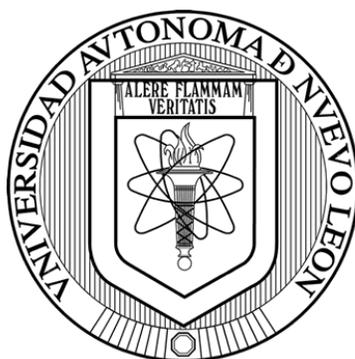


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**PÉRDIDAS POR INTERCEPCIÓN DE LLUVIA EN EL MATORRAL  
ESPINOSO TAMAULIPECO BAJO DIFERENTES INTENSIDADES  
DE RALEO**

**POR**

**YAHAIRA WEGELMY GARCÍA LEDEZMA**

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

FEBRERO, 2018

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**PÉRDIDAS POR INTERCEPCIÓN DE LLUVIA EN EL MATORRAL  
ESPINOSO TAMAULIPECO BAJO DIFERENTES INTENSIDADES  
DE RALEO**

**POR**

**YAHAIRA WEGELMY GARCÍA LEDEZMA**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

**FEBRERO, 2018**

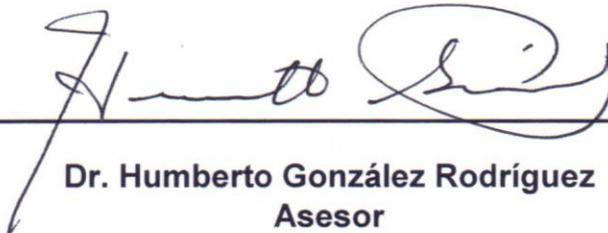
**PÉRDIDAS POR INTERCEPCIÓN DE LLUVIA EN EL MATORRAL  
ESPINOSO TAMAULIPECO BAJO DIFERENTES INTENSIDADES  
DE RALEO**

**APROBACIÓN DE TESIS**



---

**Dr. Israel Cantú Silva  
DIRECTOR**



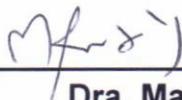
---

**Dr. Humberto González Rodríguez  
Asesor**



---

**Dr. Mauricio Cotera Correa  
Asesor**



---

**Dra. María Inés Yáñez Díaz  
Asesor**

FEBRERO, 2018

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para mis estudios de maestría.

Al proyecto de Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Fondo Ciencia Básica SEP-CONACYT, 250732) por las facilidades otorgadas para el desarrollo de la presente investigación.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Facultad de Ciencias Forestales por brindarme la oportunidad de formar parte de su programa de posgrado, proporcionándome crecimiento académico, profesional y personal.

Al Dr. Israel Cantú Silva, por su confianza e incondicional apoyo para el desarrollo de este trabajo y a los integrantes de mi comité de tesis, Dr. Humberto González Rodríguez, Dr. Mauricio Cotera Correa y Dra. María Inés Yáñez Díaz, por apoyar por sus valiosas contribuciones en esta etapa de formación académica.

A la plantilla de docentes de la Facultad de Ciencias Forestales, gracias por los conocimientos transmitidos y por su amable trato.

A mis padres y hermana, por su apoyo incondicional en la toma de datos para la realización de la tesis y por ser mi fuente de inspiración personal.

A las personas que se involucraron en sacar este trabajo adelante, ya sea en la toma de datos, preparación y fechado de muestras, fue un apoyo muy valioso.

A mis compañeros de maestría, quienes con su amistad y compañía hicieron muy agradable el camino de este posgrado.

## DEDICATORIAS

*Dedico esta tesis a Dios, te agradezco que me has dado vida y salud, así como la oportunidad de disfrutar y compartir con mi familia y amigos de una de las etapas más felices de mi vida y porque nunca me dejaste flaquear ni perder la fe en los momentos más difíciles.*

*A mi familia, a ustedes, que me han conducido con amor y paciencia, hoy ven forjado un anhelo, una ilusión y un deseo.*

*Gracias por darme libertad de elegir mi futuro y brindarme con las manos abiertas su apoyo y confianza en mi preparación.*

*Porque han constituido un poderoso estímulo capaz de obligar mi pluma, disponer mi mente, ocupar mi tiempo y dedicar el mejor de mis esfuerzos en pro del logro de mis objetivos.*

*A ustedes, que sin escatimar esfuerzo alguno han sacrificado por mí gran parte de su vida, me han formado y educado.*

*A Nelson, que me impulso y motivo para salir adelante, por su amor que me da cada día, por hacerme sentir única y valiosa.*

*GRACIAS.*

*Yahaira Wegelmy García Ledezma.*

## INDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>V</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VII</b>
<b>1. INTRODUCCION</b> .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>2. HIPÓTESIS</b> .....	<b>3</b>
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>4. ANTECEDENTES</b> .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
4.1. EL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO (MET) .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
4.2. CICLO HIDROLÓGICO.....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
4.3. REDISTRIBUCIÓN DE LAS PRECIPITACIONES.....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
4.4. PÉRDIDAS POR INTERCEPCIÓN .....	<b>6</b>
4.5. PRECIPITACIÓN DIRECTA .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
4.6. CAPACIDAD DE ALMACENAJE DEL DOSEL....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
5.1. LOCALIZACIÓN.....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
5.2. SUELO.....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
5.3. VEGETACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.3</b>
5.4. METODOLOGÍA .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
5.4.1.1. Medición de los componentes de las precipitaciones.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.4.1.2. Precipitación incidente .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.4.1.3. Precipitación directa .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.4.1.4. Capacidad de almacenaje del dosel....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.4.1.5. Análisis de datos .....	<b>¡Error! Marcador no definido.6</b>
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.7</b>
6.1. PRECIPITACIÓN INCIDENTE .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.7</b>
6.2. PRECIPITACIÓN DIRECTA .....	<b>19</b>
6.3. PÉRDIDAS POR INTERCEPCIÓN.....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.2</b>
6.4. ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAJE DEL DOSEL .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.7</b>
6.5. PLUVIOLAVADO .....	<b>29</b>
6.6. DISCUSIÓN .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.1</b>
<b>7. CONCLUSIONES</b> .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.5</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.6</b>
<b>9. ANEXOS</b> .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.1</b>

Pérdidas por intercepción de lluvia en el matorral espinoso tamaulipeco, bajo diferentes intensidades de raleo.

**10. ANEXO FOTOGRÁFICO ..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.4**

**LISTA DE CUADROS**

Cuadro 1. Tratamientos (porcentaje de raleo) y sitios de muestreo.....	14
Cuadro 2. Relación entre la pérdida por intercepción y precipitación incidente (907.6 mm) en base a 79 eventos de lluvia registrados durante el periodo experimental. ....	22
Cuadro 3 Resumen del análisis de regresión para describir las pérdidas por intercepción para los raleos del 75, 50, 25 y 0%. El Error Estándar Estimado (EEE) para los coeficientes de regresión es incluido. ....	25
Cuadro 4 Valores de saturación del dosel para los raleos estudiados, determinados en 19 eventos de lluvia individuales menores de 2.5 mm. ....	27

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquematización del proceso de redistribución de precipitación. (Tomado de Yañez, 2011.) .....	7
Figura 2. Localización del área de estudio y sitios de muestreo. ....	12
Figura 3. Establecimiento de los colectores para la precipitación incidente, en un área colindante sin vegetación.....	166
Figura 4. Colector distribuido al azar para medición de precipitación directa.....	16
Figura 5. Precipitación mensual y numero de eventos por mes durante el periodo de estudio. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b> 8
Figura 6. Porcentaje de eventos de lluvia de acuerdo con la cantidad registrada durante el periodo experimental.....	19
Figura 7. Relación entre la precipitación incidente y la precipitación directa para el raleo 75%.....	20
Figura 8. Relación entre la precipitación incidente y la precipitación directa para el raleo 50%.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 9. Relación entre la precipitación incidente y la precipitación directa para el raleo 25%.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 10. Relación entre la precipitación incidente y la precipitación directa sin raleo.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 11. Pérdidas por intercepción con base en 79 eventos de lluvia para el raleo 75%.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b> 3
Figura 12. Pérdidas por intercepción con base en 79 eventos de lluvia para el raleo 50%.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b> 3
Figura 13. Pérdidas por intercepción con base en 79 eventos de lluvia para el raleo 25%.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b> 4

Pérdidas por intercepción de lluvia en el matorral espinoso tamaulipeco, bajo diferentes intensidades de raleo.

Figura 14. Pérdidas por intercepción con base en 79 eventos de lluvia para la parcela que no tuvo raleo ..... **¡Error! Marcador no definido.**4

Figura 15. Análisis individual de las pérdidas por intercepción con base a 79 eventos de lluvia para los 4 raleos estudiados. .... **¡Error! Marcador no definido.**6

Figura 16. Capacidad de almacenaje para los raleos estudiados con base en 19 eventos de lluvia individual de hasta 2.5 mm..... **¡Error! Marcador no definido.**8

Figura 17. Valores de pH obtenidos en 15 eventos analizados en la precipitación incidente y la precipitación directa en los diferentes raleos. **¡Error! Marcador no**

Figura 18. Valores de conductividad eléctrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) obtenidos en 17 eventos analizados en la precipitación incidente y la precipitación directa en los diferentes porcentajes de raleo.....30

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue cuantificar y analizar las pérdidas de intercepción de lluvia bajo diferentes intensidades de raleo en un área de matorral espinoso tamaulipeco (MET) en Linares, Nuevo León. En el área de estudio se ubicaron cuatro parcelas de precipitación directa, en las cuales se aplicó un tipo de raleo selectivo correspondientes a las intensidades de 75, 50, 25 y 0%, y una parcela para la precipitación incidente, colocando en cada una de ellas 8 canaletas conectadas a depósitos de 20 L, para la captación de agua. Se registraron un total de 79 eventos de lluvia a lo largo de 18 meses entre los años 2016 a 2017, totalizando 907.6 mm. Los análisis de regresión lineal mostraron que la precipitación directa representó un 83, 70, 65 y 58% del total de precipitación, para las intensidades de 75, 50, 25 y 0%, respectivamente. A través del análisis de regresión lineal entre la precipitación directa e incidente en los sitios de muestreo, mostró resultados en el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.8651 y 0.8017 para el raleo del 25% y 0% los cuales presentaron menores pérdidas de lluvia por intercepción, lo que indica que la cantidad de lluvia que fluye a través del dosel del árbol tiene una relación con la precipitación incidente. A medida que se incrementó el raleo, se redujo proporcionalmente la precipitación directa, obteniendo como resultado un porcentaje de intercepción de lluvia de 16, 29, 34 y 41% para las intensidades de raleo de 75, 50, 25 y 0%, respectivamente. Sin embargo, las características de arquitectura del dosel y tipo de follaje son distintas entre las especies del matorral espinoso tamaulipeco, pudiendo influir esto en el porcentaje de intercepción.

**Palabras clave:** Precipitación directa, intercepción de lluvia, intensidad de raleo, Matorral Espinoso Tamaulipeco, hidrología forestal.

## ABSTRACT

The objective of present investigation was to analyze and quantify the rainfall interception under different thinning intensities in the Tamaulipan thornscrub in Linares, Nuevo Leon. At the study area were located four plots to measure throughfall, in which were applied the corresponding thinning intensities of 75, 50, 25 and 0%, and one plot for gross rainfall, setting in each of them 8 troughs connected to deposits of 20 L for water collection. A total of 79 rainfall events along 18 months between the years 2016 to 2017 were registered, totaling 907.6 mm. Linear regression analysis showed that throughfall represented a 83, 70, 65 and 85% of the gross precipitation, for the thinning intensities 75, 50, 25 and 0%, respectively. The linear regression analysis among throughfall and gross precipitation in the sampling plots, showed determination coefficients ( $R^2$ ) between 0.8651 and 0.8017 for the 25% and 0% thinning intensities, which showed minor losses for interception loss, this suggest that the amount of rain that goes thru the canopy has a relationship with gross rainfall. As increment of thinning intensity occurred, throughfall was reduced proportionately, giving, as a result 16, 29, 34, and 41% of rainfall interception for the intensities of 75, 50, 25 and 0%, respectively. However, canopy features and the type of foliage among the Tamaulipan thornscrub species influence the percentage of interception.

