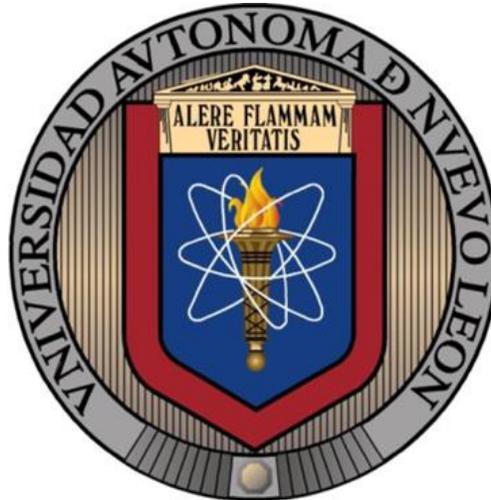


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**PÉRDIDAS POR INTERCEPCIÓN EN UN BOSQUE DE *Pinus cooperii*
C.E. BLANCO EN LA REGIÓN DE “EL SALTO” DURANGO**

PRESENTA

ING. MARCO ANTONIO NAVA MORENO

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

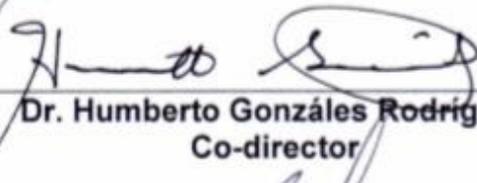
JULIO, 2018

PÉRDIDAS POR INTERCEPCIÓN EN UN BOSQUE DE *Pinus cooperii* C.E. BLANCO EN LA REGIÓN DE “EL SALTO” DURANGO

Aprobación de tesis



Dr. Israel Cantú Silva
Director



Dr. Humberto Gonzáles Rodríguez
Co-director



Dr. Mauricio Cotería Correa
Asesor



Dr. Tilo Gustavo Domínguez Gómez
Asesor Externo

Julio de 2018.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a **Dios** y a la **Virgen de Guadalupe** por permitirme lograr este gran sueño de terminar la Maestría en Ciencias Forestales, gracias por concederme esta gran etapa llena de bendiciones. Por regalarme tu sabiduría por medio de todos y cada uno de los catedráticos que formaron parte de esta gran etapa.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)** por el apoyo Económico para realizar mis estudios como Maestro en Ciencias Forestales.

Al proyecto “Ciclos Biogeoquímicos en Bosques de la Sierra Madre Occidental, de la Región del Salto, Durango, México”. Clave: TECNM 5746.16-P. por el financiamiento de esta investigación.

A la **Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León** por permitirme realizar y concluir mis estudios, gracias por las muestras de apoyo durante la formación profesional.

Por todo su apoyo incondicional, por su tiempo y sus muestras de amistad. Por sus aportaciones, sugerencias y recomendaciones que enriquecieron este trabajo. Por su excelente orientación y dirección durante la realización de este trabajo de investigación. Agradezco con mucho respeto al **Dr. Israel Cantú Silva**.

Por sus valiosas aportaciones, por sus atenciones y conocimientos, agradezco al **Dr. Humberto Gonzales Rodríguez**.

Por brindarme su amistad y mostrar compromiso para el desarrollo y culminación de este trabajo agradezco al **Dr. Mauricio Coteria Correa**.

Por la información proporcionada y sus acertadas sugerencias para que se llevara a cabo este trabajo., por eso y bastantes motivos más agradezco al **Dr. Tilo G. Domínguez Gómez**.

No cabria en todo el documento el demostrar mi admiración, respeto y agradecimiento para todos y cada uno de **los catedráticos y personal administrativo** de La Facultad de ciencias Forestales de La universidad Autónoma de Nuevo León, por todo el apoyo brindado en mi formación profesional.

Para mis **compañeros y amigos** que compartieron experiencias inigualables e inolvidables tanto dentro y fuera de las aulas, por brindarme el apoyo en las buenas y en las malas muchas gracias.

Marco Antonio Nava Moreno

DEDICATORIA

Con gran alegría dedico el presente trabajo a mi madre la **Sra. María Elena Moreno Hernández (+)** como una pequeña muestra de mi profundo amor, admiración y respeto. Por todos tus sabios consejos que jamás olvidare, por sacrificar tu vida a cambio de la mía. Porque aun a pesar de tu partida te encuentras tan presente a cada momento y en todo lugar. Gracias mama, te amo, que mi padre dios cuide y bendiga tus pasos donde quiera que te encuentres.

Con respeto y admiración para mi padre el **Sr. Hipólito Nava Valles**. Por sacrificar su salud a cambio de la mía, por estar siempre presente en mi vida por medio de sus palabras y sus consejos llenos de sabiduría. Por darme las armas para salir adelante en la vida en base a garra, empeño y sobre todo mucho esfuerzo. Y que como tú lo dices siempre: no importa las veces que caigas, si no las veces que te levantes con la frente en alto. Gracias papa.

Para mi hijo **Anthony** porque eres y serás lo más hermoso y valioso que tengo en la vida.

Con mucho amor para mi esposa **Joanna Edith Arroyo Patiño** por darme una bonita familia, por cumplir tus sueños y anhelos a mi lado y no poner barreras entre nosotros, por aceptarme con todos mis defectos y pocas virtudes. Por ser tan maravillosa y comprensiva. Gracias por dejarme ser quien cuide tus pasos, Te amo mi niña.

Para mi hermano **Iván** por ser mi amigo incondicional, mi consejero, por hacerme ver las cosas como debe de ser, por estar siempre presente con tus palabras, y tus regaños. A mí cuñada **Rosa** y sus adorables hijos **Iván, Dulce, y Angelito** por soportarnos. Gracias.

Para mi hermano mayor **Juan José** porque aun batallando siempre te muestras al pie del cañón listo para enfrentar lo que venga. Gracias por ser la parte más sensible de la familia.

Para mis queridos hermanos “**El Chato y El Juanjo**” porque entre nosotros nunca van a existir barreras, límites, ni grados, gracias por su apoyo incondicional.

En especial para el selecto grupo que con su lealtad, respeto, comprensión, admiración, confianza y gran amistad, me brindaron siempre se apoyó incondicional y me demostraron que no existen ni existirán barreras entre nosotros, gracias **Amigos**.

Marco Antonio Nava Moreno

CONTENIDO

| | |
|---|-----|
| AGRADECIMIENTOS | |
| DEDICATORIA | |
| CONTENIDO | I |
| ÍNDICE DE CUADROS | III |
| ÍNDICE DE FIGURAS | III |
| LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS | IV |
| RESUMEN | V |
| ABSTRACT | VI |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. ANTECEDENTES | 6 |
| 2.1. Ciclo Hidrológico. | 6 |
| 2.2. Redistribución de la precipitación. | 8 |
| 2.3. Perdidas por intercepción. | 10 |
| 2.4. Factores que influyen en la intercepción de la precipitación. | 11 |
| 2.5. Variantes espaciales en la precipitación. | 13 |
| 2.6. Características principales de la vegetación. | 14 |
| 3. JUSTIFICACIÓN | 15 |
| 4. HIPÓTESIS | 16 |
| 5. OBJETIVOS | 16 |
| 5.1. Objetivo General. | 16 |
| 5.2. Objetivos específicos. | 16 |
| 6. MATERIALES Y MÉTODOS | 17 |
| 6.1. Área de estudio. | 17 |
| 6.2. Características Físicas y Biológicas | 18 |
| 6.2.1. Geología | 18 |
| 6.2.2. Clima | 18 |
| 6.2.3. Vientos | 19 |
| 6.2.4. Edafología | 19 |
| 6.2.5. Precipitación | 20 |
| 6.2.6. Temperatura | 20 |

| | |
|--|----|
| 6.2.7. Fisiografía..... | 20 |
| 6.2.8. Hidrografía..... | 21 |
| 6.3. BIOLÓGICAS..... | 21 |
| 6.3.1. Vegetación..... | 21 |
| 6.3.2. Descripción de la especie..... | 22 |
| 6.4. METODOLOGÍA..... | 23 |
| 6.4.1. Medición de los componentes de las precipitaciones..... | 23 |
| 6.4.2. Precipitación incidente..... | 24 |
| 6.4.3. Precipitación directa..... | 25 |
| 6.4.4. Escurrimiento fustal..... | 26 |
| 6.4.5. Pérdidas por intercepción..... | 27 |
| 6.4.6. Capacidad de almacenaje del dosel..... | 28 |
| 6.4.7. Análisis estadístico..... | 29 |
| 7. RESULTADOS..... | 30 |
| 7.1. Precipitación Incidente..... | 30 |
| 7.2. Precipitación directa..... | 32 |
| 7.3. Escurrimiento Fustal..... | 33 |
| 7.4. Precipitación Neta..... | 34 |
| 7.5. Capacidad de almacenamiento del dosel..... | 35 |
| 7.6. Pérdidas por Intercepción..... | 36 |
| 8. DISCUSIÓN..... | 38 |
| 9. CONCLUSIONES..... | 42 |
| 10. BIBLIOGRAFÍA..... | 44 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Factores que influyen en la intercepción de precipitación. | 12 |
| Cuadro 2. Tipo de rocas presentes en área de estudio. | 18 |
| Cuadro 3. Climas presentes en el área de estudio. | 18 |
| Cuadro 4. Tipo de suelos presentes en el área de estudio. | 19 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación del área de estudio. | 17 |
| Figura 2. Descripción de la especie de interés., A) Árbol, B) Ramas, C) Corteza, D) Acículas y E) Cono. | 23 |
| Figura 3. Esquema de recolección de datos tomado de Cantú y Okumura, 1996. | 24 |
| Figura 4. Canaleta colectora de precipitación incidente. | 25 |
| Figura 5. Canaleta colectora de precipitación directa. | 26 |
| Figura 6. Manguera en espiral colectora de escurrimiento fustal. | 27 |
| Figura 7. Comportamiento por mes de la precipitación incidente durante el periodo de estudio. | 31 |
| Figura 8. Rangos de porcentajes de precipitación registrada durante periodo de estudio. | 32 |
| Figura 9. Relación entre precipitación directa (mm) y precipitación incidente (mm) para la cobertura de <i>Pinus cooperii</i> | 32 |
| Figura 10. Relación entre el escurrimiento fustal (mm) y la precipitación incidente (mm) para <i>Pinus cooperii</i> | 33 |
| Figura 11. Relación entre precipitación incidente y precipitación neta para el dosel de <i>Pinus cooperii</i> | 34 |
| Figura 12. Capacidad de almacenaje para <i>Pinus cooperii</i> con base en 7 eventos de lluvia individuales de hasta 2.5 mm. | 35 |
| Figura 13. Relación entre precipitación incidente e intercepción para <i>Pinus Cooperii</i> | 36 |
| Figura 14. Análisis individual de las pérdidas por intercepción con base en 59 eventos de lluvia para la especie de <i>Pinus cooperii</i> en la región de El Salto. | 37 |

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

CAD: Capacidad de Almacenaje del Dosel.

DAP. Diámetro a la Altura del Pecho.

EF: Ecurrimiento Fustal.

I: Pérdidas por Intercepción.

PD: Precipitación Directa.

PN. Precipitación Neta.

PI: Precipitación Incidente.

RESUMEN

El propósito del presente trabajo fue conocer la redistribución de la precipitación y el porcentaje de sus componentes en los bosques de pino de la región de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango, se estableció una parcela permanente de muestreo, para la especie de *Pinus cooperii*, ya que es una especie considerada de alto valor económica en dicha región. La presente investigación permitirá ampliar el conocimiento en el campo de la hidrología forestal, determinar la influencia y relación de los factores bióticos y abióticos presentes en el ecosistema de interés, además de aportar elementos que ayuden a la toma de decisiones que favorezcan el manejo sustentable de los recursos naturales. Las pérdidas de lluvia por intercepción son medidas a través de distintos componentes de precipitación, tales como: precipitación incidente, precipitación neta (precipitación directa más escurrimiento fustal) y la capacidad de almacenamiento del dosel.

Se desarrolló un experimento para evaluar las propiedades hidrológicas del ecosistema durante el periodo del 27/02/16 al 04/12/16, obteniendo un total de 59 eventos y registrando una suma total de 1,130.3 mm de precipitación incidente, relacionado en un 80% con 811.3 mm de precipitación directa. El análisis detallado mostró un escurrimiento fustal de 6.38 mm y una intercepción total en la parcela de 312.6 mm durante el periodo de muestreo. El análisis de regresión lineal desarrollado entre la precipitación incidente e intercepción en la parcela estudiada arrojó un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.510$, mostrando un 18% de pérdidas por intercepción para este tipo de cobertura.

Palabras clave: *Pinus cooperii*, hidrología forestal, precipitación directa, escurrimiento fustal, precipitación incidente e intercepción.

