

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO**



**Perfil Químico de la Precipitación a Través del Dosel de Cuatro  
Especies de Leguminosas de una Plantación en Linares, N.L.**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**TESIS DE MAESTRIA**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS  
OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES**

**POR**

**JORGE MENDEZ GONZALEZ**

Linares, Nuevo León, México

Octubre, 1997

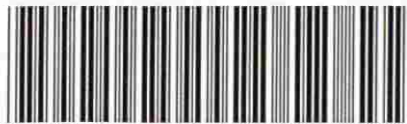
TM

Z5991

FCF

1997

M4



1020120343



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

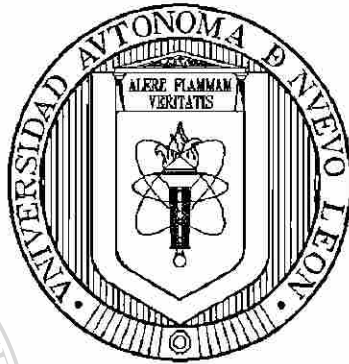


DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO**



**Perfil Químico de la Precipitación a Través del Dosel de Cuatro  
Especies de Leguminosas de una Plantación en Linares, N.L.**

**TESIS DE MAESTRIA**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA**

**OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES**

**POR**

**JORGE MENDEZ GONZALEZ**

Linares, Nuevo León, México

Octubre, 1997



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

**Perfil Químico de la Precipitación a través del Dosel de Cuatro  
Especies de Leguminosas en una Plantación en Linares, N.L.**

TESIS DE MAESTRIA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRIA EN CIENCIAS FORESTALES

POR

JORGE MÉNDEZ GONZÁLEZ

COMITÉ DE TESIS



UANL

Ph. D. Humberto González Rodríguez  
Presidente

Dr. Pedro A. Domínguez Calleros  
Secretario

Ph. D. José de Jesús Návar Cháidez  
Vocal

Dr. Marco Vinicio Gómez Meza  
Asesor externo

## DEDICATORIA

*A Dios:*

*Por darme la vida y permitirme realizar mis anhelos e ilusiones.  
Gracias por estar siempre en mi camino*

*A mi Madre:*

*Amparo González Corrales, gracias a aquella mujer dulce que siempre luchó para ver mis metas realizadas, a aquella que sonó un día este momento de triunfo. Hoy, le dedico este esfuerzo, ya que con su lucha diaria, mantuvo una fuerza en mí para poder desafiar los retos y adversidades.*

*A mi Padre:*

*Rafael Méndez González a quien admiro y respeto por ser un hombre humilde, de buena fe y gran corazón, gracias a él que siempre luchó por darme lo mejor, gracias por todas esas cosas que nunca terminaré de agradecer.*

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

*A mis Hermanos:*

*Rafael, Julieta, Ana María, Eduardo, Nolberto, Francisco, Elsa y Teresa, a quien en todos los momentos tuve presentes, gracias por ese cariño y por toda esa confianza.*

## DEDICATORIA

*A Dios:*

*Por darme la vida y permitirme realizar mis anhelos e ilusiones.  
Gracias por estar siempre en mi camino*

*A mi Madre:*

*Amparo González Corrales, gracias a aquella mujer dulce que siempre luchó para ver mis metas realizadas, a aquella que sonó un día este momento de triunfo. Hoy, le dedico este esfuerzo, ya que con su lucha diaria, mantuvo una fuerza en mí para poder desafiar los retos y adversidades.*

*A mi Padre:*

*Rafael Méndez González a quien admiro y respeto por ser un hombre humilde, de buena fe y gran corazón, gracias a él que siempre luchó por darme lo mejor, gracias por todas esas cosas que nunca terminaré de agradecer.*

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

*A mis Hermanos:*

*Rafael, Julieta, Ana María, Eduardo, Nolberto, Francisco, Elsa y Teresa,  
a quien en todos los momentos tuve presentes, gracias  
por ese cariño y por toda esa confianza.*

# AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) que gracias a su apoyo fue posible realizar mis estudios de Maestría.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León, que por medio de la Facultad de Ciencias Forestales, hizo de mí un profesional responsable y de firme decisión.

Al Dr. Humberto González Rodríguez, director de esta tesis, que gracias a su tiempo, dedicación y perseverancia, así como su constante apoyo, tanto material como moral, fue posible la culminación de este trabajo. Así mismo, quiero agradecerle por sus comentarios constructivos, por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias que fueron para mí una base sólida para mi formación profesional.

Al Dr. Pedro Antonio Domínguez Calleros, asesor y revisor de esta tesis, ya que con su valiosa colaboración y apoyo brindado en todos los aspectos, sirvió para concluir este trabajo. Quiero también agradecerle por brindarme una mano amiga y permitirme formar parte de su noble confianza.

Quiero agradecerle al Dr José de Jesús Návar Cháidez, asesor y revisor de este trabajo, por dedicar su valioso tiempo a mejorar el desarrollo de esta investigación y por preocuparse de hacer de mí, un profesional capaz y firme al igual que todos sus estudiantes. Así mismo, quiero darle gracias ya que siempre fue una persona de apoyo perdurable hacia mí, dentro y fuera del plantel escolar.

Al Dr. Marco Vinicio Gómez Meza, (Profesor de la Facultad de Economía, UANL), asesor y revisor de este trabajo quien siempre mostró su mejor postura, dedicación y firmeza, en la colaboración y asesoría de esta tesis, gracias por su importante apoyo en los análisis estadísticos de esta investigación. Gracias también por brindarme su valiosa amistad.

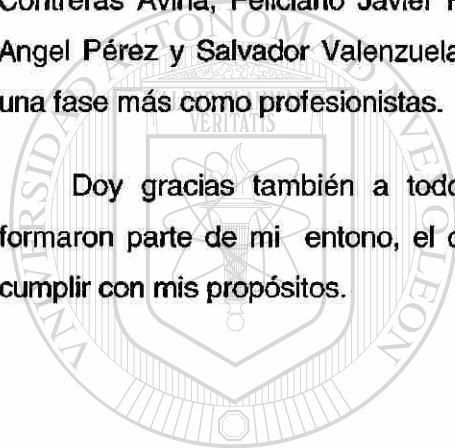
A mi novia Paulina Bazaldúa Sánchez que gracias a ella fue posible salir avante dentro y fuera de la escuela. Gracias por ese apoyo moral, que me brindaste, ya que fuiste la compañera de mis triunfos y derrotas. Gracias por tus comentarios que fueron el arma para enfrentar las adversidades.

Agradezco sinceramente a todas aquellas personas que participaron y me brindaron su ayuda en los análisis de laboratorio y de campo, los cuales fueron muy valiosos para soporte de este trabajo, ellos fueron: Elsa D. González, Laura B. Rodríguez, Yadira Garza Correa, Sanjuanita Doria, Alma Delia Ramírez, Ma. del Refugio Bravo Garza, Don Lázaro Ramírez y Don Manuel Hernández.

A Nancy Gutiérrez, Miguel Pérez Rodríguez, Hector G. Medrano "Junior" y Roberto Montezco, por brindarme su ayuda especial y oportuna durante el desarrollo de esta investigación, gracias también por brindarme esa amistad incomparable.

Agradezco también a mis compañeros de generación: María Celeste Benítez, José Cruz Contreras Aviña, Feliciano Javier Heredia Pineda, José Guadalupe Martínez Ávalos, Miguel Angel Pérez y Salvador Valenzuela, por compartir conmigo experiencias buenas y malas en una fase más como profesionistas.

Doy gracias también a todos aquellos estudiantes que de alguna manera u otra, formaron parte de mi entorno, el cual formó un medio hostil y óptimo para poder realizar y cumplir con mis propósitos.



UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue caracterizar la composición química y la deposición de nutrientes minerales a través de la precipitación incidente y la precipitación efectiva que pasa a través del dosel de *Acacia rigidula*, *A. berlandieri*, *Pithecellobium ebano* y *P. pallens*, entre el 15 de Marzo de 1996 y 15 de Marzo de 1997. Durante el periodo experimental, se determinaron las concentraciones (mg/L) de macro (Ca, K, Mg y Na) y microelementos (Fe, Mn, Cu y Zn), así como el pH y la conductividad específica (CE) en cada evento de precipitación. Así mismo, análisis foliares y de suelo fueron realizados para relacionar y sustentar los resultados en cuanto a disponibilidad de nutrientes, absorción y translocación. Paralelamente al estudio, se realizaron observaciones fenológicas de las especies. Los datos fueron analizados por evento de precipitación, por estación y sobre una deposición media anual de nutrientes utilizando un diseño completamente aleatorio. Así mismo, aspectos hidrológicos tales como intercepción de lluvia por el dosel de las especies estudiadas fueron determinados.

La concentración de todos los nutrientes minerales evaluados, pH y CE fueron más altos en la precipitación efectiva de las especies que en la precipitación incidente. Las concentraciones de Ca, Na, Mn, Cu y Zn fueron más altos en la estación de primavera, mientras que los valores más altos de Fe y Mg fueron observados en otoño. No obstante, las concentraciones de K no mostraron diferencias significativas entre las estaciones. Los valores más altos de la deposición media anual de Ca, Mg y K fueron observados en la especie *P. ebano*, mientras que para Cu y Mn fueron observados en *A. berlandieri*. No se detectaron diferencias estadísticas en la deposición media anual de Na, Fe y Zn en precipitación incidente y efectiva. Por otro lado, a pesar de la ausencia de estructuras foliares y reproductivas en las estaciones de primavera y verano, la precipitación efectiva de todas las especies fue altamente enriquecida por todos los nutrientes minerales analizados.

De la precipitación total registrada, la precipitación efectiva representó el 81.3, 92.2, 84.6 y 94.4% para *Acacia rigidula*, *A. berlandieri*, *Pithecellobium ebano* y *P. pallens*, respectivamente, mientras que la intercepción de agua de lluvia fue del orden de 18.6, 7.77, 13.8 y 5.9% para *Acacia rigidula*, *A. berlandieri*, *Pithecellobium ebano* y *P. pallens*, respectivamente.

Los resultados indican que la deposición de nutrientes vía precipitación incidente está influenciada principalmente por los siguientes dos factores: 1) periodo entre eventos de precipitación y 2) cantidad de precipitación. Por otro lado, la deposición de nutrientes vía precipitación efectiva se relaciona a los dos factores antes mencionados así como también a el lixiviado de nutrientes de las propias hojas y al lavado de material y partículas que están depositadas en el dosel de las especies. Aunque un gran número de eventos con diferencias estadísticas en la deposición de nutrientes vía precipitación incidente y efectiva fueron observados durante el verano, los resultados encontrados sugieren que esto podría ser debido a las altas temperaturas que se presentan en esta estación, las cuales pueden jugar un papel importante en la lixiviación de nutrientes.



## SUMMARY

The objective of this study was to characterize the chemistry composition and plant nutrient deposition by means of incident precipitation and throughfall under *Acacia rigidula*, *A. berlandieri*, *Pithecellobium ebano* and *P. pallens* between March 15, 1996 and March 15, 1997. During the experimental period, concentrations (mg/L) of macro (Ca, K, Mg and Na) and microelements (Fe, Mn, Cu and Zn), as well as, pH and specific conductivity (SC) were determined for each storm event. In addition, soil and foliar analysis were made in order to provide information regarding to nutrient availability, absorption and translocation mechanisms. Developmental aspects of each plant species were also observed throughout the study. Data collected of nutrient deposition in each storm event, seasons, and on an annual mean basis were subjected to a completely random design. In addition, hydrological aspects such as rainfall interception of each plant species were also monitored.

Concentration of all nutrients studied, pH and SC values were higher in throughfall with respect to incident precipitation. Concentrations of Ca, Na, Mn, Cu and Zn were higher during the spring season, whereas Fe and Mg were higher in autumn. However, concentrations of K were not significantly different between seasons. Annual mean deposition of Ca, Mg and K were higher in *P. ebano* whereas the highest values of Cu and Mn were observed in *A. berlandieri*. There were not statistical differences in Na, Fe and Zn depositions by means of incident precipitation and throughfall. In spite of the absence of foliar and reproductive structures during the spring and summer seasons, throughfall chemistry of all species was enriched by all nutrients analyzed.

Of the gross annual rainfall, throughfall comprised 81.3, 92.2, 84.6 and 94.4% for *Acacia rigidula*, *A. berlandieri*, *Pithecellobium ebano* and *P. pallens*, respectively, while the percentage of interception losses was 18.6, 7.77, 13.8 and 5.9% for *Acacia rigidula*, *A. berlandieri*, *Pithecellobium ebano* and *P. pallens*, respectively.

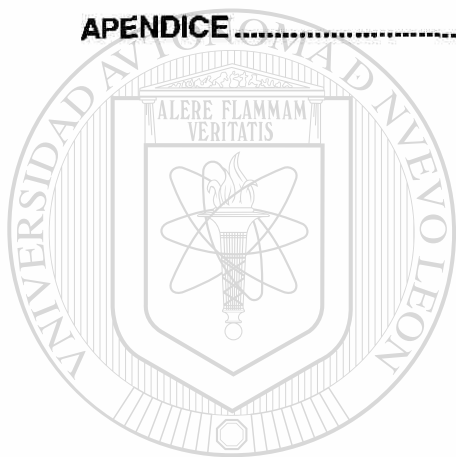
These results suggest that incident precipitation chemistry is influenced basically for two factors: 1) dry period between precipitation events and 2) amount of precipitation, whereas throughfall chemistry is related besides the two factors above mentioned, to the leaching of such nutrients from the leaves and to the washout of particles or materials deposited in the canopy of these species. Although a great number of storms with significant differences in nutrient deposition were observed in throughfall during summer, it is propose that it could be due to high temperatures that are present in this season, which may play an important role in nutrient leaching.

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN.....</b>	<b>i</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>ii</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS .....</b>	<b>VI</b>
<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>X</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>3</b>
1.1.1 General.....	3
1.1.2 Específicos .....	3
<b>1.2 Hipótesis .....</b>	<b>3</b>
<b>2. LITERATURA REVISADA.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 El ciclo de agua .....</b>	<b>4</b>
2.1.1 Formación de la precipitación .....	4
2.1.2 Precipitación .....	5
<b>2.2 Agua.....</b>	<b>5</b>
2.2.1 Propiedades físicas.....	5
2.2.2 Propiedades químicas.....	6
2.2.3 Unidades de medición basadas en las propiedades del agua.....	7
<b>2.3 La atmósfera como fuente de nutrientes.....</b>	<b>8</b>
<b>2.4 Generalidades sobre la nutrición mineral .....</b>	<b>9</b>
2.4.1 Definición y clasificación.....	9
2.4.2 Función de nutrientes en las plantas .....	9
<b>2.5 Factores que influyen la química de la precipitación .....</b>	<b>15</b>
2.5.1 Cantidad de precipitación.....	15
2.5.2 Altitud .....	15
2.5.3 Actividad antropogénica .....	16
2.5.4 Tipo y edad de la vegetación .....	16

2.6 Estudios afines.....	16
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 Ambiente físico .....</b>	<b>22</b>
3.1.1 Localización y Descripción del Área de Estudio.....	22
3.1.2 Vegetación.....	22
3.1.3 Clima.....	22
3.1.4 Suelo.....	23
<b>3.2 Material vegetal .....</b>	<b>26</b>
3.2.1 Descripción de las especies estudiadas.....	26
3.2.2 Fenología vegetal.....	28
<b>3.3 Descripción del experimento .....</b>	<b>28</b>
3.3.1 Precipitación incidente.....	28
3.3.2 Precipitación efectiva.....	28
3.3.3 Colecta y preservación de las muestras de agua de lluvia .....	29
3.3.4 Muestreo de tejido foliar.....	30
3.3.5 Análisis químicos.....	30
3.3.6 Diseño experimental y análisis estadístico.....	31
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>33</b>
<b>4.1 Precipitación incidente.....</b>	<b>33</b>
<b>4.2 Relación de precipitación incidente y precipitación efectiva .....</b>	<b>37</b>
<b>4.3 Relaciones de intercepción .....</b>	<b>40</b>
<b>4.4 Concentración de nutrientes minerales en tejido foliar.....</b>	<b>44</b>
<b>4.5 Deposición media anual.....</b>	<b>49</b>
<b>4.6 Alteración cuantitativa y química de la precipitación por evento de lluvia.....</b>	<b>53</b>
4.6.1 Precipitación.....	53
4.6.2 Concentración de Ca.....	55
4.6.3 Concentración de K.....	57
4.6.4 Concentración de Mg.....	59
4.6.5 Concentración de Na.....	62
4.6.6 Concentración de Fe.....	64

	<b>v</b>
4.6.7 Concentración de Mn .....	66
4.6.8 Concentración de Cu.....	68
4.6.9 Concentración de Zn .....	69
4.6.10 Comportamiento del pH .....	72
4.6.11 Conductividad específica .....	75
<b>4.7 Flujos estacionales de nutrientes.....</b>	<b>77</b>
<b>4.8 Flujos de nutrientes por especie .....</b>	<b>80</b>
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>89</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>91</b>
<b>APÉNDICE .....</b>	<b>100</b>



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



## ÍNDICE DE CUADROS

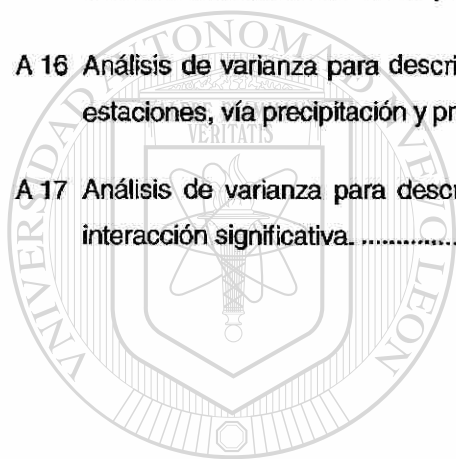
<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
1 Concentración de elementos minerales en el suelo, determinados en dos fechas y en dos profundidades durante el periodo experimental. ....	25
2 Nombre científico, nombre común y familia de las especies estudiadas. ....	26
3 Parámetros optimizados del espectrofotómetro que se utilizaron para determinar la concentración de los elementos. ....	31
4 Coeficientes de cuadrados mínimos que estiman la precipitación efectiva en cada especie estudiadas como una función de la precipitación incidente (n=52). ....	39
5 Características hidrológicas de las especies estudiadas en relación precipitación efectiva e intercepción. ....	42
6 Coeficientes de cuadrados mínimos que estiman la intercepción en cada especie estudiada como una función de la precipitación incidente (n=52). ....	42
7 Comparación de medias entre la deposición media anual de nutrientes vía precipitación incidente y precipitación efectiva. ....	51
8 Deposición nutricional acumulada (kg/Ha) en precipitación incidente y efectiva de 52 eventos de lluvia registrados durante el periodo experimental. ....	52
9 Comparación de medias entre la cantidad de precipitación incidente y precipitación efectiva (mm) por evento de lluvia. ....	54
10 Comparación de medias entre la deposición de Ca (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva por evento de lluvia. ....	56
11 Comparación de medias entre la deposición de K (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva por evento de lluvia. ....	58
12 Comparación de medias entre la deposición de Mg (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva por evento de lluvia. ....	60
13 Comparación de medias entre la deposición de Na (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva por evento de lluvia. ....	62

14	Comparación de medias entre la deposición de Fe (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva por evento de lluvia. ....	64
15	Comparación de medias entre la deposición de Mn (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva por evento de lluvia. ....	66
16	Comparación de medias entre la deposición de Cu (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva por evento de lluvia. ....	68
17	Comparación de medias entre la deposición de Zn (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva por evento de lluvia. ....	70
18	Comparación de medias de los valores de pH vía precipitación incidente y precipitación efectiva por evento de lluvia. ....	73
19	Comparación de medias del comportamiento de la CE ( $\mu\text{mhos/cm}$ ) vía precipitación incidente y precipitación efectiva por evento de lluvia. ....	76
20	Comparación de medias de la deposición estacional de nutrientes minerales vía precipitación incidente y precipitación efectiva de cuatro especies leguminosas. ....	79
21	Comparación de medias de la deposición de macronutrientes vía precipitación incidente (testigo) y precipitación efectiva de cuatro especies leguminosas. ....	81
22	Comparación de medias de la deposición de micronutrientes (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva de las cuatro especies estudiadas. ....	82
23	Comparación de medias de la deposición de Ca (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva en cuatro especies leguminosas y en cuatro estaciones. ....	84
24	Comparación de medias de la deposición de Mg (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva en cuatro especies leguminosas y en cuatro estaciones. ....	85
25	Comparación de medias de la deposición de Fe (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva en cuatro especies leguminosas y en cuatro estaciones. ....	86
26	Comparación de medias de la deposición de Mn (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva en cuatro especies leguminosas y en cuatro estaciones. ....	87
27	Comparación de medias de la deposición de Cu (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva en cuatro especies leguminosas en cuatro estaciones. ....	88



A 1	Fechas de los eventos de precipitación.....	101
A 2	Estadísticas básicas que describen el comportamiento de deposición media anual de 43 eventos de lluvia.....	102
A 3	Resumen del análisis de varianza que describe la deposición media anual de nutrientes vía precipitación incidente (testigo) y precipitación efectiva de las cuatro especies.....	102
A 4	Estadísticas básicas que describen la composición química del agua de lluvia en precipitación incidente y precipitación efectiva.....	103
A 5	Resumen del análisis de varianza de acuerdo al diseño completamente al azar para describir diferencias en la cantidad de precipitación incidente y precipitación efectiva por evento.....	108
A 6	Resumen del análisis de varianza de acuerdo al diseño completamente al azar para describir diferencias en la concentración de Ca en precipitación incidente y precipitación efectiva por evento.....	109
A 7	Resumen del análisis de varianza de acuerdo al diseño completamente al azar para describir diferencias en la concentración de K en precipitación incidente y precipitación efectiva por evento.....	110
A 8	Resumen del análisis de varianza de acuerdo al diseño completamente al azar para describir diferencias en la concentración de Mg en precipitación incidente y precipitación efectiva por evento.....	111
A 9	Resumen del análisis de varianza de acuerdo al diseño completamente al azar para describir diferencias en la concentración de Na en precipitación incidente y precipitación efectiva por evento.....	112
A 10	Resumen del análisis de varianza de acuerdo al diseño completamente al azar para describir diferencias en la concentración de Fe en precipitación incidente y precipitación efectiva por evento.....	113
A 11	Resumen del análisis de varianza de acuerdo al diseño completamente al azar para describir diferencias en la concentración de Mn en precipitación incidente y precipitación efectiva por evento.....	114

A 12 Resumen del análisis de varianza de acuerdo al diseño completamente al azar para describir diferencias en la concentración de Cu en precipitación incidente y precipitación efectiva por evento. ....	115
A 13 Resumen del análisis de varianza de acuerdo al diseño completamente al azar para describir diferencias en la concentración de Zn en precipitación incidente y precipitación efectiva por evento. ....	116
A 14 Resumen del análisis de varianza de acuerdo al diseño completamente al azar para describir diferencias de pH en precipitación incidente y precipitación efectiva por evento. ....	117
A 15 Resumen del análisis de varianza de acuerdo al diseño completamente al azar para describir diferencias de CE en precipitación incidente y precipitación efectiva por evento. ....	118
A 16 Análisis de varianza para describir la deposición de nutrientes minerales en las diferentes estaciones, vía precipitación y precipitación efectiva en las cuatro especies estudiadas. ....	119
A 17 Análisis de varianza para describir la deposición de nutrientes minerales que mostraron interacción significativa. ....	120



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

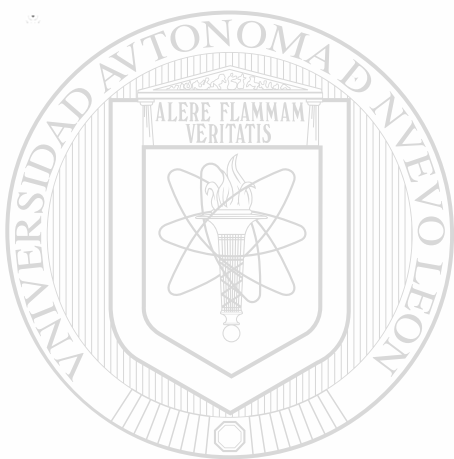


DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1 Precipitación y temperaturas (máximas y mínimas) diarias registradas de Marzo 1996 a Marzo 1997.....	23
2 Precipitación incidente registrada de los 52 eventos de lluvia.....	34
3 Histograma de frecuencias de precipitación incidente.....	35
4 Frecuencia relativa mensual de precipitación incidente.....	36
5 Distribución mensual de la precipitación incidente durante el periodo experimental.....	36
6 Relación entre precipitación incidente y precipitación efectiva en las cuatro especies estudiadas.....	38
7 Ajuste de los modelos precipitación efectiva de las cuatro especies.....	39
8 Relación entre precipitación incidente e interceptación en las cuatro especies estudiadas.....	41
9 Ajuste de los modelos de interceptación de las cuatro especies.....	43
<hr/>	
10 Concentración foliar de Ca en cuatro especies leguminosas muestreadas en seis fechas durante el periodo experimental.....	44
11 Concentración foliar de K en cuatro especies leguminosas muestreadas en seis fechas durante el periodo experimental.....	45
12 Concentración foliar de Mg en cuatro especies leguminosas muestreadas en seis fechas durante el periodo experimental.....	46
13 Concentración foliar de Fe en cuatro especies leguminosas muestreadas en seis fechas durante el periodo experimental.....	46
14 Concentración foliar de Mn en cuatro especies leguminosas muestreadas en seis fechas durante el periodo experimental.....	47
15 Concentración foliar de Cu en cuatro especies leguminosas muestreadas en seis fechas durante el periodo experimental.....	48

16 Concentración foliar de Zn en cuatro especies leguminosas muestreadas en seis fechas durante el periodo experimental. .... 48



UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

# 1. INTRODUCCIÓN

El agua representa el flujo más grande de cualquier sustancia en un ecosistema (Waring y 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 y Pigott, 1993).

El papel que desempeña la precipitación pluvial en su entrada a los ecosistemas ha sido estudiada desde hace varias décadas (Manokaran, 1979); así mismo, diversos estudios se han llevado a cabo para cuantificar el balance de agua con la cubierta vegetal, pero muy pocas investigaciones se han hecho sobre bases comparativas para obtener información relevante del problema, uso y conocimiento más detallado de este recurso (Reynolds y Leyton, 1963).

La precipitación pluvial se considera una de las formas más importantes de entrada de nutrientes a los ecosistemas terrestres, particularmente para aquellos elementos que no se encuentran disponibles in situ. Por ejemplo, en ecosistemas con poco nitrógeno biológico, la precipitación permite una entrada muy significativa de este elemento al sistema (Fahey et al., 1988) y particularmente donde los procesos de intemperización son lentos (Newman, 1995). Así mismo, la precipitación puede ser una forma de entrada de otros minerales y aerosoles contenidos en la misma (Raison et al., 1985). Por otro lado, la reincorporación de los bioelementos al suelo es principalmente mediante la precipitación que pasa a través del dosel vegetal (Santa Regina et al., 1989).

La lluvia incidente en el dosel de un bosque es categorizada dentro de tres formas; 1) una pequeña parte se pierde mediante evaporación una vez que ha sido interceptada por tallos, hojas y ramas (Leonard, 1961), 2) otra porción de la lluvia que es interceptada por las estructuras vegetales, como ramas y tallos y que es conducida a través de ellos hacia el suelo depositándose en la base del árbol, se le ha llamado escurrimiento fustal (Gesper y Holowaychuk, 1970; Pressland, 1973; Manokaran, 1979; James et al., 1984; Sood et al., 1993) y 3) una vez que la precipitación ha saturado el dosel, fluye hasta depositarse en el piso forestal, a esta porción de precipitación se le conoce como precipitación efectiva (Helvey y Patric, 1965; Lawson 1967; Gesper y Holowaychuk, 1970; Branson et al., 1972; Parker, 1983).

Aunque la precipitación efectiva se define como la suma del escurrimiento fustal más la precipitación que pasa a través de las coronas de los árboles (Reynolds y Leyton, 1963; Rothacher, 1963; Manokaran, 1979) estas son estudiadas individualmente. En la presente investigación es estudiada solamente la que pasa por el dosel vegetal (efectiva), sin considerar el escurrimiento fustal, ya que estudios de intercepción en especies afines demuestran que ésta última representa una pequeña parte de la precipitación (Návar, 1993).

En este sentido la precipitación pluvial y el dosel vegetal cumplen una función muy importante ya que al pasar la lluvia a través de él, esta es redistribuida antes de llegar al suelo y mucho más interesante resulta todavía, es su alteración química de manera significativa (Parker, 1983; Gauquelin et al., 1992). La alteración de la composición del agua de lluvia con el contacto de los tejidos de las plantas ha sido reconocida desde N. Theodore de Saussure en 1804 (Tukey, 1970).

Estudios sobre la composición química de la lluvia en precipitación que pasa a través del dosel (efectiva), actualmente están aumentando en interés y número de manera considerable en diversos lugares, principalmente para conocer la dinámica del flujo e incorporación de nutrientes por este medio, así mismo, dichos estudios han sido realizados en una gran variedad de localizaciones geográficas y la mayoría de estas investigaciones han sido desarrolladas en los últimos diez años (Parker, 1983).

En base a lo anteriormente mencionado, ya que la precipitación pluvial y las especies vegetales desempeñan una función importante en el ciclo de nutrientes, nuestra investigación se enfoca a estudiar la química de la precipitación pluvial en una región del noroeste de México para conocer el flujo o entrada de nutrientes a un ecosistema y como las especies vegetales incorporan nutrimentos a suelo mineral mediante la precipitación que pasa a través del dosel vegetal.

Por otro lado en nuestro país, existen escasos estudios al respecto, por lo que resulta interesante llevar a cabo este tipo de investigaciones en especies vegetales endémicas, ya que dichas especies son de gran importancia ecológica, económica y forestal, particularmente en ésta región. De este modo, se podrá conocer mejor la dinámica y flujo de nutrientes en la precipitación pluvial y en cada una de las especies estudiadas, con ello, se pretende proporcionar una herramienta más para la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales. Con lo anteriormente mencionado, los siguientes objetivos fueron propuestos.



## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 General

Caracterizar la composición química y deposición de nutrientes minerales vía precipitación incidente y efectiva en especies arbustivas endémicas del noreste de México.

### 1.1.2 Específicos

a) Evaluar el flujo de nutrientes vía precipitación incidente y precipitación efectiva en *Acacia rigidula*, *A. berlandieri*, *Pithecellobium ebanum* y *P. pallens*.

b) Hipotetizar posibles mecanismos por medio de los cuales el dosel vegetal altera la composición química de la lluvia al pasar a través de sus componentes.

c) Identificar que especies tienen mayor capacidad de permitir un flujo de nutrientes en términos de disponibilidad, absorción y traslocación.

## 1.2 Hipótesis

Existen diferencias en la aportación de nutrientes minerales vía precipitación incidente y precipitación efectiva, en los diferentes eventos de precipitación pluvial, entre estaciones del año, y entre especies.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## 2. LITERATURA REVISADA

### 2.1 El ciclo de agua

De acuerdo a Branson et al., (1972) el movimiento del agua sobre la tierra (el ciclo hidrológico) es muy complejo el cual envuelve varios procesos, sin embargo es conveniente separarlo en categorías de acuerdo al movimiento del agua, las principales fases que incluye son: evaporación, precipitación y escurrimiento.

1. Evaporación es la formación de vapor de agua. Una gran cantidad de vapor de agua es producido por evaporación del agua de los océanos, ríos, lagos, etc. El agua puede evaporarse también de los tejidos de las plantas, especialmente de las superficies foliares a través de procesos de transpiración.

2. Precipitación significa caída de una altura. Refiriendonos al agua, precipitación incluye todas las formas en el cual la humedad atmosférica desciende a la tierra en forma de lluvia, nieve, escarcha y granizo. El agua que entra a la atmósfera por evaporación debe primero condensarse y cambiar su estado gaseoso a líquido (nubes y lluvia) o a estado sólido (nieve, granizo y escarcha) antes de que pueda caer.

3. Escurrimiento es el flujo de regreso a los océanos de la precipitación que cae sobre la tierra. En esta forma la tierra regresa el agua que fue evaporada de los océanos. El escurrimiento ocurre de dos formas, superficial y subterráneo.

El ciclo hidrológico ha sido el tema de muchas investigaciones, principalmente por su importancia en los ecosistemas de zonas áridas y es probablemente el mejor de los ciclos abióticos conocidos (Johon, 1983).

#### 2.1.1 Formación de la precipitación

El aire contiene cantidades variables de vapor de agua cuyos valores dependen de la temperatura, cuanto mayor sea ésta, mayor es la cantidad que puede contener y al llegar a éste máximo puede comenzar la condensación en forma de pequeñísimas gotas de agua o cristales de hielo que en conjunto constituyen las nubes y nieblas. Sin embargo, no basta con que el aire se sature de agua, pues hace falta cierto grado de sobresaturación; es decir, más allá del punto máximo de saturación, por otro lado, deben existir núcleos de condensación los

cuales generalmente son pequeñísimas partículas (sal marina, polvo atmosférico, productos de combustión de erupciones volcánicas, etc.) sólidas en suspensión, en las que pueda depositarse el agua condensada. La mayoría de las gotas de agua en estado no precipitable tienen diámetros menores de 10  $\mu\text{m}$  y una corriente de aire hacia arriba es suficiente para evitar que éstas se precipiten, por ésta razón, para que ocurra precipitación, los elementos de la nube deben aumentar en tamaño hasta que su velocidad de caída exceda la tasa de ascenso del aire (Ayllón y Gutierrez, 1983; Turk y Turk, 1984).

### 2.1.2 Precipitación

Desde hace mucho tiempo los hidrólogos han reportado que únicamente el 25% de la precipitación total que cae en áreas continentales regresa al mar como escorrentía directa o flujo de agua subterránea. Hoy en día se sabe que la evaporación desde la superficie de los océanos es la principal fuente de humedad para la precipitación y que no más del 10% de la precipitación continental se puede atribuir a la evaporación de los continentes, sin embargo, la cercanía a los océanos no conlleva a una precipitación adecuada, como lo ponen en evidencia muchas islas desérticas (Linsley et al., 1988).

La cantidad de vapor de agua en la atmósfera es muy grande, de hecho, se ha estimado que la cantidad de vapor de agua que se transporta sobre la tierra por los vientos es seis veces más que la cantidad de agua que fluye por todos los ríos (Branson et al., 1972).

## 2.2 Agua

Debido a su estabilidad química desde que Aristóteles (384-322 a. c.) dijo que existían cuatro “elementos”: tierra, aire, fuego y agua, este último fue considerado como un elemento y no como compuesto. Investigaciones posteriores observaron que el agua se formaba cuando el “aire inflamable” (hidrógeno), se quemaba en el aire, de esta manera se reconoció que efectivamente el agua era un compuesto (Toporek, 1984).

### 2.2.1 Propiedades físicas

Tebutt (1994) Describe las propiedades del agua, mencionando entre las propiedades físicas las siguientes:

1. Temperatura: Importante por su efecto en otras propiedades, por ejemplo, aceleración de reacciones químicas, reducción de solubilidad de los gases, intensificación de sabores.

2. Sabor y olor: Debido a impurezas disueltas frecuentemente de naturaleza orgánica, como fenoles y clorofenoles.

3. Color: Aún el agua pura no es incolora, es necesario diferenciar entre el color verdadero debido al material en solución y el color aparente debido a la materia suspendida.

Turk y Turk (1984), con respecto a las propiedades físicas mencionan lo siguiente: El agua existe en estado sólido (hielo), líquido (agua) y gaseoso (vapor de agua). En estado líquido, el agua es inodora, incolora e insípida. Alcanza su densidad máxima (peso por unidad de volumen) a 4°C. Por consiguiente, cuando el agua se congela a 0°C, el hielo que se forma es menos denso que el agua que lo rodea y por lo tanto flota en la superficie. En el otro extremo de la escala, el agua hierve y forma vapor (gas) si se eleva a suficiente temperatura. A nivel del mar, o a una presión atmosférica de 760 mm Hg, el agua hierve a los 100°C. Los líquidos alcanzan su punto de ebullición cuando la presión de vapor es igual a la presión atmosférica.

### 2.2.2 Propiedades químicas

De la misma manera, Tebutt (1994) menciona entre otras, las siguientes propiedades químicas.

1. pH: Mide la intensidad de la acidez o alcalinidad de una muestra, aunque en realidad mide la concentración de iones H presentes. El pH controla muchas reacciones químicas y la actividad biológica normalmente se restringe a una escala bastante estrecha de pH, entre 6 y 8.

2. Alcalinidad: Es debido a la presencia de bicarbonatos, carbonatos o hidróxidos. La mayoría de la alcalinidad natural de las aguas la causa el bicarbonato. La alcalinidad es útil en el agua natural y en las aguas residuales porque proporciona un amortiguamiento para resistir los cambios de pH.

3. Oxígeno disuelto: Su presencia es esencial para mantener las formas de vida superiores y el efecto de descarga de desecho en un río, se determina principalmente por el balance de oxígeno del sistema.

4. Nitrógeno.- Es un elemento importante ya que las reacciones biológicas solo pueden efectuarse en presencia de suficiente nitrógeno. Se presenta en cuatro formas principales: orgánico, amoniacal, nitritos y nitratos.

Por otro lado, Turk y Turk (1984), mencionan entre las propiedades químicas las siguientes.

1. El agua es un compuesto estable que puede calentarse a temperaturas elevadas sin descomponerse. Cuando se calienta a 2000°C tan sólo se descomponen el 1.5% y a 2700°C se descomponen el 11%.

2. El agua reacciona con algunos metales, o con sus óxidos, produciendo hidróxidos metálicos denominados bases.

3. El agua también reacciona con algunos óxidos y no metales produciendo sustancias que se denominan ácidos.

4. Otra propiedad química del agua, de gran importancia para el funcionamiento de los organismos vivos, es el proceso denominado hidrólisis (*hidro*, agua y *lisis*, descomposición bajo influencia del agua).

### 2.2.3 Unidades de medición basadas en las propiedades del agua

Toporek, (1984), detalla algunos principios basados en las propiedades del agua, tales como:

1. La escala centígrada de temperatura, establecida en 1742 por el sueco Anders Celsius, está dividida en 100 grados desde el punto de fusión del agua, 0°C, hasta el punto de ebullición, 100°C, a presión estándar de 760 mm de Hg. Por consiguiente, un grado centígrado o Celsius se define como un centésimo de la diferencia de temperaturas entre los puntos de fusión y ebullición del agua pura.

2. Empleando la escala Celsius, la unidad de calor, caloría, se define como la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua un grado, de 15°C a 16°C.

3. Otra unidad de medición que se emplea con frecuencia y se basa en las propiedades físicas del agua es la densidad. Se calcula comparando el peso de 1 ml de determinada sustancia, con el peso de 1 ml de agua a 4°C, que es 1.000 gramos.

El agua no solo constituye la materia prima de la fotosíntesis, sino que también participa como reactivo en sus transformaciones, lo mismo que en otras numerosas reacciones del metabolismo. El agua sirve también como disolvente indispensable para la mayoría de los compuestos, tanto orgánicos como inorgánicos que participan en el metabolismo. En plantas superiores, el agua tiene fuera de la célula la función de un medio de transporte, mediante el cual, especialmente las sales nutritivas llegan desde las raíces a los órganos epigeos. Por lo tanto, se comprende que un suministro inadecuado de agua no sola afecta o bloquea a la fotosíntesis, sino también a otros procesos vitales (Richter, 1971).

### 2.3 La atmósfera como fuente de nutrientes

La atmósfera es una fuente de nutrientes para las plantas. El agua de lluvia y la nieve contienen partículas disueltas, incluyendo altas cantidades de nitrógeno el cual promueve el crecimiento de la vegetación. Las hojas y superficies de las ramas actúan como eficientes filtros de partículas atmosféricas y gases que contienen nutrientes. La mayor parte del Nitrógeno, Azufre y Cloro en los ecosistemas forestales es derivado de la atmósfera. La atmósfera contiene gases traza, particularmente formas oxidadas de N y S, las cuales son fuentes para las plantas, estos gases son derivados de una gran variedad de fuentes naturales y humanas. En años recientes, la actividad antropogénica ha incorporado a la atmósfera (a través de procesos industriales) grandes cantidades de gases incluyendo  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$  (Asbury et al., 1994).

Los constituyentes químicos del agua de lluvia son derivados también de los océanos, aproximadamente del 3 al 4% de la superficie de los océanos está cubierta de burbujas, estas burbujas se descomponen en pequenísimas gotas de agua, las cuales son elevadas por los vientos existentes, las gotas se evaporan y dejan atrás pequeñas partículas y aerosoles, las cuales contienen importantes constituyentes químicos de agua de mar, especialmente Sodio, Magnesio, Cloro y Sulfatos. De esta manera, cada año 10 billones de toneladas de sal de mar es incorporada a la atmósfera (Waring y Schesinger, 1985; Brown y Lles 1991). Los aerosoles son producidos en una gran variedad de tamaños, generalmente estos son menores de  $1 \mu\text{m}$  los cuales pueden permanecer en la atmósfera por días y ser transportados a grandes distancias. Además, las erupciones volcánicas e incendios pueden inyectar grandes cantidades de partículas y gases a la atmósfera, los cuales son transportados a grandes distancias (Veneklaas, 1990; Neal et al., 1994).



Polvo derivado de tormentas de viento en regiones áridas y semiáridas también producen aerosoles atmosféricos que son particularmente ricos en Calcio, Potasio y Sulfato (Novo et al., 1992).

## **2.4 Generalidades sobre la nutrición mineral**

### **2.4.1 Definición y clasificación**

Una característica excepcional de la vida, es la capacidad de las células vivas de tomar sustancias del medio ambiente y usarlas para la síntesis de sus propios componentes celulares o como fuente de energía. El suministro y absorción de componentes químicos necesarios para el crecimiento y metabolismo puede ser definido como nutrición y los componentes químicos requeridos por un organismo son llamados nutrientes (Mengel y Kirkby, 1982).

Arnon y Stout (1939) citado por Mengel y Kirkby, (1982), mencionan que para que un elemento sea considerado esencial debe cumplir con los siguientes requisitos: a) La planta no completa su ciclo de vida en ausencia del elemento mineral, b) La función del elemento no debe ser reemplazable por otro elemento mineral y c) El elemento debe implicarse directamente en el metabolismo de las plantas.