**Key words:** Throughfall, thinning intensities, rainfall interception, Tamaulipan thornscrub, forest hydrology.

## 1. INTRODUCCION

La cantidad de precipitación que llega a la superficie del suelo depende en gran medida del porcentaje de cubierta vegetal. Está cubierta intercepta parte de la precipitación y la almacena temporalmente sobre la superficie de las hojas y ramas, de donde es devuelta a la atmósfera por evaporación. Intercepción es aquella parte de la precipitación que es almacenada temporalmente sobre la superficie de las hojas y ramas, mientras que pérdida por intercepción corresponde a la evaporación del agua almacenada en las copas (Shaw, 1996). Los principales componentes del proceso de redistribución de las precipitaciones incidentes en un área de raleo vegetal son: pérdida por intercepción, o la cantidad de agua retenida por las plantas, que es luego evaporada o absorbida por las plantas; precipitación directa, también conocida como infiltración a través del follaje o lluvia bajo el dosel, que es aquella parte de la precipitación que alcanza al suelo a través de las copas o los claros, o bien mediante el goteo de las hojas, ramas y fustes (Ward y Robinson, 1989; Shaw, 1996).

Estas diferencias encontradas se deben, a que la cantidad de agua interceptada no depende solo de la especie que compone el raleo, sino también del régimen de lluvias y de la demanda evaporativa existente en cada zona concreta. La intercepción de lluvia se estima de forma indirecta como la diferencia entre la precipitación incidente (arriba del dosel) y la precipitación directa (debajo del dosel), de tal manera que se representa con la expresión:  $I = P_i - P_d$ ; Donde:  $I$  representa las pérdidas por intercepción,  $P_i$  es la precipitación incidente y  $P_d$  es la precipitación directa.

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

1985). El nivel que existe entre el dosel y el suelo, así como los claros entre el dosel y las condiciones del viento son características que influyen en la cantidad de precipitación directa (Crockford y Richardson, 2000).

La precipitación y el patrón de recarga de los acuíferos son decisivos para entender el efecto que una plantación forestal ejerce sobre el recurso hídrico y su manejo. La intercepción y la cubierta vegetal se encuentran relacionados, cuanto más densamente sea está cubierta vegetal, mayor volumen de lluvia será interceptado y el escurrimiento será menor (Prado *et al.*, 2007).

Todo cambio en la cubierta vegetal puede causar la diferencia en la recarga de la cuenca afectando a la hidrología local en términos de volúmenes y tiempos de escorrentía (Aboal, 1998).

El matorral es el recurso más abundante e históricamente más utilizado en las zonas áridas y semiáridas de México. El matorral espinoso tamaulipeco (MET) cubre una superficie de 200,000 km<sup>2</sup> del noreste de México y sur de Texas. Es una comunidad arbustiva formada por la dominancia de especies espinosas, caducifolias una gran parte del año. La intercepción en los ecosistemas áridos y semiáridos es de importancia debida principalmente a la irregularidad y escasez de la precipitación, repercutiendo en la variabilidad espacio-tiempo de la humedad del suelo (Ceballos, 2005 citado por Yáñez, 2013).

El presente estudio efectuado en el matorral espinoso tamaulipeco pretende ser un aporte al conocimiento de las propiedades hidrológicas, mediante mediciones de la precipitación incidente y precipitación directa, para estimar las pérdidas por intercepción en este tipo de ecosistema que está regido por precipitaciones irregulares.

Pérdidas por intercepción de lluvia en el matorral espinoso tamaulipeco, bajo diferentes intensidades de raleo.

## **2. HIPÓTESIS**

Las pérdidas por intercepción y precipitación directa bajo la cobertura del Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET) son diferentes dependiendo del tipo de evento de lluvia e intensidad de raleo.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1. Objetivo general**

Cuantificar y analizar la intercepción de lluvia en los diferentes tratamientos de raleo en el Matorral Espinoso Tamaulipeco, vía precipitación directa y precipitación incidente.

### **3.2. Objetivos específicos**

- 1.- Estimar la intercepción de la lluvia.
- 2.- Explicar los parámetros de la intercepción, en función de los diferentes raleos de la vegetación.

## **4. ANTECEDENTES**

### **4.1. El matorral espinoso tamaulipeco (MET)**

El matorral espinoso tamaulipeco (MET) comprende la planicie semiárida de la región noreste de México (González y Cantú, 2001), cubre aproximadamente 200,000 km<sup>2</sup> desde Llera de Canales y los límites sureños de la Sierra Azul de Tamaulipas hasta el altiplano Edwards en Texas, EE.UU., y de las faldas de la Sierra Madre Oriental hasta la costa del Golfo de México. Constituye una vegetación natural única que comprende aproximadamente el 80% de la superficie de los estados de Nuevo León y Tamaulipas (Alanís, 2006).

En dicha región, el clima que predomina es caliente y seco. La mayor parte del año es muy cálido con temperaturas por arriba de los 40°C en verano y 0°C o menores en invierno. La temperatura promedio anual es de 21°C. El régimen de lluvias es muy amplio, varía desde los 200 mm hasta los 900mm; el promedio histórico del rango de precipitación en la Planicie Costera del Golfo es de 350 a 500 mm.

### **4.2. Ciclo hidrológico**

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

Con el concepto de ciclo hidrológico se inicia la ciencia de la hidrología desde tiempos antiguos, tal como lo describió el filósofo griego Teofrasto (372-278

a.C.) quien dio un avance a la teoría. Para el siglo XX se inició la hidrología cuantitativa y se desarrollaron diversos modelos que involucraron los procesos hidrológicos, para distribución espacial y temporal del agua (Ven *et al.*, 1994).

### **4.3. Redistribución de las precipitaciones**

La precipitación es considerada como cualquier forma de agua que se deposita a la superficie de la tierra, como parte importante del ciclo hidrológico, e incluye a la lluvia, nieve, aguanieve, granizo y el rocío. La precipitación es producida por las nubes, que cuando alcanzan el punto de saturación, las gotitas de agua crecen hasta precipitarse a la tierra por efecto de gravedad. Por tal motivo, es considerado como uno de los elementos definidores del clima de cualquier punto o área de la superficie terrestre (Guerra *et al.*, 2006). De esta manera, la precipitación es un componente principal del ciclo hidrológico y es responsable de depositar la mayor parte del agua dulce en el planeta (Maderey y Jiménez, 2005).

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

De la cantidad total de precipitaciones incidentes que ingresa al ecosistema (Figura 1), una cantidad es retenida por las copas de los árboles que se conoce como intercepción la cual se reintegra a la atmósfera por evaporación, llamado esto pérdidas por intercepción (Cantú y González, 2002).

La cantidad de agua que llega a la superficie del suelo, a través de los árboles, es llamada precipitación neta, esta sigue la vía, mediante los claros de los árboles o por goteo de las hojas y ramas denominándola precipitación directa (Cantú y González, 2005).

Existen diversos autores que han detallado los diferentes factores que afectan la redistribución de las precipitaciones, tales como: Características de la vegetación: especie, densidad, cobertura, estructuras vegetativas, edad, convergencia de las ramas, tamaño, forma y orientación de las hojas, tipo de

corteza. Propiedades de la lluvia: intensidad, cantidad, duración y tipo del evento. Además de los factores meteorológicos: dirección y velocidad del viento, radiación solar y temperatura (Horton, 1919; Kittredge, 1948; Fahey, 1964; Rutter y Morton, 1977; Huber y Oyarzún, 1984; Oyarzún *et al.*, 1985; Crockford y Richardson, 1990, 1990, 2000; Cantú y Okumura, 1996; Huber, 2003; Germer *et al.*, 2006; Prado *et al.*, 2007; Stravs *et al.*, 2008; Ahmadi *et al.*, 2009; citados por Yáñez, 2013).

Según Yáñez (2013), diversos estudios han contribuido a comprender la importancia de las cubiertas forestales representándolas como un filtro, que modifica significativamente la distribución espacial de la lluvia incidente y las variaciones espaciales de la humedad y las propiedades físicas y químicas de los suelos.

#### 4.4. Pérdidas por Intercepción

La intercepción es la cantidad de lluvia que es retenida por el dosel, comúnmente se estima indirectamente como la diferencia entre la precipitación incidente y la precipitación directa (Cantú y González 2005). De tal manera que se representa con la siguiente ecuación:

$$I = P_i - P_d$$

Dónde:

I= Pérdidas por intercepción

P<sub>i</sub>= Precipitación incidente

P<sub>d</sub>= Precipitación directa

Pérdidas por intercepción de lluvia en el matorral espinoso tamaulipeco, bajo diferentes intensidades de raleo.

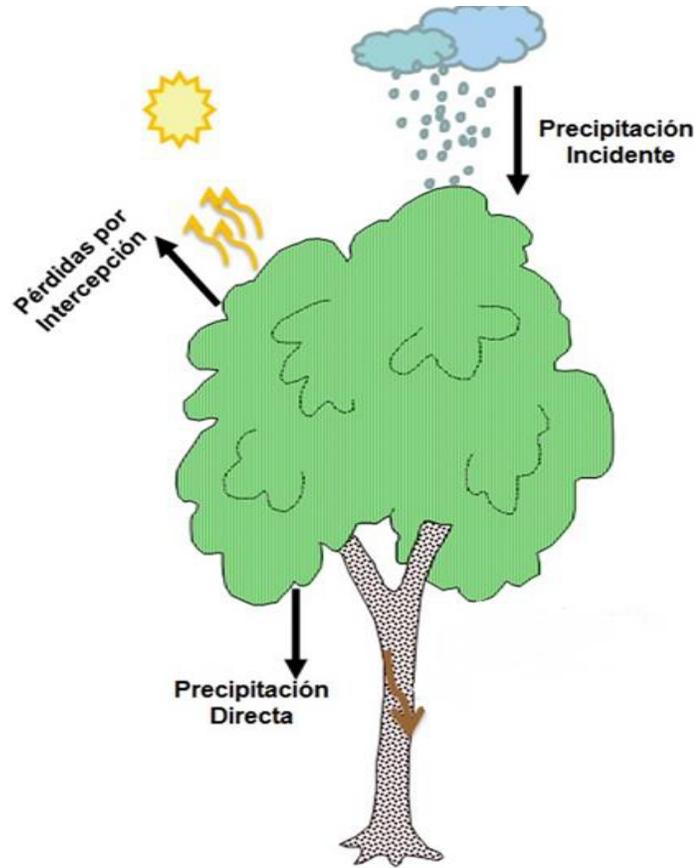


Figura 1. Esquemmatización del proceso de redistribución de precipitación. (Tomado de Yáñez, 2011).

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

Otros autores tal como Horton en 1919, han estudiado la intercepción de lluvia por efecto de la vegetación (Santiago, 2007). Horton fue pionero en este tema centrándose en bosques de coníferas de clima templado y en bosques tropicales; sin embargo, el auge se presentó en los años setenta con diversos estudios en múltiples aspectos donde se involucra la intercepción y los procesos derivados de ella diseño de pluviómetros, desarrollo de modelos y técnicas para las mediciones, trabajos desarrollados no solo en bosques o

cuencas forestales, sino también en otros tipos de vegetación (Belmonte y Romero, 1999).

Germer *et al.* (2006), mencionan que la intercepción de la precipitación es la cantidad de lluvia interceptada por la cubierta vegetal, que se evapora durante el evento de lluvia o después de que este cesó.

Se han realizado investigaciones comparando dos tipos de ecosistemas o cuencas forestales, tal como comparar un bosque nativo frente a un tipo de plantación. Huber e Iroume (2001) reportan valores mayores de intercepción promedio en una plantación de *Pinus radiata* comparándolos con un bosque nativo en Chile, mientras que Cantú y González (2002) estudiaron las pérdidas de intercepción a nivel cuenca para bosque de regiones templadas en el noreste de México, comparando tres tipos de cobertura vegetal; pino, encino y pino-encino, de donde concluyen que la cobertura de bosque de encino presenta valores más bajos de pérdidas de intercepción comparándolo con los otros dos tipos de doseles. De igual manera, estos mismos autores comparan el bosque de pino-encino de la Sierra Madre Occidental con un ecosistema de matorral, encontrando similitudes en las pérdidas de lluvia (Cantú y González, 2005).

Para regiones áridas y semiáridas, Belmonte y Romero (1999) menciona que la escasez de los recursos hídricos es uno de los problemas medioambientales mayores en conjunto con la degradación y la erosión de los suelos. Los recursos hídricos son limitados o reducidos por diversos efectos tales como la sequía, incendios, entre otros factores de manejo; la vegetación tiene una función decisiva en la protección y conservación del suelo. Sin embargo, en contraparte para estas regiones, la cubierta vegetal puede resultar negativa, por las pérdidas del recurso hídrico el cual regresa a la atmósfera por evaporación.

