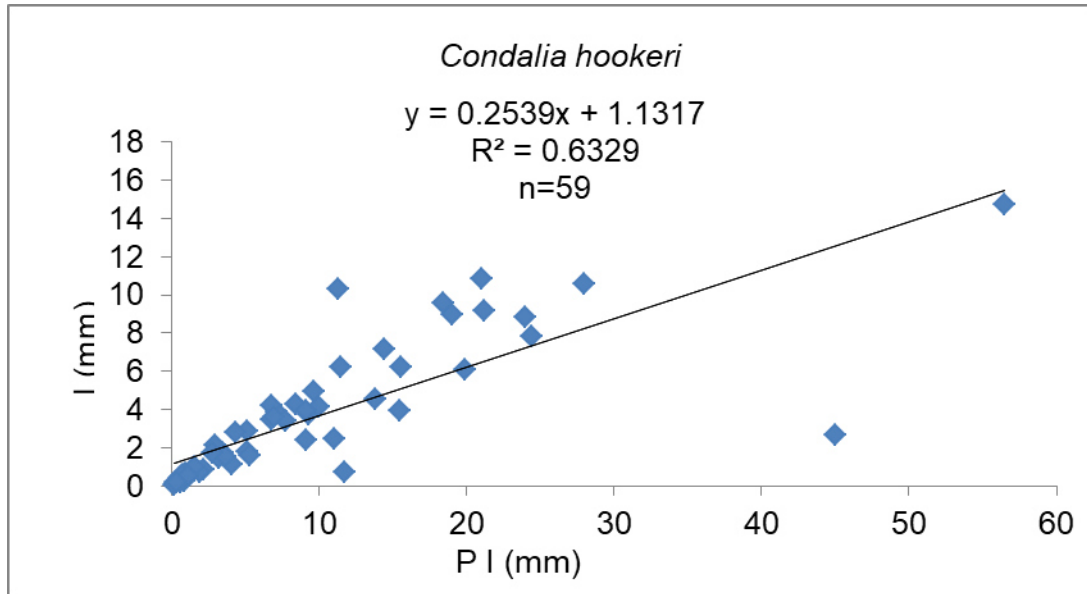


Figura 32. Pérdidas por intercepción para *C. hookeri*.

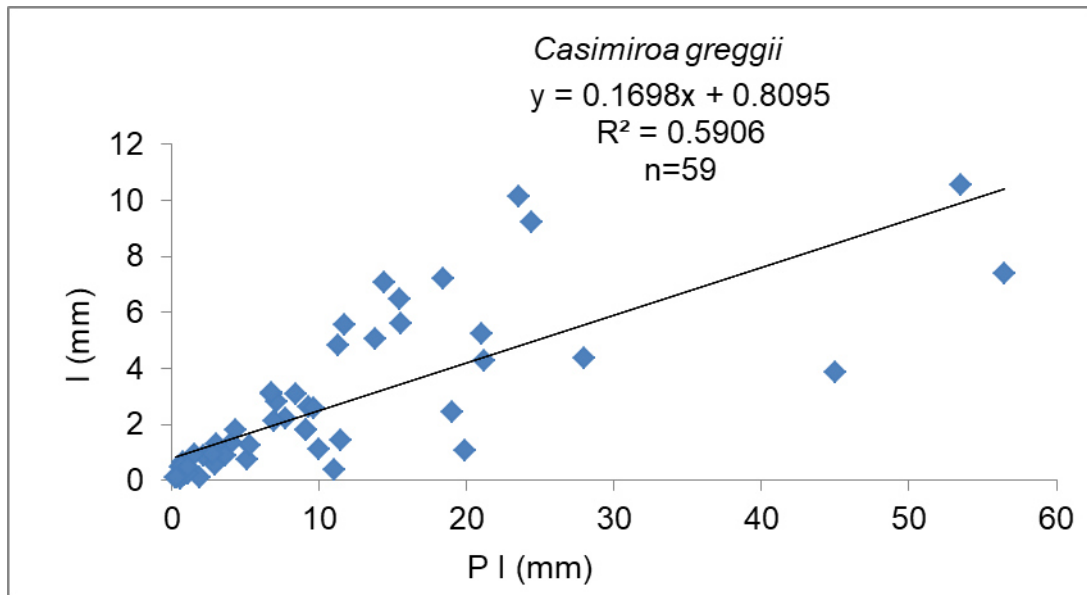


Figura 33. Pérdidas por intercepción para *C. greggii*.