Los nutrientes en plantas pueden ser 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 de el 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, Mg (Na, Si). Los micronutrientes son: Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B, Cl (Arnon y Stout, 1939, citado por Mengel y Kirkby, 1982).

### **2.4.2 Función de nutrientes en las plantas**

#### **2.4.2.1 Calcio (Ca)**

El promedio de contenido de Ca en la corteza terrestre es alrededor de 3.64%. El contenido de Ca difiere en los tipos de suelos y varía principalmente del material parental y el grado de intemperización. Las plantas superiores contienen apreciables cantidades de Ca y en

el orden de 5 a 30 mg Ca/g de materia seca. Estas altas concentraciones de Ca, sin embargo, resultan principalmente del alto nivel de Ca en el suelo, más que de la eficiencia del mecanismo de absorción de Ca por las células de la raíz. Generalmente, el Ca en el suelo es aproximadamente 10 veces más alto que el de K. La absorción de Ca, sin embargo, es usualmente menor que la de K, esta baja absorción es porque el Ca es absorbido solamente por raíces jóvenes (Mengel y Kirkby, 1982).

La necesidad del Ca para el crecimiento de las plantas puede ser fácilmente demostrado, pues la interrupción del abastecimiento de Ca a las raíces, reduce su tasa de crecimiento y después de algunos días los ápices de las raíces llegan a la necrosis y posteriormente la planta muere (Devlin, 1982). Existe evidencia de que el Ca es de fundamental importancia para la permeabilidad de la membrana y para mantener la integridad de las células. La senescencia por ejemplo, es la peculiar característica de la deficiencia de Ca. El Ca es requerido para la elongación de células y división celular (Burstrom, 1968 citado por Salisbury y Ross, 1994).

#### **2.4.2.2 Potasio (K)**

El promedio del contenido de K en la corteza terrestre es del orden de 2.3%. La principal fuente de K para el crecimiento de las plantas bajo condiciones naturales proviene de la intemperización de K. El comportamiento de K en el suelo es muy dependiente del contenido de arcillas y tipos de minerales arcillosos presentes. El K es un elemento esencial para todos los organismos vivos. En fisiología vegetal, es el más importante catión, no sólo con respecto al contenido en el tejido vegetal, sino también con respecto a las funciones fisiológicas y bioquímicas. El mecanismo de apertura y cierre de estomas depende enteramente de el flujo de K, por esta razón, las plantas con inadecuado abastecimiento de K tienen deficiencia en esta actividad, Penny and Bowling (1974) citado por Mengel y Kirkby (1982).

Una de las principales características de K es la alta tasa en la cual es absorbido por el tejido de las plantas. El K en las plantas es muy móvil. El K que se encuentra en los tejidos maduros y es transportado hacia los tejidos jóvenes. Es indispensable para obtener óptimo turgor de las células. El turgor en los tejidos jóvenes parece ser el mejor parámetro indicador del estatus nutricional de K (Salisbury y Ross, 1994).

#### **2.4.2.3 Magnesio (Mg)**

El Mg casi nunca es un factor limitante en el suelo para el crecimiento vegetal. Además de su presencia en la clorofila, el Mg es esencial ya que favorece la hidrólisis del ATP

(permitiendo así que participe en muchas reacciones) y porque activa muchas enzimas necesarias en la fotosíntesis, respiración y formación de DNA y RNA (Salisbury y Ross, 1994).

La distribución del Mg en suelos puede ser considerado en la misma forma que la distribución de K y dividido dentro de intercambiable y no intercambiable y soluble en agua. Un papel importante del Mg es actuar como cofactor de todos los procesos de fosforilación. Generalmente cuando las plantas tienen deficiencia de Mg, la proporción de proteína decreciente, de esta forma se puede concluir que la deficiencia de Mg inhibe la síntesis de proteínas. La deficiencia de Mg difiere entre especies de plantas aunque algunas características generales son aparentes. La deficiencia de Mg puede ser el resultado de un gran suplemento de K. El Mg como se mencionó es móvil en las plantas y la deficiencia siempre comienza en las hojas más maduras moviéndose hacia las jóvenes. Por lo tanto, las hojas deficientes de Mg caen prematuramente (Mengel y Kirkby, 1982).

Una alta proporción de Mg está involucrado en la regulación del pH celular y el balance de catión-anión. El Mg en las plantas está relacionado a su movilidad dentro de las células y su capacidad para interactuar fuertemente con ligandos nucleofílicos (grupos fosforil). Una mayor función de Mg y ciertamente es la función más familiar, es su papel como átomo central de la molécula de clorofila (Marschner, 1986).

#### 2.4.2.4 Sodio (Na)

El contenido de Na en la corteza terrestre es alrededor de 2.8%. En regiones templadas la concentración de Na en la solución del suelo promedia 0.1-1 mM. En regiones áridas y semiáridas, particularmente bajo condiciones de irrigación, concentraciones de 50 a 100 mM son típicas y tienen un efecto bastante perjudicial sobre el crecimiento de muchos cultivos (Mengel y Kirkby, 1982).

El papel del Na en nutrición mineral ha sido considerado desde dos puntos de vista: su esencialidad y/o la manera en la cual puede reemplazar funciones de K en plantas. El primero, su esencialidad ha sido establecido para las Halófitas *Atriplex vesicaria*. Experimentos demostraron que plantas cultivadas bajo pequeñas concentraciones de Na sufrieron clorosis y necrosis aún en altos niveles de K. El segundo, los efectos benéficos de Na sobre el crecimiento en plantas no-halófitas es bien conocido en agricultura y horticultura (Marschner, 1986).

Algunos de los efectos benéficos del Na son la expansión de células y balance de agua en algunas especies, principalmente en plantas suculentas. La aplicación de fertilizantes a base de Na resulta en un incremento del índice de área foliar en estaciones de crecimientos tempranas, con ello se obtiene un incremento en la interceptación de luz y mejora la eficiencia del uso de agua bajo condiciones moderadas de estrés durante las épocas de crecimiento (Durrant et al., 1978 citado por Marschner, 1986).

Es poco probable que la falta de Na llegue a ser un factor limitante del crecimiento vegetal en condiciones naturales. Sin embargo, como el Na tiene una función importante en la fotosíntesis de plantas C4, este continúa siendo un campo de estudio interesante (Peter F. Brownell, citado por Salisbury y Ross, 1994).

El Na, Si y Co han sido establecidos como elementos esenciales o benéficos para algunas plantas superiores. En el caso de Na, hay algunas especies de plantas pertenecientes a la familia *Chenopodiaceae* y especies adaptadas a condiciones salinas que absorben este elemento en relativamente altas cantidades (Mengel y Kirkby, 1982).

#### 2.4.2.5 Hierro (Fe)

El Fe se presenta alrededor 5% del peso de la corteza terrestre y esta invariablemente presente en todos los suelos. Los minerales primarios en los cuales el Fe está presente incluyen silicatos ferromagnésicos tales como olivino, augita, hornblenda y biotita. Todos estos minerales con las micas de biotita constituyen la mayor fuente de Fe en rocas ígneas. El contenido de Fe soluble en los suelos es extremadamente bajo en comparación con el contenido de Fe total (Mengel y Kirkby, 1982).

Una característica importante del Fe en suelos y plantas es la forma orgánica compleja o quelatos en que se encuentra disponible. En suelos muy lavados y pobremente drenados esta propiedad resulta en la movilización del Fe de los horizontes superiores hacia los inferiores. El Fe no es fácilmente móvil dentro de los diferentes tejidos de las plantas. Plantas deficientes de Fe pronto llegan a ser cloróticas en las partes más jóvenes, siguiendo la marchitación hacia los tejidos remanentes más maduros. En plantas superiores frecuentemente hay una buena correlación entre el nivel de abastecimiento de Fe y el contenido de clorofila. Las plantas bien suministradas de Fe presentan altos contenidos de clorofila (Mengel y Kirkby, 1982).

El Fe puede ser absorbido por las raíces de las plantas como  $Fe^{2+}$  o como quelatos de Fe. La disponibilidad de Fe inorgánico a las raíces de las plantas por lo tanto parece ser

dependiente de la habilidad de las raíces a pH bajos y a reducir de  $Fe^{3+}$  a  $Fe^{2+}$  en la rizosfera. En contraste al Fe inorgánico, los quelatos de Fe son solubles y por lo tanto disponibles a las raíces, sin embargo la absorción de todos los quelatos de Fe es muy baja. La absorción de Fe está influenciado por otros cationes, de los más competitivos se pueden enunciar  $Mn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  y  $Zn^{2+}$  (Marschner, 1986).

Las plantas deficientes en Fe se caracterizan por desarrollar una clorosis intervenal pronunciada, similar a la desarrollada por la deficiencia de Mg, pero se presenta primero en las hojas más jóvenes. En ocasiones muy severas, las hojas se tornan blancas con lesiones necróticas. La función más conocida del Fe es como cofactor de diversas enzimas. El Fe es esencial debido a que forma parte de ciertas enzimas y numerosas proteínas que transportan electrones durante la fotosíntesis y la respiración (Salisbury y Ross, 1994).

#### 2.4.2.6 Manganese (Mn)

El Mn ocurre en varias rocas primarias y particularmente en materiales ferromagnesianos. El Mn es frecuentemente liberado de esas rocas por mecanismos de intemperización. Los niveles totales de Mn pueden diferir considerablemente entre suelos. Como el nivel de Mn en el suelo depende de las reacciones óxido-reducción, los factores que influyen este proceso tienen un impacto sobre la disponibilidad de Mn, estos factores incluyen el pH del suelo, contenido de materia orgánica, actividad microbial y humedad del suelo (Mengel y Kirkby 1982).

De acuerdo con Bremner and Knight, (1970) citado por Mengel y Kirkby, (1982), encontraron que el Mn es preferencialmente translocado hacia los tejidos meristemáticos, por lo tanto, órganos de plantas jóvenes son generalmente ricos en Mn,

Las deficiencias de Mn no son muy comunes, sin embargo, algunas enfermedades como "el moteado gris" de la avena es uno de ellos, "manchas de lodo" en el chícharo y el "moteado amarillo" en la remolacha azucarera, ésta se presenta, cuando no existen las cantidades adecuadas de este elemento. Cloroplastos aislados de hojas de espinaca demuestran que la ausencia de Mn provoca una desorganización de las membranas tilacoidales; esto indica que el elemento tiene una función estructural en el sistema de membranas del cloroplasto y además de su participación importante en la fotólisis del agua (Salisbury y Ross, 1994).

En dicotiledóneas, la clorosis es uno de los síntomas de deficiencia de este elemento, presentándose este en hojas jóvenes principalmente. Bajo condiciones de campo, la

deficiencia de Mn está usualmente confinada a plantas que crece en suelos tropicales deslavados y de pH alto con un gran contenido de materia orgánica. Esto puede ser fácilmente corregido con la aplicación de  $MnSO_4$  al suelo o tejido foliar (Marschner, 1986).

#### 2.4.2.7 Cobre (Cu)

El Cu ocurre en el suelo casi exclusivamente en forma divalente. Las fracciones mayores de Cu están usualmente presente en los látices de cristal y minerales secundarios. Además el Cu ocurre en componentes orgánicos y está presente como un catión intercambiable en los coloides del suelo y es un constituyente de la solución del suelo (Mengel y Kirkby, 1982).

Así mismo, el nivel de Cu en la solución del suelo decrementa cuando se incrementa el pH debido a una fuerte absorción del Cu. Su concentración en el suelo está gobernada por la adsorción a las partículas de suelo. Dado que el Cu está fuertemente ligado a las partículas de suelo, es muy inmóvil, y por lo tanto al agregar Cu como fertilizante estará restringido exclusivamente a las capas superiores del suelo. El Cu no es fácilmente movible en las plantas aunque este puede ser translocado de las hojas maduras a las más jóvenes. Resultados han demostrado que el movimiento del Cu es dependiente del estatus del mismo en la planta (Mengel y Kirkby, 1982; Marschner, 1986).

Relativamente altas concentraciones de Cu ocurren en los cloroplastos. A este respecto, el comportamiento del Cu es similar al Fe, ya que es un constituyente del cloroplasto. El Cu juega un papel importante también en la síntesis y estabilidad de la clorofila y de otros pigmentos de las plantas (Mengel y Kirkby, 1982).

Las plantas rara vez presentan deficiencia de Cu, en parte, porque lo requieren en cantidades muy pequeñas. En ausencia de Cu, las hojas adquieren un color verde oscuro y están arrugadas o deformes y muchas veces, presentan manchas necróticas. Ya que es requerido en pequeñas cantidades, en algunas ocasiones el Cu se vuelve tóxico. El Cu está presente en diversas enzimas o proteínas implicadas en los procesos de oxidación y reducción, por ejemplo, en la enzima citocromo oxidasa, una enzima involucrada en la cadena de transporte de electrones de la respiración que se encuentra en las mitocondrias y la plastocianina, una proteína de los cloroplastos (Salisbury y Ross, 1994).



### 2.4.2.8 Zinc (Zn)

El Zn puede ser absorbido a los coloides del suelo como  $Zn^{2+}$ ,  $ZnOH^+$  o  $ZnCl^+$ ; la intensidad de absorción de Zn por geotitas se incrementa conforme aumenta el pH y por esta razón la movilidad del Zn está particularmente restringido en suelos neutrales y alcalinos. La solubilidad de Zn es especialmente bajo en suelos de pH alto y particularmente cuando el  $CaCO_3$  esta presente. El Zn interactúa con la materia orgánica del suelo, formando complejos orgánicos de Zn solubles e insolubles. La movilidad del Zn en plantas no es muy grande. El Zn se acumula en los tejidos de las raíces especialmente cuando el abastecimiento de Zn es alto. En hojas maduras el Zn llega a ser muy inmóvil (Mengel y Kirkby, 1982).

Las anomalías causadas por la deficiencia de Zn incluyen hojas pequeñas y el escarapelado de frutas de manzanas y duraznos a consecuencia de la disminución en el crecimiento de las hojas jóvenes y de los entrenudos del tallo. Los márgenes de las hojas con frecuencia presentan distorsiones y pliegues. A menudo ocurre clorosis intervenal en hojas de maíz, sorgo, frijol y árboles frutales, lo que significa que el Zn participa en la formación de clorofila (Salisbury y Ross, 1994).

## 2.5 Factores que influyen la química de la precipitación

### 2.5.1 Cantidad de precipitación

La cantidad, duración, e intensidad de la precipitación así como época del año son algunos de los factores determinantes sobre la magnitud o cantidad de precipitación (Leonard, 1961; Manokaran, 1979), del material removido de la atmósfera y del dosel de los vegetales (Marschner, 1986; Schreiber et al., 1990). Conjuntamente a esto, la disponibilidad, inclinación y número de ramas, forma y tamaño de las hojas, rugosidad de la corteza (Satterlund, 1973; Herwitz, 1986; Návar et al., 1994). La precipitación pluvial y precipitación efectiva se correlacionaron positivamente ya que si se incrementa intensidad de la precipitación, se incrementa la precipitación efectiva (Pressland, 1973).

### 2.5.2 Altitud

Las influencias altitudinales tienen cierta inferencia en la deposición de nutrientes en precipitación efectiva a través de las diferentes épocas de crecimiento (Parker, 1983; Atteia et al., 1993) ya que existe variabilidad en las precipitaciones pluviales (O' Connor et al., 1995). Sin embargo, no es sorprendente que los flujos de nutrientes vía precipitación incidente y



efectiva sean más altos en bosques tropicales y subtropicales que en bosques boreales (Arthur y Fahey, 1993). Por otra parte, los vientos influyen en el transporte de masas de nube hacia regiones más altas (Padilla et al., 1996). En base a que la fertilidad de los sitios podría estar en función de la precipitación que ocurre en las diferentes regiones, la química de la lluvia podría también ser función de este gradiente (Leininger y Winner, 1988).

### 2.5.3 Actividad antropogénica

Las áreas expuestas a contaminantes atmosféricos y descargas de desechos industriales influyen grandemente la química de la precipitación incidente y precipitación efectiva (Glatzel, 1990; Buffoni y Tita, 1993;). Algunas áreas las cuales son sometidas al fuego pueden contener y agregar a la atmósfera descargas de algunos gases y partículas de ceniza que podrían contener algunos iones (Dambrine et al., 1993). Ecosistemas cercanos a industrias retienen nutrientes que pueden afectar el papel de la vegetación en los balances bioquímicos (Domingo et al., 1994). Artificialmente el hombre puede afectar la precipitación efectiva mediante la adición de fertilizantes. Khanna y Ulrich (1981), observaron un incremento en la concentración de los nutrientes en precipitación efectiva elaborando este tipo de investigaciones.

### 2.5.4 Tipo y edad de la vegetación

La pérdida de nutrientes por lixiviación de la vegetación joven es dada en menores cantidades que la que podría aportar un bosque de árboles maduros (Carleton y Kavanagh, 1990; Potter, 1991; Srivastava et al., 1994). Así mismo, el tamaño y tipo de la vegetación está en función de la concentración de los nutrientes que se pueden obtener bajo la vegetación (Andersson, 1991). Algunos estudios sobre la química en árboles muertos han revelado que el aporte de nutrientes al escurrir el agua de lluvia por los tallos, es mayor que en tallos de árboles vivos (Watters et al., 1988). Por otro lado, con la simulación de lluvias ácidas se ha observado un incremento en la lixiviación de nutrientes de hojas maduras pero en mayor grado en hojas jóvenes (Fritsche, 1992).

## 2.6 Estudios afines

Leininger y Winner (1988), analizaron la composición química de la precipitación efectiva en *Quercus rubra*. En su estudio encontraron que el agua de lluvia que pasa a través de las coronas de los árboles fue enriquecida con,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , y  $\text{Fe}^{2+}$

pero perdieron  $\text{NH}_4^+$ . Así mismo, se observó en tal estudio que las concentraciones aportadas de  $\text{Na}^+$  e  $\text{H}^+$ , fue mayor en suelos infértiles con respecto a suelos fértiles. Para el caso de  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , la concentración resultó ser más elevada en sitios fértiles que en aquellos infértiles. En dicho estudio se concluye que las diferencias químicas en la lluvia que pasa a través de las coronas de los árboles responden principalmente a la habilidad de las coronas para capturar partículas de suelo, deposición de estas partículas y ocurrencia y volumen del agua de lluvia.

Okeke y Omaliko (1991), enfocaron sus estudios hacia en enriquecimiento del suelo por algunos nutrientes a través de la precipitación efectiva y caída de hojas de los árboles en rodales de *Acioa barteri* de siete años de edad en Ozala, Nigeria. Dichos autores encontraron que la precipitación efectiva tuvo las medias más altas para todos los nutrientes excepto para Mg, el cual fue muy similar en caída de hojas y precipitación efectiva. El K tuvo los valores más bajos en ambos casos, caída de hojas y en las muestras de agua. Para los valores bajos de K y negativos de Mg en precipitación efectiva ellos concluyen que podrían ser índices de deficiencias de K y Mg en los suelos de Ozala, Nigeria. Así mismo, mencionan que la entrada de nutrientes al suelo incluye no solo la precipitación efectiva y caída de hojas, sino que el agua que escurre por los fustes es también una entrada importante de nutrientes.

La influencia del agua que escurre por los tallos sobre algunos iones en rodales de *Populus tremuloides* Michx., *P. Grandidentata* Michx. y *Acer rubrum* L., en árboles muertos y vivos, mostraron que la química de árboles muertos es cuantitativamente diferente a la de los árboles vivos. Así mismo, los árboles muertos contribuyen en gran proporción, principalmente en nitratos y fosfatos, sobre las cantidades de los iones disponibles en el sistema. La media de la química que fluyó por los tallos de árboles muertos fue de 46 veces más en fosfato, 3 veces más de nitrato y aproximadamente 1.5 más de K comparado con árboles vivos, los cuales son dependientes de las especies (Watters y Price, 1988).

Las especies incrementan su aerodinámica y rugosidad (arquitectura del dosel) para eficientizar la captura de partículas de polvo, la cual son fuente de nutrientes para las mismas plantas (Draaijers et al., 1991; Rustad et al., 1994).

Raison et al., (1985), estudiaron la transferencia de algunos nutrientes a la atmósfera a partir de quemas prescritas de tres bosques subalpinos de *Eucalyptus* spp.. La transferencia de los elementos fue calculada como la diferencia entre la cantidad de un elemento en el

combustible antes de ser quemado y aquel presente después del fuego. El porcentaje de pérdida de los elementos se correlacionó linealmente con el porcentaje de pérdida de peso del combustible. El porcentaje de pérdida de nutrientes observado fue  $N > K > P > Ca$ . Esto indica una gran pérdida de nutrientes hacia la atmósfera pero constituye una fuente importante de posible entrada de nutrientes a otros ecosistemas, en la cual la lluvia actúa como vehículo de muchos de estos elementos que se encuentran en la atmósfera.

Por su lado, Mesanza (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, observando también que el pH fue mayor en períodos de sequía.

Estudios para observar la variabilidad espacial y requerimientos de colectores para muestrear la precipitación efectiva fue hecha por Puckett (1991), encontrando que la concentración de algunos iones fue menos variable dentro de eventos lluvioso. Por ejemplo,  $Ca^{2+}$ ,  $NO_3^-$ , y  $SO_4^{2-}$  fueron menos variables que  $NH_4^+$  y  $K^+$ . Estos patrones de variabilidad fueron consistentes dentro y entre tormentas. La baja variabilidad de  $NO_3^-$ , y  $SO_4^{2-}$  es probablemente debido a la deposición de partículas de polvo de esos iones como contaminantes de origen antropogénico. Mientras que la baja variabilidad de  $Ca^{2+}$  es debido a la deposición en seco de este ion en vientos moderados. Así mismo, la alta variabilidad de  $NH_4^+$  y  $K^+$  es probablemente el resultado de procesos biológicos. En dicho estudio se observó que el  $NH_4^+$  es fuertemente retenido por el dosel vegetal mientras que el  $K^+$  es fácilmente lixiviado de él. Por otro lado, existió baja variabilidad de volumen de precipitación efectiva entre y dentro de los eventos.

Usando una red de colectores para muestrear la precipitación efectiva de  $SO_4^{2-}$  bajo el dosel de árboles de *Picea* y *Abies* a diferentes altitudes se observó que los flujos de  $SO_4^{2-}$  fueron dos veces mayores en las altitudes superiores que en las inferiores (Lindberg y Owens, 1993).

López et al., (1994), estudiaron la entrada y salida de algunos nutrientes en ecosistemas de savanas, en el cual destaca que una de las principales entradas de nutrientes a los ecosistemas es la precipitación pluvial, y la pérdida o salida de los nutrientes está constituida principalmente por los escurrimientos de suelo, los cuales, en este tipo de regiones se

presentan en grandes cantidades resultando en pérdidas enormes de nutrientes. En dicho estudio, la precipitación pluvial jugó un papel importante en la entrada de algunos nutrientes como K y Ca. Pérdidas significativas resultaron a consecuencia de salidas de partículas del ecosistema, esto fue para el caso de P, Zn y Cu. Las concentraciones de K se incrementaron a lo largo de las épocas lluviosas. Para el caso de Mg en precipitación, este se mantuvo constante en los diferentes períodos, encontrando también que la concentración de algunos nutrientes cambió de un año a otro.

La composición química de la precipitación efectiva en árboles de maple rojo (*Acer Rubrum*) fue evaluada después de aplicar agua de lluvia simulada con niveles de pH de 5.2, 4.2 y 3.2 en cinco fechas distintas, encontrando que la composición del pH fue menos ácido en todos los casos después de pasar por el dosel de maple rojo. Así mismo, se encontró que la concentración de todos los elementos minerales en precipitación efectiva, excepto para K, se aumentó conforme se incrementó la acidez de la solución de agua de lluvia simulada. A este respecto, concluye que este incremento puede estar relacionado a la lixiviación foliar y remoción acelerada de materiales de la superficie foliar (Schier, 1987).

El agua de nube provee una oportunidad única para investigar el origen de las masas de aire, ya que representan el producto final de procesos naturales que conducen a la concentración de los contaminantes en pequeñas cantidades de agua. El material particulado soluble en un m<sup>3</sup> de aire puede encontrarse condensado en un ml o menos de agua de nube durante los estados formativos de una nube orográfica. Investigaciones recientes han demostrado la importancia de las nubes como una fuente de agua para ecosistemas específicos además que contribuyen con sustancias tóxicas y con nutrimentos a los ecosistemas. Estas sustancias tóxicas se han detectado como una de las causas de incremento de la mortandad de los bosques en Europa (Padilla et al., 1996).

Correlaciones múltiples efectuadas por García et al., (1989) comparando el volumen de precipitación con la concentración de algunos nutrientes, encontraron que las concentraciones de Zn, Mg y Ca estuvieron estrechamente correlacionadas con el volumen de agua, aunque para el caso de Zn, no se observó tal efecto.

Sin embargo, algunos de los iones pueden ser removidos de las superficies de los vegetales pero otros pueden ser absorbidos por los tejidos de la planta (estructuras foliares principalmente). Hambuckers y Remacle (1993), mencionan que los procesos de lixiviación y absorción de nutrientes esta regulado por mecanismos osmóticos.

Andersson (1991), observó el comportamiento de la composición química de algunos iones en precipitación efectiva y en el agua que fluye por los tallos en *Quercus robur*, destacando estos sobre la química de los suelo y los patrones de la vegetación. Las concentraciones de Ca y Mg en precipitación efectiva fueron aproximadamente de 3 a 5 veces más altos que en la lluvia incidente y para el caso de K de 16 a 30 veces más alto. La concentración media de Mg y K en escurrimiento fustal excedieron las concentraciones de Mg y K en precipitación efectiva, pero en orden de magnitud y las concentraciones de Ca podrían rebasarlas hasta en 30 veces. Andersson concluye que la composición química del escurrimiento fustal afectó el suelo y la vegetación más que la precipitación efectiva, ya que cientos de litros, ricos en nutrientes pueden ser agregados en estos tipos de árboles por esta vía anualmente.

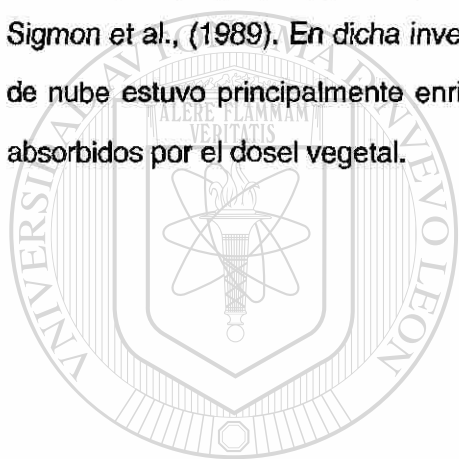
Estudiando los factores que afectan y controlan la precipitación efectiva, Brown y Lund (1994), llegan a la conclusión que ésta es influenciada principalmente por las partículas suspendidas en la atmósfera y las que se encuentran sobre las superficies de las copas de los árboles, así como también, por las interacciones químicas y biológicas que se dan entre la lluvia y el follaje.

Robson et al., (1994), estudiando la variación espacial en precipitación efectiva encontró que existieron diferencias en el volumen en las tormentas estudiadas y en los nutrientes analizados. En dicha investigación los iones tuvieron correlación entre uno y otro. Se observó también que el volumen mostró una correlación negativamente con los iones determinados. Dichos autores recomiendan la aleatorización de los colectores y muestras múltiples para obtener un mejor resultado en los análisis de los componentes químicos en precipitación efectiva.

La lixiviación de nutrientes mediante simulación de lluvia ácida aplicada a hojas de *Acer rubrum*, las cuales fueron perforadas para observar el lavado de nutrientes en hojas dañadas y no dañadas mostraron algunas diferencias significativas para algunos iones en hojas dañadas artificialmente principalmente para K, Ca y Mg así como absorción de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ . La lixiviación de nutrientes durante el periodo experimental mostró el flujo más alto al principio del mismo para todos los iones analizados excepto para Ca. Los resultados también demostraron que la lixiviación en hojas jóvenes es menor que en hojas maduras (Potter, 1991).

La química de la precipitación efectiva ha sido evaluada en diferentes regiones y tipos de vegetación. Arthur y Fahey, (1993), se enfocaron principalmente a estudiar los bosques Subalpinos de *Picea engelmannii* y *Abies lasiocarpa* encontrando la misma tendencia que en otros tipos de vegetación. En dicho trabajo, se observaron que las concentraciones de K, Ca, Na y Mg fueron más altos en precipitación efectiva con respecto a la precipitación pluvial. El enriquecimiento de K y Mg puede ser explicado por la alta concentración y movilidad de estos solutos en los tejidos de las plantas. Estos resultados indican la gran cantidad de nutrientes lixiviados del dosel, la entrada de nutrientes en forma de partículas de polvo y el lavado de la atmósfera a través de la precipitación pluvial.

El análisis para determinar la composición química de agua de nube fue estudiada por Sigmon et al., (1989). En dicha investigación se observó que la composición química de agua de nube estuvo principalmente enriquecida por  $H^+$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NH_4^+$  y  $NO_3^-$ , siendo estos últimos absorbidos por el dosel vegetal.



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Ambiente físico

#### 3.1.1 Localización y Descripción del Área de Estudio

El área experimental en la cual se llevó a cabo el desarrollo de la presente investigación, se encuentra ubicada dentro del campus de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, localizada a 8 km al sur de Linares, Nuevo León, dentro de las coordenadas geográficas 24° 47' latitud norte y 99° 32' longitud oeste, con una elevación de 350 msnm (SPP-INEGI, 1986), constituyéndose el área del típico matorral tamaulipeco. Originalmente éstas áreas estaban cubiertas del típico matorral mediano y alto espinoso-subinermes, que en su mayoría se eliminó para cambiar el uso de suelo forestal a ganadero y agrícola, conservándose algunas áreas del matorral como reserva y protección, los que son utilizados para estudios diversos (Foroughbakhch y Peñaloza, 1988).

#### 3.1.2 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. ebano*, *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*, *Leptochloa dubia*, *Leptoloma cognatum* (Villegas, 1972).

#### 3.1.3 Clima

El clima de ésta región de acuerdo a la clasificación de Köppen (modificado por García, 1973; SPP, 1981) está caracterizado como: (A) Cx' a (e), semicálido-húmedo, con días muy calurosos en época de verano. Sin embargo, es muy frecuente observar temperaturas de 14.7



°C en el mes de Enero y hasta temperaturas de 40°C en el mes de Agosto. La precipitación promedio anual de ésta región es de 740 mm de los cuales el 80% ocurre en los meses de Mayo - Octubre. Aproximadamente el 50% de la precipitación en esta región es de tormentas de tipo convectivo (Návar, 1986).

Las condiciones ambientales diarias de precipitación y temperatura (máximas y mínimas) registradas durante el periodo experimental de esta investigación se ilustran en la Figura 1.

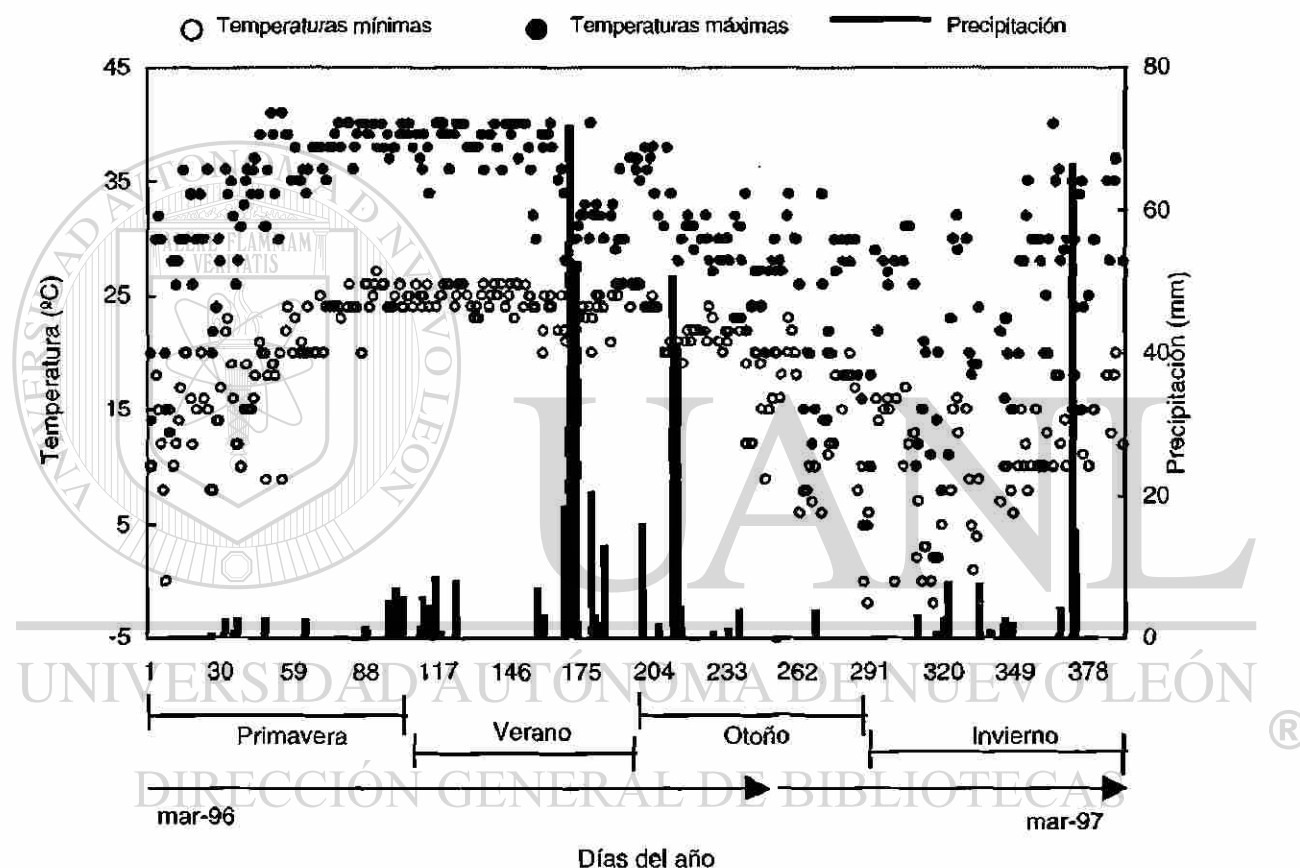


Figura 1 Precipitación y temperaturas (máximas y mínimas) diarias registradas de Marzo 1996 a Marzo 1997.

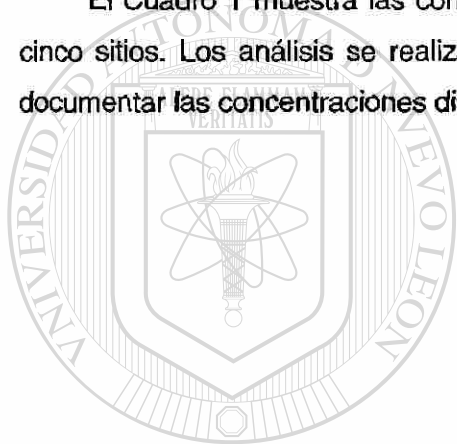
### 3.1.4 Suelo

Los suelos del área están caracterizados por ser de la clase vertisol, donde dominan las arcillas de tipo montmorrilonítico 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 (Foroughbakhch y Heiseke, 1990). El pH de esta clase de suelos es moderadamente alcalino y el contenido de nutrientes para algunos muestra deficiencias, sobre todo para N y P. De la misma manera, el característico alto contenido de carbonato de calcio en este tipo de suelos se refleja en la gran abundancia de este elemento (Foroughbakhch y Peñaloza, 1988).

En el período de estudio se realizaron dos muestreos de suelos. El muestreo de suelo se efectuó bajo las copas de los cuatro árboles que fueron seleccionados para coleccionar la precipitación efectiva, en cada una de las cuatro especies. Así mismo, se colectaron muestras de suelo en el lugar donde se colectó la precipitación incidente.

El Cuadro 1 muestra las concentraciones de nutrientes determinados en dos fechas en cinco sitios. Los análisis se realizaron a dos profundidades. El objetivo de este análisis fue documentar las concentraciones disponibles durante el periodo experimental.



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



Cuadro 1 Concentración de elementos minerales en el suelo, determinados en dos fechas y en dos profundidades durante el periodo experimental.

Fecha	Sitio	Prof. (cm)	Nutrientes minerales ( $\mu\text{moles/gpss}$ )									
			K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn			
01/Jun/96	Testigo	0-30	6.8980	284.4123	7.6909	0.1090	0.0087	0.0043	0.1414			
		30-60	5.7399	285.1705	6.6190	0.1159	0.0101	0.0028	0.1119			
	A. rigidula	0-30	8.1776	299.5764	8.3238	0.1069	0.0091	0.0045	0.1283			
		30-60	5.3617	287.4451	7.7718	0.1232	0.0089	0.0042	0.1201			
	A. berlandieri	0-30	7.5192	289.7197	8.3888	0.1065	0.0091	0.0069	0.1804			
		30-60	6.0370	297.3018	7.8854	0.1158	0.0094	0.0049	0.1402			
P. ebano	0-30	7.2457	288.9615	8.4050	0.0985	0.0087	0.0063	0.1607				
	30-60	6.4219	285.1705	6.7164	0.0992	0.0093	0.0050	0.1205				
P. pallens	0-30	7.4247	294.2690	8.9733	0.1033	0.0088	0.0092	0.1665				
	30-60	6.5266	282.8959	7.7880	0.0913	0.0091	0.0059	0.1230				
01/Oct/96	Testigo	0-30	5.4984	249.6546	6.5513	0.0684	0.0105	0.0048	0.0713			
		30-60	5.9958	263.4817	9.7868	0.0916	0.0129	0.0115	0.1678			
	A. rigidula	0-30	5.7932	264.0578	7.4978	0.0800	0.0123	0.0086	0.0767			
		30-60	5.0484	272.6997	7.7044	0.0978	0.0125	0.0046	0.0943			
	A. berlandieri	0-30	8.1987	253.1114	8.7542	0.0901	0.0126	0.0107	0.0995			
		30-60	4.5826	250.8069	7.4634	0.0115	0.0111	0.0048	0.0999			
P. ebano	0-30	8.8724	254.8398	9.3393	0.0931	0.0120	0.0078	0.0903				
	30-60	5.4011	264.0578	7.2397	0.0867	0.0133	0.0056	0.0979				
P. pallens	0-30	8.0013	253.6875	10.389	0.0895	0.0117	0.0118	0.0903				
	30-60	5.0431	259.4488	9.1844	0.0847	0.0128	0.0059	0.1137				

## 3.2 Material vegetal

Las cuatro especies vegetales que se estudiaron en la presente investigación (Cuadro 2) son especies representativas de la región y son también importantes en el sentido de uso para la recuperación de áreas o suelos degradados, de importancia ecológica, así como de importancia forrajera. Estas especies se establecieron hace 14 años en parcelas experimentales contiguas del tipo "monocultivo". Cada parcela experimental tiene una dimensión de 8 m x 8 m con espaciamentos entre plantas de 2 m. La parcela útil estuvo conformada por cuatro plantas centrales bajo competencia completa.

Cuadro 2 Nombre científico, nombre común y familia de las especies estudiadas.

Nombre Científico	Nombre Común	Familia
<i>Acacia rigidula</i> (Benth)	Chaparro prieto	Leguminosae
<i>Acacia berlandieri</i> (Benth)	Guajillo	Leguminosae
<i>Pithecellobium ebano</i> (Berl) Muller	Ebano	Leguminosae
<i>Pithecellobium pallens</i> (Benth) Standl.	Tenaza	Leguminosae

### 3.2.1 Descripción de las especies estudiadas

A continuación se describen generalidades morfológicas para cada una de las especies estudiadas (Estrada y Marroquin, 1990):

#### 3.2.1.1 *Acacia rigidula* Benth.

Arbusto intrincadamente ramificado, con una altura que fluctúa entre 0.7-6 m; las ramas están armadas con espinas rectas, pareadas con longitud de 1.5-4.5 cm de largo. Hojas alternas, bipinnado compuestas de 1.5-3.8 cm de largo; pecíolo 1.5-3 mm de largo; pinnas 1 par por hoja, 0.9-2.5 cm de largo; folíolos de 2-4 pares por pinna; oblongo - ovalados de 0.7-14 mm de largo y con una base ligeramente atenuada o asimétrica. La inflorescencia está dispuesta en racimos espigados, agrupados en conjuntos de 3-6, de 2-3.5 cm de largo. El fruto es una vaina linear de 4-9.5 cm de largo y de 4.5-5.5 mm de ancho, curvado, café oscuro o negruzca. Su distribución abarca desde 360 a 580 msnm, y se encuentra asociada frecuentemente con *Acacia farnesiana* y *Pithecellobium pallens*.

### 3.2.1.2 *Acacia berlandieri* Benth.

Arbusto de 1-2.5 m de alto, ramificado desde la base con numerosos tallos, espinas pequeñas, rectas de 2 mm de largo; hojas compuestas, bipinnadas de 7-12 cm de largo; pecíolo de 1.5-2 cm de largo; pinnas de 6-9 pares por hoja de 3-4.9 cm de largo; folíolos de 26-30 pares por pinna. Las inflorescencias están dispuestas en cabezuelas amarillas de 1-1.3 cm de diámetro; pedúnculos 9-13 mm de largo. El fruto es una vaina de 7-12 cm de largo, oblonga recta o ligeramente curvada con dehiscencia longitudinal, explosiva el fruto queda largo tiempo adherido a las infrutescencias. Se distribuye en áreas de matorral en la planicie, común en matorral submontano y en bosques de encino, en alturas de 360 a 1500 msnm.

### 3.2.1.3 *Pithecellobium ebano* (Berl.) Muller.

Arbusto o árbol, 4-10 m de altura, ramas dispuestas fuertemente en zigzag, armadas con espinas nodales, pareadas, 8-13 mm de largo, rectas. Hojas alternas bipinnado compuestas, 2.5-4.2 cm de largo, pinnas 2-3 pares por hoja, 1-2.5 cm de largo, con 3-6 pares de folíolos por pinna, 6-10 mm de largo, 4-5 mm de ancho, oblongos, glabros y/o esparcida y diminutamente ciliados en los bordes. Las inflorescencias están dispuestas en racimos espigados, 2-5 cm de largo, cilíndricas, densas. El fruto es una vaina de 6-13 cm de largo y de 1.8-3 cm de ancho, ligeramente aplanado. Las valvas coriáceas pueden ser rectas a ligeramente curvadas, persistente por largo tiempo, tardíamente dehiscente, internamente septada. Las semillas son café o café-rojizo. Es frecuente en suelos francos y bien drenados en zonas bajas. El rango de distribución fluctúa de los 250 a 600 msnm.