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

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

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

Yáñez (2011), documentó la redistribución de la lluvia quedando dividida en un 73% de precipitación neta y 27% de pérdidas por intercepción para él estudió de tres especies de importancia del matorral submontano *Prosopis laevigata*, *Ebenopsis ebano* y *Helietta parvifolia*, donde los volúmenes de precipitación neta fluyó al 74%, 65% y 67%, respectivamente; donde la estructura de la cubierta y las características de la precipitación influyeron en los aportes de agua al suelo.

Para la región de Linares, Nuevo León, se han realizado estudios sobre las pérdidas por intercepción para algunas especies del matorral espinoso tamaulipeco, esto debido a la importancia y el interés que se ha presentado en el aprovechamiento de estas especies. En los últimos años ha ido aumentando las plantaciones de especies nativas para programas de reforestación (Yáñez, 2013). Sin embargo, las especies estudiadas son pocas, por lo que el presente trabajo ayudará a fortalecer el conocimiento sobre el balance hídrico del ecosistema matorral.

Yáñez (2013), encontró en un fragmento de Matorral Espinoso Tamaulipeco un porcentaje de pérdidas por intercepción de lluvia con un valor de 37.7%, el cual representó una pérdida significativa del recurso hídrico en este tipo de ecosistemas semiáridos, ya que éste es el principal factor limitante para la región noreste de México.

#### **4.5. Precipitación directa**

La precipitación directa se refiere a la lluvia recibida debajo del dosel, es decir la cantidad de agua que fluye por el dosel a través de los claros o por goteo de las hojas y ramas (Cantú y González, 2005).

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

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

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

#### **4.6. Capacidad de almacenaje del dosel**

La descripción de la estructura del dosel constituye un elemento clave en la modelación de los procesos biofísicos que ocurren en los ecosistemas forestales (Landsberg, 1986).

La cantidad de agua que es retenida por el dosel sin excederse sobre su superficie es conocida como la capacidad de almacenamiento o capacidad de saturación del dosel. Conocer esta capacidad de almacenaje es de importancia en áreas de agricultura para la eficiencia de la aplicación de fungicidas, fertilizantes, o en operaciones forestales para la aplicación de retardantes de incendios mediante rociado aéreo, los cuales son más efectivos mientras sean mejor interceptados y almacenados por la vegetación (Cantú y González,, 2005).

Entre los trabajos que se enfocaron a determinar la capacidad de almacenamiento, se encuentran los realizados por Leyton *et al.* (1967). Quienes han estimado la capacidad de almacenamiento del dosel mediante el trazado de la lluvia total del suelo, a través de ajustes de regresión lineal de los datos.

Jaramillo (2003), define la capacidad de almacenamiento de agua por el dosel, mediante un coeficiente que expresa la cantidad de agua requerida para humedecer todo el dosel antes de que el agua empiece a escurrir a la superficie del suelo.

Valenzuela (2003), especifica tres componentes de la capacidad de retención del dosel; retención transitoria, que es el agua que se precipita desde el dosel; retención condicional, es el agua que puede caer por la vibración de la planta efectuada por el viento; y la retención residual, la cual es el agua que solo podría ser removida por evaporación.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Localización

El estudio se llevó a cabo en el Campus de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León (24°47' N; 99°32' O) (Figura 2), con una elevación de 350 msnm, ubicado aproximadamente 8 km hacia el sureste del Municipio de Linares. El tipo de clima según Köppen (1938), modificado por García (1981) citado por González y Cantú (2001), que se corresponde al área es subtropical y semiárido con verano cálido. La temperatura media anual del aire oscila entre los 14.7°C en Enero a 22.3°C en Agosto, aunque en verano son comunes temperaturas de 45°C. La precipitación media anual es de 805 mm con distribución bimodal.

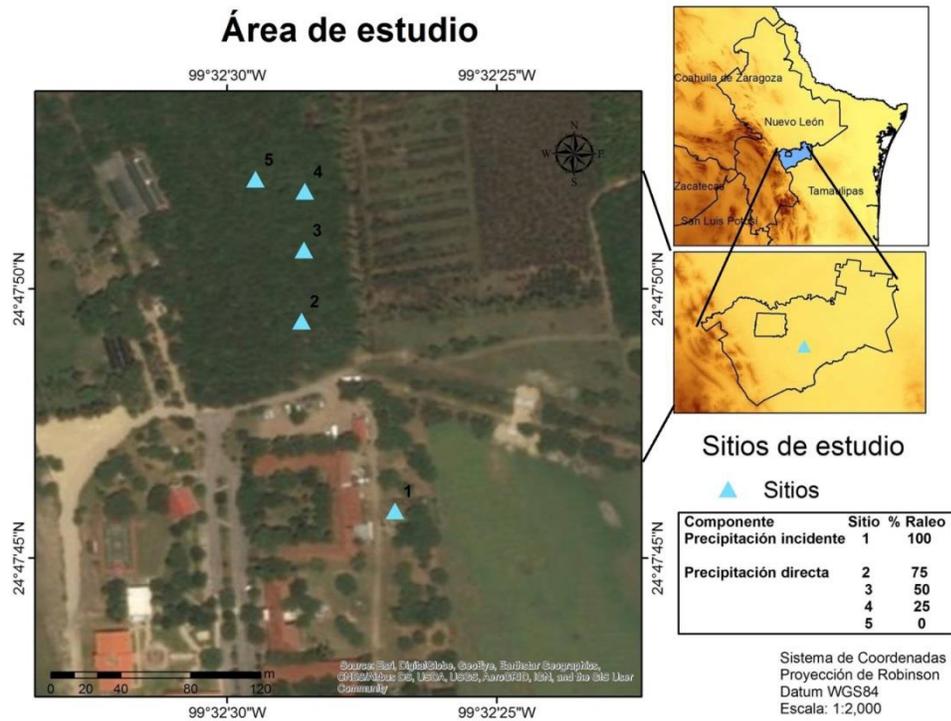


Figura 2. Localización del área de estudio y sitios de muestreo.

## 5.2. Suelo

El tipo de suelo que comúnmente se encuentra en el sitio son vertisoles profundos con una coloración gris-oscuro; son arcillo-limosos con altos contenidos de montmorillonita, los cuales se expanden y contraen en relación a los cambios de contenido de humedad en el suelo. La vegetación predominante en el sitio de estudio es el Matorral Espinoso Tamaulipeco (COTECOCA-SARH 1973; SPP-INEGI, 1986).

## 5.3. Vegetación del área de estudio

El principal tipo de vegetación que se encuentra en el sitio de estudio es conocida como Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET), el cual se compone de arbustos, zacatales y árboles diversos, densos y espinosos, los cuales se distinguen por tener un amplio rango taxonómico, presentando patrones de crecimiento diferente, diversidad en desarrollos fenológicos, dinámicas de crecimiento y longevidad foliar (Alanís, 2006).

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

## 5.4. Metodología

### 5.4.1.1. Medición de los componentes de las precipitaciones

Se establecieron parcelas de 100 m<sup>2</sup> (10 m x 10 m) en donde se midió el porcentaje de cobertura para cada parcela y se realizó el raleo requerido para obtener un 0, 25, 50 y 75%, donde se colocaron los colectores para precipitación (Cuadro 1). Las mediciones del volumen colectado se registraron y se tomó una porción para el análisis de pH y conductividad eléctrica, medidos a través de un pH-conductivímetro marca Corning, modelo 542; las mediciones se realizaron después de cada “evento de lluvia”, el cual fue considerado como aquel periodo de precipitación que puede ser constituido por lloviznas o chubascos, continuos, separados del anterior y posterior por un periodo seco de una duración mínima de ocho horas.

Cuadro 1. Tratamientos (porcentaje de raleo) y sitios de muestreo

Componente	Sitio	Raleo%
Precipitación Incidente	1	100
Precipitación Directa	2	75
	3	50
	4	25
	5	0

#### **5.4.1.2. Precipitación incidente**

La precipitación incidente fue colectada mediante canaletas de PVC de 0.1 m<sup>2</sup> (10 cm de ancho x 100 cm de largo) en forma de U, conectadas por medio de mangueras a recipientes de 20 L. Las canaletas se cubrieron con una malla para evitar la obstrucción de hojarasca e insectos. Se instalaron cuatro canaletas a un metro con respecto al suelo, en un área abierta sin árboles, colindante a las parcelas experimentales (Figura 3).

#### **5.4.1.3. Precipitación directa**

Se utilizó el mismo tipo de canaletas ya descritas para recolectar la precipitación que pasa a través del dosel. Se colocaron ocho canaletas en forma aleatoria en cada una de las parcelas para los diferentes porcentajes de raleo: 75%, 50%, 25% y 0% (Figura 4).

#### **5.4.1.4. Capacidad de almacenaje del dosel**

La característica relevante de una cubierta vegetal es la cantidad de agua almacenada en el dosel en una sola lluvia que sea suficiente para exceder la capacidad de la vegetación y así retener agua sobre su superficie. Esta característica es conocida como capacidad de almacenaje de intercepción o capacidad de saturación del dosel. Así, la capacidad de almacenaje del dosel fue determinada relacionando la precipitación incidente respecto a la precipitación directa para eventos de lluvia individuales y continuos de hasta un valor máximo de 2.5 mm. La capacidad de almacenaje del dosel se obtuvo conociendo el valor del intercepto en el eje de la ordenada después de aplicar regresión lineal a los datos.

#### 5.4.1.5. Análisis estadístico

Con las mediciones realizadas de precipitación incidente ( $P_i$ ) y precipitación directa ( $P_d$ ), de 79 eventos colectados durante el periodo de estudio, se aplicó estadística descriptiva y modelos de regresión lineal que describen el comportamiento de los componentes de la precipitación sobre y bajo el dosel con respecto a la precipitación incidente para los eventos de lluvia individuales obtenidos.



Figura 3. Establecimiento de los colectores para la precipitación incidente, en un área colindante sin vegetación.



Figura 4. Colector distribuido al azar para medición de la precipitación directa.

## **6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **6.1. Precipitación Incidente**

Se realizó una validación de los datos para cada parcela, suprimiendo eventos que arrojaran una intercepción negativa (precipitación directa mayor al incidente). Soto (2011), señala que bajo ciertas condiciones meteorológicas, las copas incrementan su capacidad de retención de niebla, la cual se condensa y cae por goteo, las cuales no son registradas. Las diferencias señaladas explican gran parte de las intercepciones negativas registradas, que generalmente tenían valores cercanos a los 0.5 mm.

El análisis de 79 eventos de lluvia sumó un total de 907.6 mm registrados durante un periodo de año y medio de estudio, correspondiente al periodo del 19 de marzo del 2016 al 09 de septiembre del 2017.

La precipitación máxima registrada fue de 55.25 mm en junio del 2017, la precipitación mínima fue de 0.5 mm en diciembre 2016. La precipitación media fue de 8.11 mm y la precipitación acumulada fue de 907.6 mm durante el periodo de estudio (Figura 5).

Tal como se observa en la Figura 5, el comportamiento de las precipitaciones acumuladas mensualmente durante dicho periodo de estudio muestra que ocurrió un mayor número de eventos de precipitaciones y una mayor cantidad de milímetros de lluvia en los meses de mayo de 2017 y junio del 2017.

Pérdidas por intercepción de lluvia en el matorral espinoso tamaulipeco, bajo diferentes intensidades de raleo.

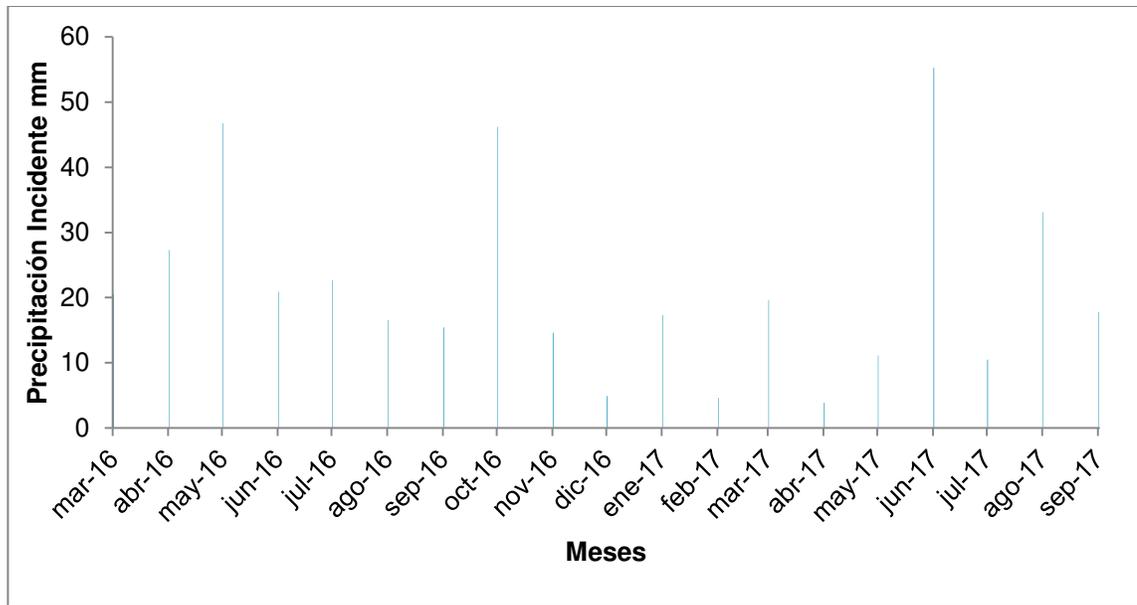


Figura 5. Precipitación mensual y número de eventos por mes durante el periodo de estudio.

