

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



**APOORTE DE NUTRIENTES VÍA PLUVIOLAVADO EN ESPECIES DE  
MATORRAL EN EL NORESTE DE MÉXICO**

**POR**

**ING. ERIK ORLANDO LUNA ROBLES**

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

**JULIO, 2018**

# APORTE DE NUTRIENTES VÍA PLUVIOLAVADO EN ESPECIES DE MATORRAL EN EL NORESTE DE MÉXICO

## Aprobación de Tesis



---

Director de Tesis: Dr. Israel Cantú Silva



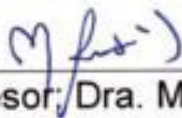
---

Asesor: Dr. Humberto González Rodríguez



---

Asesor: Dr. José Guadalupe Marmolejo Monsiváis



---

Asesor: Dra. María Inés Yáñez Díaz

Julio de 2018

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la ayuda económica brindada y hacer posible la realización del presente proyecto presentado en esta memoria de tesis.

A la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, institución que me ofreció la oportunidad, para realizar mis estudios de Maestría y de la cual siempre he recibido apoyo.

Al Dr. Israel Cantú Silva, estoy plenamente agradecido por todo el apoyo, amistad, consejos y enseñanzas brindados hacia mi persona.

Al Dr. Humberto González Rodríguez por su apoyo, aportaciones y sugerencias en la elaboración de mi investigación.

Al Dr. José Guadalupe Marmolejo Monsiváis por ser parte de mi comité y haber dedicado tiempo al desarrollo de esta investigación.

A la Dra. Ma. Inés Yáñez Díaz, por toda la ayuda brindada a lo largo de estos dos años, siendo una pieza fundamental en la elaboración de esta tesis. Por los consejos, amistad y sobre todo el tiempo dedicado, muchas gracias.

Al personal administrativo de la Facultad de Ciencias Forestales por su tiempo y disponibilidad.

## DEDICATORIA

*A Dios, porque ha estado conmigo en cada paso y tropiezo que he dado, cuidándome y dándome la fuerza para siempre continuar.*

*A mis padres, Jorge Eleno y Manuela porque creyeron en mí, impulsándome siempre con su apoyo y ejemplo de superación, todo esto es en gran parte gracias a los dos, son las personas que más admiro y amo por lo que han hecho por mis hermanos y yo.*

*A mis hermanos, Armando, Jorge Alexis y Katia, por todo su cariño y apoyo incondicional que me han ayudado y llevado hasta donde estoy ahora.*

*A mis abuelos, Daniel (†), Laura, Graciela y Eleno, gracias por estar siempre conmigo tanto en buenas como en las malas ofreciéndome su cariño y ejemplo.*

*A la Dra. Inés, Dr. Israel, Dra. Laura Sánchez y a la futura Doctora Silvia, por su apoyo en la realización de este proyecto de tesis, por su paciencia, amistad, consejos, ánimos y uno que otro regaño pero siempre impulsándome a ser mejor, inmensas gracias.*

*A todos mis amigos, sin excluir a ninguno, pero en especial a Edgar Flores (2D), Silvia, Mayela Liñán, José Manuel Martínez (Chema), Anahí y Lety Rivera, Lore Muñoz, Sergio (Changuis) y Enrique (Gato); en si a todo Cipactli, por su apoyo, enseñanzas y consejos, mil gracias.*

*A todos los profesores no solo de la Maestría sino de toda mi vida, porque de una forma u otra son parte de lo que soy al día de hoy.*

*“El que se olvida de donde viene, no sabe a dónde va....”*

*Autor desconocido.*

## Contenido

LISTA DE CUADROS .....	i
LISTA DE FIGURAS .....	ii
RESUMEN .....	iii
ABSTRACT .....	iv
1 INTRODUCCIÓN .....	1
2 ANTECEDENTES.....	3
2.1 Precipitación y vías de redistribución.....	3
2.1.1 Precipitación directa y escurrimiento fustal .....	3
2.1.2 Aporte nutrimental por Pd y Ef .....	5
2.2 Dinámica de los ecosistemas .....	6
2.3 Lixiviado de nutrientes .....	6
2.4 Vías de distribución de nutrientes.....	7
2.5 Composición química de la precipitación.....	8
2.6 Factores que modifican la química de la precipitación .....	9
2.7 Productividad del suelo.....	10
2.7.1 Nutrientes.....	10
2.7.2 Función de macronutrientes.....	11
2.7.2.1 Potasio.....	11
2.7.2.2 Calcio.....	12
2.7.2.3 Magnesio .....	12
2.7.3 Función de micronutrientes .....	13
2.7.3.1 Cobre.....	13
2.7.3.2 Hierro.....	14
2.7.3.3 Manganeso.....	14

2.7.3.4	Zinc.....	15
3	JUSTIFICACIÓN.....	16
4	HIPÓTESIS.....	17
5	OBJETIVOS.....	17
5.1	Objetivo general.....	17
5.2	Objetivos específicos.....	17
6	MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
6.1	Localización del área de estudio.....	18
6.1.1	Clima.....	18
6.1.2	Suelo.....	19
6.1.3	Vegetación.....	19
6.1.4	Hidrología.....	20
6.2	Descripción de las especies a evaluar.....	21
6.3	Identificación de las áreas de trabajo.....	23
6.3.1	Escurrimiento Fustal (Ef).....	23
6.3.2	Precipitación incidente (Pi).....	24
6.3.3	Precipitación directa (Pd).....	25
6.4	Análisis de pluvio lavado (pH y CE).....	25
6.5	Análisis de nutrientes.....	27
6.6	Concentración de nutrientes.....	28
6.7	Concentración neta de nutrientes.....	29
6.8	Calculo de incorporación y remoción de Nutrientes.....	29
6.9	Análisis Estadísticos.....	29
7	RESULTADOS.....	31
7.1	Volumen de la precipitación.....	31

7.2	Análisis del pluviolavado.....	33
7.2.1	pH.....	33
7.2.2	Conductividad eléctrica .....	35
7.3	Deposición total de nutrientes.....	38
7.3.1	Precipitación incidente .....	38
7.3.2	Precipitación directa.....	38
7.3.3	Escurrimiento fustal.....	41
7.3.4	Concentración neta de nutrientes.....	42
7.4	Incorporación o remoción de nutrientes.....	43
7.5	Comparación de contenido de nutrientes entre vías de precipitación..	47
8	DISCUSIÓN.....	51
9	CONCLUSIONES .....	56
10	BIBLIOGRAFÍA.....	58

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de nutrientes .....	11
Cuadro 2. Estadísticos descriptivos del pH para Pd y Pi .....	34
Cuadro 3. Estadísticos descriptivos del pH del Ef y Pi.....	35
Cuadro 4. Estadísticos descriptivos de la CE de la Pd y Pi. ....	36
Cuadro 5. Estadísticos descriptivos de la CE de Ef y Pi .....	37
Cuadro 6. Aporte de nutrientes vía precipitación incidente (Pi). ....	38
Cuadro 7. Aporte de micronutrientes vía Pd ( $\text{g ha}^{-1}$ año-1).....	39
Cuadro 8. Aporte de macronutrientes en Pd ( $\text{kg ha}^{-1}$ año-1).....	40
Cuadro 9. Aporte de micronutrientes vía Ef ( $\text{g ha}^{-1}$ año-1).....	41
Cuadro 10. Aporte de macronutrientes vía Ef ( $\text{g ha}^{-1}$ año-1).....	42
Cuadro 11. Concentración neta de micronutrientes en $\text{g ha}^{-1}$ . ....	42
Cuadro 12. Concentración neta de micronutrientes en $\text{kg ha}^{-1}$ . ....	43
Cuadro 13. Incorporación/Remoción de K. ....	44
Cuadro 14. Incorporación/Remoción de Mg. ....	45
Cuadro 15. Incorporación/ Remoción de Ca .....	45
Cuadro 16. Incorporación/Remoción de Mn. ....	45
Cuadro 17. Incorporación/ Remoción de Cu. ....	46
Cuadro 18. Incorporación/Remoción de Zn. ....	46
Cuadro 19. Incorporación/ Remoción de Fe .....	47
Cuadro 20. Valores p de la Prueba de Kruskal-Wallis para detectar diferencias en Pd entre las coberturas evaluadas (Valores en negritas señalan la existencia de diferencias de deposición en las coberturas, $P < 0.05$ ).....	48
Cuadro 21. Prueba de Kruskal-Wallis para Ef (Valores en negritas señalan la existencia de diferencias de deposición en las coberturas, $P < 0.05$ ). ....	49



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vías de redistribución de la precipitación. Santiago, L. (2007). .....	4
Figura 2. Área de estudio, Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L. Campus Linares .....	18
Figura 3. Diagrama ombrotérmico del área de estudio. Fuente: Saucedo (2011). .....	19
Figura 4. Canaleta en forma de espiral para interceptar el escurrimiento fustal.....	24
Figura 5. Modelo de canaleta para interceptar $P_i$ y $P_d$ . .....	25
Figura 6. Ejemplo de parcela para colecta de $P_d$ en Acacia farnesiana.....	25
Figura 7. Colecta de muestra y medición de volumen total de evento.....	26
Figura 8. Determinación de pH, CE, filtrado y almacenamiento de muestras.....	27
Figura 9. Determinación de micro y macronutrientes empleando el espectrofotómetro Varían, modelo SpectrAA-200.....	28
Figura 10. Registro de la precipitación incidente. ....	32
Figura 11. Comportamiento de pH en $P_d$ y $P_i$ . ....	34
Figura 12. Comportamiento del pH para $E_f$ y $P_i$ .....	35
Figura 13. Comportamiento de la conductividad eléctrica en precipitación directa ( $P_d$ ) y precipitación incidente ( $P_i$ ) .....	36
Figura 14. Comportamiento de CE en $E_f$ y $P_i$ .....	37
Figura 15. Aporte de micronutrientes en $P_d$ y $P_i$ .....	39
Figura 16. Aporte de macronutrientes en $P_d$ y $P_i$ .....	41

## RESUMEN

La precipitación es uno de los factores de mayor relevancia en cuestión de aporte de nutrientes a los ecosistemas. En algunos, casos mediante la pluviosidad pueden agregarse elementos que por las condiciones del área no se encuentran disponibles. El objetivo de la presente investigación es caracterizar la composición química existente en el escurrimiento fustal, precipitación incidente (bruta) y la precipitación directa que pasa a través del dosel; teniendo como sujetos de muestra a las siguientes especies; *Acacia farnesiana*, *Condalia hookeri*, *Leucaena leucocephala*, *Casimiroa greggii* y el Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET). Se analizaron las concentraciones de micronutrientes (Zn, Fe, Mn y Cu) y macronutrientes (Ca, Mg y K) en un total de 41 eventos registrados en el periodo de septiembre de 2016 a septiembre de 2017, así mismo, se ha evaluado las concentraciones de nutrientes que son incorporados o removidos en el dosel, tomando también los registros del potencial de hidrógeno (pH) y la conductividad eléctrica (CE) por evento ocurrido. Los totales de concentración neta mostraron que el hierro es el micronutriente que más se acumuló en los 41 eventos con  $2936.6 \text{ g ha}^{-1}$  de los cuales, *Condalia hookeri* ( $915.58 \text{ g ha}^{-1}$ ) presentó la mayor concentración, mientras que el macronutriente con mayor presencia fue el calcio ( $319.31 \text{ kg ha}^{-1}$ ) siendo *Acacia farnesiana* ( $72.350 \text{ kg ha}^{-1}$ ) la especie que logró mayor deposición. *Acacia farnesiana* y *Condalia hookeri* lograron incrementar las concentraciones de 5 de los 7 nutrientes analizados (K, Mg, Fe, Cu y Zn) en el paso del agua de lluvia por sus estructuras arbóreas. La comparación de medias (Kruskal Wallis) presentó en la mayoría de los eventos una diferencia significativa de deposición de nutrientes entre las vías de redistribución de la precipitación.

## ABSTRACT

The precipitation is one of the most relevant factors in terms of nutrient supply to ecosystems. In some cases, due to rainfall, elements can be added that are not available due to the conditions of the area. The aim of this research is to characterize the chemistry composition in stemflow, precipitation incident (gross) and the direct precipitation passing through the canopy; as subjects having shown the following species; *Acacia farnesiana*, *Condalia hookeri*, *Leucaena leucocephala*, *Casimiroa greggii* and the Tamaulipan thornscrub. The concentrations of micronutrients (Zn, Fe, Mn and Cu) and macronutrients (Ca, Mg and K) were analyzed in a total of 41 events registered in the period from September 2016 to September 2017, as well as the nutrient concentrations that have been incorporated or removed in the canopy have been analyzed. Recording also the hydrogen potential (pH) and the electrical conductivity (EC) by the event occurred. The net concentration showed that iron is the micronutrient that accumulated the most in the 41 events with 2936.6 g ha<sup>-1</sup> of which, *Condalia hookeri* (915.58 g ha<sup>-1</sup>) had the highest concentration, while the most important macronutrient was calcium (319.31 kg ha<sup>-1</sup>) being *Acacia farnesiana* (72.35 kg ha<sup>-1</sup>). *Acacia farnesiana* and *Condalia hookeri* managed to increase the concentrations of 5 of the 7 nutrients analyzed (K, Mg, Fe, Cu and Zn) in the passage of rainwater through tree structures. The comparison of means (Kruskal Wallis) presented in most events a significant difference in nutrient deposition between redistribution pathways of precipitation.

# 1 INTRODUCCIÓN

La fuente principal de agua para un bioma terrestre es la precipitación, tanto su cantidad anual como su distribución a lo largo del año determinan los patrones fenológicos y productivos del ecosistema. El patrón de humedad atmosférica, aunque de menor magnitud en términos de lo que representa la cantidad de agua que aporta al sistema, este juega un papel relevante al controlar las tasas y demandas de evapotranspiración por parte de la vegetación.

Los cambios en la cobertura vegetal conducen a modificaciones en los componentes de los balances de radiación solar y de energía, hídrico y de nutrientes (Bruijnzeel, 1990). En los ecosistemas terrestres y especialmente los situados en las regiones húmedas, los flujos de nutrientes (potasio, calcio, magnesio, entre otros) y su reciclaje, están íntimamente ligados a la redistribución de la lluvia dentro de ellos (Likens & Bormann, 1995).

El crecimiento de rodales puros, como las plantaciones forestales, se encuentra limitado por la disponibilidad de nutrientes, los cuales pueden afectar el crecimiento de los árboles si se presenta un exceso o déficit de los mismos (Binkley, 1993; Campo, 2003). En este tipo de ambientes, la exportación de nutrientes generada por la remoción de materia orgánica y la biomasa puede superar las reservas de estos ecosistemas, poniendo en juego la sostenibilidad nutricional de las plantaciones (Gómez & de Anta, 2005).

La dinámica de los nutrientes en los ecosistemas se encuentra íntimamente relacionada con el ciclo hídrico en lo referente a lavado de nutrientes (McDowell, 1998); la presencia de eventos ácidos puede influir en el tipo de elementos que se movilizan del dosel (HouBao et al., 1999) o bien, el paso del agua a través de las hojas y ramas puede remover cantidades importantes de cationes básicos; sin obviar la relación existente en muchos casos de la disminución de concentración de nutrientes conforme aumenta el volumen del agua (Xue, 1996; McDowell, 1998; Filoso et al., 1999;).

Parte de la precipitación total en un ecosistema es retenida por las copas y fuste de los árboles (interceptación del dosel), y es reintegrada a la atmósfera mediante la evaporación. Del total de agua que alcanza la superficie del suelo, una fracción proviene del goteo de las hojas o directamente a través del dosel (precipitación directa); el resto llega al suelo fluyendo por la superficie de los fustes (escurrimiento fustal) (Ward & Robinson, 1990; Huber & Oyarzun, 1992; Hanchi & Rapp, 1997). De la lluvia directa (aquella que alcanza la superficie del suelo), una parte se evapora, una proporción corre superficialmente (escorrentía), otra es retenida por el suelo (humedad del suelo) o pasa a través del perfil del suelo (percolación) (Jaramillo, 1999). Por tanto, la parte aérea de la vegetación tiene la propiedad de actuar como barrera capaz de interceptar las precipitaciones, influyendo en su efecto y distribución bajo el área de cobertura (Mateos & Schnabel, 1998).

El movimiento de nutrientes es uno de los aspectos claves en la dinámica de los ecosistemas terrestres y forma parte integrante en la evolución de los sistemas ecológicos, ya sea en condiciones naturales, o bien, sometidos a perturbaciones artificiales (Santa Regina & Gallardo, 1989). Los ciclos de los elementos químicos en los ecosistemas, se pueden clasificar en tres tipos: ciclos geoquímicos, cuando los intercambios se realizan entre los ecosistemas; ciclos biogeoquímicos, cuando se realizan dentro de los ecosistemas y ciclos bioquímicos, cuando la redistribución de los elementos ocurre dentro de los organismos individuales (Jaramillo, 2002 y Kimmis, 2003).

Los nutrientes en plantas han sido clasificados como macronutrientes y micronutrientes. Los macronutrientes se encuentran y son necesarios para las plantas en relativamente más altas cantidades que los micronutrientes. El contenido del macronutriente en el tejido de la planta es generalmente miles de veces más grande que un micronutriente. Usando esta clasificación, basada sobre el contenido del elemento en el material de la planta, los siguientes elementos pueden ser definidos como macronutrientes: C, H, O, N, S, P, K, Ca, y Mg. Los micronutrientes son: Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B y Cl (Mengel y Kirkby, 1982).

## **2 ANTECEDENTES**

### **2.1 Precipitación y vías de redistribución**

El agua representa el flujo más grande de cualquier sustancia en un ecosistema (Waring & Schlesinger, 1985); no obstante, para algunos lugares, principalmente en regiones desérticas y semidesérticas, este recurso constituye uno de los factores limitantes más importantes, ya que determina el desarrollo y patrones de distribución de las comunidades vegetales (Pigott & Pigott, 1993).

La precipitación es la principal vía de ingreso de agua en los ecosistemas terrestres (Escobar & Maass, 2008). La precipitación se refiere a alguna forma de depósito de agua sólida o líquida proveniente de la atmósfera, incluye la lluvia, la nieve, el granizo, el rocío y la neblina. La lluvia como tal, se refiere a depósito de agua líquida. Según Cavelier y Vargas (2002), el agua de las lluvias se obtiene de la condensación del agua que se evapora de la superficie (de océanos y continentes) y del agua que transpiran las plantas, formando las nubes, en donde y de acuerdo a la temperatura, las gotas de agua o cristales crecen hasta que por su peso y la acción de la gravedad, se precipitan a la superficie del suelo (Jaramillo, 2003).

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 (Yáñez, 2013).