### 3.2.1.4 *Pithecellobium pallens* (Benth.) Standl.

Arbusto de 4-5 m de altura, ramas armadas con espinas nodales de 8-19 mm de largo; hojas alternas, bipinnado compuestas, 5-11 cm de largo, pinnas 4-7 pares por hoja de 2-4.5 cm de largo; folíolos de 14-22 pares por pina, oblongos, 4.5-6.5 mm de largo y de 1.1-1.5 mm de ancho, ligeramente oblicuos, diminuta y esparcidamente pubescentes. Las inflorescencia están dispuestas en cabezuelas esféricas, blanquecinas de 1.5-2 cm de diámetro, axilares, o en racimos terminales. El fruto es una vaina oblonga, aplanada, 6-9 cm de largo, 9-12 mm de ancho, dehiscente, ápice terminado en un pico corto, valvas engrosadas en los márgenes, color café claro u oscuro. Abundante en las áreas de la planicie, codominante con varias especies del género *Acacia* en extensas zonas del matorral. Se encuentra principalmente en suelos poco profundos.

### 3.2.2 Fenología vegetal

Las características fenológicas tales como inicio de brotes, presencia foliar, y estados reproductivos (floresy/o frutos), de las especies estudiadas fueron observadas a intervalos de 15 días durante el periodo experimental (15 Marzo de 1996 al 15 de marzo de 1997). Cabe mencionar que solo fueron determinaciones en base a presencia y abundancia realizadas de manera visual.

## 3.3 Descripción del experimento

### 3.3.1 Precipitación incidente

El registro de la precipitación incidente o precipitación pluvial fue llevada a cabo cada vez que se presentó un evento de lluvia durante el transcurso de la investigación; la cual comprendió del 15 de Marzo de 1996 al 15 de Marzo de 1997.

La precipitación incidente fue evaluada por medio de cuatro colectores (repeticiones) de polietileno de 20 cm de diámetro, conectados a botes de polietileno de 4.0 L y soportados por una caja de madera. El embudo fue cubierto con una malla de poliefibra para impedir la entrada de insectos, hojarasca y partículas extrañas. Los embudos permanecieron fijos y expuestos a la atmósfera durante todo el transcurso de la investigación. Los colectores fueron colocados a 42 cm por encima de la superficie del suelo para evitar el salpique de las gotas de lluvia y evitar la contaminación con partículas de suelo. Estos colectores fueron ubicados en un área adyacente a las parcelas experimentales.

Las muestras de agua de lluvia fueron colectadas dentro de las siguientes 12 horas después de finalizar el evento de lluvia y en un periodo no mayor de 24 horas. Los embudos y colectores de polietileno fueron lavados periódicamente con ácido clorhídrico y agua bidestilada, con el objeto de mantener libre de partículas que pudieran alterar la química del agua.

### 3.3.2 Precipitación efectiva

El registro de agua de lluvia que pasó a través del dosel vegetal (precipitación efectiva) fue colectada en cada evento de lluvia y en cada parcela experimental. Para ello, se colocaron bajo las copas de cuatro árboles seleccionados, los embudos de polietileno con su respectivo

contenedor y material de sostén. Un colector por cada árbol fue utilizado para interceptar el agua que pasó a través del dosel de la planta.

Previamente a esto, se observaron las coberturas de las copas de los árboles, así como su estructura. El objetivo de este procedimiento fue elegir el lugar más indicado en el cual se colocarían los colectores. En base a que la mayoría de los árboles de las especies estudiadas tenían áreas de la corona ( $4.76 \pm 1.76 \text{ m}^2$ ) y alturas ( $2.98 \pm 0.83 \text{ m}$ ) muy similares, se optó por ubicar el colector a una distancia de 45 cm del tallo principal de cada árbol orientado hacia cada uno de los cuatro puntos cardinales. Los embudos se colocaron a una altura de 42 cm por arriba de la superficie del suelo.

Los colectores y contenedores fueron previamente lavados con ácido clorhídrico y agua bidestilada antes de cada evento para remover de ellos las partículas que pudieran contaminar y alterar la composición química de la lluvia colectada, así mismo, los colectores se distribuyeron aleatoriamente en cada evento de lluvia en torno a la planta y en base a los cuatro puntos cardinales.

Las muestras generalmente fueron colectadas dentro de las siguientes 12 horas después de finalizar el evento de lluvia y en un período no mayor de 24 horas y a la misma frecuencia que la precipitación incidente. Para eventos menores de 1 mm, las muestras de cada especie y repetición fueron colectadas y mezcladas en una sola repetición para ser analizadas conjuntamente. No obstante, se midió el volumen individual de cada repetición. Durante los períodos de altas precipitaciones, eventos de lluvias continuos entre un día y otro, las colectas se realizaron cada 24 horas con el objeto de tener información diaria de la precipitación que se presentó.

### **3.3.3 Colecta y preservación de las muestras de agua de lluvia**

La precipitación incidente y la precipitación efectiva colectada fueron trasladadas al laboratorio dentro de las 12 y 24 horas de haber ocurrido el evento de lluvia para registrar el volumen colectado, pH y conductividad específica.

Entre cada medición de volumen, la probeta fue lavada con agua bidestilada para evitar una posible contaminación de la muestra anterior a la posterior. Para hacer esto más confiable aún, se utilizaron cuatro probetas para medir los cuatro volúmenes de cada especie, así como para la precipitación. Una secuencia en las mediciones de volumen, pH y conductividad



específica fue establecida en cada evento, midiendo primero los parámetros anteriormente mencionados en *A. rigidula*, *A. berlandieri*, *P. ebanus* y *P. pallens*.

Una vez obtenido el volumen de todas las repeticiones (contenedores), la muestra se agitó durante algunos segundos y se obtuvo de cada muestra una submuestra. Esta fue depositada en recipientes de plástico (previamente lavados con ácido clorhídrico y agua bidestilada). Una vez obtenida esta submuestra se prosiguió a obtener de ellas pH y conductancia específica, el resto del agua colectada se descartó.

La medición del pH fue mediante el uso de un medidor de pH con electrodo integrado (Corning modelo 340). El electrodo fue lavado y calibrado periódicamente entre grupos de muestras. La conductancia específica ( $\mu\text{mhos/cm}$ ) fue determinada por un conductímetro (Hanna, modelo HI8820). Posteriormente, las muestras fueron filtradas utilizando papel filtro (Whatman No. 4). En seguida, las muestras fueron almacenadas por dos semanas en refrigeración a una temperatura de 4°C para prevenir cambio en volumen y actividad microbiana.

#### 3.3.4 Muestreo de tejido foliar

El tejido foliar maduro de *A. rigidula*, *A. berlandieri*, *P. ebanus* y *P. pallens* fue analizado para determinar la concentración de macro y microelementos.

El follaje de las especies anteriormente mencionadas fue colectado de ocho plantas (repeticiones) previamente etiquetadas en la plantación. Los análisis foliares se llevaron a cabo del 9 de Octubre de 1996 al 13 de Enero de 1997, realizándose dichos muestreos a intervalos de tres semanas.

#### 3.3.5 Análisis químicos

Después de permanecer los extractos de digestión foliar y muestras de agua de lluvia en refrigeración por dos semanas, estas fueron removidas y se mantuvieron a temperatura ambiente por 15 minutos. Posteriormente, las muestras se agitaron con la finalidad de homogenizarlas.

Para determinar la concentración de cada elemento en muestras foliares (micromoles por gramo de peso,  $\mu\text{moles/gps}$ ) y deposición de nutrientes en muestras de agua (en miligramos

por litro, mg/L; milimoles por hectárea, mmoles/Ha, o kilogramos por hectárea, Kg/Ha) se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica (marca Varian, modelo SpectrAA-200).

En el Cuadro 3 se ilustran los parámetros optimizados del espectrofotómetro que se utilizaron para cuantificar cada elemento. Partiendo de estándares comerciales de cada elemento, se obtuvo una curva estándar para cuantificar la concentración de dicho elemento en el extracto de cada especie o muestra de agua de lluvia de cada repetición y evento registrado.

**Cuadro 3** Parámetros optimizados del espectrofotómetro que se utilizaron para determinar la concentración de los elementos.

Elemento mineral	Longitud de onda $\lambda$ (nm)	Corriente de lámpara <sup>1</sup> (mA)	Ancho de ranura (nm)	Flujo (L/min)		Estequiometría de la flama
				combustible <sup>2</sup>	oxidante <sup>3</sup>	
Ca	422.7	10.0	0.5	6.35	11.0	reductora
K	76.5	5.0	2.0	2.00	13.5	oxidante
Na	589.0	5.0	2.0	2.00	13.5	oxidante
Mg	285.2	4.0	2.0	2.00	13.5	oxidante
Cu	324.8	4.0	2.0	2.00	13.5	oxidante
Fe	248.3	5.0	2.0	2.00	13.5	oxidante
Mn	279.5	5.0	2.0	2.00	13.5	oxidante
Zn	213.9	5.0	2.0	2.00	13.5	oxidante

<sup>1</sup>Lámpara de cátodo hueco. <sup>2</sup>Acetileno (grado absorción atómica, AA). <sup>3</sup>Oxido nitroso (Ca) y aire (K, Na, Mg, Cu, Fe, Mn, y Zn).

### 3.3.6 Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental que se utilizó para llevar a cabo el análisis estadístico de los datos de concentración, pH y conductividad específica, por evento de lluvia, fue de un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. El modelo estadístico que se usó en este estudio fue (Steel y Torrie, 1980):

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

$$i = 1, 2 \dots, t=5$$

$$j = 1, 2 \dots, r=4$$

donde:

$Y_{ij}$  = representa la concentración del elemento en el tratamiento  $i$  en la repetición  $j$ .

$\mu$  = representa la concentración media global.

$\tau_i$  = representa el efecto del tratamiento  $i$ .

$\mathcal{E}_{ij}$  = representa el error experimental (o componente aleatorio) asociado a la observación  $ij$ .

Los errores son independientes, y están normalmente distribuidos con media 0 y varianza  $\sigma^2$ , es decir  $\mathcal{E}_{ij} \sim NI(0, \sigma^2)$ .

Las concentraciones de cada elemento mineral, cantidad de precipitación, pH y conductividad específica por evento de lluvia, fueron sometidos a un análisis de varianza usando el paquete estadístico SPSS, versión 5.01, 1992.

El procedimiento estadístico de Tukey, el cual se basa en la distribución de rango estudentizado, fue la prueba estadística que se empleó para detectar diferencias entre los tratamientos para cada una de las variables. El procedimiento consiste en calcular el valor crítico y compararlo a una diferencia de pares de medias con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$  (Steel y Torrie, 1980).

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

En este capítulo se presentan los resultados e interpretaciones de la concentración y flujos de macro (Ca, K, Mg y Na) y micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) incorporados al suelo vía precipitación incidente (testigo) y precipitación efectiva (lluvia que pasó a través del dosel vegetal). Estos resultados están presentados en términos de flujos medios anuales, estacionales y por evento de lluvia registrado. Adicionalmente, se ilustra la interacción significativa de la deposición de nutrientes considerando las especies vegetales estudiadas y la estación de crecimiento. Por otro lado, también se incluyen aspectos hidrológicos de la precipitación incidente y efectiva, tales como cantidad de precipitación registrada, número de eventos registrados, frecuencia de eventos de lluvia, cantidad de precipitación interceptada de cada una de las especies estudiadas, entre otras.

### 4.1 Precipitación incidente

Durante el periodo experimental, 15 de Marzo de 1996 al 15 de Marzo de 1997 se registró un total de 52 eventos de lluvia sumando un total de 522.8 mm de precipitación. En el (Cuadro A1) se ilustra la fecha y cantidad de precipitación incidente en cada tormenta. Los eventos de precipitación incluyeron del tipo orográfico y convectivo principalmente. Adicionalmente se registraron dos tormentas eléctricas y dos eventos de lluvia influenciados por efectos de huracanes (el primero el día 22 de Agosto, huracán "Dolly" y el segundo el 02 de Octubre, llamado "Hernan" ambos presentados en 1996).

Un evento de lluvia fue definido, al igual que Puckett (1991), como cualquier periodo medible de precipitación pluvial que no fue precedido o seguido por otro periodo medible de precipitación dentro de las 24 horas.

En la Figura 2 se ilustra la cantidad de precipitación incidente de cada uno de los 52 eventos registrados. La precipitación menor y mayor observada fue de 0.46 y 71.5 mm respectivamente, con un promedio anual de  $10.05 \pm 16.62$ .

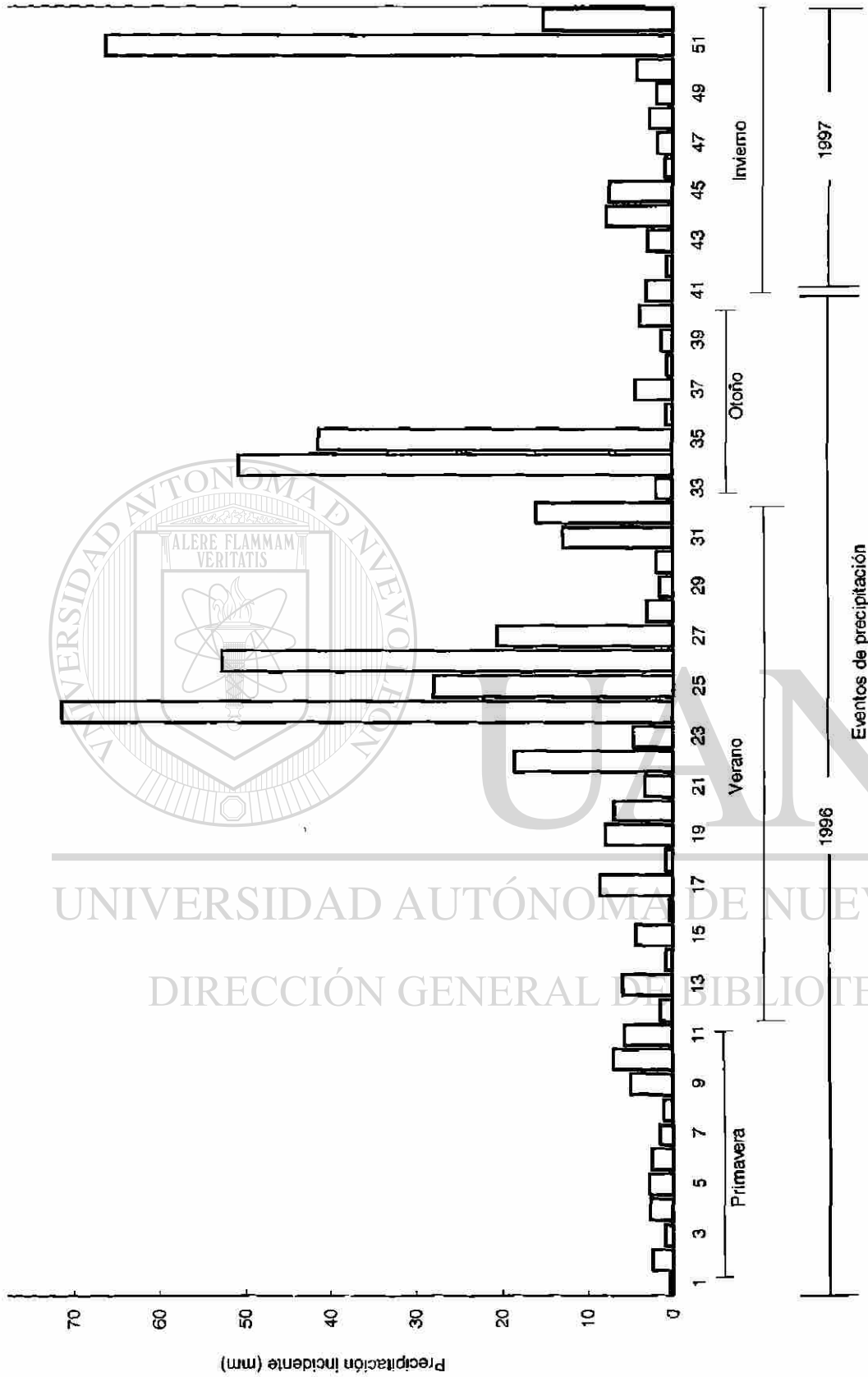
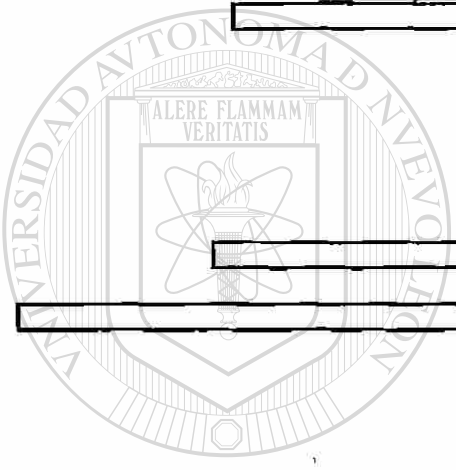


Figura 2 Precipitación incidente registrada de los 52 eventos de lluvia.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

El histograma de frecuencias de precipitación muestra que más del 60% de las precipitaciones ocurridas fueron menores de 5 mm. Así mismo, se observa que alrededor del 20% se encuentran entre 5 y 10 mm de precipitación; sin embargo, lluvias mayores de 50 y hasta 70 mm ocurrieron en este periodo, pero con frecuencias relativamente bajas (menores de 5%). La lluvia máxima registrada fue de 71.5 mm la cual ocurrió el 21 de Agosto de 1996 (huracán "Dolly" que se presentó en ese mes) y la mínima ocurrió el 26 de Marzo del mismo año con una precipitación de 0.46 mm.

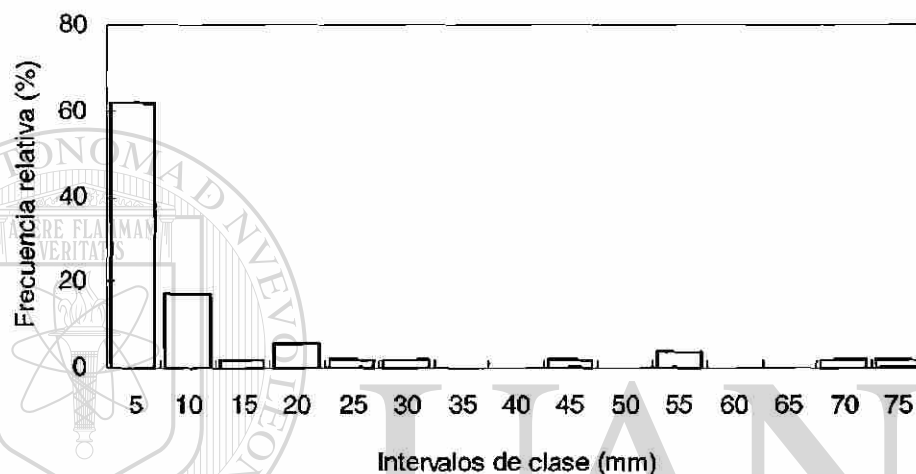
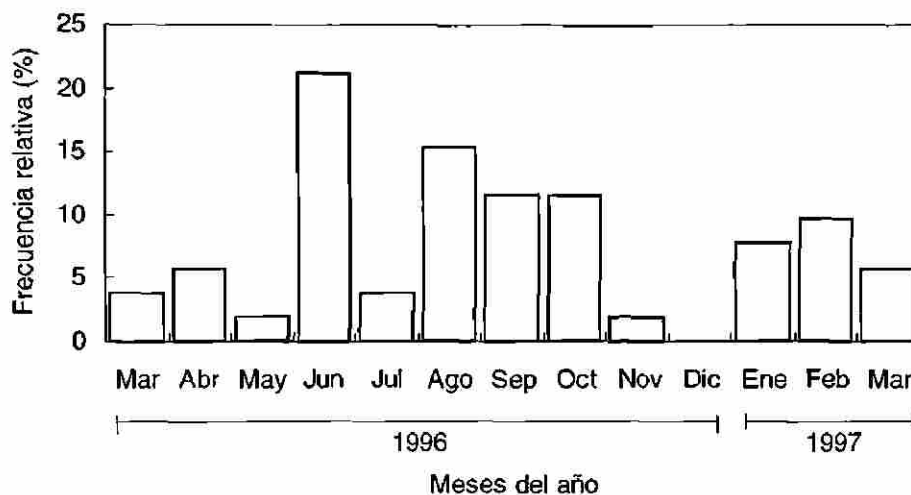


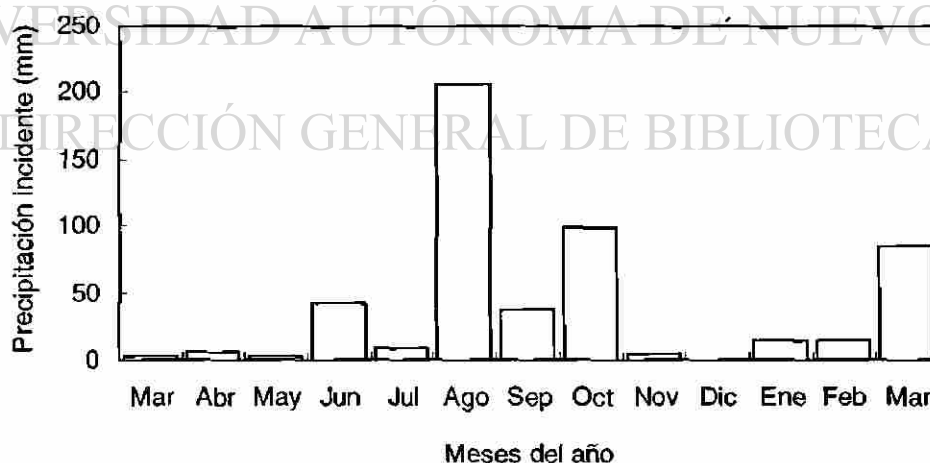
Figura 3 Histograma de frecuencias de precipitación incidente.

La distribución mensual de la precipitación incidente se presenta en la Figura 4. A manera general, el 63% de la precipitación ocurrió de Junio a Octubre. La Figura 4 también revela que el mes de Junio fue el más lluvioso ya que alrededor del 22% del total de eventos de lluvia se registraron en ese mes. Los meses de Mayo y Noviembre fueron los meses más secos con solamente un evento de precipitación cada uno. En el mes de Diciembre se presentaron deposiciones de agua en los colectores en forma de rocío; las cuales no fue posible medir; por ello mismo, bajo la copa de los árboles no se colectó precipitación alguna. Esta deposición de humedad fue interceptada por el dosel vegetal.



**Figura 4** Frecuencia relativa mensual de precipitación incidente

En la Figura 5 se ilustra la distribución mensual de la precipitación incidente durante el periodo experimental. En dicha Figura se puede apreciar que los meses más secos de 1996 fueron Marzo (2.9 mm), Mayo (2.6 mm) y Diciembre (0.0 mm) y de 1997 fueron Enero (14.3 mm) y Febrero (14.9 mm). En cambio, los meses más lluviosos de 1996 fueron Agosto (205.9 mm) y Octubre (98.9 mm) y de 1997 fue el mes de Marzo (85.4 mm).



**Figura 5** Distribución mensual de la precipitación incidente durante el periodo experimental.



## 4.2 Relación de precipitación incidente y precipitación efectiva

La cantidad de precipitación efectiva fue modelada como una función de la precipitación incidente a través de la siguiente ecuación  $Y = \beta_0 + \beta_1 (x)$ . Donde  $Y$  = cantidad de precipitación efectiva;  $\beta_0$  =intercepta en el eje  $Y$ ;  $\beta_1$  =pendiente;  $x$  =cantidad de precipitación incidente (Pressland, 1973; Teklehaimanot y Jarvis, 1991). Esta ecuación describe la relación entre la precipitación incidente y precipitación efectiva, pero no toma en cuenta los efectos de las diferencias de intensidad de lluvia, duración y distribución, cambios estacionales de clima, o algunas otras variables como características de las especies.

En la Figura 6 se muestran la relación que existe entre la precipitación incidente (mm) y la precipitación efectiva (mm) en las cuatro especies estudiadas. En dicha Figura se incluyen los intervalos de confianza al 95%, donde claramente se observa homogeneidad en las observaciones. Así mismo, se observa que existe un alto grado de correlación entre la precipitación incidente y la precipitación efectiva. En las Figuras donde no se aprecia la línea de ajuste es porque los intervalos de confianza se sobreponen a ella. Tal vez sea efecto de la escala (como lo muestran las Figuras), no obstante, se observó menor variabilidad de precipitación efectiva en eventos de baja precipitación incidente. Este efecto podría también atribuirse a una posible homogeneidad en lluvias menores o probablemente a la presencia de pocos vientos en el ambiente.

---

Respecto al género *Acacia*, las relaciones entre precipitación incidente y precipitación efectiva se observa que dichas especies presentaron correlaciones sensiblemente diferentes, esto podría ser a causa de que las especies muestran características morfológicas un poco diferentes, ya que la  $R^2$  de ambas es diferente, obteniendo el mejor ajuste en el modelo *A. berlandieri* con 0.9957, mejor que el de *A. rigidula* de 0.9917.

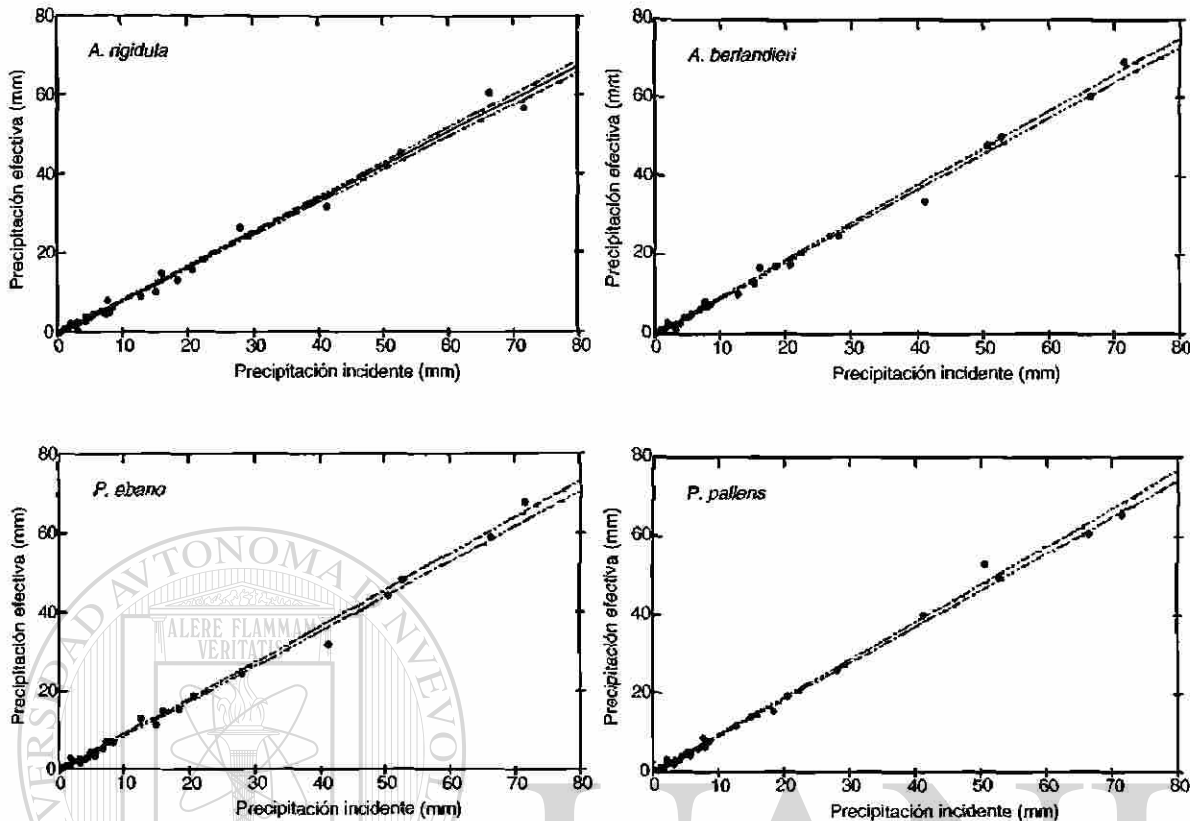


Figura 6 Relación entre precipitación incidente y precipitación efectiva en las cuatro especies estudiadas.

Por otro lado en la especie *A. berlandieri* se observó que en algunos eventos de lluvia, la precipitación efectiva fue mayor que la precipitación incidente. Esto podría ser debido a las características intrínsecas de la especie, tales como forma y disposición de las hojas y ramas, o bien son adaptaciones que ha desarrollado la especie para conducir el agua hacia la parte inferior tronco como una manera de utilizar eficientemente la escasa (Slatyer, 1963; Návar, 1993).

El mismo patrón en la precipitación efectiva registrada para el género *Pithecellobium* fue observado. Por ejemplo, la especie *P. pallens* mostró también en algunos eventos que la precipitación efectiva supera a la precipitación incidente. Una explicación puede ser debido a que ésta especie tiene su copa más abierta y menos densa que las demás. Así mismo, fue la especie que menor cobertura foliar presentó ( $3.18 \pm 0.63$ ) durante el periodo de estudio, ya periódicamente se efectuaron observaciones fenológicas de cada especie.

El ajuste de los modelos de regresión lineal entre la relación de precipitación efectiva y precipitación incidente se ilustra en la Figura 7. En el Cuadro 4 se presentan los coeficientes del modelo de regresión para cada especie estudiada.

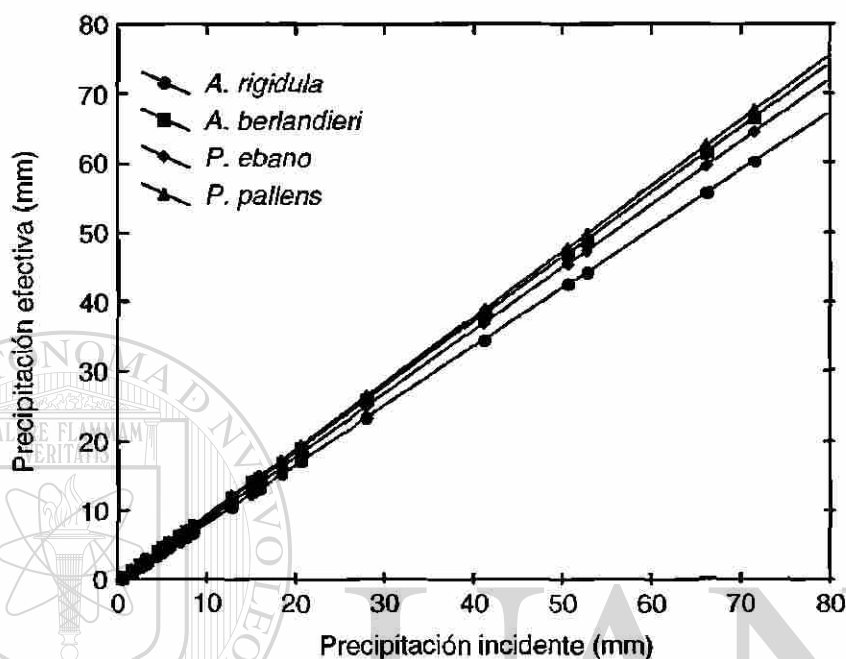


Figura 7 Ajuste de los modelos precipitación efectiva de las cuatro especies.

El Cuadro que a continuación se muestra reporta algunos parámetros de la regresión, los cuales explican el comportamiento de la variación de las observaciones. En el se observan diferencias mínimas en los ajustes del modelo en cada una de las especies ( $R^2$ ), así como diferencias en las interceptas principalmente, y poca variación en el parámetro que representa la pendiente del modelo.

Cuadro 4 Coeficientes de cuadrados mínimos que estiman la precipitación efectiva en cada especie estudiadas como una función de la precipitación incidente (n=52).

Especie	Coeficientes de regresión			
	$R^2$	$\beta_0$	$\beta_1$	Sx
<i>A. rigidula</i>	0.9917	-0.3304	0.8460	1.2853
<i>A. berlandieri</i>	0.9957	-0.0678	0.9304	1.0144
<i>P. ebano</i>	0.9943	-0.4000	0.9059	1.1330
<i>P. pallens</i>	0.9958	-0.0437	0.9447	1.0142

De los resultados presentados en la Figura 7 y Cuadro 4 se puede concluir que la precipitación efectiva en *A. rigidula*, *A. berlandieri*, *P. ebano* y *P. pallens* representó el 84.6%, 93.0%, 90.5% y 94.5%, respectivamente de la precipitación incidente o anual registrada (522.8 mm). Adicionalmente, el ajuste de los modelos con los datos observados fue de considerable precisión ya que los coeficientes de determinación en las cuatro especies estudiadas se mantuvieron en el orden del 991.1 al 99.5%. No obstante, no se realizaron pruebas de comparación entre los parámetros ( $\beta^{\prime s}$ ) de cada especie.

### 4.3 Relaciones de intercepción

De la misma manera, la estimación de la intercepción de lluvia por el dosel vegetal de las especies fue evaluada a través de cuadrados mínimos, siguiendo el modelo de regresión lineal de la forma  $Y = \beta_0 + \beta_1(x)$  (Pressland, 1973; Herwitz, 1985).

La intercepción del agua de lluvia por el dosel vegetal, se estimó con la siguiente ecuación:

$$I = P_t - P_n \quad (2)$$

donde;

$I$  = intercepción (mm).

$P_t$  = precipitación incidente (mm).

$P_n$  = precipitación efectiva (mm).

## DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

En la Figura 8 se muestran las relaciones observadas entre la precipitación incidente y la intercepción (mm) en las cuatro especies estudiadas. En dicha Figura se muestra también los intervalos de confianza al 95%, observándose que conforme se incrementa la precipitación incidente, mayor variación en la intercepción es esperada. Por lo tanto, los intervalos de confianza tienden a ser más amplios.

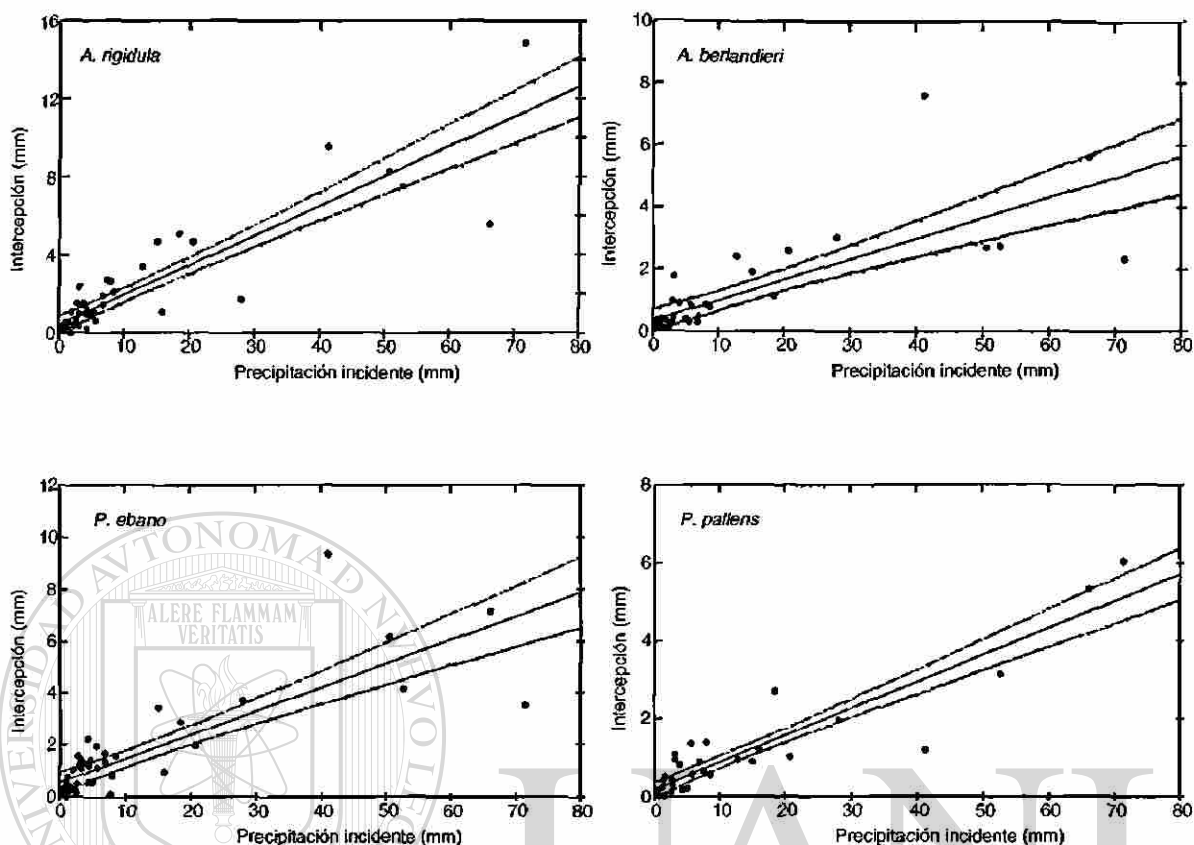


Figura 8 Relación entre precipitación incidente e interceptación en las cuatro especies estudiadas.

El Cuadro 5 muestra la cantidad de precipitación total incidente (mm) durante el periodo experimental, precipitación efectiva (mm) e interceptación (mm). A manera general la especie *P. pallens* fue la que menor porcentaje de interceptación mostró durante el periodo experimental. Esto puede ser explicado a que durante el transcurso del experimento no presentó estructuras foliares, ya que de Marzo a principios de Agosto fueron meses relativamente secos, por lo tanto el menor índice foliar observado podría ser la explicación de esta escasa interceptación.

Cuadro 5 Características hidrológicas de las especies estudiadas en relación precipitación efectiva e intercepción.

Clase de precipitación	mm registrados	%	
		Precipitación	Intercepción
Incidente <sup>1</sup>	522.88		
Precipitación efectiva <sup>1</sup>			
<i>A. rigidula</i>	425.18	81.31	18.69
<i>A. berlandieri</i>	482.29	92.23	7.77
<i>P. ebano</i>	452.93	86.62	13.38
<i>P. pallens</i>	491.73	94.04	5.96

<sup>1</sup> Registro de 52 eventos de lluvia.

La Figura 9 ilustra los modelos de regresión ajustados donde se aprecia la relación existente entre la precipitación incidente e intercepción en las especies estudiadas, donde se observa que al incrementarse la cantidad de precipitación pluvial, se incrementa también la intercepción. Paralelamente a este incremento, los intervalos de confianza se hacen más amplios, lo cual indica que el modelo se ajusta mejor para eventos de lluvias de bajas precipitaciones que para tormentas de alta precipitación. *A. rigidula* fue la especie que mayor cantidad de agua de lluvia interceptó, esto podría deberse al índice foliar de la especie, (no cuantificado en este estudio) o a la forma y distribución de sus hojas, ramas y tallos. No obstante, la especie que mostró menor intercepción de agua de lluvia, de acuerdo a los modelos de cuadrados mínimos, fue *P. pallens*.

En el Cuadro 6 se presentan los coeficientes del modelo de intercepción para las cuatro especies estudiadas.

## UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Cuadro 6 Coeficientes de cuadrados mínimos que estiman la intercepción en cada especie estudiada como una función de la precipitación incidente (n=52).

Especie	Coeficientes de regresión			
	R <sup>2</sup>	$\beta_0$	$\beta_1$	Sx
<i>A. rigidula</i>	0.7977	0.3304	0.1539	1.2853
<i>A. berlandieri</i>	0.5614	0.0678	0.0695	1.0444
<i>P. ebano</i>	0.6530	0.4000	0.0940	1.1330
<i>P. pallens</i>	0.4441	0.0437	0.0552	1.0142

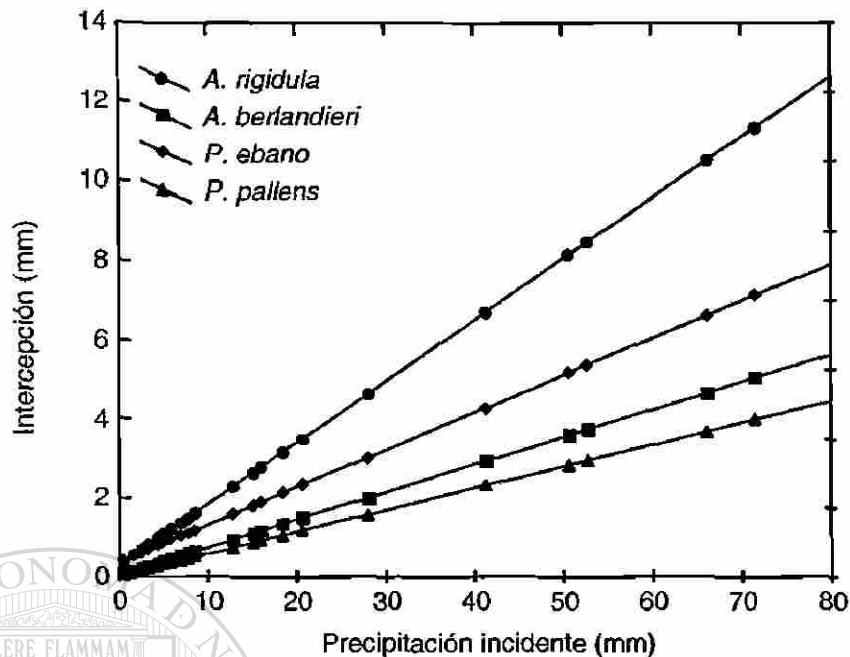


Figura 9 Ajuste de los modelos de intercepción de las cuatro especies.