Las precipitaciones registradas menores a 5 mm representaron el 40% del total de los eventos analizados, siguiendo lluvias entre 10-20 mm (22%), así también las lluvias con cantidades entre 5-10 mm (20%), de 20-30 mm representaron el 9%, mientras para el rango de 30-40 mm representó solo el 5%, siguiendo con el 3% para los rangos de lluvia de 40-50 mm; los eventos mayores a 50 mm representaron el 1% del total de las precipitaciones (Figura 6).

Pérdidas por intercepción de lluvia en el matorral espinoso tamaulipeco, bajo diferentes intensidades de raleo.

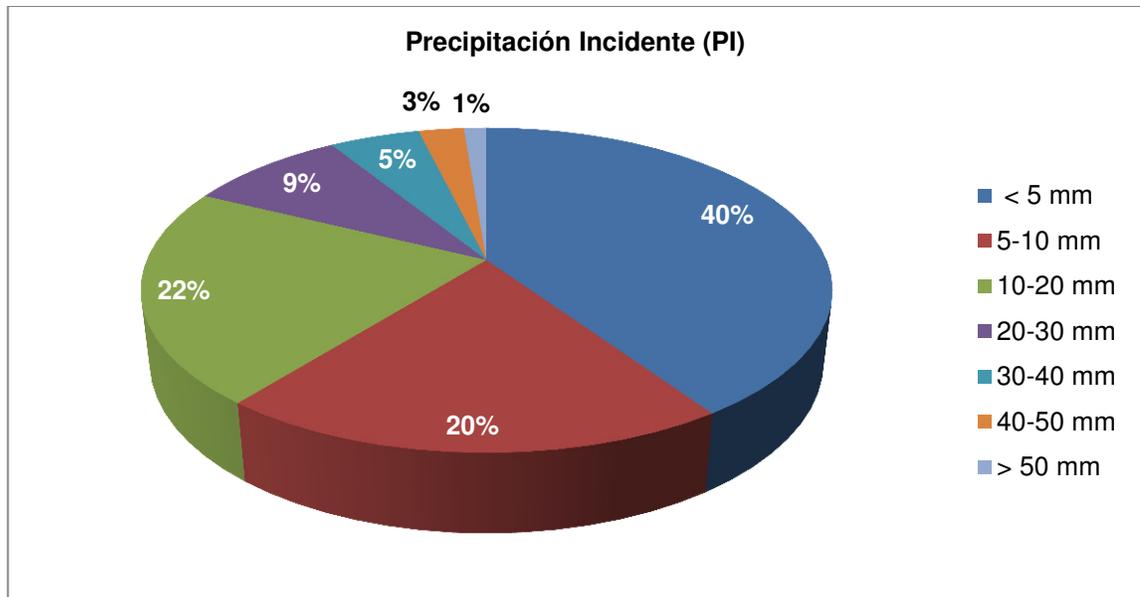


Figura 6. Porcentaje de eventos de lluvia de acuerdo con la cantidad registrada durante el periodo experimental.

## 6.2. Precipitación directa

La precipitación directa ( $P_d$ ) representó el 83, 70, 65 y 58% de la precipitación incidente para los tratamientos de raleo del 75, 50, 25 y 0%, respectivamente. Los análisis de regresión lineal entre estos tratamientos de raleo mostraron valores relativamente altos de coeficiente de determinación ( $R^2$ ), siendo de 0.98 para el raleo de 75% a 0.97 para el 0% de raleo, lo que indica que la cantidad de lluvia que fluye el dosel del árbol tiene una relación con la lluvia incidente (Figuras 7 a la 10).

Pérdidas por intercepción de lluvia en el matorral espinoso tamaulipeco, bajo diferentes intensidades de raleo.

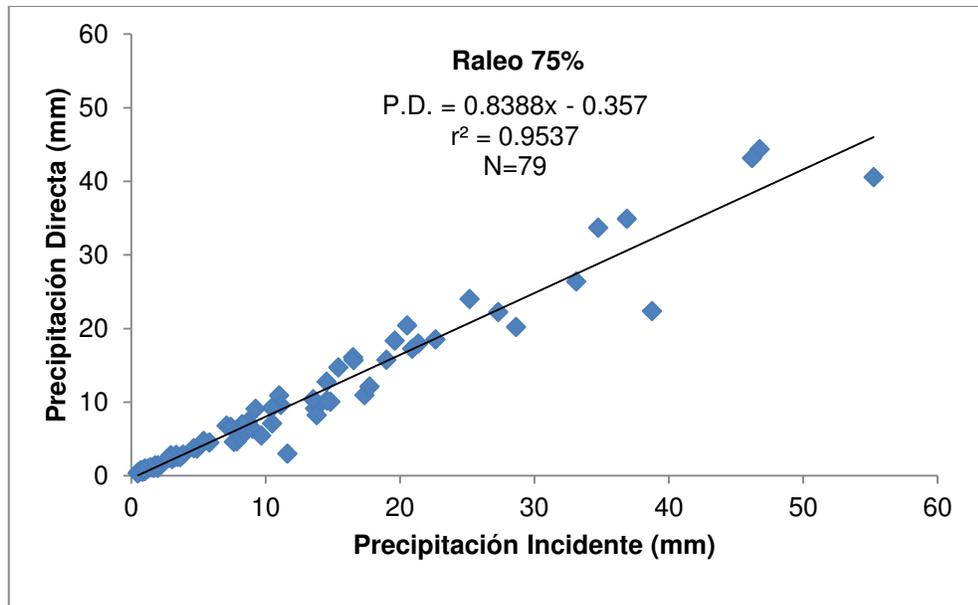


Figura 6. Relación entre la precipitación incidente y la precipitación directa para el raleo del 75%.

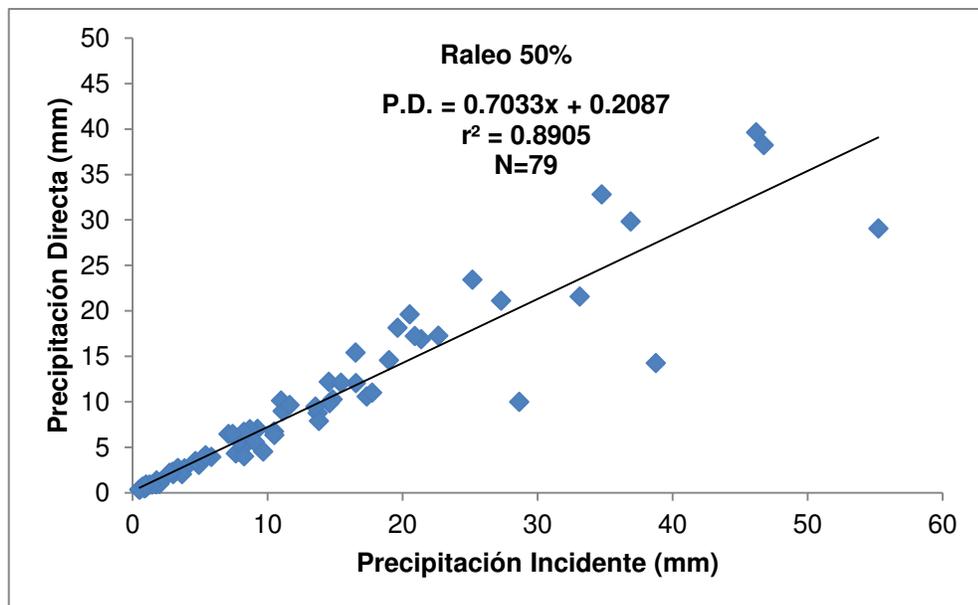


Figura 8. Relación entre la precipitación incidente y la precipitación directa para el raleo del 50%.

Pérdidas por intercepción de lluvia en el matorral espinoso tamaulipeco, bajo diferentes intensidades de raleo.

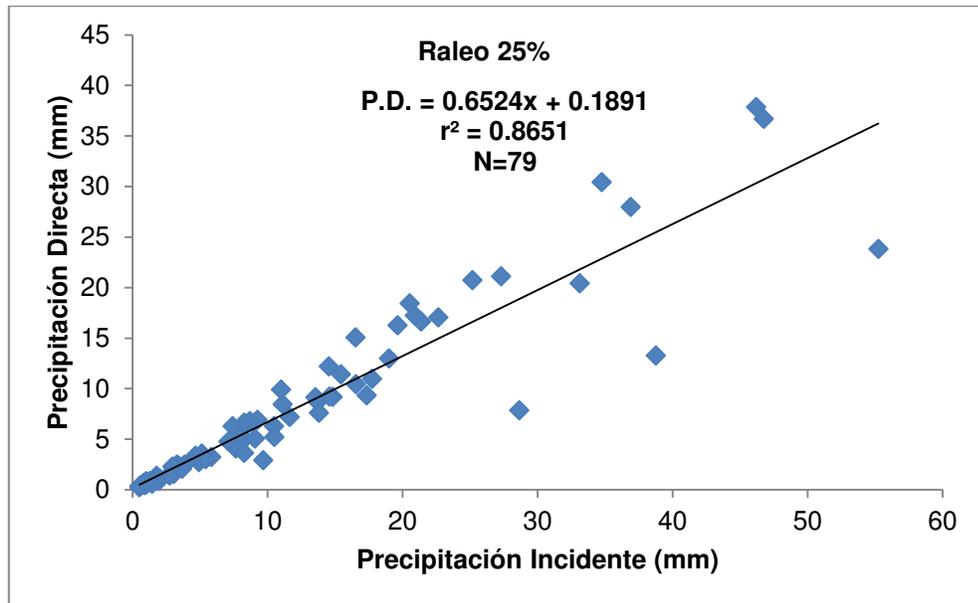


Figura 7. Relación entre la precipitación incidente y la precipitación directa para el raleo del 25%.

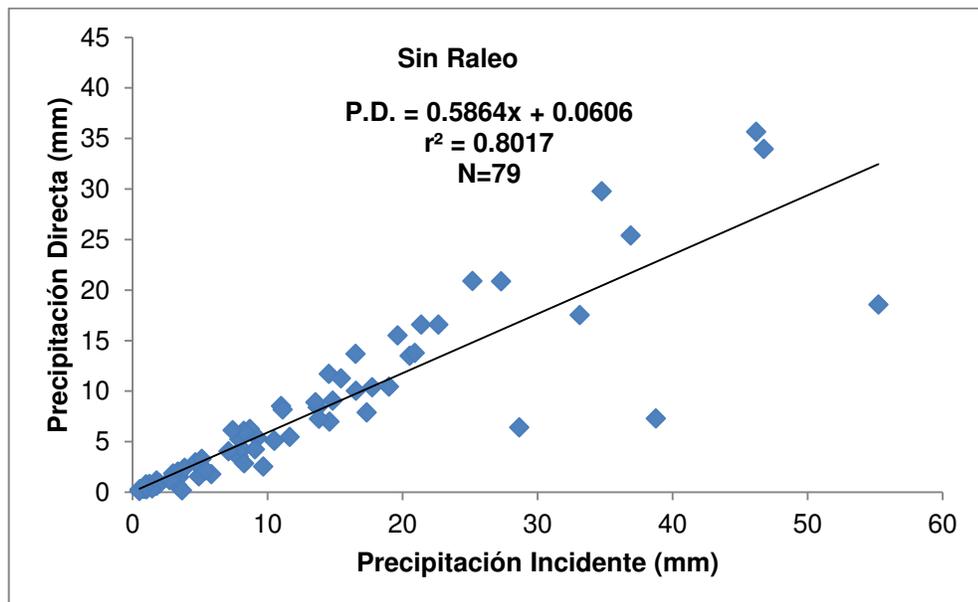


Figura 8. Relación entre la precipitación incidente y la precipitación directa sin raleo.