ABSTRACT

With the purpose of knowing the redistribution of precipitation and the percentage of its components in the pine forests of the El Salto region, Pueblo Nuevo, Durango. A permanent sampling plot was established for the species of *Pinus cooperii*, since it is a species considered of high economic value in that region. This research will allow to expand the knowledge in the field of the forestry hydrology, to determine the influence and relation of the biotic and abiotic factors present in the ecosystem of interest, besides to provide elements that help to the making of decisions that favor the sustainable management of natural resources. The losses of rain by intercept are measured through different components of precipitation, such as: incident precipitation, net precipitation (direct precipitation plus stemflow) and the storage capacity of the canopy

An experiment was developed to measure the hydrological properties of the ecosystem during the period that consisted from 27/02/16 to 04/12/16 obtaining a total of 59 events recording a total sum of 1130.31 mm of incident precipitation, related 80% with 811.3 mm of direct precipitation. The detailed analysis of 59 events showed a stemflow of 6.38 mm and a total interception loss of 312.61 mm during the sampling period. The linear regression analysis developed between the incident precipitation and interception loss showed a coefficient of determination of $R^2 = 0.5103$ showing 18% of interception loss for this canopy cover.

Key words: *Pinus cooperii*, plot, forestry hydrology, direct precipitation, stemflow, incident precipitation and intercept.

1. INTRODUCCIÓN

Con el propósito de manejar los bosques para la obtención de bienes y servicios, es necesario conocer el ciclo hidrológico al que están expuestos, implementando técnicas adecuadas de manejo y mejoramiento, que permitan el desarrollo de las masas forestales de estos ecosistemas. Un efecto importante de la vegetación en bosques de pino, que es poco conocida es la intercepción del agua que cae en forma de lluvia, rocío, granizo, etc., dichas formas quedan parcialmente retenidas por las hojas, ramas o tronco de la cubierta vegetal y de ahí se evaporan nuevamente a la atmósfera (Hernández, 2017).

La hidrología en ecosistemas forestales está conformada por complejos procesos en los que interactúan factores bióticos y abióticos. Aun cuando la intercepción de la lluvia por la vegetación no es el principal factor en las estimaciones hidrológicas, sí permite identificar que las modificaciones en la cobertura arbórea afectan el balance hidrológico de un área arbolada, ya que altera el contenido de humedad del suelo y la escorrentía superficial del terreno (Sadeghi, 2015).

La intención de centrar la atención en dicho ecosistema, se fundamenta en observar las diferencias y semejanzas que presentan estos al permitirles desarrollarse de forma natural, además de que habrá de identificar los factores de apoyo y limitantes para la precipitación y la pérdida por intercepción, de esta forma, identificar dichos aspectos, permitirá definir estrategias adecuadas para el manejo silvícola de diversos ecosistemas de acuerdo a sus características.

Es muy importante, tomar en cuenta que: la presencia de bosques en una cuenca hidrográfica, no significa el aumento de los escurrimientos en el caudal, sino, en muchos casos (en función al tipo de bosque, su estado y el clima), su posible disminución como consecuencia de las demandas de agua por las plantas y su intercepción de la lluvia (evapotranspiración) (Llerena, 2003; citado por Cantú y Rodríguez, 2005).

Por lo general, se piensa que el simple hecho de que una área cuente con una densa población arbórea, debe favorecer directamente el enriquecimiento de los caudales provocados por los escurrimientos originados por un evento de lluvia, sin embargo, la población vegetal (incluyendo árboles y plantas de todo tipo) suelen interceptar cantidades importantes de agua en su dosel, ramas, hojas y raíces, lo cual disminuye la cantidad de agua que se filtra al suelo y que a la vez alimenta dichos caudales.

El ciclo hidrológico comprende una serie de procesos en constante movimiento y transferencia de agua entre el suelo y la atmósfera, ascendente por evaporación y descendente por precipitación y escurrimiento. El ciclo hidrológico puede tratarse como un sistema cuyos componentes son precipitación, evaporación, escorrentía y otras fases, y agruparse en subsistemas que pueden ser estudiados individualmente (Ven, 1994).

El balance hídrico es un equilibrio de las entradas y salidas de agua de un ecosistema, donde el principal efecto de las cubiertas vegetales es la cantidad de precipitación que es retenida por el dosel, la cual es colectada, almacenada y subsecuentemente evaporada, la medición y predicción de las pérdidas por intercepción de lluvia es un requerimiento esencial en el pronóstico de los efectos de la cubierta vegetal sobre el aprovechamiento del agua en el suelo (Aston, 1979, Cantú, 2002).

La importancia del manejo forestal, en este caso, radica en la identificación de las características generales del sitio para a partir de ellas, definir las acciones adecuadas que favorezcan entre otras cosas el mantenimiento del balance hídrico del sitio y equilibrio del ecosistema, de forma que, a través de estas acciones, puedan definirse y decidirse, entre otras cosas los procesos de aprovechamiento, extracción y sustentabilidad de la región.

Durante un fenómeno pluvial, el agua de lluvia se distribuye de forma indistinta por los tres estratos superiores (arbóreo, arbustivo y herbáceo) originando así el fenómeno denominado pluviolavado, mediante el cual enriquece los caudales

(mantos acuíferos) y la superficie del suelo, que se ve enriquecida con nutrientes, sales y minerales que el agua hace descender de plantas y árboles durante la precipitación mediante la escorrentía.

Del total de precipitación que llega al dosel de los árboles, su redistribución queda dividida en tres fracciones: intercepción, escurrimiento cortical y precipitación directa. La precipitación retenida por la vegetación se denomina precipitación incidente; por lo común, la intercepción de lluvia se estima de forma indirecta como la diferencia entre la precipitación incidente (arriba del dosel) y la precipitación directa (debajo del dosel), (Huber, 1985, citado por Belmonte, 1999). De tal manera que se representa con la expresión:

$$I=PI-(PD+SF)$$

Dónde: **I** representa las pérdidas por intercepción, **PI** es la precipitación incidente, **PD** es la precipitación directa y **SF** es el escurrimiento cortical (Yáñez *et al.*, 2014). Por lo cual, conocer la intercepción de un bosque, es muy útil en operaciones forestales, como el rociado aéreo de pesticidas y la aplicación de retardantes de incendios, las cuales son más efectivas mientras sean mejor interceptados y almacenados por el dosel de la vegetación (Cantú, 2002).

La precipitación que llega al suelo depende en gran medida del tipo de la densidad y cobertura de vegetación que se encuentre presente en el ecosistema; la intercepción que estas variantes tienen, son de gran importancia para el desarrollo del ecosistema. “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).

Es muy importante la diferenciación entre ambos fenómenos de captación hidrológica, pues la “intercepción”, se puede considerar como una retención temporal del agua, que no sufre procesos químicos al interior del árbol o planta, es decir, se puede considerar como una retención exterior, mientras que la

“perdida por intercepción”, se considera un proceso de mayor complejidad, en el que el agua es capaz de afectar (positiva o negativamente) el desarrollo de la planta al participar en algunos procesos internos de la misma.

Del total del agua de lluvia, un porcentaje se pierde antes de llegar al suelo, permaneciendo tanto al exterior como al interior de la población vegetal presente en el sitio, mientras que la gran mayoría de esta agua cae a la superficie y se redistribuye, de esta manera, de las proporciones que llegan al suelo pueden escurrir superficialmente o infiltrarse en éste, determinando la cantidad de agua disponible para la cubierta vegetal o la que se integra al agua subterránea (Oyarzún, 1985).

La intercepción se encuentra dentro del subsistema de agua atmosférica junto a la precipitación, evaporación, y transpiración, pero además, afecta a otras fases del ciclo, como la infiltración, la escorrentía y la evaporación del suelo (Belmonte, 1999). Además, de ser parte fundamental en el proceso de desarrollo o de la ausencia de este de todas las especies nativas de dicho ecosistema.

La intercepción y la cubierta vegetal se encuentran relacionados, cuanto más densa sea está cubierta vegetal, mayor volumen de lluvia será interceptado y el escurrimiento será menor (Prado, 2007). De forma que mantienen una correlación y una codependencia directa, pues así como la cubierta vegetal permite una mayor intercepción que cuando hay ausencia o escasez de ésta, también la presencia de precipitación y la intercepción de la misma, beneficia el desarrollo de las especies del sitio.

La intercepción de lluvia y su posterior evaporación afecta al rendimiento hídrico de las cuencas hidrográficas, su estudio es complejo y puede ser muy variable. A gran escala, los factores climáticos, como la velocidad y la exposición del viento, la intensidad de la lluvia, y la incidencia de niebla determinan la pérdida de interceptación. A escala reducida, un control importante de la pérdida de interceptación es la densidad y composición de la vegetación que definen la

capacidad de la copa para almacenar, temporalmente, el agua. Otros factores también participan como la exposición de la copa, la rugosidad del dosel y la forma en que penetra el agua de lluvia en este (Siegert, 2014).

La capacidad de almacenamiento de agua por el dosel, está definida mediante un coeficiente que expresa la cantidad de agua que se requiere para humedecer todo el dosel antes de que el agua empiece a escurrir a la superficie del suelo (Jaramillo, 2003). Por este y otros aspectos, las especies existentes en el sitio son definitivas en los resultados del cálculo de la pérdida por intercepción y la captación de agua de lluvia para la recarga, flujo y mantenimiento de los mantos acuíferos que permitan el desarrollo hidrológico potencial del sitio.

En un ecosistema forestal, el ciclo hidrológico tiene relación con la producción y transporte de un flujo de agua permanente, que sea capaz de abastecer los requerimientos hídricos de los diversos organismos y así permitir, el funcionamiento del ecosistema en su totalidad (Bonan, 2002).

2. ANTECEDENTES

Los bosques de pino o bosques de coníferas ocupan actualmente el 16% del territorio mexicano (323,300 km²). Las altitudes más comunes de estos ecosistemas fluctúan entre 2,000 a los 3,400 msnm (CONABIO, 2018). Dicho ecosistema proporciona la principal fuente de empleo en la región de El Salto, en el estado de Durango, pues los habitantes lo utilizan de diversas formas tales como: la extracción de madera para construcción y producción de muebles, carbón, extracción de agua de los mantos acuíferos, extracción de plantas medicinales, prácticas de ecoturismo, entre otras.

Analizar y tener en cuenta las condiciones hidrológicas y los agentes que pueden influir en la captación hídrica de los ecosistemas a estudiar, además de tener en claro los conceptos arriba mencionados, darán el soporte sobre el cual se habrá de partir para investigar las propiedades hidrológicas de bosques de pino en la región de El Salto, Durango, realizando mediciones de la precipitación incidente, escurrimiento fustal y precipitación directa, para estimar las pérdidas por intercepción.

El contexto en que se ha proyectado el presente trabajo de investigación se ubica dentro de la Sierra Madre Occidental, con una altura que varía entre 2,481 y 2,553 msnm (AFAE, 2007). Con una precipitación media anual, que oscila entre 800 y 1200 mm anuales.

2.1. Ciclo Hidrológico.

Como parte fundamental de la vida en nuestro planeta, el agua forma parte de la gran mayoría de procesos de desarrollo y permanencia de todas las especies que lo habitan. El desarrollo forestal, no se encuentra exento de dicha condición, por ello, es necesario considerar las características de este y su estrecha relación con el manejo silvícola.

El ciclo hidrológico comprende una serie de procesos continuos de movimiento y transferencia de agua en la tierra, océanos, cuerpos de agua y en la propia atmósfera. Para explicar el ciclo hidrológico, se puede comenzar por la evaporación que se produce en el océano, en lagos, embalses, cuerpos de agua, y por la evapotranspiración de las plantas, la cual, es la combinación del agua que se pierde por evaporación en el suelo y transpiración en el material vegetal (Santiago, 2007). El estudio de las precipitaciones es básico dentro de cualquier estudio hidrológico regional, para cuantificar los recursos hídricos, puesto que constituyen la principal (en general la única) entrada de agua a una cuenca (Návar, 2008).

El ciclo hidrológico es el movimiento general del agua, ascendente por evaporación y descendente, primero por las precipitaciones y después en forma de escurrimiento superficial y subterráneo. El balance hídrico es un equilibrio de las entradas y salidas de agua de un ecosistema. El principal efecto que tienen las plantaciones forestales sobre éstas es la cantidad de precipitación que es retenida por el dosel, la cual es colectada, almacenada y subsecuentemente evaporada. La medición y predicción de las pérdidas por intercepción de lluvia es un requerimiento esencial en el pronóstico de los efectos de la cubierta vegetal sobre el aprovechamiento del agua en el suelo (Aston, 1979; Cantú y González, 2002).

La parte aérea de la vegetación tiene la capacidad y/o propiedad de actuar como barrera capaz de interceptar las precipitaciones, influyendo en su efecto y en su área de cobertura (Mateos, 1998). Una parte de la precipitación total en un ecosistema, es retenida por la parte superior o área de copa y por sus troncos o fustes de los árboles (intercepción del dosel) y es reintegrada a la atmósfera mediante la evaporación (Giraldo, 2004). El agua retenida por la parte aérea de la planta, está influenciada por la variabilidad de la vegetación, forma e inserción de las hojas, la duración de las lluvias (cantidad de lluvia, pérdida por evaporación de las hojas) y en menor proporción, por la turbulencia atmosférica (Klaassen *et al.*, 1996).

El agua en forma de vapor, pasa a la atmósfera y, en este ascenso, pierde calor y se produce el proceso de condensación alrededor de núcleos de condensación (los cuales pueden ser partículas de polvo que flotan en el aire), creando pequeñas gotas de agua. Estas gotas, crean nubes, y en su circulación se van uniendo entre ellas, creando gotas más grandes las cuales, por su peso, se precipitan finalmente en forma de lluvia (nieve o granizo) (Santiago, 2007).