#### **2.1.1 Precipitación directa y escurrimiento fustal**

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 (Figura 1), una mediante los claros de los árboles o por goteo de las hojas y ramas llamada precipitación directa ( $P_d$ ), la otra vía es mediante el escurrimiento por el tronco de los árboles, llamada escurrimiento fustal ( $E_f$ ) (Cantú & González, 2005; Huber et al., 1985; Pizarro et al., 2008).

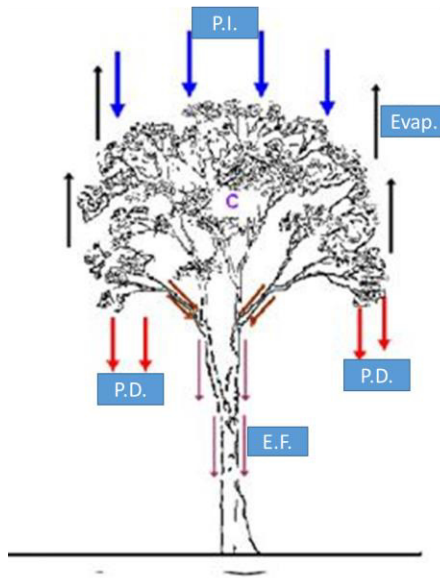


Figura 1. Vías de redistribución de la precipitación. Santiago, L. (2007).

Tobón (1999), definió la precipitación neta como la suma de la proporción de la precipitación que pasa 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. Estos dos flujos son de gran importancia en la cuantificación del balance de nutrientes en los ecosistemas. Sin embargo, existen diferencias tanto en cantidad de agua como en la concentración de nutrientes entre estos dos flujos. De acuerdo con varios autores, el escurrimiento a través de los troncos de los árboles es el flujo de menor contribución en términos de cantidad de agua, pero de mayor concentración de nutrientes (Parker, 1983; Veneklaas, 1990; Tobón et al., 2000), asimismo, el flujo de nutrientes en la lluvia neta es mayor en los sistemas con doseles más cerrados (Tobón et al., 2000; Schroth et al., 2001).

La concentración de algunos elementos puede aumentar en la lluvia neta debido a que al evaporarse el agua, algunos elementos quedan en la superficie de las hojas y son posteriormente lavados por el agua de la lluvia (Li et al., 1997). La medición de la precipitación neta es uno de los componentes del ciclo hidrológico que ha tenido mayor atención debido a los resultados de alta variabilidad espacial y temporal en los diversos estudios realizados. Dicha variabilidad, se ha atribuido

a las diferencias climáticas, de vegetación y de procedimientos para su medición (Bruijnzeel, 1990).

La movilización de nutrientes desde las diferentes partes de la planta al suelo con el paso de la precipitación a través del dosel, se convierte en una forma de transferir adicionalmente elementos directamente a la mezcla de nutrientes disponibles sin la intervención de ningún proceso de descomposición (Eaton et al. 1973).

Por tanto, la cubierta vegetal tiene influencia no solo en la cantidad, sino en la calidad química del agua, dado que esta imprime una variación marcada diferente a la deposición global (Miller, 1963). Entre las posibles causas que producen el cambio de calidad, se encuentran procesos como la lixiviación o la translocación, así como las distintas deposiciones sobre la superficie de la masa forestal ya sea mediante las gotas de lluvia o las partículas secas de polvo o aerosoles (Galloway, 1979).

Otros autores como Miller (1963) y Carlisle et al. (1967), hacen referencia a que los cambios en la composición química obedecen a procesos de crecimiento y absorción foliar. Cambios que implican fenómenos de arrastre y de absorción (Zinke, 1962; Miller, 1963; Tukey, 1970; Lin et al., 2000).

### **2.1.2 Aporte nutrimental por Pd y Ef**

El escurrimiento fustal (Ef) reúne la precipitación en un área muy pequeña (Watters y Price, 1988) y se infiltra por la interface raíz-suelo alcanzando capas más profundas, almacenándose en el entorno de las raíces (Martínez-Meza, 1996; Dunkerley, 1999). De esta forma las plantas tienen un recurso importante de agua y nutrientes (Tromble, 1988; de Soyza et al., 2002). Carlyle-Moses (2004), afirma que esta redistribución de la precipitación puede tener mucha importancia para las plantas de clima semiárido.

Por otra parte, el agua de la precipitación directa (Pd) durante su tránsito por la copa, se concentra de minerales, especialmente en climas semiáridos donde la escasez de precipitaciones, la existencia de suelo desnudo y el viento, favorecen



la retención de polvo en la copa. Este enriquecimiento cambia la química del agua y constituye un aporte de minerales al suelo (Domingo et al., 1994).

## **2.2 Dinámica de los ecosistemas**

Las interrelaciones entre la nutrición mineral y la hidrología son numerosas y por esto el estudio de los movimientos del agua y los nutrientes son vitales para la comprensión de la dinámica de los ecosistemas naturales y transformados (Parker, 1983; Fassbender, 1987; O'connell & Sankaran, 1997; Proctor, 2005). Además, del ciclo de nutrientes dependen otras funciones del ecosistema como la fotosíntesis y la respiración. Por tanto, pérdidas de nutrientes en el sistema, interrupción en los procesos de ciclaje y captura de nutrientes o desequilibrio en el estado nutricional están asociados con declinaciones en la productividad y estabilidad de los ecosistemas (Nilsson et al., 1995).

Teniendo en cuenta la importancia del agua dentro del ciclo de nutrientes, al considerarse como un decisivo medio en la transferencia de elementos hacia, a través y desde el ecosistema, se expone en forma breve el movimiento del agua en los ecosistemas, los procesos involucrados en el ciclo de nutrientes y los compartimientos reservorios de agua y nutrientes.

El ciclo de nutrientes al ser considerado como un sistema abierto que ocurre en todos los ecosistemas, está conformado por entradas o ganancias, salidas o pérdidas, compartimientos (reservorios de nutrientes), mecanismos de conservación de los nutrientes y procesos (flujos) que intervienen en el transporte u obtención de los elementos, siendo la hidrología un proceso importante en todo el proceso (Arroyave, 2012).

## **2.3 Lixiviado de nutrientes**

Una vez que el agua de lluvia fluye a través de la cubierta forestal, su cantidad así como su composición química sufren alteraciones (Santa Regina et al. 1989; Potter 1991). Las alteraciones químicas se deben principalmente a dos factores: el primero, es el lavado de los elementos depositados en seco sobre el follaje y

el segundo, a los cambios que se producen en el dosel arbóreo a través de la lixiviación de nutrientes desde el follaje y/o la absorción directa por la copa, de los iones presentes en el agua de lluvia (Potter et al., 1991). La lixiviación como un mecanismo de retorno de nutrientes al suelo forestal se efectúa exclusivamente en solución acuosa. Es un proceso importante, principalmente para los elementos con alta solubilidad, pudiendo con el aumento del nivel de acidez de las lluvias influenciar en una mayor lixiviación, principalmente de cationes (McCune & Boyce, 1992).

En este sentido, 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 asimilables, siendo rápidamente absorbidos por las raíces (Andrade et al., 1995).

## **2.4 Vías de distribución de nutrientes**

Entre las vías de entrada de nutrientes a los ecosistemas se encuentra la precipitación, el polvo atmosférico, la absorción directa de gases por la vegetación, la meteorización de las rocas, la descomposición de la materia orgánica, la fijación simbiótica o asimbiótica del nitrógeno atmosférico, la acumulación de aerosoles sobre la vegetación, la inmovilización y la adición de fertilizantes (Arroyave, 2012). Las pérdidas o salidas de los nutrientes incluyen lixiviación, erosión, cosecha de árboles y productos no maderables, pérdida por gases (durante las quemadas), volatilización, desnitrificación y drenaje. Como reservorios de nutrientes se consideran los tallos, hojas, raíces, animales, residuos vegetales, la fauna del suelo, las partes de la vegetación que mueren y se convierten en hojarasca y los nutrientes que se encuentran disponibles en forma mineral, entre los cuales se dan flujos de intercambio constantes (Price, 1982; Jordan, 1985; Vitousek & Sanford, 1986; Fölster & Khanna, 1997; Montagnini & Jordan, 2002).

## 2.5 Composición química de la precipitación

El estudio de la química de la precipitación es de interés para resolver diversos problemas ambientales que afectan a la gestión de los ecosistemas terrestres. El conocimiento de su composición ayuda en cierto modo a determinar porcentajes de acumulación de nutrientes, evaluar grados de contaminación atmosférica e igualmente contribuye al estudio de la capacidad corrosiva del agua de lluvia (Tamm & Cowling, 1977).

Como indica Meszaros (1981), la atmósfera es una reserva de gases que va cambiando su composición a lo largo del tiempo. Cada componente tiene un tiempo de residencia propio, por tanto, algunos de estos permanecen durante eras geológicas, sin embargo, otros no lo hacen. Fassina (1980), mostró ejemplos de procesos de cambio en la composición química de la atmósfera con base a material particulado recibido continuamente.

De acuerdo a Romero (2007), el estudio de la composición química del agua de lluvia tiene sus orígenes en la década de los 50's cuando Eriksson (1953) y Junge y Werby (1958), investigaron sobre los efectos de las precipitaciones ácidas en los ecosistemas. Estos autores observaron que el origen de los daños en el medio natural estaba ocasionado por emisiones de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>. En los últimos años, la mayor información ha sido reunida en Norte-América, centro y norte de Europa, y en otras zonas del mundo (Galloway, Likens & Edgerton, 1976; Granat, 1978).

Además, el estudio de los elementos químicos ha suscrito gran interés por dos motivos principales: 1) la precipitación se constituye en una vía de entrada de nutrientes relevantes en todo ciclo biogeoquímico de los ecosistemas terrestres y acuáticos (Likens et al., 1995; Hedin, Armesto & Johnson, 1995), y 2) La lluvia ácida provoca graves efectos sobre los biomas acuáticos y terrestres.

Arroyave (2012), caracterizó y cuantificó las variables hidrológicas (precipitación total, neta, escorrentía, flujo a través de la hojarasca y flujos a 15 y 30 cm) y los nutrientes solubles (K, Ca, Mg y P) en estas mismas variables entre los meses de octubre de 2006 y mayo de 2007, en tres agrosistemas forestales con café

(*Cordia alliodora*, *Eucalyptus grandis* y *Pinus oocarpa*) y uno a libre exposición en Colombia, con el objetivo principal de comprender cómo se distribuye y maneja el agua y los nutrientes en estos sistemas productivos

En México, Cantú y González (2001), evaluaron las pérdidas por intercepción además de cuantificar la deposición de nutrientes en *Pinus pseudostrobus* Lind., *Quercus* spp. y en un bosque mixto (Pino-Encino) por medio del flujo de la precipitación directa y el flujo del agua de lluvia sobre los fustes de los árboles.

Béjar (2017), caracterizó el comportamiento de la deposición e incorporación de macro y micronutrientes del estrato arbóreo de *Pinus cooperi* C.E. Blanco, bajo las diferentes vías de redistribución de lluvia y escurrimiento fustal en “El Salto”, Durango.

## **2.6 Factores que modifican la química de la precipitación**

El contenido soluble y particulado de la precipitación dependen de la existencia de varios factores tales como las fuentes de emisión en el recorrido de masas de aire, cantidad de lluvia, capacidad de las gotas para arrastrar ese material particulado, etc. La atmósfera contiene gases y partículas de origen natural o antrópico que, tras un tiempo de residencia se depositan en la superficie terrestre por medio de la lluvia bien sea seca o húmeda. La acidez de la lluvia depende de aportes provenientes de emisión de combustiones de hidrocarburos, procesos industriales, reacciones en el motor de combustión de vehículos (Romero, 2007). Las sustancias alcalinas neutralizantes pueden tener un origen antrópico, debido a actividades como las fábricas de cemento o centrales térmicas (Semb et al., 1995), pero la procedencia de fuentes naturales por como el polvo edáfico es muy superior en zonas áridas (Chester, 1996). Este material es transportado a grandes distancias por los vientos alisios hacia el Atlántico Norte (Prospero, 1996), América Central y del Caribe (Prospero et al., 1987) y América del Sur (Swap et al., 1992).

## **2.7 Productividad del suelo**

La productividad del suelo es la capacidad que muestra éste para producir cultivos. La fertilidad en un suelo es una característica necesaria para que éste sea productivo, sin embargo, el hecho de que un suelo sea fértil no asegura que sea productivo. Se dice que un suelo es fértil si contiene y es capaz de proporcionarle a las raíces de las plantas cantidades adecuadas de nutrientes, agua y aire necesarios para que éstas crezcan y finalmente se logre una buena producción. Cuando un suelo es fértil, su profundidad y estructura son adecuadas para brindarle a las plantas un ambiente óptimo para su desarrollo. Estas condiciones se mantendrán durante un largo periodo aun cuando se presenten condiciones climáticas y de vegetación adversas si es que el suelo es bueno (Morales, 2002).

### **2.7.1 Nutrientes**

Para asegurarse de que las plantas mantienen un crecimiento sano, es necesario que el suelo contenga un amplio rango de nutrientes. También es importante que tales nutrientes se mantengan balanceados en el suelo para poder satisfacer las necesidades individuales de cada cultivo, ya que éstos absorben los elementos nutritivos que el suelo les brinda en ciertas proporciones (Morales, 2002).

Existen tres criterios por los cuales un elemento es considerado esencial para las plantas, estos son (Salisbury & Ross, 1992; Marschner, 1998):

- Un elemento es esencial si una planta no puede completar su ciclo de vida en ausencia de tal elemento.
- Un elemento es esencial si la función de este elemento no puede ser reemplazado por otro elemento mineral.
- Un elemento es esencial si forma parte de cualquier molécula o constituyente de la planta, que es en sí mismo esencial para ésta, como por ejemplo el nitrógeno en las proteínas o el magnesio en la clorofila.

Los nutrientes del suelo se clasifican en macronutrientes y micronutrientes, según las necesidades de cantidad que las plantas requieren para su desarrollo. En el cuadro 1 se muestran los principales elementos según su clasificación.

Cuadro 1. Clasificación de nutrientes

<b>MACRONUTRIENTES</b>	<b>MICRONUTRIENTES</b>
<b>AZUFRE (S)</b>	Manganeso (Mn)
<b>CALCIO (CA)</b>	Zinc (Zn)
<b>MAGNESIO (MN)</b>	Cobre (Cu)
<b>FÓSFORO (P)</b>	Hierro (Fe)
<b>POTASIO (K)</b>	Boro (B)
<b>NITROGENO (N)</b>	Molibdeno (Mo)
<b>CARBONO (C)</b>	Cloro (Cl)
<b>HIDROGENO (H)</b>	Sodio (Na)
<b>OXIGENO (O)</b>	

### **2.7.2 Función de macronutrientes**

Los elementos esenciales para las plantas son 17 incluyendo O, H y C provenientes de H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> y aire, los demás corresponden a los nutrientes minerales, los cuales, según la cantidad absorbida por la planta, se clasifican en macronutrientes y micronutrientes. Los macronutrientes encuentran en el tejido de las plantas en concentraciones superiores (Rodríguez y Flórez, 2004).

#### **2.7.2.1 Potasio**

El potasio es un catión univalente (K) y junto con el nitrógeno (N) son absorbidos en grandes cantidades por las plantas (Guerrero, 1993). La mayor parte del potasio absorbido depende de la difusión del elemento y de otros factores, como contenidos muy altos de calcio y magnesio, los cuales disminuyen la absorción del potasio (León, 1994). Este nutriente mineral es el más abundante en el citoplasma, y su importancia fisiológica radica en el papel que juega en el metabolismo de los carbohidratos y las proteínas. Por otra parte, contribuye a la economía del agua porque regula la apertura estomatal, importante para la absorción de CO<sub>2</sub> y el control de la transpiración (Taiz & Zeiger, 1998; Azcon &

Talón, 2001). Así mismo, aumenta la velocidad de reacción en más de 50 enzimas y, en algunos casos, aumenta la afinidad por el sustrato (Marschner, 1998). Entre las enzimas sobre las cuales actúa el potasio, se encuentra la piruvato quinasa, enzima esencial en la respiración y en el metabolismo de los carbohidratos. En plantas deficientes de potasio hay disminución en los niveles de almidón y aumento de compuestos nitrogenados solubles. La deficiencia de este nutriente produce un estancamiento en el desarrollo de la planta (Rodríguez y Flórez, 2004).

### **2.7.2.2 Calcio**

El calcio (Ca) es un elemento esencial porque interviene en la estabilidad de la membrana plasmática y en la integridad de la célula, ya que es componente básico de la lámina media de la pared celular, en forma de pectatos de calcio. Estos pectatos le confieren consistencia y cierto grado de rigidez a la pared celular. Igualmente, preserva la estructura de las membranas celulares al regular su permeabilidad. La presencia de pectatos de calcio en las paredes celulares protege los tejidos contra el ataque de hongos. Por otra parte, es un elemento importante en el crecimiento del tubo polínico (Marschner, 1998). La deficiencia de este elemento impide el desarrollo de la planta, ya que los tejidos meristemáticos de la parte aérea y de la raíz se afectan por división celular incompleta. Como consecuencia, las hojas y las raíces nuevas se desarrollan con deformaciones (Rodríguez y Flórez, 2004).

### **2.7.2.3 Magnesio**

El magnesio (Mg) es absorbido por las plantas como un catión divalente (Mg), su absorción puede ser afectada por relaciones altas de Ca/Mg, en cuyo caso las plantas absorben menos magnesio. La deficiencia de magnesio puede acentuarse con dosis altas de potasio (Lora, 1994). El magnesio tiene funciones importantes dentro de la planta: es el átomo central de la molécula de la clorofila, interviene en la síntesis de proteínas, en el metabolismo del fósforo, en la respiración y en la activación de varios sistemas enzimáticos en las plantas. Entre

estos sistemas se tiene la fructosa 1,6 difosfatasa, la cual regula la síntesis de almidón (Marschner, 1998). La deficiencia de magnesio se caracteriza por una clorosis de las hojas bajas.

### **2.7.3 Función de micronutrientes**

Siete de los nutrientes esenciales para las plantas se denominan micronutrientes y, en general, son los elementos por excelencia catalíticos, ya que son esenciales en las reacciones redox a nivel biológico. Los micro elementos aceptados como esenciales son: B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn. Estos elementos son tan importantes para la planta como los macronutrientes, a pesar que son requeridos en concentraciones menores (Rodríguez y Flórez, 2004).

#### **2.7.3.1 Cobre**

El cobre (Cu) es un catión divalente que junto con el hierro y el manganeso interviene en la síntesis de la clorofila. Forma parte de numerosas enzimas, entre las cuales se destacan las siguientes (Marschner, 1998): 1) plastocianina, la cual tiene por función la transferencia de electrones en el fotosistema I. En general, más del 50% del cobre localizado en los cloroplastos está ligado a la plastocianina; 2) citocromo oxidasa, actúa en el transporte de electrones en las mitocondrias y, por tanto, en los ciclos respiratorios; y 3) polifenol oxidasas, involucradas en la biosíntesis de lignina y alcaloides y en la formación de sustancias melanóticas, que actúan como fitoalexinas inhibiendo la germinación de esporas y el crecimiento de hongos.