### 6.3. Pérdidas por intercepción

Las pérdidas de lluvia por intercepción para los raleos en el ecosistema del matorral espinoso tamaulipeco, correspondió para la parcela que no tuvo raleo 370 mm, registrando el valor más alto de intercepción con un 41%, seguido de 25% de raleo con 300 mm, representando un 34% de intercepción, para el raleo del 50% fue estimada la intercepción en 252 mm lo que representó un 29% y finalmente el raleo que presentó una menor intercepción con 174 mm es el raleo del 75%, correspondiéndole 16% de pérdidas por intercepción Cuadro 2.

Cuadro 2. Relación entre la pérdida por intercepción y precipitación incidente (907.6 mm) en base a 79 eventos de lluvia registrados durante el periodo experimental.

Raleo	Rangos de intercepción		Intercepción total	
	(mm)	(%)	(mm)	(%)
75%	0.04 - 16.40	0.7 - 74.6	174	16
50%	0.10 - 26.20	4.3 - 65.0	252	29
25%	0.14 - 31.40	8.7 - 72.6	300	34
0% (Sin Raleo)	0.19 -36.70	14.3 -95.2	370	41

Los rangos del coeficiente de determinación obtenidos del análisis de regresión lineal entre la precipitación incidente y la intercepción fueron relativamente bajos tal como se muestra en las Figuras 11, 12, 13 y 14, obteniendo valores de  $R^2 = 0.59$  (50% raleo) y  $R^2=0.66$  (0% raleo), la cual presentó un mayor porcentaje de pérdidas por intercepción.

Pérdidas por intercepción de lluvia en el matorral espinoso tamaulipeco, bajo diferentes intensidades de raleo.

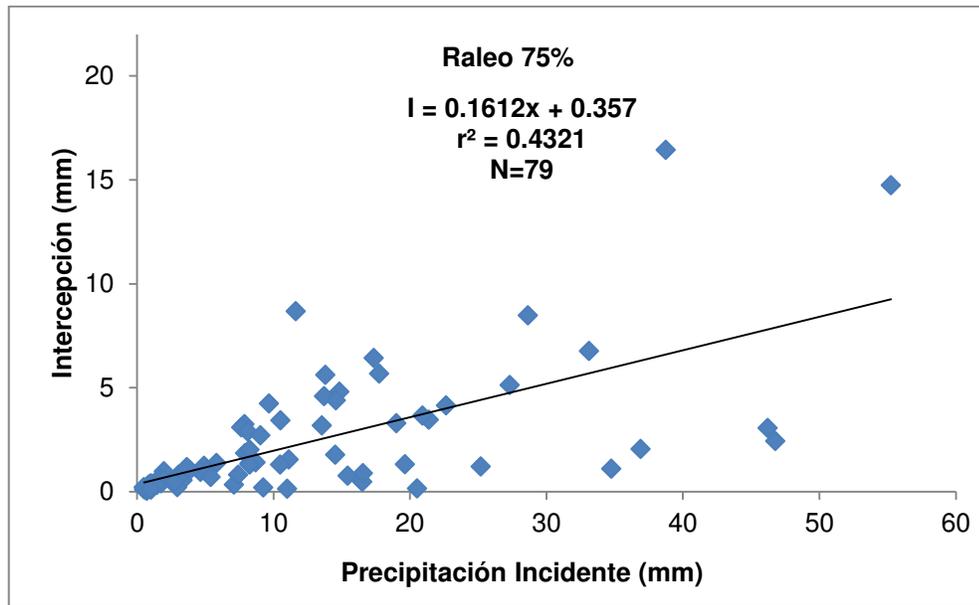


Figura 11. Pérdidas por intercepción en base a 79 eventos de lluvia para el raleo del 75%.

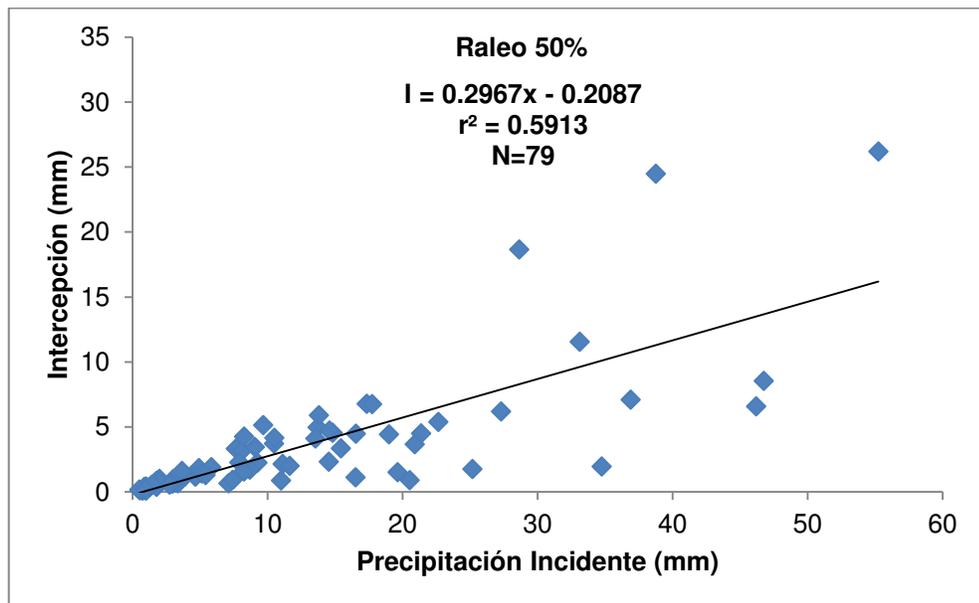


Figura 12. Pérdidas por intercepción en base a 79 eventos de lluvia para el raleo del 50%.

Pérdidas por intercepción de lluvia en el matorral espinoso tamaulipeco, bajo diferentes intensidades de raleo.

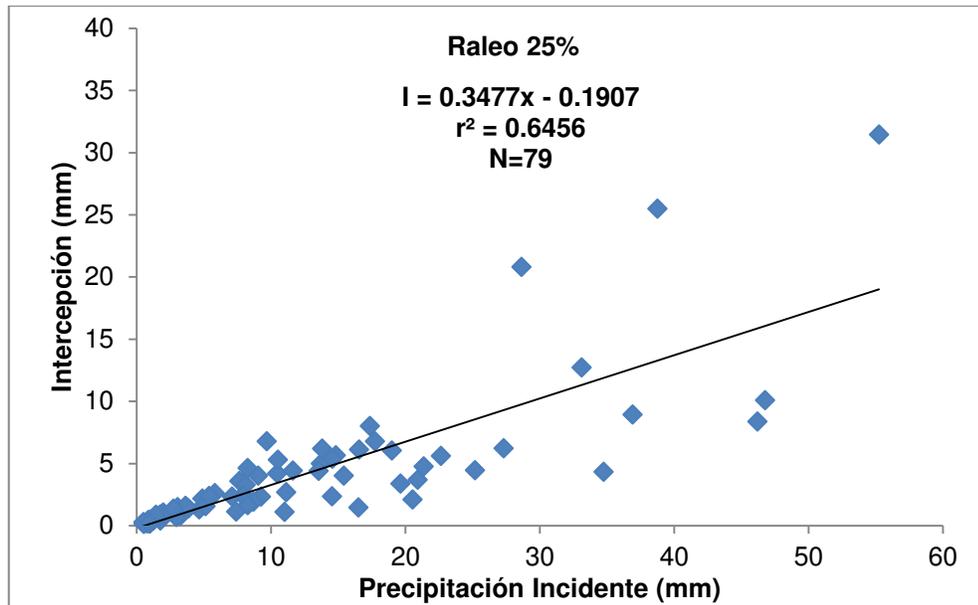


Figura 13. Pérdidas por intercepción en base a 79 eventos de lluvia para el raleo del 25%.

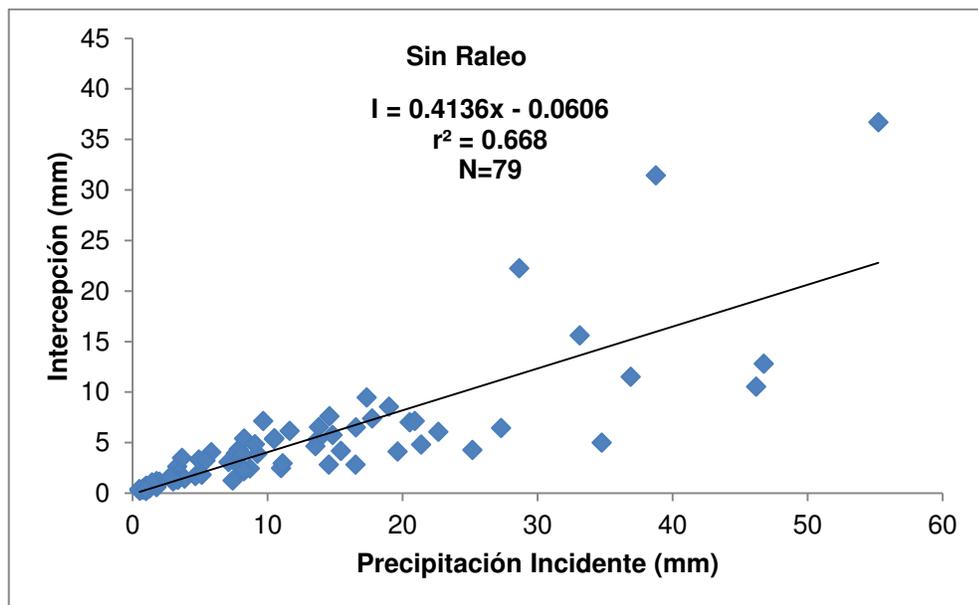


Figura 14. Pérdidas por intercepción en base a 79 eventos de lluvia para la parcela que no tuvo raleo (0%).

Pérdidas por intercepción de lluvia en el matorral espinoso tamaulipeco, bajo diferentes intensidades de raleo.

Los resultados de los análisis de regresión de la intercepción Cuadro 3, fluctuaron entre  $R^2= 0.42$  para el raleo 75% hasta valores de  $R^2= 0.66$  en donde no se tiene raleo, la cual presentó un mayor porcentaje de pérdidas por intercepción. Lo cual sugiere que otros factores, tales como: niebla, rocío, intensidad de lluvia, continuidad del evento de lluvia, velocidad del viento, entre otros, deben de ser tomados en cuenta para poder predecir con mayor exactitud la intercepción.

Cuadro 3 Resumen del análisis de regresión para describir las pérdidas por intercepción para los raleos del 75, 50, 25 y 0%. El Error Estándar Estimado (EEE) para los coeficientes de regresión es incluido.

Porcentaje de raleo	n	Y-valor del intercepto ( $\beta_0$ )			Pendiente ( $\beta_1$ )			$R^2$ Ajustado
		( $\beta_0$ )	(EEE)	(Valor - P)	( $\beta_1$ )	(EEE)	(Valor - P)	
75%	79	0.3570	0.3488	0.3093	0.1612	0.0210	<0.001	0.4247
50%	79	0.2087	0.4657	0.6553	0.2967	0.0281	<0.001	0.5859
25%	79	0.1907	0.4863	0.6984	0.3477	0.0293	<0.001	0.6409
0%	79	0.0606	0.5506	0.9126	0.4136	0.0332	<0.001	0.6637

En la Figura 15 se presenta el comportamiento de las pérdidas por intercepción durante el tiempo de estudio, en los 79 eventos colectados, donde los picos más altos corresponden a eventos donde la cantidad de lluvia fueron las mayores registradas (31 a 36 mm). Así mismo, el análisis individual de las precipitaciones ocurridas mostró que la lluvia que llega al suelo no es una fracción constante de la lluvia total, sino que las lluvias incipientes tienden a ser más interceptadas (Yáñez *et al.*, 2014).

Pérdidas por intercepción de lluvia en el matorral espinoso tamaulipeco, bajo diferentes intensidades de raleo.