2.2. Redistribución de la precipitación.

El proceso de redistribución de las precipitaciones depende de la interrelación entre una serie de factores, al producirse una precipitación sobre un ecosistema, una parte de ésta es interceptada en el dosel, esta agua capturada se distribuye a través de las ramas o por goteo hacia el suelo llamándole precipitación directa, puede también escurrir por los troncos siendo así un escurrimiento fustal. Comúnmente, la interceptación de lluvia se estima indirectamente como la diferencia entre la precipitación incidente (arriba del dosel) y la precipitación directa (debajo del dosel) (Belmonte, 1999). El cálculo de la interceptación de lluvia, nos permite identificar el comportamiento del ecosistema y analizar si hay un balance hidrológico, o si en su caso es necesario aplicar algunas estrategias de manejo que favorezcan la calidad del sitio.

La condensación como parte del ciclo hidrológico, es el proceso mediante el cual, el agua evaporada de la superficie terrestre, se concentra en la atmósfera formando nubes, en las que el agua sufre un cambio de estado de gaseoso a líquido o en ocasiones a sólido, para luego caer en forma de lluvia, granizo o nieve. Después de condensarse, al sufrir un cambio de temperatura, el agua está a punto de iniciar la siguiente fase del ciclo llamada precipitación.

Como parte imprescindible del ciclo del agua, la precipitación pareciera ser solamente una fase más, sin embargo, la importancia de esta y de la cantidad e

intensidad en que se da, permite el desempeño de funciones básicas de los seres vivos (plantas y animales) de la superficie terrestre, influyendo de forma decisiva en los ecosistemas y los factores importantes en el funcionamiento de los mismos, tales como el clima, tipo de vegetación, de fauna y hasta en la composición de los sustratos del suelo.

La siguiente fase del ciclo hidrológico, es conocida como precipitación, al respecto algunos investigadores, se han dado a la tarea de definirla claramente en relación con el desarrollo de los ecosistemas como "la principal vía de ingreso de agua en los ecosistemas terrestres (Escobar y Maass, 2008). La precipitación es la caída de agua de las nubes, en estado líquido o sólido (Ayllón, 1996).

Una vez dada la precipitación, 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. La vegetación presente en el ecosistema, originan una variación importante entre el agua que cae de la nube y el agua total que llega de forma directa al suelo, lo cual influye en el balance hidrológico del sitio. La composición química de la precipitación varía al pasar por la cubierta vegetal, como resultado de la absorción, lixiviación, intensidad y volumen de la misma, así como la concentración de diversas sustancias encontradas en el dosel (Béjar, 2018).

En la redistribución de la precipitación, existen diversos factores dasométricos como cobertura, densidad, altura y diámetro de copa, y factores ambientales como por ejemplo temperatura, velocidad del viento, humedad, entre otras, que en conjunto pueden determinar la entrada, flujo y salida de agua del ecosistema. De la cantidad total de precipitaciones incidentes que ingresa al ecosistema, una cantidad es retenida por las copas de los árboles que se conoce como intercepción y una parte de ella se reintegra a la atmósfera por evaporación, llamado esto pérdida por intercepción (Cantú y González, 2002).

Los efectos que el agua logra causar dependen de distintos factores como el clima, tipo de vegetación, densidad de la misma entre otros, además de influir en otros elementos que forman parte también del ecosistema como la humedad y el enriquecimiento del flujo de las cuencas y depósitos subterráneos a través de la filtración, tal como lo señala Echeverría (2007): Las precipitaciones que alcanzan el suelo y penetran en él, modifican la reserva del agua edáfica, se utiliza en la evapotranspiración o la recarga de los estratos inferiores del suelo (Echeverría *et al.*, 2007). Tobón (1999) definió precipitación neta como la suma de la proporción de la precipitación que fluye a través del dosel e ingresa a la superficie del suelo y el flujo o escurrimiento del agua a través de las ramas y el tronco de los árboles, la cual, alcanza finalmente la superficie del suelo.

En algunas ocasiones, se minimizan aspectos importantes que tienen lugar durante la precipitación y después de ella en un sitio forestal, un ejemplo de ello, lo mencionan algunos investigadores al asegurar que: “El escurrimiento fustal generalmente es considerado de poca importancia debido a la baja cantidad de precipitación involucrada, sin embargo, su valor relativo contribuye al autoabastecimiento de agua a la base del árbol, concentrando el agua hacia el suelo alrededor del tronco (Oyarzún *et al.*, 1985; Cantú y González, 2002; Huber, 2003; Yáñez, 2014).

2.3. Pérdidas por intercepción.

Las pérdidas por intercepción, se refiere a la cantidad de agua que durante una precipitación, no llega al suelo, sino que es “interceptada” por la vegetación existente en el ecosistema y regresa a la atmósfera por medio de evaporación. La intercepción es objeto de estudio, no sólo en la hidrología, sino también en las diversas disciplinas en las que interviene; forma parte del ciclo hidrológico dentro del subsistema de agua atmosférica, junto a la precipitación, evaporación y transpiración, pero afecta otros componentes del ciclo hidrológico, como la infiltración, escurrimiento y evaporación del suelo, entre otras fases (Belmonte y Romero, 1999).

Es muy importante tomar en cuenta que cada ecosistema es completamente distinto a otro, aun y cuando compartan algunas características, por ello, se debe analizar las circunstancias totales del sitio para definir correctamente los porcentajes de pérdida por intercepción. Huber, describe lo anterior: La lluvia interceptada está influenciada principalmente por las características de la precipitación, características de la vegetación y las condiciones meteorológicas existentes en el momento de las lluvias” (Huber, 2004).

Es transcendental mencionar, que la intercepción, no es un fenómeno aislado del balance del ecosistema, ni tiene una importancia menor, sino que es un fenómeno relevante, debido a que favorece otros procesos fundamentales en el desarrollo de la población arbórea de un sitio, pues ayuda al flujo y transporte de nutrientes, tanto para el mismo árbol como del árbol al suelo a través del escurrimiento.

Del total de la precipitación que llegan al suelo del bosque (precipitación neta), una fracción lo hace pasando el dosel o por goteo desde las hojas (precipitación directa). La parte restante utiliza como senda de fluidos el fuste de los árboles, para alcanzar la superficie del suelo (escurrimiento fustal). Su valor relativo, con respecto a la cantidad total de precipitaciones no es relevante, pero puede ser importante desde un punto de vista forestal, porque llega a la base de los troncos, donde se concentra la mayor cantidad de raíces de los árboles (Huber y Trecaman, 2000, citado por Pizarro *et al.*, 2001).

2.4. Factores que influyen en la intercepción de la precipitación.

Tal como lo mencionan Cantú y González (2005), “la medición y predicción de las pérdidas por intercepción de lluvia por el bosque es un requerimiento esencial en el pronóstico de los efectos de la cubierta vegetal sobre el rendimiento de agua de una cuenca. Esto es atribuible principalmente a la importancia de tomar en cuenta la cantidad de agua que la población forestal es capaz de redistribuir y de interceptar, lo cual influye directamente en la cantidad

de agua que terminará por escurrir a las cuencas, además, de los nutrientes que el pluviolavado será capaz de llevar del árbol al suelo.

Los principales factores que influyen en la cantidad de agua interceptada son las características de las precipitaciones (tipo, duración, cantidad, intensidad y frecuencia; Crockford y Richardson, 2000), las características de la vegetación (densidad, cobertura de copas, estructura del dosel, ángulo de inserción de las ramas al fuste, características de los troncos y la cantidad de líquenes y musgos adheridos a ellos) y las condiciones meteorológicas existentes en el momento de las lluvias (Oyarzun *et al.*, 1985; Crockford y Richardson, 2000; Steinbuck, 2002).

Becerra *et al.* (2009) y Hernández (2017), mencionan en sus investigaciones que existen diversos factores que intervienen en la interceptación de precipitación en el ecosistema forestal como se muestra a continuación en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Factores que influyen en la interceptación de precipitación.

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

Adaptado de Becerra *et al.* (2009)

2.5. Variantes espaciales en la precipitación.

Muchos autores coinciden en que el principal efecto que tienen las plantaciones forestales sobre el balance hídrico, es la cantidad de precipitación que es retenida por el dosel (pérdidas de agua por intercepción) y que, por tanto, se reduce su participación en la economía hídrica de estos ecosistemas (Feller, 1981; Calder, 1998; Huber y Trecaman, 2000; Putuhena y Cordery, 2000).

Visto de esta manera, puede considerarse que las plantaciones forestales afectan significativamente la obtención de agua por parte del suelo, sin embargo, se debe considerar que un factor determinante para atraer las lluvias es precisamente la existencia de árboles en un sitio.

El agua que escurre por el fuste y ramas de los árboles, realiza varias acciones en ellos, desde un lavado simple, al escurrir arrastra los sedimentos semimuecos que se encuentran en la corteza, hasta la lixiviación que consiste en la disolución de estos en el agua que los arrastra. De este modo, el lavado y la lixiviación de los nutrientes minerales desde las copas pueden intensificar el ciclo biogeoquímico, en la medida que el agua de lluvia que llega al suelo bajo el dosel arbóreo contenga nutrientes en las formas prontamente asimilables, siendo rápidamente absorbidos por las raíces. (Andrade *et al.*, 1995).

Se puede considerar de esta manera que la precipitación juega un papel fundamental en el proceso de adquisición de nutrientes del suelo y por tanto, en el desarrollo y enriquecimiento de la superficie, proporcionando a su paso los nutrimentos esenciales a los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo que se desarrollan dentro del ecosistema forestal. Béjar (2018) menciona que en los ecosistemas forestales, los nutrientes que llegan al suelo por medio del escurrimiento fustal, son de suma importancia, en ésta circula una menor cantidad de agua, pero representan mayores aportes de nutrientes.

2.6. Características principales de la vegetación.

La vegetación tiene una función decisiva en la generación, protección y conservación del suelo, permitiendo la fijación del suelo, el descenso de la evaporación de la superficie, el aumento del contenido de materia orgánica, etc. Sin embargo, la cubierta vegetal tiene otros efectos que se derivan de su función dentro del ciclo hidrológico que, en regiones áridas y semiáridas, pueden resultar negativos desde el punto de vista de los recursos hídricos (Belmonte y Romero, 1999).

La vegetación de un sitio está determinada por distintos factores, como el clima, humedad, disponibilidad de agua entre otros, y a la vez, la vegetación misma influye en la composición de los horizontes superiores del suelo, de su formación y nutrición, que finalmente puede favorecer la presencia o ausencia de agua para esas plantas.

El agua disponible en el suelo depende de las precipitaciones que llegan sobre él y de la capacidad del suelo para almacenarla. Sin embargo, su uso por los vegetales está además relacionado con la extensión del sistema radicular. Las plantas extraen preferentemente agua del horizonte más superficial. Si posteriormente estos horizontes se secan, las especies con raíces poco profundas no pueden obtener agua y se marchitan. En cambio, las especies con raíces profundas, como los árboles usados en las forestaciones, extraen agua de un volumen mayor de suelo y, por tanto, continúan transpirando hasta que la humedad del suelo alcanza el punto de marchitez en profundidad. Debido a ello, es que los bosques, a diferencia de las cubiertas herbáceas, pueden reducir la humedad del suelo a mayores profundidades (Pizarro *et al.*, 2004). Por tanto, las poblaciones forestales, retribuyen al ecosistema la cantidad de agua que "consumen" al brindarle mejores condiciones para retener el agua y favorecer su disponibilidad para plantas, además, de enriquecer los horizontes superiores del suelo con sus hojas secas y con los nutrientes que el pluviolavado y la lixiviación llevan del árbol al suelo y que a través de la escorrentía es mezclado de forma efectiva con los demás componentes del mismo.

3. JUSTIFICACIÓN

La aplicación de prácticas silvícolas, puede mejorar las condiciones hidrológicas para el abastecimiento de los mantos acuíferos durante el periodo de lluvias, lo que puede reflejarse en beneficios directos, principalmente que ayuden a cubrir las necesidades que los ecosistemas en cuestión presentan. Por lo tanto, estimar la variabilidad existente que ofrecen las precipitaciones permite valorar las prácticas silvícolas más adecuadas en beneficio de un aprovechamiento sustentable y sostenido de los bosques.

Cabe destacar que ha sido un tema poco abordado para los bosques templados de la región, por lo tanto, la presente investigación aporta información nueva de los porcentajes de intercepción de precipitación, que se desarrollan dentro de los ecosistemas mencionados. Esta investigación constituye un aporte fundamental para la toma de decisiones de los manejadores silvícolas, abriendo paso a aplicar técnicas prácticas que favorezcan el ciclo hidrológico y el logro del crecimiento potencial de la especie de *Pinus cooperii* en la presente región ya que es considerada una especie de alto valor económico.

Algunas de las problemáticas a las que se enfrenta el ecosistema forestal es que en periodos de sequía, son muy abundantes las infecciones por plagas y los incendios que atacan a la región, afectando a su paso grandes extensiones de bosque. Mediante la presente investigación, se obtendrán datos relevantes, pues al saber el porcentaje de agua que se intercepta en las copas, y el porcentaje que llega a la superficie, se facilitará la toma de decisiones en el combate de incendios. También, la aplicación de pesticidas fundamentales para mantener en un buen estado de sanidad el ecosistema en estudio. La utilidad de la investigación radica en la profundización del estudio de precipitación incidente, precipitación directa, escurrimiento fustal y las pérdidas por intercepción que modifican la cantidad de agua disponible en la superficie y el aporte que ésta presenta para el desarrollo de especies de valor económico y paisajístico en la región, con el fin de crear conciencia que impacte en la toma de decisiones adecuadas que ayuden a mantener en condiciones apropiadas las cuencas hidrológicas que abastecen las necesidades del bosque y de la sociedad.