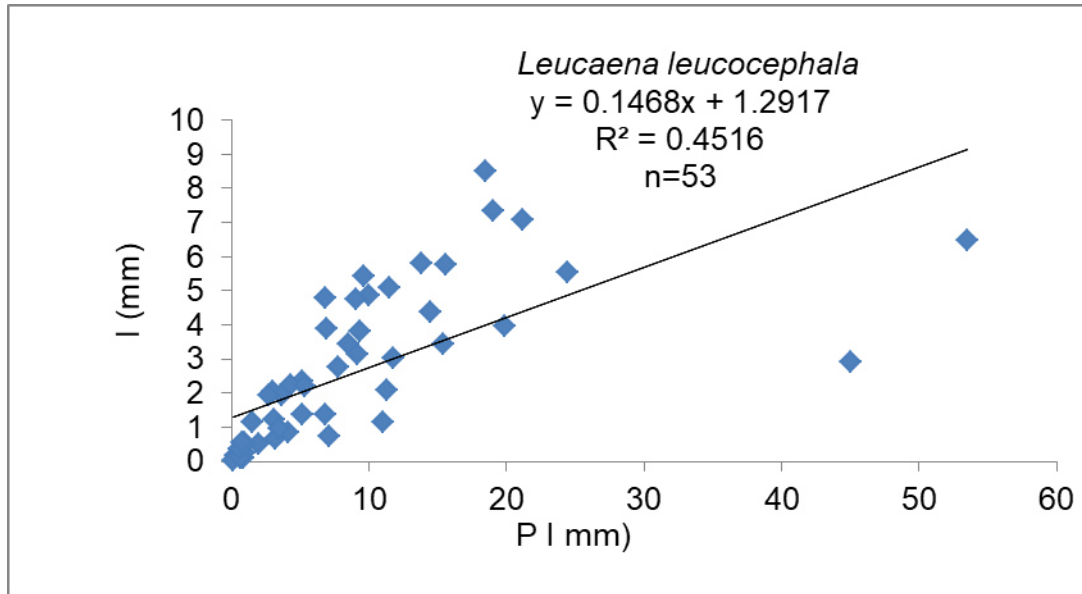


Figura 34. Pérdidas por interceptación para *L. leucocephala*.

En el presente estudio de los 63 eventos registrados, en la especie *L. leucocephala* se presentaron eventos en donde no era posible el acceso para su colecta, por lo que en ocasiones el agua precipitada se acumuló en algunos eventos, lo que produjo error experimental. Estos valores corresponden a los picos más altos registrados, siendo valores de 42 y 47 mm. En la Figura 35 se muestra cada uno de los eventos durante el periodo de estudio para cada una de las especies estudiadas para el componente de las pérdidas por interceptación.



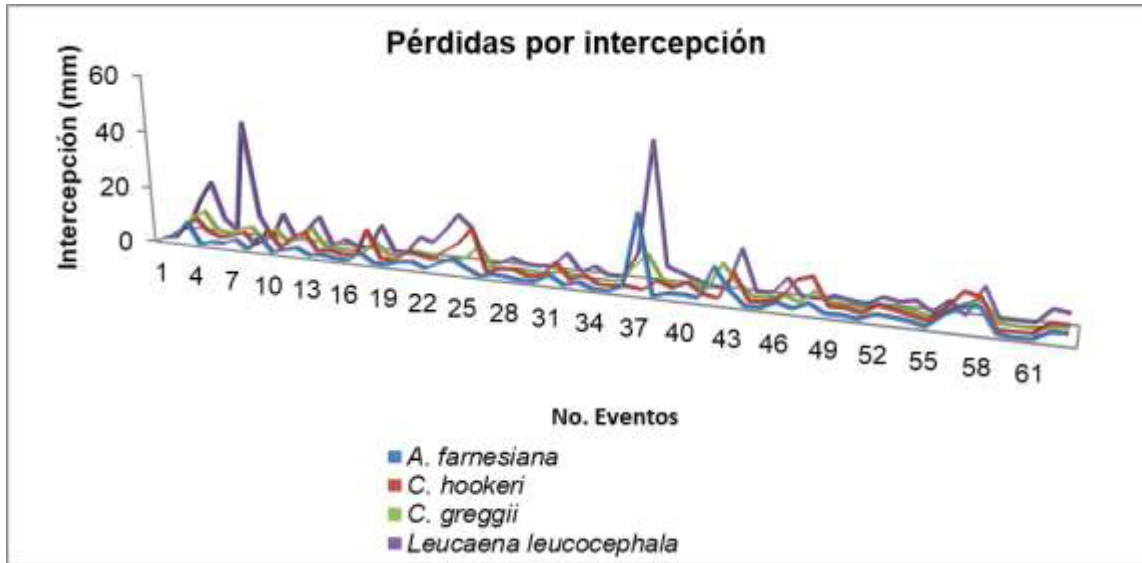


Figura 35. Pérdidas por intercepción para cada uno de los análisis individuales durante los 63 eventos registrados durante el periodo experimental para cada una de las especies estudiadas.

## 7.7 Medidas dasométricas

Para cada una de las especies que fueron analizadas en cada una de las componentes que se mencionaron anteriormente, también se realizaron sus medidas dasométricas como su diámetro a la altura del pecho (DAP) en unidades de cm, el área de copa ( $m^2$ ) y altura (m).

Los especie que presentó un mayor diámetro a la altura del pecho fue para la especie de *A. farnesiana* con un promedio de 28.32 cm y la que presentó menor diámetro fue la especie *C. hookeri* con 9.54 cm. El área de copa que promedio más alto fue para *A. farnesiana* con 42.2  $m^2$  y la especie con menor área fue para *L. leucocephala* con 4  $m^2$ . Cabe mencionar que para esta especie fue la que presentó una mayor altura con 9.25 m y la que presentó una altura menor fue la de *A. farnesiana* con 5.30 m. En el Cuadro 3 se muestran los promedios que se obtuvieron para las cuatro especies que fueron analizadas durante el periodo de estudio.

Cuadro 3. Características dasométricas de las especies bajo estudio (N= 4 por especie)

Espece	Diámetro a la altura del pecho (cm)	Altura (m)	Área de copa (m <sup>2</sup> )
<i>A. farnesiana</i>	28.32	5.30	42.2
<i>C. hookeri</i>	9.54	8.50	13.5
<i>C. greggii</i>	17.02	7.15	22.6
<i>L. leucocephala</i>	7.25	9..25	4.0

## 8. DISCUSIÓN

En base a estudios realizados en la Facultad de Ciencias Forestales en el 2005, 2009 y 2011 se realizaron revisiones bibliográficas con el objetivo de comparar los resultados con la presente investigación a nivel Nacional e Internacional.