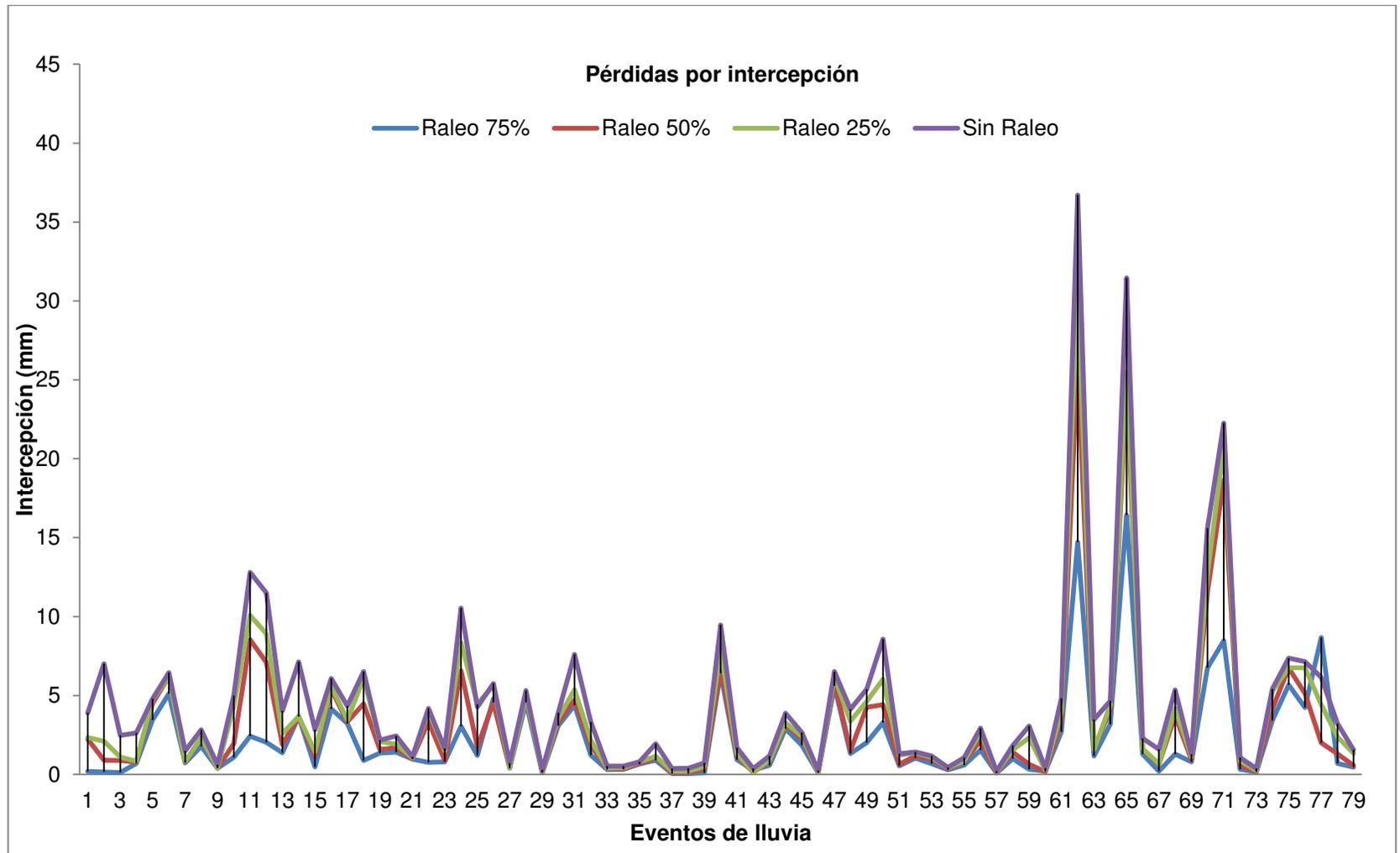


Figura 15. Análisis individual de las pérdidas por intercepción en base a 79 eventos de lluvia para los cuatro porcentajes de raleo estudiados.

#### 6.4. Estimación de la capacidad de almacenaje del dosel

La característica relevante de una cubierta vegetal es la cantidad de agua almacenada en el dosel en una sola lluvia que sea suficiente para exceder la capacidad de la vegetación y así retener agua sobre su superficie. Esta característica es conocida como capacidad de almacenaje de intercepción o capacidad de saturación del dosel. Así, la capacidad de almacenaje del dosel fue determinada relacionando la precipitación incidente contra la precipitación directa para eventos de lluvia individuales y continuos de hasta un valor máximo de 2.5 mm (Leyton *et al.*, 1967). La capacidad de almacenaje del dosel se obtuvo conociendo el valor del intercepto en cada porcentaje de raleo después de aplicar regresión lineal a los datos.

Para el raleo del 75% se estimó en 0.15 mm la capacidad de saturación, raleo del 25% con 0.12 mm, el raleo del 50% presentó la mayor saturación del dosel con 0.18 mm y donde no hubo raleo se estimó en 0.0063 mm (Figura 16).

Estos valores de cantidad de lluvia para humedecer todo el dosel antes de que empiece a escurrir a la superficie del suelo, fueron considerados bajos ya que las especies que componen el matorral no superan valores de almacenaje mayor a 2.5 mm. Los rangos del coeficiente de determinación variaron entre  $R^2=0.6534$  (sin raleo) a 0.8214 (raleo 75%) Cuadro 4.

Cuadro 4 Valores de saturación del dosel para los raleos estudiados, determinados en 19 eventos de lluvia individuales menores de 2.5 mm.

Capacidad de almacenaje		
Raleo	Valor de saturación (mm)	Coefficiente de determinación ( $R^2$ )
75%	0.1501	0.8214
50%	0.1878	0.7920
25%	0.1251	0.7282
Sin Raleo	0.0063	0.6534

Pérdidas por intercepción de lluvia en el matorral espinoso tamaulipeco, bajo diferentes intensidades de raleo.

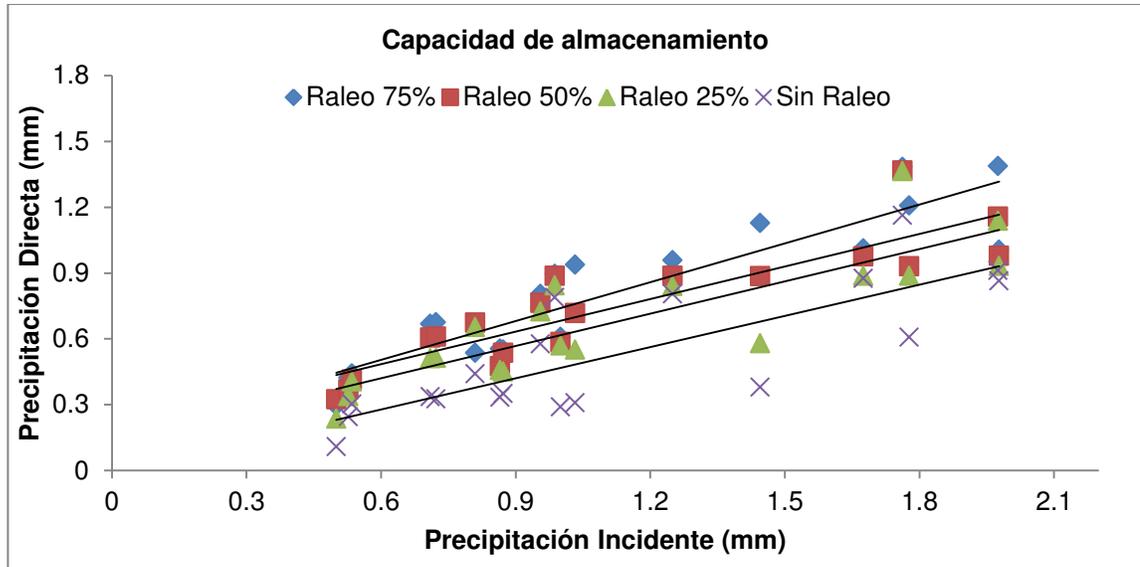


Figura 16. Capacidad de almacenaje para los raleos estudiados en base a 19 eventos de lluvia individual de hasta 2.5 mm.

## 6.5. Pluviolavado

A través del agua de lluvia, los nutrientes cambian su composición química así como su cantidad disponible. La lixiviación o absorción de estos nutrientes es inferido indirectamente por el valor de pH y conductividad eléctrica ocurrida durante estos eventos de lluvia.

El valor de pH promedio obtenido para la precipitación incidente es de 7.06, para la precipitación directa en el 50% de raleo bajo a 7.03. Los valores corresponden a un rango neutral en la escala de pH. En la Figura 17, se muestra una tendencia similar entre los componentes con respecto al pH para la precipitación incidente y precipitación directa.

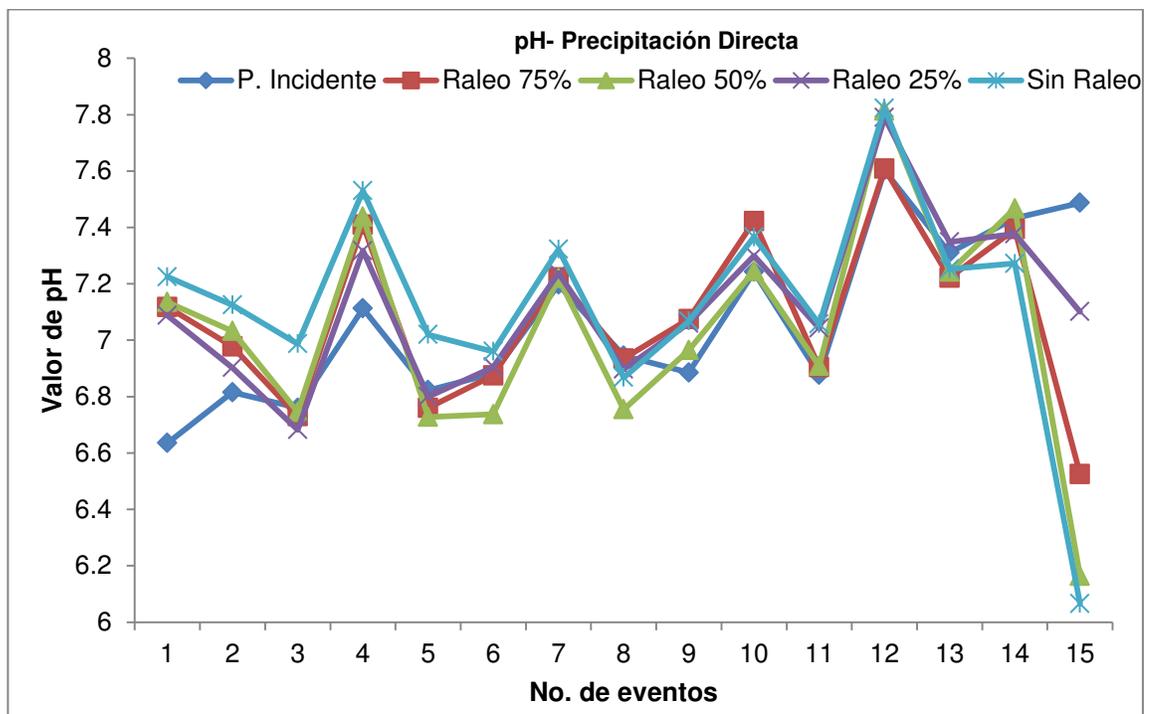


Figura 17. Valores de pH obtenidos en 15 eventos analizados en la precipitación incidente y la precipitación directa en los diferentes raleos.

Pérdidas por intercepción de lluvia en el matorral espinoso tamaulipeco, bajo diferentes intensidades de raleo.

En la conductividad eléctrica, se mostraron valores de  $100.56 \mu\text{S cm}^{-1}$  para la precipitación incidente y de  $187.63 \mu\text{S cm}^{-1}$  para la precipitación directa.

Como se observa en la Figura 18, se presentó la misma tendencia entre los raleos estudiados. Se observa también en los eventos individuales que cuando la cantidad de lluvia era mayor, disminuía los valores conductividad eléctrica.