En condiciones de deficiencia, la disminución en la actividad de las enzimas es drástica y está correlacionada con la acumulación de fenoles y el decrecimiento de formación de sustancias melanóticas. En las plantas deficientes de cobre se presenta marchitamiento en las hojas jóvenes, lo cual resulta de dificultades en el transporte del agua, debido a una insuficiente lignificación en las células del xilema (Rodríguez y Flórez, 2004). Es importante en la fotosíntesis, por lo que su deficiencia repercute en bajas tasas fotosintéticas y, por tanto, bajos niveles de carbohidratos (Marschner, 1998).



### **2.7.3.2 Hierro**

Las formas de hierro (Fe) más comunes en el suelo y en las soluciones nutritivas son los quelatos de  $\text{Fe}^{3+}$  y de  $\text{Fe}^{2+}$ . Sin embargo, la forma catiónica que es absorbida significativamente por las raíces es  $\text{Fe}^{2+}$ , mientras que, el hierro en forma  $\text{Fe}^{3+}$  necesita ser reducido en la superficie de las raíces antes de ser transportado al citoplasma (Welch, 1995). Es un elemento asociado con el desarrollo de los cloroplastos, la síntesis de ferredoxina y la de clorofila. La ferredoxina actúa en varios procesos metabólicos como la fotosíntesis y la reducción del nitrógeno. En condiciones de crecimiento controladas, aproximadamente el 80% del hierro está localizado en los cloroplastos de hojas de rápido desarrollo, lo cual evidencia la importancia del hierro en la fotosíntesis. La deficiencia de hierro puede tener varias causas: 1) Por un desbalance con otros elementos, como el exceso de fósforo y los altos niveles de bicarbonato; 2) En pH básico, porque el hierro forma compuestos insolubles no disponibles para las plantas (Estrada, 1997); y 3). En suelos ácidos, el aluminio soluble es más abundante y restringe la absorción del hierro (Salisbury y Ross, 1992). La deficiencia de hierro se caracteriza porque las plantas desarrollan una clorosis intervenal pronunciada. Debido a que este elemento es poco móvil dentro de la planta, los síntomas de deficiencia aparecen en las hojas jóvenes de la parte superior de la misma (Rodríguez y Flórez, 2004).

### **2.7.3.3 Manganeso**

El manganeso (Mn) es importante en el proceso fotosintético, ya que junto con el cloro, participa en la fotólisis del agua. Por otra parte, la presencia de este elemento en el fotosistema II favorece la fotofosforilación, la reducción del  $\text{CO}_2$ , y la reducción del nitrito y del sulfato. Además, parece ser constituyente estructural de los ribosomas. Por tal razón, su deficiencia podría ocasionar una fuerte reducción de la tasa fotosintética. Aunque la deficiencia de este elemento no es común, es importante tener en cuenta que este es un elemento poco móvil en la planta y su deficiencia se manifiesta primero en las hojas jóvenes. Al

respecto, se ha identificado una sintomatología foliar para monocotiledóneas y dicotiledóneas. En monocotiledóneas, las deficiencias aparecen en forma de puntos de color gris verdoso. Mientras que, en dicotiledóneas, se manifiesta por la presencia de puntos amarillos en las hojas jóvenes (Rodríguez y Flórez, 2004). En fases avanzadas, únicamente las nervaduras y las zonas adyacentes se mantienen verdes (Marschner, 1998). La presencia de carbonatos y altos contenidos de fósforo disminuyen la disponibilidad de este micronutriente. Así mismo, un desbalance a favor del Fe, Cu y Zn disminuyen la toma de este elemento por parte de la planta (Lora, 1994).

#### **2.7.3.4 Zinc**

Este es un elemento transportado vía xilema y relativamente poco móvil en el interior de la planta. El zinc (Zn) es importante, porque es constituyente de la enzima anhidrasa carbónica, que cataliza la formación de ácido carbónico a partir de CO<sub>2</sub> y agua. Esta enzima está localizada tanto en los cloroplastos como en el citoplasma. Por otra parte, este micronutriente se requiere para el mantenimiento de las bio-membranas, donde forma complejos con grupos fosfolípidos y sulfidrilos, protegiendo los lípidos de membrana y proteínas frente a daños oxidativos, por lo tanto, su deficiencia ocasiona un aumento en la permeabilidad de las membranas (Rodríguez y Flórez, 2004).

La disponibilidad de este nutriente aumenta con la disminución del pH y la presencia de sulfato. Mientras que su disponibilidad disminuye a pH básico. Otros factores como la interacción con cobre, hierro, manganeso y suelos con alta disponibilidad de fósforo reducen la absorción de zinc (Lora, 1994).

### **3 JUSTIFICACIÓN**

El estudio de la composición nutrimental vía pluviolavado dentro de este tipo de vegetación compuesta por especies de Matorral xerófilo y Bosque espinoso es de suma importancia para poder entender problemas ambientales, que de una u otra manera repercuten en el manejo de los mismos.

El Noreste de México se caracteriza por su vegetación predominantemente por matorral, el cual se encuentra expuesto a sufrir variedad de disturbios tanto de origen natural como antropogénicos como pérdida de cobertura vegetal, desertificación, incendios, sequías y cambios de uso de suelo los cuales afectan en la dinámica de los suelos como; el nivel de nutrientes en el suelo, productividad, actividad biológica, hidrología, materia orgánica, microclima entre otros aspectos.

En la presente investigación se generará información acerca de los beneficios que ofrecen la precipitación y la vegetación arbórea en la reciclaje y recarga de los nutrientes a los suelos dentro del matorral. Y en este sentido, poder así ofrecer las herramientas y conocimientos técnicos necesarios para poder proponer un manejo sustentable de los recursos suelo, agua y vegetación.

## 4 HIPÓTESIS

**Hi =** En las vías de redistribución de la lluvia, existen diferencias de aporte de nutrientes entre especies.

## 5 OBJETIVOS

### 5.1 Objetivo general

Analizar la deposición de micro y macro nutrientes presentes en la precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento fustal, en especies de matorral en el Noreste de México.

### 5.2 Objetivos específicos

- Cuantificar la concentración total de nutrientes en cada una de las vías en las que se redistribuye la precipitación para *Acacia farnesiana*, *Condalia hookeri*, *Leucaena leucocephala*, *Casimiroa greggii* y Matorral Espinoso Tamaulipeco.
- Determinar las concentraciones de nutrientes que se incorporan o remueven en el estrato arbóreo.
- Realizar una comparación entre las concentraciones de nutrientes en las diferentes especies y vías de deposición.

## 6 MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Localización del área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en el campus que se encuentra ubicado dentro de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, misma que se localiza a 8 km al sur de la ciudad de Linares, Nuevo León, con coordenadas geográficas de latitud norte igual a 24° 47' y longitud oeste de 99° 32'; y con una elevación de 350 metros sobre nivel del mar (Figura 2).

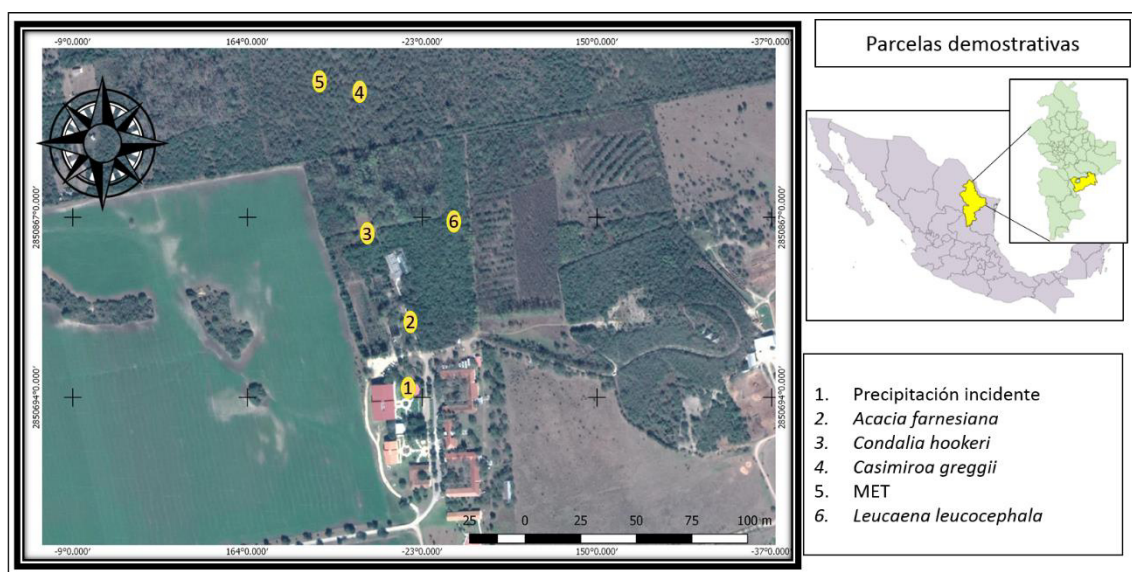


Figura 2. Área de estudio, Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L. Campus Linares

#### 6.1.1 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1973), el clima es (A) C (x') (w'') a (e); es de tipo extremoso semi-cálido-subhúmedo debido básicamente a la posición geográfica en la zona subtropical de altas presiones, con influencia de vientos alisios húmedos y vientos fríos del Norte durante el invierno (Alanís, 2006). La precipitación pluvial varía entre los 400 y 1850 mm anuales, con un valor de precipitación promedio de 800 mm (CNA, 2009). Es importante mencionar que la precipitación se presenta en dos períodos (Marzo-Junio y Septiembre-Octubre), además, cabe remarcar la existencia de un período seco y extremadamente caluroso, que en la región le llaman “canícula” y se

presenta en los meses de Julio y Agosto. La temperatura promedio anual es de 22.4°C con temperaturas mayores a 40°C en Verano y por debajo de los 0°C en Invierno (CNA, 2009). La temperatura promedio anual es de 22.4°C con temperaturas mayores a 40°C en Verano y por debajo de los 0°C en Invierno (CNA, 2009, Figura 3).

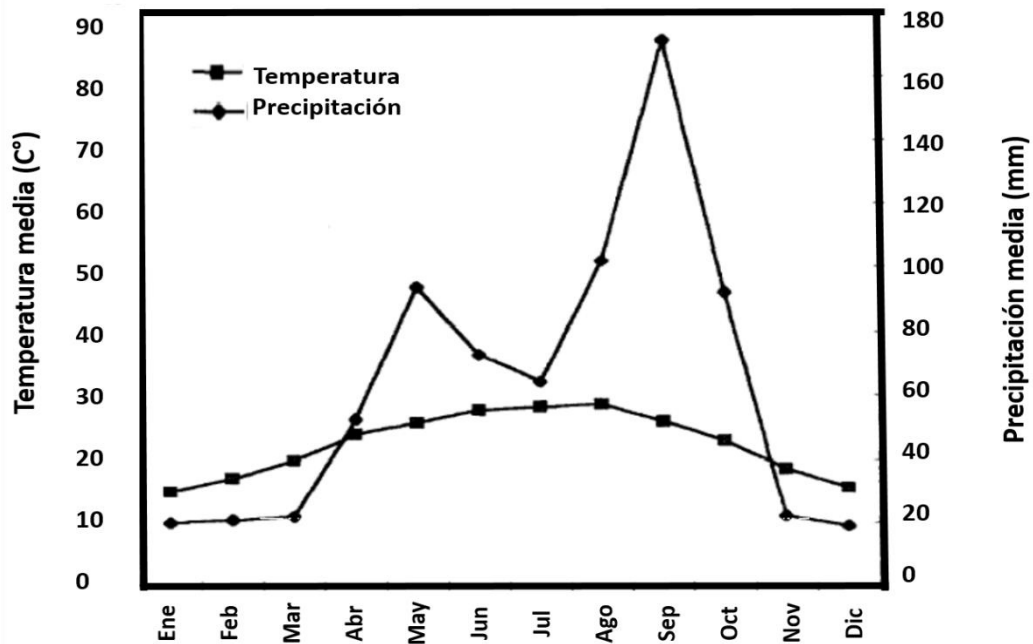


Figura 3. Diagrama ombrotérmico del área de estudio. Fuente: Saucedo (2011).

### 6.1.2 Suelo

Los suelos del área están caracterizados por ser de la clase vertisol, donde dominan las arcillas de tipo montmorillonítico de la clase 2:1, los cuales se expanden y contraen marcadamente con los cambios en el contenido de humedad, desarrollando grandes grietas verticales. Poseen un profundo horizonte A (30-100 cm) y su estructura en forma de bloques o prismática (Heiseke, 1985). En cuanto a su uso, se realizan actividades como: agricultura, ganadería, y desarrollo de asentamientos humanos.

### 6.1.3 Vegetación

La vegetación más común de la Planicie Costera del Golfo Norte está constituida por una gran diversidad de comunidades vegetales desde la cual incluye arbustiva, herbácea y arbórea. La vegetación dominante observada en el área de

estudio donde se realizó esta investigación destacan las siguientes especies: *Acacia berlandieri*, *A. Farnesiana*, *A. Greggii*, *A. rigidula*, *Celtis pallida*, *Condalia hookeri*, *Cordia boissieri*, *Diospyros texana*, *Forestiera angustifolia*, *Helietta parvifolia*, *Leucophyllum texanum*, *Mimosa biuncifera*, *Pithecellobium pallens*, *P. ébano*, *Zanthoxylum fagara*, entre otras, denominada comúnmente "matorral espinoso tamaulipeco" (COTECOCA-SARH, 1973). Estas se encuentran generalmente en forma asociada entre sí o incluso pequeñas áreas con una sola especie. Entre el estrato herbáceo podemos encontrar especies tales como *Bouteloua trifida*, *Tridens texanum*, *Hilaria belangre*, *Eragrostis oxilepis*, *Leptochoa dubia* y *Leptoloma cognatum* (Villegas, 1972).

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

El matorral espinoso tamaulipeco (MET) se distribuye en el noreste de México y sur de Texas, desde el municipio de Llera de Canales, Tamaulipas y los límites sureños de la Sierra Azul de Tamaulipas hasta el Altiplano Edwards en, Texas y las faldas de la Sierra Madre Oriental hasta el Golfo de México (Alanís et al., 2008).

#### **6.1.4 Hidrología**

Las aguas superficiales de mayor importancia son los ríos Pablillo o Linares, Hualahuises y Camacho, cuyas aguas se utilizan principalmente para la irrigación agrícola. El área de estudio corresponde a la región hidrológica San Fernando-Soto La Marina y dentro de la misma se localizan los llamados acuíferos de relleno que incluyen una superficie de 7,500 km<sup>2</sup> aproximadamente y los niveles freáticos varían entre 5 y 50 m de profundidad. También se cuenta con presas y canales de derivación que benefician directamente la actividad agrícola y citrícola (Saucedo, 2011).

## 6.2 Descripción de las especies a evaluar

### ***Acacia farnesiana* (L.) Willd.**

**Nombre común:** Huizache

**Descripción botánica:** Arbusto o usualmente árbol pequeño de 2 a 4 m de alto, fuste recto con las ramas ascendentes y a veces horizontales o péndulas, copa redonda. **Hojas:** Alternas, bipinnadas, con 2 a 8 pares de pinnas y 10 a 25 pares de folíolos por pinna, de forma lineal-oblongo. **Flores:** Color amarillo oro. **Fruto:** Una vaina de color café rojizo a púrpura o negro, con dos semillas por hilera. **Distribución y ecología** Se encuentra en todas las regiones cálidas del país, forma parte de la vegetación secundaria de selvas bajas caducifolias inermes o espinosas y de matorrales espinosos. **Usos:** Se considera como buen forrajero en invierno; las flores las utilizan las abejas como alimento; la madera es empleada en la región para leña, postes, horcones en casas, techos y en la construcción de carretas (García, 1997).

### ***Casimiroa greggii* (S. Watson) F. Chiang**

**Nombre común:** Chapote amarillo o naranjillo.

**Descripción botánica:** Aspecto y tamaño: Árbol de 4 a 8 m de altura, ramas ascendentes formando una copa redondeada que llega a alcanzar de 3 a 5 m de diámetro, tallo recto con corteza lisa, gris-blanquecina. **Hojas:** Compuestas, alternas, persistentes (siempre verde), de 2 o 3 folíolos obtusos o agudos, glabros, bordes enteros, con glándulas punteadas olorosas. **Flor:** Verde amarillenta o blanca, dispuesta en inflorescencias paniculares. Período de floración: Abril a Mayo. **Fruto:** Una drupa globosa, amarilla al madurar, con una semilla (hueso) café castaño. **Distribución y ecología:** En cañones húmedos de bosques mixtos o matorral submontano, con suelos profundos o ligeros, con considerables pendientes, se distribuye en Nuevo León, Tamaulipas y San Luis Potosí. **Usos:** Los tallos se usan como leña para cocinar, para construcción rural y fabricación de partes de carretas. El fruto es consumido por la fauna silvestre, el fruto maduro puede ser comestible para humanos (Alanís y González, 2003).



### ***Condalia hookeri* M.C. Johnst**

**Nombre común:** Palo Brasil

**Descripción botánica:** Arbusto espinoso o árbol de hasta 9 m de altura, con irregular expansión de la copa. **Hojas:** Alternas o fasciculadas, de forma obovada con el margen entero. **Flores:** Muy pequeñas, verdosas. **Fruto:** Una drupa de color negro cuando está madura. **Distribución y ecología:** Crece en suelos secos, se localiza en los estados de Tamaulipas y Nuevo León. Los frutos son consumidos por coyotes, mapaches y algunas especies de aves. **Usos:** La madera en la región es utilizada para leña, postes, horcones en casa y en la fabricación de carretas (García, 1997).

### ***Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit**

**Nombre común:** Guaje

Se trata de un arbusto o pequeño árbol de 2 a 6 metros de altura con ramas pubescentes cuando jóvenes y que se tornan glabras con la edad. Es originario de México donde se encuentra sobre todo en estados del sur, como Guerrero, Morelos, Oaxaca y Chiapas, pero ha sido introducido desde Centroamérica al resto del mundo. Está incluida en la lista 100 de las especies exóticas invasoras más dañinas del mundo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Se cultiva para su uso como abono verde y forraje. Sus semillas verdes son comestibles y tienen un sabor parecido al ajo. Las vainas se encuentran frecuentemente en los mercados de México. Las hojas y semillas contienen un aminoácido (mimosina) cuya ingesta en grandes cantidades puede producir daños en los mamíferos no rumiantes y aves de corral (bocio, debilidad, pérdida de peso, aborto, caída de pelo en caballos, mulas y burros) (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2017).