En base a los resultados descritos, es necesario señalar las siguientes consideraciones con respecto a las especies *A. rigidula* y *P. ebano*. En este estudio se observó que la especie *A. rigidula* presentó la mayor intercepción, sin embargo es importante mencionar que la altura y cobertura de esta especie ( $2.50 \pm 0.70$  m y  $4.21 \pm 0.96$  m<sup>2</sup>, respectivamente) fue menor que *P. ebano* ( $3.01 \pm 0.46$  y  $3.18 \pm 0.60$  m<sup>2</sup>, respectivamente) por lo que la mayor intercepción observada podría deberse a la colocación inadecuada de los colectores en *A. rigidula*, ya que la morfología de éstos árboles no permitió la ubicación correcta del material para llevar a cabo la colección de lluvia bajo el dosel del árbol. Así mismo, la variabilidad en intercepción puede estar en relación a la distribución de los tallos, índice de área foliar y distribución del follaje dentro de las coronas (Loustau et al., 1992).

Sin embargo, la intercepción del agua de lluvia en plantaciones establecidas a diferentes densidades puede ser variar como lo demostró (Negi et al., 1993), encontrando que en espaciamientos mayores en rodales de *P. caribaea* la intercepción fue mayor con respecto a espaciamientos menores.



#### 4.4 Concentración de nutrientes minerales en tejido foliar

Con el objeto de conocer el estado nutricional de macro (Ca, K y Mg) y micronutrientes (Cu, Mn, Fe y Zn) en el tejido foliar de las especies estudiadas y relacionarlo posteriormente a la composición química del agua de lluvia bajo las plantas (lixiviación de nutrientes del dosel vegetal), se procedió a realizar determinaciones de estos nutrientes en diversas fechas de muestreo durante el desarrollo de la presente investigación.

Las concentraciones observadas de Ca por la especie y por muestreo son ilustradas en la Figura 10. En dicha Figura se observa que *P. pallens* presentó la mayor concentración de éste elemento durante las fechas evaluadas. No obstante, *A. berlandieri* mostró la menor concentración de Ca durante éstas fechas. Por otro lado, se observa un incremento en la concentración de Ca a partir de Octubre para todas las especies, observándose alta variabilidad en el mes de Noviembre como lo ilustran las barras de error.

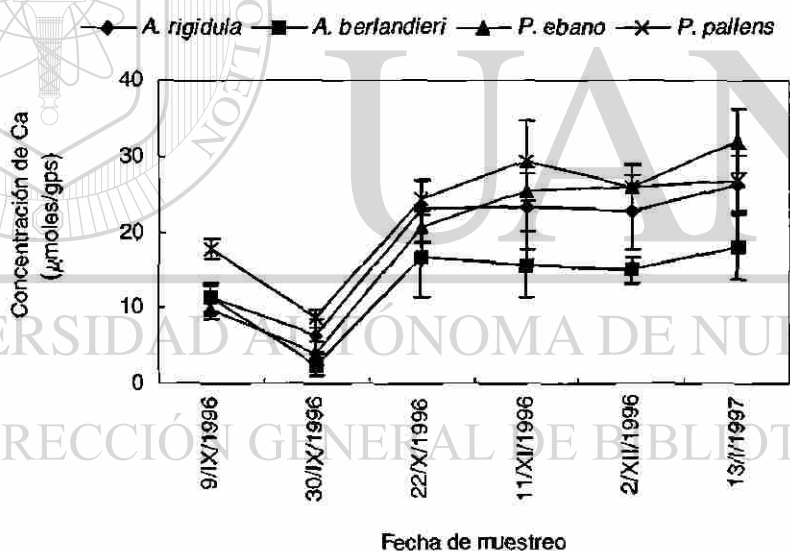
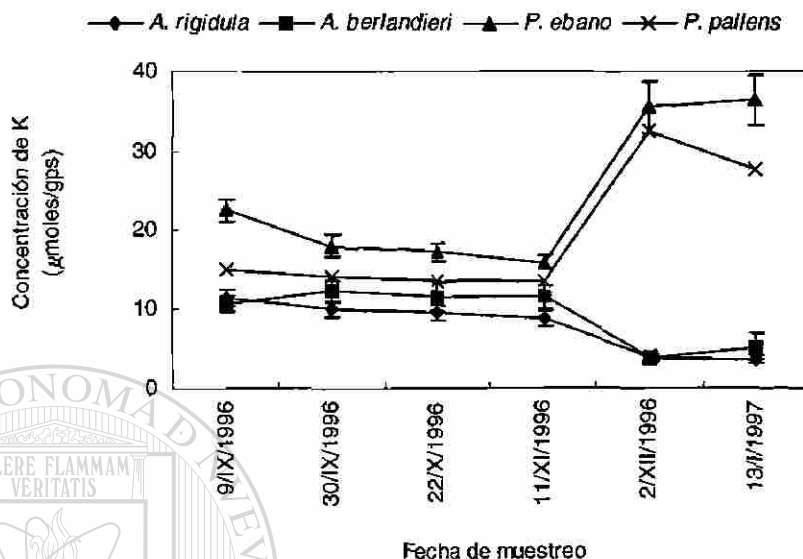


Figura 10 Concentración foliar de Ca en cuatro especies leguminosas muestreadas en seis fechas durante el periodo experimental.

Con respecto a las concentraciones foliares de K (Figura 11) se observa que la especie *P. ebano* mostró los niveles más altos de este nutriente en todos los de muestreos. Los valores fluctuaron entre 17 y 37 µmoles/gps. En cambio, las concentraciones más bajas corresponden

a la especie *A. rigidula* con valores que varían de 3 a 11  $\mu\text{moles/gps}$  durante las seis fechas de muestreo.



**Figura 11** Concentración foliar de K en cuatro especies leguminosas muestreadas en seis fechas durante el periodo experimental.

Una observación importante cabe destacar, en la Figura anterior, se observa un incremento significativo para el género *Pithecellobium* en Noviembre y Diciembre, ocurriendo lo contrario para el género *Acacia*.

En la Figura 12 se reportan las tendencias de las concentraciones foliares promedio de Mg en las cuatro especies evaluadas durante las seis fechas de muestreo.

A manera general se puede apreciar un decremento gradual en la concentración foliar de Mg de Septiembre a Noviembre en las cuatro especies. Durante este periodo la concentración de Mg en *P. pallens* disminuyó de 5.6 a 1  $\mu\text{moles/gps}$ , en cambio, la concentración en *A. rigidula* disminuyó de 3 a 1  $\mu\text{moles/gps}$ .

Las concentraciones más altas de Mg en tejido foliar para Noviembre y Diciembre, 4.5  $\mu\text{moles/gps}$  en promedio, corresponden a *A. berlandieri* y las más bajas, 1  $\mu\text{moles/gps}$ , se observaron en *A. rigidula*.

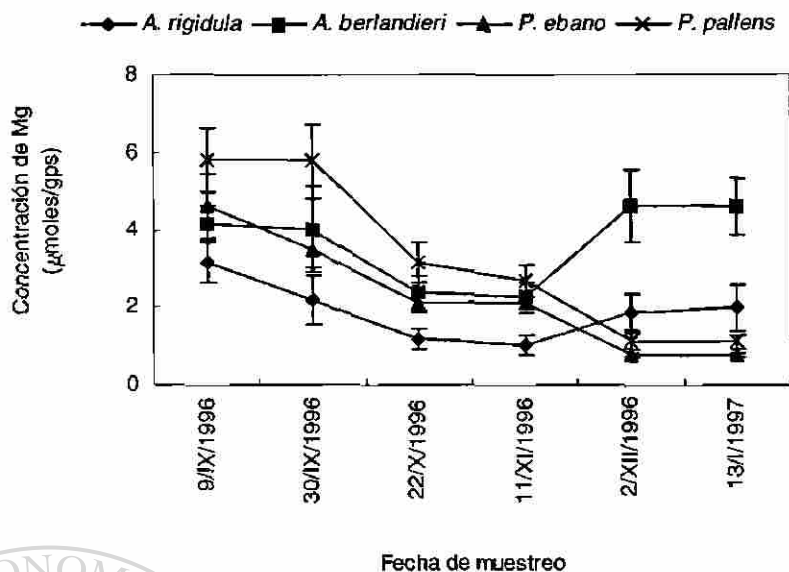


Figura 12 Concentración foliar de Mg en cuatro especies leguminosas muestreadas en seis fechas durante el periodo experimental.

Las concentraciones foliar promedio de Fe se presenta en la Figura 13. Durante las fechas de muestreo, las especies mostraron escasas diferencias en la concentración de Fe en su tejido foliar. Además, un decremento gradual en la concentración fue observado de manera general para todas las especies, entre Septiembre y Diciembre y un incremento en el mes de Enero.

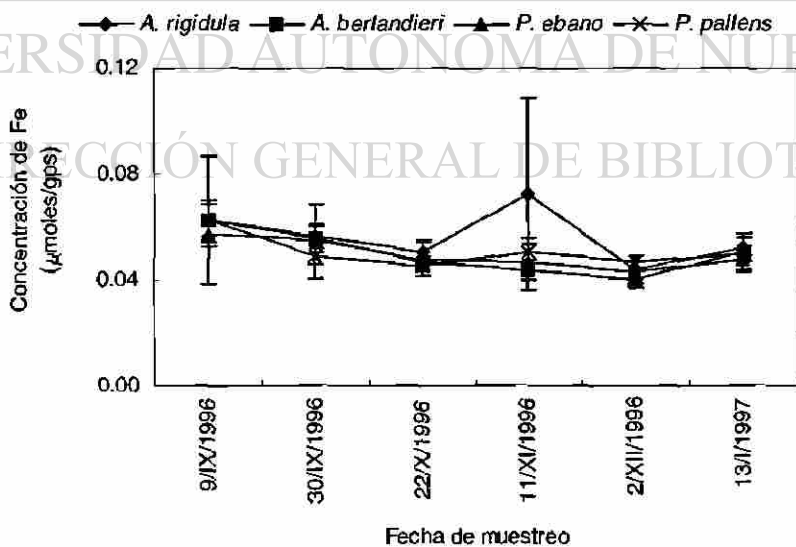


Figura 13 Concentración foliar de Fe en cuatro especies leguminosas muestreadas en seis fechas durante el periodo experimental.

Las concentraciones foliares de Mn en las cuatro especies estudiadas se presenta en la Figura 14.

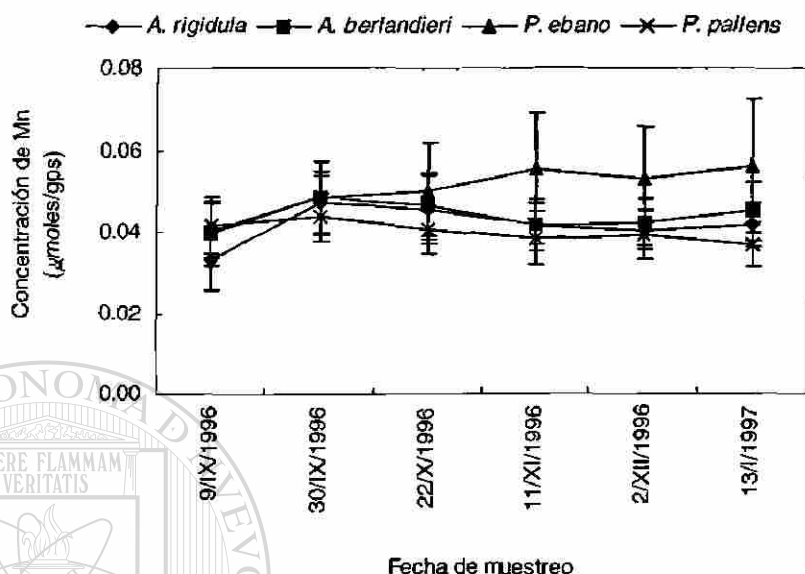


Figura 14 Concentración foliar de Mn en cuatro especies leguminosas muestreadas en seis fechas durante el periodo experimental.

En la mencionada Figura se pueden apreciar que las concentraciones de este micronutriente se manifestaron relativamente constantes en *A. rigidula*, *A. berlandieri* y *P. pallens*, 0.04 μmoles/gps en promedio durante los periodos de muestreo. En cambio, para la especie *P. ebano* se observa un incremento gradual de 0.04 μmoles/gps detectados en Septiembre a 0.056 μmoles/gps observados en Enero.

En la Figura 15 se presentan las concentraciones foliares de Cu en las cuatro especies estudiadas.

La Figura 15 indica que los análisis foliares de Cu en las cuatro especies no presentaron diferencias substanciales en la concentración de este elemento durante los periodos de muestreo. La especie *A. rigidula* mostró las más altas concentraciones foliares durante todas las fechas de muestreo; sin embargo, dichas concentraciones permanecieron relativamente constantes con 0.02 μmoles/gps. Por otro lado, la especie *A. berlandieri* mostró las más bajas concentraciones de Cu con promedio general de 0.01 μmoles/gps y permaneciendo constante dicha concentración durante los periodos de muestreo.

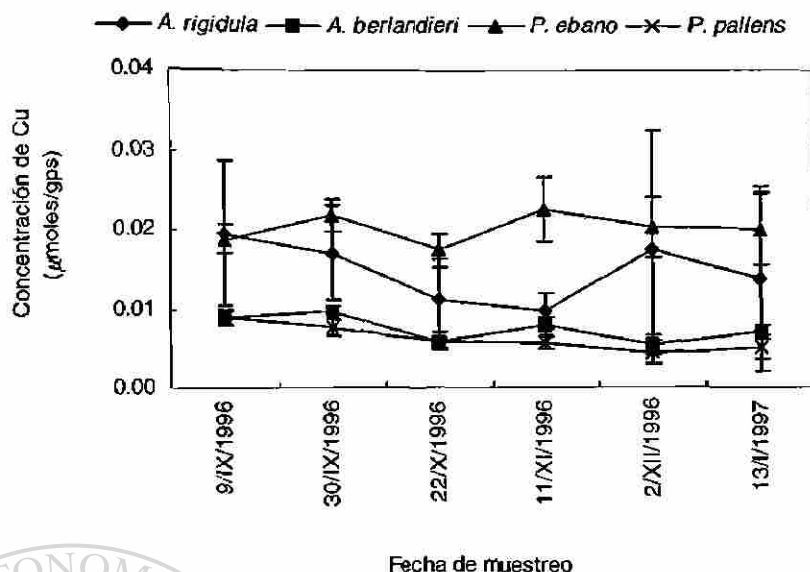


Figura 15 Concentración foliar de Cu en cuatro especies leguminosas muestreadas en seis fechas durante el periodo experimental.

En lo que respecta a las concentraciones foliares de Zn, en la Figura 16 se observa que las concentraciones promedio de este micronutriente tendieron a disminuir gradualmente de 0.02 µmoles/gps a cerca de cero, para las especie *A. berlandieri*, *P. ebano* y *P. pallens*. No obstante, gran variación en la concentración de Zn fue observada en *A. rigidula* con valores promedio que fluctuaron entre 0.05 y 0.01 µmoles/gps.

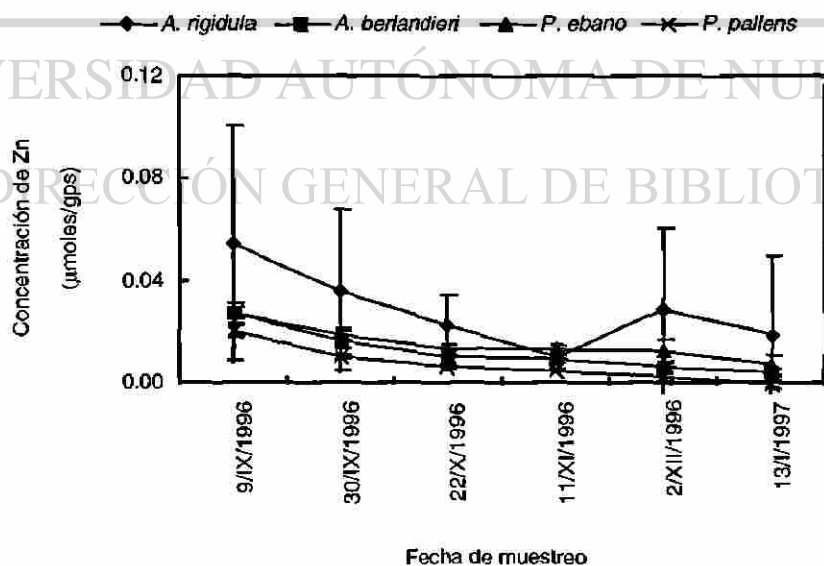


Figura 16 Concentración foliar de Zn en cuatro especies leguminosas muestreadas en seis fechas durante el periodo experimental.

## 4.5 Deposición media anual

Antes de explicar los resultados de esta sección es imprescindible mencionar que los datos aquí reportados excluyen la deposición de nutrientes correspondientes a los eventos de precipitación 1, 14, 16, 18, 38, 39, 42, 46 y 47. La razón es la siguiente: Puesto que se registraron precipitaciones incidentes menores de 1.73 mm en dichos eventos (Cuadro A1), las cuatro repeticiones de cada tratamiento fueron mezcladas en una sola muestra con el objetivo de rescatar la información, ya que la cantidad de agua de lluvia colectada no era suficiente para cuantificar los nutrientes de manera individual (de cada repetición) y además, estadísticamente no se podría hacer ninguna comparación. Por lo tanto, la información presentada en esta sección incluye el resultado promedio de 43 eventos de precipitación incidente y efectiva, cada uno de ellos con cuatro repeticiones.

Con el objetivo de conocer cual de las especies estudiadas contribuyó significativamente en la deposición media anual de nutrientes vía precipitación efectiva de cada especie vegetal y comparada con la precipitación incidente durante el periodo experimental, los resultados encontrados fueron los siguientes.

En el Cuadro A2 se presentan las estadísticas básicas de la deposición media de nutrientes en 43 eventos de lluvia.

El resumen del análisis de varianza (Cuadro A3); demuestra que existen diferencias significativas en la deposición media anual de Ca, Mg, K, Cu y Mn entre la precipitación incidente (testigo) y precipitación efectiva (especies). La prueba de comparación de medias se presenta en el Cuadro 7.

En dicho Cuadro se puede apreciar que las deposiciones menores (mmoles/ha) en Ca (6184.7), Mg (476.9), y K (1545.2) se presentan en la precipitación incidente (testigo), mientras que la deposición mayor para estos mismos elementos se observó en la precipitación efectiva de *P. ebano* con valores de 12846.5, 1697.3 y 4181.3 mmoles/ha, respectivamente. Estas deposiciones, vía precipitación efectiva representaron 2.07, 3.55 y 2.70 veces más en Ca, Mg y K respectivamente, que la deposición incidente (testigo).

Con respecto a la deposición media de Cu y Mn en el Cuadro 7 se observa que la precipitación incidente aportó 2.57 y 9.80 mmoles/ha, respectivamente. En cambio, la especie *A. berlandieri*, aportó en precipitación efectiva 12.63 y 15.66 mmoles/ha de Cu y Mn

respectivamente. Estas deposiciones representan 4.9 y 1.6 veces más que los aportados vía precipitación incidente.

Los nutrientes depositados vía precipitación incidente provienen de los que se disuelven en el agua de lluvia y de la deposición seca en forma de aerosoles, los cuales se depositan en los colectores del tratamiento testigo. En cambio, los nutrientes depositados vía precipitación efectiva, incorporan las dos fuentes antes mencionadas, así como también partículas de polvo y suelo depositadas en superficie de todas las estructuras de la planta y, de la lixiviación de nutrientes internos de los propias hojas de las plantas.

El balance final de estos procesos se explica mediante la deposición neta (diferencia entre los valores de la precipitación efectiva menos la precipitación incidente). Con los resultados presentados en el Cuadro 7 se puede observar que la especie *P. ebano* presentó una deposición neta positiva de Ca, Mg y K con valores de 6661.8, 1220.3 y 2636.1 mmoles/ha, respectivamente. Similarmente, la especie *A. berlandieri* mostró una deposición neta positiva en Cu y Mn con valores de 10.06 y 5.86 mmoles/ha, respectivamente. Estos resultados indican, que la vía principal de incorporación de nutrientes es a través de la deposición seca (aerosoles y partículas de polvo) y deposición húmeda (partículas de suelo y aerosoles disueltas en el agua de lluvia). No obstante, la vía principal de deposición de Mn es a través de precipitación incidente, ya que el valor obtenido en precipitación incidente (9.8 mmoles/ha) es mayor que el incorporado vía precipitación efectiva (5.86).

Por otro lado, en lo que respecta a las deposiciones medias anuales de Na, Fe y Zn vía precipitación incidente y precipitación efectiva de las cuatro especies estudiadas, no se observaron diferencias significativas en dichas aportaciones. Las incorporaciones promedio fueron de 9331.7, 37.9 y 13.09 mmoles/ha, respectivamente Cuadro A2.



**Cuadro 7** Comparación de medias entre la deposición media anual de nutrientes vía precipitación incidente y precipitación efectiva

Nutriente	Media (mmoles/ha)	Prueba de comparación múltiple (Tratamiento X Tratamiento)					
		testigo	Ar <sup>1</sup>	Pp <sup>2</sup>	Ab <sup>3</sup>	Pe <sup>4</sup>	
Ca	6184.7073	testigo					
	7417.9700	Ar					
	10286.0461	Pp	*				
	10557.6047	Ab	*	*			
	12846.5825	Pe	*	*			
Mg	476.9855	testigo					
	810.0459	Ar					
	1305.7412	Ab	*				
	1338.1006	Pp	*				
	1697.3497	Pe	*	*			
K	1545.2474	testigo					
	2991.1856	Pp	*				
	3552.3483	Ab	*				
	3853.7590	Ar	*				
	4181.3407	Pe	*				
Cu	2.5761	testigo					
	8.9636	Ar					
	9.2541	Pp					
	10.6381	Pe					
	12.6388	Ab	*				
Mn	9.8024	testigo					
	12.2115	Ar					
	12.5961	Pp					
	15.0136	Pe	*				
	15.6609	Ab	*				

\* Indica medias diferentes de acuerdo al procedimiento de rango estudentizado de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ .

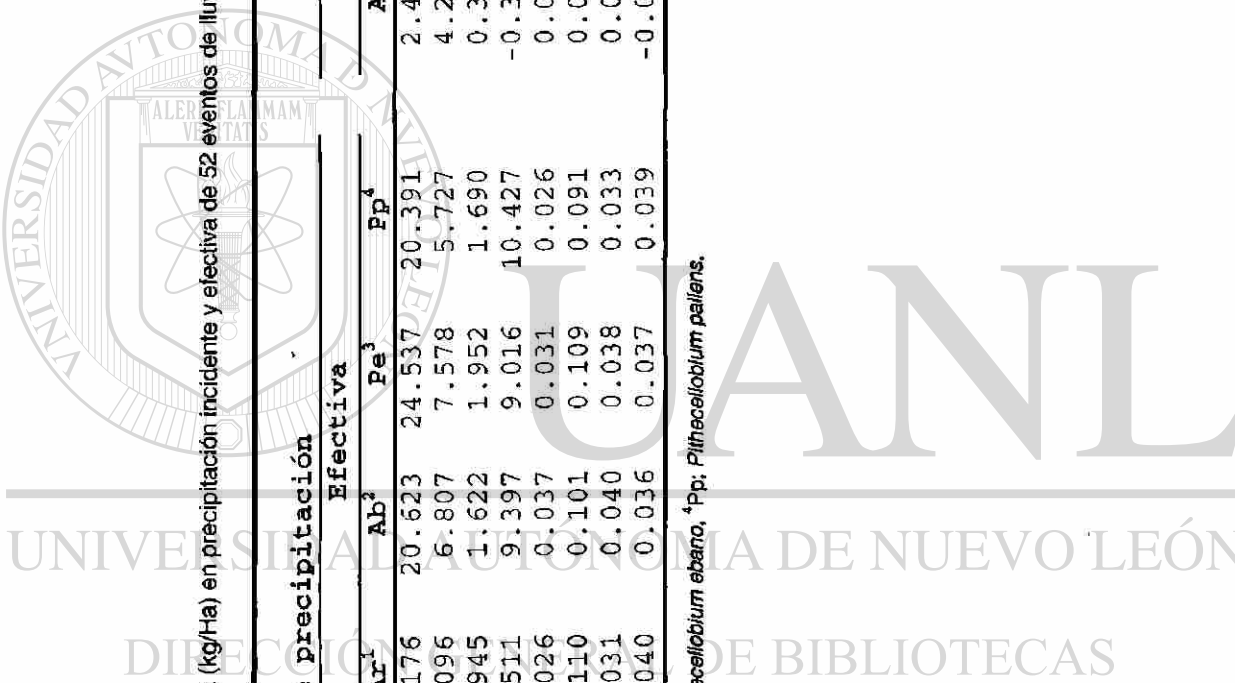
<sup>1</sup>Ar, *A. rigidula*, <sup>2</sup>Pp, *Pithecellobium pallens*, <sup>3</sup>Ab, *Acacia berlandieri*, <sup>4</sup>Pe, *Pithecellobium ebano*.

Con el objeto de proporcionar al lector una mejor comprensión acerca de los flujos totales (kg/ha) de deposición (global acumulada) aportados vía precipitación incidente y precipitación efectiva de cada una de las especies estudiadas, en el Cuadro 8 se muestran estos resultados.

Cuadro 8 Deposición nutricional acumulada (kg/Ha) en precipitación incidente y efectiva de 52 eventos de lluvia registrados durante el periodo experimental.

Elemento	Clase de precipitación										Deposición neta			
	Incidente					Efectiva					Ar	Ab	Pe	Pp
	Testigo	Ar <sup>1</sup>	Ab <sup>2</sup>	Pe <sup>3</sup>	Pp <sup>4</sup>	Ar	Ab	Pe	Pp					
Ca	11.747	14.176	20.623	24.537	20.391	2.429	8.876	12.790	8.644					
K	2.836	7.096	6.807	7.578	5.727	4.260	3.971	4.742	2.891					
Mg	0.562	0.945	1.622	1.952	1.690	0.383	1.060	1.390	1.129					
Na	8.814	8.511	9.397	9.016	10.427	-0.303	0.583	0.202	1.613					
Cu	0.008	0.026	0.037	0.031	0.026	0.018	0.029	0.023	0.019					
Fe	0.075	0.110	0.101	0.109	0.091	0.035	0.026	0.034	0.016					
Mn	0.025	0.031	0.040	0.038	0.033	0.005	0.015	0.012	0.007					
Zn	0.044	0.040	0.036	0.037	0.039	-0.004	-0.008	-0.006	-0.005					

<sup>1</sup>Ar. *A. rigidula*, <sup>2</sup>Ab. *Acacia berlandieri*, <sup>3</sup>Pe. *Pithecellobium ebanum*, <sup>4</sup>Pp. *Pithecellobium pallens*.



#### 4.6 Alteración cuantitativa y química de la precipitación por evento de lluvia

En esta sección se incluyen los resultados de la alteración cuantitativa y química de la precipitación incidente y precipitación efectiva de las cuatro especies por evento de precipitación registrado durante el periodo experimental. No obstante, dada la gran cantidad de información procesada y generada, los resultados se presentarán y discutirán en función de todos aquellos eventos de precipitación registrados durante las estaciones de primavera, verano, otoño e invierno. El criterio de esta forma de discusión, además de facilitarle al lector mejor interpretación de los mismos, se basa en que los estados fenológicos de las especies estudiadas, distribución de los eventos de precipitación y variables ambientales tal como temperatura y dirección de los vientos, entre otros, fluctúan de estación a estación. Adicionalmente, por razones técnicas y estadísticas ya mencionadas (sección 4.5) no se incluyen los resultados de los eventos de precipitación número 1, 14, 16, 18, 38, 39, 42, 46 y 47.

En el Cuadro a4 se presentan las estadísticas básicas que describen la cantidad y composición química del agua de lluvia por evento de precipitación registrado.

##### 4.6.1 Precipitación

Con el propósito de detectar diferencias estadísticas entre la cantidad de precipitación incidente y precipitación efectiva de las cuatro especies estudiadas, en el Cuadro A5 se presenta el resumen de análisis de varianza por evento de precipitación. En dicho cuadro se puede apreciar que de los 43 eventos de lluvia analizados, únicamente 15 mostraron diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ). La prueba de comparación de medias entre la precipitación incidente y la precipitación efectiva se ilustra en el Cuadro 9.

**Cuadro 9** Comparación de medias entre la cantidad de precipitación incidente y precipitación efectiva (mm) por evento de lluvia.

Evento	Clase de precipitación									
	Incidente		Efectiva							
	Testigo		<i>A. rigidula</i>	<i>A. berlandieri</i>	<i>P. ébano</i>	<i>P. pallens</i>				
3	1.026	a <sup>1</sup>	0.712	b	0.939	ab	1.002	a	1.078	a
7	1.599	a	1.054	b	1.500	ab	1.201	ab	1.078	b
8	1.102	a	0.879	ab	0.883	ab	0.676	b	0.855	ab
10	6.927	a	5.479	ab	6.437	ab	5.240	b	6.035	ab
11	5.582	a	4.520	ab	5.268	a	3.612	b	4.221	ab
15	4.329	a	4.122	ab	4.448	a	3.119	b	4.146	ab
20	6.931	a	5.021	b	6.620	ab	5.570	ab	6.008	ab
30	1.981	a	0.931	b	1.631	a	0.947	b	2.037	a
37	4.281	ab	3.008	b	4.647	ab	3.692	ab	4.997	a
40	3.851	a	2.371	b	2.960	ab	2.562	b	3.023	ab
41	3.111	a	0.732	b	1.328	b	1.679	b	2.021	ab
43	2.912	a	1.400	c	1.941	bc	1.687	bc	2.419	ab
48	2.705	ab	1.798	ab	3.095	a	1.145	b	3.151	a
50	4.185	a	3.222	ab	3.374	ab	1.941	b	3.994	a
52	15.040	a	10.376	b	13.114	ab	11.586	ab	14.132	a

<sup>1</sup> En hileras, cantidad de precipitación seguida por la misma letra indica medias iguales de acuerdo al procedimiento de rango estudentizado de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ .

En el Cuadro 9 se puede apreciar que de los 10 eventos de precipitación registrados en primavera, únicamente 5 eventos (3, 7, 8, 10 y 11) resultaron significativos siendo evidente que los valores más altos fueron observados en la precipitación incidente (testigo). Las especies *A. berlandieri* y *P. pallens* después de el testigo, mostraron los mejores promedios de precipitación efectiva, a pesar de que fue la especie *A. berlandieri* la que mostró mayor cobertura foliar a lo largo del estudio y principalmente en esta estación.

En verano, solamente tres eventos de precipitación (15, 20 y 30) de los 18 analizados resultaron significativos. De la misma manera, el testigo presentó los valores máximos a pesar de que las especies durante la mitad de esta época permanecieron sin hojas, flores y frutos a excepción de *A. berlandieri*.

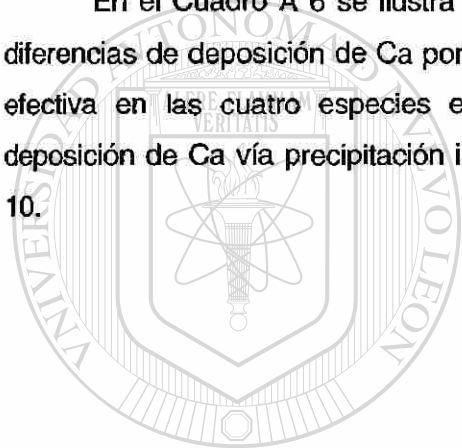
De los 6 eventos de lluvia analizados durante la estación de otoño, únicamente 2 eventos (37 y 40) resultaron significativos, donde el testigo y *P. pallens* se manifestaron muy similares en los promedios de precipitación. Durante esta estación de crecimiento, las especies mostraron una buena cobertura foliar, no obstante, no pareció influir en esta época de estudio la precipitación registrada bajo las copas el dosel vegetal.

Finalmente de los 9 eventos de lluvia presentados en invierno, solamente 5 de ellos (41, 43, 48, 50 y 52) mostraron significancia. De igual manera, el testigo presentó los valores máximos de precipitación.

Al parecer esta variable mostró significancia entre tratamientos cuando las especies desarrollaron cierta cobertura foliar, ya que cuando ellas carecían de hojas y cuando presentaron una amplia cobertura, los análisis de varianza no detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos.

#### 4.6.2 Concentración de Ca

En el Cuadro A 6 se ilustra el resumen de los análisis de varianza para describir las diferencias de deposición de Ca por evento de lluvia vía precipitación incidente y precipitación efectiva en las cuatro especies evaluadas. Los resultados de la prueba de medias de deposición de Ca vía precipitación incidente y precipitación efectiva se muestra en el Cuadro 10.



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



**Cuadro 10** Comparación de medias entre la deposición de Ca (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva por evento de lluvia.

Evento	Clase de precipitación									
	Incidente		Efectiva							
	Testigo		<i>A. rigidula</i>	<i>A. berlandieri</i>	<i>P. ébano</i>	<i>P. pallens</i>				
2	2.9801	c <sup>1</sup>	19.0734	bc	24.3812	ab	43.6014	a	10.2652	bc
4	2.3823	b	6.5292	ab	9.0088	ab	13.8944	a	5.1828	ab
6	6.8315	b	19.0980	a	17.5503	ab	17.6603	ab	12.9613	ab
7	12.7400	b	16.0480	ab	15.5758	ab	19.8733	a	20.2890	a
9	6.5645	ab	5.5643	ab	4.2082	b	8.3418	a	4.2180	b
10	6.0783	ab	9.7323	a	4.1785	b	7.5845	ab	4.1995	b
11	4.1870	b	5.9493	ab	4.4710	b	7.6745	a	4.8743	b
17	0.7575	b	1.0798	b	0.7873	b	2.5963	a	0.8180	b
19	3.1049	b	5.4857	ab	6.1701	ab	6.9674	a	5.2568	ab
20	1.5145	b	1.2672	b	1.7296	b	5.3746	a	1.8399	b
22	0.0287	b	3.4339	ab	3.5073	ab	4.1867	ab	4.7357	a
24	0.9675	ab	1.1654	ab	0.8574	b	1.3225	a	1.1881	ab
27	1.4386	c	2.4141	bc	3.4702	a	3.1473	a	3.6299	a
29	2.9217	b	6.7656	ab	4.3503	ab	7.6565	a	4.7904	ab
30	3.2765	c	11.1320	ab	5.8899	bc	15.7673	a	4.4224	bc
33	5.6385	b	6.4725	b	8.7675	ab	15.0473	a	9.8849	ab
34	1.0947	b	0.6260	b	2.5953	a	2.9456	a	2.7004	a
36	4.0747	b	4.4922	ab	10.1326	a	6.8255	ab	5.4431	ab
43	3.5742	b	24.0820	ab	26.6114	ab	47.6710	a	8.4878	b
44	0.5925	b	2.9347	ab	4.2188	ab	22.8365	a	6.5874	ab
45	1.7341	b	5.5966	ab	5.6320	ab	11.2600	a	4.7437	b
48	0.2087	b	3.6306	b	4.5990	b	11.8297	a	3.6305	b
49	4.2433	b	4.9825	ab	4.9590	ab	8.3995	a	4.7502	ab
51	1.5589	b	2.5993	ab	4.3372	a	4.8035	a	4.7032	a

<sup>1</sup> En hileras, concentración seguida por la misma letra indica medias iguales de acuerdo al procedimiento de rango estudentizado de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .

Como se puede apreciar, en el cuadro antes mostrado, de los 10 eventos analizados en primavera 7 de ellos (2, 4, 6, 7, 9, 10 y 11) mostraron diferencias significativas en las deposiciones de Ca. En general, *P. ébano* y *A. rigidula* incorporaron los niveles más altos de Ca en precipitación efectiva. Estos resultados fueron observados a pesar de que la especie *P. ébano* permaneció por casi 4 meses sin estructuras foliares. Es posible que la alteración química del agua de lluvia se deba a partículas de suelo depositadas en los tallos y ramas de los árboles.

Durante el verano, únicamente 8 eventos (17, 19, 20, 22, 24, 27, 29 y 30) de los 18 analizados mostraron diferencias significativas. De la misma manera, las especies *P. ébano* y

*A. rigidula* mostraron los valores más altos en la deposición de Ca vía precipitación efectiva. Desde el punto de vista fenológico, ambas especies permanecieron sin hojas, flores y frutos durante dicha estación. Paralelamente a los resultados encontrados, se observó que en el mes de Junio, las concentraciones más altas de Ca en el suelo fueron detectadas donde se encuentra establecida la especie *A. rigidula* (Cuadro 1).

Durante la estación de otoño de los 6 eventos de lluvia analizados, únicamente 3 de ellos (33, 34 y 36) mostraron significancia estadística, en los cuales las especies *P. ebano* y *A. berlandieri* presentaron los mejores promedios. Durante esta estación, las fluctuaciones de Ca en la precipitación incidente fueron muy pronunciadas y fue en esta época del año donde las especies mostraron la mayor cobertura foliar. Con respecto a los análisis foliares de Ca (Figura 10) las especies *P. pallens* y *P. ebano* mostraron las concentraciones más altas. Por otro lado en lo que se refiere a los análisis de suelo, (Cuadro 1) el sitio donde se encuentra establecida *P. ebano* presentó uno de los niveles más altos de este nutriente.

En invierno, de los 9 eventos de precipitación registrados y analizados 6 eventos (43, 44, 45, 48, 49 y 51) resultaron significativos, donde en todos los casos, la especie *P. ebano* mostró los niveles más altos de Ca en precipitación efectiva. En este sentido, los análisis foliares de Ca revelaron que *P. ebano* presentó las concentraciones más elevadas de Ca en el follaje, por lo que las altas concentraciones de Ca aportadas por *P. ebano* en precipitación efectiva, podría obedecer a los altos niveles de este nutriente en el tejido foliar y en el suelo. Estos resultados también se pueden relacionar a la movilidad de Ca en la planta (Mengel y Kirkby, 1982). La precipitación incidente presentó los niveles más bajos de Ca, indicando con ello la importancia de la alteración del Ca por las copas de los árboles.

#### 4.6.3 Concentración de K

En el Cuadro A 7 se aprecia que solamente de los 43 eventos de lluvia analizados, solamente 19 de ellos mostraron diferencias estadísticas. La comparación de medias de estos eventos que mostraron significancias se ilustran en el Cuadro 11.



**Cuadro 11** Comparación de medias entre la deposición de K (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva por evento de lluvia.

Evento	Clase de precipitación									
	Incidente		Efectiva							
	Testigo		<i>A. rigidula</i>	<i>A. berlandieri</i>	<i>P. ébano</i>	<i>P. pallens</i>				
3	1.2778	b <sup>1</sup>	20.4183	a	18.2450	a	10.9043	ab	8.9064	ab
5	0.9315	b	3.0255	a	2.8707	ab	1.4743	ab	1.7440	ab
23	0.4661	b	1.5114	a	1.3720	a	0.9819	ab	1.1795	ab
24	0.6592	bc	1.2874	ab	0.8063	bc	1.6623	a	0.4929	c
26	0.6065	c	0.6994	bc	1.1310	a	0.8817	abc	1.0409	ab
27	0.3922	c	2.5497	a	1.4135	b	1.3682	b	1.1461	bc
28	0.4272	b	4.5762	ab	1.9836	b	7.3322	a	1.1654	b
30	1.1973	b	79.0390	a	6.2213	b	43.9963	ab	3.2273	b
31	0.6919	b	5.7942	ab	1.6447	b	12.0428	a	0.7375	b
32	0.6704	b	3.6096	a	2.5308	ab	4.1224	a	3.8945	a
36	0.6419	b	1.9301	a	2.1903	a	1.7269	a	1.7889	a
37	0.2396	b	0.7879	ab	1.0135	ab	1.1989	a	0.6286	ab
40	1.2626	b	7.0313	ab	5.6178	ab	3.8474	ab	7.0870	a
41	1.3071	c	31.7148	a	29.1768	ab	7.9401	c	9.0268	bc
43	0.4601	b	11.9740	ab	20.0258	a	5.6303	ab	5.5023	ab
44	0.1645	b	3.6063	ab	3.8286	ab	4.3571	a	2.3332	ab
48	0.2992	b	3.9556	a	1.7164	ab	2.4783	ab	2.3605	ab
51	0.3046	b	0.6466	a	0.2344	b	0.9305	a	0.2615	b
52	0.2401	c	0.7857	b	0.3518	c	1.3016	a	0.3009	c

<sup>1</sup> En hileras, concentración seguida por la misma letra indica medias iguales de acuerdo al procedimiento de rango estudentizado de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ .

De 10 eventos de lluvia registrados en primavera solamente 2 (3 y 5) mostraron significancias. La especie *A. rigidula* aportó vía precipitación efectiva las concentraciones más altas de K. En cambio, las especies *P. ébano* y *P. pallens* mostraron estadísticamente las mismas concentraciones de K en el agua de lluvia que pasó a través del dosel. Los pocos eventos significativos observados en ésta estación podrían atribuirse, entre otros factores, ya que durante este periodo las especies permanecieron sin follaje, el cual influye directamente en la alteración de los nutrientes minerales.

Durante la estación de verano, los eventos de lluvia 23, 24, 26, 27, 28, 30, 31, y 32 (8 eventos de 18 analizados) resultaron significativos. Las especies *A. rigidula* y *P. ébano* mostraron los mejores promedios de deposición de K. Sin embargo, de estos eventos, *A. rigidula* aportó los mayores flujos de K. Así mismo, esta especie mostró los niveles más altos de K en los primeros 30 centímetros de profundidad de suelo (Cuadro 1). Estos resultados se

podrían asociar a la movilidad de K del suelo a la planta (Salisbury y Ross, 1994).

Posiblemente la lixiviación de K está relacionado a las partículas de suelo y polvo suspendidas de los tallos de las plantas.

En otoño, de los 6 eventos de lluvia analizados 3 de ellos (36, 37 y 40) mostraron significancias. En esta estación las especies del género *Acacia* mostraron estadísticamente los mismos promedios y la mayor deposición de K en precipitación efectiva. No obstante, las especies *P. ebanum* y *P. pallens* mostraron los mejores promedios en cantidad de eventos significativos pero con menores aportaciones de K vía precipitación efectiva. Los análisis de suelo mostraron que el sitio donde se encuentra la especie *P. ebanum* tuvo las concentraciones más altas de K, seguido de *A. berlandieri*. Así mismo, los análisis foliares de K en esta época, (Figura 11), demuestran que *P. ebanum* y *P. pallens* presentaron los niveles más altos de este nutriente, por lo tanto, la alteración de K en precipitación efectiva en un mayor número de eventos podría estar relacionado a las altas concentraciones de K en el suelo y en la planta.