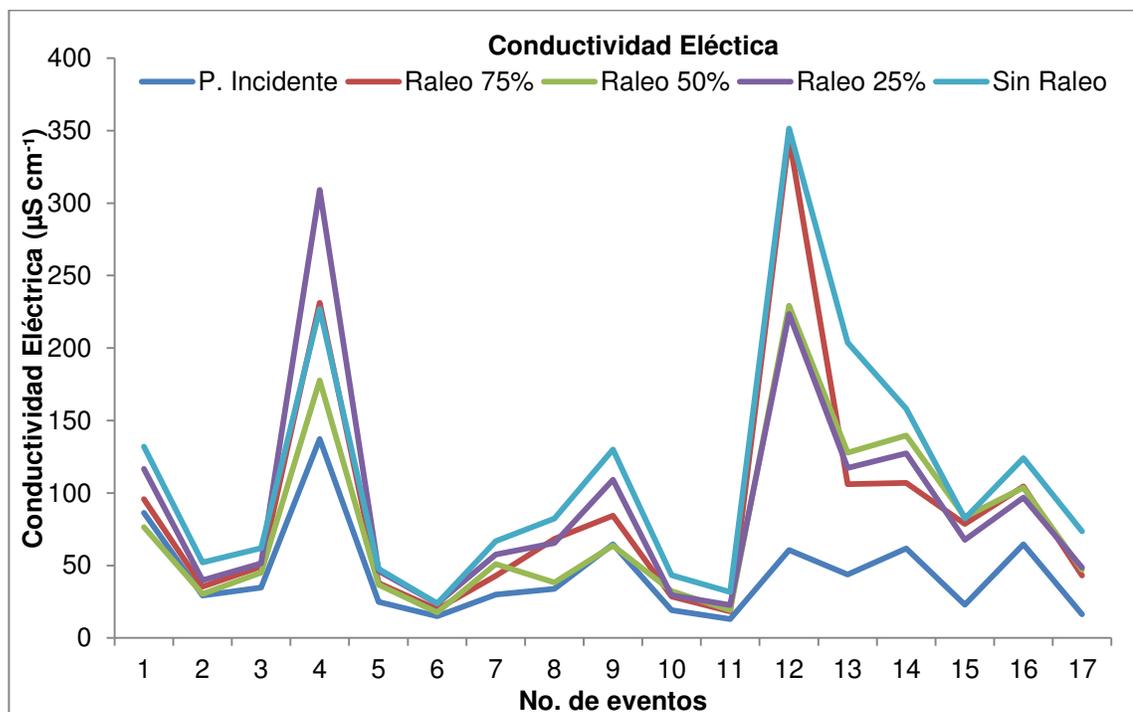


Figura 18. Valores de conductividad eléctrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) obtenidos en 17 eventos analizados en la precipitación incidente y la precipitación directa en los diferentes porcentajes de raleo.

## 6.6. Discusión

Los valores encontrados durante el transcurso del experimento, fueron de 907.6 mm de precipitación incidente derivado de 79 eventos, la relación entre precipitación incidente y precipitación directa, señaló un buen ajuste en los coeficientes de determinación ( $r^2 > 0.80$ ), lo cual fue similar a lo reportado por Besteiro (2012) con un coeficiente de determinación de  $r^2 > 0.80$  para una plantación forestal de pino y eucalipto. Así mismo, Cantú y González (2005), encontraron un coeficiente de determinación de 0.78 a 0.85 para tres especies (*A. berlandieri*, *A. rigidula* y *Diospyros texana*) del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

San Juan (2004) examinó dos parcelas comparativas de *Pinus radiata*, en donde encontró valores de 65% y 74% para precipitación directa, lo cual indica que a mayor cobertura de dosel, menor aporte de precipitación directa. Resultados similares fueron obtenidos para el presente trabajo; con valores del 65% y 70% para los tratamientos con raleo del 25% y 50%, respectivamente, mientras que la menor precipitación directa, se registró donde no se aplicó raleo con un valor del 58%, por último, el valor más alto en la precipitación directa, se presentó en el sitio con raleo al 75%, con un valor de 83%.

Para las pérdidas de intercepción sin raleo, el valor más alto registrado fue de 41%, seguido del raleo a 25% con un 34%, 29% para el raleo al 50% y un 16% para el raleo al 75%. De acuerdo con los resultados reportados para la zona semidesértica del norte de México, se registran valores por pérdidas de intercepción del 15 al 27% en árboles aislados sin raleo (Navar y Bryan 1994, Navar *et al.*, 1999 y Carlyle-Moses 2004).

Belmonte (1997) obtiene un 26% de intercepción, en el matorral mediterráneo semiárido para el 100% de cobertura; menciona que para el valor de intercepción sin cobertura, le corresponde el 100% de precipitación incidente. Años después Belmonte *et al.*, (1999) afirma que para las pérdidas por intercepción se admite que el porcentaje de lluvia interceptada es directamente proporcional al porcentaje de cobertura.

En ese sentido, Donoso (1983), citado por Valenzuela (2003) menciona que las pérdidas por intercepción registran sus máximos valores en edades intermedias, cuando se produce el cierre del dosel. Por otra parte, Navar y Bryan (1994), reportaron un valor por pérdida en intercepción del 28%, mientras que Navar *et al.*, (1999) reportaron un 18% y Carlyle-Moses (2004) registró un valor del 6 al 11%. Resultados similares fueron reportados por Yáñez (2011), quien estimó un 27% en la pérdida por intercepción en cuatro especies; *Ebanopsis ebano*, *Helietta parvifolia*, *Prosopis laevigata* y *Eucalyptus camaldulensis*. En donde el dosel de *E. ebano* se interceptó hasta el doble de lluvia que las otras especies descritas anteriormente. Así mismo, estos resultados son similares a los obtenidos por Cantú y González (2005), para las especies; *Acacia berlanderi*, *Acacia rigidula* y *Diospyros texana*, las cuales registraron valores de 18%, 15% y 22%, respectivamente.

González *et al.*, (2009) citado por Guevara *et al.*, (2010) reportan valores de 21% a 27% en la intercepción de lluvia por el dosel de *Prosopis laevigata*. Por su parte, Mastachi *et al.*, (2010), encontraron para *Prosopis laevigata* y *Acacia farnesiana* de la región semiárida del centro de México, una intercepción promedio de 20.6% al 22% para cada especie.

Prado *et al.*, (2007) comparando la intercepción de eventos en campo y bajo simulación, donde encontró diferencias en la intercepción de 15.6% en campo y 34.6% bajo simuladores de lluvia en laboratorio, donde las condiciones de velocidad de viento, evapotranspiración y la inclinación con la que cae la lluvia fueron algunos de los factores que más influyeron en el proceso de intercepción. Así mismo, este análisis individual en las precipitaciones ocurridas, indica que la lluvia que llega al suelo no es constante.

El análisis de las coberturas analizadas, no presentaron diferencias significativas para la precipitación incidente de los sitios de estudio, lo cual concuerda por lo registrado por Pizarro *et al.*, (2005), quienes mencionan que la cobertura del dosel influye en la cantidad de precipitación incidente para ciertas zonas geográficas.

De tal modo, el comportamiento de la precipitación incidente en su forma y distribución, es uno de los temas más importantes a analizar para futuros estudios.

Los valores obtenidos para la capacidad de almacenamiento fueron; para el raleo al 75%, se estimó un 0.15 mm, raleo al 25% con 0.12 mm de capacidad de saturación, el raleo al 50% presentó la mayor saturación en el dosel con 0.18 mm y donde no hubo raleo se estimó un 0.0063 mm. Yáñez (2011) registró una menor capacidad de almacenamiento para *H. parvifolia*, la cual pudo deberse a la disposición geométrica de las ramas, las cuales contribuyeron a los resultados obtenidos.

Los resultados correspondientes al análisis de pH y conductividad eléctrica, indican de manera indirecta el comportamiento de los nutrientes a través del lavado de las copas por la precipitación ocurrida en los raleos estudiados, generalmente se observa que el valor del pH muestra una tendencia similar entre precipitación incidente y en los raleos, presentando valores neutros de pH, en promedio se registró 6.7 de pH para la precipitación incidente. Yáñez (2011) encontró una relación del pH fluctuando en 6.61 para especies del matorral espinoso tamaulipeco. Al respecto Calvo y Gómez (2002) mencionan que la cantidad de deposición son alteradas por los doseles del bosque, modificando también el pH de la precipitación directa y el escurrimiento fustal, reportan en dicho estudio valores de pH promedio de 6.2 y 5.4 para un bosque de pino-encino, para el bosque de encino reportan 6.3 y 6.0, acidificándose en valores de 6.2 y 3.7 en el bosque de pino, donde concluye que los doseles de coníferas muestran una tendencia a bajar el pH con respecto a otras especies que son de importancia para la región noreste de México, lo que representa una fuente importante en la producción del agua.

Los resultados obtenidos muestran que aunque que en algunos eventos, debido a la particularidad de cada evento de lluvia la cual está influenciado por el tipo de tormenta, dirección del viento que acarrea concentraciones de nutrimentos según el área y que son depositados; la comparación de las medias entre el pH de la precipitación incidente comparado con los raleos no arrojo diferencias

significativas para cada evento individual. Jiménez *et al.* (2006) reportan un incremento en los valores de pH y conductividad eléctrica incrementándose en su paso a través de las hojas y ramas de los árboles de un bosque secundario y unas plantaciones forestales, atribuyéndolo al aumento de bases.

Resultados encontrados por Cantú y González (2002) donde se encontraron un patrón de aumento en conductividad eléctrica para la precipitación directa y el escurrimiento fustal de los doseles de pino, encino y pino – encino. En el presente estudio se encontró una conductividad eléctrica promedio de  $110.3 \mu\text{S cm}^{-1}$  para la precipitación incidente aumentando su concentración en el siguiente orden para la precipitación directa raleo 75% > raleo 50% > raleo 25% > sin raleo. Yáñez (2011) encontró un promedio de conductividad eléctrica de  $100.6 \mu\text{S cm}^{-1}$  para precipitación incidente en el orden de las especies *E. ebano* > *H. parvifolia* > *P. laevigata* > *E. camaldulensis*, para el escurrimiento fustal el comportamiento de la conductividad eléctrica fue diferente quedando en el orden de *P. laevigata* > *E. ebano* > *E. camaldulensis* > *H. parvifolia*, donde *P. laevigata* mostró valores mucho más altos con  $1219.7 \mu\text{S cm}^{-1}$  a diferencia de las otras tres especies que sus valores oscilaban alrededor de  $100 \mu\text{S cm}^{-1}$ , por lo que la especie *P. laevigata* muestra un lavado más rico en nutrientes a través de su fuste agrietado ya que comparándolo con el agua que atraviesa la copa existe una diferencia muy marcada.

## 7. CONCLUSIONES

El porcentaje de intercepción de la lluvia para los raleos en el ecosistema del matorral espinoso tamaulipeco correspondió para el 25% de raleo (300 mm) un 34%, para el raleo del 50% (252 mm) representó un 29% y finalmente el raleo que presento una menor intercepción con 174 mm fue el raleo del 75% correspondiéndole el 16% pérdidas por intercepción. Finalmente la parcela que no tuvo raleo (control) interceptó un total de 370 mm representando el 41% de la precipitación total.

Existe una tendencia en la cual los mayores porcentajes de intercepción se obtienen con los menores valores de precipitación incidente y viceversa. Sin embargo, esta condición no siempre se presenta. Existen además una serie de factores asociados a este proceso como la humedad ambiental, la capacidad de acopio de agua en el dosel, el viento y la duración del evento.

El análisis del pH y la conductividad eléctrica del pluviolavado varió entre los componentes de la redistribución de la precipitación, donde la composición nutrimental de los raleos aportó diferencias químicas, por su parte el pH obtuvo valores neutros, lo que indica una tendencia similar entre elementos individuales, mientras que la conductividad eléctrica explicó una tendencia de aumento conforme la captura de agua era mayor.