### **Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET)**

El Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET) se extiende en 125,000 km<sup>2</sup>, desde la planicie costera del Golfo de México hasta la ribera sur de Texas en Estados Unidos de América (Foroughbakhch et al, 2005). Su vegetación consiste en

árboles de porte medio alto y arbustos, localmente se denomina matorral espinoso o matorral subinermes (Ludwig 1975; Rzedowski, 1978; Garrett, 2002). El MET está compuesto por alrededor de 60 especies leñosas, muchas de ellas importantes para la producción forestal y silvopastoril (madera, postes, leña, forraje, etcétera). Además, son una fuente de forraje elemental para la ganadería extensiva (Von Maydel, 1996). Las grandes variaciones en condiciones climáticas y edáficas que existen en las zonas áridas y semiáridas, propician diferentes tipos de comunidades vegetales o matorrales extremadamente diversos en términos de composición, altura, cobertura, densidad y asociaciones de plantas (Battey, 2000; Eviner, 2003).

### **6.3 Identificación de las áreas de trabajo**

Se establecieron 6 parcelas de 100 m<sup>2</sup> (10 m x 10 m), en donde se evaluó el volumen, pH, conductividad eléctrica (CE) y contenido de nutrientes, presentes en los eventos correspondientes, esto en cada vía de redistribución de la precipitación (escurrimiento fustal, precipitación directa y precipitación incidente). Las especies en estudio fueron *Acacia farnesiana*, *Condalia hookeri*, *Leucaena leucocephala*, *Casimiroa greggii* y una parcela con características naturales de Matorral Espinoso Tamaulipeco. Se buscó que cada parcela presentara una cobertura de copa representativa a cada una de ellas; es importante mencionar que *L. leucocephala* y *C. greggii* son especies introducidas hace décadas, las cuales se han adaptado y distribuido en el Matorral Espinoso Tamaulipeco.

#### **6.3.1 Escurrimiento Fustal (Ef)**

Este fue colectado únicamente en *Acacia farnesiana*, *Condalia hookeri* y *Casimiroa greggii* debido a que cumplieron las características morfológicas para colocar el colector, los cuales son mangueras perforadas con una longitud de 2 metros aproximadamente, ajustadas y selladas con silicón para interceptar la cantidad de agua que escurre alrededor del tronco, estas conectadas a un recipiente de 20 L que recolecta el agua. En cada parcela, se seleccionaron 4 árboles para la recolección de muestras. De igual forma, es importante señalar

que se les tomó las medidas correspondientes de diámetro de copa y cobertura de copa (norte-sur, este-oeste) con el fin de poder realizar los cálculos de deposición total de nutrientes (Figura 4).



Figura 4. Canaleta en forma de espiral para interceptar el escurrimiento fustal

### **6.3.2 Precipitación incidente ( $P_i$ )**

La precipitación incidente ( $P_i$ ) se colectó mediante canaletas de PVC de  $0.1 \text{ m}^2$  (10 cm de ancho x 100 cm de largo) en forma de U, conectadas por medio de mangueras a contenedores de 20 litros de capacidad (Figura 5). Las canaletas fueron cubiertas con una malla para evitar la obstrucción de hojarasca e insectos. Se instalaron cuatro canaletas a un metro con respecto al suelo, en un área abierta sin árboles, colindante a las parcelas experimentales.



Figura 5. Modelo de canaleta para interceptar  $P_i$  y  $P_d$ .

### 6.3.3 Precipitación directa ( $P_d$ )

Se utilizó el mismo tipo de canaletas ya descritas para recolectar la precipitación que pasa a través del dosel (Figura 6). Se colocaron cuatro canaletas en cada una de las parcelas para las diferentes especies esto de manera aleatoria.



Figura 6. Ejemplo de parcela para colecta de  $P_d$  en *Acacia farnesiana*.

### 6.4 Análisis de pluviolavado (pH y CE)

Las muestras de la precipitación incidente, directa y escurrimiento fustal fueron llevadas al laboratorio en recipientes de plástico (previamente lavados con ácido clorhídrico y agua destilada) después de haber ocurrido el evento. Un evento es

considerado como aquel periodo constituido por lluvias, lloviznas o chubascos, continuos, separados del anterior y posterior por un periodo seco de una duración mínima de 6 u 8 horas; cabe mencionar que se midieron los volúmenes colectados y totales de ambas precipitaciones, así como el escurrimiento fustal para el cálculo de deposición total por evento (Figura 7).



Figura 7. Colecta de muestra y medición de volumen total de evento.

Las muestras fueron sometidas a análisis donde se les determinó el pH y conductividad eléctrica ( $\mu\text{s cm}^{-1}$ ) mediante medición directa usando un electrodo con un potenciómetro-conductivímetro marca CORNING Modelo 542. Inmediatamente después de realizar las medidas de pH y la conductividad eléctrica (CE), se procedía al filtrado de las mismas, para ello se usaron filtros de papel Whatman número 1. Posteriormente, se almacenaban las muestras a 3°C con el fin de reducir las tasas de descomposición y actividad microbiana esto hasta la determinación de micro y macronutrientes (Figura 8).



Figura 8. Determinación de pH, CE, filtrado y almacenamiento de muestras.

### 6.5 Análisis de nutrientes

Para determinar la concentración de micronutrientes (Cu, Mn, Fe y Zn) presentes en las muestras de cada vía de redistribución de precipitación, estas se analizaron con el uso del espectrofotómetro de absorción atómica (Varían, modelo SpectrAA-200) (Figura 9).

Cabe destacar que en la determinación de concentraciones de los macronutrientes fue necesario elaborar diluciones con distintas concentraciones para cada una de las muestras, enseguida se describe el procedimiento para la elaboración de cada dilución en su elemento correspondiente:

- Para Sodio (Na) y Calcio (Ca) se prepararon soluciones de 1:5 con la ayuda de un supresor (KCl), Cloruro de Potasio, se preparó dos muestras en una, es decir, 1 ml de muestra + 0.2 ml (KCl) + 3.8 ml de agua destilada.
- Para Magnesio (Mg) soluciones de 1:5 con (LaCl<sub>3</sub>) Cloruro de Lantano, las muestras se elaboraron con una solución de 1 ml de muestra + 0.1 ml (LaCl<sub>3</sub>) + 3.9 ml de agua destilada.

- Para Potasio (K) soluciones de 1:5 con (CsCl), Cloruro de Cesio, las muestras se elaboraron con una solución de 1 ml de muestra + 0.1 ml (CsCl) + 3.9 ml de agua destilada.

Al igual que para micronutrientes, fue necesario la elaboración de curvas de concentración para la posterior lectura en el espectrofotómetro de absorción.



Figura 9. Determinación de micro y macronutrientes empleando el espectrofotómetro Varían, modelo SpectrAA-200.

## 6.6 Concentración de nutrientes

Para el cálculo de la concentración y/o deposición total de nutrientes se consideró lo siguiente:

De las lecturas tomadas por el espectrofotómetro de absorción, por elemento se realizó una base de datos en Microsoft Excel para referir las cuatro repeticiones de cada vía de redistribución. Por cada evento, se tomó el promedio de las cuatro repeticiones. Para determinar la deposición total, se realizó la suma de los 41 eventos, los cuales se representan en 1202 muestras.

Se expresa de la siguiente manera:

$$\sum \bar{X}_i + \dots \dots \bar{X}_n$$

Posteriormente, se analizaron los resultados obtenidos empleando los valores de las lecturas de concentración para micro y macronutrientes, respectivamente.

## 6.7 Concentración neta de nutrientes

La determinación de la concentración neta de nutrientes se desarrolló con el mismo principio que usa Aboal (1998) y Tobón (1999) para la determinación de la precipitación neta.

$$Cnn = Cn Pd + Cn St$$

Donde:

Cnn = Concentración neta de nutrientes

Cn Pd = Concentración de precipitación directa

Cn St = Concentración de escurrimiento fustal (en caso de registrarse)

## 6.8 Calculo de incorporación y remoción de Nutrientes

Se estimó la Incorporación de nutrientes (IN) de acuerdo a Jiménez et al. (2006), mediante los valores de concentración neta de nutrientes y la precipitación incidente, haciendo uso de la ecuación (Jiménez et al, 2006):

$$In = Cnn - Cn Pi$$

Donde:

In = Incorporación de nutrientes

Cnn = Concentración neta de nutrientes

Cn Pi = Concentración de nutrientes en precipitación incidente

Valores de incorporación de nutrientes positivos representan incorporación de nutrientes, mientras que los negativos hacen referencia a la remoción de nutrientes.

## 6.9 Análisis Estadísticos

Los datos que se obtuvieron fueron analizados a través del paquete estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, 2000) versión 22. Los datos recibieron un orden y exploración acorde con sus características.

Posteriormente, para decidir el uso de pruebas paramétricas o no paramétricas se aplicó la prueba de normalidad y bondad de ajuste de Kolmogorov–Smirnov



la cual rechazó la hipótesis de normalidad de los datos por lo que se decidió aplicar pruebas no paramétricas, específicamente Kruskal Wallis para analizar la igualdad y desigualdad de las medianas y con ello determinar la existencia de diferencias en el aporte de nutrientes de las distintas coberturas evaluadas tanto en Pd y Ef.

La prueba de Kruskal-Wallis determinará si las vías de redistribución de la precipitación presentan o no diferencias en el aporte de nutrientes por evento, a partir del valor de la asíntota bilateral, donde una p menor o igual a 0.05 indica diferencias en la deposición de nutrientes.

## **7 RESULTADOS**

### **7.1 Volumen de la precipitación**

Se realizó un seguimiento desde septiembre de 2016 hasta septiembre de 2017, periodo en el cual se pudo observar la gran variabilidad de los volúmenes de precipitación (Figura 10). En el año 2016, la precipitación total fue de 158.71 mm, mientras que en el año 2017 se registraron valores de 350.26 mm, siendo un total anual de 508.97 mm.

La mayor precipitación se registró en el mes de mayo de 2017 (103.91 mm). Los meses de menor precipitación fueron diciembre (6.33 mm) y febrero (4.02 mm) en el año 2016 y en el 2017, respectivamente.

Estacionalmente, la mayor cantidad de precipitación observada durante el periodo de investigación se presentó en primavera (228.6 mm), respecto a invierno donde se presentó una precipitación de 23.03 mm, mientras que otoño y verano se han diferenciado ya que se han registrado 152.39 mm y 104.89 mm, respectivamente. Estos valores presentados en la Figura 10, muestran que efectivamente ha existido una regularidad en los eventos de lluvia durante el periodo de muestreo.

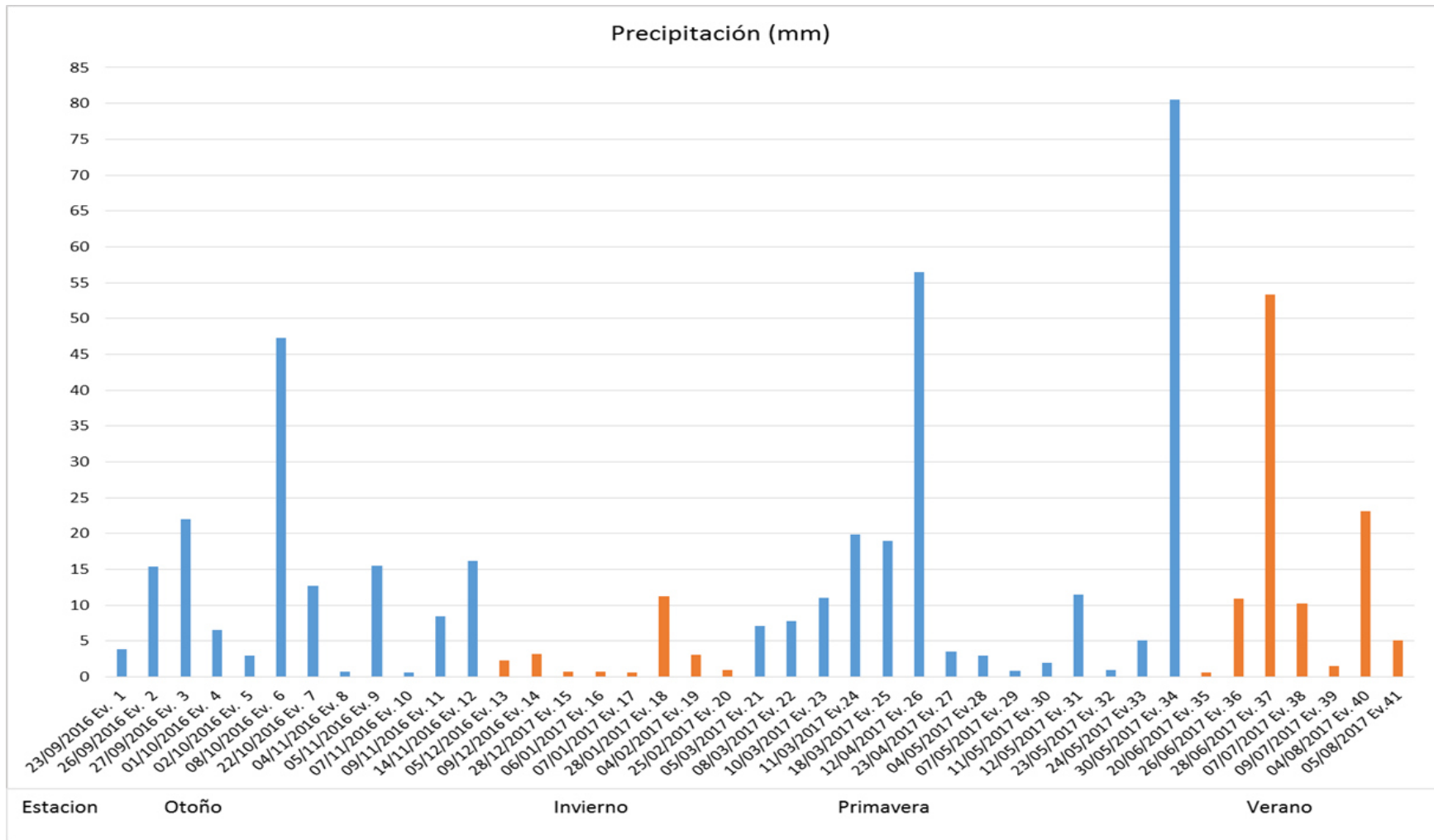


Figura 10. Registro de la precipitación incidente.

## **7.2 Análisis del pluviolavado**

Se aplicaron pruebas de comparación (Kruskal-Wallis) para determinar diferencias significativas en los valores de pH y CE entre las distintas coberturas en los eventos registrados, donde los resultados permitieron rechazar esta hipótesis en las vías evaluadas.

### **7.2.1 pH**

En lo que respecta al pH se observaron diferencias entre los valores medios de la precipitación incidente y la precipitación directa de cada parcela bajo estudio (Cuadro 2), por lo que es razonable señalar que la lluvia al fluir por las distintas coberturas arbóreas se recarga de sales minerales lo que ocasiona una elevación de pH respecto a la  $P_i$ , esto para la mayoría de los 41 casos registrados.

En el evento 13, se presentó un pH de aproximadamente 5.65 (ligeramente ácido) en  $P_i$ , la cual al fluir por el dosel de cada especie arbórea sufrió un cambio significativo reduciendo dicha acidez.

Para el caso de los eventos 32 y 35 específicamente en la parcela de MET ocurrió lo contrario, pues se observó que el agua de lluvia al momento de fluir por la copa de los árboles sufre una acidificación considerable, con una diferencia aproximada de 1.4 para ambos eventos en relación al pH original., lo cual pudo haber sido provocado por la presencia de ácidos orgánicos y otras partículas presentes en dicha parcela de MET (Figura 11).

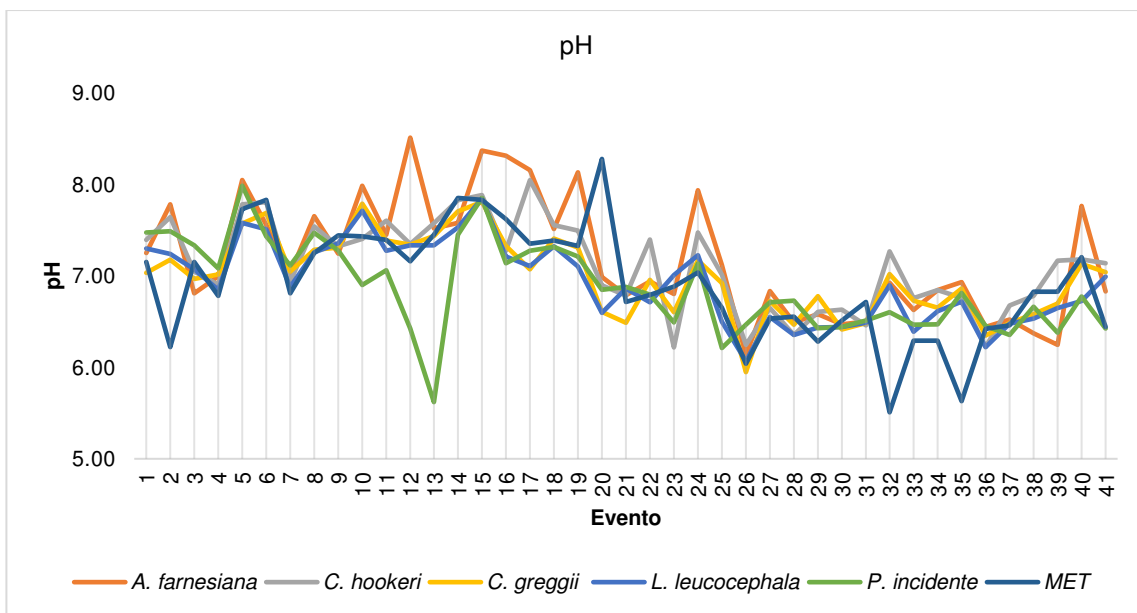


Figura 11. Comportamiento de pH en Pd y Pi.

En el Cuadro 2 se muestran los estadísticos descriptivos para cada Pd y Pi de los 41 eventos analizados, de los cuales, se observa que la precipitación incidente arroja un valor medio ligeramente ácido (6.88), el cual sufre un aumento significativo al paso de la lluvia por los distintos doseles arbóreos; siendo *Acacia farnesiana* la especie que altera en mayor medida esta propiedad química con un valor de 7.19 respecto a las otras especies bajo estudio.

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos del pH para Pd y Pi

Estadístico	<i>A. farnesiana</i>	<i>C. hookeri</i>	<i>C. greggii</i>	<i>L. leucocephala</i>	MET	Pi
Media	7.19	7.12	6.99	6.93	6.93	6.88
Desviación estándar	0.64	0.48	0.43	0.43	0.61	0.48
n	41	41	41	41	41	41

La vía de escurrimiento fustal registro un total de 24 eventos, la cual se llevó a cabo solo en *A. farnesiana*, *C. hookeri* y *C. greggii*, expresando valores medios de pH de 6.63, 6.64 y 6.45, respectivamente (Cuadro 3), mostrando un aumento en la acidez en comparación con la Pi (6.74).