Los valores registrados para el componente de precipitación directa en el presente estudio fueron de 77, 73, 82 y 85% para *A. farnesiana*, *C. hookeri*, *C. greggii* y *L. leucocephala*; resultados similares a lo reportado por los estudios que se han realizado en la misma área reportaron Cantú y González (2005) valores de 82, 85 y 78% para *Acacia berlandieri*, *A. rigidula* y *Diospyros texana*, estos estudios son semejantes a lo reportado por Yáñez (2014) con 74, 85, 65 y 67% para *Prosopis laevigata*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Ebenopsis ebano* y *Helietta parvifolia*, sin embargo fueron mayores a lo obtenido por Návar et al. (2009), indican valores para la precipitación directa de 81.32, 86.62, 92.37 y 94.04% para *A. rigidula*, *Pithecellobium ebano*, *A. berlandieri* y *Pithecellobium pallens*, respectivamente.

En relación a los valores obtenidos en el presente estudio fueron menores a lo estimado por Oyarzún y Huber (1999) para *E. globulus* y *Pinus radiata* con 92.7% y 89.5 %, mientras que Carvajal y Calvo (2012) en un estudio de dos especies forestales nativas *Vochysia ferruginea* y *Vochysia guatemalensis* 87.65, 91.12% respectivamente. Estas diferencias pueden atribuirse al tipo de clima y vegetación. En contraste reportado por Guevara (2007) se tuvo un aporte mínimo para la especie de *Ficus benjamina* de 38.1%.

Cantú y González (2005) mencionan que la componente de escurrimiento fustal representa una mínima proporción de la precipitación incidente en estas especies de matorral, varios autores confirman esto por lo que se puede citar a Tobón Marín et al. (2000), reportan valores de 1.1% en bosques tropicales de la Amazonía colombiana, mientras que Levia y Frost, (2003), mencionan que

representa menos del 2% del balance hídrico del dosel, Chang et al. (2002), informaron el 0.51% de la lluvia y por su parte Li et al., (2006) reportan solo el 0.07%, estos valores son congruentes a lo obtenido en nuestro estudio valores de 1.8, 1.33 y 1.62% para *A. farnesiana*, *C. hookeri* y *C. greggii*.

Por lo tanto estos valores se pueden contrastar con lo obtenido por Zhang et al. (2007), demostraron en su investigación que el escurrimiento fustal puede alcanzar 2.24% con respecto a la lluvia en el bosque de piceas de Qinghai, Carvajal y Calvo (2012) reportan valores de 2.98% para *V. ferruginea* y 3.39% y *V. guatemalensis*, Yáñez et al. (2014), reporta para *E. ebano*, *E. camaldulensis* y *P. laevigata* valores de 3.29 y 3.66 y 0.23 %, pero en casos extremos puede representar más del 10% de la precipitación total como lo mencionan Llorens y Domingo (2007) para un estudio de vegetación arbustiva los rangos desde los 4.4% a 42.5%. Estos valores confirman lo mencionado por Carlyle-Moses (2004) que puede atribuirse con la duración e intensidad de la lluvia, así como la morfología de las especies a estudio De Soyza et al. (1997), por lo que dificulta las comparaciones con los valores obtenidos en diferentes ambientes, condiciones, y los métodos para obtener el escurrimiento fustal.

La capacidad de almacenaje del dosel registrados durante el periodo de estudio fueron 0.03, 0.10, 0.06 y 0.02 mm para *A. farnesiana*, *C. hookeri*, *C. greggii* y *L. leucocephala*, de manera semejante a nuestra área de estudio se pueden citar a Cantú y González (2005) para *A. berlandieri*, *A. rigidula* y *Diospyros* donde se obtuvieron valores de 0.24, 0.14 y 0.14 mm respectivamente, mientras que Yáñez et al. (2014), estimaron para las especies de *P. laevigata*, *E. ebano*, *E. camaldulensis* y *H. parvifolia* valores de 0.15, 0.12, 0.27 y 0.03 mm. Estos valores son congruentes con los estudios realizados por Herwitz, (1985) en un bosque tropical varió de 0.120 a 0.7 mm, de manera similar Liu et al. (1998), menciona que los valores para un Pino, ciprés y goma negra fueron de 0.0384. 0.0367 y 0.041 mm, respectivamente

Sin embargo hay estudios que reportan valores altos de esta componente por ejemplo Llorens y Gallart (2000) encontraron los valores disponibles para las coníferas que varían de 0.1 a 3.1 mm, por su parte García et al. (2010), reportan valores de 0.35 mm y 3.24 mm, para *Medicago strasseri* y *Lavandula latifolia* respectivamente.

Los resultados obtenidos en el componente de pérdidas por intercepción fueron de 21, 25, 16, 14% para *A. farnesiana*, *C. hookeri*, *C. greggii* y *L. leucocephala* en investigaciones previas del mismo ecosistema los resultados encontrados en las pérdidas por intercepción por Cantú y González (2005) estudiando las especies de *Acacia berlandieri*, *A. rigidula* y *Diospyros texana*, valores de 18, 15 y 22%, mientras que Návar et al. (2009), entre las especies de arbustos para *A. rigidula*, *P. ebano*, *A. berlandieri* y *P. pallens* valores de 18.68 13.38 7.63 y 5.96% respectivamente, por su parte Yáñez et al., (2014) para *E. ebano*, *H. parvifolia*, *P. laevigata* y *E. camaldulensis* valores de 34, 33 25 y 15 % respectivamente.

De manera similar se han hecho estudios para la especie de *A. farnesiana* como lo reportan Flores et al. (2013), para una comunidad de matorral inerme espinoso donde predominan *A. farnesiana* (Huizache) efectuada en Atotomilco el Grande, en Hidalgo, en el año 2007 para un modelo de regresión tipo logarítmico una intercepción promedio de 18.6%, de igual forma Návar et al., (2008) y Mastachi et al., (2010) registran valores de 15 y 27% respectivamente para dicha especie.