4. HIPÓTESIS

HO: Las pérdidas por intercepción, precipitación directa y escurrimiento fustal bajo la cobertura de *Pinus cooperii* son diferentes dependiendo del tipo de evento de lluvia.

HO: Las pérdidas por intercepción en *Pinus cooperii* no representan una pérdida significativa por evaporación del agua de lluvia en el ecosistema en la región de El Salto Durango.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

Cuantificar las pérdidas de precipitación por intercepción mediante, precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento fustal en el bosque de pino, en la región de El Salto, Durango.

5.2. Objetivos Específicos

- Cuantificar distribución y flujo de agua, por medio de precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento fustal, a través de eventos individuales de lluvia.
- Determinar el porcentaje de lluvia interceptada para el bosque de *Pinus cooperii*.
- Estimar la capacidad de almacenamiento que tiene el dosel del bosque de *Pinus cooperii* en la región de El Salto.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Área de estudio.

El presente estudio se desarrolló en una parcela dentro del ecosistema de bosque de pino en la región de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango, al suroeste del estado de Durango, dentro de los límites del Ejido La Victoria en la Sierra Madre Occidental, en la subprovincia denominada cañones Duranguenses (figura. 1). El paraje es conocido como Viveros y la parcela se mantiene en crecimiento libre (sin manejo).

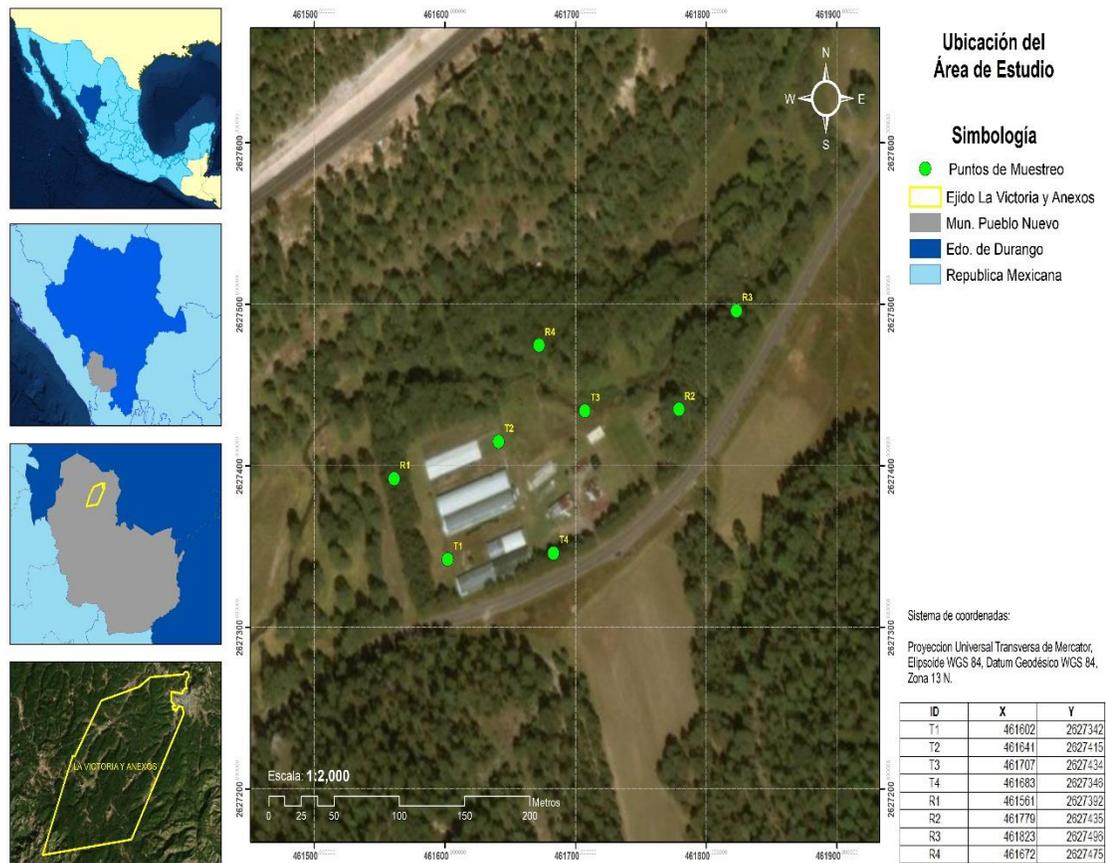


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

6.2. Características Físicas y Biológicas

6.2.1. Geología

De acuerdo con la carta geológica escala 1:000,000, (INEGI, 2005), en el predio bajo estudio se presentan tipos de rocas que se describen a continuación.

Cuadro 2. Tipo de rocas presentes en área de estudio.

| Tipo | Descripción |
|------------------|--|
| Tom (ta): | Constituida por vidrio, cuarzo y fragmentos de potásicos. Presenta color rosa con tonos rojos y morados, ocasionalmente colores verdes y amarillo, tiene la textura piroclásica, vesicular con agujas de cuarzo y fluidal, incluye tobas vítreas cristalinas riolíticas. |

(AFAE, 2007).

6.2.2. Clima

Según la clasificación climática de Köppen adaptada para México por Enriqueta García (2004), los climas presentes en el predio son los siguientes:

Cuadro 3. Climas presentes en el área de estudio.

| Tipo | Descripción |
|-----------------|--|
| C (W2) | Clima templado subhúmedo, con lluvias en verano con un porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.2 mm. |
| C (E)(W) | Semifrío-subhúmedo con lluvias en verano. Con un porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.2 mm. |

Durante los meses de septiembre a marzo, se presenta la influencia de frentes fríos, masas de aire provenientes de zonas árticas, que a su paso por el estado de Durango, según la dirección donde provienen, causan descenso en la temperatura, lluvia o incluso nevadas; los frentes fríos que llegan con dirección NE, se caracterizan por producir heladas con descenso en la temperatura

inferiores a los 18°C , y aquellas que llegan con dirección NO al combinarse con la humedad del Mar de Cortés pueden producir lluvias invernales o nevadas.

6.2.3. Vientos

La velocidad de los vientos y su dirección depende de la época del año, sin embargo, la velocidad máxima de los vientos oscila entre los 60 y 65 km/hr; dicha condición se ve favorecida por la cortina de árboles que ayudan a que la zona no presente vientos superiores a los mencionados.

La época de lluvias, en esta zona está definida por la influencia de vientos húmedos, tormentas tropicales y huracanes provenientes del Océano Pacífico, en particular aquellas que se forman en la costa de los estados de Nayarit y Sinaloa en los meses de julio a septiembre, los cuales en su ascenso por la vertiente oeste de la Sierra Madre Occidental, produce la mayor parte de la precipitación que se capta en esta zona, incluyendo la presencia de granizadas ocasionales y que no comprenden grandes superficies (AFAE, 2007).

6.2.4. Edafología

Crecen sobre suelos muy variados desde limosos a arenosos y moderadamente ácidos, por lo general con abundante materia orgánica y hojarasca (CONABIO, 2018). De acuerdo con la información contenida en la carta edafológica, escala 1:250,000, en el predio, se localizan los tipos de suelos que se describen a continuación:

Cuadro 4. Tipo de suelos presentes en el área de estudio.

| Unidades de suelo | Descripción |
|--------------------------|---|
| Cambisol | El cambisol es un suelo joven poco desarrollado de cualquier clima, excepto zonas áridas; en el subsuelo tiene una capa con terreno que presenta un cambio con respecto al tipo de roca |

| | |
|----------------|---|
| | subyacente, con alguna acumulación de arcilla, calcio, etc. |
| Regosol | Se caracteriza por no presentar capas distintas, son claros y se parecen a la roca que les dio origen, se pueden presentar en muy diferentes climas y con diversos tipos de vegetación, son de susceptibilidad variable a la erosión. |

(INEGI, 2005)

6.2.5. Precipitación

Son ecosistemas de subhúmedos a templado húmedos, con una precipitación anual entre 600 y 1,000 mm. El régimen de lluvias es escaso, aunque con intensidad en ciertas épocas del año, principalmente en junio, julio, agosto y septiembre, siendo la precipitación promedio anual de 800 a 1200 mm; marzo, abril y mayo son los meses menos lluviosos de la época del año (AFAE, 2007).

6.2.6. Temperatura

El bosque templado en especial el bosque de pino en la región de El Salto, se distingue por que se desarrollan en zonas con temperaturas promedio entre 12 y 23°C, aunque en invierno, la temperatura puede llegar hasta por debajo de cero grados (CONABIO, 2018).

6.2.7. Fisiografía

El predio se ubica en la Provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental, específicamente en la subprovincia de gran meseta y cañones duranguenses y mesetas cañadas del sur. Por lo general, este tipo de ecosistemas presentan una flora constituida principalmente por bosques templados, donde se desarrollan diversas especies, de interés económico potencial (AFAE, 2007).

6.2.8. Hidrografía

Los arroyos que existen dentro del predio, son clasificados como permanentes y temporales, entre los que destacan El Salto, La Cañada, El Álamo (AFAE, 2007).

6.3. BIOLÓGICAS

6.3.1. Vegetación

Las comunidades vegetales más importantes del predio están compuestas por bosques mezclados con especies del género *Pinus* y *Quercus*, además de algunas especies arbustivas, siendo el tipo de vegetación más representativo el siguiente:

Bosque de pino: Este tipo de vegetación está constituido por especies arbóreas de fuste recto, de talla baja y mediana, altura de 8 a 25 m, excepcionalmente más de 30 m, hoja acicular en fascículos, perenne, caracterizado por la dominancia del género *Pinus* y su distribución es amplia en todas las cadenas montañosas del país (INEGI, 1992).

El grueso de la masa forestal de pinos mexicanos se desarrolla a altitudes entre 1,500 y 3,000 msnm, aunque también se le ha registrado en áreas de clima caliente a 150 msnm, y a niveles superiores de más de 4,000 msnm (Rzedowski, 2006). Por lo que se deduce que existe una gran variedad de condiciones climáticas asociadas a los bosques de *Pinus* en la República Mexicana, donde los límites absolutos de distribución marcan tolerancia de temperatura media anual entre 6.28°C, así como entre clima totalmente libre de heladas y otros en que el fenómeno puede presentarse en todos los meses del año.

6.3.2. Descripción de la especie.

Nombre científico: ***Pinus cooperii* C.E. Blanco**

Sinónimos: ***P. lutea* C.E. Blanco, *P. arizonica* Engelmann var. *Cooperi* (C.E. Blanco).**

Nombre común: Ocote, pino amarillo, pino chino, entre otros.

Árbol: de 15 a 35 m de altura y diámetro normal de 30 a 80 cm, copa densa redondeada o cónica, formada por ramas gruesas de forma signoidea, descendentes, por lo menos las inferiores y medias, o la copa puede ser irregular y laxa en sitios de calidad pobre. Ramillas erectas, muy gruesas, pero las ramillas tiernas lisas y de color azulado, corteza rugosa, de color gris a gris oscuro con placas irregulares, no desprendibles o en individuos maduros a veces con fisuras horizontales y verticales formando placas amplias de color café rojizo a castaño en la parte central. Madera ligera, fuerte, con albura amarilla o blanco amarillento (González y García, 1988). (Figura 2).

Hojas: en fascículos de 3 a 5, predominante las de 5, muy raramente algunos fascículos de 6, de color verde oscuro o verde ceniciento, gruesas, tiesas y fuertes, generalmente curvadas, agrupadas hacia el extremo de las ramillas, las de la parte superior de la ramilla erectas, de 4 a 13 cm de longitud (hasta 20 en la var. *ornelasi*), 0.9-1.3 mm de ancho, 0.6-0.9 mm de grosor, con márgenes finamente aserrados; estomas en 4 a 9 hileras sobre la cara dorsal (González y García, 1988). (Figura 2).

Conos: generalmente asimétricos, ovoides a estrechamente ovoides u oblongos, ligeramente curvados, de 4 a 9 cm de largo y alrededor de 4 a 6 cm de ancho cuando abiertos, de color café rojizo, lustrosos, solitarios, en pares o en grupos de 3 a 4; pedúnculo muy corto frecuentemente oculto y el cono aparenta ser sésil o hasta de 7 cm de largo, permanece adherido a la ramilla junto con algunas escamas basales del cono cuando este se cae, o a veces cae con el cono (González y García, 1988).

Distribución: se conoce únicamente en la Sierra Madre Occidental en Durango, centro y Sur de Chihuahua y Noreste de Nayarit. En Durango;

Guanaceví, Tepehuanes, Santiago Papatzi, San Dimas, Pueblo Nuevo, Durango, SÚchil y El Mezquital (González y García, 1988).

Ecología: se localiza en bajíos y planicies de suelo profundo y en laderas poco pronunciadas, entre los 2,400 y 2,700 m de altitud. Ocasionalmente comparte el hábitat con la *var. ornelasi*. Por lo general, se encuentra formando masas puras o a veces asociado con *P. leiophylla*, *P. arizonica*, *P. teocote*, *Quercus durifolia*, *Q. sideroxyla* o *Juniperus deppeana* (González y García, 1988).