Cuadro 3. Estadísticos descriptivos del pH del Ef y Pi.

Estadístico	<i>A. farnesiana</i>	<i>C. hookeri</i>	<i>C. greggii</i>	Pi
Media	6.63	6.64	6.45	6.74
Desviación estándar	0.47	0.62	0.44	0.47
n	24	24	24	24

En la Figura 12, se muestra el comportamiento del pH para esta vía, donde en la mayoría de los eventos el escurrimiento fustal presentó un aumento de acidez respecto a la Pi, en la cual el pH varía entre 5.62 y 7.85. Es de suponer que dicha alteración correspondió al arrastre de minerales corticales, ácidos orgánicos, intensidad, duración y volumen de la precipitación. En el evento 37, se detecta un valor de pH de 4.7, siendo este el registro más ácido el cual corresponde a *Casimiroa greggii*. En cuanto a *Acacia farnesiana* y *Condalia hookeri*, demuestran un comportamiento similar en niveles de pH.

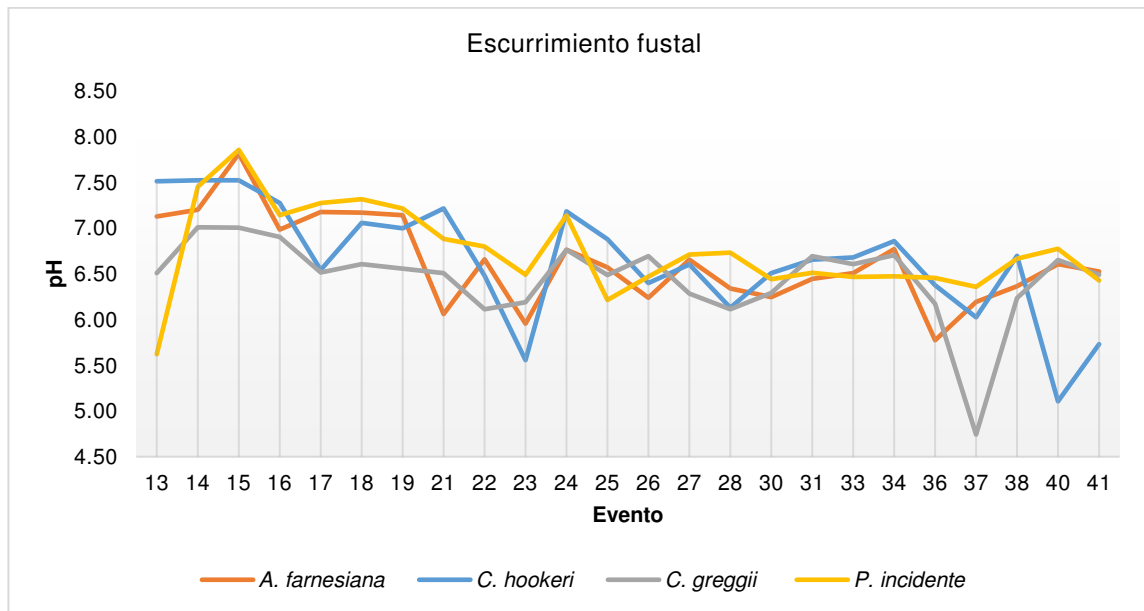


Figura 12. Comportamiento del pH para Ef y Pi.

## 7.2.2 Conductividad eléctrica

La concentración de sales solubles presentes en la precipitación incidente, precipitación directa y escurrimiento fustal se midió mediante la conductividad eléctrica (CE). La CE es la medida de la capacidad de un material o sustancia para conducir la corriente eléctrica, un valor alto significa que existe una

movilidad significativa de la corriente eléctrica a través de las vías de redistribución de la precipitación.

En la Figura 13, se demuestra la existencia de un cambio significativo de esta propiedad puesto que al paso del agua por las diferentes cubiertas vegetales acumuló una cantidad de sales minerales que causó un aumento de la CE en relación a la observada en la Pi. La precipitación directa con el valor medio más alto de CE en los 41 eventos evaluados corresponde a *Condalia hookeri* (191.36  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), siguiéndole el MET, *Acacia farnesiana*, *Leucaena leucocephala* y *Casimiroa greggii* con 166.73, 155.13, 129.10 y 125.34  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , respectivamente (Cuadro 4).

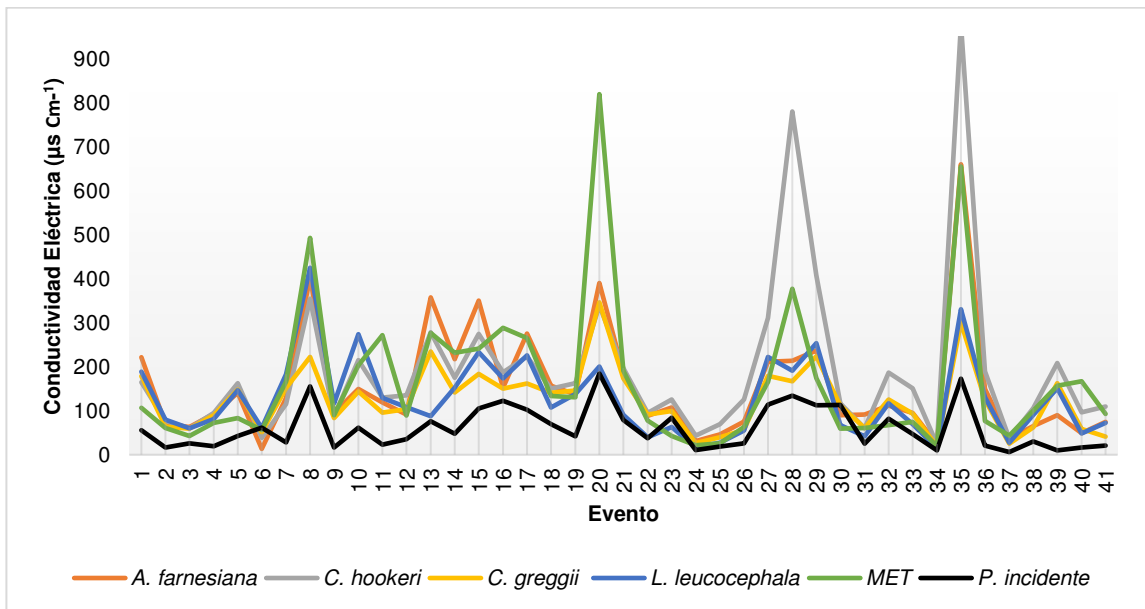


Figura 13. Comportamiento de la conductividad eléctrica en precipitación directa (Pd) y precipitación incidente (Pi)

Cuadro 4. Estadísticos descriptivos de la CE de la Pd y Pi.

Estadístico	<i>A. farnesiana</i>	<i>C. hookeri</i>	<i>C. greggii</i>	<i>L. leucocephala</i>	MET	Pi
Media	155.13	191.36	125.34	129.10	166.73	59.93
Desviación estándar	127.87	182.98	73.12	89.65	167.34	48.04
Mínimo	13.33	23.73	18.81	14.53	19.69	6.04
Máximo	660.50	979.19	346.50	425.15	820.00	184.58
n	41	41	41	41	41	41

El análisis de la CE en el Ef mostró un comportamiento similar a la precipitación directa detectándose valores por encima de la precipitación incidente debido principalmente a que ocurre un mayor lavado y arrastres de bioelementos en este proceso e inclusive mayores concentraciones de CE comparado con los valores de la Pd de las respectivas coberturas (Figura 14).

El Ef de *Acacia farnesiana* presentó los registros medios más elevados con  $219.16 \mu\text{S cm}^{-1}$ , siguiéndole en orden de mayor a menor *Condalia hookeri* y *Casimiroa greggi* con  $155.57$  y  $92.01 \mu\text{S cm}^{-1}$  respectivamente (Cuadro 5).

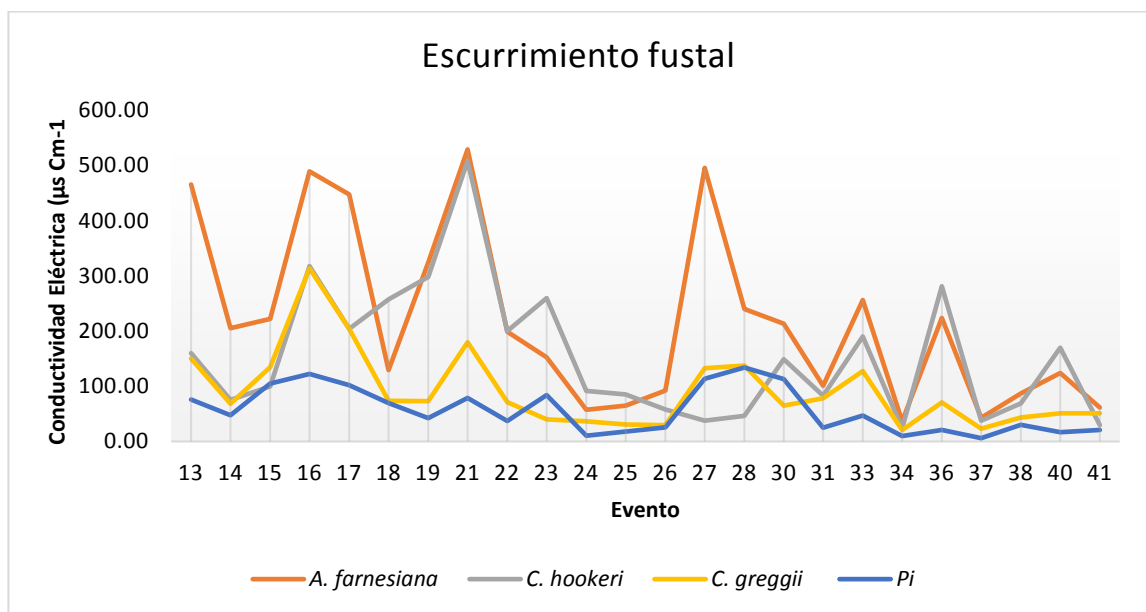


Figura 14. Comportamiento de CE en Ef y Pi

Cuadro 5. Estadísticos descriptivos de la CE de Ef y Pi

Estadístico	<i>A. farnesiana</i>	<i>C. hookeri</i>	<i>C. greggi</i>	<i>Pi</i>
Media	219.16	155.57	92.01	56.49
Desviación estándar	158.93	119.35	69.64	41.12
Mínimo	36.45	23.95	20.67	6.03
Máximo	529.25	508.33	313.70	134.02
n	24	24	24	24



### 7.3 Deposición total de nutrientes

Se determinó la deposición total de macro y micronutrientes por evento en cada precipitación y escurrimiento fustal de las distintas coberturas del presente estudio. Los flujos de nutrientes se calcularon multiplicando el contenido medio de nutrientes ( $\text{mg L}^{-1}$ ) arrojado por el espectrofotómetro, por la cantidad correspondiente de agua en cada vía de redistribución, medida en litros, realizando con ello las transformaciones necesarias para convertir la deposición a unidades de  $\text{mg m}^{-2}$ .

#### 7.3.1 Precipitación incidente

En el Cuadro 6 se muestra los aportes de micro y macronutrientes que la precipitación incidente efectuó a lo largo del estudio, donde las contribuciones de Hierro (Fe) y Calcio (Ca) fueron las más importantes con  $521.546 \text{ g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y  $76.251 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , respectivamente.

Los resultados de este análisis de igual forma revelaron aportes de Manganeso (Mn), Zinc (Zn) y Cobre (Cu) de  $180.208$ ,  $130.162$  y  $29.104 \text{ g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y una deposición para los macronutrientes de Potasio (K) y Magnesio (Mg) de  $9.393$  y  $20.396 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , respectivamente.

Cuadro 6. Aporte de nutrientes vía precipitación incidente (Pi).

Micronutrientes ( $\text{g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ )		Macronutrientes ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ )	
Mn	180.208	Ca	76.251
Cu	29.104	K	20.396
Zn	130.162	Mg	9.393
Fe	521.546		
Total	861.019		106.040

#### 7.3.2 Precipitación directa

El Cuadro 7 muestra la deposición de micronutrientes para las vía de Pd de las distintas especies analizadas, observando que los elementos con mayor y menor aporte fueron el Fe y Cu con  $2933.093$  y  $226.670 \text{ g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , respectivamente, de igual forma se observa que en MET se encontró la concentración más alta de

Mn ( $118.927 \text{ g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) y Zn ( $203.382 \text{ g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), mientras que el Cu se encontró en mayor presencia en el tipo de cobertura de *Acacia farnesiana* con  $65.025 \text{ g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y por último el Fe con  $913.318 \text{ g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en la cubierta vegetal correspondiente a *Casimiroa greggii*.

Cuadro 7. Aporte de micronutrientes vía Pd ( $\text{g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ )

Tipo de cobertura en Pd	Mn	Cu	Zn	Fe
<i>Acacia farnesiana</i>	102.456	65.025	145.614	661.143
<i>Condalia hookeri</i>	55.500	58.315	121.798	622.340
<i>Casimiroa greggii</i>	73.133	45.101	137.176	913.318
<i>Leucaena leucocephala</i>	101.858	26.591	115.423	394.180
MET	118.927	31.638	203.382	342.111
Total	451.875	226.670	723.392	2933.093

Estos resultados pueden observarse de igual forma representados en la Figura 15, donde las diferencias entre la deposición de los minerales para cada especie son más claros. Cabe señalar que en la cobertura de *Leucaena leucocephala* no se presentó ningún enriquecimiento de minerales en relación a los valores observados de la deposición de la precipitación incidente.

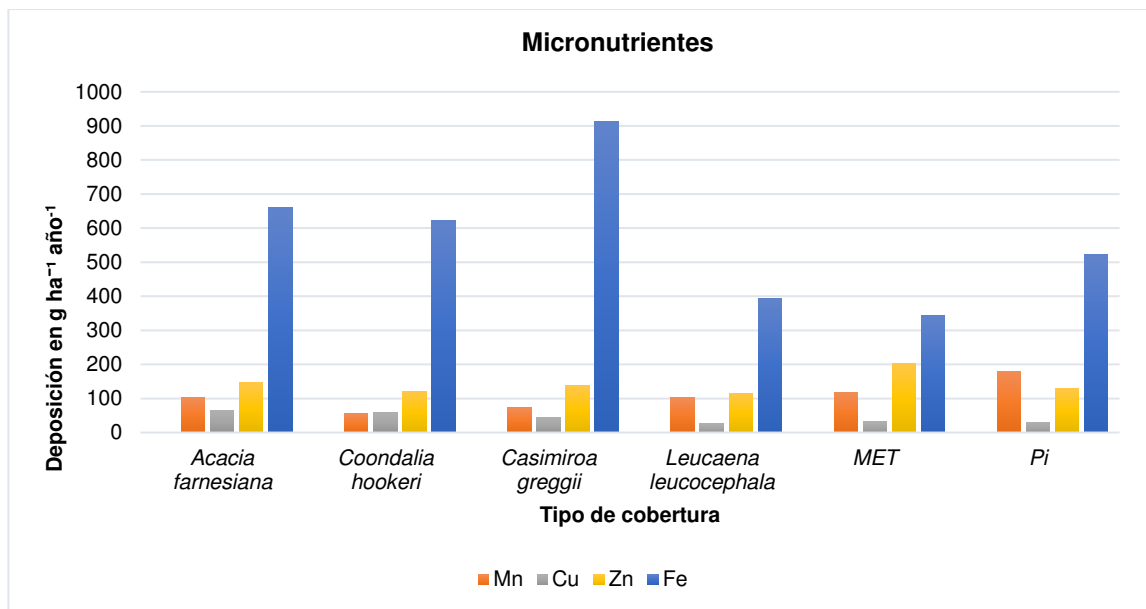


Figura 15. Aporte de micronutrientes en Pd y Pi

Respecto al aporte de macronutrientes por Pd, se determinó que el mineral con mayor deposición total a lo largo del periodo fue el Ca con 319.138 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y el de menor Mg con 51.936 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, mientras que K presenta una concentración de 141.118 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Cuadro 8).

*Acacia farnesiana* es la especie con la capacidad de arrastrar mayores partículas vía precipitación directa de K y Ca logrando con ello una deposición de 33.097 y 72.330 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> respectivamente, mientras que el aporte más alto de Mg se encontró en la parcela correspondiente al MET con 13.551 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

Cuadro 8. Aporte de macronutrientes en Pd (kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)

Tipo de cobertura en Pd	K	Mg	Ca
<i>Acacia farnesiana</i>	33.097	11.411	72.330
<i>Condalia hookeri</i>	28.384	9.036	57.397
<i>Casimiroa greggii</i>	28.413	9.624	66.354
<i>Leucaena leucocephala</i>	27.446	8.314	55.209
MET	23.778	13.551	67.848
Total	141.118	51.936	319.138

La Figura 16 representa la deposición de Ca, K y Mg en Pd, donde se observa que una parte de la deposición de Ca en Pi es removida en Pd, en contraste con K se observa que existe un enriquecimiento respecto a la Pi, mientras que Mg presenta concentraciones mínimas en *Condalia hookeri* y *Leucaena leucocephala* en relación a los valores de Pi.

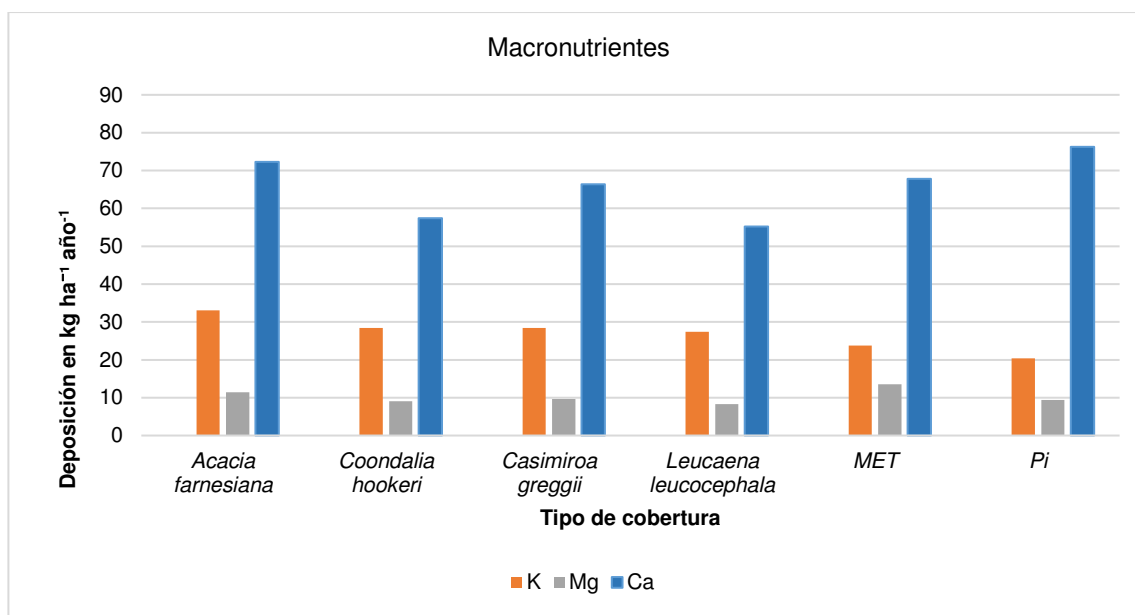


Figura 16. Aporte de macronutrientes en Pd y Pi

### 7.3.3 Ecurrimiento fustal

De los 41 eventos presentados a lo largo del año, se logró registrar un total de 24 eventos para la vía de escurrimiento fustal (Ef), los flujos de deposición de nutrientes permitieron observar que el Fe es el micronutriente con mayor arrastre por esta vía de redistribución de la precipitación con un total de 43.076 g ha<sup>-1</sup>, mientras que el Mn es el que menos cantidad aporta con 3.507 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Cuadro 9).