Cantú y González (2002) estudiaron las pérdidas por intercepción para Pino, Encino y Pino-Encino registrando valores de 19.2, 13.6 y 23%, de manera similar en lo que comprende en este tipo de plantaciones forestales Flores et al. (2016), valores para Encino (21.7 %), Pino (19.2 %) y Oyamel (26.1 %), de manera semejante León Peláez et al. (2010), encontraron valores de pérdidas

por intercepción de 19.1, 14.5 y 10.2% para *Pinus patula*, *Quercus humboldtii* y *Cupressus lusitánica* de la precipitación respectivamente.

## 9. CONCLUSIONES

De los 63 eventos de lluvias registrados se obtuvo en total 611.61 mm de precipitación incidente, donde el 46% fue representado por eventos menores de 5 mm. Entre las especies investigadas *L. leucacephala* y *C. greggii* presentaron la mayor cantidad de precipitación directa (85 y 82%, respectivamente), mientras que *A. farnesiana* y *C. hookeri* fueron las que interceptaron una mayor cantidad de lluvia en relación a la precipitación incidente con valores de 21 y 25%, respectivamente, *C. greggii* interceptó un 16% y *L. leucocephala* fue la que presentó una menor pérdida por interceptación correspondiéndole el 14%. El componente del escurrimiento fustal tuvo un aporte mínimo sobre la precipitación neta, representando en promedio 1.37% para las especies estudiadas. Así mismo se observó una diferencia entre la capacidad de almacenaje del dosel entre las especies lo cual se relaciona a los diferentes doseles presentes. De acuerdo a los resultados obtenidos concluimos que las pérdidas por interceptación difieren entre las especies evaluadas por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, representando con esto una herramienta de decisión en lo referente a la selección de especies y su impacto en el rendimiento hídrico en una cuenca.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

Abrahams, A. D., Parsons, A. J. y Wainwright, J. (2003). Disposition of rainwater under creosotebush. *Hydrological Processes*, 17(13), 2555-2566.

Achkar, M. (2004). Hacia un Uruguay sustentable: gestión integrada de cuencas hidrográficas. *El sistema hidrológico* (pp. 9-24). Uruguay. REDES, Amigos de la Tierra Uruguay.

Ahmadi, M. T., Attarod, P., Mohadjer, M. R. M., Rahmani, R. y Fathi, J. (2009). Partitioning rainfall into throughfall, stemflow, and interception loss in an oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forest during the growing season. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 33(6), 557-568.

Alanís, E. (2006). *Diversidad de especies arbóreas y arbustivas en áreas con distinto historial antropogénico en el matorral espinoso tamaulipeco*. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Forestales, Linares, Nuevo León, México.

Alanís, F. G. J. y González, A. D. (2003). Flora nativa ornamental para el área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México. Descripción y requerimiento de las especies para el paisaje urbano. Universidad Autónoma de Nuevo León, R. Ayuntamiento de Monterrey, 2000-2003. 128 pp.

Allen, R., Pereira, L., Raes, D. y Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration—Guidelines for Computing Crop Water Requirements. *FAO Irrigation and Drainage*, 300(9), 1-16.

Arnell, N. (2002). Hydrology and Global Environmental Change. *Pearson Education*.



Aston, A. R. (1979). Rainfall interception by eight small trees. *Journal of Hydrology*, 42(3-4), 383-396.

Ataroff, M. y Naranjo, M. E. (2009). Interception of water by pastures of *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. and *Melinis minutiflora* Beauv. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(10), 1616-1620.

Aussenac, G. (1968). Interception des precipitations par le couvert forestier. In: *Annales des Sciences forestieres EDP Sciences*, 25(3), 135-156.

Bar, V. (1989). Children's views about the water cycle. *Science education*, 73(4), 481-500.

Barco M. O. J., Cuartas P., L. A., Mesa S., Ó. J., Mejía V., J. F., Poveda J. G., Vélez U. J. I. y Montoya C. M. I. (2000). Estimación de la evaporación en Colombia. *Avances en Recursos Hidráulicos*, (7), 43-51.

Belmonte F. y Romero A. (1999). *Interceptación en algunas especies del Matorral Mediterráneo*. 1ª edición. Universidad de Murcia. 202 p.

Bouten, W., Schaap, M. G., Aerts, J. y Vermetten, A. W. (1996). Monitoring and modelling canopy water storage amounts in support of atmospheric deposition studies. *Journal of Hydrology*, 181(1-4), 305-321.

Budds, J. (2012). La demanda, evaluación y asignación del agua en el contexto de escasez: un análisis del ciclo hidrosocial del valle del río La Ligua, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, (52), 167-184.

Bullock, A. y McCartney, M. P. (1996). Wetland and river flow interactions in Zimbabwe. *IAHS PUBLICATION*, 238, 305-321.

Carvajal, V. D., y Calvo, A. J. (2012). Intercepción de precipitación en dos especies forestales nativas: *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm. y *Vochysia ferruginea* Mart. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9(22), 32-39.

Calabuig, E., Gago, M. L. y Gómez G. J. M. (1977). Influencia de la encina (*Quercus rotundifolia* Lam.) en la distribución del agua de lluvia. In: Anuario Cent. Edaf. Biol. *Api Salamanca*, 4, 143-159.

Calder, I. R. (1977). A model of transpiration and interception loss from a spruce forest in Plynlimon, central Wales. *Journal of Hydrology*, 33(3-4), 247-265.

Calder, I. R. (1986). A stochastic model of rainfall interception. *Journal of Hydrology*, 89(1-2), 65-71.

Calder, I. R. y Wright, I. R. (1986). Gamma ray attenuation studies of interception from Sitka spruce: some evidence for an additional transport mechanism. *Water Resources Research*, 22(3), 409-417.

Cantú, S. I. y Okumura, T. (1996). Rainfall partitioning in mixed oak forest with dwarf bamboo (*Sasa paniculata*) undergrowth. *Journal of Environmental Hydrology*, 4, 1-16.