Estado de conservación: forma masas puras en amplias áreas de Durango, por lo que no presenta problemas de conservación (González y García, 1988).

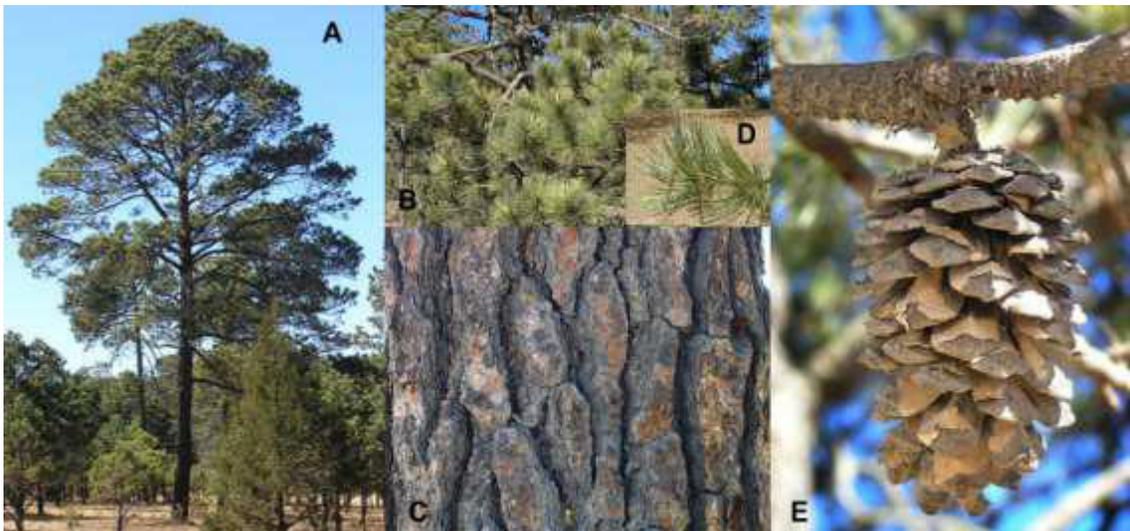


Figura 2. Descripción de la especie de interés., A) Árbol, B) Ramas, C) Corteza, D) Acículas y E) Cono.

6.4. METODOLOGÍA

6.4.1. Medición de los componentes de las precipitaciones

En una parcela de 2,500 m² se colocaron cuatro canaletas para precipitación directa y mangueras para escurrimiento cortical (escurrimiento fustal) para la especie *Pinus cooperii*, adyacente a la parcela en un área abierta, se establecieron 4 canaletas para la medición de la precipitación incidente. Se tomaron mediciones de volumen de lluvia después de cada “evento de lluvia”, la cual es considerada como aquel periodo de precipitación, que puede ser constituido por lluvias, lloviznas o chubascos, más o menos continuos,

separados del anterior y posterior por un periodo seco de una duración mínima de 8 horas (Cantú y Gonzales, 2001).

Estas mediciones fueron realizadas a partir del 27 de febrero de 2016 hasta 04 de noviembre de 2016, registrándose 59 eventos de lluvias individuales. Cabe mencionar que al encontrarse agua, en los contenedores correspondientes a precipitación incidente, por mínima que esta sea, se considera un evento de lluvia. Se describe a continuación la metodología para cada componente de la precipitación (Figura 3).



Figura 3. Esquema de recolección de datos tomado de Cantú y Okumura (1996).

6.4.2. Precipitación incidente

Para coleccionar la precipitación incidente (arriba del dosel) se utilizaron canaletas de PVC de 0.1 m² (10 cm de ancho x 100 cm de largo) en forma de U, conectadas por medio de mangueras a recipientes de 20 L donde se colectó el agua de lluvia; las canaletas se cubrieron con una malla para evitar la obstrucción de hojarasca e insectos y se instalaron 4 canaletas a 1.30 m sobre el suelo, con la finalidad de evitar errores en el momento de la toma de datos.

Se considera esta altura de las canaletas para hacer más práctica la recolección y evitar que el efecto rebote del agua que cae al suelo y plantas que puedan alterar las mediciones; dichas canaletas se ubicaron en un área abierta sin árboles, colindante a la parcela experimental (Yáñez, 2014). (Figura 4).



Figura 4. Canaleta colectora de precipitación incidente.

6.4.3. Precipitación directa

Para medir la precipitación que fluye a través del dosel de la vegetación se utilizaron el mismo tipo de canaletas descritas anteriormente para recolectar la precipitación que pasa a través del dosel. Se colocaron 4 canaletas en la parcela de pino debajo del dosel de manera aleatoria; cabe mencionar que las canaletas se encontraron fijas durante el periodo de muestreo, como se presenta a continuación en la Figura 5.



Figura 5. Canaleta colectora de precipitación directa.

El proceso de recolección y medición de la misma se realizó con la utilización de probetas graduadas, que permitieron obtener datos concretos de forma directa, de tal modo que al concluir el evento de lluvia, se pueda obtener los datos de forma rápida y directa para llevar a cabo un registro práctico de los eventos de lluvia, Esto se debe de realizar constantemente después de cada evento de lluvia, para evitar error en la medición y que puedan llegar alterar los resultados.

6.4.4. Escurrimiento fustal

Para medir el escurrimiento sobre los troncos, se seleccionaron 4 individuos de la especie en estudio dentro de la parcela experimental, utilizándose mangueras de plástico acerada de 3 cm de diámetro, con perforaciones de 1.5 cm x 2.5 cm, a intervalos de 4 cm, fijados a los fustes a 1.0 metro de altura, para facilitar la colección de agua en contenedores de 20 L; utilizándose como un tipo espiral dando dos vueltas y media al tronco. Estas se prensaron al fuste preparado (sin corteza) y las partes superiores e inferiores de las mangueras se fijaron con alambre y sellados con silicón, por donde se transportó el agua a los recipientes de colecta, como se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Manguera en espiral colectora de escurrimiento fustal.

6.4.5. Precipitación neta

Una parte del agua retenida por los árboles, cae al suelo después de permanecer por un lapso de tiempo en el dosel; este fenómeno se da cuando se llega al punto de saturación de las copas, ya sea como efecto de la gravedad o incluso del mismo aire, tal como lo mencionan algunos investigadores. De la cantidad de agua que llega a la superficie del suelo, a través de los árboles, es llamada precipitación neta, esta sigue dos vías: una mediante los claros de los árboles o por goteo de las hojas y ramas llamada precipitación directa, la otra vía es mediante el escurrimiento por el tronco de los árboles, llamada escurrimiento fustal (Huber *et al.*, 1985; Cantú y González, 2005; Pizarro *et al.*, 2008).

6.4.6. Pérdidas por intercepción

Para estimar el porcentaje de las pérdidas por intercepción se utilizaron las mediciones de precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento fustal. Aplicando estadística descriptiva y análisis de regresión lineal, se estimaron los valores de las pérdidas por intercepción para la especie en

estudio. Cada uno de los procesos, permitió obtener datos específicos sobre las cantidades de agua de lluvia que la especie en estudio es capaz de captar.

La intercepción del dosel, es una de las formas más relevantes en que la masa arbórea influye en la diferencia entre la precipitación neta y la precipitación incidente, por ello, es necesario llevar a cabo una estimación de dicho proceso, para llevar a cabo el cálculo de éste. Se estimó ésta a partir de la diferencia ente la precipitación incidente, la precipitación indirecta y el escurrimiento fustal, a través de la siguiente ecuación (referencia):

$$I = P_p - P_d - P_f$$

Donde:

I = Pérdidas por intercepción (mm)

P_p = Precipitación incidente (mm)

P_d = Precipitación directa (mm)

P_f = Escurrimiento fustal (mm)

6.4.7. Capacidad de almacenaje del dosel

La característica relevante de la vegetación que se pretende evaluar, es la cantidad de agua almacenada en el dosel en una sola lluvia, un evento pluvial que presente la intensidad suficiente para exceder la capacidad de la vegetación para retener agua sobre su superficie, para la determinación de las cantidades interceptadas, se utilizó el método de Leyton *et al.* (1967), relacionando la precipitación incidente contra la precipitación directa para eventos de lluvia con un valor máximo de 2.5 mm.

6.4.8. Análisis estadístico

Para las mediciones de precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento fustal, se utilizaron estadísticos descriptivos y análisis de regresión lineal, para conocer el comportamiento de los datos de lluvia y su composición hidrológica, considerando los eventos individuales de hasta 2.5 mm, con lo que se pretende determinar la capacidad de almacenamiento del dosel en los ecosistemas de estudio.

7. RESULTADOS

7.1. Precipitación Incidente.

Durante el periodo de estudio, que correspondió del 27 de febrero de 2016 a 04 de diciembre de 2016, se obtuvo un total de 59 eventos de lluvia. Los datos se registraron de forma individual, para luego agruparlos por mes y al final realizar un análisis de estadísticos descriptivos de los componentes de la precipitación; también se realizaron análisis de regresión lineal, para saber la correlación existente, entre dichos componentes de la redistribución de la precipitación en un ecosistema de *Pinus cooperii* en la región de El Salto Durango.

El comportamiento de las precipitaciones acumuladas mensualmente durante el periodo de estudio, nos muestra que ocurrió un mayor número de eventos de precipitaciones y una mayor cantidad de milímetros de lluvia en los meses de junio, julio y agosto, obteniendo en estos tres meses, un acumulado de 781.4 mm de precipitación incidente, tal como se reporta la temporada de lluvias en el área de estudio. Se reflejaron eventos esporádicos en los meses de marzo, mayo y octubre. Mientras que durante enero, abril y noviembre no se presentaron precipitaciones. Cabe mencionar que en el mes de diciembre solo se registró un evento de lluvia de 74.3 mm. Esto se debe a que fue un evento de periodo extenso de tres días consecutivos, originado por fenómenos meteorológicos como tormentas tropicales y/o huracanes que azotaban las costas del colindante estado de Sinaloa (Figura 7).

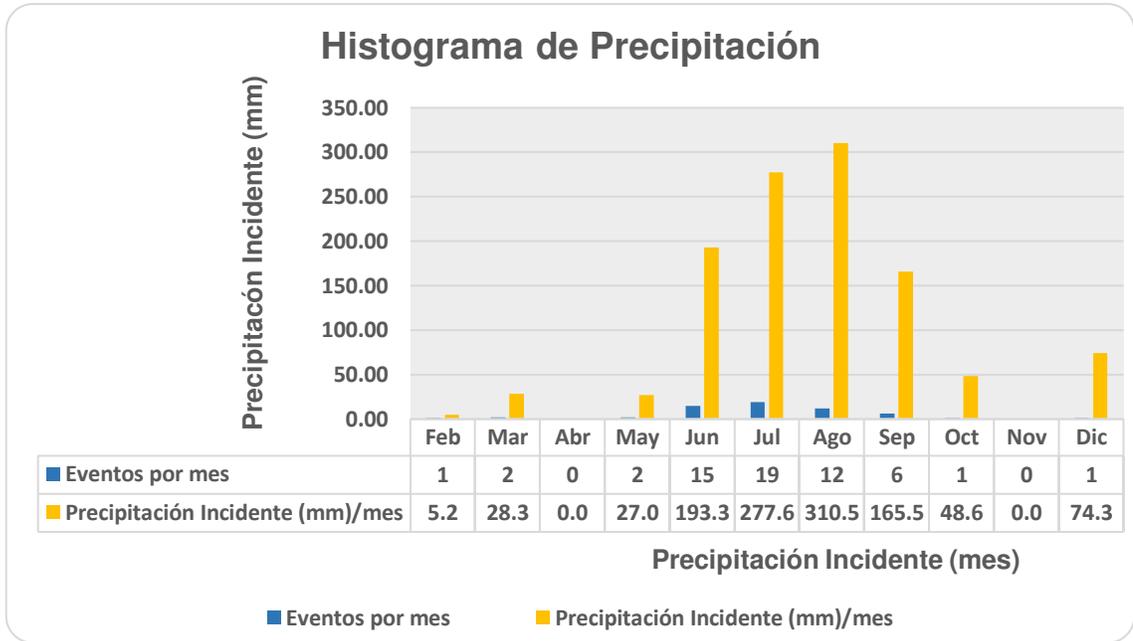


Figura 7. Comportamiento por mes de la precipitación incidente durante el periodo de estudio.

Las lluvias registradas variaron en un rango de 2.75 a 82.95 mm, donde los números de eventos con precipitaciones entre los 5 mm corresponden al 13% del total de la precipitación registrada; la mayor cantidad de eventos está comprendida entre 5 a 25 mm con un 59%, las lluvias con cantidades entre 25 a 50 mm representaron el 22% del total, disminuyendo los eventos que registraron mayores cantidades de precipitación, como se muestra en la Figura 8.