Se observó que durante invierno la deposición de K fue alterado en gran cantidad de eventos analizados. De los 9 eventos analizados, 6 de ellos (41, 43, 44, 48, 51 y 52) resultaron con diferencias significativas en las deposiciones de K vía precipitación incidente y precipitación efectiva. Las especies *A. rigidula* y *A. berlandieri* fueron las que aportaron el mayor flujo de K en precipitación efectiva en estos eventos, a pesar de que las concentraciones de K en el tejido foliar no fueron muy altos. Al parecer, el amarillamiento de las hojas, debido a la escasa humedad disponible en el suelo, influye en la lixiviación de algunos nutrientes como se observó en las especies estudiadas, principalmente en *A. rigidula*. La precipitación incidente en todas las estaciones del año mostró las deposiciones más bajas de K.

Los resultados de la lixiviación de K de los tallos de los árboles durante épocas de dormancia (invierno) encontradas en el presente estudio concuerda con lo encontrado por Neary (1994) en bosques deciduos y de coníferas.

#### 4.6.4 Concentración de Mg

El Mg fue el nutriente que mostró ser alterado por las especies vegetales en mayor número de eventos de precipitación como lo ilustran los resultados de los análisis de varianza por evento de precipitación (Cuadro A 8). Los resultados de las comparaciones de medias se reportan en el Cuadro 12.

Cuadro 12 Comparación de medias entre la deposición de Mg (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva por evento de lluvia.

Evento	Clase de precipitación					
	Incidente	Efectiva				
	Testigo	<i>A. rigidula</i>	<i>A. berlandieri</i>	<i>P. ébano</i>	<i>P. pallens</i>	
3	0.5899	<i>b</i> <sup>†</sup>	4.8611 <i>ab</i>	6.5754 <i>a</i>	5.8819 <i>a</i>	3.8321 <i>ab</i>
6	0.3635	<i>b</i>	1.3533 <i>ab</i>	1.4063 <i>a</i>	1.1683 <i>ab</i>	0.8600 <i>ab</i>
7	0.6203	<i>b</i>	1.4005 <i>ab</i>	1.0475 <i>ab</i>	1.6000 <i>a</i>	1.3968 <i>ab</i>
9	0.1840	<i>b</i>	0.3213 <i>ab</i>	0.2343 <i>b</i>	0.5337 <i>a</i>	0.1198 <i>b</i>
11	0.0000	<i>b</i>	0.1153 <i>b</i>	0.2193 <i>ab</i>	0.3802 <i>a</i>	0.2148 <i>ab</i>
19	0.1401	<i>b</i>	0.4157 <i>ab</i>	0.3413 <i>b</i>	0.7189 <i>a</i>	0.3927 <i>ab</i>
20	0.0273	<i>b</i>	0.1784 <i>b</i>	0.2547 <i>b</i>	0.7574 <i>a</i>	0.1801 <i>b</i>
21	0.0954	<i>b</i>	0.1457 <i>b</i>	0.1411 <i>b</i>	0.3149 <i>a</i>	0.2516 <i>ab</i>
22	0.0611	<i>b</i>	0.1434 <i>ab</i>	0.1748 <i>ab</i>	0.2861 <i>a</i>	0.1287 <i>ab</i>
23	0.0575	<i>b</i>	0.0908 <i>ab</i>	0.1562 <i>ab</i>	0.4048 <i>a</i>	0.1083 <i>ab</i>
24	0.0121	<i>b</i>	0.0265 <i>ab</i>	0.0358 <i>ab</i>	0.0609 <i>a</i>	0.0276 <i>ab</i>
25	0.0000	<i>b</i>	0.0569 <i>b</i>	0.1512 <i>a</i>	0.1698 <i>a</i>	0.1838 <i>a</i>
27	0.1139	<i>c</i>	0.2905 <i>a</i>	0.2343 <i>ab</i>	0.2792 <i>a</i>	0.1777 <i>bc</i>
28	0.0877	<i>b</i>	0.3476 <i>ab</i>	0.3962 <i>ab</i>	0.7286 <i>a</i>	0.2472 <i>b</i>
30	0.1665	<i>c</i>	4.4360 <i>a</i>	0.9716 <i>bc</i>	3.9788 <i>ab</i>	0.3784 <i>c</i>
31	0.1172	<i>b</i>	0.5046 <i>ab</i>	0.2914 <i>b</i>	1.2469 <i>a</i>	0.2671 <i>b</i>
32	0.2568	<i>c</i>	0.5199 <i>bc</i>	0.5067 <i>bc</i>	0.9286 <i>a</i>	0.6789 <i>ab</i>
33	0.7840	<i>b</i>	1.3346 <i>ab</i>	1.2059 <i>ab</i>	2.5849 <i>a</i>	1.9294 <i>ab</i>
34	0.0614	<i>b</i>	0.0558 <i>b</i>	0.1237 <i>ab</i>	0.1817 <i>a</i>	0.0990 <i>ab</i>
36	0.2833	<i>c</i>	0.2931 <i>bc</i>	0.4651 <i>ab</i>	0.5124 <i>a</i>	0.3505 <i>abc</i>
37	0.0040	<i>b</i>	0.1013 <i>ab</i>	0.2227 <i>ab</i>	0.4502 <i>a</i>	0.3422 <i>ab</i>
41	0.4668	<i>b</i>	4.0317 <i>ab</i>	6.1275 <i>a</i>	2.8828 <i>ab</i>	2.5901 <i>ab</i>
43	0.2710	<i>b</i>	2.4639 <i>ab</i>	5.5943 <i>a</i>	3.7018 <i>ab</i>	2.3257 <i>ab</i>
45	0.2664	<i>b</i>	0.6153 <i>ab</i>	1.0502 <i>a</i>	0.8885 <i>ab</i>	0.9179 <i>ab</i>
48	0.3348	<i>b</i>	0.6322 <i>ab</i>	0.7403 <i>ab</i>	1.3808 <i>a</i>	0.7264 <i>ab</i>
51	0.0611	<i>b</i>	0.0342 <i>b</i>	0.1211 <i>b</i>	0.2588 <i>a</i>	0.1123 <i>b</i>
52	0.0996	<i>c</i>	0.1659 <i>b</i>	0.1186 <i>bc</i>	0.3119 <i>a</i>	0.1234 <i>bc</i>

<sup>†</sup> En hileras, concentración seguida por la misma letra indica medias iguales de acuerdo al procedimiento de rango estudentizado de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ .

De los 10 eventos de lluvia analizados en la estación de primavera, 5 eventos (3, 6, 7, 9 y 11) mostraron significancia estadística, donde la especie *P. ébano* presentó en la mayoría de los eventos de precipitación los mejores promedios en la concentración de Mg bajo el dosel vegetal, a pesar de que esta especie presentó durante ésta estación poca cobertura foliar. Sin embargo, la especie *A. berlandieri* permitió los mayores flujos de Mg en precipitación efectiva.

Durante la estación de verano, 12 eventos (19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 30, 31 y 32) de los 18 analizados mostraron significancia. En general, la especie *P. ébano* mostró las

mejores deposiciones de Mg vía precipitación efectiva, permitiendo de ésta manera los mayores flujos de este nutriente hacia el suelo. Después de *P. ebano*, la especie *A. rigidula* fue la especie que más alteró la concentración de Mg por el dosel vegetal, mostrando altas concentraciones en la lluvia que pasó a través de las copas de los árboles. No obstante, a pesar de que la especie *P. pallens* mostró los niveles más altos de Mg en el suelo (Cuadro 1) y en el tejido foliar (Figura 12), fue la especie que alteró en menor proporción la concentración de este nutriente en la precipitación efectiva. Es importante señalar que durante los primeros meses de esta estación, las especies *P. ebano* y *A. rigidula* no presentaron absolutamente nada de hojas, en cambio, fueron las especies que alteraron en mayor proporción la concentración de Mg. Esta alteración, como se mencionó anteriormente, pudo haber sido influenciada por las partículas de suelo suspendidas en los tallos de las especies.

En la estación de otoño, 4 eventos de lluvia (33, 34, 36 y 37) de los 6 analizados resultaron significativos. De la misma manera, la especie *P. ebano* mostró los mejores aportes de Mg en precipitación efectiva. Así mismo, fue la especie que después de *P. pallens* presentó los niveles más altos de Mg en suelo (Cuadro 1). Adicionalmente la especie *P. pallens* registró la concentración más altas de Mg en el tejido foliar (Figura 12). La fenología de las especies no varió significativamente durante esta estación.

Con respecto a la estación de invierno, de los 9 eventos de lluvia registrados, 6 de ellos (41, 43, 45, 48, 51 y 52) mostraron diferencias estadísticas entre las concentraciones de Mg depositada vía precipitación incidente y precipitación efectiva. En dicha estación, la especie *A. berlandieri* permitió los mejores flujos de Mg bajo las coronas de los árboles. Con respecto a los análisis foliares, esta misma especie mostró los niveles más altos de Mg. Paralelamente a este resultado, se observó también que dicha especie durante esta estación inició un amarillamiento y caída de hojas más temprana que las otras especies estudiadas. Tal vez éstas características fenológicas sean las responsables de los mayores aportes de Mg por *A. berlandieri*. El agua de lluvia de la precipitación incidente presentó las concentraciones más bajas de Mg.

El Mg, Ca y K principalmente fueron los nutrientes que mostraron ser mayormente alterados por las copas de los árboles. Esta observación concuerda con otros estudios químicos de precipitación y precipitación efectiva (a través del dosel vegetal). Esta alteración se puede explicar por la alta concentración de cationes y su movilidad en los tejidos de las plantas (Parker, 1983; Tukey, 1970).

Se ha reportado que la lixiviación de cationes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ ) y aniones  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{PO}_4^{3-}$  en el agua de lluvia que pasa a través del dosel vegetal de *Quercus prinus*, está relacionado a los procesos de reacción química entre los cationes y aniones los cuales podrían indicar la alta tasa de lixiviación de estos nutrientes de las copas de los árboles (Potter et al., 1991).

#### 4.6.5 Concentración de Na

El resumen de los análisis de varianza que describe las diferencias estadísticas de deposición de Na en la precipitación incidente y precipitación efectiva se ilustra en el (Cuadro A 9). Este nutriente fue medido hasta el evento número 5. Sin embargo, los resultados indicaron que fue uno de los nutrientes que presentaron menores diferencias estadísticas entre los tratamientos. Las pruebas de comparación de medias se presenta en el (Cuadro 13).

Cuadro 13 Comparación de medias entre la deposición de Na (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva por evento de lluvia.

Evento	Clase de precipitación				
	Incidente	Efectiva			
	Testigo	<i>A. rigidula</i>	<i>A. berlandieri</i>	<i>P. ébano</i>	<i>P. pallens</i>
6	2.0386 <sup>b</sup>	4.3470 <sup>a</sup>	3.4893 <sup>ab</sup>	3.0930 <sup>ab</sup>	3.3848 <sup>ab</sup>
10	1.5568 <sup>b</sup>	2.5250 <sup>a</sup>	1.6265 <sup>b</sup>	2.2303 <sup>ab</sup>	2.0248 <sup>ab</sup>
11	2.1368 <sup>b</sup>	3.0595 <sup>a</sup>	2.4010 <sup>ab</sup>	2.6567 <sup>ab</sup>	2.9505 <sup>ab</sup>
20	1.8139 <sup>b</sup>	2.8671 <sup>a</sup>	2.2207 <sup>ab</sup>	2.4595 <sup>ab</sup>	2.3191 <sup>ab</sup>
24	1.4886 <sup>b</sup>	2.0177 <sup>a</sup>	1.7926 <sup>ab</sup>	1.7810 <sup>ab</sup>	1.8766 <sup>a</sup>
30	3.0755 <sup>b</sup>	7.4288 <sup>a</sup>	3.4606 <sup>b</sup>	6.8838 <sup>a</sup>	3.0754 <sup>b</sup>
41	3.3119 <sup>c</sup>	11.2630 <sup>a</sup>	8.5414 <sup>ab</sup>	6.4781 <sup>abc</sup>	4.9458 <sup>bc</sup>
43	3.1951 <sup>c</sup>	6.8331 <sup>a</sup>	5.3289 <sup>ab</sup>	6.3134 <sup>a</sup>	4.2866 <sup>bc</sup>
44	1.6559 <sup>b</sup>	2.4862 <sup>a</sup>	2.3937 <sup>ab</sup>	2.8504 <sup>a</sup>	2.6596 <sup>a</sup>
45	0.7820 <sup>b</sup>	1.3642 <sup>a</sup>	1.4592 <sup>a</sup>	1.2584 <sup>ab</sup>	1.3931 <sup>a</sup>
48	1.6639 <sup>b</sup>	2.2149 <sup>ab</sup>	1.3111 <sup>b</sup>	3.2409 <sup>a</sup>	1.4400 <sup>b</sup>
51	0.6245 <sup>b</sup>	0.6224 <sup>b</sup>	0.9783 <sup>ab</sup>	1.2908 <sup>a</sup>	1.2895 <sup>a</sup>
52	1.2347 <sup>ab</sup>	1.3993 <sup>a</sup>	0.7931 <sup>bc</sup>	1.3615 <sup>a</sup>	0.6654 <sup>c</sup>

<sup>†</sup> En hileras, concentración seguida por la misma letra indica medias iguales de acuerdo al procedimiento de rango estudentizado de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .

En la estación de primavera, de los 7 eventos analizados, 3 de ellos (6, 10 y 11) mostraron diferencias significativas en los cuales la especie que mayor alteración de Na mostró vía precipitación efectiva fue *A. rigidula*. En cambio, las otras especies mostraron

comportamientos similares en el aporte de Na. La alta deposición de Na por la especie *A. rigidula* podría estar relacionada con la producción de flor y caída de la misma durante la estación primaveral. Así mismo, fue también la especie que mostró la mayor cantidad de follaje.

En la estación de verano, 3 eventos de lluvia (20, 24 y 30) revelaron diferencias estadísticamente significativas. Similarmente, en esta estación, la especie *A. rigidula* seguida por *P. ebanum* mostró las concentraciones más altas en precipitación efectiva. No obstante, durante esta estación, las especies presentaron la menor cantidad de follaje por largos periodos de tiempo y en otros periodos (15 de Junio al 15 de Agosto) permanecieron completamente sin hojas. El aporte de Na, por lo tanto, puede obedecer a la eficiencia de las especies de capturar partículas y aerosoles suspendidos en el aire. Por otro lado, la morfología de estas dos especies es muy similar, lo cual indica un comportamiento similar de las dos especies en alterar la concentración de Na por el dosel vegetal.

En la estación de otoño, ningún evento mostró diferencias significativas en la deposición de Na a pesar de que durante esta estación se presentaron las concentraciones más altas en la precipitación incidente.

En la estación de invierno, fue donde se presentaron la mayor cantidad de eventos con diferencias significativas en la deposición de Na. En esta estación, de los 9 eventos analizados, 7 de ellos (41, 43, 44, 45, 48, 51 y 52) mostraron diferencias. La especie *A. rigidula* mostró las concentraciones más altas de Na en precipitación efectiva y en algunos eventos, mostró diferencias altamente significativas. Después de *A. rigidula*, la especie *P. ebanum* aportó los mayores flujos de Na bajo las copas de los árboles. Como se mencionó anteriormente, la similitud morfológica de éstas especies parece estar relacionada con la deposición de Na vía precipitación efectiva. La precipitación incidente, en todas las estaciones del año mostró las concentraciones menores de Na.

La deposición neta (precipitación efectiva menos precipitación incidente) de los elementos Ca, K, Mg y Na fueron lixiviados más fácilmente vía precipitación efectiva cuando se realizó simulación de lluvia con pH ácido (3.5) que con pH básico (5.3). Así mismo, el ozono puede tener un efecto sobre la lixiviación de algunos elementos, ya que este, daña las paredes celulares de las plantas. Esto indica que el efecto severo de ozono y la acidez de la lluvia son otros de los factores que interfieren directamente en la lixiviación de los nutrientes del dosel vegetal (Schier, 1990; Fenn et al., 1994).



#### 4.6.6 Concentración de Fe

Los análisis de varianza por evento que describen las diferencias en la deposición de Fe en precipitación incidente y precipitación efectiva se presenta en el Cuadro A 10. Este nutriente fue también uno de los que más fue alterado significativamente por las especies estudiadas. El resumen de las pruebas de medias se ilustra en el Cuadro 14.

**Cuadro 14** Comparación de medias entre la deposición de Fe (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva por evento de lluvia.

Evento	Clase de precipitación				
	Incidente	Efectiva			
	Testigo	<i>A. rigidula</i>	<i>A. berlandieri</i>	<i>P. ébano</i>	<i>P. pallens</i>
3	0.0175 <sup>b</sup>	0.1062 <sup>a</sup>	0.0898 <sup>a</sup>	0.0943 <sup>a</sup>	0.0457 <sup>ab</sup>
5	0.0153 <sup>ab</sup>	0.0228 <sup>a</sup>	0.0199 <sup>ab</sup>	0.0207 <sup>ab</sup>	0.0055 <sup>b</sup>
7	0.0324 <sup>b</sup>	0.1335 <sup>a</sup>	0.0515 <sup>ab</sup>	0.0695 <sup>ab</sup>	0.0621 <sup>ab</sup>
9	0.0370 <sup>ab</sup>	0.1478 <sup>a</sup>	0.0415 <sup>ab</sup>	0.0397 <sup>ab</sup>	0.0201 <sup>b</sup>
13	0.0179 <sup>ab</sup>	0.0514 <sup>a</sup>	0.0135 <sup>b</sup>	0.0107 <sup>b</sup>	0.0070 <sup>b</sup>
19	0.0218 <sup>b</sup>	0.0585 <sup>ab</sup>	0.0762 <sup>a</sup>	0.0486 <sup>ab</sup>	0.0486 <sup>ab</sup>
20	0.0220 <sup>b</sup>	0.0685 <sup>a</sup>	0.0485 <sup>ab</sup>	0.0583 <sup>ab</sup>	0.0400 <sup>ab</sup>
21	0.0055 <sup>b</sup>	0.0398 <sup>a</sup>	0.0241 <sup>ab</sup>	0.0280 <sup>a</sup>	0.0272 <sup>a</sup>
22	0.0064 <sup>b</sup>	0.0391 <sup>a</sup>	0.0275 <sup>ab</sup>	0.0177 <sup>ab</sup>	0.0286 <sup>ab</sup>
23	0.0262 <sup>ab</sup>	0.0455 <sup>a</sup>	0.0357 <sup>a</sup>	0.0479 <sup>a</sup>	0.0112 <sup>b</sup>
25	0.0175 <sup>b</sup>	0.0332 <sup>a</sup>	0.0323 <sup>a</sup>	0.0222 <sup>ab</sup>	0.0360 <sup>a</sup>
28	0.0136 <sup>b</sup>	0.0388 <sup>a</sup>	0.0359 <sup>ab</sup>	0.0384 <sup>a</sup>	0.0292 <sup>ab</sup>
29	0.0000 <sup>b</sup>	0.0216 <sup>a</sup>	0.0174 <sup>ab</sup>	0.0119 <sup>ab</sup>	0.0157 <sup>ab</sup>
30	0.0111 <sup>c</sup>	0.0829 <sup>a</sup>	0.0333 <sup>bc</sup>	0.0510 <sup>b</sup>	0.0148 <sup>c</sup>
31	0.0096 <sup>c</sup>	0.0352 <sup>ab</sup>	0.0304 <sup>abc</sup>	0.0416 <sup>a</sup>	0.0150 <sup>bc</sup>
36	0.0901 <sup>b</sup>	0.1310 <sup>ab</sup>	0.2496 <sup>a</sup>	0.1035 <sup>b</sup>	0.1305 <sup>ab</sup>
41	0.0090 <sup>b</sup>	0.0195 <sup>ab</sup>	0.0386 <sup>a</sup>	0.0214 <sup>ab</sup>	0.0316 <sup>ab</sup>
43	0.0207 <sup>b</sup>	0.0405 <sup>a</sup>	0.0442 <sup>a</sup>	0.0395 <sup>a</sup>	0.0317 <sup>ab</sup>
45	0.0319 <sup>b</sup>	0.0576 <sup>a</sup>	0.0622 <sup>a</sup>	0.0473 <sup>ab</sup>	0.0603 <sup>a</sup>
48	0.0022 <sup>b</sup>	0.0274 <sup>a</sup>	0.0274 <sup>a</sup>	0.0067 <sup>b</sup>	0.0157 <sup>ab</sup>
52	0.0013 <sup>b</sup>	0.0282 <sup>a</sup>	0.0160 <sup>a</sup>	0.0160 <sup>a</sup>	0.0230 <sup>a</sup>

† En hileras, concentración seguida por la misma letra indica medias iguales de acuerdo al procedimiento de rango estudentizado de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .

Solamente 4 eventos (3, 5, 7 y 9) de los 10 analizados en la estación de primavera mostraron significancia en el aporte de Fe. La especie *A. rigidula* mostró las mejores deposiciones de este nutriente en la lluvia colectada bajo las copas de los árboles. La fenología de esta especie durante esta estación fue muy irregular, ya que la mayor parte del tiempo presentó indicios de producción de yemas vegetativas y reproductivas, las que posteriormente



cayeron debido a la escasez de humedad en el suelo. La deposición de Fe en la precipitación efectiva de *P. pallens* y precipitación incidente mostraron casi los mismos promedios. Estos resultados podrían deberse a que la especie *P. pallens* presentó escaso follaje y en ocasiones nada. Los análisis de suelo mostraron que el sitio donde se encuentra establecida la especie *A. rigidula* obtuvo los niveles de Fe más altos (Cuadro 1), pero fue también la especie que aportó las mejores concentraciones de este nutriente vía precipitación efectiva.

En la estación de verano, fue donde la mayor cantidad de eventos mostraron significancia en la deposición de Fe. De los 18 eventos de lluvia analizados, 11 de ellos (13, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 28, 29, 30 y 31) presentaron diferencias significativas. La especie *A. rigidula* en la mayoría de estos eventos mostró una mayor alteración de este nutriente con respecto a las demás especies. Como se mencionó anteriormente, los análisis de suelo mostraron que esta especie mantuvo los niveles más altos de Fe. Sin embargo, en la mayor parte de esta estación esta especie permaneció sin hojas. Las concentraciones foliares de Fe en esta y las demás especies fueron muy similares (Figura 13) por lo que el aporte de Fe en precipitación efectiva por *A. rigidula* podrá obedecer a otros factores no identificados.

Durante la estación de otoño, de los 6 eventos de lluvia analizados únicamente 2 de ellos (36 y 41) mostraron significancia, en los cuales la especie *A. berlandieri* presentó los mejores niveles de Fe aportados vía precipitación efectiva. Las especies *A. rigidula* y *P. pallens* mostraron un comportamiento muy similar en la alteración de la lluvia que pasó a través del dosel vegetal. En los análisis de suelo del mes de Octubre, el sitio donde se estableció la especie *A. berlandieri* mostró los niveles más altos de Fe (Cuadro 1). Tal vez podría haber una relación con el aporte de Fe en precipitación efectiva. Sin embargo, los análisis foliares parecen no demostrar diferencias en la concentración de Fe entre las especies. En esta estación, todas las especies llegaron a su máxima cobertura foliar, por lo que al parecer *A. rigidula* tiene una mayor capacidad de permitir los mejores flujos de Fe en la lluvia que pasa por el dosel vegetal.

Durante la estación de invierno, solamente 4 eventos de lluvia (43, 45, 48 y 52) de los 9 analizados fueron significativos, en los cuales, nuevamente la especie *A. rigidula* y *A. berlandieri* mostraron las mejores aportaciones de Fe vía precipitación efectiva. Los análisis foliares de Fe realizados en invierno no presentan diferencias sustanciales en las concentraciones en los tejidos de las especies. Por otro lado, es importante mencionar que las especies del género *Acacia* fueron las primeras que iniciaron su senescencia foliar. Este

proceso podría ser la causa que explica los altos contenidos de Fe aportados en precipitación efectiva. Durante todo el año los valores mínimos de la deposición de Fe fueron detectados en la precipitación incidente, incluso, en ocasiones no fue posible detectarlos en el espectrofotómetro, dado que se presentaron en concentraciones por debajo del límite de detección (0.06mg/L).

#### 4.6.7 Concentración de Mn

El resumen de los análisis de varianza por evento de precipitación que describen las diferencias estadísticas entre las aportaciones de Mn vía precipitación incidente y precipitación efectiva se ilustra en el Cuadro A 11. Las comparaciones de medias se presentan en el Cuadro 15.

Cuadro 15 Comparación de medias entre la deposición de Mn (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva por evento de lluvia.

Evento	Clase de precipitación				
	Incidente	Efectiva			
	Testigo	<i>A. rigidula</i>	<i>A. berlandieri</i>	<i>P. ébano</i>	<i>P. pallens</i>
2	0.0240 <i>b</i>	0.0984 <i>ab</i>	0.1103 <i>ab</i>	0.1784 <i>a</i>	0.0714 <i>ab</i>
3	0.0597 <i>b</i>	0.2012 <i>ab</i>	0.2088 <i>a</i>	0.1835 <i>ab</i>	0.1272 <i>ab</i>
10	0.0103 <i>ab</i>	0.0076 <i>b</i>	0.0083 <i>ab</i>	0.0191 <i>a</i>	0.0073 <i>b</i>
19	0.0072 <i>b</i>	0.0239 <i>ab</i>	0.0419 <i>a</i>	0.0242 <i>ab</i>	0.0305 <i>ab</i>
20	0.0147 <i>b</i>	0.0283 <i>ab</i>	0.0327 <i>ab</i>	0.0335 <i>a</i>	0.0237 <i>ab</i>
25	0.0011 <i>b</i>	0.0000 <i>b</i>	0.0011 <i>b</i>	0.0003 <i>b</i>	0.0039 <i>a</i>
26	0.0052 <i>ab</i>	0.0057 <i>ab</i>	0.0051 <i>ab</i>	0.0088 <i>a</i>	0.0007 <i>b</i>
27	0.0020 <i>b</i>	0.0060 <i>a</i>	0.0071 <i>a</i>	0.0054 <i>a</i>	0.0069 <i>a</i>
28	0.0048 <i>b</i>	0.0136 <i>a</i>	0.0072 <i>ab</i>	0.0031 <i>b</i>	0.0033 <i>b</i>
30	0.0005 <i>b</i>	0.0374 <i>a</i>	0.0044 <i>b</i>	0.0053 <i>b</i>	0.0054 <i>b</i>
31	0.0033 <i>b</i>	0.0073 <i>ab</i>	0.0062 <i>b</i>	0.0184 <i>a</i>	0.0041 <i>b</i>
32	0.0013 <i>b</i>	0.0028 <i>b</i>	0.0027 <i>b</i>	0.0041 <i>b</i>	0.0083 <i>a</i>
33	0.0102 <i>b</i>	0.0220 <i>ab</i>	0.0090 <i>b</i>	0.0036 <i>b</i>	0.0328 <i>a</i>
35	0.0064 <i>ab</i>	0.0074 <i>a</i>	0.0051 <i>ab</i>	0.0073 <i>a</i>	0.0025 <i>b</i>
37	0.0061 <i>a</i>	0.0060 <i>a</i>	0.0001 <i>b</i>	0.0004 <i>b</i>	0.0000 <i>b</i>
49	0.0000 <i>c</i>	0.0015 <i>bc</i>	0.0071 <i>a</i>	0.0059 <i>ab</i>	0.0060 <i>a</i>

† En hileras, concentración seguida por la misma letra indica medias iguales de acuerdo al procedimiento de rango estudentizado de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ .

De los eventos 9 eventos de lluvia analizados en primavera, solamente 3 de ellos (2, 3 y 10) mostraron diferencias en la deposición de Mn. La especie *P. ébano* seguida de *A. berlandieri*, mostró los mejores promedios en la concentración de Mn en la precipitación

efectiva, aportando los flujos mayores de este nutriente en estos eventos. Con respecto a los análisis químicos de suelo a partir del mes de Junio (Cuadro 1), se observa que el sitio donde se estableció la especie *P. ebano* no posee los niveles más altos de Mn, pero sí *A. berlandieri*. Así mismo, como se ha explicado, *P. ebano* fue una de las especies que mostraron pocas hojas durante esta estación, sin embargo, fue una de las especies que mayormente alteró la precipitación efectiva. En el evento 10, se aprecia que la especie *P. ebano* aportó este nutriente vía precipitación efectiva mientras que las demás especies, al parecer, lograron absorber pequeñas cantidades de Mn. Estos resultados podrían asociarse a síntomas de deficiencia de este nutriente en la planta.

En la estación de verano, de los 18 eventos analizados, 9 de ellos (19, 20, 25, 26, 27, 28, 30, 31 y 32) mostraron significancias en las deposiciones de Mn. Las especies *P. ebano* y *A. rigidula* mostraron los mejores promedios de Mn en precipitación efectiva durante esta época. Los análisis foliares no parecen demostrar diferencias en la concentración de Mn entre las especies (Figura 14). A pesar de que ambas especies fueron las que presentaron una menor cantidad de hojas (en ocasiones nada), fueron las que mayormente alteraron la concentración de Mn en el agua de lluvia que pasó a través de la copa de los árboles. La alteración de Mn en precipitación efectiva, podrá estar relacionada a la habilidad de las especies de capturar partículas que se encuentran suspendidas en la atmósfera.

En otoño, de los 6 eventos de lluvia analizados, 3 de ellos (33, 35 y 37) mostraron diferencias significativas en la deposición de Mn vía precipitación incidente y efectiva. La especie *A. rigidula* mostró las deposiciones más altas de este nutriente en precipitación efectiva. Con respecto a los análisis de suelo a partir del mes de Octubre, el sitio donde se estableció la especie *A. rigidula* presentó los niveles más bajos de Mn. Así mismo, los análisis foliares de la estación otoñal, demuestran que esta especie posee unos de los niveles más bajos de Mn en sus tejidos. Por lo tanto, el aporte de Mn en precipitación efectiva por esta especie parece no estar en relación con el estado nutricional de Mn en la planta y en el suelo.

Durante esta estación y la anterior, el Mn parece haber sido retenido o absorbido por las especies estudiadas ya que las concentraciones de Mn en precipitación efectiva resultaron mucho menores que la obtenida en la precipitación incidente. La especie *P. pallens* demostró la mayor eficiencia de absorber dicho nutriente por los tejidos vegetales.

De los 9 eventos de precipitación analizados en la estación de invierno, únicamente el evento 49 resultó significativo en la deposición de Mn. *A. berlandieri* fue la especie responsable

del mayor flujo de Mn vía precipitación efectiva. *P. pallens* después de *A. berlandieri*, fue la especie que obtuvo las concentraciones más altas de Mn en precipitación efectiva. *P. Pallens* fue también la especie que inició su senescencia foliar más temprana. Este proceso de fenología podría también ser indicio del aporte de Mn en la lluvia bajo las copas de los árboles.

#### 4.6.8 Concentración de Cu

Los análisis de varianza que diferencian la deposición de Cu en la precipitación incidente y precipitación efectiva por evento de lluvia, se ilustran en el Cuadro A 12. De la misma manera, los análisis de comparaciones de medias en la deposición de Mn entre ambas clases de precipitación, se presentan en el Cuadro 16.

Cuadro 16 Comparación de medias entre la deposición de Cu (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva por evento de lluvia.

Evento	Clase de precipitación				
	Incidente	Efectiva			
	Testigo	<i>A. rigidula</i>	<i>A. berlandieri</i>	<i>P. ébano</i>	<i>P. pallens</i>
2	0.0060 <i>b</i>	0.0603 <i>ab</i>	0.0712 <i>a</i>	0.0836 <i>a</i>	0.0441 <i>ab</i>
3	0.0210 <i>b</i>	0.1812 <i>ab</i>	0.2742 <i>a</i>	0.1695 <i>ab</i>	0.1531 <i>ab</i>
4	0.0070 <i>b</i>	0.0317 <i>ab</i>	0.0658 <i>a</i>	0.0389 <i>ab</i>	0.0272 <i>b</i>
6	0.0019 <i>b</i>	0.0169 <i>ab</i>	0.0263 <i>a</i>	0.0112 <i>ab</i>	0.0171 <i>ab</i>
8	0.0096 <i>b</i>	0.0511 <i>ab</i>	0.1161 <i>a</i>	0.1445 <i>a</i>	0.0525 <i>ab</i>
13	0.0000 <i>c</i>	0.0056 <i>bc</i>	0.0210 <i>a</i>	0.0149 <i>ab</i>	0.0082 <i>bc</i>
21	0.0008 <i>b</i>	0.0042 <i>ab</i>	0.0026 <i>ab</i>	0.0070 <i>ab</i>	0.0092 <i>a</i>
23	0.0000 <i>b</i>	0.0039 <i>ab</i>	0.0053 <i>ab</i>	0.0096 <i>ab</i>	0.0137 <i>a</i>
28	0.0000 <i>b</i>	0.0140 <i>ab</i>	0.0098 <i>ab</i>	0.0259 <i>a</i>	0.0028 <i>ab</i>
30	0.0003 <i>b</i>	0.0350 <i>a</i>	0.0090 <i>b</i>	0.0364 <i>a</i>	0.0049 <i>b</i>
31	0.0001 <i>b</i>	0.0078 <i>ab</i>	0.0037 <i>ab</i>	0.0139 <i>a</i>	0.0014 <i>b</i>
36	0.0062 <i>b</i>	0.0331 <i>ab</i>	0.0901 <i>a</i>	0.0267 <i>b</i>	0.0285 <i>b</i>
43	0.0014 <i>c</i>	0.0105 <i>ab</i>	0.0141 <i>a</i>	0.0103 <i>ab</i>	0.0070 <i>bc</i>
52	0.0000 <i>c</i>	0.0040 <i>abc</i>	0.0082 <i>a</i>	0.0065 <i>ab</i>	0.0036 <i>bc</i>

<sup>1</sup> En hileras, concentración seguida por la misma letra indica medias iguales de acuerdo al procedimiento de rango estudentizado de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ .

De 10 eventos de lluvia analizados en primavera, 5 de ellos (2, 3, 4, 6 y 8) resultaron significativos en la deposición de Cu. La especie *A. berlandieri* fue la que mostró la mayor alteración de Cu por el dosel vegetal, mostrando así, los mejores promedios de este nutriente durante toda esta estación. Posteriormente, la especie *P. ébano* contribuyó con los siguientes mejores valores observados, y la precipitación incidente presentó los niveles más bajos de la

deposición de Cu. Sin embargo, los análisis de suelo de Junio no muestran diferencias en los niveles de Zn entre los sitios donde se establecieron las especies (Cuadro 1)). Así mismo, *A. berlandieri* fue una de las especies que mostraron mayor cobertura foliar y producción de flores durante esta estación de crecimiento. Por lo tanto, los niveles más altos de Cu en precipitación efectiva podría estar relacionado a este patrón fenológico.

Durante el verano, de los 18 eventos de lluvia analizados, 6 de ellos (13, 21, 23, 28, 30 y 31) resultaron significativos, donde se observa que la especie *P. ebanum* mostró las medias más altas y la precipitación incidente registró las más bajas deposiciones de Cu. Los análisis foliares mostraron también que *P. ebanum* durante esta estación, fue una de las especies que mantuvieron los niveles más altos de Cu (Figura 15).

En la estación de otoño, solamente el evento 36 de los 6 eventos analizados resultó significativo. La especie *A. berlandieri* presentó los niveles más altos de la deposición de Cu en precipitación efectiva. A pesar de que en esta estación las especies llegaron a mostrar un mayor producción de hojas, flores y frutos, pocos eventos presentaron diferencias estadísticas en la deposición de Cu en precipitación incidente y precipitación efectiva. Así mismo, los análisis foliares y análisis de suelo de la especie *A. berlandieri* de otoño muestran que fue la especie que mostró los niveles más bajos de este nutriente (Figura 15 y Cuadro 1).

En invierno, de los 9 eventos analizados, solamente 2 de ellos (43 y 52) resultaron altamente significativos en la deposición de Cu. La especie *A. berlandieri* obtuvo los niveles más altos de este nutriente en la lluvia que pasó a través de las copas de los árboles. En esta especie se observaron los niveles foliares más bajos de este nutriente durante esta estación de crecimiento. La abscisión temprana de hojas y flores observadas en esta especie, puede estar relacionado a la alteración de Cu en la precipitación efectiva durante esta época del año.

#### 4.6.9 Concentración de Zn

Los resúmenes de los análisis de varianza, que determinan las diferencias en las deposiciones de Zn por evento de lluvia en la precipitación incidente y precipitación efectiva se ilustran en el (Cuadro A13). Aquellos eventos que mostraron diferencias significativas en la deposición de Zn en precipitación incidente y efectiva, son presentados en el Cuadro 17.



**Cuadro 17** Comparación de medias entre la deposición de Zn (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva por evento de lluvia.

Evento	Clase de precipitación				
	Incidente	Efectiva			
	Testigo	<i>A. rigidula</i>	<i>A. berlandieri</i>	<i>P. ébano</i>	<i>P. pallens</i>
5	0.0000 <i>b</i>	0.0291 <i>ab</i>	0.0404 <i>a</i>	0.0108 <i>ab</i>	0.0176 <i>ab</i>
11	0.0079 <i>ab</i>	0.0430 <i>a</i>	0.0090 <i>b</i>	0.0237 <i>ab</i>	0.0079 <i>b</i>
12	0.0028 <i>ab</i>	0.0105 <i>a</i>	0.0000 <i>b</i>	0.0032 <i>ab</i>	0.0000 <i>b</i>
15	0.0001 <i>b</i>	0.0022 <i>ab</i>	0.0043 <i>a</i>	0.0014 <i>ab</i>	0.0037 <i>ab</i>
20	0.0048 <i>b</i>	0.0154 <i>ab</i>	0.0174 <i>a</i>	0.0183 <i>a</i>	0.0122 <i>ab</i>
21	0.0000 <i>b</i>	0.0000 <i>b</i>	0.0022 <i>b</i>	0.0025 <i>b</i>	0.0085 <i>a</i>
25	0.0101 <i>c</i>	0.0134 <i>b</i>	0.0153 <i>ab</i>	0.0143 <i>ab</i>	0.0173 <i>a</i>
26	0.0183 <i>a</i>	0.0173 <i>ab</i>	0.0088 <i>bc</i>	0.0140 <i>ab</i>	0.0045 <i>c</i>
27	0.0068 <i>b</i>	0.0117 <i>a</i>	0.0111 <i>ab</i>	0.0104 <i>ab</i>	0.0127 <i>a</i>
28	0.0059 <i>b</i>	0.0099 <i>ab</i>	0.0081 <i>ab</i>	0.0144 <i>a</i>	0.0065 <i>ab</i>
30	0.0065 <i>c</i>	0.0759 <i>a</i>	0.0345 <i>abc</i>	0.0673 <i>ab</i>	0.0146 <i>bc</i>
31	0.0045 <i>b</i>	0.0106 <i>ab</i>	0.0064 <i>ab</i>	0.0159 <i>a</i>	0.0050 <i>b</i>
32	0.0068 <i>b</i>	0.0027 <i>b</i>	0.0022 <i>b</i>	0.0070 <i>b</i>	0.0382 <i>a</i>
45	0.0114 <i>ab</i>	0.0150 <i>ab</i>	0.0110 <i>b</i>	0.0171 <i>a</i>	0.0116 <i>ab</i>
49	0.0092 <i>b</i>	0.0273 <i>a</i>	0.0155 <i>ab</i>	0.0138 <i>ab</i>	0.0106 <i>b</i>
52	0.0085 <i>bc</i>	0.0092 <i>ab</i>	0.0124 <i>a</i>	0.0091 <i>ab</i>	0.0056 <i>c</i>

† En hileras, concentración seguida por la misma letra indica medias iguales de acuerdo al procedimiento de rango estudentizado de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ .

Los resultados presentados en el cuadro anterior indican lo siguiente: de los 10 eventos de lluvia analizados en primavera, únicamente 2 eventos (5 y 11) mostraron significancias. *A. rigidula* fue la especie que alteró en mayor proporción la concentración de Zn en precipitación efectiva. Este resultado fue a pesar de que en el sitio donde se estableció dicha especie, mostró los niveles de Zn más bajos (Cuadro 1). Por otro lado, en esta estación, esta especie presentó inicios de floración, la cual se interrumpió tal vez por la escasa precipitación (Figura 2 y 5). El aporte de este nutriente en precipitación efectiva, quizá tenga relación con la producción de flores durante primavera.

En verano, fue donde se mostraron la mayor cantidad de eventos significativos en la deposición de Zn. De los 18 eventos analizados, 11 de ellos (12, 15, 20, 21, 25, 26, 27, 28, 30, 31 y 32) mostraron diferencias en la deposición de Zn. No obstante, las significancias se mostraron muy heterogéneas entre tratamientos y entre eventos, por lo tanto, fue difícil explicar cual de las especies alteró mayormente la concentración de Zn bajo las copas durante esta estación de crecimiento.

Por otro lado, se observó también que en algunos eventos de lluvia (12 y 26), las especies *P. pallens* y *A. berlandieri* fueron capaces de retener el Zn en sus copas. Tal vez esto obedece a los bajos contenidos de este nutriente en el suelo o posiblemente a la forma no disponible de Zn en el mismo o a su baja movilidad en las hojas maduras (Megel y Kirkby, 19829. Sin embargo, la similitud morfológica de estas especies hace pensar también que este mecanismo de absorción parece estar relacionado a otros factores. La gran cantidad de eventos significativos podría también estar en relación a que durante esta estación fue cuando las especies iniciaron la producción de hojas. Los análisis foliares de Zn realizados durante verano (Figura 16) demostraron que la especie *A. rigidula* presentó las concentraciones más altas de este elemento, las demás especies presentaron pocas diferencias entre sí.

En la estación de otoño, ningún evento de lluvia presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Indicando con ello, que los aportes de Zn en precipitación incidente y efectiva, tienen estadísticamente los mismos promedios. Sin embargo, los niveles más altos de Zn en el suelo se observaron en el sitio donde se encuentra establecida la especie *P. pallens*, pero los análisis foliares demostraron que *A. rigidula* presentó los niveles de Zn más elevados. Esta característica podría indicar que el Zn es difícil de ser lixiviado del dosel vegetal por la acción de la lluvia.