Cantú, S. I. y González, R. H. (2005). Pérdidas por intercepción de la lluvia en tres especies de matorral submontano. *Ciencia UANL*, 8(1), 80-85.

Cantú, S. I. y González R. H. (2002). Propiedades hidrológicas del dosel de los bosques de pino encino en el noreste de México. *Ciencia UANL*, 5(1).72-78 p.

Carlyle-Moses, D. E. (2004). Throughfall, stemflow, and canopy interception loss fluxes in a semi-arid Sierra Madre Oriental matorral community. *Journal of Arid Environments*, 58(2), 181-202.

Chang, X. X., Zhao, A. F., Wang, J. Y., Chang, Z. Q. y Jin, B. W. (2002). Precipitation characteristic and interception of forest in Qilian Mountain. *Plateau Meteorology*, 21, 3, 274–280.

Chow V T., Maidment D. y Mays L. (1994). Hidrología aplicada. McGraw-Hill Interamericana, S.A. 584 p.

Charles, C. F. M., (1998). *Medición y estimación de los componentes de la interceptación en cuatro comunidades representativas del nordeste de México*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales, Linares Nuevo León, México.

Crockford, R. H. y Richardson, D. P. (2000). Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrological processes*, 14(16-17), 2903-2920.

Cuevas, J. M. (2001). El factor de la precipitación en la formación de avenidas en la cuenca alta del Turia. *Geographicalia*, (40), 47-74.

Czarnowski, M. S. y Olszewski, J. L. (1970). Number and spacing of rainfall-gauges in a deciduous forest stand. *Oikos*, 21(1), 48-51.

De Groen, M. M. y Savenije, H. H. (2006). A monthly interception equation based on the statistical characteristics of daily rainfall. *Water Resources Research*, 42(12), 1-10.

De La Casa, A. C. y Nasello, O. B. (2015). Análisis periódico de las condiciones hidrológicas en la provincia de Córdoba, Argentina. *An. AFA*, 26 (4) ,170-176.

De Soyza, A. G., Whitford, W. G., Martinez, M. E. y Van Zee, J.W. (1997). Variation in creosote-bush (*Larrea tridentata*) canopy morphology in relation to

habitat, soil fertility and associated annual plant communities. *American Midland Naturalist* 137, 13–26.

Dohnal, M., Černý, T., Votrubová, J. y Tesař, M. (2014). Rainfall interception and spatial variability of throughfall in spruce stand. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 62(4), 277-284.

Duarte, C. M., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo B. M. Valladares, F. (2006). Cambio Global. *Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. CSIC. Consejo superior de investigaciones científicas.

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.

Dunkerley, D. (2000). Measuring interception loss and canopy storage in dryland vegetation: a brief review and evaluation of available research strategies. *Hydrological Processes*, 14, 669–78.

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.

Engman, E. T. (1983). Principles of Forest Hydrology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 64(39), 572-572.

Escobar, E., Maass, M., Alcocer, J., Azpra, E., Falcón, L. I., Gallegos, A. y Magaña, V. (2008). Capital natural de México. *Diversidad de procesos funcionales en los ecosistemas*, (1), 161-189.

Fernández, Nava. R., Arreguín, S. M. D. L. L. y Quiroz, G. D. L. (2013). Revisión del género *Condalia* (Rhamnaceae) en México. *Polibotánica*, (36), 15-40.

Flores Ayala, E., Guerra De la Cruz, V., Terrazas González, G. H., Carrillo Anzures, F., Islas Gutiérrez, F., Acosta Mireles, M. y Buendía Rodríguez, E. (2016). Intercepción de lluvia en bosques de montaña en la cuenca del río Texcoco, México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 7(37), 65-76.

Flores, A. E., Becerra L. F., Buendía R. E., Carrillo, A. F., Terrazas, G. G. H., Pineda, O. T. y Acosta Mireles, M. (2013). Intercepción de lluvia por matorral inerme espinoso en Atotonilco el Grande, Hidalgo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(2), 285-298.

Ford, E. D. y Deans, J. D. (1977). Growth of a Sitka spruce plantation: spatial distribution and seasonal fluctuations of lengths, weights and carbohydrate concentrations of fine roots. *Plant and Soil*, 47(2), 463-485.

Foroughbakhch, R. y Fierro, L. C. (1989). Nutrición de caprinos en el matorral tamaulipeco del este de Nuevo León. *Reporte Científico*, (13), 5.

Foroughbakhch, R., Hernández, Piñero, J. L., Alvarado, V. M. A., Céspedes, C. E., Rocha, E. A. y Cárdenas, Á. M. L. (2009). Leaf biomass determination on woody shrub species in semiarid zones. *Agroforestry Systems*, 77(3), 181-192.

García E., M. (2006). *Efecto de la estructura de la copa en la partición de lluvia de tres especies arbustivas en clima semiárido*. Tesis Doctoral, Universidad de Almería, España.

García, A. L. C. (1997). *Estudio fenológico y de crecimiento de once especies leñosas del matorral espinoso tamaulipeco en Linares, Nuevo León, México*.

Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Forestales, Linares, Nuevo León, México.

García, J. y Jurado, E., 2008. Caracterización del matorral con condiciones prístinas en Linares, N.L. México. *Revista Ra Ximhai*, 4(1), 1-21.

García, E. P., Alonso, B. N. y Alegre, J. (2010). Water storage capacity, stemflow and water funneling in Mediterranean shrubs. *Journal of Hydrology*, 389(3-4), 363-372.

Gash, J. H. C. (1979). An analytical model of rainfall interception by forests. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 105(443), 43-55.

Gash, J. H. C. y Morton, A. J. (1978). An application of the Rutter model to the estimation of the interception loss from Thetford forest. *Journal of Hydrology*, 38(1-2), 49-58.