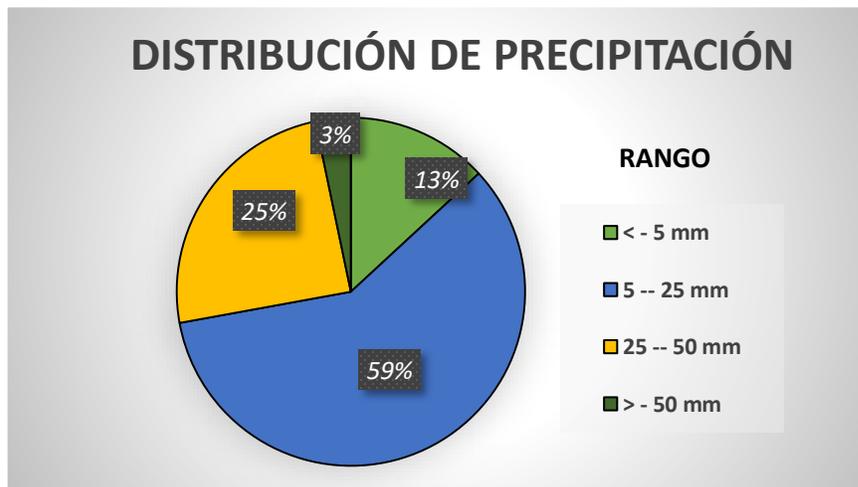


Figura 8. Porcentajes para diferentes rangos de precipitación registrados durante el periodo de estudio.

7.2. Precipitación Directa.

La precipitación directa (PD) registró 811.32 mm durante en el presente estudio. El análisis de regresión lineal entre la precipitación incidente con precipitación directa se obtuvo un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.953$.

Existe una relación muy importante para los componentes de la redistribución de lluvias dentro de la parcela en el paraje VIVEROS. La precipitación directa (PD) depende de la cantidad de lluvia que llega al ecosistema que traspasa la cobertura o dosel de los árboles; en el presente estudio se registró un total de 1130.31 mm de precipitación Incidente (PI), que al relacionarlos con el total de la precipitación directa (P.D) igual a 811.32 mm, muestra que representa un 71.7% del total de la precipitación incidente. Al realizar el análisis de regresión lineal, representa un 80% de la PI, mostrando un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.9538$. En la Figura 9, se puede observar la línea de tendencia que refleja la relación entre dichos componentes de la precipitación.

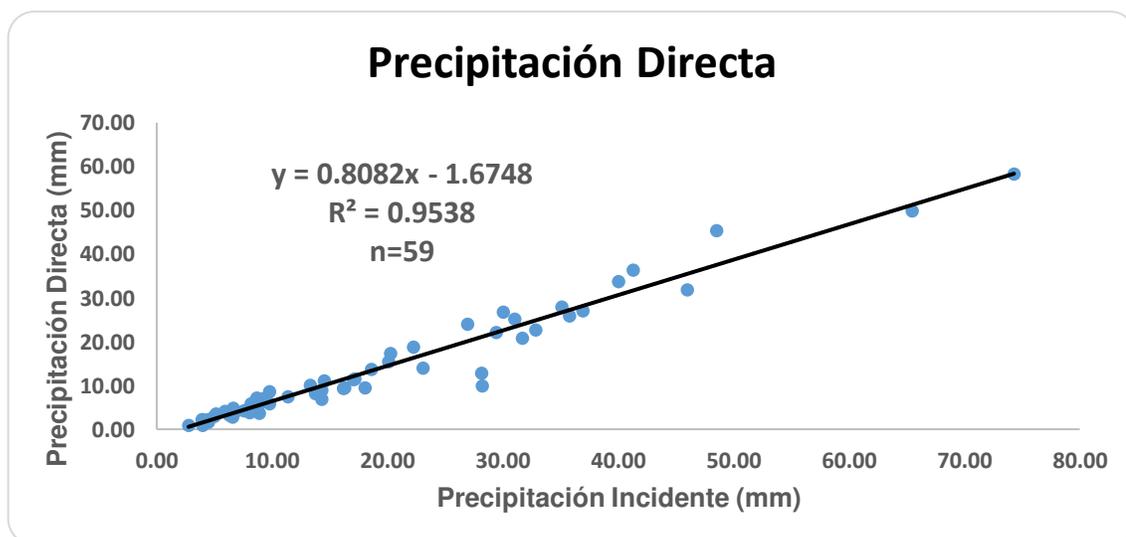


Figura 9. Relación entre la precipitación directa (mm) y precipitación incidente (mm) para la cobertura de *Pinus cooperii*.

7.3. Esgurrimiento Fustal.

El proceso de medición de esgurrimiento fustal se llevó a cabo de forma detallada, para ello, se tomó como muestra árboles con características similares en cuanto a diámetro del fuste, completamente sanos y principalmente sin bifurcaciones, con la finalidad de no obtener errores en la toma de datos que puedan alterar o modificar resultados y que nos permitiese establecer una comparación aproximada a la realidad de lo que sucede en el ecosistema de interés. La relación existente entre la precipitación incidente y el esgurrimiento fustal; refleja ampliamente el abastecimiento de agua de lluvia que llega a la superficie mediante esgurrimiento fustal llevando a su paso, gran cantidad de nutrientes esenciales en el desarrollo de dicha vegetación. El componente de esgurrimiento fustal para *Pinus cooperii* dentro del área de estudio, representa el 7.7% de la precipitación incidente, con un coeficiente de determinación igual a $R^2=0.721$ como se muestra en la Figura 10; con un número de eventos $n=48$ que fueron los que presentaron esgurrimiento fustal durante el periodo de muestreo, registrando un total de 6.38 mm del total de la precipitación incidente; resulta proporcional a la cobertura de los individuos presentes en la parcela.

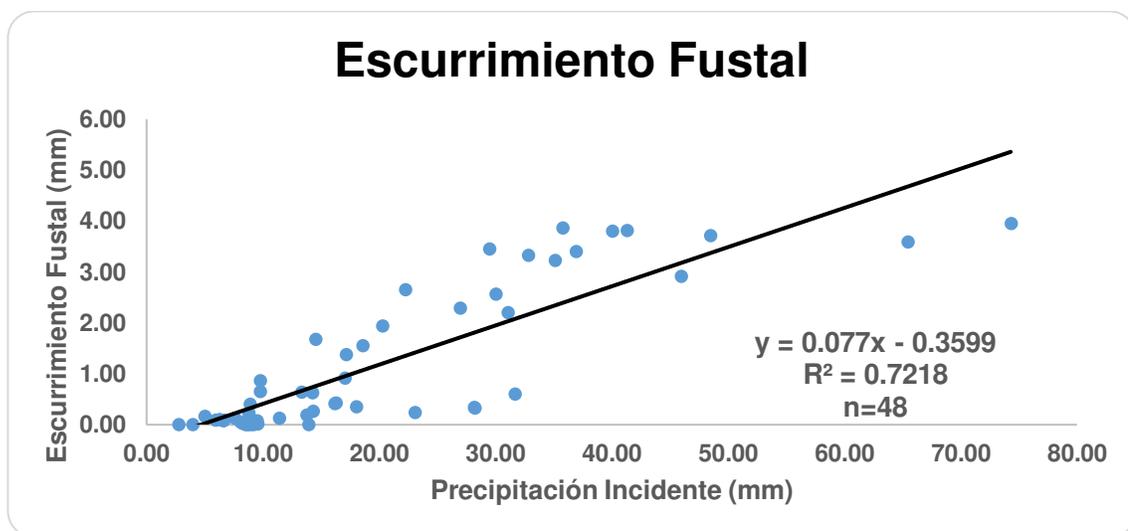


Figura 10. Relación entre el esgurrimiento fustal (mm) y la precipitación incidente (mm) para *Pinus cooperii*.

7.4. Precipitación Neta.

A continuación se puede observar la relación existente entre la precipitación incidente y la precipitación neta. Dichos componentes se consideran importantes en el proceso de redistribución de lluvia dentro del ecosistema pues dan paso a la entrada y flujo de agua que llega a la superficie; mientras sea mayor la PI, mayor será el agua que traspase el dosel de los árboles, lo cual se conoce como precipitación directa y agregando el escurrimiento fustal dan paso al proceso de precipitación neta (Figura 11).

La precipitación neta para la parcela del paraje el área de estudio, representó el 81% de la precipitación incidente ocurrida durante el periodo de lluvias, presentando un coeficiente de determinación de $R^2=0.953$, de esta forma se refleja una tendencia aceptable ya que los eventos de lluvia registrados describen la variabilidad entre precipitaciones gracias a que la mayor parte de los eventos se concentraron desde 0.5 a 50 mm. Dicho comportamiento favorece la relación entre los dos componentes.

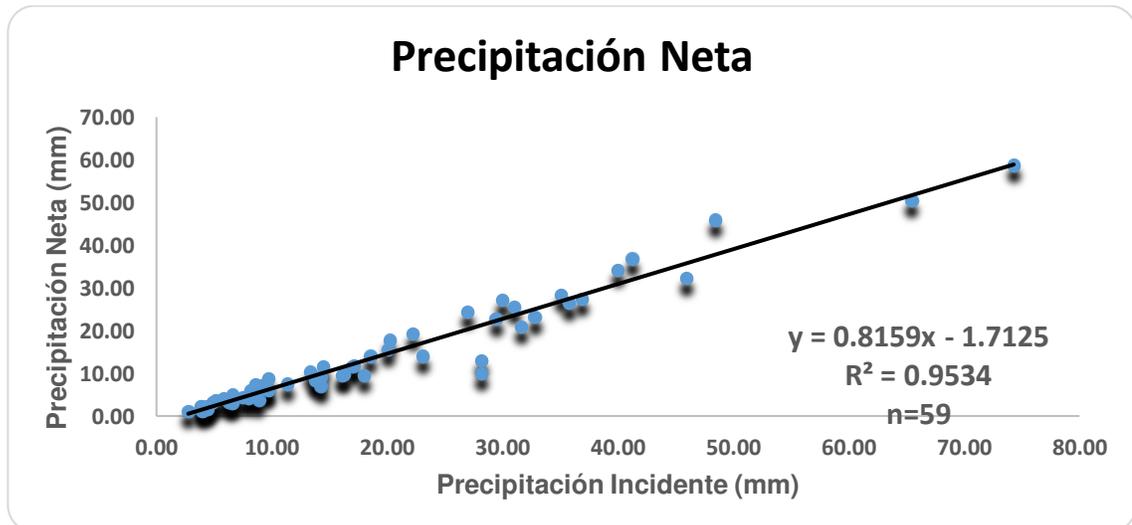


Figura 11. Relación entre precipitación incidente y precipitación neta para el dosel de *Pinus cooperii*.

7.5. Capacidad de Almacenamiento del Dosel.

Se encontró que la cantidad de lluvia estimada para saturar el dosel fue analizada con 7 eventos de lluvia con valores menores a 2.5 mm. 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). Estimándose en 1.33 mm con una $R^2 = 0.199$, este valor del coeficiente de determinación refleja la variabilidad del dosel de *Pinus cooperii* en la región de El Salto, así como el escaso número de eventos menores a 2.5 mm para poder relacionar esta capacidad de almacenaje con la cantidad de lluvia interceptada (Figura 12).

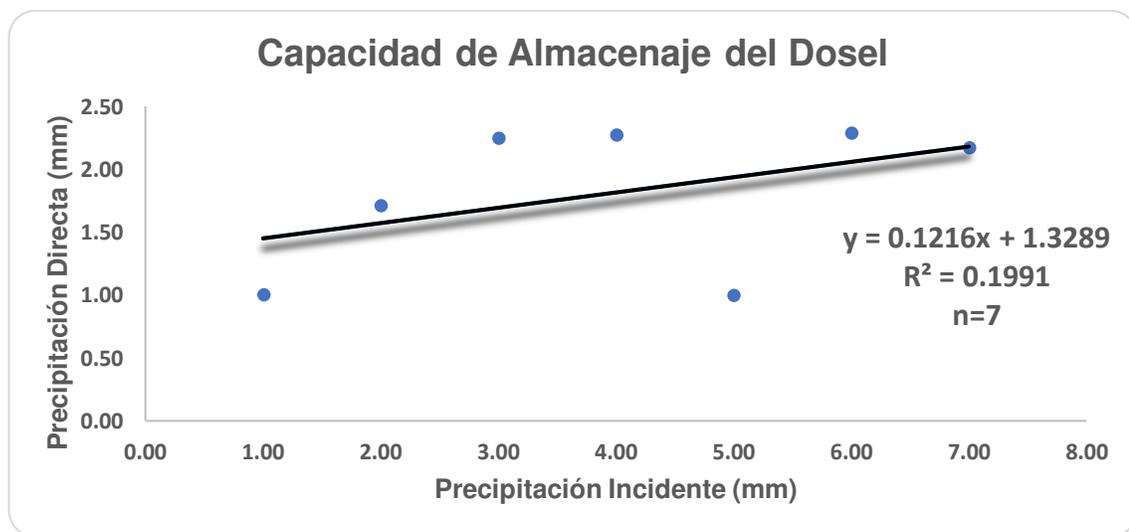


Figura 12. Capacidad de almacenaje para *Pinus cooperii* con base en 7 eventos de lluvia individuales de hasta 2.5 mm.

7.6. Pérdidas por Intercepción.

Los valores de intercepción fueron del orden de 312.61 mm durante el periodo de lluvias en la región de El Salto, Durango, tomando en cuenta que se considera como pérdidas por intercepción a la diferencia existente entre la precipitación incidente y la precipitación neta de la vegetación antes descrita. Los valores obtenidos al respecto fueron estimados en un 18% para la parcela en estudio. Durante el análisis estadístico de regresión lineal, los datos ajustados mostraron el siguiente coeficiente de determinación: $R^2 = 0.510$ (Figura 13). Esto refleja el grado de variabilidad que tiene el dosel de *Pinus cooperii*, en bosques de pino en la región de El Salto.