En la estación de invierno, de los 9 eventos de precipitación analizados 3 de ellos (45, 49 y 52) presentaron diferencias significativas. De la misma manera, las especies mostraron los mejores promedios en algunos eventos de lluvia pero en otros no. No obstante, la especie *A. rigidula* mostró alterar notablemente la concentración de Zn bajo las copas. Así mismo, esta especie mostró los niveles de Zn más altos en sus hojas durante invierno. Por otro lado, la senescencia y el amarillamiento de las hojas, observadas en *A. berlandieri* y *P. pallens*, puede indicar que este proceso no tiene relación alguna con la lixiviación de Zn vía precipitación efectiva, pues incluso fueron las especies que retuvieron el Zn y aportaron las menores concentraciones de este nutriente bajo las copas de los árboles.

Estudios realizados por Lovett et al., (1996) encontraron que gran parte de la variación en los flujos de la mayoría de los aniones presentes en precipitación efectiva, fue explicada principalmente por los siguientes tres factores: cantidad de precipitación, período antecedente al evento y concentración de  $H^+$  o  $NH_4^+$  en la precipitación incidente, por lo que es importante considerar éstos factores en estudios de este tipo.



Switzer et al., (1988) explican que las diferencias en la concentración de elementos químicos en precipitación pluvial puede atribuirse a la variación en las tasas de deposición de partículas y aerosoles, o bien a las diferencias estacionales en el uso de combustibles fósiles y fuentes de masas de aire. Esto concuerda con nuestro estudio, ya que grandes diferencias en las concentraciones de los nutrientes analizados en precipitación pluvial y efectiva pudieron ser detectados dentro de eventos y en las diferentes estaciones.

Aunque la intensidad de los eventos de lluvia en este estudio no fue medida, se estimó la duración de algunos de los eventos presentados de manera empírica y visual. De esta forma, la concentración de algunos nutrientes tales como K, Ca, Mg, Na y la variable conductividad específica, fueron alterados significativamente en eventos de baja intensidad. Esto concuerda con los estudios realizados por Schreiber et al., (1990), donde encontraron que las concentraciones de nutrientes disueltos en el agua de lluvia colectada bajo un bosque de *Ecaliptus*, estuvieron relacionadas directamente con la intensidad de la lluvia y este efecto, puede ser atribuible en parte, a un mayor periodo de tiempo de contacto entre el agua de lluvia y la superficie vegetal.

#### 4.6.10 Comportamiento del pH

El pH fue la variable que mostró más significancia entre tratamientos, en lo que al número de eventos de lluvia se refiere. Fue también donde se observaron más eventos con diferencias altamente significativas. Estas diferencias fueron observadas principalmente en eventos de lluvia con periodos de un día entre eventos.

En el Cuadro A 14 se presentan los resultados del análisis de varianza para describir las diferencias en el comportamiento del pH entre la precipitación incidente y precipitación efectiva de las cuatro especies evaluadas. La prueba de comparación de medias se ilustra en el Cuadro 18.

**Cuadro 18** Comparación de medias de los valores de pH vía precipitación incidente y precipitación efectiva por evento de lluvia.

Evento	Clase de precipitación					
	Incidente		Efectiva			
	Testigo	<i>A. rigidula</i>	<i>A. berlandieri</i>	<i>P. ébano</i>	<i>P. pallens</i>	
3	5.920 <sup>a</sup>	5.362 <sup>b</sup>	5.287 <sup>b</sup>	6.102 <sup>a</sup>	5.387 <sup>b</sup>	
4	5.670 <sup>bc</sup>	5.627 <sup>c</sup>	6.117 <sup>ab</sup>	6.372 <sup>a</sup>	6.062 <sup>abc</sup>	
5	6.662 <sup>ab</sup>	6.612 <sup>b</sup>	6.860 <sup>a</sup>	6.785 <sup>ab</sup>	6.880 <sup>a</sup>	
6	6.407 <sup>ab</sup>	6.282 <sup>b</sup>	6.392 <sup>ab</sup>	6.312 <sup>ab</sup>	6.502 <sup>a</sup>	
8	5.675 <sup>b</sup>	6.020 <sup>ab</sup>	6.272 <sup>a</sup>	6.200 <sup>a</sup>	6.242 <sup>a</sup>	
9	6.085 <sup>b</sup>	6.670 <sup>a</sup>	6.765 <sup>a</sup>	6.695 <sup>a</sup>	6.882 <sup>a</sup>	
10	6.750 <sup>c</sup>	6.825 <sup>bc</sup>	7.155 <sup>a</sup>	6.960 <sup>b</sup>	7.150 <sup>a</sup>	
11	7.135 <sup>a</sup>	6.762 <sup>b</sup>	7.107 <sup>a</sup>	6.862 <sup>b</sup>	7.102 <sup>a</sup>	
12	7.045 <sup>d</sup>	7.272 <sup>c</sup>	7.550 <sup>ab</sup>	7.450 <sup>b</sup>	7.605 <sup>a</sup>	
19	6.202 <sup>b</sup>	6.417 <sup>ab</sup>	6.587 <sup>a</sup>	6.497 <sup>a</sup>	6.575 <sup>a</sup>	
21	6.450 <sup>b</sup>	6.772 <sup>a</sup>	6.752 <sup>a</sup>	6.675 <sup>ab</sup>	6.775 <sup>a</sup>	
22	6.265 <sup>b</sup>	6.490 <sup>ab</sup>	6.880 <sup>a</sup>	6.810 <sup>a</sup>	6.750 <sup>a</sup>	
25	7.080 <sup>a</sup>	6.267 <sup>b</sup>	6.437 <sup>b</sup>	6.435 <sup>b</sup>	6.265 <sup>b</sup>	
26	6.985 <sup>c</sup>	7.095 <sup>bc</sup>	7.430 <sup>ab</sup>	7.072 <sup>bc</sup>	7.755 <sup>a</sup>	
28	6.537 <sup>ab</sup>	6.337 <sup>b</sup>	6.870 <sup>ab</sup>	6.582 <sup>ab</sup>	7.022 <sup>a</sup>	
29	6.865 <sup>ab</sup>	6.647 <sup>b</sup>	7.042 <sup>a</sup>	7.100 <sup>a</sup>	7.027 <sup>a</sup>	
30	7.080 <sup>b</sup>	6.675 <sup>c</sup>	7.530 <sup>a</sup>	7.337 <sup>a</sup>	7.337 <sup>a</sup>	
31	6.522 <sup>ab</sup>	6.400 <sup>b</sup>	6.797 <sup>ab</sup>	6.563 <sup>ab</sup>	6.877 <sup>a</sup>	
32	6.627 <sup>a</sup>	6.422 <sup>ab</sup>	6.575 <sup>ab</sup>	6.647 <sup>a</sup>	5.465 <sup>b</sup>	
33	6.492 <sup>b</sup>	6.010 <sup>c</sup>	6.960 <sup>a</sup>	7.040 <sup>a</sup>	6.497 <sup>b</sup>	
34	6.380 <sup>b</sup>	6.325 <sup>b</sup>	6.440 <sup>b</sup>	6.690 <sup>a</sup>	6.410 <sup>b</sup>	
35	4.827 <sup>c</sup>	5.775 <sup>b</sup>	6.267 <sup>ab</sup>	6.765 <sup>a</sup>	5.937 <sup>b</sup>	
36	6.872 <sup>b</sup>	7.225 <sup>a</sup>	7.325 <sup>a</sup>	7.512 <sup>a</sup>	7.360 <sup>a</sup>	
37	6.207 <sup>b</sup>	6.182 <sup>b</sup>	6.900 <sup>a</sup>	6.907 <sup>a</sup>	6.632 <sup>a</sup>	
40	6.910 <sup>ab</sup>	6.145 <sup>b</sup>	7.385 <sup>a</sup>	7.185 <sup>ab</sup>	7.325 <sup>a</sup>	
41	6.585 <sup>c</sup>	6.725 <sup>bc</sup>	7.255 <sup>a</sup>	7.212 <sup>ab</sup>	7.150 <sup>ab</sup>	
43	6.072 <sup>b</sup>	6.410 <sup>b</sup>	6.852 <sup>a</sup>	6.872 <sup>a</sup>	6.782 <sup>a</sup>	
44	5.065 <sup>d</sup>	5.875 <sup>c</sup>	6.075 <sup>bc</sup>	7.027 <sup>a</sup>	6.552 <sup>ab</sup>	
45	6.600 <sup>b</sup>	6.670 <sup>b</sup>	6.752 <sup>ab</sup>	6.910 <sup>a</sup>	6.745 <sup>b</sup>	
48	6.362 <sup>b</sup>	6.330 <sup>b</sup>	6.577 <sup>ab</sup>	6.987 <sup>a</sup>	6.340 <sup>b</sup>	
51	5.932 <sup>b</sup>	6.300 <sup>ab</sup>	6.690 <sup>a</sup>	6.590 <sup>a</sup>	6.520 <sup>a</sup>	
52	6.365 <sup>b</sup>	6.432 <sup>ab</sup>	6.540 <sup>ab</sup>	6.657 <sup>a</sup>	6.522 <sup>ab</sup>	

<sup>1</sup> En hileras, valores seguidos por la misma letra indica medias iguales de acuerdo al procedimiento de rango estudentizado de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ .

En la estación de primavera, 8 eventos eventos de lluvia (3, 4, 5, 6, 8, 9, 10 y 11) resultaron significativos. Como se puede observar en la Cuadro 18, *P. pallens* y *A. berlandieri* fueron las especies que alteraron en mayor proporción el pH de la lluvia en precipitación

efectiva. En general, el pH registrado vía precipitación efectiva fue más básico que el pH observado en la precipitación incidente.

Durante el verano, de los 18 eventos analizados, 11 de ellos (12, 19, 21, 22, 25, 26, 28, 29, 30, 31 y 32) mostraron significancia. En la mayoría de ellos, nuevamente *P. pallens* y *A. berlandieri* fueron las especies con los niveles más altos de pH en precipitación efectiva. Es importante destacar que la especie con la mayor alteración del pH se mantuvo también durante esta estación con un mínimo de hojas. Por lo tanto, se puede suponer que esta alteración está influida por las partículas de polvo retenidas en los tallos de los árboles.

En la estación de otoño, los 6 eventos de lluvia analizados (33, 34, 35, 36, 37 y 40) presentaron diferencias significativas. *P. ebano* fue la especie que mostró los valores más altos de pH en la lluvia colectada bajo los árboles. No obstante, se registró un pH de 4.8 en la precipitación incidente en el evento 35.

En invierno, de los 9 eventos de lluvia analizados, los eventos (41, 43, 44, 45, 48, 51 y 52) resultaron significativos. La especie *P. ebano* presentó los valores más altos de pH en la precipitación efectiva. La precipitación incidente en general, presentó los valores más bajos de pH.

Las especies *P. pallens* y *P. ebano* mostraron una tendencia de neutralizar el pH del agua de lluvia que pasó a través de sus tallos, ramas, hojas, etc.. Estos resultados concuerdan con otros estudios en el cual el dosel de las especies tendió a neutralizar las precipitaciones ácidas (Kostelnik et al., 1989; Lawrence y Fernández, 1991; Montes y San José, 1992). Dichos autores consideran que la neutralización del pH de la precipitación, por el dosel de la vegetación está influenciada por las sales orgánicas y bicarbonatos principalmente. En el presente estudio la especie *A. rigidula* tendió a hacer el pH más ácido. Posiblemente estos procesos permitan que esta especie presentara una mayor lixiviación en la mayoría de los nutrientes analizados.

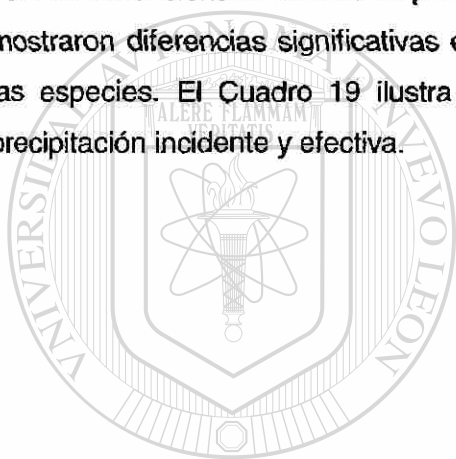
Por otro lado, Fahey et al., (1988), menciona que los valores de pH bajos que se mostraron al pasar por el dosel vegetal de *Engelmann spruce* resultan probablemente de la adición de ácidos orgánicos de la hojas de los mismos.

Durante épocas de baja precipitación, la deposición de partículas pareció enriquecer la concentración de iones hidrógeno en la precipitación pluvial, y cuando los periodos entre

eventos de lluvia fueron menores, la concentración de hidrógeno en la lluvia disminuyó (Kress et al., 1990). Estos resultados son similares a los encontrados en este estudio. Aunque no se presentan análisis al respecto, se observó este mismo comportamiento en los valores de pH registrados en las muestras de precipitación incidente.

#### 4.6.11 Conductividad específica

La conductividad específica fue otro de los parámetros químicos que fue alterado significativamente en su pasaje a través del dosel vegetal de las plantas estudiadas. El resumen de los análisis de varianza de por evento de precipitación se presenta en el Cuadro A 15. En el mencionado Cuadro se puede apreciar que 27 eventos de lluvia, de los 43 analizados mostraron diferencias significativas entre la precipitación incidente y precipitación efectiva de las especies. El Cuadro 19 ilustra los resultados de la comparación de medias entre la precipitación incidente y efectiva.



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Cuadro 19 Comparación de medias del comportamiento de la CE ( $\mu\text{mhos/cm}$ ) vía precipitación incidente y precipitación efectiva por evento de lluvia.

Evento	Clase de precipitación									
	Incidente		Efectiva							
	Testigo		<i>A. rigidula</i>	<i>A. berlandieri</i>	<i>P. ébano</i>	<i>P. pallens</i>				
2	51.25	<i>b</i> <sup>†</sup>	167.50	<i>ab</i>	216.00	<i>ab</i>	435.50	<i>a</i>	134.50	<i>b</i>
3	112.00	<i>b</i>	216.50	<i>ab</i>	384.50	<i>a</i>	317.50	<i>a</i>	258.50	<i>ab</i>
6	65.60	<i>b</i>	149.00	<i>a</i>	129.50	<i>ab</i>	123.00	<i>ab</i>	100.50	<i>ab</i>
7	92.50	<i>b</i>	124.50	<i>ab</i>	111.50	<i>ab</i>	145.00	<i>a</i>	132.50	<i>ab</i>
10	43.65	<i>ab</i>	69.60	<i>a</i>	35.10	<i>b</i>	59.85	<i>ab</i>	37.45	<i>b</i>
11	27.75	<i>c</i>	49.60	<i>ab</i>	33.65	<i>bc</i>	55.05	<i>a</i>	36.40	<i>abc</i>
17	4.65	<i>b</i>	16.50	<i>ab</i>	8.45	<i>b</i>	25.05	<i>a</i>	8.15	<i>b</i>
20	10.10	<i>b</i>	30.30	<i>ab</i>	25.40	<i>ab</i>	40.45	<i>a</i>	20.45	<i>ab</i>
22	15.50	<i>b</i>	27.40	<i>a</i>	26.05	<i>ab</i>	28.20	<i>a</i>	21.90	<i>ab</i>
23	14.55	<i>b</i>	20.45	<i>ab</i>	23.70	<i>ab</i>	29.55	<i>a</i>	19.15	<i>ab</i>
25	6.70	<i>b</i>	12.45	<i>ab</i>	11.20	<i>ab</i>	14.05	<i>a</i>	9.40	<i>ab</i>
26	11.35	<i>b</i>	14.20	<i>b</i>	31.10	<i>a</i>	18.60	<i>ab</i>	24.65	<i>ab</i>
27	13.05	<i>c</i>	29.60	<i>a</i>	22.40	<i>ab</i>	27.50	<i>a</i>	15.90	<i>bc</i>
28	13.15	<i>b</i>	31.40	<i>ab</i>	43.45	<i>ab</i>	60.30	<i>a</i>	35.20	<i>ab</i>
29	24.75	<i>b</i>	38.25	<i>ab</i>	41.40	<i>ab</i>	74.00	<i>a</i>	35.15	<i>ab</i>
30	21.80	<i>c</i>	314.50	<i>a</i>	118.00	<i>abc</i>	243.50	<i>ab</i>	42.50	<i>bc</i>
31	6.35	<i>b</i>	31.45	<i>b</i>	17.40	<i>b</i>	94.00	<i>a</i>	11.40	<i>b</i>
32	13.45	<i>b</i>	31.65	<i>a</i>	26.00	<i>ab</i>	39.10	<i>a</i>	29.00	<i>ab</i>
36	24.45	<i>b</i>	49.60	<i>ab</i>	78.50	<i>a</i>	67.15	<i>a</i>	53.40	<i>ab</i>
37	9.55	<i>b</i>	21.55	<i>ab</i>	29.25	<i>ab</i>	43.05	<i>a</i>	26.90	<i>ab</i>
41	87.05	<i>b</i>	2400.00	<i>a</i>	2275.00	<i>a</i>	2060.00	<i>a</i>	1670.00	<i>a</i>
43	37.70	<i>c</i>	160.00	<i>ab</i>	168.00	<i>ab</i>	196.50	<i>a</i>	86.15	<i>bc</i>
44	9.200	<i>b</i>	39.05	<i>ab</i>	42.10	<i>ab</i>	125.00	<i>a</i>	48.90	<i>ab</i>
45	22.200	<i>b</i>	62.50	<i>b</i>	394.10	<i>a</i>	77.00	<i>b</i>	48.20	<i>b</i>
48	12.15	<i>b</i>	41.55	<i>ab</i>	40.50	<i>ab</i>	70.50	<i>a</i>	39.15	<i>ab</i>
51	5.90	<i>b</i>	9.40	<i>b</i>	9.95	<i>b</i>	19.850	<i>a</i>	8.50	<i>b</i>
52	8.75	<i>b</i>	14.75	<i>b</i>	10.20	<i>b</i>	25.00	<i>a</i>	9.85	<i>b</i>

<sup>†</sup> En hileras, valores seguidos por la misma letra indica medias iguales de acuerdo al procedimiento de rango estudentizado de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ .

En la estación de primavera, de los 10 eventos de lluvia analizados, 6 de ellos (2, 3, 6, 7, 10 y 11) mostraron diferencias significativas en los valores de CE. De ésta manera, las especies *P. ébano* y *A. rigidula* mostraron los valores más altos de CE. Los valores más bajos fueron observados en la precipitación incidente (testigo).

En la época de verano, de los 18 eventos de lluvia analizados, 12 eventos (17, 20, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 y 32) mostraron significancias estadísticas. Similarmente a la

estación anterior, *P. ebano* resultó ser la especie que alteró la CE en mayor proporción. Las demás especies mostraron comportamientos similares entre si, y a la estación anterior.

Durante la estación de otoño, de 6 eventos de lluvia analizados, solamente 2 de ellos (36 y 37) mostraron diferencias significativas en los valores de CE. De ellos, la especie *P. ebano* mostró alterar en mayor proporción dicha variable en el agua de lluvia que pasó a través del dosel de la planta.

En la estación de invierno, de los 9 eventos de precipitación analizados, 7 de ellos (41, 43, 44, 45, 48, 51 y 52) presentaron significancia en los valores de CE. La mejor especie en alterar dicha variable en precipitación efectiva fue *P. ebano*. La precipitación incidente reportó los valores más bajos en todas las estaciones.

Podría decirse que la conductividad específica no fue alterada exclusivamente por el follaje de los árboles, sino también por los tallos, ramas y otras estructuras morfológicas de los árboles, ya que cuando las plantas no presentaron hojas, gran cantidad de los eventos mostraron significancia estadística entre los tratamientos (precipitación incidente y efectiva), y fue la misma especie (*P. ebano*) la que presentó los niveles más altos de la variable en cuestión.

#### 4.7 Flujos estacionales de nutrientes

Con el propósito de conocer y describir las relaciones existentes de la desposición de nutrientes minerales, vía precipitación incidente y precipitación efectiva en las estaciones de crecimiento, los resultados siguientes fueron observados.

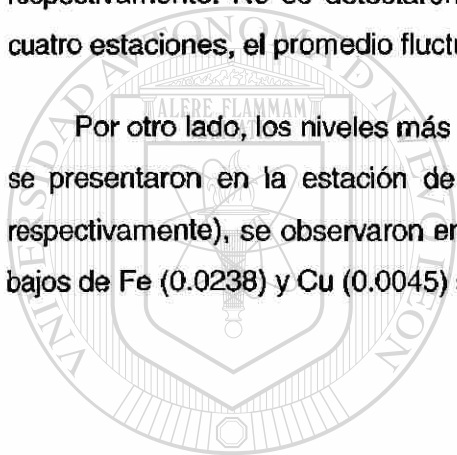
En el Cuadro A 16 se presentan los resultados del análisis de varianza para cada uno de los elementos minerales depositados vía precipitación incidente y efectiva de las cuatro especies estudiadas en las cuatro estaciones de crecimiento. Como se puede apreciar en dicho Cuadro, existen diferencias significativas en la deposición de nutrientes en los efectos principales (estación y tratamientos), a excepción de K en el efecto estación ( $P > 0.05$ ). De manera similar, se detectaron diferencias significativas para la interacción (estación x tratamiento) en la deposición de Ca, Mg, Fe, Mn y Cu.

Es necesario destacar y aclarar que para llevar a cabo los análisis de varianza y pruebas de comparación de medias entre estaciones, se agruparon todos aquellos eventos de lluvias

registrados en cada estación. De ésta manera, se agruparon los 43 eventos de lluvia, así como el número de repeticiones correspondiente a cada tratamiento en cada una de las estaciones. Como el número de eventos de precipitación fue diferente en cada estación, se obtuvo un número diferente de observaciones en cada estación.

Los resultados de las pruebas de comparación de medias entre estaciones para cada uno de los nutrientes analizados se ilustran en el Cuadro 20. En este Cuadro, se puede observar que las deposiciones medias (mg/L) más altas de Ca (12.83), Na (3.88), Mn (0.0466), Cu (0.0505) y Zn (0.0454) se presentaron en la estación de primavera, mientras que el Fe (0.0499) y el Mg (1.1811) fueron incorporados básicamente en la estación de otoño e invierno, respectivamente. No se detectaron diferencias sustanciales en la deposición de K entre las cuatro estaciones, el promedio fluctuó entre 2.509 y 3.988 mg/L.

Por otro lado, los niveles más bajos de Ca, Mg y Na (3.28, 0.36 y 2.70) respectivamente, se presentaron en la estación de verano, mientras que para Mn y Zn (0.0061 y 0.0059, respectivamente), se observaron en la estación de otoño. Las concentraciones promedio más bajas de Fe (0.0238) y Cu (0.0045) se detectaron en invierno.



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



**Cuadro 20** Comparación de medias de la deposición estacional de nutrientes minerales vía precipitación incidente y precipitación efectiva de cuatro especies leguminosas.

Estación	n	Media (mg/L)	DE	Prueba de comparación múltiple entre estaciones			
				P <sup>1</sup>	V <sup>2</sup>	O <sup>3</sup>	I <sup>4</sup>
<b>Ca</b>							
P	196	12.8367	12.7840		*	*	
V	360	3.2852	2.7588			*	*
O	120	7.1387	13.8168				*
I	180	11.5816	20.3344				
<b>K</b>							
P	199	2.8784	4.5114				
V	360	3.0180	10.6146				
O	120	2.5096	3.3677				
I	180	3.9882	7.6060				
<b>Mg</b>							
P	199	1.0834	1.6386		*	*	
V	360	0.3696	0.7173				*
O	120	0.6855	1.0961				*
I	180	1.1811	1.6911				
<b>Na</b>							
P	141	3.8864	2.2884		*		*
V	360	2.7008	1.3923			*	
O	120	3.3654	1.8574				*
I	180	2.7296	2.3538				
<b>Fe</b>							
P	200	0.0414	0.0457		*		*
V	360	0.0242	0.0210			*	
O	120	0.0499	0.0544				*
I	180	0.0238	0.0213				
<b>Mn</b>							
P	200	0.0466	0.0588		*	*	*
V	360	0.0071	0.0102				
O	120	0.0061	0.0079				
I	180	0.0070	0.0080				
<b>Cu</b>							
P	200	0.0505	0.0680		*	*	*
V	360	0.0058	0.0085			*	
O	120	0.0158	0.0215				*
I	180	0.0045	0.0055				
<b>Zn</b>							
P	200	0.0454	0.0720		*	*	*
V	360	0.0097	0.0151				
O	120	0.0059	0.0072				
I	180	0.0113	0.0134				

<sup>1</sup>P = Primavera; <sup>2</sup>V = Verano; <sup>3</sup>O = Otoño; <sup>4</sup>I = Invierno.

\* Indica medias diferentes de acuerdo al procedimiento de rango estudentizado de Tukey con un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ .

Los mayores flujos de Ca, Na, Mn, Zn y Cu en precipitación efectiva (precipitación que pasa a través de las copas de los árboles), durante primavera pueden obedecer a que durante esta estación las plantas reinician la mayoría de los procesos fenológicos necesarios para su

crecimiento y desarrollo, después de permanecer en estado vegetativo durante el periodo invernal. Por lo tanto, estas aportaciones o flujos de elementos en precipitación efectiva, pueden atribuirse a la absorción y movimiento de los nutrientes en el suelo y dentro de la planta, aunándose a esto, procesos de lixiviación y liberación de ácidos orgánicos de hojas, ramas y tallos, así como a material depositado en dichas estructuras (Attiwill, 1966; Parker, 1983; Fahey et al., 1988; Marschner, 1986).

Así mismo, la lixiviación de nutrientes durante primavera, podría estar relacionado a la gran variación de temperaturas que se presentó durante los días de esta estación (Figura 1). Mientras que la lixiviación de los nutrientes minerales que se registró en invierno puede estar relacionada a procesos de maduración y senescencia de las estructuras foliares, y con ello, la liberación de los mismos.

Henderson et al., (1977), encontraron que las concentraciones de Ca, K y Mg, no variaron significativamente entre la estación de crecimiento y la estación dormante. Sin embargo, entre tipos de bosques encontró diferencias más notables. En el presente estudio, como se mencionó anteriormente, se observaron diferencias en las cuatro estaciones del año, así como en las diferentes especies de los nutrientes estudiados. No obstante, estos resultados concuerdan con lo encontrado por éstos autores, ya que las mayores aportaciones de Ca, K y Mg fueron registradas durante la época de crecimiento principalmente.

#### 4.8 Flujos de nutrientes por especie

Con el objeto de identificar que especie vegetal incorporó (vía precipitación efectiva) la mayor cantidad de nutrientes minerales a lo largo del periodo de estudio, con respecto a la precipitación incidente, los siguientes resultados fueron observados.

Con respecto a la concentración de macronutrientes (Cuadro 21), *A. rigidula* fue la especie que mostró los promedios más altos de deposición de K y Na (5.52 y 3.48, mg/L, respectivamente), mientras que en la especie *P. ebano* se observaron las deposiciones mayores de Ca y Mg (13.47 y 1.11, mg/L, respectivamente) todos aportados vía precipitación efectiva. Las deposiciones promedio más bajas de Ca, K, Mg y Na (3.37, 0.81, 0.19 y 2.49 mg/L, respectivamente), fueron detectadas en la precipitación incidente.

**Cuadro 21** Comparación de medias de la deposición de macronutrientes vía precipitación incidente (testigo) y precipitación efectiva de cuatro especies leguminosas.

Tratamientos	n	Media (mg/L)	DE	Prueba de comparación múltiple entre tratamientos			
				Testigo	Ar <sup>1</sup>	Pe <sup>2</sup>	Ab <sup>3</sup>
<b>Ca</b>							
Testigo	169	3.3732	2.7158	*	*	*	
Ar	172	7.9746	11.3745		*		
Pe	172	13.4734	22.8665			*	*
Ab	172	7.6165	9.7390				
Pp	171	6.2622	6.8652				
<b>K</b>							
Testigo	171	0.8150	1.0097	*	*	*	
Ar	172	5.5209	14.5718			*	
Pe	172	3.6955	7.3684				
Ab	172	3.3814	6.3403				
Pp	172	2.1635	3.0700				
<b>Mg</b>							
Testigo	171	0.1958	0.1848	*	*	*	*
Ar	172	0.7716	1.2995				
Pe	172	1.1149	1.4191				*
Ab	172	0.9412	1.7101				
Pp	172	0.7188	1.2293				
<b>Na</b>							
Testigo	160	2.4904	1.4246	*	*		
Ar	160	3.4868	2.3939			*	
Pe	160	3.2333	2.0469				
Ab	160	2.8942	1.7684				
Pp	161	2.9732	1.7961				

\* Indica medias diferentes de acuerdo al procedimiento de rango estudentizado de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ .

<sup>1</sup>Ar; *A. rigidula*, <sup>2</sup>Pe; *Pithecellobium ebano*, <sup>3</sup>Ab; *Acacia berlandieri*, <sup>4</sup>Pp; *Pithecellobium pallens*.

En lo que respecta a la deposición de micronutrientes (Cuadro 22), se puede apreciar que la especie *A. rigidula* aportó vía precipitación efectiva, las concentraciones más altas de Cu, Mn, Fe y Zn (0.0199, 0.0202, 0.0448 y 0.0250 mg/L, respectivamente), mientras que los promedios más bajos de deposición de Cu, Mn, Fe y Zn (0.0047, 0.0080, 0.0172 y 0.0133 mg/L, respectivamente) fueron detectados en la precipitación incidente. No obstante, de acuerdo a los resultados de comparación de medias, no se encontraron diferencias estadísticas en las deposiciones de Cu entre las cuatro especies estudiadas durante el año de estudio.

**Cuadro 22** Comparación de medias de la deposición de micronutrientes (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva de las cuatro especies estudiadas.

Elemento	Testigo	<i>A. rigidula</i>	<i>A. berlandieri</i>	<i>P. ebano</i>	<i>P. pallens</i>
Cu	0.0047 <i>b</i>	0.0199 <i>a</i>	0.0237 <i>a</i>	0.0229 <i>a</i>	0.0156 <i>a</i>
Mn	0.0080 <i>b</i>	0.0202 <i>a</i>	0.0187 <i>a</i>	0.0194 <i>a</i>	0.0140 <i>ab</i>
Fe	0.0172 <i>d</i>	0.0448 <i>a</i>	0.0367 <i>ab</i>	0.0333 <i>bc</i>	0.0265 <i>cd</i>
Zn	0.0133 <i>b</i>	0.0250 <i>a</i>	0.0158 <i>ab</i>	0.0199 <i>ab</i>	0.0149 <i>ab</i>

<sup>1</sup> En hileras, concentración seguida por la misma letra indica medias iguales de acuerdo al procedimiento de rango estudentizado de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .

Las más altas aportaciones de macro y micronutrientes por las especies *A. rigidula* y *P. ebano* podría estar relacionado, por una parte, a la alta concentración de nutrientes en los tejidos foliares, o dado que presentan cierta similitud en su fenología, son las especies que presentan la mayor superficie disponible de contacto con las gotas de lluvia. Además, las altas aportaciones podrá estar relacionado a una mayor eficiencia de estas especies de capturar y retener partículas de suelo, las cuales se disuelven en el agua de lluvia y consecuentemente son incorporados vía precipitación efectiva.

Dado que se detectaron diferencias significativas para la interacción (estación x tratamiento) en la deposición de Ca, Mg, Fe, Mn y Cu (Cuadro A 16), se procedió a realizar un análisis de varianza para tal interacción (Anexo A17). En este Cuadro se puede apreciar que existen diferencias estadísticas ( $P < 0.01$ ) en el aporte de los nutrientes arriba mencionados. En base a estos resultados, la prueba de comparación de medias para cada nutriente incorporado de los veinte grupos generados (4 estaciones x 5 tratamientos) se ilustra del Cuadro 23 al 27.

El comportamiento de la deposición de Ca en las cuatro estaciones y en los cinco tratamientos se presenta en el Cuadro 23. En dicho cuadro se observa que el aporte promedio más alto y más bajo (23.90 y 2.18 mg/L, respectivamente) de Ca corresponde a la precipitación efectiva de la especie *P. ebano* en la estación de invierno y a la precipitación incidente (testigo) en la estación de verano, respectivamente.

Con respecto a la deposición de Mg se puede observar que las incorporaciones promedio más altas y más bajas (1.813 y 0.124 mg/L, respectivamente) fueron detectadas en la precipitación efectiva de *A. berlandieri* en la estación de invierno y a la precipitación incidente de la estación de verano, respectivamente (Cuadro 24).

En el Cuadro 25 se presenta la comparación de medias de la deposición de Fe. En este Cuadro se ilustra que la deposición promedio, mayor y menor (0.0718 y 0.0116 mg/L, respectivamente) corresponden al precipitación efectiva de *A. rigidula* de la estación de primavera y en la precipitación incidente (testigo) de la estación de verano, respectivamente.

Similarmente, en el Cuadro 26 se presentan las deposiciones de Mn. De acuerdo a las comparaciones de medias de dicho Cuadro, los valores promedio más altos y más bajos de la incorporación de Mn (0.0610 y 0.0035 mg/L, respectivamente) corresponden a la precipitación efectiva de *P. ebano* en la estación de primavera y a la precipitación incidente (testigo) de la estación de verano, respectivamente.

Finalmente, la comparación de medias del comportamiento de la deposición de Cu en las cuatro estaciones y en los cinco tratamientos, se ilustra en el Cuadro 27. En dicho Cuadro se observa que el aporte promedio más alto y más bajo (0.0690 y 0.0002, mg/L respectivamente) corresponden a la precipitación efectiva de *A. berlandieri* en la estación de primavera y a la precipitación incidente (testigo) en la estación de invierno, respectivamente.

En general, al observar el comportamiento de la deposición de nutrientes minerales vía precipitación incidente y precipitación efectiva, se puede concluir que en la estación de verano se depositan las menores concentraciones de Ca, Mg, Fe, Mn y Cu, vía precipitación incidente, mientras que la deposición promedio más alta para estos mismo elementos se registró en la precipitación efectiva de las especies *A. rigidula*, *A. berlandieri* y *P. ebano* en las estaciones de primavera e invierno.

**Cuadro 23** Comparación de medias de la deposición de Ca (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva en cuatro especies leguminosas y en cuatro estaciones.

Media	Interacción (tratamiento x estación)																					
	W1	C1	E1	G1	T1	W2	C2	E2	G2	T2	W3	C3	E3	G3	T3	W4	C4	E4	G4	T4		
W1	5.8373																					
C1	13.7620	*																				
E1	19.3820																					
G1	14.4042																					
T1	10.2074																					
W2	2.1862	*	*	*	*																	
C2	3.5472	*	*	*	*																	
E2	4.6470	*	*	*	*																	
G2	3.0324	*	*	*	*																	
T2	3.0133	*	*	*	*																	
W3	3.1336																					
C3	4.6611																					
E3	14.4532					*			*													
G3	6.7048																					
T3	6.7412													*								
W4	3.3744	*			*																	
C4	12.6083								*	*												
E4	23.9090	*	*		*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
G4	9.8506																					
T4	8.1667																					

W = Testigo; C = *A. rigidula*; E = *P. ebrano*; G = *A. berlandieri*; T = *P. patiens*.

1 = Primavera; 2 = Verano; 3 = Otoño; 4 = Invierno.

\* Indica medias diferentes de acuerdo al procedimiento de rango estudentizado de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ .

Nota: Las letras C, E, G, T y C se tomaron de los nombres comunes de las especies C= Chaparro prieto, E= Ebano, T= Tenaza y G= Guajillo, mientras que la letra W fue dada por conveniencia propia.

Cuadro 24 Comparación de medias de la deposición de Mg (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva en cuatro especies leguminosas y en cuatro estaciones.

Media	Interacción (tratamiento x estación)																					
	W1	C1	E1	G1	T1	W2	C2	E2	G2	T2	W3	C3	E3	G3	T3	W4	C4	E4	G4	T4		
W1	0.2479																					
C1	1.1334																					
E1	1.0506	*																				
G1	1.5551	*																				
T1	0.9544																					
W2	0.1249		*																			
C2	0.5134		*																			
E2	0.6909																					
G2	0.2809		*																			
T2	0.2381		*																			
W3	0.2339				*																	
C3	0.5159				*																	
E3	1.0511																					
G3	0.5909																					
T3	1.0358																					
W4	0.2562				*																	
C4	1.0568				*																	
E4	1.5717	*			*				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
G4	1.8135	*			*				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
T4	1.2075				*				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

W = Testigo; C = A. rigidula; E = P. ebara; G = A. barfancieri; T = P. pallens.

1 = Primavera; 2 = Verano; 3 = Otoño; 4 = Invierno.

\* Indica medias diferentes de acuerdo al procedimiento de rango estudentizado de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ .

Nota: Las letras C, E, G, T, y C se tomaron de los nombres comunes de las especies C= Chaparro prieto, E= Ebaro, T= Tenaza y G= Guajillo, mientras que la letra W fue dada por conveniencia propia.





**Cuadro 26** Comparación de medias de la deposición de Mn (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva en cuatro especies leguminosas y en cuatro estaciones.

Media	Interacción (tratamiento x estación)																				
	W1	C1	E1	G1	T1	W2	C2	E2	G2	T2	W3	C3	E3	G3	T3	W4	C4	E4	G4	T4	
W1	0.0217																				
C1	0.0596	*																			
E1	0.0610	*																			
G1	0.0547	*																			
T1	0.0361	*	*																		
W2	0.0035	*	*	*	*																
C2	0.0092	*	*	*	*																
E2	0.0080	*	*	*	*																
G2	0.0085	*	*	*	*																
T2	0.0068	*	*	*	*																
W3	0.0048	*	*	*	*																
C3	0.0083	*	*	*	*																
E3	0.0040	*	*	*	*																
G3	0.0043	*	*	*	*																
T3	0.0092	*	*	*	*																
W4	0.0042	*	*	*	*																
C4	0.0064	*	*	*	*																
E4	0.0064	*	*	*	*																
G4	0.0092	*	*	*	*																
T4	0.0091	*	*	*	*																

W = Testigo; C = A. rigidula; E = P. abano; G = A. berlandieri; T = P. pallens.

1 = Primavera; 2 = Verano; 3 = Otoño; 4 = Invierno.

\* Indica medias diferentes de acuerdo al procedimiento de rango estudentizado de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .

Nota: Las letras C, E, G, T y C se tomaron de los nombres comunes de las especies C= Chaparro prieto, E= Ebano, T= Tenaza y G= Guajillo, mientras que la letra W fue dada por conveniencia propia.

**Cuadro 27** Comparación de medias de la deposición de Cu (mg/L) vía precipitación incidente y precipitación efectiva en cuatro especies leguminosas en cuatro estaciones.

Media	Interacción (tratamiento x estación)																					
	W1	C1	E1	G1	T1	W2	C2	E2	G2	T2	W3	C3	E3	G3	T3	W4	C4	E4	G4	T4		
W1	0.0157																					
C1	0.0569	*																				
E1	0.0667	*																				
G1	0.0690	*																				
T1	0.0444	*																				
W2	0.0007		*	*	*																	
C2	0.0084		*	*	*																	
E2	0.0100		*	*	*																	
G2	0.0058		*	*	*																	
T2	0.0046		*	*	*																	
W3	0.0059		*	*	*																	
C3	0.0156		*	*	*																	
E3	0.0144		*	*	*																	
G3	0.0257		*	*	*																	
T3	0.0177		*	*	*																	
W4	0.0002		*	*	*																	
C4	0.0047		*	*	*																	
E4	0.0057		*	*	*																	
G4	0.0078		*	*	*																	
T4	0.0043		*	*	*																	

W = Testigo; C = A. rigidula; E = P. ebanus; G = A. berlandieri; T = P. pallens.

1 = Primavera; 2 = Verano; 3 = Otoño; 4 = Invierno.

\* Indica medias diferentes de acuerdo al procedimiento de rango estudentizado de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ .

Nota: Las letras C, E, G, T y C se tomaron de los nombres comunes de las especies C= Chaparro prieto, E= Ebano, T= Tenaza y G= Guajillo, mientras que la letra W fue dada por conveniencia propia.

## 5. CONCLUSIONES

En base a los objetivos propuestos en el capítulo introductorio, los cuales satisfactoriamente fueron cumplidos, y en relación a los resultados obtenidos de la presente investigación, se derivan las siguientes conclusiones.

1. Los resultados obtenidos mostraron que existe una alta correlación positiva entre la precipitación incidente y la precipitación efectiva de *A. rigidula*, *A. berlandieri*, *P. ebano* y *P. pallens*, donde los coeficientes de determinación se mantuvieron en el orden del 99% para las cuatro especies estudiadas. Dichos resultados indican que es posible estimar con alto grado de confiabilidad la cantidad de precipitación efectiva de cada especie mediante la precipitación incidente.
2. Con respecto a los procesos de interceptación, se pudo determinar que las especies *A. rigidula* y *P. ebano* fueron las que interceptaron mayor cantidad de precipitación pluvial por el dosel vegetal, con 18 y 13%, respectivamente. Mientras que *A. berlandieri* y *P. pallens* interceptaron únicamente el 7.6 y 5.9%, respectivamente, de la precipitación total registrada durante el periodo experimental.
3. Los resultados arrojados del presente estudio mostraron que efectivamente existen diferencias en la deposición de nutrientes minerales dentro de eventos de precipitación, entre estaciones, entre las especies y la interacción estación-especie. Similarmente, aunque no se realizaron pruebas estadísticas, los resultados parecen indicar que existen diferencias entre eventos de precipitación y dentro de especies para cada una de las variables estudiadas.
4. La deposiciones de Mg, Ca, Na, K y Mn vía precipitación pluvial parecen estar relacionadas al tiempo transcurrido entre los eventos de precipitación, así como también, al pH de la precipitación incidente y a la cantidad de precipitación. Esto podrá ser indicio de que las fuentes principales de estos nutrientes son las partículas y aerosoles que se encuentran suspendidas en la atmósfera y a las tormentas de polvo y/o partículas de suelo.
5. Las deposiciones de nutrientes minerales vía precipitación efectiva incluyen los factores anteriormente mencionados además, de las lixiviaciones propias de las hojas y/o estructuras vegetales de cada especie, así como al lavado de partículas sólidas adheridas a las estructuras de la planta.

6. En la estación de Primavera se observó el mayor aporte de Ca, Na, Mn, Cu y Zn, mientras que en la estación de Otoño e Invierno se presentaron las mayores deposiciones de Fe y Mg. En cambio, durante la estación de Verano ocurrieron las menores aportaciones de dichos elementos.