Gómez, J. A., Vanderlinden, K., Giraldez, J. V. y Fereres, E. (2002). Rainfall concentration under olive trees. *Agricultural water management*, 55(1), 53-70.

González, M. E. (2005). *Evaluación preliminar del efecto de cuatro porcentajes de cobertura boscosa de una plantación de Pinus Maximinoi H. E. Moore, sobre la erosión hídrica del suelo, en la finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz*. Tesis Doctoral, Universidad de San Carlos de Guatemala, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, Guatemala.

González, R. H. y Cantú, S. I. (2001). Adaptación a la sequía de plantas arbustivas de matorral espinoso tamaulipeco. *Ciencia UANL*, 4(4), 454-459.

Guevara-Escobar, A., González-Sosa, E., Véliz-Chávez, C., Ventura-Ramos, E. y Ramos-Salinas, M. (2007). Rainfall interception and distribution patterns of

gross precipitation around an isolated *Ficus benjamina* tree in an urban area. *Journal of Hydrology*, 333(2-4), 532-541.

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. H. (1965). Canopy and litter interception of rainfall by hardwoods of eastern United States. *Water Resources Research*, 1(2), 193-206.

Herwitz, S. R. (1985). Interception storage capacities of tropical rainforest canopy trees. *Journal of Hydrology*, 77(1-4), 237-252.

Herwitz, S. R. y Slye, R. E. (1995). Three-dimensional modeling of canopy tree interception of wind-driven rainfall. *Journal of Hydrology*, 168(1-4), 205-226.

Herwitz, S. R. (1985). Interception storage capacities of tropical rainforest canopy trees, *Journal of Hydrology*, 77. 237-252.

Holder, C. D. (2007). Leaf water repellency of species in Guatemala and Colorado (USA) and its significance to forest hydrology studies. *Journal of Hydrology*, 336(1-2), 147-154.

Horton, R. E. (1919). Rainfall interception. *Monthly weather review*, 47(9), 603-623.

Horton, R. E. (1933). The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 14(1), 446-460.

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.

Huxman, T. E., Smith, M. D., Fay, P. A., Knapp, A. K., Shaw, M. R., Loik, M. E. y Pockman, W. T. (2004). Convergence across biomes to a common rain-use efficiency. *Nature*, 429(6992), 651-654.

Imaña Encinas, J., Jiménez Péres, J., Rezende, A. V., Imaña, C. R., Santana, O. A. y Meira Junior, M. S. D. (2014). Conceptos dasométricos en los inventarios fitosociológicos.

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

Jiagang, L. (1988). A theoretical model of the process of rainfall interception in forest canopy. *Ecological modelling*, 42(2), 111-123.

Kirchner, J. W. (2006). Getting the right answers for the right reasons: Linking measurements, analyses, and models to advance the science of hydrology. *Water Resources Research*, 42(3), 1-5.

Kittredge, J. (1948). Interception and stemflow. *Forest influences*, (11), 99-114.

Klaassen, W., Bosveld, F. y De Water, E. (1998). Water storage and evaporation as constituents of rainfall interception. *Journal of Hydrology*, 212, 36-50.

León P. J. D., González H. M. I. y Gallardo L. J. F. (2010). Distribución del agua lluvia en tres bosques altoandinos de la Cordillera Central de Antioquia, Colombia. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 63(1):5319-5336

Levia, D. F., Van Stan II, J. T., Mage, S. M. y Kelley-Hauske, P. W. (2010). Temporal variability of stemflow volume in a beech-yellow poplar forest in relation to tree species and size. *Journal of Hydrology*, 380(1-2), 112-120.



Levia, D. F. y Frost, E. E. (2003). A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. *Journal of Hydrology* 274, 1–29.

Leyton, L. (1967). Rainfall interception in forest and moorland. *In International symposium on forest Hydrology* (pp. 163-178). Pergamon Press.

Li, X. Y., Yang, Z. P., Li, Y. T. y Lin, H. (2009). Connecting ecohydrology and hydrogeology in desert shrubs: stemflow as a source of preferential flow in soils. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 6, 1551–1580.

Lida, S. I., Tanaka, T. y Sugita, M. (2005). Change of interception process due to the succession from Japanese red pine to evergreen oak. *Journal of Hydrology*, 315(1-4), 154-166.

Little, E. L. y Frank, H. Wadsworth. (1964). Common trees of Puerto Rico and the Virgin Islands. US Department of Agriculture, *Agriculture Handbook*, 249, 428-429.

Liu, S. (1997). A new model for the prediction of rainfall interception in forest canopies. *Ecological Modelling*, 99(2-3), 151-159.

Liu, S. (1998). Estimation of rainfall storage capacity in the canopies of cypress wetlands and slash pine uplands in North-Central Florida. *Journal of Hydrology*, 207(1-2), 32-41.

Llorens, P. y Domingo, F. (2007). Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. review of studies in Europe. *Journal of Hydrology* 335, 37–54.

Llorens, P. y Gallart, F. (2000). A simplified method for forest water storage capacity measurement. *Journal of Hydrology* 240, 131–144.

Loescher, H. W., Powers, J. S. y Oberbauer, S. F. (2002). Spatial variation of throughfall volume in an old-growth tropical wet forest, Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology*, 18(3), 397-407.

López, L., A. A. (2007). *Intercepción de la vegetación herbácea de ambiente semiárido y su efecto en la relación intensidad-duración-frecuencia de la precipitación*. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro, México.

Maderey R. L. E. y Jiménez R. A. (2001). Alteración del ciclo hidrológico en la parte baja de la cuenca alta del río Lerma por la transferencia de agua a la Ciudad de México. *Investigaciones geográficas*, (45), 24-38.

Mamani, F. E. (2013). *Diseño, Construcción y Caracterización de un Destilador Solar Tubular para Desalinizar Agua de Mar*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú.