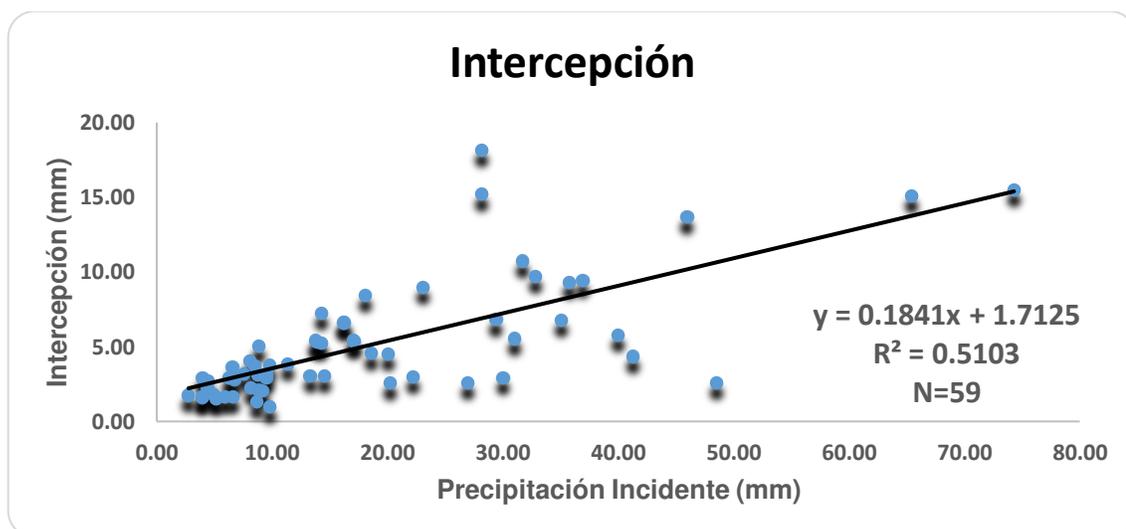


Figura 13. Relación entre la precipitación incidente e intercepción para *Pinus cooperii*.

El comportamiento de las pérdidas por intercepción durante el periodo de estudio, del mes de febrero hasta diciembre de 2016 registrando en un total de 59 eventos colectados, siendo los eventos con mayor cantidad de intercepción el 46, 56 y 59, donde la cantidad de precipitación fue mayor, según los registros respectivos. 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 y de mayor duración de tiempo, tienden a ser más interceptadas. Lo anterior se refleja en la Figura 14.

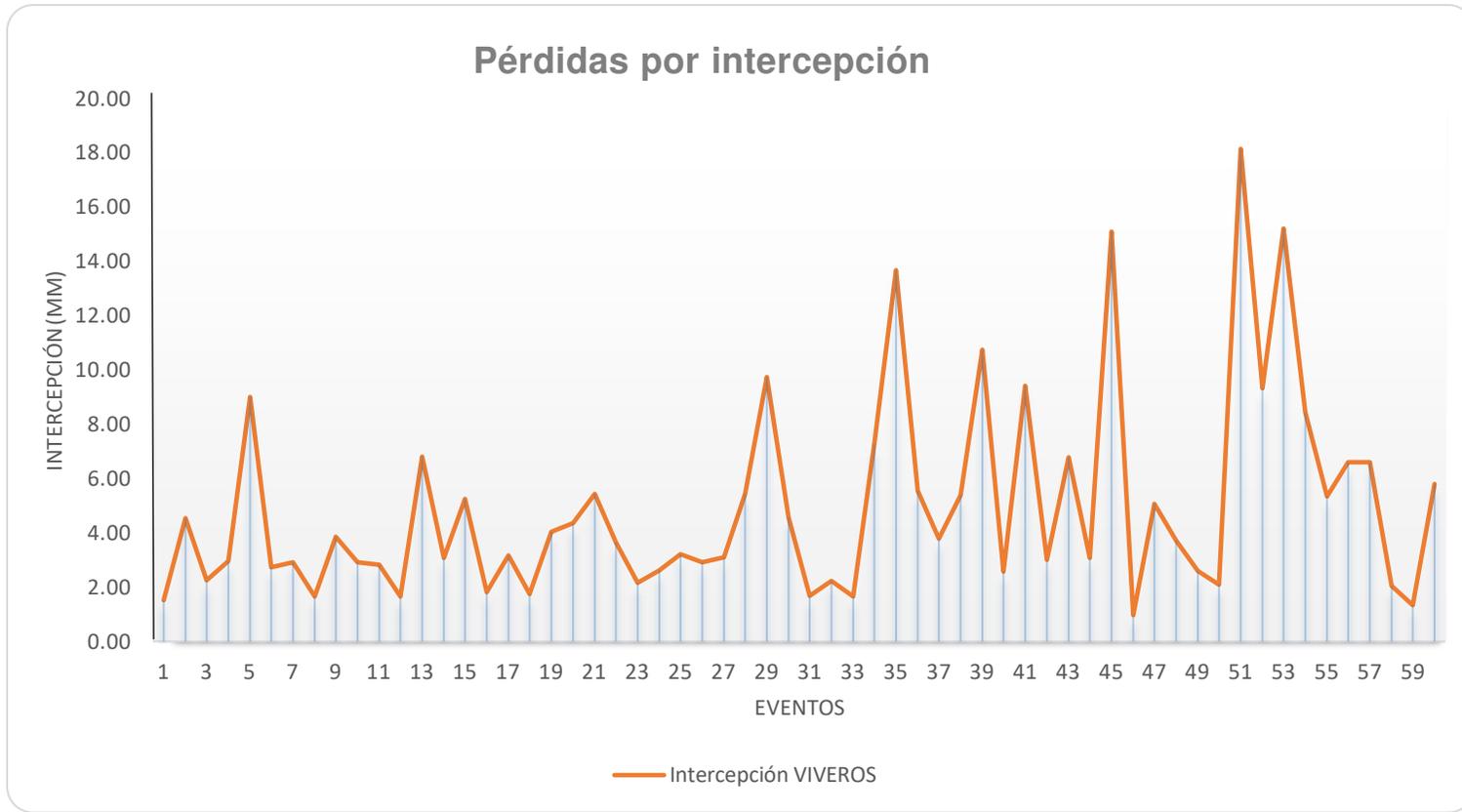


Figura 14. Análisis individual de las pérdidas por intercepción con base en 59 eventos de lluvia para la especie de *Pinus cooperii* en la región de El Salto.

8. DISCUSIÓN

El manejo silvícola, así como cualquier fenómeno ocasionado por el hombre puede alterar gravemente el funcionamiento de los ciclos hidrológicos de cualquier ecosistema. Tal como lo menciona De Bano (2009), el deterioro de los ecosistemas forestales conlleva, simultáneamente, a la alteración de procesos físicos como la infiltración y generación del escurrimiento que determinan su funcionamiento y sostenibilidad. Por ejemplo, la ocurrencia de un incendio puede alterar los procesos de intercepción, infiltración, evapotranspiración, almacenamiento de la humedad en el suelo y el flujo del agua sobre la superficie del terreno (Velásquez, 2017). Investigaciones como la de Iroume y Huber (2000) describen cuales son los tres principales componentes del proceso de redistribución de las precipitaciones incidentes a una área cubierta de vegetación son: pérdida por intercepción, o la cantidad de agua retenida por las plantas, y 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; y escurrimiento fustal, o el agua que escurre por las hojas y ramas hasta alcanzar el tronco principal, y luego escurre por su superficie hasta alcanzar el suelo (Shaw 1996, Ward y Robinson 1989).

El porcentaje de intercepción de precipitación, en bosques con un crecimiento libre o sin manejo silvícola, es congruente con los porcentajes obtenidos para bosques templados desde 20.4 hasta 25.9% en otras investigaciones como la de Aussenac (1981), ya que esta presenta hasta un 18% de intercepción. Estos porcentajes se pueden atribuir a distintos factores como la presencia de ráfagas de vientos durante las precipitaciones, la duración de los mismos, tipo y rugosidad de la corteza y otros.

A partir de la investigación y observación realizadas, es posible afirmar que otro factor importante que interviene para la intercepción de precipitación de las

masas forestales es el clima presente en cada una de ellas, dicha aseveración coincide con lo expresado por Cantú y González (2002) en los bosques de *Quercus* con un 13.5% de intercepción y 19.2% para *Pinus pseudostrobus* y el mayor porcentaje de intercepción que ellos encontraron fue en bosque mixto de pino y encino con un 23% en la región de Linares. Nuevo León. Por lo anterior, se puede afirmar que el género y la especie a la que pertenecen los árboles, es un factor que arroja datos constantes respecto a la intercepción, pero con pequeñas variables ofrecidas por diferencias relativas entre el clima, exposición eólica y altura.

La actual investigación refleja y concuerda que los bosques de coníferas son de los ecosistemas forestales que contienen las formaciones vegetales con mayor capacidad de intercepción, ya que se han determinado pérdidas por intercepción de lluvia de entre 21 y 48% de la precipitación media anual como lo mencionan (Carlyle-Moses, 2004). Dichas aseveraciones permiten interpretar que los niveles de intercepción de estos ecosistemas se manifiestan de forma constante, sin presentar variabilidades considerables. El manejo forestal sustentable, así como las estrategias y técnicas aplicadas en las prácticas silvícolas para el bosque de pino en la región, son de gran importancia, para mantener regulados adecuadamente los sistemas hidrológicos de dicho ecosistema, en donde, el agua es uno de los factores limitantes para la obtención de bienes y servicios de calidad.

El interés por mantener el balance hídrico de la zona estudiada se fundamenta en los beneficios que se le otorgan al ecosistema, mismos que permiten a su vez el manejo de estrategias de control y planeación, para ser consideradas en un futuro cercano por la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, para el programa de pago por servicios hidrológicos (Servicios Ambientales) o por cualquier instancia interesada en el aprovechamiento y/o cuidado de la región. Así, para lograr un mayor aprovechamiento de este recurso es indispensable el monitoreo continuo de variables hidrológicas, con el propósito de tener fundamentos técnicos de procesos físicos como la

generación del flujo superficial para la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales (Sánchez, 2005; Cui *et al.*, 2012).

En concordancia con lo encontrado por Cantú y González, (2002), en su estudio “propiedades hidrológicas del dosel de los pinos en bosques de pino-encino en el noreste de México”, los análisis de regresión lineal entre las pérdidas por intercepción y la precipitación incidente, arrojó valores de correlación altamente significativa (por encima de 19%), tanto en su estudio como en el presente, aún y cuando los mencionados autores analizaban tres especies distintas, y aquí se estudia solo una especie, dicha similitud, dicta que aún al pertenecer a ecosistemas e incluso a especies de pino distintas, se mantiene cierta tendencia de cantidad de captación de agua del dosel de estas especies de pino y que la relación entre la PI y la PD, es alta.

Por otra parte, se sugiere que para investigaciones futuras se consideren factores, tales como: niebla, rocío, intensidad de lluvia, continuidad del evento de lluvia, velocidad del viento, entre otros, ya que deben de ser tomados en cuenta para poder predecir con mayor exactitud la intercepción. García (2018), afirma la importancia de tomar en cuenta aspectos y/o factores que influyen en las cantidades de intercepción que presentan los árboles, ante lo cual estamos en total acuerdo, pues calcular la cantidad de agua interceptada por el dosel arbóreo, sin tomar en cuenta dichos fenómenos y elementos, alteran los resultados finales de la estimación.

En contraste con lo documentado por Cantú y González en el 2005, en su estudio “pérdidas por intercepción de la lluvia en tres especies de matorral submontano” la intercepción en los bosques de pino, se comporta de forma distinta a lo que ocurre en las especies de matorral que los autores analizaron, pues en este caso, el pino, intercepta o capta más agua de los eventos de mayor intensidad, mientras que en el estudio que ellos realizaron las especies de dicho ecosistema parecen retener mayor cantidad de agua de las lluvias menos intensas.

Reafirmando lo anterior, y de acuerdo con los resultados obtenidos por Bravo (2011), en el que reconoce como de “vital importancia” tomar en cuenta las características de la vegetación, en el proceso de redistribución de las lluvias. En el área de estudio de bosque nativo (sin manejo) se obtuvo un porcentaje de 18% de intercepción con un total de 312.61 mm, lo cual favorece la calidad de sitio. Es importante mencionar que la edad promedio de los individuos de este sitio es de 71 años, y el diámetro a la altura del pecho es mayor, cercano a los 39.2 cm, aunque la altura total del árbol presenta un promedio de 17.2 m. lo cual concuerda con la investigación elaborada por García (2017) quien menciona que los individuos que mayor intercepción presentaron, fueron los que no se encuentran sometidos a ninguna clase de manejo (sin raleo o crecimiento libre).