7. Durante la estación de Verano, a diferencia de las demás estaciones, se detectaron el mayor número de eventos significativos en la deposición de nutrientes minerales vía precipitación incidente y efectiva.

8. La concentración de todos los elementos analizados fue enriquecida significativamente vía precipitación efectiva por las cuatro especies estudiadas, siendo superiores que las determinadas en la precipitación incidente.

9. Las especies estudiadas tienen la capacidad de alterar el agua de lluvia vía precipitación efectiva en ausencia de estructuras foliares. En este contexto, *P. ebano* y *A. rigidula* permitieron los mayores flujos de Ca, Fe, K y Mg.

10. Las especies *P. pallens* y *P. ebano* mostraron una tendencia de neutralizar el pH de la lluvia que paso a través de sus tallos, ramas, hojas etc., mientras que *A. rigidula* tendió a hacer el pH más ácido.

11. Las deposiciones de nutrientes minerales con altas diferencias significativas, vía precipitación incidente y efectiva, fueron detectadas en aquellos eventos de lluvia de bajas precipitaciones (menores de 5 mm) y de menor intensidad.

## 6. LITERATURA CITADA

**Andersson T** (1991) Influence of stemflow and throughfall from common oak (*Quercus robur*) on soil chemistry and vegetation patterns. *Can J For Res* 21: 917-924

**Arthur MA, Fahey TF** (1993) Throughfall chemistry in an Engelmann spruce - subalpine fir forest in north central Colorado. *Can J For Res* 23: 738-742

**Asbury CE, McDowell WH, Pizarro TR, Berrios RS** (1994) Solute deposition from cloud water to the canopy of a Puerto Rican montane forest. *Atmospheric Environmental* 28: 1773-1780

**Atiwill PW** (1966) The chemical composition of rainwater in relation to cycling of nutrients in mature *Eucalyptus* forest. *Plant and Soil* 24:390-406

**Atteia O, Dambrine E** (1993) Trace elements dynamics in throughfall of two spruce forests with low pollution levels in Switzerland. *Annales des Sciences Forestieres* 50 (5): 445-459

**Ayllon TT, Gutiérrez RJ** (1983) *Introducción a la observación meteorológica*. Limusa S. A., México, D. F., 150 pp

**Branson FA, Gifford GF, Renard KG, Hadley RF** (1972) *Rangeland hydrology*. A publication of the society for range management. Kendall Hunt Publishing Company, USA, 340 pp

**Brown AD, Lund LJ** (1994) Factors controlling throughfall characteristics at a high elevation Sierra Nevada site, California. *J Environmental Quality* 23: 844-850

**Brown AHF, Lles MA** (1991) Water chemistry profiles under four tree species at Gisburn, NW England. *Forestry Oxford* 64: 169-187

**Buffoni A, Tita M** (1993) Chemical analysis of field precipitation and throughfall in a beech forest in the western Prealps. *Italia Forestale e Montana* 48: 25-40

**Carleton TJ, Kavanagh T** (1990) Influence of stand age and spatial location on throughfall chemistry beneath black spruce. *Can J For Res* 20: 1917-1925

**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

**Dambrine E, Kinkor V, Jehlicka J, Gelhaye D (1993)** Fluxes of dissolved mineral elements through a forest ecosystem submitted to extremely high atmospheric pollution inputs. *Annales des Science Forestieres* 50: 147-157

**Devlin RM (1982)** Fisiología vegetal. 4a. ed., Omega, S.A., España, pp 270-275

**Domingo F, Puigdefabregas J, Moro MJ, Bellot J (1994)** Role of vegetation cover in the biogeochemical balances of a small afforested catchment in southeastern Spain. *J Hydrol Amsterdam* 159: 275-289

**Draaijers GPJ, Ek Rvan, Meijers R, Van EkR (1991)** Research on the impact of forest stand structure on atmospheric deposition. Throughfall and stemflow experiments. *Environmental Pollution* 75: 243-249

**Estrada AE, Marroquin JS (1990)** Leguminosas en el centro-sur de Nuevo León. Reporte científico número 10. Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Linares, N.L., México, 258 p

**Fahey TJ, Yavitt JB, Joyce G (1988)** Precipitation and throughfall chemistry in *Pinus contorta* spp. *latifolia* ecosystems, southeastern Wyoming. *Can J For Res* 18: 337-345

**Fenn ME, Poth MA, Bytnerowicz A, Riechers GH (1994)** Throughfall chemistry of ponderosa pine exposed to wet and dry acidic deposition, drought, ozone, and nitric acid. *Can J For Res* 25: 88-100

**Foroughbakhch RP, Heiseke D (1990)** Manejo silvícola del matorral: raleo, enriquecimiento y regeneración controlada. Reporte científico Número 19. Facultad de Ciencias Forestales UANL, Linares, N. L., México, 28 p

**Foroughbakhch RP, Peñaloza RW (1988)** Introducción de 10 especies forestales en el matorral del Noreste de México. Reporte científico Número. 8. Facultad de Ciencias Forestales UANL, Linares, N. L., México, 33 p



- Fritsche U** (1992) Studies on leaching from spruce twigs and beech leaves. Throughfall and stemflow experiments. *Environmental Pollution* 75: 251-257
- Garcia BI, Garcia CA, Escudero BA, Gomez GJM** (1989) Relation between volume of water and concentration of bioelements in the precipitation and throughfall of *Quercus rotundifolia* and *Quercus pyrenaica* in dehesa ecosystems. *Studia Oecologica* 6: 265-291
- Gauquelin T, Fromard F, Badri W, Dagnac J** (1992) Contribution of nutrient elements to the soil from litter, rainfall and throughfall in a *Juniperus thurifera* wood in the western High Atlas, Morocco. *Annales des Sciences Forestieres* 49: 599-614
- Gesper PL, Holowaychuk N** (1970) Effects of stemflow water on a Miami soil under a beech tree. I. Morphological and physical properties. *Soli Sci Soc Amer Proc* 34: 779-786
- Glatzel G** (1990) The nitrogen status of Austrian forest ecosystems as influenced by atmospheric deposition, biomass harvesting and lateral organomass exchange. *Plant and Soil* 128: 67-74
- Hambuckers A, Remacle J** (1993) Relative importance of factors controlling the leaching and uptake of inorganic ions in the canopy of a spruce forest. *Biogeochemistry* 23: 99-117
- Helvey JD, Patric JH** (1965) Canopy and litter interception of rainfall by hardwoods in the eastern United States. *Water Resources Research* 1: 193-206
- Henderson GS, Harris WF, Todd DE, Grizzard T** (1977) Quantity and chemistry of throughfall as influenced by forest-type and season. *J Ecol* 65: 365-374
- Hultberg H, Grennfelt P** (1992) Sulphur and seasalt deposition as reflected by throughfall and runoff chemistry in forested catchments. *Environmental Pollution* 75: 215-222
- James AY, Raymond AE, Debra AE** (1984) Stemflow on Juniper (*Juniperus occidentalis*) tree. *Weed Science* 32: 320-327
- Johon MT** (1983) Interception of rainfall by tarbush. *J Range Management* 36: 525-526
- Khanna PK, Ulrich B** (1981) Changes in the chemistry of throughfall under stands of beech and spruce following the addition of fertilizers. *Acta Oecologia Plantarum* 2: 155-164

- Kostelnik KM, Lynch JA, Grimm JW, Corbett ES (1989)** Sample size requirements for estimation of throughfall chemistry beneath a mixed hardwood forest. *J Environment Quality* 18: 274-280
- Kress MW, Baker R, Ursic SJ (1990)** Chemistry response of two forested watersheds to acid atmospheric deposition. *Water-Resources Bulletin* 26: 747-756
- Lawrence GB, Fernandez IJ (1991)** Biogeochemical interactions between acidic deposition and a low-elevation spruce-fir stand in Howland, Maine. *Can J For Res* 21: 867-875
- Lawson ER (1967)** Throughfall and stemflow in a Pine-Stand in the Ouachita Mountain of Arkansas. *Water Resources Research* (3): 731-735
- Leininger TD, Winner WE (1988)** Throughfall chemistry beneath *Quercus rubra*: atmospheric, foliar, and soil chemistry considerations. *Can J For Res* 18: 478-482
- Leonard RE (1961)** Net precipitation in northern hardwood forest. *J Geophys Res* 66: 2417-2421
- Lindberg SE, Owens JG (1993)** Throughfall studies of deposition to forest edges and gaps in montane ecosystems. *Biochemistry* 23: 738-742
- Linsley RK, Kohler MA, Paulhus JLH (1988)** *Hidrología para ingenieros*. 2a. ed. McGraw-Hill Interamericana, México, D.F., 386 pp
- Lopez H, García M, Niño M (1994)** Input and output of nutrients in diked flooded savanna. *J Appl Ecol* 31: 303-312
- Loustau D, Berbigier P, Granier A, El Hadj Moussa F (1992)** Interception loss, throughfall and stemflow in a maritime pine stand. I. Variability of throughfall and stemflow beneath the pine canopy. *J Hydrol Amsterdam* 138: 449-467
- Lovett GM, Nolan SS, Driscoll CT, Fahey TJ (1996)** Factors regulating throughfall flux in a New Hampshire forested landscape. *Can J For Res* 26: 2134-2144
- Manokaran N (1979)** Stemflow, throughfall and rainfall interception in a lowland tropical rain forest in peninsular Malaysia. *The Malaysian Forester* 42 (3): 174-200

**Marschner H (1986)** Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, San Diego, Ca., 649 pp

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

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

**Montes R, San Jose JJ (1992)** Changes in bulk precipitation reactivity throughout the vegetation/soil continuum in a trachypogon savanna (Venezuela). Communications in Soil Science and Plant Analysis 23: 1753-1766

**Návar J (1986)** Aspectos hidrológicos importantes del terreno universitario de Linares, N. L. Trabajo de Investigación, Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Linares, N.L., México

**Návar J (1993)** The causes of stemflow variation in three semi-arid growing species of northeastern Mexico. J Hydrol 145: 175-190

**Návar J, Bryan RB (1994)** Fitting the analytical model of rainfall interception of Gash to individual shrubs of semi-arid vegetation in northeastern México. Agricultural and Forest Meteorology 68: 133-143

**Neal C, Ryland GP, Conway T, Jeffery HA, Neal M, Robson AJ, Smith CJ, Walls J, Bhardwaj CL (1994)** Interception of chemicals at a forest edge for a rural low-lying site at Black Wood, Hampshire, Southern England. Science of the Total Environment 142: 127-141

**Neary AJ, Gizyn WI (1994)** Throughfall and stemflow chemistry under deciduous and coniferous forest canopies in south-central Ontario. Can J For Res 24: 1089-1100

**Negi JDS, Sharma SC, Taneja PL (1993)** Interception and chemical composition of precipitation in *Pinus caribaea* stand. Indian Forester 119: 25-32

**Newman EI (1995)** Phosphorus inputs to the ecosystems. J Ecol 83: 713-726

- Novo A, Buffoni A, Tita M** (1992) Rain and throughfall chemistry in a Norway spruce forest in the Western Prealps. Throughfall and stemflow experiments. *Environmental Pollution* 75: 199-208
- O'Connor TG, Roux PW** (1995) Vegetation changes (1949-71) in a semi-arid, grassy dwarf shrubland in the Karoo, South Africa: Influence of rainfall variability and grazing by sheep. *J Appl Ecol* 32: 612-626
- Okeke AY, Omaliko CPE** (1991) Nutrient acceleration to the soil via litterfall and throughfall in *Acacia barberi* stands at Ozala, Nigeria. *Agroforestry Systems* 16: 223-229
- Padilla H, Baez A, Belmont R** (1996) La química de la nubes, su importancia. Depto. de Ciencias Ambientales, UNAM, Mexico, D. F., *Ciencia y Desarrollo XXII* (126): 46-51
- Parker GG** (1983) Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle. *Adv Ecol Res* 13: 57-133
- Pigott CD, Pigott** (1993) Water as a determinant of the distribution of trees at the boundary of the Mediterranean zone. *J Ecol* 81: 557-566
- Potter CS** (1991) Nutrient leaching from *Acer rubrum* leaves by experimental acid rainfall. *Can J For Res* 21: 222-229
- 
- Potter CS, Ragslade HL, Swank WT** (1991) Atmospheric deposition and foliar leaching in a regenerating southern Appalachian forest canopy. *J Ecol* 79: 97-115
- Pressland AJ** (1973) Rainfall partitioning by an arid woodland (*Acacia aneufra* F. Muell.) in south-western Queensland. *Aust J Bot* 21: 235-245
- Puckett LJ** (1991) Spatial variability and collector requirements for sampling throughfall volume and chemistry under a mixed-hardwood canopy. *Can J For Res* 21: 1581-1588
- Raison RJ, Khanna PK, Woods PV** (1985) Transfer of elements to the atmosphere during low-intensity prescribed fires in three Australian subalpine eucalypt forest. *Can J For Res* 15: 657-664

- Reynolds ERC, Leyton L** (1963) Measurement and significance of throughfall in forest stands. In the water relations of plants. Rutter AJ, Whitehead FH, (eds) John Wiley, (eds) and Sons Inc., New York, pp 127-141
- Richter G** (1971) Fisiología del metabolismo de las plantas. Continental, S.A., México, D.F., pp 96-97
- Robson AJ, Neal C, Ryland GP, Harrow M** (1994) Spatial variation in throughfall chemistry at the small plot scale. *J Hydrol Amsterdam* 158: 107-122
- Rothacher J** (1963) Net precipitation under a douglas fir forest. *Forest Science* 4: 423-429
- Rustad LE, Kahl JS, Norton SA, Fernandez IJ** (1994) Underestimation of dry deposition by throughfall in mixed hardwood forests. *J Hydrol Amsterdam* 162: 319-336
- Salisbury FB, Ross CW** (1994) Fisiología vegetal Iberoamérica, S. A. de C. V. México, D. F., pp 127-147
- Santa Regina L, Gallardo JF, San Miguel C, Moyano A** (1989) Interception, throughfall and stemflow in a *Pinus sylvestris* plantation in the Candelario basin (west-central Spain). *Bosque* 10: 19-27
- Schier GA** (1990) Response of yellow-poplar (*Liriodendron tulipifera* L.) seedlings to simulated acid rain and ozone. 2. Effect on throughfall chemistry and nutrients in the leaves. *Environmental and Experimental Botany* 30: 325-331
- Schier GA** (1987) Throughfall chemistry in a red maple provenance plantation sprayed with "acid rain". *Can J For Res* 17: 660-665
- Schreiber JD, Duffy PD, McDowell LL** (1990) Nutrient leaching of a loblolly pine forest floor by simulated rainfall. I. Intensity effects. *Forest Science* 36: 765-776
- Sigmon JT, Gilliam FS, Partin ME** (1989) Precipitation and throughfall chemistry for a montane hardwood forest ecosystem: potential contributions from cloud water. *Can J For Res* 19: 1240-1247
- Slatyer RO** (1965) Measurements of precipitation interception by an arid zone plant community (*Acacia aneura* F. Muell). *Arid Zone Res* 25: 181-92

**Sood VP, Sing Z, Bahtia M** (1993) Throughfall, stemflow and canopy interception in three hardwood species around Shimla, Himalach Pradesh. *Indian J of Forestry* 16: 39-44

**SPP** (1981) Carta de climas. Esc. 1:1, 000, 000, Hoja Monterrey, Tipos de climas según Köppen, modificado por García, Secretaría de Programación y Presupuesto, México

**SPP-INEGI** (1986) Síntesis geográfica del estado de Nuevo León, México, 170 pp

**Srivastava AK, Ambasht RS** (1994) Nitrogen deposition in *Casuarina equisetifolia* (Forst) plantation stands in the dry tropics of Sonbhadra, India. *For Ecol and Management* 70: 341-348

**Steel RGD, Torrie JC** (1980) Principles and procedures of statistics. 2nd ed., McGraw-Hill Book Co. New York, 633 pp

**Switzer GL, Nelson LE, Shelton MG** (1988) Influence of the canopy of loblolly pine plantations on the deposition and chemistry of precipitation. *Technical Bulletin Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station*. No. 154. 30 pp

**Tebutt, THY** (1994) Fundamentos de control de calidad del agua. Limusa S.A. de C.V., Noriega editores, 2ª., reimpresión,. México, D. F., 239 p

**Teklehaimanot Z, Jarvis PG** (1991) Modeling of rainfall interception loss in agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 14: 68-80

**Toporek M** (1984) Bioquímica. 3a. ed., Interamericana, México, D.F., 523 pp

**Tukey HB** (1970) The leaching of substances from plants. *Ann Rev Plant Physiol* 21: 305-329

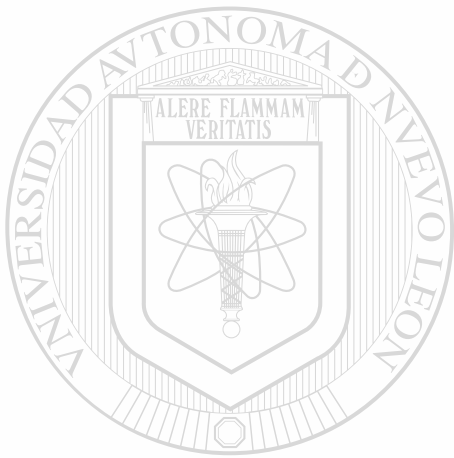
**Turk J, Turk A** (1984) Environmental science. 3rd. ed., Saunders College Publishing, New York, 544 pp

**Veneklaas EJ** (1990) Nutrient fluxes in bulk precipitation and throughfall in two montane tropical rain forests. *Colombia J Ecol* 78: 974-992

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

**Waring RH, Schlesinger WH (1985)** Forest ecosystems, concept and management. Academic Press, Inc., Orlando, Florida, 340 pp

**Watters RJ, Price AG (1988)** The influence of stemflow from standing dead trees on the fluxes of some ions in a mixed deciduous forest. Can J For Res 18: 1490-1493



# UANL

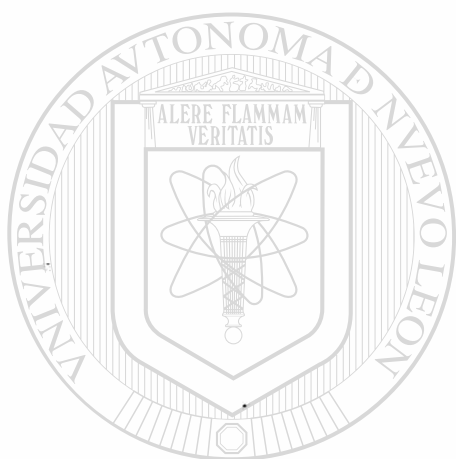
---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





**APENDICE**

UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Cuadro A 1 Fechas de los eventos de precipitación.

Evento	Fecha	Precipitación (mm)	Días entre eventos de precipitación
	14-feb-96	0.55 <sup>1</sup>	
1	26-mar-96	0.46	39
2	31-mar-96	2.48	4
3	04-abr-96	1.03	3
4	05-abr-96	2.75	0
5	22-abr-96	2.91	16
6	08-may-96	2.55	15
7	01-jun-96	1.60	23
8	02-jun-96	1.10	0
9	11-jun-96	5.00	8
10	14-jun-96	6.93	2
11	17-jun-96	5.58	2
12	23-jun-96	1.42	5
13	25-jun-96	5.75	1
14	27-jun-96	0.74	1
15	28-jun-96	4.33	0
16	29-jun-96	0.51	0
17	30-jun-96	8.51	0
18	01-jul-96	0.79	0
19	07-jul-96	7.94	5
20	09-ago-96	6.93	32
21	12-ago-96	3.18	2
22	20-ago-96	18.40	7
23	21-ago-96	4.66	0
24	22-ago-96	71.50	0
25	23-ago-96	28.00	0
26	25-ago-96	52.69	1
27	31-ago-96	20.58	5
28	01-sep-96	3.10	0
29	02-sep-96	1.53	0
30	04-sep-96	1.98	1
31	05-sep-96	12.77	0
32	20-sep-96	15.92	14
33	27-sep-96	1.87	6
34	02-oct-96	50.61	4
35	03-oct-96	41.22	0
36	04-oct-96	0.84	0
37	05-oct-96	4.28	0
38	18-oct-96	0.66	12
39	24-oct-96	1.30	5
40	28-nov-96	3.85	34
41	07-ene-97	3.11	39
42	14-ene-97	0.65	6
43	18-ene-97	2.91	3
44	19-ene-97	7.67	0
45	01-feb-97	7.43	12
46	05-feb-97	1.02	3
47	10-feb-97	1.73	4
48	11-feb-97	2.71	0
49	14-feb-97	1.97	2
50	05-mar-97	4.19	18
51	10-mar-97	66.21	4
52	11-mar-97	15.04	0

<sup>1</sup>La precipitación registrada antes del 26 de Marzo de 1996, se presentó el 14 de Febrero de 1996, la cual fue de 0.55 mm.

**Cuadro A 2** Estadísticas básicas que describen el comportamiento de deposición media anual de 43 eventos de lluvia.

Elemento	Media <sup>1</sup>	DE <sup>1</sup>	Rango <sup>1</sup>	Mínimo <sup>1</sup>	Máximo <sup>1</sup>	N <sup>1</sup>
Ca	9458.58	2710.85	8573.85	5736.78	14310.63	20
Mg	1125.64	516.84	1608.43	431.87	2040.30	20
K	3224.78	1110.64	3662.35	1191.54	4853.89	20
Na	9331.74	1267.79	5162.47	7475.28	12637.75	20
Cu	8.81	5.05	16.63	1.59	18.22	20
Fe	37.94	8.77	28.11	25.10	53.21	20
Mn	13.06	2.96	10.78	8.60	19.38	20
Zn	13.09	2.56	9.24	8.97	18.21	20

<sup>1</sup>Expresados en mmoles/Ha.**Cuadro A 3** Resumen del análisis de varianza que describe la deposición media anual de nutrientes vía precipitación incidente (testigo) y precipitación efectiva de las cuatro especies.

Elemento	Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Estadístico F	Valor P	CV (%)	r <sup>2</sup> (%)
Ca	Dentro de grupos	4	28253447.590	15.9256	0.0000	4.45	80.94
	Entre grupos	15	1774084.570				
	Total	19					
Mg	dentro de grupos	4	924780.151	10.0796	0.0004	26.90	72.88
	Entre grupos	15	91747.813				
	total	19					
K	dentro de grupos	4	4293320.154	10.2815	0.0003	20.03	73.27
	Entre grupos	15	417579.241				
	total	19					
Na	dentro de grupos	4	2242172.301	1.5592	0.2360	12.85	29.36
	Entre grupos	15	1437991.698				
	total	19					
Cu	dentro de grupos	4	57.084	3.3414	0.0381	8.81	47.11
	Entre grupos	5	17.084				
	total	19					
Fe	dentro de grupos	4	148.508	2.5680	0.0809	20.04	40.64
	Entre grupos	15	57.831				
	total	19					
Zn	dentro de grupos	4	22.122	4.2680	0.0167	17.43	53.23
	Entre grupos	5	5.183				
	total	19					
Zn	dentro de grupos	4	3.654	0.5000	0.7363	20.65	11.76
	Entre grupos	15	7.309				
	total	19					

**Cuadro A 4 Estadísticas básicas que describen la composición química del agua de lluvia en precipitación incidente y precipitación efectiva**

Elemento	Media	DE	Mínimo	Máximo	N	Elemento	Media	DE	Mínimo	Máximo	N
<b>Evento 1 (27 Mar 1996)</b>						<b>Evento 7 (27 May 1996)</b>					
Cu	0.0595	0.0672	0.0199	0.1793	5	Mn	0.0259	0.0463	0.0000	0.2748	20
Fe	0.0799	0.1495	0.0000	0.3449	5	Zn	0.0346	0.0254	0.0154	0.1108	20
Mn	0.0820	0.1090	0.0000	0.2411	5	Cu	0.0609	0.0490	0.0139	0.2060	20
Zn	0.0933	0.1405	0.0166	0.3434	5	Fe	0.0698	0.0538	0.0193	0.2228	20
PP	1.0633	0.5328	0.4140	1.8300	5	Mg	1.2130	0.4822	0.5910	2.2540	20
Mg	2.9422	0.6015	0.4360	3.9760	5	PP	1.2868	0.3062	0.7640	1.6870	20
K	3.8651	4.5642	0.0444	9.1240	4	K	2.3630	1.5007	0.9580	7.8420	20
pH	7.0847	0.1675	6.3100	7.2900	5	pH	6.4865	0.1955	6.0800	6.8000	20
Ca	33.5397	19.9738	0.0000	52.1995	5	Na	8.0717	1.8511	5.7070	12.0330	20
CE	200.9000	22.8073	172.5000	234.0000	5	Ca	16.9052	3.9752	12.1290	25.9630	20
Na	No medido					CE	121.2000	26.6154	90.0000	170.0000	20
<b>Evento 2 (31 Abr 1996)</b>						<b>Evento 8 (02 Jun 1996)</b>					
Fe	0.0495	0.0372	0.0076	0.1319	20	Mn	0.0266	0.0205	0.0008	0.0825	20
Cu	0.0531	0.0364	0.0028	0.1113	20	Zn	0.0323	0.0202	0.0148	0.1034	20
Zn	0.0730	0.0490	0.0185	0.2257	20	Fe	0.0636	0.0462	0.0087	0.1872	20
Mn	0.0983	0.0691	0.0083	0.2619	20	Cu	0.0747	0.0659	0.0012	0.2824	20
Mg	1.6865	1.4862	0.0000	4.5075	20	Mg	0.5614	0.4343	0.2020	1.6930	20
PP	2.2878	0.3368	1.4640	2.8170	20	PP	0.8793	0.1842	0.4300	1.1300	20
K	<del>4.0867</del>	<del>2.9883</del>	<del>0.0588</del>	<del>9.3215</del>	20	K	1.4696	1.0814	0.4780	5.1850	20
pH	5.2405	0.7464	2.9200	6.1300	20	Na	5.2722	1.5499	3.1780	10.2480	20
Ca	<del>23.3583</del>	<del>16.2395</del>	<del>0.3000</del>	<del>58.5230</del>	20	pH	6.0820	0.2941	5.3900	6.4800	20
CE	<del>200.9500</del>	<del>175.0355</del>	<del>46.0000</del>	<del>6.0000</del>	20	Ca	6.9125	4.2579	2.8620	18.2260	20
Na	No medido					CE	67.6300	29.4079	36.8000	140.0000	20
<b>Evento 3 (01 Abr 1996)</b>						<b>Evento 9 (11 Jun 1996)</b>					
Fe	0.0707	0.0450	0.0080	0.1452	20	Zn	0.0200	0.0195	0.0046	0.0863	20
Mn	0.1561	0.0826	0.0516	0.2661	20	Cu	0.0207	0.0154	0.0060	0.0592	20
Cu	0.1598	0.1279	0.0178	0.4052	20	Mn	0.0227	0.0126	0.0078	0.0567	20
Zn	0.1767	0.1507	0.0601	0.7642	20	Fe	0.0572	0.0680	0.0000	0.3043	20
PP	0.9517	0.1678	0.6530	1.2100	20	Mg	0.2786	0.1887	0.0080	0.8810	20
Mg	4.3481	3.0224	0.5738	9.3885	20	K	0.4819	0.2047	0.2370	1.0230	20
pH	5.6120	0.3964	5.0200	6.3200	20	Na	2.4570	0.4464	1.8080	3.5940	20
K	11.9503	8.7650	1.1197	29.1750	20	PP	4.5646	0.7690	3.0560	6.8910	20
Ca	39.1271	20.5011	10.4940	79.7340	17	Ca	5.7793	2.3049	3.0570	12.1100	20
CE	288.6000	140.6049	00.0000	518.0000	20	pH	6.6195	0.3157	5.6800	6.9100	20
Na	No medido					CE	52.6100	15.5151	37.2000	98.0000	20
<b>Evento 4 (05 Abr 1996)</b>						<b>Evento 10 (14 Jun 1996)</b>					
Mn	0.0330	0.0204	0.0091	0.0966	20	Zn	0.0004	0.0013	0.0000	0.0053	20
Cu	0.0341	0.0236	0.0040	0.1002	20	Fe	0.0032	0.0099	0.0000	0.0437	20
Fe	0.0346	0.0378	0.0056	0.1787	20	Mn	0.0105	0.0064	0.0009	0.0295	20
Zn	0.0639	0.0466	0.0237	0.2247	20	Cu	0.0213	0.0432	0.0000	0.1983	20
Mg	0.7250	0.9246	0.0664	3.9735	20	Mg	0.0565	0.1430	0.0000	0.6030	20
PP	2.4008	0.5506	0.8750	2.9440	20	K	0.3942	0.3045	0.0960	1.3610	20
K	2.8118	2.7781	0.3697	9.6440	19	Na	1.9927	0.4991	1.4570	3.1340	20
pH	5.9700	0.3467	5.4600	6.4500	20	PP	6.0232	0.9196	4.2020	7.0980	20
Ca	7.3995	5.6794	2.2408	24.3300	20	Ca	6.3546	2.6423	3.4110	12.7290	20
CE	77.6900	44.7277	35.6000	216.0000	20	pH	6.9680	0.1802	6.6100	7.2200	20
Na	No medido					CE	49.1300	17.7520	28.8000	88.8000	20
<b>Evento 5 (22 Abr 1996)</b>						<b>Evento 11 (17 Jun 1996)</b>					
Fe	0.0168	0.0090	0.0020	0.0325	20	Mn	0.0056	0.0102	0.0000	0.0465	20
Zn	0.0196	0.0205	0.0000	0.0744	20	Fe	0.0075	0.0138	0.0000	0.0566	20
Mn	0.0450	0.0225	0.0175	0.1085	20	Cu	0.0101	0.0237	0.0000	0.1063	20
Cu	0.0559	0.0467	0.0161	0.2036	20	Zn	0.0149	0.0186	0.0038	0.0869	20
Mg	0.7253	0.3771	0.2820	1.5940	20	Mg	0.1859	0.1593	0.0000	0.5300	20
K	2.0092	1.1480	0.4870	5.1220	20	K	0.8737	1.8135	0.1190	8.4520	20
PP	2.6977	0.4669	1.2100	3.2470	20	Na	2.4769	0.4888	1.8470	3.6230	20
Na	3.8086	1.1585	2.4700	7.5630	20	PP	4.6409	0.9712	2.9600	5.8570	20
pH	6.7600	0.1440	6.4100	6.9300	20	Ca	5.4312	1.6562	3.0280	9.3080	20
Ca	8.8793	2.8989	5.2500	15.7620	20	pH	6.9940	0.1748	6.5700	7.2000	20
CE	65.7500	21.3869	40.4000	120.0000	20	CE	40.0900	13.6240	20.0000	69.6000	20
<b>Evento 6 (08 May 1996)</b>						<b>Evento 12 (23 Jun 1996)</b>					
Cu	0.0147	0.0129	0.0006	0.0405	20	Mn	0.0004	0.0016	0.0000	0.0072	20
Zn	0.0149	0.0098	0.0004	0.0415	20	Cu	0.0014	0.0026	0.0000	0.0080	20
Fe	0.0410	0.0326	0.0114	0.1500	20	Zn	0.0033	0.0055	0.0000	0.0171	20
Mn	0.0425	0.0250	0.0115	0.1144	20	Fe	0.0106	0.0117	0.0000	0.0423	20
Mg	1.0303	0.5765	0.3170	2.2170	20	Mg	0.3675	0.1533	0.2180	0.8510	20
PP	2.2711	0.4017	1.4010	2.8010	20	K	1.0825	0.5216	0.5860	2.6120	20
K	2.4956	1.5704	0.7600	5.9290	20	PP	1.3019	0.3145	0.4770	1.5920	20
Na	3.2706	1.1871	1.9420	6.1070	20	Na	4.8743	1.1825	3.6080	8.3140	20
pH	6.3795	0.1170	6.1000	6.5300	20	Ca	4.9299	2.1555	3.0240	12.0340	20
Ca	14.8202	6.7603	6.4300	28.8320	20	pH	7.3845	0.2168	7.0300	7.6400	20
CE	113.5200	44.3108	61.0000	220.0000	20	CE	58.4500	9.3475	47.6000	80.0000	20

Cuadro A 4 Continuación.

Elemento	Media	DE	Mínimo	Máximo	N
<b>Evento 13 (25 Jun 1996)</b>					
Zn	0.0018	0.0040	0.0000	0.0160	20
Mn	0.0023	0.0050	0.0000	0.0213	20
Cu	0.0099	0.0091	0.0000	0.0337	20
Fe	0.0201	0.0214	0.0000	0.0782	20
Mg	0.2182	0.0971	0.1080	0.4070	20
K	1.0380	1.4470	0.3680	7.0160	20
Ca	2.2214	1.6262	0.9390	8.5050	20
Na	2.7102	0.9212	1.6940	5.6410	20
PP	5.1216	0.7135	3.7240	6.1750	20
pH	7.2485	0.1205	6.9300	7.4200	20
CE	43.0300	13.6686	21.4000	79.0000	20
<b>Evento 14 (27 Jun 1996)</b>					
Zn	0.0040	0.0022	0.0016	0.0070	5
Fe	0.0073	0.0103	0.0000	0.0214	5
Mn	0.0107	0.0048	0.0075	0.0193	5
Cu	0.0122	0.0082	0.0019	0.0236	5
Mg	0.1854	0.0658	0.1020	0.2860	5
Ca	1.6544	1.6190	0.6300	4.5310	5
PP	2.4128	0.3708	1.9740	2.9600	5
Na	3.9788	1.1037	2.6960	5.6920	5
K	3.9836	5.5816	0.4470	13.7050	5
pH	6.1280	0.2317	5.8600	6.4100	5
CE	30.3200	5.6861	22.0000	35.8000	5
<b>Evento 15 (28 Jun 1996)</b>					
Mn	0.0008	0.0017	0.0000	0.0059	20
Zn	0.0023	0.0022	0.0000	0.0070	20
Cu	0.0048	0.0040	0.0000	0.0145	20
Fe	0.0119	0.0161	0.0000	0.0445	20
Mg	0.2422	0.1171	0.1170	0.6390	20
K	0.6160	0.2507	0.2810	1.3660	20
Ca	1.7996	0.8989	0.4870	4.1520	20
Na	3.0225	0.5126	1.9860	4.0220	20
PP	4.0330	0.6622	2.4930	5.1570	20
pH	7.1765	0.1062	7.0000	7.4400	20
CE	40.8600	10.9789	22.0000	67.6000	20
<b>Evento 16 (29 Jun 1996)</b>					
Mn	0.0008	0.0019	0.0000	0.0042	5
Fe	0.0015	0.0034	0.0000	0.0076	5
Cu	0.0027	0.0023	0.0000	0.0051	5
Zn	0.0071	0.0026	0.0047	0.0112	5
Mg	0.0930	0.0234	0.0610	0.1230	5
K	0.5076	0.1618	0.3230	0.6510	5
Ca	0.5098	0.1523	0.2950	0.6640	5
PP	1.8175	0.3795	1.2730	2.2760	5
Na	2.8724	0.6612	1.9310	3.6650	5
pH	6.9780	0.2742	6.5100	7.2000	5
CE	17.0000	3.1780	14.6000	22.4000	5
<b>Evento 17 (30 Jun 1996)</b>					
Cu	0.0004	0.0017	0.0000	0.0076	20
Zn	0.0014	0.0034	0.0000	0.0129	20
Mn	0.0040	0.0036	0.0000	0.0111	20
Fe	0.0093	0.0131	0.0000	0.0355	20
Mg	0.0557	0.0650	0.0010	0.2430	20
K	0.2685	0.3237	0.0460	1.5760	20
Ca	1.2077	0.8602	0.4750	3.1680	20
Na	1.6557	0.5358	1.0810	3.0460	20
pH	6.7930	0.2425	6.3000	7.2600	20
PP	7.5089	1.3075	4.5520	8.9130	20
CE	12.5900	9.2232	3.2000	31.6000	20
<b>Evento 18 (01 Jul 1996)</b>					
Zn	0.0005	0.0007	0.0000	0.0015	5
Cu	0.0166	0.0074	0.0097	0.0280	5
Mn	0.0333	0.0037	0.0286	0.0381	5
Fe	0.0846	0.0145	0.0678	0.1035	5
Mg	0.3580	0.0668	0.2550	0.4290	5
K	0.8404	0.2060	0.5850	1.1250	5
PP	2.7056	0.3494	2.3240	3.1510	5
Na	2.8916	0.6276	2.0660	3.7920	5
Ca	3.1000	0.8564	2.0020	4.3140	5
pH	7.7600	0.1261	7.6300	7.9300	5
CE	92.0000	7.6158	84.0000	100.0000	5
<b>Evento 19 (07 Jul 1996)</b>					
Zn	0.0050	0.0057	0.0000	0.0214	20
Cu	0.0093	0.0070	0.0000	0.0228	20
Mn	0.0255	0.0177	0.0029	0.0867	20
Fe	0.0507	0.0264	0.0073	0.1386	20
Mg	0.4017	0.2444	0.0992	0.9344	20
K	1.0511	0.4832	0.3966	2.4750	20
Na	2.7687	0.4577	2.3053	4.1054	20
Ca	5.3970	1.8757	1.0417	8.4619	20
pH	6.4560	0.1774	6.1200	6.7600	20
PP	6.7959	1.5199	3.2470	8.7540	20
CE	47.3100	16.9777	21.4000	96.4000	20
<b>Evento 20 (09 Ago 1996)</b>					
Cu	0.0065	0.0070	0.0000	0.0203	20
Zn	0.0136	0.0070	0.0033	0.0300	20
Mn	0.0266	0.0102	0.0109	0.0501	20
Fe	0.0475	0.0222	0.0080	0.1016	20
Mg	0.2796	0.3099	0.0207	0.9025	20
K	1.0127	0.3644	0.3520	1.5990	20
Na	2.3360	0.5034	1.5715	3.5353	20
Ca	2.7451	1.7047	0.6391	6.9524	20
PP	6.0304	0.9913	4.0110	7.1300	20
pH	6.6335	0.8087	6.0100	9.8700	20
CE	25.3400	14.8252	8.2000	53.6000	20
<b>Evento 21 (12 Ago 1996)</b>					
Zn	0.0027	0.0041	0.0000	0.0118	20
Cu	0.0047	0.0043	0.0000	0.0148	20
Mn	0.0049	0.0032	0.0000	0.0129	20
Fe	0.0249	0.0138	0.0032	0.0534	20
Mg	0.1897	0.1072	0.0665	0.4695	20
K	1.3240	0.3664	0.8327	2.0623	20
Na	2.4590	0.4111	1.6358	3.3580	20
Ca	2.7295	0.9795	1.6555	5.7325	20
PP	2.8544	0.2903	2.3870	3.2790	20
pH	6.6850	0.1746	6.3500	6.9400	20
CE	30.6300	6.1093	17.2000	42.2000	20
<b>Evento 22 (20 Ago 1996)</b>					
Zn	0.0053	0.0046	0.0000	0.0176	20
Cu	0.0081	0.0064	0.0000	0.0292	20
Mn	0.0100	0.0040	0.0006	0.0173	20
Fe	0.0238	0.0159	0.0000	0.0549	20
Mg	0.1588	0.0999	0.0481	0.4996	20
K	1.0065	0.4646	0.4446	1.9461	20
Na	2.0568	0.3954	1.4159	2.9179	20
Ca	3.5784	1.3667	1.1233	5.8935	20
pH	6.6390	0.2906	5.9600	7.0000	20
PP	16.0428	2.7612	9.7720	20.0530	20
CE	23.8100	6.4754	11.2000	37.8000	20
<b>Evento 23 (21 Ago 1996)</b>					
Cu	0.0065	0.0069	0.0000	0.0220	20
Zn	0.0080	0.0041	0.0022	0.0166	20
Mn	0.0081	0.0055	0.0000	0.0196	20
Fe	0.0333	0.0164	0.0000	0.0529	20
Mg	0.1635	0.1848	0.0374	0.7965	20
K	1.1022	0.5110	0.2796	1.8942	20
Ca	1.7330	1.2607	0.8248	6.7185	20
Na	2.1932	0.3784	1.5578	2.9310	20
PP	4.3067	0.8401	2.6100	6.2710	20
pH	7.5040	0.8038	6.7000	9.9100	20
CE	21.4800	7.7930	11.0000	41.6000	20
<b>Evento 24 (22 Ago 1996)</b>					
Zn	0.0013	0.0048	0.0000	0.0213	20
Fe	0.0017	0.0035	0.0000	0.0119	20
Cu	0.0029	0.0022	0.0000	0.0065	20
Mn	0.0032	0.0029	0.0000	0.0097	20
Mg	0.0326	0.0219	0.0067	0.0831	20
K	0.9816	0.5132	0.3040	1.8920	20
Ca	1.1002	0.2458	0.7149	1.6780	20
Na	1.7913	0.2370	1.2155	2.2056	20
CE	6.4900	2.6758	2.8000	12.0000	20
pH	6.6680	0.6510	5.8300	7.6600	20
PP	66.1287	8.0592	50.2610	82.7600	20

Cuadro A 4 Continuación.