Los valores estimados de la capacidad de almacenaje del dosel para el raleo del 75% se estimó en 0.15 mm la capacidad de saturación, raleo del 25% con 0.12 mm, el raleo del 50% presento la mayor saturación del dosel con 0.18 mm y donde no hubo raleo se estimó en 0.0063 mm, donde estos valores influyen en los porcentajes de las pérdidas por intercepción la cual correspondió del 16 al 41%, siendo el raleo del 25% y en donde no se hizo raleo los que interceptan mayor cantidad de agua, la cual consecuentemente es evaporada y regresada a la atmosfera, lo cual tiene un efecto sobre el rendimiento del agua sobre todo estos ecosistemas semiáridos donde el agua es una de las limitantes principales.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Aboal, J. (1998). Los flujos netos hidrológicos y químicos asociados de un bosque de Laurisilva en Tenerife. Tesis de Doctorado, Departamento de Biología Vegetal, Universidad de la Laguna, 196 pp.
- Alanís, R. 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, Universidad Autónoma de Nuevo León. 66-67 pp.
- Aston, A. (1979). Rainfall interception by eight small trees. *Journal of Hydrology*, 42, 383-386.
- Belmonte, F., & Romero, A. (1999). Balance hídrico y distribución espacial de la translocación bajo cobertura de pino: Influencia de la dirección del viento y la pendiente de la ladera. *Revista Lurralde investigación y espacio*, 22, 339-350.
- Belmonte, F. (1997). Intercepción en bosque y matorral mediterráneo semiárido: Balance hídrico y distribución espacial de la lluvia neta. Tesis de Doctorado, Universidad de Murcia. 375 pp.
- Besteiro, S. I. (2012). Redistribución de la precipitación sobre plantaciones forestales en un predio del partido de La Plata, Bueno Aires. *Revista de la Facultad de Agronomía*, La Plata, 111 (2), 75-82.
- Calvo, D. A., & Gómez, R. M. (2002). Distribución espacial del ciclo del agua en suelos forestales con *Pinus radiata* de Galicia (No de España). Departamento de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Biología, *Revista Edafología*, 9 (1), 49-60.
- Campos, A. D. F. (1988). Procesos del ciclo hidrológico. (3a ed.). Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, S.L.P., México. 27 p.
- Cantú, S. I., & 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., & González, R. H. (2002). Propiedades hidrológicas del dosel de los bosques de Pino-encino en el Noreste de México. *Ciencia UANL*, 5 (1), 72-77.
- 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, 180-201.
- Crockford, R. & Richardson, D. (2000). Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrological Processes* 14: 2903-2920.
- Cotecoca-Sarh, (1973). *Coeficientes de Agostadero de la República Mexicana, Estado de Nuevo León. Secretaria de Agricultura y Ganadería, Comisión técnico consultiva para la determinación de coeficientes de Agostadero.* México.
- Germer, S., Elsenbeer, H. & Moraes, J. (2006). Throughfall and temporal trends of rainfall redistribution in an open tropical rainforest, south-western Amazonia Rondonia, Brasil. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10, 383–393.
- González, R. H., & Cantú, S.I. (2001). Adaptación a la sequía de plantas arbustivas de matorral espinoso tamaulipeco. *Ciencias UANL*, 4, 454-461.
- Guerra, F., Gómez, H., González, J. & Zambrano, Z. (2006). Uso actual de métodos y técnicas para el estudio de la precipitación incluyendo plataformas SIG. *Geoenseñanza* 11: 97-106.
- Guevara-Escobar, A., González-Sosa, E., Véliz-Chavez, C., Ventura-Ramos, E. & Ramos-Salinas, M. (2010). Rainfall interception and distribution patterns of gross precipitation around an isolated *Ficus benjamina* tree in an urban area. *Journal of Hydrology* 333: 532-541.
- Huber, A. (2003). Cambios en el balance hídrico provocado por la forestación con *Pinus radiata* D. Don en el secano interior del centro de Chile. *Gestión Ambiental*, 9 57-66.

- Huber, A., e Iroume, A. (2001). Variability of annual rainfall partitioning for different sites and forest covers in Chile. *Journal of Hydrology*, 248 (1-4), 78-92.
- INEGI, (2009). *Guía para la interpretación de cartografía uso del suelo y vegetación Escala 1:250000* (3a ed.). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- Jaramillo, R. A. (2003). La lluvia y el transporte de nutrientes dentro de ecosistemas de bosques y cafetales. *Cenicafé* 54(2), 134-144
- Jiménez, R. C., Calvo, A. J. C. & Arias, A. D. (2006). Lavado de nutrientes en plantaciones forestales de *Vochysia ferruginea* Mart. y *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm. Sarapiquí, Costa Rica. Kuru. *Revista Forestal* 3(8), 11.
- Landsberg, J. (1986). *Physiological Ecology of Forest Production*. London : Academic Press. 198.
- Leyton, L., Reynolds, E. & Thompson, F. (1967). Rainfall interception in forest and moorland. *In Int. Symp. on Forest Hydrology*. 163-178.
- Maderey, R. & Jimenez, R., (2005). Principios de Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico. Instituto de Geografía, UNAM. *Serie de Textos Universitarios*, 1, 15-42.
- Mastachi, L. C. A., González, S. E., Becerril P. R. & Braud, I. (2010). Pérdidas por intercepción en mezquite (*Prosopis laevigata*) y Huizache (*Acacia farnesiana*) de la región semiárida del centro de México. *Tecnología y Ciencia del Agua*. 1 (8), 60-90.
- Návar, C. J. J. & Bryan, R. B. (1994). Fitting the analytical model of rainfall interception of Gash to individual shrubs of semi-arid vegetation in northeastern México. *Agricultural and Forest Meteorology*, 68, 133-143.
- Návar, C. J. J., Carlyle-Moses, D. E. & Martínez, M. A. (1999). Interception loss from the Tamaulipan matorral thorn scrub of north-eastern Mexico: an application of the Gash analytical interception loss model. *Journal of Arid Environment*, 41, 1-10.

- Návar, C. J. J., Méndez, G. J. & González, R. H. (2008). Intercepción de la lluvia en especies de leguminosas del noreste de México. *Terra Latinoamericana*, 26, 61-68.
- Oyarzún, C. E., Huber, A. W. & Vásques, S. G. (1985). Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata* I. Redistribución de las precipitaciones. *Bosque*, 6, 3-14.
- Pizarro, R., Santibañez, F., Benítez, A., Jordán, C. & Farías, C. (2005). Influencia de las masas boscosas en el régimen hídrico de una cuenca sub húmeda, Chile. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16(2), 207-214.
- Prado, A., Hernández, L. & Ventura, E. (2007). Intercepción de lluvia por *Lysiloma microphylla* en el Municipio de Querétaro, Qro. Universidad Autónoma de Querétaro. 5 p.
- San-Juan, I. F. J. (2004). Evolución del manejo de dos plantaciones de *Pinus radiata* D. Don sobre el balance hídrico en la zona de secano interior de la VII Región. Valdivia. Tesis, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Chile 35p.
- Santiago, H. L., (2007). Medición y análisis de la intercepción de lluvia en un bosque de encino: Aplicación a la microcuenca La Barreta. Tesis de grado de maestría e Líneas terminal recursos hídricos y ambiental, Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, Santiago de Querétaro, Querétaro. 124 p.
- Shaw, E. M. (1996). *Hydrology in practice*. Chapman & Hall, London, 569 p. TIK TAK. A. 1994. "Soil water dynamics and long-term water balances of a Douglas fir in the Netherlands", *Journal of Hydrology*, 156 (1), 265-283.
- SPP-INEGI, (1986) *Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León*, Secretaría de Programación y Presupuesto. Instituto Nacional de Geografía estadística e informática. México, D. F
- Soto, P. (2011). "Modelamiento de la pérdida por intercepción de copas en dos tipos de bosques, Región de la Araucanía, Chile". Tesis, Facultad de Ingeniería, Universidad Austral de Chile, Chile. 94p.

- Valenzuela, C. P. A., (2003). Pérdidas de agua por intercepción en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en la zona del secano interior de la VII Región de Chile. Tesis de Ingeniero Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. 92pp.
- Ven, T. C., Maidment, R. D. & Mays, W. R., (1994). Hidrología aplicada. McGraw-Hill Interamericana, S.A., Colombia. 584 pp.
- Ward, R., Robinson, M. (1989). Principles of Hydrology (3a ed.), McGraw-Hill, London, 365 p.
- Xiao, Q., Mcpherson, E. G., Ustin, S. L., & Grismer, M. E. (2000). A new approach to modeling tree rainfall interception. *Journal of Geophysical Research*, 105, 29173 - 29188.
- Yáñez, M. I. (2011). Redistribución de la precipitación en tres especies nativas y una plantación de *Eucalyptus camaldulensis*, en Linares, Nuevo León, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L., Linares, N.L. 88 p.
- Yáñez, M. I. 2013. Propiedades hidrológicas de un fragmento de matorral espinoso tamaulipeco en el noreste de México. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L., Linares, N.L. 88 p.
- Yáñez, M.I., Cantú S., González H., y Uvalle 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* V (2), 71-84
- Zhan, W., Zhang, Z., Wu, J. & Xiao, J. (2007). Spatial variability of throughfall in a Chinese Pine (*Pinus tabulaeformis*) plantation in northern China. *Frontiers of Forestry in China*, 2(2), 169-173.

## 9. ANEXOS

### 9.1. Tabla de evento con 4 canaletas.

Raleo	ml lluvia	ml bote	total	mm total	pH	conductividad	Promedio
<b>Testigo</b>							
can 1	1020	82	1102	11.02	6.86	34.4	11.005
can 2	1040	98	1138	11.38	6.74	29.1	
can 3	1020	97	1117	11.17	6.68	42.1	
can 4	960	85	1045	10.45	6.76	33.8	
<b>R. 25%</b>							
can 9	1000	95	1095	10.95	6.7	50.3	9.9075
can 10	820	94	914	9.14	6.62	40.3	
can 11	840	82	922	9.22	6.78	51.6	
can 12	940	92	1032	10.32	6.82	54.9	
<b>R. 50%</b>							
can13	1200	91	1291	12.91	6.68	30.8	10.8825
can14	540	110	650	6.5	6.65	60.2	
can15	1040	102	1142	11.42	6.67	52.3	
can16	1180	90	1270	12.7	6.98	37	
<b>R. 75%</b>							
can 5	800	95	895	8.95	6.62	48.5	10.1275
can 6	680	84	764	7.64	6.6	68.1	
can 7	940	89	1029	10.29	6.78	49.5	
can 8	1260	103	1363	13.63	6.73	39.7	
<b>S.R.</b>							
can 17	640	95	735	7.35	6.9	71.9	8.535
can 18	700	103	803	8.03	6.85	65	
can 19	820	91	911	9.11	7.12	61.7	
can 20	880	85	965	9.65	7.08	49	

Pérdidas por intercepción de lluvia en el matorral espinoso tamaulipeco, bajo diferentes intensidades de raleo.

## 9.2. Tabla de eventos con 8 canaletas en los raleos.

Raleo	ml lluvia	ml bote	total	ml total	pH	con.	mm Prom.	Prom. pH	Prom. Con.
<b>Testigo</b>									
Can1	680	38	718	7.18	7.2	57.9	8.24	7.6025	61.825
Can 2	780	24	804	8.04	7.24	49.7			
Can 3	880	48	928	9.28	8.1	57.2			
Can 4	820	26	846	8.46	7.87	82.5			
<b>R.75%</b>									
Can 13	640	70	710	7.1	7.33	131.3	6.6587	7.6087	107.02
Can 14	580	69	649	6.49	7.59	65.2			
Can 15	620	88	708	7.08	7.46	60.3			
Can 16	720	102	822	8.22	7.61	129.1			
Can 17	600	40	640	6.4	7.66	170.1			
Can 18	160	36	196	1.96	7.73	80.5			
Can 19	640	40	680	6.8	7.69	92.7			
Can 20	880	42	922	9.22	7.8	127			
<b>R.50%</b>									
Can 21	390	40	430	4.3	7.58	183.1	6.8875	7.8137	139.63
Can 22	520	56	576	5.76	7.78	122.4			
Can 23	400	42	442	4.42	8.06	186.4			
Can 24	480	98	578	5.78	7.99	53.5			
Can 25	620	42	662	6.62	7.69	117.1			
Can 26	660	40	700	7	7.66	245			
Can 27	920	38	958	9.58	7.92	109.7			
Can 28	1120	44	1164	11.64	7.83	99.9			
<b>R.25%</b>									
Can 5	700	26	726	7.26	8.05	120.4	6.16	7.79	127.33
Can 6	400	20	420	4.2	8.06	142.3			
Can 7	520	18	538	5.38	8.11	168.4			
Can 8	460	76	536	5.36	7.52	123.6			
Can 9	500	32	532	5.32	7.79	93.3			
Can 10	560	40	600	6	7.99	136.7			
Can 11	800	40	840	8.4	7.61	97.5			
Can 12	700	36	736	7.36	7.19	136.5			

Pérdidas por intercepción de lluvia en el matorral espinoso tamaulipeco, bajo diferentes intensidades de raleo.

**S.R.**

Can 29	680	79	759	7.59	7.74	95.4	6.0725	7.8225	158.13
Can 30	600	42	642	6.42	8.12	207			
Can 31	630	48	678	6.78	8.1	164.9			
Can 32	580	38	618	6.18	8.02	138.1			
Can 33	600	28	628	6.28	7.85	269			
Can 34	200	32	232	2.32	7.95	110.1			
Can 35	620	39	659	6.59	7.14	121.6			
Can 36	600	42	642	6.42	7.66	159			

---

Pérdidas por intercepción de lluvia en el matorral espinoso tamaulipeco, bajo diferentes intensidades de raleo.

## 10. ANEXO FOTOGRÁFICO

### 10.1. Toma de datos de pH y conductividad eléctrica en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Forestales.



Pérdidas por intercepción de lluvia en el matorral espinoso tamaulipeco, bajo diferentes intensidades de raleo.

**10.2. Toma de datos en campo de la Facultad de Ciencias Forestales.**



**10.3. Toma de datos en una de las parcelas de la Facultad de Ciencias Forestales**