La presente investigación genera controversia con Flores (2016), que menciona que los bosques no tienen influencia sobre la precipitación, particularmente cuando se toma en cuenta la cantidad y la distribución de la lluvia en el suelo del bosque. Esta es una de las principales razones por las cuales varios estudios de ecología forestal se han dirigido a generar relaciones entre la composición y la variabilidad espacial de la estructura del bosque con la interceptación de las precipitaciones (Flores *et al.*, 2011). Sin duda, la variabilidad de dicho fenómeno, se asocia mayormente a las características dasométricas de la especie como son diámetro, cobertura, estructura, densidad y composición, de la copa que presentan las especies referidas. En conjunto con la corteza del fuste, su dureza, su porosidad y la profundidad de su rugosidad, pues en el caso del *Pinus cooperii*, dicha particularidad le permite contener mayor cantidad de agua durante y después de las precipitaciones pluviales, sobre todo en las precipitaciones con mayor intensidad.

9. CONCLUSIONES

La cuantificación de las pérdidas de precipitación por intercepción arrojó un total de 312.61 mm, representando hasta en un 18% de intercepción de lluvia para la parcela de estudio en crecimiento libre. Lo anterior se atribuye a las características dasométricas del bosque, con una edad promedio de 71 años, una altura promedio de 17.2 y un diámetro de área basal promedio de 11.8 m y un diámetro a la altura del pecho de 39 cm y una cobertura densa. Esto quiere decir que del 100% de precipitación incidente que llega a las copas de *Pinus cooperii* en la región de El Salto Durango, el 18% es interceptada por las copas y devuelta a la atmósfera por evaporación.

Las pérdidas por intercepción están relacionadas con la cobertura del dosel de la vegetación, pues a mayor cobertura del dosel mayor será la intercepción de la precipitación, la parcela tiene una cobertura de (112.44 m²) interceptando 312.61 mm.

Favorecer adecuadamente el ciclo hidrológico en los ecosistemas de pino de la región de El Salto, influye altamente en el desarrollo forestal sustentable, ya que gracias a este procesos pueden ayudarse de ellas para la toma de decisiones que permitan establecer adecuadamente prácticas silvícolas como (podas, aclareos, cortas de saneamiento, afines), que a su vez, permitan el flujo constante de agua dentro del sitio, para recarga de los mantos acuíferos, y mantener la humedad y potencializar la calidad de sitio, además, de favorecer el crecimiento y desarrollo de la vegetación endémica del ecosistema.

Es de gran importancia el señalar que el realizar adecuadamente el manejo de los recursos puede encaminar a estos ecosistemas a mantener un balance adecuado en sus procesos hidrológicos, lo que influye en una eficiente producción de bienes y servicios ambientales que estos proveen y que ayudan satisfacer gran cantidad de necesidades de la región.

Según el análisis realizado, se observa que el porcentaje de intercepción en el área de estudio, en general, muestra que la lluvia que se deposita al suelo no es una fracción constante de la lluvia total, lo cual es atribuible a las características de los individuos pertenecientes a dicha parcela, tales como (cobertura, estructura, densidad, tamaño de la copa, etc.). También, se pueden atribuir a factores que modifican los eventos de precipitación como (tipo, duración, cantidad, intensidad y frecuencia, entre otros).

Los porcentajes de las pérdidas por intercepción y la capacidad de almacenamiento del dosel de *Pinus cooperii* en la región de El Salto, se pueden asociar por la variabilidad en la densidad de las copas de la especie de interés, ya que tienen copas densas y en conjunto con el tamaño de las hojas son factores importantes para reducir las pérdidas por intercepción. Se puede apreciar que para eventos con bajas precipitaciones, una elevada proporción de ellas es interceptada por las copas y devuelta a la atmósfera por evaporación. El porcentaje del agua interceptada disminuye a medida que aumentan los montos totales de las lluvias.

El conocer las pérdidas por intercepción de precipitación de los bosques de pino, sometidos a manejo y en crecimiento libre, es fundamental para la toma de decisiones en los efectos del aprovechamiento de los recursos y la influencia sobre los procesos hidrológicos, así como la redistribución de agua en el ecosistema.

En resumen, se puede concluir que según los resultados obtenidos durante la presente investigación, indican que el efecto de la aplicación de prácticas silvícolas puede representar un factor de gran importancia para el aprovechamiento sostenible y sustentable de los recursos hídricos en los bosques de pino en la región de El Salto, Durango, México. Ya que la precipitación es la única entrada de agua para el recargo de los mantos acuíferos del ecosistema en estudio.

10. BIBLIOGRAFÍA

- AFAE. (2007). Programa de manejo forestal 2007-2017 del Ejido La Victoria, Pueblo Nuevo, Durango.
- Andrade, G.C., Da silva H.D., Ferreira C.A., Bellote A.F. y Moro L. (1995). Contribución del agua de lluvia en la oferta de nutrientes minerales para *Eucalyptus grandis*. EMBRAPA/CNP Florestas Caixa Postal. 47-51.
- Aston, A.R. (1979). Rainfall interception by eight small trees. *Journal of Hydrology*, 42: 383-386.
- Ayllón, T. (1996). Elementos de meteorología y climatología, Trillas. México. 197p.
- Bejár, P.S.J. (2018). Aporte de nutrientes vía precipitación incidente, directa y escurrimiento fustal en *Pinus cooperii* C.E. BLANCO, en “El Salto”, Durango. (Tesis de Maestría). Facultad de Ciencias Forestales UANL.
- Belmonte, S.F., y Romero D.A. (1999). Interceptación en Algunas Especies del Matorral Mediterráneo. 1ª edición, Universidad de Murcia. 202 p.
- Belmonte, S.F. y Romero, D.A. (1999). *Interceptación en algunas especies del matorral mediterráneo*. Cuadernos de Ecología y Medio ambiente, 7. Murcia: Universidad de Murcia, ,202 pp.
- Bonan, G. (2002). *Ecological Climatology: concepts and applications*. Cambridge, United Kingdom. University Press.
- Belmonte F., Romero A., López F. y Hernández L. (1999). Óptimo de cobertura vegetal en relación a las pérdidas de suelo por erosión hídrica y las pérdidas de lluvia por interceptación. *Papeles de Geografía* No. 30: 5-15.
- Calder, I. (1998). Water use by forests, limits and controls. *Tree Physiology* 18: 625-631.

- Cantú, S. I., y González R. H. (2005). Pérdidas por intercepción de la lluvia en tres especies de Matorral Submontano. *Ciencia UANL VIII (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 V (1)*: 72-77.
- CONABIO. (2018). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Crockford, R., y Richardson D. (2000). Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrological Processes 14*: 2903-2920.
- Cui, X.S., Liuand X., y Wei, L. (2012). Impacts of forest changes on hydrology: a case study of large watersheds in the upper reaches of Minjiang River watershed in China. *Hydrologyand Earth System Science 16*:4279-4290.
- DeBano, L.F. (2009). Fire effects on watersheds: An overview. *Southwest Hydrology*. University of Arizona. Tucson, AZ, USA. pp. 28-29.
- Echeverría, C., Huber A., y Taberlet F. (2007). Comparative study of water balance components in a native forest and a meadow in southern Chile. Universidad de Concepción. Instituto de Manejo y Medio Ambiente. 271-280.
- Escobar, E., y Maass M. (2008). Diversidad de procesos funcionales en los ecosistemas, en *Capital Natural de México Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO, México. 161-189.
- Feller, M. (1981). Water balance in *Eucalyptus regnans*, *E. oblicua*, y *Pinus radiata* forest in Victoria. *Australian Forestry 44 (3)*: 153-161.

- Flores, A.E.F., Becerra L.E., Buendía R.F., Carrillo A.M., y Acosta M. (2011). Intercepción de lluvia por vegetación forestal. Estado actual de la investigación en México e Hidalgo. Aportes para el desarrollo del estado de Hidalgo. En: Colegio del Estado de Hidalgo (comp.). Vol.1 Agua y Medio Ambiente. Ed. Miguel Ángel Porrúa. México, DF, México. pp. 151-166.
- Flores, A.E., Guerra V. y Terrazas G.G.H. (2016). Intercepción de lluvia en bosques de montaña en la cuenca del río Texcoco, México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. INIFAP.
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Comisión Nacional para el Estudio de la Biodiversidad (CONABIO).
- García, L. J.W. (2018). Pérdidas por intercepción de lluvia en el matorral espinoso tamaulipeco bajo diferentes intensidades de raleo. (Tesis de Maestría). Facultad de Ciencias Forestales UANL.
- González-Elizondo, M.S., y Garcia-Arevalo, A. (1988). *Pináceas* de Durango. Xalapa, Veracruz, México. Instituto de Ecología A. C.
- Giraldo, J. J.F., y Jaramillo, R.A. (2004) Ciclo Hidrológico y transporte de nutrimentos en cafetales bajo diferentes densidades de sombrero de guamo. *Cenicafe* 55(1):52-68.
- Hernández, B.L.A. (2017). Propiedades hidrológicas de un fragmento de *Arbutus bicolor* y *Quercus durifolia* en el predio particular El Tule en el municipio Durango, Durango. (Tesis Profesional), Instituto Tecnológico de El Salto.
- Huber, A., y Trecaman R. (2004). Respuesta del balance hídrico al raleo de una plantación joven de *Pinus radiata* (D. Don) en el secano Interior de Chile. *Terra Latinoamericana* 22: 417-424.

- Huber, A., y Oyarzún C. (1984). Factores reguladores de la intercepción en un bosque adulto de *Pinus radiata* (D. Don.). *Bosque* (Valdivia) 5(2): 59-64.
- Huber, A., Oyarzún C., y Ellies A. (1985). Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata* y una pradera. II: Humedad del suelo y evapotranspiración. *Bosque* 6(2): 74-82.
- Huber, A., y Trecaman, R. (2000) El efecto de las características de una plantación de *Pinus radiata* en la distribución espacial del contenido de agua edáfica. *Bosque* 21 (1): 37-44.
- INEGI. (2005). Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- INEGI. (1992). Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática.
- 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.
- Jaramillo, R.A., (2003). La lluvia y el transporte de nutrimentos dentro de ecosistemas de bosques y cafetales. *Cenicafé* 54(2): 134-144.
- Klaassen, W., Lankreijer, H. J., y Veen, A. W. (1996). Rainfall interception near a forest edge. *Journal of Hydrology*, 185(1-4), 349-361.
- Llerena, C.A. (2003). Servicios ambientales de las cuencas y producción de agua, conceptos, valoración, experiencias y sus posibilidades de aplicación en el Perú. Tercer Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas, 16 pp.
- Mateos, A.B., y Shinabel S. (1998). Medición de la Intercepción de las precipitaciones por la encina (*Quercus rotundifolia* lam.): metodología e instrumentación. In *Hidrología y erosión de suelos*, p.195-112. Norbata Geografía.

- Návar, C.J.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.
- Oyarzún, C.E., Huber A., y Vásquez S.G. (1985). Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata* I. Redistribución de las precipitaciones. *Bosque* 6 (1): 3-14.
- Pizarro, R., Vallejos, O., Balocchi, F., Morales, C. y León, L. (2004) Determinación de las intercepciones de agua en bosques nativo maulino y en plantaciones de *Pinus radiata* D. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Talca.5-22.
- Pizarro, R., Farías C., y Jordán C. (2001). Manejo forestal orientado a la producción de recursos hídricos. XVIII Jornadas Forestales. Colegio de Ingenieros de Chile. Temuco, Chile. 11 p.
- Prado, F.A., Hernández S.L., y Ventura R.E. (2007). Intercepción de lluvia por *Lysiloma microphylla* en el Municipio de Querétaro, Qro. Universidad Autónoma de Querétaro. 5 p.
- Putuhena, W., y Cordery I. (2000). Some hydrological effects of changing forest cover from eucalypts to *pinus radiata*. *Agricultural and forest meteorology* 100: 59 – 72.
- Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. 1ª. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 p.
- Sadeghi, S.M.M., Attarod P., and Pypker, T.G. (2015). Differences in rainfall interception during the growing and non-growing seasons in a *Fraxinus rotundifolia* Mill. Plantation located in a semiarid climate. *Journal of Agricultural Science and Technology* 17 (1):145-156.

- Sánchez, C.I. (2005). Fundamentos para el manejo integral del agua. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CENID-RASPA. Gómez Palacio, Dgo. México. Libro Científico Núm.2. 272 p
- Santiago, H.L. (2007). Medición y análisis de la intercepción de lluvia en un bosque de encino: Aplicación a la microcuenca La Barreta. Tesis de grado de Maestría en Líneas terminal recursos hídricos y ambiental, Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, Santiago de Querétaro, Querétaro. 124 p.
- Shaw, E.M. (1996). Hydrology in practice. Chapman & Hall, London, 569 p.
- Siegert, C.M., and Levia D.F. (2014). Seasonal and meteorological effects on differential stemflow funneling ratios for two deciduous tree species. *Journal of Hydrology* 519: 446–454.
- Steinbuck, E. (2002). The influence of tree morphology on stemflow in a redwood region secondgrowth forest. Thesis Master of Science in Geosciences. Faculty of California State University. 64 p.
- Ven, T.C., Maidment R.D., y Mays W.R. (1994). Hidrología aplicada. McGraw-Hill Interamericana, S.A., Colombia. 584 p.
- Velásquez, V. M. (2017). Comportamiento hidrológico de una pequeña cuenca de uso silvopastoril en el sureste de Coahuila. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 8(43), 143-164.
- Ward, R., y Robinson, M. (1989). Principles of Hydrology Third Edition, McGraw-Hill, London, 365 p.
- 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.