Se puede apreciar que la especie *Casimiroa greggii* aportó las deposiciones más altas de Fe, Zn, Cu y Mn con 27.132, 3.344, 3.101 y 2.268 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente, en comparación a los valores medios de deposición de las otras especies.

Cuadro 9. Aporte de micronutrientes vía Ef (g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>).

Tipo de Ef	Fe	Zn	Cu	Mn
<i>Acacia farnesiana</i>	5.658	0.472	0.182	0.518
<i>Coondalia hookeri</i>	10.286	1.377	0.487	0.722
<i>Casimiroa greggii</i>	27.132	3.344	3.101	2.268
Total	43.076	5.193	3.770	3.507

En cuanto a los macronutrientes se aprecia que el elemento con mayor deposición fue el Mg con 516.146 g ha<sup>-1</sup>, en tanto a K y Ca estos presentan valores de 112.139 y 175.554 g ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Se puede detectar que *Casimiroa greggii* presenta los valores más altos en Mg (264.454 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y Ca (84.615 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) mientras que el K se presenta en mayor medida en *Condalia hookeri* con 57.301 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Cuadro 10).

Cuadro 10. Aporte de macronutrientes vía Ef (g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>).

Tipo de Ef	Mg	K	Ca
<i>Acacia farnesiana</i>	64.895	10.857	19.778
<i>Condalia hookeri</i>	186.797	57.301	71.162
<i>Casimiroa greggii</i>	264.454	43.981	84.615
Total	516.146	112.139	175.554

#### 7.3.4 Concentración neta de nutrientes

El cálculo de la concentración neta se llevó a cabo sumando los valores de macro y micro nutrientes encontradas en la Pd y Ef, destacando que solamente hubo un cambio en la deposición para las especies de *Acacia farnesiana*, *Condalia hookeri* y *Casimiroa greggii* que fueron las coberturas en las que se analizó la composición química del escurrimiento fustal.

En el Cuadro 11, se muestran los resultados finales de deposición en donde existe un cambio significativo en la concentración de micronutrientes para las ya mencionadas coberturas, así mismo teniendo un impacto en los valores de deposición total, teniendo como resultados en un orden de mayor a Fe>Zn>Mn>Cu con 2936.600, 727.163, 494.95 y 231.863 g ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Cuadro 11. Concentración neta de micronutrientes en g ha<sup>-1</sup>.

Tipo de cobertura	Mn	Cu	Zn	Fe
<i>Acacia farnesiana</i>	108.114	65.497	145.796	661.661
<i>Condalia hookeri</i>	65.786	59.692	122.285	623.062
<i>Casimiroa greggii</i>	100.265	48.445	140.277	915.586
<i>Leucaena leucocephala</i>	101.858	26.591	115.423	394.18
MET	118.927	31.638	203.382	342.111

Total	494.95	231.863	727.163	2936.600
-------	--------	---------	---------	----------

De acuerdo al Cuadro 11, los rangos máximos y mínimos de concentración neta (Pd + Ef) de micronutrientes entre las coberturas fueron:

- Mn con 118.927 (MET) y 65.786 g ha<sup>-1</sup> (*C. hookeri*),
- Cu 65.497 (*A. farnesiana*) y 26.591 g ha<sup>-1</sup> (*L. leucocephala*),
- Zn 203.382 (MET) y 115.423 g ha<sup>-1</sup> (*L. leucocephala*),
- Fe 915.586 (*C. hookeri*) y 4342.111 g ha<sup>-1</sup> (MET).

Las concentraciones netas para macronutrientes se muestran en el Cuadro 12, observando con ello diferencias específicas en las coberturas de *A. farnesiana*, *C. hookeri* y *C. greggii*, donde su impacto genera un cambio mínimo pero significativo en la deposición total, donde se observan valores de 319.313, 141.634 y 52.048 kg ha<sup>-1</sup> para Ca, K y Mg, respectivamente.

Cuadro 12. Concentración neta de micronutrientes en kg ha<sup>-1</sup>.

Tipo de cobertura	K	Mg	Ca
<i>Acacia farnesiana</i>	33.162	11.422	72.350
<i>Condalia hookeri</i>	28.571	9.093	57.468
<i>Casimiroa greggii</i>	28.678	9.668	66.439
<i>Leucaena leucocephala</i>	27.446	8.314	55.209
MET	23.778	13.551	67.848
Total	141.634	52.048	319.313

Los rangos máximos y mínimos de concentración neta fueron:

- K de 33.162 (*A. farnesiana*) y 23.778 kg ha<sup>-1</sup> (MET)
- Mg 13.551 (MET) y 8.314 kg ha<sup>-1</sup> (*L. leucocephala*) y
- Ca 72.350 (*A. farnesiana*) y 55.209 kg ha<sup>-1</sup> (*L. leucocephala*).

#### 7.4 Incorporación o remoción de nutrientes

El cálculo de incorporación y remoción de nutrientes fue determinado en base a Jiménez et al. (2006). De acuerdo al valor positivo o negativo del resultado de la diferencia existente entre los valores de concentración neta y la Pi, hacen

referencia a la presencia de incorporación y remoción de nutrientes, esto debido a las propiedades y características de las especies para absorber o enriquecer el agua de lluvia cuando circula a través de su estructura.

Es importante señalar que los valores negativos también indican que en la precipitación atmosférica o Pi existe una elevada tasa de nutrientes respecto a las del paso de la lluvia por la vegetación.

Con el objeto de identificar que mineral se incorpora o remueve en mayor cantidad entre las diferentes coberturas vegetales del presente estudio, se presentan los siguientes resultados:

### Potasio (K)

En el Cuadro 13 se muestra el comportamiento del K, donde se observa que en todas las coberturas, existe una incorporación de dicho mineral al paso de la precipitación sobre ellas, observándose que *A. farnesiana* (12.765 kg ha<sup>-1</sup>) es la especie que contribuye con mayor cantidad de K a diferencia de MET con un valor de 3.381 kg ha<sup>-1</sup>. Siendo en general el macronutriente que se encuentra en mayor presencia en las coberturas analizadas.

Cuadro 13. Incorporación/Remoción de K.

Tipo de cobertura	CNN (kg ha <sup>-1</sup> )	Pi (kg ha <sup>-1</sup> )	(+) Incorporación (kg ha <sup>-1</sup> )	(-) Remoción (kg ha <sup>-1</sup> )
<i>Acacia farnesiana</i>	33.162	20.397	12.765	-
<i>Condalia hookeri</i>	28.571	20.397	8.174	-
<i>Casimiroa greggii</i>	28.678	20.397	8.281	-
<i>Leucaena leucocephala</i>	27.446	20.397	7.049	-
MET	23.778	20.397	3.381	-

### Magnesio (Mg)

De acuerdo al Cuadro 14, el Mg presenta un enriquecimiento en tres tipos de coberturas, de las cuales MET presenta el valor más significativo de incorporación con 4.158 kg ha<sup>-1</sup>, mientras que *C. hookeri* y *L. leucocephala* presentan una remoción de 0.300 y 1.080 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Cuadro 14. Incorporación/Remoción de Mg.

Tipo de cobertura	CNN (kg ha <sup>-1</sup> )	Pi (kg ha <sup>-1</sup> )	(+) Incorporación (kg ha <sup>-1</sup> )	(-) Remoción (kg ha <sup>-1</sup> )
<i>Acacia farnesiana</i>	11.422	9.393	2.029	-
<i>Condalia hookeri</i>	9.093	9.393	-	-0.300
<i>Casimiroa greggii</i>	9.668	9.393	0.274	-
<i>Leucaena leucocephala</i>	8.314	9.393	-	-1.080
MET	13.551	9.393	4.158	-

### Calcio (Ca)

El Ca es el mineral que presentó una remoción en las cinco coberturas analizadas (Cuadro 15), siendo *L. leucocephala* la que mostró una mayor cantidad con 21.042 kg ha<sup>-1</sup>, mientras que *A. farnesiana* lo manifestó en menor proporción con 3.901 kg ha<sup>-1</sup>.

Cuadro 15. Incorporación/ Remoción de Ca

Tipo de cobertura	CNN (kg ha <sup>-1</sup> )	Pi (kg ha <sup>-1</sup> )	(+) Incorporación (kg ha <sup>-1</sup> )	(-) Remoción (kg ha <sup>-1</sup> )
<i>Acacia farnesiana</i>	72.350	76.251	-	-3.901
<i>Condalia hookeri</i>	57.478	76.251	-	-18.773
<i>Casimiroa greggii</i>	66.449	76.251	-	-9.802
<i>Leucaena leucocephala</i>	55.209	76.251	-	-21.042
MET	67.848	76.251	-	-8.403

### Manganeso (Mn)

Al igual que el Ca, los datos señalan la existencia de remoción de Mn en todas las coberturas, de las cuales *C. hookeri* y MET son las parcelas con mayor y menor cantidad de absorción o remoción mineral con 114.422 y 61.281 g ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 16).

Cuadro 16. Incorporación/Remoción de Mn.

Tipo de cobertura	CNN (g ha <sup>-1</sup> )	Pi (g ha <sup>-1</sup> )	(+) Incorporación (g ha <sup>-1</sup> )	(-) Remoción (g ha <sup>-1</sup> )
<i>Acacia farnesiana</i>	108.114	180.208	-	-72.094
<i>Condalia hookeri</i>	65.786	180.208	-	-114.422
<i>Casimiroa greggii</i>	100.265	180.208	-	-79.943
<i>Leucaena leucocephala</i>	101.858	180.208	-	-78.350



MET	118.927	180.208	-	-61.281
-----	---------	---------	---	---------

### Cobre (Cu)

El Cuadro 17 muestra que el Cu es un micronutriente que se recarga al paso del agua por los estratos arbóreos, ya que en la mayoría de las coberturas presenta una incorporación considerable respecto a los 29.104 g ha<sup>-1</sup> que presentó la Pi; *Leucaena leucocephala* es la excepción puesto que muestra una remoción de 2.513 g ha<sup>-1</sup>.

Cuadro 17. Incorporación/ Remoción de Cu.

Tipo de cobertura	CNN (g ha <sup>-1</sup> )	Pi (g ha <sup>-1</sup> )	(+) Incorporación (g ha <sup>-1</sup> )	(-) Remoción (g ha <sup>-1</sup> )
<i>Acacia farnesiana</i>	65.497	29.104	36.393	-
<i>Condalia hookeri</i>	59.692	29.104	30.588	-
<i>Casimiroa greggii</i>	48.445	29.104	19.341	-
<i>Leucaena leucocephala</i>	26.591	29.104	-	-2.513
MET	31.638	29.104	2.534	-

### Zinc (Zn)

El Zn presentó valores de remoción e incorporación mineral. De acuerdo al Cuadro 18, *Acacia farnesiana*, *Casimiroa greggii* y el MET muestran un enriquecimiento de 15.634, 10.115 y 73.22 g ha<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras que *Condalia hookeri* y *Leucaena leucocephala* muestran remoción de este elemento en relación a los observados en la Pi.

Cuadro 18. Incorporación/Remoción de Zn.

Tipo de cobertura	CNN (g ha <sup>-1</sup> )	Pi (g ha <sup>-1</sup> )	(+) Incorporación (g ha <sup>-1</sup> )	(-) Remoción (g ha <sup>-1</sup> )
<i>Acacia farnesiana</i>	145.796	130.162	15.634	-
<i>Condalia hookeri</i>	122.285	130.162	-	-7.877
<i>Casimiroa greggii</i>	140.277	130.162	10.115	-
<i>Leucaena leucocephala</i>	115.423	130.162	-	-14.739
MET	203.382	130.162	73.22	-

## Fierro (Fe)

Por último, el Fe mostró valores que asemejan la presencia de incorporación en *Acacia farnesiana* (140.115 g ha<sup>-1</sup>), *Condalia hookeri* (101.516 g ha<sup>-1</sup>) y *Casimiroa greggii* (394.04 g ha<sup>-1</sup>). Con respecto a *Leucaena leucocephala* y el MET se observó una remoción en ambos casos de 127.366 y 179.435 g ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 19).

Cuadro 19. Incorporación/ Remoción de Fe

Tipo de cobertura	CNN (g ha <sup>-1</sup> )	Pi (g ha <sup>-1</sup> )	(+) Incorporación (g ha <sup>-1</sup> )	(-) Remoción (g ha <sup>-1</sup> )
<i>Acacia farnesiana</i>	661.661	521.546	140.115	-
<i>Condalia hookeri</i>	623.062	521.546	101.516	-
<i>Casimiroa greggii</i>	915.586	521.546	394.040	-
<i>Leucaena leucocephala</i>	394.180	521.546	-	-127.366
MET	342.111	521.546	-	-179.435

## 7.5 Comparación de contenido de nutrientes entre vías de precipitación

Para determinar si existen diferencias significativas en el aporte de nutrientes en Pd y Ef bajo las diferentes coberturas, se aplicó en macro y micronutrientes la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis que detecta las diferencias entre las medianas, en lugar de las medias. Valores menores a  $P < 0.05$  indica diferencias significativas en aporte de nutrientes entre las vías de redistribución de la precipitación de las diferentes especies evaluadas.

En el Cuadro 20 se puede observar los resultados de esta prueba para Pd, donde se identifica las diferencias de deposición de cada mineral entre las diferentes coberturas arbóreas. El Cu presentó diferencias significativas en 6 de los 41 eventos analizados, mientras que el Fe, Mn y Zn en 18, 16 y 16 eventos, respectivamente. Con respecto al Ca, K y Mn se encontraron diferencias de deposición en 17, 20 y 9 eventos de lluvia, respectivamente. En los eventos 26, 27 y 28 de la deposición de Cu no se muestra el resultado de la asíntota bilateral debido a que solamente una de las especies evaluadas presentó deposición de

dicho mineral, limitando la comparación interespecífica. El mismo caso ocurre en el evento 24 y 34 en Mg.

Cuadro 20. Valores p de la Prueba de Kruskal-Wallis para detectar diferencias en Pd entre las coberturas evaluadas (Valores en negritas señalan la existencia de diferencias de deposición en las coberturas,  $P < 0.05$ ).

N° Evento	Cu	Fe	Mn	Zn	Ca	K	Mg	Precipitación (mm)
1	0.079	<b>0.006</b>	0.515	0.051	<b>0.042</b>	0.192	<b>0.035</b>	3.83
2	0.403	0.055	<b>0.016</b>	<b>0.046</b>	0.583	0.052	0.613	15.43
3	<b>0.030</b>	<b>0.040</b>	<b>0.018</b>	0.054	<b>0.013</b>	0.107	0.093	22.04
4	<b>0.012</b>	<b>0.002</b>	<b>0.007</b>	0.755	0.315	<b>0.012</b>	0.065	6.60
5	0.259	<b>0.017</b>	0.073	0.326	<b>0.012</b>	0.374	0.767	2.97
6	0.846	0.615	0.306	0.165	0.229	0.688	0.528	47.32
7	<b>0.040</b>	0.440	<b>0.034</b>	<b>0.042</b>	0.067	<b>0.025</b>	0.267	12.76
8	<b>0.047</b>	<b>0.044</b>	0.313	0.485	<b>0.015</b>	0.762	<b>0.023</b>	0.69
9	0.066	<b>0.048</b>	<b>0.011</b>	0.388	<b>0.012</b>	<b>0.006</b>	0.117	15.54
10	0.550	0.223	0.220	0.173	0.135	0.127	0.523	0.59
11	0.259	<b>0.032</b>	<b>0.003</b>	<b>0.018</b>	<b>0.032</b>	0.545	0.121	8.47
12	0.733	<b>0.025</b>	<b>0.021</b>	0.534	0.094	0.179	<b>0.016</b>	16.17
13	0.236	0.759	0.070	0.390	0.694	<b>0.009</b>	0.852	2.33
14	0.538	0.317	0.271	0.688	0.238	<b>0.003</b>	0.637	3.22
15	0.660	0.755	<b>0.025</b>	<b>0.006</b>	0.668	0.309	0.153	0.78
16	<b>0.013</b>	<b>0.013</b>	<b>0.009</b>	<b>0.003</b>	<b>0.008</b>	<b>0.006</b>	<b>0.008</b>	0.72
17	0.147	0.126	<b>0.021</b>	0.406	0.541	0.068	0.104	0.68
18	<b>0.006</b>	0.170	<b>0.001</b>	<b>0.012</b>	<b>0.006</b>	<b>0.001</b>	<b>0.012</b>	11.28
19	0.733	0.475	0.356	0.116	<b>0.024</b>	<b>0.004</b>	0.947	3.03
20	0.218	0.134	<b>0.044</b>	<b>0.015</b>	0.182	<b>0.002</b>	0.392	0.99
21	0.173	0.106	0.072	<b>0.020</b>	<b>0.032</b>	<b>0.050</b>	0.530	7.13
22	0.538	<b>0.024</b>	0.311	<b>0.006</b>	0.066	0.232	0.520	7.75
23	0.407	0.468	0.079	0.700	0.132	<b>0.036</b>	0.236	11.00
24	0.189	0.754	0.192	<b>0.028</b>	0.150	<b>0.005</b>	-	19.88
25	0.655	0.607	0.051	<b>0.004</b>	<b>0.022</b>	<b>0.033</b>	0.253	19.00
26	-	<b>0.024</b>	0.532	0.484	0.166	<b>0.007</b>	0.931	56.50
27	-	0.431	0.078	0.290	0.674	<b>0.012</b>	<b>0.016</b>	3.50
28	-	<b>0.030</b>	0.204	0.063	0.153	<b>0.004</b>	<b>0.048</b>	3.00
29	0.369	0.112	0.059	0.350	<b>0.025</b>	<b>0.005</b>	<b>0.02</b>	0.88
30	0.438	0.059	0.105	0.201	<b>0.005</b>	<b>0.010</b>	0.105	1.93
31	0.418	<b>0.002</b>	<b>0.004</b>	0.398	<b>0.049</b>	0.365	0.112	11.50
32	0.469	<b>0.004</b>	<b>0.002</b>	0.531	0.052	0.064	0.341	0.99
33	0.812	<b>0.003</b>	<b>0.004</b>	0.072	0.384	0.112	0.716	5.13

34	0.087	<b>0.001</b>	<b>0.001</b>	<b>0.047</b>	0.069	0.220	-	80.50
35	0.186	<b>0.006</b>	0.107	<b>0.014</b>	0.604	0.069	<b>0.030</b>	0.62
36	0.090	<b>0.014</b>	0.106	<b>0.005</b>	<b>0.007</b>	0.081	0.104	10.90
37	-	0.054	0.056	0.328	0.184	0.387	0.081	53.38
38	0.171	0.877	0.574	0.467	0.099	0.052	0.358	10.28
39	0.470	0.149	0.699	0.842	<b>0.028</b>	<b>0.003</b>	0.056	1.50
40	0.548	0.115	0.210	<b>0.008</b>	<b>0.044</b>	<b>0.009</b>	0.145	23.13
41	0.538	0.270	0.687	<b>0.048</b>	0.062	0.246	0.297	5.1

Por otra parte, en el Cuadro 21 se puede observar los resultados para la vía de Ef. El Cu presenta diferencias significativas en 4 de los 24 eventos registrados; mientras que el Fe, Mn y Zn en 6, 5 y 10 eventos, respectivamente. En cuanto a Ca, K y Mg se encontraron diferencias en 9, 6 y 6 eventos de lluvia, respectivamente. En los eventos 14, 23, 24, 26 y 27 para la deposición de Cu no fue posible realizar dicha comparación debido a la deposición nula de dos de las especies evaluadas para esta vía, repitiéndose esta situación en el evento 34 en el macronutriente Mg.