Marin, C. T., Bouten, W. y Sevink, J. (2000). Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia. *Journal of Hydrology*, 237(1-2), 40-57.

Martin, P. J. y Stephens, W. (2006). Willow growth in response to nutrients and moisture on a clay landfill cap soil. II: Water use. *Bioresource technology*, 97(3), 449-458.

Massman, W. J. (1983). The derivation and validation of a new model for the interception of rainfall by forests. *Agricultural Meteorology*, 28(3), 261-286.

Mastachi, L. C. A., González, E. S., Becerril, R. P. y Braud, I. (2010). Pérdidas por interceptación en mezquite (*Prosopis laevigata*) y huizache (*Acacia farnesiana*) de la región semiárida del centro de México. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 1(1):103120.

Mecca, J. C. (2008). *Análisis y modelación del comportamiento hidrológico de Las Lagunas Don Tomás y Bajo Giuliani Santa Rosa, La Pampa*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de la Pampa, Argentina.

Mejía, F., Mesa, O., Poveda, G., Vélez, J., Hoyos, C., Mantilla, R. y Cuartas, A. (1999). Distribución espacial y ciclos anual y semianual de la precipitación en Colombia. *Dyna*, (127) 66, 7-14.

Merriam, R. A. (1961). Surface water storage on annual ryegrass. *Journal of Geophysical Research*, 66(6), 1833-1838.

Mitchell, J. A. (1930). Interception of rainfall by the forest. *Journal of Forestry*, 28, 101-102.

Moffat, A. J., Kvaalen, H., Solberg, S. y Clarke, N. (2002). Temporal trends in throughfall and soil water chemistry at three Norwegian forests, 1986–1997. *Forest Ecology and Management*, 168(1-3), 15-28.

Morales, M. C. C., Madrigal U., D. y González B., L. A. (2007). Isla de calor en Toluca, México. *CIENCIA ergo sum*, 14(3), 307-316.

Morrone, J. J. (2005). Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 76(2), 207-252.

Návar, Ch. J. D. J., Méndez, G. J. y González, R. H. (2008). Intercepción de la lluvia en especies de leguminosas del nordeste de México. *Terra Latinoamericana*, 26(1), 61-68.

Návar, Ch. J. D. J., Carlyle-Moses, D. E. y Martínez, A. (1999). Interception loss from the Tamaulipan matorral thornscrub of north-eastern Mexico: an application of the Gash analytical interception loss model. *Journal of Arid Environments*, 41(1), 1-10.

Návar, Ch. J. D. J., González, J. M. y González, R. H. (2009). Gross precipitation and throughfall chemistry in legume species planted in Northeastern México. *Plant and soil*, 318(1-2), 15-26.

Ordoñez, J. (2011). Cartilla Técnica: Ciclo Hidrológico. *Sociedad Geográfica de Lima*. Peru.

Oyarzún, C. E. y Huber, A. (1999). Balance hídrico en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* en el sur de Chile. *Terra latinoamericana*, 17(1), 35-44

Pardo G. R. y Rodríguez L. Y. (2014). Clasificación de tormentas tropicales según lluvias asociadas:(1) estado del arte. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 35(2), 18-34.

Peel, M. C., McMahon, T. A. y Finlayson, B. L. (2010). Vegetation impact on mean annual evapotranspiration at a global catchment scale. *Water Resources Research*, 46(9), 1-16.

Perdomo, C. H., Casanova, O. N. y Ciganda, V. S. (2001). Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste del Uruguay. *Agrociencia*, 5(1), 10-22.

Peterson, D. L. y Rolfe, G. L. (1979). Determining sample size in throughfall studies. *Forest Science*, 25(4), 582-584.

Plummer, C. C., McPhail, M. y Monk, J. W. (1941). The yellow chapote, a native host of the Mexican fruitfly (No. 169021). *Economic Research Service*. (3) ,1-11.

Potter, C. S., Ragsdale, H. L. y Swank, W. T. (1991). Atmospheric deposition and foliar leaching in a regenerating southern Appalachian forest canopy. *The Journal of Ecology*, 79(1), 97-115.

Puckett, L. J. (1991). Spatial variability and collector requirements for sampling throughfall volume and chemistry under a mixed-hardwood canopy. *Canadian Journal of Forest Research*, 21(11), 1581-1588.

Ramírez, M. y Guadalupe, L. (2013). *Precipitación ciclónica cómo un riesgo natural*. Tesis Doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Rapp, M. y Romane, F. (1968). Contribution a l'étude du bilan de l'eau dans les écosystèmes méditerranéens. I. Egouttement des précipitations sous des peuplements de *Quercus ilex* L. et de *Pinus halepensis*. *Oecologia Plantarum*, 3, 271-284.

Rehfeldt, G. E., Crookston, N. L., Sáenz-Romero, C. y Campbell, E. M. (2012). North American vegetation model for land-use planning in a changing climate: a solution to large classification problems. *Ecological Applications*, 22(1), 119-141.

Anselm, R. y Ávila, A. (2001). Influence of sampling size in the estimation of mean throughfall in two Mediterranean holm oak forests. *Journal of Hydrology*, 243(3-4), 216-227.

Rowe, P. B. y Colman, E. A. (1951). Disposition of rainfall in two mountain areas of California (No. 156498). United States Department of Agriculture, Economic Research Service, 86.

Ruíz C., E. y Coronado, B. J. M. (2012). Recursos naturales. (Ed. 1ra). *Chapote amarillo*. (pp. 65-72). Departamento de Fomento Editorial de la UAT, México.

Rutter, A. J. (1963). Studies in the water relations of *Pinus sylvestris* in plantation conditions I. Measurements of rainfall and interception. *The Journal of Ecology*, 51, 191-203.