Cuadro 21. Prueba de Kruskal-Wallis para Ef (Valores en negritas señalan la existencia de diferencias de deposición en las coberturas,  $P < 0.05$ ).

N° Evento/	Cu	Fe	Mn	Zn	Ca	K	Mg
13	0.180	0.076	0.102	0.076	0.076	0.076	0.076
14	-	1.000	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054
15	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.317	0.221
16	0.485	0.083	0.195	0.338	0.301	0.565	0.251
17	0.083	<b>0.036</b>	0.083	0.301	0.200	<b>0.046</b>	0.607
18	0.082	<b>0.030</b>	<b>0.020</b>	<b>0.020</b>	<b>0.020</b>	<b>0.020</b>	<b>0.042</b>
19	0.229	0.063	<b>0.026</b>	<b>0.026</b>	<b>0.036</b>	0.229	<b>0.036</b>
21	<b>0.016</b>	<b>0.024</b>	0.080	<b>0.020</b>	<b>0.021</b>	<b>0.035</b>	<b>0.032</b>
22	0.221	<b>0.034</b>	<b>0.034</b>	<b>0.034</b>	<b>0.034</b>	<b>0.034</b>	<b>0.034</b>
23	-	0.618	0.059	<b>0.030</b>	0.741	0.074	0.717
24	-	0.148	<b>0.041</b>	<b>0.041</b>	<b>0.024</b>	<b>0.029</b>	0.121
25	0.317	0.196	<b>0.024</b>	<b>0.041</b>	0.107	0.115	0.256
26	-	0.375	0.406	0.107	0.628	0.375	0.741
27	-	0.861	0.338	0.083	0.861	0.338	0.499
28	0.221	0.083	0.227	0.088	0.088	0.083	0.195
30	0.208	0.114	0.183	0.342	<b>0.041</b>	0.149	0.406
31	0.107	<b>0.021</b>	<b>0.021</b>	0.103	<b>0.027</b>	0.117	0.184

33	<b>0.040</b>	<b>0.029</b>	0.591	0.554	0.406	0.299	<b>0.041</b>
34	<b>0.018</b>	0.316	0.160	<b>0.046</b>	0.302	0.149	-
36	0.368	0.074	0.202	0.190	0.074	0.076	0.375
37	0.304	0.567	0.897	0.750	0.441	0.931	0.172
38	0.700	0.441	0.683	0.424	0.527	0.453	0.819
40	<b>0.026</b>	0.138	0.275	<b>0.020</b>	<b>0.030</b>	<b>0.020</b>	<b>0.029</b>
41	0.160	0.455	0.180	<b>0.029</b>	<b>0.048</b>	0.227	0.076

## 8 DISCUSIÓN

En esta investigación, se determinó el aporte de nutrientes vía pluviolavado bajo diferentes especies de matorral considerando un año de registro de eventos de lluvia iniciando en el mes de septiembre del año 2016 y culminando en septiembre de 2017, donde se presentaron 41 eventos de lluvia de los cuales se registraron 24 para la vía de Ef, generando así un total de 1,202 muestras.

Cabe destacar que no existe un número de eventos definido para este tipo de investigaciones, pues Béjar (2017) reportó un total de 42 eventos para el análisis de nutrientes en *Pinus cooperii* para la temporada de lluvias de 2016 (junio-septiembre). Arroyave (2012), analizó un total de 80 observaciones entre los meses de octubre de 2006 y mayo de 2007 para caracterizar los procesos relacionados con los nutrientes solubles en sistemas agroforestales cafeteros en Colombia, mientras que Cantú y González (2001), evaluaron 53 eventos, en un periodo de estudio de dos años, para el análisis químico de nutrientes en bosque natural de pino y encino en el noreste de México y Xiao et al. (2002), reporta 33 eventos para un análisis de nutrientes en *Pinus koraiensis* durante la temporada de crecimiento (junio-septiembre) en 2001 en la montaña Changbai, provincia de Jilin, República Popular China.

En el análisis de pH de Pd y Ef de las especies evaluadas, mostraron valores por encima de la media de Pi (6.88), la cual se considera ácida. La causa principal del aumento en la acidificación de la precipitación es la pérdida de cationes básicos y acumulación de cationes ácidos, derivado del arrastre de polvo y partículas mientras el agua fluye por los fustes y copa de los árboles. La cantidad de sales acumuladas en el arrastre de partículas repercutió directamente en los valores de la CE ya que en ambas vías de redistribución de la precipitación se observó un cambio drástico en esta variable, al observarse que a mayor concentración de sales en las muestras de agua, mayor es la capacidad de estas para aumentar la conductividad.

Mensanza (1994), observó que las copas de los árboles de *Pinus radiata* tuvieron la capacidad de neutralizar la deposición ácida, esto es, lluvias con pH ácido, fue incrementado por el dosel de los árboles. Este incremento puede estar relacionado a la lixiviación foliar y remoción acelerada de materiales de la superficie foliar (Schier, 1987).

Jiménez et al. (2006) destaca que el pH de la precipitación incidente mostró un valor de 5.58 y aumentó significativamente en su paso por las copas de los árboles en el bosque y las plantaciones, hasta alcanzar valores de pH de la precipitación incidente de 5.58 a 5.83 en *Vochysia ferruginea* Mart., a 5.98 en *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm. (cebo) y a 5.96 en un bosque secundario. La tendencia de incremento del pH en su paso por hojas y fustes, también ha sido documentada en diferentes ambientes alrededor del mundo (HouBao et al., 1999; Laclau et al., 2003, Chiwa et al., 2004), donde se incrementa el pH, debido al intercambio catiónico mostrado con la adición de Ca, Mg y K, los cuales son removidos de las superficies de las hojas, ramas, frutos y flores de los árboles.

La composición química del agua de lluvia cambia desde el mismo momento que arrastra las partículas de polvo atmosférico (abundantes tras un periodo seco) y/o se deposita sobre las hojas de los árboles, mucho antes de que el agua llegue al suelo (Parker, 1983).

Los micro y macronutrientes encontrados en la precipitación incidente pueden tener diversas fuentes tanto naturales como antropogénicas, tales como las deposiciones de partículas volátiles (polvos y materia orgánica) que son arrastradas por los vientos, así como partículas residuales de la quema de combustibles tradicionales como leña o de derivados de petróleo, residuos industriales y partículas de fertilizantes químicos.

El papel que cumplen los doseles en la modificación de la química de la precipitación ha sido reconocido por Eaton et al. (1973), Parker (1983) y Lovett (1994). El enriquecimiento del agua translocada se debe principalmente a la deposición seca y al lixiviado de los solutos intercelulares, aunque en algunos casos no se produce dicho enriquecimiento debido a procesos de absorción de

nutrientes desde el agua de lluvia, por las hojas y la flora o fauna epifita (Carlisle et al., 1967; Boring et al., 1988; Rodrigo et al., 2001).

Por tanto, conociendo la composición de la Pi y el lavado de nutrientes que ocurre tanto en el dosel y fustes (Pd y Ef), permite identificar las principales vías de entrada de los nutrientes al suelo del ecosistema considerado. Determinando entonces, que de los micronutrientes analizados como el Mn se concentró en mayor medida en la Pi (180.208 g ha<sup>-1</sup>), el flujo más alto de Cu fue en Pd correspondiente a *Acacia farnesiana* (65.025 g ha<sup>-1</sup>) y Pd de las parcelas del MET y *Casimiroa greggii*, presentaron los mayores ingresos de Zn (203.382 g ha<sup>-1</sup>) y Fe (913.318 g ha<sup>-1</sup>), respectivamente. Béjar (2017) registró valores de deposición en Pi de 465.16, 3,433.56, 347.66 y 25.99 g ha<sup>-1</sup>, para Pd de 339.33, 2,787.90, 368.88, 21.13 g ha<sup>-1</sup>, respectivamente y en Ef valores de 0.45, 4.51, 1.84 y 0.03 g ha<sup>-1</sup> de Zn, Mn, Fe y Cu, respectivamente, para cada vía mencionada en *Pinus cooperi* en El Salto, Durango.

En lo que respecta a los macronutrientes, el Ca se depositó en mayor cantidad en Pi con 76.251 kg ha<sup>-1</sup>, mientras que en Pd del tipo de coberturas de *Acacia farnesiana* y el MET presentaron las mayores incorporaciones de K y Mg con un total de 33.097 y 13.551 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. En cuanto a la deposición vía Ef en todos los casos fueron mínimas en comparación con los valores de la Pi y Pd tanto en micro y macronutrientes. Similarmente, Béjar (2017) encontró en Pi aportes de macronutrientes de Mg, Ca y K de 12.14, 64.05 y 17.57 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, una Pd de 8.93, 42.78 y 12.77 kg ha<sup>-1</sup> para la misma secuencia de minerales y un Ef de 0.02, 0.12, 0.04 kg ha<sup>-1</sup> en parcelas de *Pinus cooperi*.

Romero (2007), registró un aporte de nutrientes en precipitación incidente de Ca, Na, K y Mg de 19.65, 19.24, 6.06 y 2.67 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Un escurrimiento fustal con 5.98, 5.21, 2.24 y 1.22 kg ha<sup>-1</sup> con el mismo orden y en precipitación directa solo reporta el valor de Ca con 22.50 kg ha<sup>-1</sup>, evaluando *Pinus halepensis* Miller y *Pinus pinea* L. en Alicante, España.

Los resultados de Béjar (2017) y Romero (2007) coinciden con la alta concentración de Ca y las bajas concentraciones de Cu de las coberturas



analizadas en el presente estudio. Cabe mencionar que los valores de concentración neta coinciden con los de Béjar (2017) con un orden de mayor a menor deposición de macronutrientes Ca, K y Mg.

En todos los casos la fenología de las especies juega un papel importante para la deposición de nutrientes, así como otros factores que influyen directamente como lo es la deposición seca, duración, intensidad y volumen de precipitación, temperatura, velocidad del viento, así como la variación estacional.

Las concentraciones netas permiten conocer el flujo de los nutrientes a través de la vegetación por escurrimiento fustal y precipitación directa; y con ello, poder identificar y/o cuantificar los porcentajes de pérdidas y enriquecimiento de minerales que ocurren a través de la circulación de la precipitación por las distintas cubiertas.

De acuerdo al proceso de incorporación y remoción de nutrientes, se puede destacar el comportamiento único de K, donde en todas las cubiertas vegetales presentó un aumento en la deposición respecto al valor encontrado en la Pi ( $20.396 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Caso contrario, resultó en la deposición de Ca y Mn donde al paso de la precipitación por las estructuras arbóreas estas disminuyeron en su concentración.

En los doseles arbóreos de *Acacia farnesiana* y *Casimiroa greggii* se presentaron aumentos en la deposición en 5 de los 7 nutrientes analizados (K, Mg, Cu, Fe y Zn), mientras que en la parcela de *Leucaena leucocephala* se demostró el mayor número de casos de remoción de nutrientes al paso de la lluvia por esta cobertura vegetal (Mg, Ca, Mn, Cu, Fe y Zn). Béjar (2017) señala que todos los macronutrientes evaluados presentaron remoción (-) al paso del dosel, observándose que el Ca y el Mg presentaron los valores máximos y mínimos -  $21.16$  y  $-3.19 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente. Mientras que tres de los cuatro micronutrientes evaluados, presentaron remoción a excepción de Fe el cual incorporó  $23.06 \text{ g ha}^{-1}$ .

Jiménez (2006) muestra incorporaciones de K, Ca y Mg en comparación a las presentadas en Pi, evaluando un bosque secundario y de plantaciones forestales

de *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm. y *Vochysia ferruginea* Mart. en Sarapiquí, Costa Rica.

La incorporación de los nutrientes puede originarse de fuentes principales como la deposición seca producida por el arrastre a causa del viento y la actividad biológica de organismos presentes los árboles. Cabe señalar que un factor que también influye es la capacidad de movilización de los macro y micronutrientes a través de la estructura de las plantas.

Respecto a la remoción o absorción de nutrientes, este proceso se debe a que las especies del ecosistema aumentan su demanda o requerimientos por los nutrientes, disminuyendo con ello la cantidad incorporada por la Pi. Dichos nutrientes son necesarios para las plantas en su crecimiento y desarrollo.

## 9 CONCLUSIONES

Las precipitaciones son una de las tantas vías de entradas de macro y micronutrientes en todos los ciclos biogeoquímicos presentes en los ecosistemas terrestres. Cada especie modifica la química de la precipitación después de pasar el dosel ya sea para enriquecer o remover las concentraciones de nutrientes presentes en la precipitación.

Las diferencias de concentración entre la precipitación incidente y la directa son un factor importante para conocer el papel que cumple la vegetación en la modificación química del agua en ecosistemas áridos y semiáridos.

El paso de la precipitación por las diferentes estructuras arbóreas analizadas permitió un aumento en los valores de pH y en la conductividad eléctrica tanto en Pd como en Ef.

El aporte de micronutrientes para Pi se presenta en un orden de mayor a menor  $Fe > Mn > Zn > Cu$ , mientras que los macronutrientes mostraron la siguiente secuencia  $Ca > K > Mg$ .

Los micronutrientes para Pd y Ef bajo las diferentes coberturas arbóreas presentaron el mismo orden de deposición de mayor a menor el cual es  $Fe > Zn > Mn > Cu$ . En el caso de los macronutrientes, para Pd se muestra el mismo orden  $Ca > K > Mg$  en las cinco coberturas analizadas y finalmente, el Ef presentó un cambio en la deposición siendo su orden el siguiente  $Mg > Ca > K$ .

Durante el período de evaluación, se depositaron en el suelo vía Pi 180.208, 29.104, 130.162 y 521.546 g ha<sup>-1</sup> de Mn, Cu, Zn y Fe, respectivamente, y 76.25, 20.396 y 9.393 kg ha<sup>-1</sup> de Ca, K y Mg, respectivamente.

A lo largo del estudio entre las cinco coberturas arbóreas analizadas, se logró aportar al suelo un total de: 494.95, 231.863, 727.163 y 2936.600 g ha<sup>-1</sup> de Mn, Cu, Zn y Fe, respectivamente, así como 141.634, 52.048 y 319.313 kg ha<sup>-1</sup> de Ca, K y Mg, respectivamente.

*Acacia farnesiana* y *Condalia hookeri* fueron las especies que incorporaron mayor cantidad de nutrientes (K, Mg, Cu, Fe y Zn) al paso de la precipitación por sus doseles.

El micro y macronutriente con mayor presencia en el ecosistema fueron Fe y Ca con una deposición de 521.546 g ha<sup>-1</sup> y 20.396 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

## 10 BIBLIOGRAFÍA

Aboal, V .J. R. (1998). Los flujos netos hidrológicos y químicos asociados de un Bosque de Laurisilva en Tenerife, Tesis Doctoral. Universidad de la Laguna.

Alanís R. E., Jiménez, P. J., Aguirre, C. O. A., Treviño E., Jurado, Y. E., & González, T. M. A. (2008). Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco. *Ciencia UANL XI (1)*: 56-62.

Alanís, E. 2006. Diversidad de especies arbóreas y arbustivas en áreas con distinto historial antropogénico en el matorral espinoso tamaulipeco. Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L. Linares, N.L. Tesis de Maestría. pp. 28-41.

Alanís F. G. J., & Gonzalez. A. D. (2003). Flora nativa ornamental para el área metropolitana de Monterrey. Universidad Autónoma de Nuevo León. 1ra edición.

Andrade, G. D. C., Da Silva, H. D., Ferreira, C. A., Bellote, A., & Moro, L. U. I. Z. (1995). Contribución del agua de lluvia en la oferta de nutrientes minerales para *Eucalyptus grandis*. *Bosque*, 16(1), 47-51.

Arroyave Z., M. A., (2012). Dinámica del agua y los nutrientes solubles en agrosistemas cafeteros. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Colombia, Medellín).

Azcon-Bieto, J., & Talón, M. (2008). Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill- Interamericana, Madrid.

Batthey, N. H. (2000). Aspects of seasonality. *Journal of Experimental Botany*, 51(352), 1769-1780.

Béjar, P. S.J. (2017). Aporte de nutrientes vía precipitación incidente, directa y escurrimiento fustal en *Pinus cooperi* C.E. Blanco, en “El Salto”, Durango. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L

Binkley, D. (1993). *Nutrición forestal. Prácticas de manejo*. México, MX, Editorial Limusa.

Boring, L.R., Swank, W.T. & Henderson, G.S. (1988). Sources, fates and impacts of nitrogen inputs to terrestrial ecosystem: Review and Synthesis. *Biogeochemistry*, 119-159.

Bruijnzeel, L. A. (1990). Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review. *Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review*.

Campo, J. (2003). Disponibilidad de nutrimentos en una toposecuencia con bosque tropical seco en México. *Agrociencia* 37:211-219.

Cantú, I. S., & González, H. R. (2001). Interception loss, throughfall and stemflow chemistry in pine and oak forests in northeastern Mexico. *Tree Physiology*, 21(12-13), 1009-1013.

Cantú, I. S., & González, H. R. (2005). Pérdidas por intercepción de la lluvia en tres especies de Matorral Submontano. *Ciencia UANL VIII (1): 80-85*.

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

Carlisle, A., Brown, A.H.F. & White, E.J. (1967). The nutrient content of tree stem flow and ground flora litter and leachates in a sessile oak (*Quercus petraea*) woodland. *Journal. Ecology*, 55: 615-627.

Cavelier, J., & Vargas, G. (2002). Procesos hidrológicos. *Ecología y conservación de bosques neotropicales*, 145-165.

Chiwa, M., Crossley, A., Sheppard, L., Sakugawa, H., & Cape, J. (2004). Throughfall chemistry and canopy interactions in a Sitka spruce plantation

sprayed with six different simulated polluted mist treatments. *Environmental Pollution* 127:57-64.

Chester, R., Nimmo, M. & Keyse, S. (1996). The influence of Saharan and Middle Eastern desert-derived dust on the trace metal composition of Mediterranean aerosols and rainwaters: an overview. In: *The impact of desert dust across the Mediterranean*. Springer Netherlands. (pp. 253-273).

CNA (2009). *Estadísticas del Agua en México 2005*, Comisión Nacional del Agua, México.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2017). Consultado: 06 de mayo de 2017 en: [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/44-legum26m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/44-legum26m.pdf)

COTECOCA-SARH (1973). *Coeficientes de agostadero de la República Mexicana*, Edo. de N. L., Secretaría de Agricultura y Ganadería. Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero, México.

De Soyza, A.G., Whitford, W.G., Martínez-Meza, E. & Van Zee, J.W. (2002). Variation in Creosotebush (*Larrea tridentata*) canopy morphology in relation to habitat, soil fertility and associated annual plant communities. *American Midland Naturalist*, 137 (1): 13-26.

Domingo, F., Puigdefábregas, J., Moro M.J. & Bellot, J. (1994). Role of vegetation cover in the biogeochemical balances of a small afforested catchment in southeastern Spain. *Journal of Hydrology*, 159: 275 - 289.

Dunkerley, D. L. & Booth, T. L. (1999). Plant canopy interception of rainfall and its significance in a banded landscape, arid western New South Wales, Australia. *Water Resources Research*, 35(5), 1581-1586.

Eaton, J.S.; Likens, G.E. & Borman, F. H. (1973). Throughfall and stemflow chemistry in a northern hardwood forest. En: *The Journal of Ecology*, vol. 61, no. 2, p. 495-508.

Eriksson, E. (1953). Composition of atmospheric precipitation: II Sulfur, chloride and iodine compounds. *Tellus*, 4, 280-303.

Escobar E. & Maass M. (2008). Diversidad de procesos funcionales en los ecosistemas. *Capital natural de México*, 1, 161-189.

Estrada, G. (1997). Caracterización y preparación de fertilizantes líquidos para fertirrigación. En: *Fertirrigación*. Silva M., F. (ed.). Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo, Bogotá, p. 61- 72.

Eviner, V. T. (2003). Functional matrix: a conceptual framework for predicting multiple plant effects on ecosystem processes. *Annual Review Ecology, Evolution and Systematics* 34:455-485

Fassbender, H. W. (1987). Modelos edafológicos de sistemas agroforestales (N°29). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. Departamento de Recursos Naturales Renovables. Turrialba: 1987, 475 p.

Fassina, V. (1980). The formation of atmospheric sulphates in the presence of ammonia and sulphur dioxide in Venice. *Arch. Met. Geoph. Bioki.*, Ser. B, 28: 165-172.

Filoso, S., Williams, M. R., & Melack, J. M. (1999). Composition and deposition of throughfall in a flooded forest archipelago. *Biogeochemistry*, 45(2), 169-195.

Fölster, H., & Khanna, P. K. (1997). Dynamics of nutrient supply in plantation soils. *Acia Monograph Series*, 43, 339-378.



Foroughbakhch, R., G. Reyes R, M. A. Alvarado V., J. L. Hernández P. & A. Rocha. 2005. Use of quantitative methods to determine leaf biomass on 15 woody shrub species in northeastern Mexico. *Forest Ecology and Management* 216:359-366.

Galloway, J. N., (1979). Acid Precipitation: Spatial and Temporal Trends. In *Acid Rain* (pp. 1-20). ASCE.

Galloway, J. N., Likens, G. E., & Edgerton, E. S. (1976). Hydrogen ion speciation in the acid precipitation of the northeastern United States. *Water, Air, & Soil Pollution*, 6(2), 423-433.

García, E. (1973). Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

García Alanís, L. C. (1997). Estudio fenológico y de crecimiento de once especies leñosas del matorral espinoso tamaulipeco en Linares, Nuevo León, México. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L., pp 133.

Garrett, H. (2002). *Texas Trees*. Traylor Trade Publishing Lanham. Lanham, MD. USA.

Gómez, M. X., & de Anta, R. C. (2001). Ciclo del agua y elementos en suelos forestales (*Pinus radiata*) de Galicia. In *Congresos Forestales*.

González M. (1996). Análisis de la vegetación secundaria de Linares N.L., México. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L., Linares, N.L.

Granat, L. (1978). Sulfate in precipitation as observed by the European Atmospheric Chemistry Network. *Atmospheric Environment* (1967), 12(1-3), 413-424.

Guerrero, R. (1993). Los nutrientes de las plantas. Fertilización de cultivos en clima frío, 3, 9-13.

Hanchi, A. & Rapp, M. (1997). Stemflow determination in forest stands. *Forest Ecology and Management* 97: 231-235.

Heiseke, D. (1985). El matorral como recurso forestal (No. Folleto 11269)

Hedin, L. O., Armesto, J. J., & Johnson, A. H. (1995). Patterns of nutrient loss from unpolluted, old-growth temperate forests: Evaluation of biogeochemical theory. *Ecology*, 76(2), 493-509.

HouBao, F., Wei, H., Zhuang, M & Kosuke, W. (1999). Acidity and chemistry of bulk precipitation, throughfall and stemflow in a Chinese fir plantation in Fujian, China. *Forest Ecology & Management* 122:243-248.

Huber A., Oyarzún C. & 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. W. & Oyarzun, C. E. (1992). Redistribución de las precipitaciones en un bosque siempre-verde del sur de Chile. *Turrialba* 42(2): 192-199.

Jaramillo R., A. (2002). Contenido de nutrimentos en la lluvia, agua de lavado foliar y escorrentía en cafetales con diferentes sombríos. *Meteorología colombiana*, (7), 135-14

Jaramillo R., A, (1999). Distribución de la lluvia dentro de los cafetales. *Avances Técnicos Cenicafé* N° 262: 1-4.

Jaramillo, R., A. (2003). La lluvia y el transporte de nutrientes dentro de ecosistemas de Bosque y Cafetales. En: *CENICAFÉ*, vol. 54, no. 2, p. 134-144.

Jiménez, R. C. Calvo, A. J. C., & Arias, A. D. (2006). Lavado de nutrientes en plantaciones forestales de *Vochysia ferruginea* Mart. y *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm., Sarapiquí, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 3(8), 16-26.

Jordan, C. F. (1985). Nutrient cycling in tropical forest ecosystems. Principles and their application in management and conservation. John Wiley & Sons.

Junge, C. E., & Werby, R. T. (1958). The concentration of chloride, sodium, potassium, calcium, and sulfate in rain water over the United States. *Journal of Meteorology*, 15(5), 417-425.

Kimmins, J. P. (2003). *Forest ecology: a foundation for sustainable forest management and environmental ethics in forestry*. Prentice Hall. 609 p.

Laclau, J., Ranger, J., Bouillet, J., Nzila, J. & Deleporte, P. (2003). Nutrient cycling in a clonal stand of *Eucalyptus* and an adjacent savanna ecosystem in Congo. *Forest Ecology & Management* 176:105-119.

León, L. A. (1994). Evaluación de la fertilidad del suelo. En: *Fertilidad de suelos*. Silva M., F. (ed.). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, p. 154-186.

Li, Y. C., Alva, A. K., Calvert, D. V. & Zhang, M. (1997). Chemical composition of throughfall and stemflow from citrus canopies 1. *Journal of plant nutrition*, 20(10), 1351-1360.

Likens, G.E., Borman, F.H., Pierce, R.S., Eaton, J.S. & Johnson N.M. 1995. *Biochemistry of a Forested Ecosystem*. 2nd. Edition. Springer. New York

Likens, G. E. & Bormann, F.H. (1995). *Biogeochemistry of a forested ecosystem*. New York, 1°. Edition Springer- Verlag, 159 p.

Lin T.C., Hamburg S.P., King H.B., & Hsia Y.J. (2000). Throughfall patterns in a subtropical rain forest of northeastern Taiwan, *J. Environ. Qual.* 29 1186–1193.

Lora S., R. (1994). Factores que afectan la disponibilidad de nutrientes para las plantas. En: Fertilidad de suelos. Silva M., F. (ed.). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, p.29-56.

Lovett, G.M. (1994). Atmospheric deposition of nutrients and pollutants in North America: an ecological perspective. *Ecol Appl*, 4:629 –650.

Ludwig J., A., F. Reynold J. & P. D. Whitson. 1975. Size biomass relationships of several Chihuahuan desert shrubs. *American Midland Naturalist*. 94:451-461.

Marschner, H. (1998). Mineral Nutrition of higher plants. Academic Press, San Diego.

Martínez-Meza, E. & Whitford, W.G. (1996). Stemflow, throughfall and channelization of stemflow by roots in three Chihuahuan desert shrubs. *Journal of Arid Environments*, 32: 271-287.

Mateos Rodríguez, A. B., & Schnabel, S. (1998). Medición de la interceptación de las precipitaciones por la encina (*Quercus rotundifolia* Lam.): Metodología e instrumentalización. *Norba. Revista de Geografía*. p. 195-112.

Mensanza J.M., Casado H. (1994) Atmospheric deposition at *Pinus radiata* sites in the Spanish Basque Country. *J of Enviromental Science and Health. Part A. Enviromental Science and Engineering* 29: 729-744

Meszaros, E. (1981). Atmospheric Chemistry Fundamental aspects. *Estudies in Environmental Science* 11. Elsevier Scientific publishing company. Asterdam.

McCune, D. C., & Boyce, R. L. (1992). Precipitation and the transfer of water, nutrients and pollutants in tree canopies. *Trends in ecology & evolution*, 7(1), 4-7.

McDowell, W. (1998). Internal nutrient fluxes in a Puerto Rican rain forest. *Journal of Tropical Ecology* 14:521- 536.

Mengel, K., & Kirkby E. A.(1982). Principles of plant nutrition. 3rd. ed., International Potash Institute, Switzerland, 655 pp

Montagnini, F. & Jordan, C.F. (2002). Reciclaje de nutrientes. Capítulo 8. En: *Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales*. Cartago, Costa Rica: Guariguata, M. y Katan; H. [eds.], p. 167-192.

Miller, R. B. (1963). Plant nutrients in hard beech. III. The cycle of nutrients. *New Zealand journal of science*, 6, 388-413.

Morales, A. M. A. (2002). Sistema experto para recomendar estrategias de fertilización. Tesis ingeniería. Universidad Tecnológica de La Mixteca.

Nilsson, L. O., Hüttl, R. F., Johansson, U. T., & Jochheim, H. (1995). Nutrient uptake and cycling in forest ecosystems—present status and future research directions. In *Nutrient Uptake and Cycling in Forest Ecosystems* (pp. 5-13). Springer Netherlands.

O'connell, A. M., & Sankaran, K. V. (1997). Organic matter accretion, decomposition and mineralisation. *Aciar Monograph Series*, 43, 443-480.

Parker, G. G. Throughfall and Stemflow in the Forest Nutrient Cycle. (1983). En: *Advances in Ecological Research*, no. 13, p. 57-135.

Pigott C.D. & Pigott S. (1993). Water as a determinant of the distribution of trees at the boundary of the Mediterranean zone. *J. Ecol.* 81:557-566

Pizarro R., Vallejos O., Balocchi F., Morales F. & León L. (2008). Determinación de las intercepciones de agua en bosques nativo maulino y en plantaciones de *Pinus radiata* D. 4to Congreso Chileno de Ciencias Forestales, Campus Talca de la Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 25 p.

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

Price, N. W. A (1982). Comparison of water balance components in natural and plantation forest in the Salvador, Central America. En: Turrialba: vol. 32, no. 4, p. 398 - 416.

Proctor, J. (2005). Rainforest mineral nutrition: the "black box" and a glimpse inside it. En: Bonnell, M. y Bruijnzeel, L.A. *Forest, water and people in the humids tropics: past, presents and future hydrological research for integrated land and water management*, p. 422-446.

Prospero, J.M. (1996). Saharan dust transport over the North Atlantic Ocean and the Mediterranean: an overview. In: S. Guerzoni y R. Chester (Ed.). *The Impact of African Dust Across the Mediterranean*. Kluwer. Dordrecht. P. 133-151.

Prospero, J.M., Nees, R.T. & Uematsu, M. (1987). Deposition rate of particulate and dissolved aluminum derived from Saharan dust in precipitation at Miami, Florida. *J. Geophys. Res*, 92: 14723- 14731.

Rodrigo, A., Avila, A. & Roda, F. (2001). The chemistry of precipitation, throughfall and stemflow in two holm oak (*Quercus ilex* L.) forests under a contrasted pollution environment in NE Spain. *The Science of the Total Environment*, 305: 195–205.

Rodríguez, M., & Flórez, V. (2004). *Elementos Esenciales y Beneficiosos. Nociones Básicas del Fertiiego*. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia.

Romero Castellanos, L. F. (2007). *Estudio de los flujos hídricos en las dunas de Guardamar del Segura*. Tesis doctoral. Universidad de Alicante.

Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa. México, D.F. México. 745 p.

Salisbury, F. B. & C. W. Ross. (1992). Plant physiology. (4th. ed.), Wadsworth Publishing, Belmont, 662p.

Santa Regina, I., Gallardo, J.F., San Miguel C. & Moyano A. (1989). "Intercepción, pluviolavado y escorrentía cortical en una plantación de *Pinus sylvestris* de la Cuenca de Candelario (centro-oeste de España)", *Bosque* 10: 19-27.

Santa Regina, I. & Gallardo, J. F. (1989). Ciclos biogeoquímicos en bosques de la sierra de Bejar. [En línea]: Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, [Citado 14/02/03].

Santiago, L. (2007). Medición y análisis de la intercepción de lluvia en un bosque de encino: aplicación a la microcuenca la barreta. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. México

Saucedo Quezada, E. (2011). Estudio etnobotánico de especies arbustivas y arbóreas en los municipios de Linares y Hualahuises, Nuevo León, México. Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Schier GA (1987). Throughfall chemistry in a red maple provenance plantation sprayed with "acid rain". *Can J For Res* 17: 660-665

Schroth, G., Elias, M. E. A., Uguen, K., Seixas, R., & Zech, W. (2001). Nutrient fluxes in rainfall, throughfall and stemflow in tree-based land use systems and spontaneous tree vegetation of central Amazonia. *Agriculture, ecosystems & environment*, 87(1), 37-49.

Semb, A., Hanssen, J.E., Francois, F., Maenhaut, W. & Pacyna, J.M. (1995). Long range transport and deposition of mineral matter as a source for base cations. *Water, Air, Soil Poll*, 85: 1993-1995

Swap, R., Garstang, M., Greco, S., Talbot, R., & Kállberg, P. (1992). Saharan dust in the Amazon Basin. *Tellus B*, 44(2), 133-149.

Taiz., L. y Zeiger E. (1998). *Plant physiology*. (2th ed.). Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland, 792p.

Tamm, C.O. & Cowling, E.B. (1977). Acidic precipitation and forest vegetation. *Water, Air and soil pollution*, 503-511 pp.

Tobón Marín, C., Bouten, I.W. & Dekker, S. (2000). Forest floor water dynamics and root water uptake in four forest ecosystems in northwest Amazonia. *En: Journal of Hydrology*, no. 237, p. 169-183.

Tobón-Marin, C. (1999). Monitoring and modelling hydrological fluxes in support of nutrient cycling studies in Amazonian rain forest ecosystems.

Tromble, J.M. 1988. Water interception by two arid shrubs. *Journal of Arid Environments*, 15: 65-70.

Tukey Jr, H. B. (1970). The leaching of substances from plants. *Annual review of plant physiology*, 21(1), 305-324.

Veneklaas, E. (1990). Rainfall interception and above ground nutrient fluxes in Colombian montane tropical rain forest. *Doctoral dissertation: University of Utrecht*. 110 p.

Villegas, G. (1972). Tipos de vegetación de los municipios de Linares y Hualahuises, NL. *Tesis Lic. Escuela de Agricultura. Universidad de Guadalajara México*, 96.

Vitousek, P. M. & Sanford, R. L. (1986). Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual review of Ecology and Systematics*, 17(1), 137-16.

Von Maydel, H. J. (1996). Appraisal of practices to manage woody plants in semiarid environment. In: Bruns, S. J., O. Luukanen and P. Woods (Eds.). *Dry*



land forestry research. International Foundation for Science. Stockholm, Sweden. pp. 47-64

Ward, R. C. & Robinson, M. (1990). Principles of hydrology. México, McGraw Hill International Editions, p. 54-78.

Waring, R. H., & Schlesinger, W. H. (1985). Forest ecosystems. Concepts and management. Academic Press. Orlando, Florida.

Watters, R.J. & Price, A.G. (1988). Charge azoté et en éléments minéraux majeurs des eaux de pluie, de pluviollessivage et de drainage dans la savanne de Lambo (Cote d'Ivoire). Rev. Ecol. Biol. Sol 15. 1-20.

Welch, R. M. (1995). Micronutrient nutrition of plants. Critical Reviews in Plant Science, 14(1):49- 82.

Yáñez D., M. I. (2013). Propiedades hidrológicas de un fragmento de matorral espinoso tamaulipeco en el Noreste de México. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L., Linares, N.L.

Xiao Y., Dai L., Niu D., Tong F., Chen G. & Deng H. (2002). Influence of canopy on precipitation and its nutrient elements in broad-leaved/Korean pine forest on the northern slope of Changbai Mountain. Journal of Forestry Research, 13(3), 201-204.

Xue, L. (1996). Nutrient cycling in a chinese-fir (*Cunninghamia lanceolata*) stand on a poor site in Yishan, Guangxi. Forest Ecology & Management 89:115-123.

Zinke, P. J. (1962). The pattern of influence of individual forest trees on soil properties. Ecology, 43(1), 130-133.