Rutter, A. J., Kershaw, K. A., Robins, P. C. y Morton, A. J. (1971). A predictive model of rainfall interception in forests, 1. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine. *Agricultural Meteorology*, 9, 367-384.

Rutter, A., Morton, A. y Robins, P. (1975). A predictive model of rainfall interception in forests. II. Generalization of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands. *Journal of Applied Ecology*, (12), 367–380.

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 Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro, México.

Sarochar, R. H., Ciappesoni, H. H. y Ruiz, N. E. (2005). Precipitaciones convectivas y estratiformes en la Pampa Húmeda: una aproximación a su separación y aspectos climatológicos de ambas. *Meteorologica*, 30(1-2), 77-88.

Saucedo, Q. E. (2011). *Estudio etnobotánico de especies arbustivas y arbóreas en los municipios de Linares y Hualahuises, Nuevo León, México*. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Forestales, Linares, Nuevo León, México.

Savenije, H. H. (2004). The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary. *Hydrological processes*, 18(8), 1507-1511.

Shook, K. R. y Pomeroy, J. W. (2011). Memory effects of depression storage in Northern Prairie hydrology. *Hydrological Processes*, 25(25), 3890-3898.

Staelens, J., De Schrijver, A., Verheyen, K. y Verhoest, N. E. (2008). Rainfall partitioning into throughfall, stemflow, and interception within a single beech (*Fagus sylvatica* L.) canopy: influence of foliation, rain event characteristics, and meteorology. *Hydrological Processes*, 22(1), 33-45.

Taiwo, A. A., Ray, H., Motswiri, M. J. y Masene, R. (1999). Perceptions of the water cycle among primary school children in Botswana. *International Journal of Science Education*, 21(4), 413-429.

Tarbutck, E. J., Lutgens, F. K., Tasa, D. y Cientificas, A. T. (2005). Ciencias de la Tierra. (Ed. 8 va), *Corrientes de aguas superficiales* (pp. 445-478). España. Ed. Pearson Educación.

Thompson, F. B. (1972). Rainfall interception by oak coppice (*Quercus robur*, L.). *Research Papers in Forest Meteorology*, 59-74.

Toba, T. y Ohta, T. (2005). An observational study of the factors that influence interception loss in boreal and temperate forests. *Journal of Hydrology*, 313(3-4), 208-220.

Tobón, M. C., Bouten, W. y Sevink, J. (2000). Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western amazonia. *Journal of Hydrology* 237:40-57.

Tolk, J. A., Howell, T. A., Steiner, J. L., Krieg, D. R. y Schneider, A. D. (1995). Role of transpiration suppression by evaporation of intercepted water in improving irrigation efficiency. *Irrigation Science*, 16(2), 89-95.

Trimble, G. R. y Weitzman, S. (1954). Effect of a hardwood forest canopy on rainfall intensities. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 35(2), 226-234.

Troch, P. A., Martinez, G. F., Pauwels, V., Durcik, M., Sivapalan, M., Harman, C. y Huxman, T. (2009). Climate and vegetation water use efficiency at catchment scales. *Hydrological Processes*, 23(16), 2409-2414.

Tsukamoto, Y., Tange, I. y Minemura, T. (1988). Interception loss from forest canopies. Hakyuchi-kenkyu. *Bulletin of the Institute for Agricultural Research on Rolling Land*, 6, 60-82.

Uvalle, S. J. I. (2008). *Características fisiológicas y nutrimentales en especies arbustivas forrajeras nativas de la flora del noreste de México*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.

Van Stan II, J. T., Siegert, C. M., Levia Jr, D. F. y Scheick, C. E. (2011). Effects of wind-driven rainfall on stemflow generation between codominant tree species with differing crown characteristics. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(9), 1277-1286.



Velasquez, F. S. y Jaramillo R. A. (2009). Redistribución de la lluvia en diferentes coberturas vegetales de la zona cafetera central de Colombia. *Revista Cenicafé*, 60 (2), 148-160.

Wattenbach, M., Hattermann, F., Weng, R., Wechsung, F., Krysanova, V. y Badeck, F. (2005). A simplified approach to implement forest eco-hydrological properties in regional hydrological modelling. *Ecological Modelling*, 187(1), 40-59.

Webb, T. J., Woodward, F. I., Hannah, L. y Gaston, K. J. (2005). Forest cover–rainfall relationships in a biodiversity hotspot: the Atlantic forest of Brazil. *Ecological Applications*, 15(6), 1968-1983.

Wood, O. M. (1937). The Interception of Precipitation in an Oak-Pine Forest. *Ecology*, 18(2), 251-254.

Xiao, Q., McPherson, E. G., Ustin, S. L. y Grismer, M. E. (2000). A new approach to modeling tree rainfall interception. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 105(D23), 29173-29188.

Yang, Y., Donohue, R. J., McVicar, T. R., Roderick, M. L. y Beck, H. E. (2016). Long-term CO<sub>2</sub> fertilization increases vegetation productivity and has little effect on hydrological partitioning in tropical rainforests. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 121(8), 2125-2140.

Yáñez D. M. I., Cantú S. I., González R., H. y Uvalle S. J. I. (2014). Redistribución de la precipitación en tres especies arbustivas nativas y una plantación de eucalipto del noreste de México. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(2), 71-84.

Zárate P. S. (1987). Taxonomic identity of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, with a new combination. *Phytologia*, 63(4), 304-306.

Zhang, X, Luo, L, Jing, W., Wang, S., Wang, R. y Che, Z. (2007). Study on the distribution effect of canopy interception of *Picea Crassifolia* forest in Qilian Mountains. *Journal of Mountain Science*, 25, 6, 768–683

Zinke, P. J. (1967). Forest interception studies in the United States. *Forest Hydrology*. 137-161.

Zon, R. (1927). Forest and water in the light of scientific investigation. *Forest Service* 205-302.