Elemento	Media	DE	Mínimo	Máximo	N	Elemento	Media	DE	Mínimo	Máximo	N
<b>Evento 25 (23 Ago 1996)</b>						<b>Evento 31 (05 Sep 1996)</b>					
Mn	0.0013	0.0017	0.0000	0.0055	20	Cu	0.0054	0.0067	0.0000	0.0241	20
Cu	0.0036	0.0083	0.0000	0.0362	20	Mn	0.0079	0.0073	0.0017	0.0281	20
Zn	0.0140	0.0028	0.0079	0.0187	20	Zn	0.0085	0.0062	0.0022	0.0276	20
Fe	0.0282	0.0094	0.0070	0.0442	20	Fe	0.0263	0.0153	0.0000	0.0562	20
Mg	0.1124	0.0790	0.0000	0.2380	20	Mg	0.4854	0.5573	0.0000	2.1017	20
K	0.9590	0.3213	0.3711	1.6979	20	Na	1.7458	0.5909	0.0000	2.8833	20
Ca	1.8376	0.6964	0.8862	3.9701	20	Ca	2.2323	1.8001	0.0000	6.4740	20
Na	2.0218	0.2599	1.5359	2.4333	20	K	4.1822	6.0132	0.0000	22.2005	20
pH	6.4970	0.3888	5.9600	7.5400	20	pH	6.6358	0.2410	6.1900	7.0300	19
CE	10.7600	3.6114	5.6000	19.4000	20	PP	11.4416	2.6306	7.4800	17.9840	20
PP	25.9072	2.3046	19.4170	28.9660	20	CE	28.8632	33.5504	5.0000	126.0000	19
<b>Evento 26 (25 Ago 1996)</b>						<b>Evento 32 (20 Sep 1996)</b>					
Cu	0.0012	0.0012	0.0000	0.0035	20	Cu	0.0033	0.0032	0.0000	0.0131	20
Mn	0.0051	0.0034	0.0000	0.0099	20	Mn	0.0038	0.0029	0.0004	0.0106	20
Zn	0.0126	0.0064	0.0025	0.0272	20	Fe	0.0106	0.0095	0.0000	0.0333	20
Fe	0.0169	0.0194	0.0028	0.0741	20	Zn	0.0114	0.0170	0.0017	0.0635	20
Mg	0.1752	0.0409	0.0595	0.2301	20	Mg	0.5782	0.2582	0.2046	1.1642	20
K	0.8719	0.2674	0.3798	1.5784	20	Ca	1.8568	1.2649	0.1842	4.6381	20
Na	1.7497	0.1763	1.5232	2.0779	20	K	2.9655	1.5852	0.4041	5.9642	20
Ca	3.7092	2.3056	0.6254	9.1683	20	Na	3.0784	1.8980	1.9267	10.5313	20
pH	7.2675	0.3357	6.7000	7.8800	20	pH	6.3475	0.6479	4.7500	7.8900	20
CE	19.9800	9.6840	4.6000	38.6000	20	PP	15.4539	3.7705	10.3450	26.1010	20
PP	49.1772	6.7176	35.1090	58.1230	20	CE	27.8400	11.0230	10.6000	48.8000	20
<b>Evento 27 (31 Ago 1996)</b>						<b>Evento 33 (27 Sep 1996)</b>					
Cu	0.0051	0.0092	0.0000	0.0419	20	Mn	0.0155	0.0137	0.0021	0.0514	20
Mn	0.0055	0.0024	0.0000	0.0089	20	Zn	0.0182	0.0073	0.0076	0.0344	20
Zn	0.0105	0.0028	0.0021	0.0153	20	Cu	0.0294	0.0140	0.0119	0.0612	20
Fe	0.0175	0.0080	0.0066	0.0303	20	Fe	0.0478	0.0173	0.0230	0.0815	20
Mg	0.2191	0.0787	0.1046	0.3344	20	Mg	1.5678	0.9353	0.5763	3.6236	20
K	1.3737	0.7948	0.3085	3.1635	20	PP	2.3937	0.7153	1.1780	4.0740	20
Na	2.0512	0.3689	1.5989	3.0109	20	Na	4.7438	1.6135	2.8444	10.1214	20
Ca	2.8200	0.9246	0.8170	4.0164	20	K	6.5349	3.6340	2.5309	18.7756	20
pH	6.1715	0.4072	5.0300	7.2000	20	pH	6.6000	0.4255	5.5700	7.1100	20
PP	18.5240	2.5236	14.2600	22.4090	20	Ca	9.1621	4.2952	3.1927	18.5396	20
CE	21.6900	7.2543	11.0000	33.2000	20	CE	97.0900	31.7738	50.0000	160.0000	20
<b>Evento 28 (01 Sep 1996)</b>						<b>Evento 34 (02 Oct 1996)</b>					
Mn	0.0064	0.0051	0.0000	0.0203	20	Cu	0.0008	0.0013	0.0000	0.0038	20
Zn	0.0089	0.0045	0.0041	0.0248	20	Zn	0.0008	0.0015	0.0000	0.0041	20
Cu	0.0105	0.0133	0.0000	0.0529	20	Mn	0.0026	0.0019	0.0000	0.0060	20
Fe	0.0312	0.0134	0.0046	0.0587	20	Fe	0.0189	0.0071	0.0044	0.0354	20
Mg	0.3613	0.2807	0.0716	1.0673	20	Mg	0.1043	0.0671	0.0246	0.2689	20
PP	2.4271	0.7806	1.1140	3.3100	20	K	0.3081	0.2510	0.1226	1.2270	20
Na	2.6066	1.0173	1.5021	5.0857	20	Na	1.6006	0.1965	1.3086	2.0397	20
K	3.0969	3.1128	0.2556	11.9993	20	Ca	1.9924	1.0738	0.0374	3.8642	20
Ca	5.8416	3.0765	1.4553	12.1185	20	pH	6.4490	0.1648	6.1600	6.7400	20
pH	6.6700	0.3591	5.8400	7.1700	20	CE	6.5300	3.9102	2.2000	18.0000	20
CE	36.7000	24.0950	10.0000	97.2000	20	PP	47.6827	6.1303	33.1040	61.1150	20
<b>Evento 29 (02 Sep 1996)</b>						<b>Evento 35 (03 Oct 1996)</b>					
Mn	0.0032	0.0071	0.0000	0.0287	20	Zn	0.0041	0.0047	0.0001	0.0197	20
Cu	0.0055	0.0078	0.0000	0.0300	20	Mn	0.0057	0.0027	0.0011	0.0094	20
Fe	0.0133	0.0105	0.0000	0.0337	20	Cu	0.0063	0.0099	0.0000	0.0469	20
Zn	0.0245	0.0263	0.0057	0.1025	20	Fe	0.0331	0.0129	0.0065	0.0488	20
Mg	0.6259	0.5293	0.1841	2.4260	20	Mg	0.1186	0.1770	0.0092	0.7802	20
PP	1.3178	0.4007	0.5090	1.7830	20	K	0.4164	0.5673	0.0665	2.7131	20
K	4.6542	4.6675	1.1837	21.3550	20	Na	1.8888	0.2514	1.5175	2.3527	20
Na	4.7095	1.5997	3.1822	9.5690	20	Ca	2.9247	0.3951	2.4839	3.9866	20
Ca	5.2969	2.5521	2.4486	12.9149	20	pH	5.9145	0.7285	4.7500	6.9800	20
pH	6.9365	0.1987	6.4500	7.1200	20	CE	12.1700	5.9836	7.0000	30.2000	20
CE	42.7100	24.7957	17.4000	124.0000	20	PP	35.6665	9.1689	21.6450	64.2980	20
<b>Evento 30 (04 Sep 1996)</b>						<b>Evento 36 (04 Oct 1996)</b>					
Mn	0.0106	0.0177	0.0000	0.0748	20	Mn	0.0042	0.0024	0.0004	0.0117	20
Cu	0.0171	0.0179	0.0000	0.0598	20	Zn	0.0048	0.0046	0.0002	0.0211	20
Fe	0.0386	0.0298	0.0000	0.1077	20	Cu	0.0369	0.0378	0.0029	0.1684	20
Zn	0.0398	0.0373	0.0055	0.1573	20	Fe	0.1409	0.0785	0.0496	0.3509	20
PP	1.5056	0.5353	0.6680	2.3240	20	Mg	0.3808	0.1197	0.1492	0.5982	20
Mg	1.9863	2.3016	0.1298	8.8490	20	PP	1.1523	0.4852	0.7000	2.9280	20
Na	4.7848	2.2871	2.7426	10.2026	20	K	1.6556	0.7008	0.4176	2.9023	20
pH	7.1920	0.3194	6.4900	7.5900	20	Na	5.6444	1.1459	2.9101	7.9434	20
Ca	8.0976	5.5984	2.8089	19.5781	20	Ca	6.1936	3.3099	1.6068	15.2287	20
K	26.7382	37.4107	0.7637	148.4770	20	pH	7.2590	0.2543	6.7600	7.5800	20
CE	148.0600	144.0251	14.0000	600.0000	20	CE	54.6200	24.8902	18.0000	116.0000	20



Cuadro A 4 Continuación.

Elemento	Media	DE	Mínimo	Máximo	N	Elemento	Media	DE	Mínimo	Máximo	N
<b>Evento 37 (05 Oct 1996)</b>						<b>Evento 43 (18 Ene 1997)</b>					
Mn	0.0025	0.0034	0.0000	0.0096	20	Cu	0.0086	0.0052	0.0011	0.0200	20
Zn	0.0059	0.0040	0.0001	0.0190	20	Zn	0.0087	0.0036	0.0043	0.0171	20
Cu	0.0114	0.0092	0.0000	0.0319	20	Mn	0.0114	0.0090	0.0046	0.0455	20
Fe	0.0418	0.0240	0.0022	0.1013	20	Fe	0.0353	0.0207	0.0159	0.0562	20
Mg	0.2241	0.2236	0.0000	0.7745	20	PP	2.0722	0.6283	1.1140	3.0240	20
K	0.7737	0.4921	0.1686	1.8873	20	Mg	2.8713	2.5438	0.2506	11.1830	20
Ca	2.1179	1.5505	0.4401	5.5390	20	Na	5.1914	1.5238	3.0302	7.7124	20
Na	2.3149	0.2432	1.8579	2.9185	20	pH	6.5980	0.3532	5.9600	7.2500	20
PP	4.1253	0.9937	2.6100	6.0480	20	K	8.7185	9.2646	0.4281	37.5040	20
pH	6.5660	0.3577	6.0500	7.3000	20	Ca	21.8853	19.0592	2.3670	56.9790	20
CE	26.0600	14.3524	7.0000	58.2000	20	CE	129.2700	71.5726	32.2000	262.0000	20
<b>Evento 38 (18 Oct 1996)</b>						<b>Evento 44 (19 Ene 1997)</b>					
Mn	0.0004	0.0005	0.0000	0.0011	5	Mn	0.0023	0.0019	0.0001	0.0074	20
Zn	0.0026	0.0003	0.0023	0.0030	5	Zn	0.0027	0.0017	0.0005	0.0082	20
Cu	0.0099	0.0044	0.0047	0.0142	5	Cu	0.0054	0.0044	0.0000	0.0133	20
Fe	0.0120	0.0041	0.0058	0.0168	5	Fe	0.0304	0.0195	0.0089	0.0788	20
Mg	1.6187	0.8548	0.4110	2.4983	5	Mg	1.0584	1.3603	0.0633	6.0778	20
PP	1.6679	0.6220	1.2100	2.6420	5	Na	2.4092	0.5254	1.4653	3.6852	20
pH	6.7480	0.2620	6.4300	7.0300	5	K	2.8543	2.2049	0.1091	8.7750	20
Na	7.3180	2.3356	4.2696	10.1092	5	pH	6.1190	0.7138	4.8100	7.4700	20
K	8.8965	3.7387	2.7315	12.5000	5	Ca	7.4340	11.7162	0.3204	52.2930	20
Ca	9.4689	3.0004	5.1078	12.2294	5	PP	8.1105	1.5722	5.2840	12.0320	20
CE	120.0000	37.4166	60.0000	160.0000	5	CE	52.8500	55.0173	8.4000	256.0000	20
<b>Evento 39 (24 Oct 1996)</b>						<b>Evento 45 (01 Feb 1997)</b>					
Mn	0.0005	0.0010	0.0000	0.0024	5	Mn	0.0031	0.0020	0.0000	0.0077	20
Zn	0.0009	0.0006	0.0000	0.0015	5	Cu	0.0035	0.0032	0.0000	0.0101	20
Cu	0.0049	0.0029	0.0011	0.0093	5	Zn	0.0132	0.0035	0.0083	0.0221	20
Fe	0.0083	0.0036	0.0054	0.0144	5	Fe	0.0518	0.0150	0.0284	0.0763	20
Mg	1.2475	0.6533	0.3598	2.2149	5	Mg	0.7477	0.3940	0.2405	1.5180	20
PP	3.5905	1.0737	2.1650	5.1880	5	Na	1.2514	0.3271	0.6052	1.7009	20
Na	3.7161	0.5513	2.8447	4.2256	5	K	1.5181	1.2002	0.0145	4.2530	20
K	4.9419	2.9224	1.5346	9.1390	5	Ca	5.7934	3.9965	1.0841	16.7600	20
pH	6.8680	0.2095	6.5800	7.0700	5	PP	6.7100	1.6073	4.0110	11.5230	20
Ca	13.1388	3.3922	8.1252	16.8283	5	pH	6.7426	0.1384	6.4800	7.0800	19
CE	116.4000	29.2370	70.0000	42.0000	5	CE	120.8000	185.7252	8.4000	640.0000	20
<b>Evento 40 (28 Nov 1996)</b>						<b>Evento 46 (05 Feb 1997)</b>					
Zn	0.0017	0.0023	0.0000	0.0065	20	Zn	0.0139	0.0035	0.0078	0.0163	5
Mn	0.0061	0.0077	0.0000	0.0246	20	Cu	0.0197	0.0121	0.0036	0.0346	5
Cu	0.0104	0.0078	0.0012	0.0266	20	Mn	0.0262	0.0120	0.0125	0.0451	5
Fe	0.0170	0.0086	0.0079	0.0396	20	Fe	0.0598	0.0158	0.0359	0.0800	5
Mg	1.7176	1.8959	0.2238	8.0210	20	Mg	1.2898	0.6051	0.5365	2.0814	5
PP	2.9539	0.7207	1.5280	4.0740	20	K	1.9814	1.5617	0.5599	3.7031	5
Na	4.0002	1.7018	2.1506	8.4902	20	PP	2.7884	0.9843	1.6230	4.0740	5
K	5.3692	4.1706	1.0105	18.3000	20	Na	4.8128	0.1730	4.5667	5.0427	5
pH	6.9900	0.6495	4.5800	7.5100	20	Ca	6.0751	2.5883	2.0417	9.2622	5
Ca	20.4420	29.9649	2.6824	138.7460	20	pH	6.5980	0.1252	6.4100	6.7100	5
CE	127.5000	85.4434	48.0000	400.0000	20	CE	98.4000	23.5542	62.0000	128.0000	5
<b>Evento 41 (7 Ene 1997)</b>						<b>Evento 47 (10 Feb 1997)</b>					
Cu	0.0082	0.0061	0.0000	0.0200	20	Cu	0.0079	0.0075	0.0000	0.0176	5
Mn	0.0133	0.0114	0.0018	0.0424	20	Mn	0.0165	0.0103	0.0076	0.0307	5
Zn	0.0162	0.0355	0.0017	0.1659	20	Zn	0.0189	0.0079	0.0086	0.0290	5
Fe	0.0240	0.0147	0.0028	0.0487	20	Fe	0.0459	0.0151	0.0281	0.0629	5
PP	1.7746	0.9970	0.3180	3.2790	20	Mg	1.3068	0.5596	0.5447	1.9615	5
Mg	3.4198	2.4709	0.3975	9.5140	20	K	2.6900	1.7778	0.7121	4.5601	5
Na	6.9080	3.4980	3.1779	13.2524	20	Na	4.2348	0.7527	2.9518	4.7753	5
pH	6.9855	0.3546	6.0200	7.3300	20	PP	6.0670	1.2755	4.5200	7.5760	5
K	15.8331	15.1259	0.9854	52.2370	20	Ca	6.5414	3.8856	0.7222	11.4651	5
Ca	41.9216	44.3335	7.3869	204.9290	20	pH	6.6320	0.1165	6.4300	6.7300	5
CE	1698.4100	997.2713	81.2000	3240.0000	20	CE	82.8000	23.5627	42.0000	100.0000	5
<b>Evento 42 (14 Ene 1997)</b>						<b>Evento 48 (11 Feb 1997)</b>					
Zn	0.0075	0.0033	0.0044	0.0129	5	Cu	0.0022	0.0038	0.0000	0.0118	20
Cu	0.0094	0.0058	0.0021	0.0182	5	Mn	0.0033	0.0041	0.0000	0.0143	20
Mn	0.0256	0.0191	0.0053	0.0534	5	Zn	0.0117	0.0066	0.0032	0.0313	20
Fe	0.0283	0.0122	0.0164	0.0437	5	Fe	0.0159	0.0128	0.0000	0.0343	20
PP	2.5146	0.7926	1.7830	3.8200	5	Mg	0.7629	0.4700	0.2308	1.7314	20
Mg	3.7730	2.8340	0.5038	7.1170	5	Na	1.9742	0.8587	0.7914	4.3511	20
Na	6.4113	1.1147	4.8032	7.8252	5	K	2.1620	1.5754	0.2374	4.6676	20
pH	7.2280	0.0432	7.1700	7.2800	5	PP	2.3794	1.0547	0.5090	4.8060	20
K	11.0923	8.9894	1.4125	25.4910	5	Ca	4.7797	4.6509	0.0000	17.6334	20
Ca	49.4277	19.7958	18.2066	72.0110	5	pH	6.5195	0.3137	6.0500	7.4300	20
CE	200.8000	62.3795	102.0000	266.0000	5	CE	40.7700	24.6092	10.4000	104.0000	20



Cuadro A 4 Continuación.

Elemento	Media	DE	Mínimo	Máximo	N
<b>Evento 49 (14 Feb 1997)</b>					
Cu	0.0006	0.0021	0.0000	0.0084	20
Mn	0.0041	0.0034	0.0000	0.0095	20
Fe	0.0129	0.0094	0.0000	0.0265	20
Zn	0.0153	0.0092	0.0032	0.0463	20
Mg	0.5658	0.1902	0.2780	0.9729	20
K	1.5882	1.0344	0.2940	4.1980	20
Na	2.1199	0.6596	1.2842	3.1704	20
PP	2.3841	1.1944	0.9550	5.7610	20
Ca	5.4669	2.2486	2.7300	12.3883	20
pH	6.8860	0.0960	6.6000	7.0500	20
CE	60.8600	14.6800	38.8000	92.0000	20
<b>Evento 50 (05 Mar 1997)</b>					
Cu	0.0063	0.0076	0.0000	0.0236	20
Mn	0.0145	0.0128	0.0018	0.0600	20
Zn	0.0168	0.0098	0.0039	0.0513	20
Fe	0.0260	0.0344	0.0000	0.1499	20
Mg	0.9231	0.8127	0.3007	3.4918	20
K	2.1488	1.7347	0.1357	6.5360	20
Na	2.6606	1.2222	0.0000	5.9712	20
PP	3.3438	1.0820	0.5090	4.3930	20
pH	6.9020	0.2089	6.1900	7.1900	20
Ca	8.1880	6.2008	0.0000	26.0209	20
CE	84.4700	36.9189	46.2000	158.0000	20
<b>Evento 51 (10 Mar 1997)</b>					
Fe	0.0011	0.0029	0.0000	0.0116	20
Cu	0.0016	0.0062	0.0000	0.0276	20
Mn	0.0054	0.0017	0.0023	0.0083	20
Zn	0.0086	0.0017	0.0049	0.0116	20
Mg	0.1176	0.0971	0.0107	0.4574	20
K	0.4755	0.3101	0.0000	1.0826	20
Na	0.9611	0.4055	0.1933	1.6585	20
Ca	3.6004	1.6921	0.7904	7.1087	20
pH	6.4065	0.3578	5.3500	6.9800	20
CE	10.7200	6.3160	5.6000	32.0000	20
PP	61.4655	7.6505	39.5150	71.9380	20
<b>Evento 52 (11 Mar 1997)</b>					
Cu	0.0045	0.0034	0.0000	0.0099	20
Mn	0.0060	0.0015	0.0036	0.0093	20
Zn	0.0089	0.0026	0.0039	0.0145	20
Fe	0.0169	0.0108	0.0000	0.0359	20
Mg	0.1639	0.0836	0.0894	0.3478	20
K	0.5960	0.4436	0.2336	1.5772	20
Na	1.0908	0.3779	0.4243	1.6076	20
Ca	5.1670	1.2242	2.4470	7.8781	20
pH	6.5035	0.1521	6.2500	6.8900	20
PP	12.8501	2.2668	9.4860	17.1890	20
CE	13.7300	6.6371	8.0000	32.0000	20

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

**Cuadro A 5** Resumen del análisis de varianza de acuerdo al diseño completamente al azar para describir diferencias en la cantidad de precipitación incidente y precipitación efectiva por evento.

Evento No.	Cuadrado medio		Estadístico F	Valor P	R <sup>2</sup> (%)	CV (%)	Media (mm)
	Tratamiento	Error					
1	ND <sup>1</sup>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2	0.0956	0.1182	0.8086	.5388	17.74	15.03	2.2878
3	0.0817	0.0139	5.8847	.0047	61.06	12.39	0.9517
4	0.3809	0.3011	1.0323	.4227	21.58	22.86	2.4008
5	0.2689	0.2044	1.3158	.3090	25.97	16.76	2.6977
6	0.1734	0.1582	1.0966	.3939	22.62	17.51	2.2711
7	0.2480	0.0527	4.7097	.0116	55.67	17.84	1.2868
8	0.0914	0.0186	4.9110	.0099	56.69	15.51	0.8793
9	0.5526	0.6017	0.9184	.4788	19.67	16.99	4.5646
10	1.9030	0.5637	3.3762	.0369	47.37	12.47	6.0232
11	2.5270	0.5209	4.8508	.0103	56.39	15.55	4.6409
12	0.0771	0.1047	0.7362	.5816	16.40	24.85	1.3019
13	0.6968	0.4590	1.5181	.2770	29.81	13.23	5.1216
14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15	1.1155	0.2581	4.3224	.0160	53.54	12.60	4.0330
16	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
17	2.7899	1.4214	1.9628	.1522	34.35	15.88	7.5089
18	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
19	3.8696	1.8943	2.0427	.1397	35.26	20.25	6.7959
20	2.3903	0.6074	3.9353	.0223	51.20	12.92	6.0304
21	0.1602	0.0640	2.5013	.0866	40.01	8.86	2.8544
22	14.7762	5.7169	2.5847	.0796	40.08	14.90	16.0428
23	1.5045	0.4927	3.0535	.0505	44.88	16.30	4.3067
24	132.2718	46.9974	2.8144	.0633	42.87	10.37	66.1287
25	8.0644	4.5769	1.7620	.1891	31.96	8.26	25.9072
26	29.4237	49.2965	0.5969	.6705	13.73	14.28	49.1772
27	12.5176	4.7285	2.6473	.0747	41.38	11.74	18.5240
28	0.8914	0.5341	1.6690	.2093	30.79	30.11	2.4271
29	0.2253	0.1433	1.5719	.2328	29.53	28.73	1.3178
30	1.1670	0.0518	22.5254	.0000	85.72	15.12	1.5056
31	9.5200	6.2270	1.5288	.2441	28.96	21.81	11.4416
32	3.2756	17.1342	0.1912	.9393	4.85	26.79	15.4539
33	1.0639	0.3644	2.9195	.0571	43.77	25.22	2.3937
34	77.9460	26.8162	2.9067	.0578	43.66	10.86	47.6827
35	84.8865	83.8513	1.0123	.4321	21.25	25.67	35.6665
36	0.3634	0.2013	1.8051	.1804	32.49	38.94	1.1523
37	2.4932	0.5859	4.2553	.0169	53.15	18.55	4.1253
38	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
39	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
40	1.3033	0.3103	4.1999	.0177	52.83	18.86	2.9539
41	3.1426	0.4212	7.6415	.0016	66.55	36.57	1.7746
42	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
43	1.4430	0.1152	12.5296	.0001	76.96	16.38	2.0722
44	1.0854	2.8417	0.3820	.8181	9.24	20.78	8.1105
45	5.3090	1.8565	2.8597	.0605	43.26	20.31	6.7100
46	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
47	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
48	3.0741	0.5920	5.1930	.0079	58.06	32.34	2.3794
49	0.6622	1.6306	0.4061	.8014	9.77	53.56	2.3841
50	3.1141	0.6524	4.7732	.0110	56.00	24.16	3.3438
51	30.2012	66.0847	0.4570	.7660	10.86	13.23	61.4655
52	14.2252	2.7269	5.2165	.0078	58.17	12.85	12.8501

<sup>1</sup>ND, No disponible.

**Cuadro A 6** Resumen del análisis de varianza de acuerdo al diseño completamente al azar para describir diferencias en la concentración de Ca en precipitación incidente y precipitación efectiva por evento.

Evento No.	Cuadrado medio		Estadístico F	Valor P	R <sup>2</sup> (%)	CV (%)	Media (mg/L)
	Tratamiento	Error					
1	ND <sup>1</sup>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2	961.5175	77.6411	12.3841	.0001	76.75	43.92	20.0603
3	728.7280	317.4820	2.2953	.1191	43.34	45.54	39.1271
4	75.6161	20.6924	3.6543	.0286	49.35	61.48	7.3995
5	17.1025	6.0843	2.8109	.0635	42.84	27.78	8.8793
6	101.0937	30.9311	3.2684	.0408	46.56	37.53	14.8202
7	40.1105	9.3198	4.3038	.0162	53.43	18.06	16.9052
8	31.4729	13.5051	2.3304	.1033	38.32	53.16	6.9125
9	12.1348	3.4934	3.4736	.0337	48.38	32.34	5.7793
10	22.3774	2.8763	7.7800	.0013	67.47	26.69	6.3546
11	8.0810	1.3194	6.1246	.0040	62.02	21.15	5.4312
12	7.6668	3.8407	1.9962	.1468	34.73	39.75	4.9299
13	1.8870	2.8465	0.6629	.6273	15.02	75.95	2.2214
14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15	0.7938	0.8118	0.9779	.4487	20.68	50.07	1.7996
16	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
17	2.4758	0.2772	8.9328	.0007	70.43	43.60	1.2077
18	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
19	8.3449	2.2311	3.7403	.0265	49.92	27.68	5.3970
20	9.4769	1.1538	8.2134	.0010	68.65	39.13	2.7451
21	0.8385	0.9917	0.8456	.5175	18.39	36.48	2.7295
22	4.1368	1.1601	3.5660	.0310	41.74	30.10	3.5784
23	3.2223	1.1539	2.7926	.0646	42.68	61.98	1.7330
24	0.1380	0.0397	3.4719	.0338	48.07	18.11	1.1002
25	0.7256	0.4209	1.7241	.1970	31.49	35.31	1.8376
26	10.8877	3.8299	2.8428	.0615	43.11	52.76	3.7092
27	3.2589	0.2138	15.2428	.0000	80.25	16.40	2.8200
28	12.4505	8.6684	1.4363	.2704	27.69	50.40	5.8416
29	14.5190	4.3781	3.3163	.0390	46.93	39.50	5.2969
30	109.6560	10.4581	10.4852	.0003	73.65	39.94	8.0976
31	6.6473	2.3317	2.8508	.0610	43.18	68.40	2.2323
32	2.5486	1.3469	1.8922	.1642	35.53	62.50	1.8568
33	54.9634	8.7118	6.3091	.0035	62.72	32.22	9.1621
34	4.4465	0.2748	16.1808	.0000	81.18	26.31	1.9924
35	0.1296	0.1631	0.7946	.5468	17.48	13.81	2.9247
36	23.8630	7.5137	3.1760	.0446	45.85	44.26	6.1936
37	4.7558	1.7771	2.6768	.0726	41.64	62.94	2.1179
38	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
39	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
40	1574.4821	714.4714	2.1945	.1190	36.91	130.76	20.4420
41	4052.4210	1408.9339	2.8762	.0595	43.40	89.54	41.9216
42	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
43	1198.1016	140.5491	8.5266	.0009	69.45	54.17	21.8853
44	315.3397	89.7849	3.5122	.0326	48.36	127.46	7.4340
45	47.5348	7.5553	6.2916	.0035	62.65	47.45	5.7934
46	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
47	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
48	73.2699	7.8605	9.3213	.0005	71.31	58.66	4.7797
49	11.1037	3.4434	3.2246	.0425	46.23	33.94	5.4669
50	42.7465	37.3046	1.1459	.3730	23.40	74.59	8.1880
51	8.3763	1.3932	6.0124	.0043	61.58	32.78	3.6004
52	2.5102	1.2290	2.0424	.1398	35.26	21.46	5.1670

<sup>1</sup>ND, No disponible.

**Cuadro A 7** Resumen del análisis de varianza de acuerdo al diseño completamente al azar para describir diferencias en la concentración de K en precipitación incidente y precipitación efectiva por evento.

Evento No.	Cuadrado medio		Estadístico F	Valor P	R <sup>2</sup> (%)	CV (%)	Media (mg/L)
	Tratamiento	Error					
1	ND <sup>1</sup>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2	17.0605	6.7620	2.5230	.0847	40.21	64.90	4.0067
3	535.5910	34.488	6.8310	.0024	64.55	49.14	11.9503
4	9.0765	7.3294	1.2384	.3354	26.13	96.28	2.8118
5	3.2931	0.7913	4.1617	.0183	52.60	44.27	2.0092
6	5.2590	1.7213	3.0533	.0500	44.89	52.57	2.4956
7	2.4652	2.1953	1.1229	.3826	23.04	62.70	2.3630
8	1.0110	1.2116	0.8344	.5241	18.20	74.90	1.4696
9	0.0250	0.0464	0.5388	.7096	12.56	44.70	0.4819
10	0.1192	0.0857	1.3913	.2842	27.06	74.26	0.3942
11	3.3976	3.2600	1.0422	.4182	21.74	206.66	0.8737
12	0.1027	0.3172	0.3237	.8577	7.94	52.03	1.0825
13	2.1077	2.0901	1.0084	.4340	21.19	139.28	1.0380
14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15	0.0549	0.0650	0.8447	.5184	18.38	41.39	0.6160
16	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
17	0.1476	0.0933	1.5813	.2304	29.66	113.76	0.2685
18	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
19	0.3891	0.1919	2.0276	.1420	35.09	41.68	1.0511
20	0.1916	0.1171	1.6357	.2170	30.37	33.79	1.0127
21	0.1347	0.1341	1.0046	.4358	21.12	27.66	1.3240
22	0.4274	0.1594	2.6803	.0723	41.68	39.67	1.0065
23	0.6653	0.1533	4.3400	.0157	53.64	35.52	1.1022
24	0.9303	0.0856	10.8681	.0002	74.34	29.81	0.9816
25	0.1969	0.0783	2.5164	.0853	40.15	29.18	0.9590
26	0.1960	0.0383	5.1158	.0084	57.70	22.45	0.8719
27	2.4000	0.1602	14.9841	.0000	79.98	29.14	1.3737
28	32.2238	3.6805	8.7553	.0007	70.01	61.95	3.0969
29	35.4149	18.1515	1.9511	.1541	34.22	91.54	4.6542
30	4658.8500	530.4171	8.7834	.0007	70.07	86.13	26.7382
31	94.8747	20.5012	4.6278	.0124	55.23	108.26	4.1822
32	8.0725	1.0304	7.8344	.0013	67.62	34.23	2.9655
33	17.6282	12.0270	1.4657	.2617	28.10	53.07	6.5349
34	0.0840	0.0574	1.4639	.2622	28.09	77.76	0.3081
35	0.5102	0.2716	1.8788	.1666	33.27	125.16	0.4164
36	1.4117	0.2455	5.7495	.0052	60.52	29.93	1.6556
37	0.5448	0.1614	3.3747	.0370	47.36	51.93	0.7737
38	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
39	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
40	35.8256	12.4791	2.8708	.0598	43.36	65.79	5.3692
41	749.9100	89.8280	8.3483	.0009	69.00	59.86	15.8331
42	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
43	226.5340	48.3127	4.6889	.0118	55.56	79.72	8.7185
44	11.3768	3.1240	3.6417	.0289	49.26	61.92	2.8543
45	2.9034	1.0506	2.7626	.0666	42.41	67.52	1.5181
46	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
47	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
48	7.0253	1.2702	5.5309	.0061	59.59	52.13	2.1620
49	2.0293	0.8143	2.4923	.0874	39.92	56.82	1.5882
50	3.7752	2.8048	1.3460	.2988	26.41	77.94	2.1488
51	0.3695	0.0233	15.8724	.0000	80.88	32.10	0.4755
52	0.8073	0.0340	23.7395	.0000	86.35	30.94	0.5960

<sup>1</sup> ND, No disponible.

**Cuadro A 8** Resumen del análisis de varianza de acuerdo al diseño completamente al azar para describir diferencias en la concentración de Mg en precipitación incidente y precipitación efectiva por evento.

Evento No.	Cuadrado medio		Estadístico F	Valor P	R <sup>2</sup> (%)	CV (%)	Media (mg/L)
	Tratamiento	Error					
1	ND <sup>1</sup>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2	4.2538	1.6634	2.5573	.0818	40.54	76.47	1.6865
3	21.9660	5.7130	3.8448	.0241	50.62	54.97	4.3481
4	1.2506	0.7494	1.6688	.2093	30.79	119.40	0.7250
5	0.2567	0.1117	2.2987	.1067	38.00	46.08	0.7253
6	0.7383	0.2240	3.2953	.0398	46.77	45.94	1.0303
7	0.5974	0.1352	4.4200	.0147	54.09	30.31	1.2130
8	0.3173	0.1543	2.0557	.1378	35.40	69.97	0.5614
9	0.1031	0.0176	5.8473	.0048	60.92	47.62	0.2786
10	0.0345	0.0167	2.0675	.1361	35.53	228.72	0.0565
11	0.0793	0.0110	7.2079	.0019	65.78	56.42	0.1859
12	0.0404	0.0190	2.1230	.1283	36.16	37.51	0.3675
13	0.0089	0.0096	0.9296	.4730	19.86	44.90	0.2182
14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15	0.0223	0.0114	1.9459	.1550	34.15	44.08	0.2422
16	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
17	0.0086	0.0031	2.7866	.0650	42.59	99.96	0.0557
18	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
19	0.1730	0.0295	5.8590	.0048	60.97	42.76	0.4017
20	0.3127	0.0383	8.1744	.0010	68.54	69.99	0.2796
21	0.0327	0.0058	5.6050	.0058	59.91	40.15	0.1897
22	0.0271	0.0054	5.0155	.0091	57.21	46.27	0.1588
23	0.0779	0.0225	3.4627	.0341	48.00	91.74	0.1635
24	0.0013	0.0003	4.9184	.0098	57.14	53.13	0.0326
25	0.0256	0.0011	23.7217	.0000	86.35	29.51	0.1124
26	0.0027	0.0014	1.9529	.1538	34.27	21.36	0.1752
27	0.0217	0.0021	10.5560	.0003	73.83	20.92	0.2191
28	0.2244	0.0400	5.6109	.0058	59.93	55.36	0.3613
29	0.5775	0.1954	2.8962	.0584	43.57	70.62	0.6259
30	16.8974	2.2040	7.6666	.0014	67.15	74.74	1.9863
31	0.8011	0.1798	4.4556	.0143	54.29	87.36	0.4854
32	0.2447	0.0192	12.7730	.0001	77.30	23.96	0.5782
33	1.9648	0.5842	3.3633	.0374	47.28	48.75	1.5678
34	0.0106	0.0029	3.6966	.0275	49.64	51.63	0.1043
35	0.0482	0.2680	1.7952	.1824	32.37	436.50	0.1186
36	0.0425	0.0068	6.2569	.0036	62.52	21.65	0.3808
37	0.1286	0.0292	4.4048	.0148	54.03	76.25	0.2241
38	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
39	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
40	5.1598	3.1772	1.6224	.2198	30.21	103.78	1.7176
41	16.7439	3.2682	5.1233	.0083	57.63	52.86	3.4198
42	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
43	15.3295	4.1089	3.7308	.0267	49.87	70.60	2.8713
44	3.4850	1.4117	2.4635	.0900	39.64	112.26	1.0584
45	0.3895	0.0927	4.1999	.0107	92.82	40.72	0.7477
46	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
47	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
48	0.5840	0.1241	4.7058	.0116	55.65	46.18	0.7629
49	0.0727	0.0264	2.7500	.0674	42.30	28.72	0.5658
50	0.8645	0.6061	1.4262	.2734	27.55	84.34	0.9231
51	0.0301	0.0039	7.7094	.0014	65.28	53.10	0.1176
52	0.0297	0.0009	32.2665	.0000	89.60	18.30	0.1639

<sup>1</sup>ND, No disponible.

**Cuadro A 9** Resumen del análisis de varianza de acuerdo al diseño completamente al azar para describir diferencias en la concentración de Na en precipitación incidente y precipitación efectiva por evento.

Evento No.	Cuadrado medio		Estadístico F	Valor P	R <sup>2</sup> (%)	CV (%)	Media (mg/L)
	Tratamiento	Error					
1	NM <sup>2</sup>	NM	NM	NM	NM	NM	NM
2	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM
3	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM
4	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM
5	2.1816	1.1183	1.9508	.1542	34.21	27.77	3.8086
6	2.7685	1.0468	2.6448	.0749	41.35	31.28	3.2706
7	6.4966	2.6081	2.4910	.0875	39.88	20.01	8.0717
8	2.9638	2.2525	1.3158	.3090	25.97	28.47	5.2722
9	0.1312	0.2174	0.6035	.6661	13.86	18.98	2.4570
10	0.6650	0.1382	4.8115	.0107	56.19	18.66	1.9927
11	0.5779	0.1486	3.8991	.0232	50.91	15.56	2.4769
12	1.0286	1.4970	0.6871	.6120	15.48	25.10	4.8743
13	1.2238	0.7486	1.6347	.2173	30.35	31.92	2.7102
14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15	0.4062	0.2244	1.8097	.1795	32.55	15.67	3.0225
16	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
17	0.4029	0.2562	1.5725	.2326	29.54	30.57	1.6557
18	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
19	0.2527	0.1979	1.2767	.3227	25.39	16.07	2.7687
20	0.5835	0.1653	3.5295	.0320	48.48	17.40	2.3360
21	0.3275	0.1268	2.5834	.0797	40.79	14.48	2.4590
22	0.2172	0.1401	1.5510	.2382	29.25	18.20	2.0568
23	0.0974	0.1554	0.6271	.6505	14.32	17.97	2.1932
24	0.1502	0.0311	4.8305	.0105	56.29	9.84	1.7913
25	0.0809	0.0640	1.2640	.3272	25.20	12.51	2.0218
26	0.0377	0.0293	1.2849	.3197	25.52	9.78	1.7497
27	0.2619	0.1026	2.5534	.0821	40.50	15.62	2.0512
28	1.6059	0.8826	1.8194	.1776	32.66	36.04	2.6066
29	3.2533	2.3738	1.3705	.2908	26.76	32.72	4.7095
30	18.9939	1.5604	12.1723	.0001	76.44	26.11	4.7848
31	0.2627	0.3722	0.7057	.6003	15.83	34.95	1.7458
32	6.6017	2.8025	2.3556	.1006	38.58	54.38	3.0784
33	4.6187	2.0658	2.2358	.1140	37.35	30.30	4.7438
34	0.0509	0.0353	1.4411	.2689	27.75	11.74	1.6006
35	0.1154	0.0493	2.3408	.1022	38.43	11.76	1.8888
36	0.2414	1.6106	0.1499	.9602	3.80	22.48	5.6444
37	0.1085	0.0460	2.3601	.1001	38.62	9.27	2.3149
38	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
39	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
40	4.1120	2.5717	1.5989	.2260	29.89	40.09	4.0002
41	38.6016	5.2051	7.4162	.0017	66.41	33.03	6.9080
42	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
43	8.7770	0.6008	14.6096	.0000	79.57	14.93	5.1914
44	0.8310	0.1281	6.4858	.0031	63.36	14.86	2.4092
45	0.2963	0.0565	5.2472	.0076	58.32	18.99	1.2514
46	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
47	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
48	2.4838	0.2716	9.1454	.0006	70.92	26.40	1.9742
49	0.1313	0.5161	0.2548	.9025	6.35	33.89	2.1199
50	0.4014	1.7852	0.2249	.9203	5.65	50.22	2.6606
51	0.4448	0.0896	4.9627	.0095	56.95	31.14	0.9611
52	0.4588	0.0586	7.8314	.0013	67.61	22.19	1.0908

<sup>1</sup> ND, No disponible.

<sup>2</sup> NM, No medido.



**Cuadro A 10** Resumen del análisis de varianza de acuerdo al diseño completamente al azar para describir diferencias en la concentración de Fe en precipitación incidente y precipitación efectiva por evento.

Evento No.	Cuadrado medio		Estadístico F	Valor P	R <sup>2</sup> (%)	CV (%)	Media (mg/L)
	Tratamiento	Error					
1	ND <sup>1</sup>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2	0.0028	0.0010	2.8066	.0637	42.80	63.88	0.0495
3	0.0056	0.0011	5.3157	.0072	58.60	46.91	0.0707
4	0.0018	0.0013	1.3813	.2873	26.90	104.21	0.0346
5	0.0002	0.0001	3.6823	.0279	49.50	59.52	0.0168
6	0.0018	0.0009	2.1124	.1298	36.00	73.17	0.0410
7	0.0059	0.0021	2.7840	.0652	42.60	65.65	0.0698
8	0.0040	0.0016	2.4711	.0893	39.70	62.89	0.0636
9	0.0106	0.0030	3.4635	.0340	48.00	95.76	0.0572
10	0.0001	0.0001	0.8253	.5293	18.00	312.5	0.0032
11	0.0004	0.0001	2.7331	.0686	42.40	133.33	0.0075
12	0.0002	0.0001	1.7160	.1988	31.40	94.34	0.0106
13	0.0013	0.0002	5.4614	.0064	59.30	70.36	0.0201
14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15	0.0005	0.0002	2.7900	.0648	42.70	118.84	0.0119
16	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
17	0.0002	0.0002	1.1711	.3603	23.90	152.07	0.0093
18	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
19	0.0016	0.0005	3.3387	.0382	47.10	44.10	0.0507
20	0.0013	0.0003	4.4108	.0148	54.00	36.46	0.0475
21	0.0006	0.0001	7.8088	.0013	67.60	40.16	0.0249
22	0.0006	0.0002	3.8892	.0232	50.90	59.42	0.0238
23	0.0009	0.0002	8.9036	.0007	70.40	42.47	0.0333
24	0.0000	0.0000	2.7756	.0657	42.50	0.00	0.0017
25	0.0003	0.0000	5.5447	.0061	59.70	0.00	0.0282
26	0.0006	0.0003	1.9369	.1565	34.10	46.94	0.0369
27	0.0001	0.0001	1.6618	.2109	30.70	57.14	0.0175
28	0.0004	0.0001	4.1195	.0900	52.30	32.05	0.0312
29	0.0003	0.0001	4.0138	.0208	51.70	75.19	0.0133
30	0.0035	0.0002	17.4508	.0000	82.30	36.64	0.0386
31	0.0007	0.0001	7.5767	.0015	66.90	38.02	0.0263
32	0.0001	0.0001	1.6914	.2042	31.00	94.34	0.0106
33	0.0003	0.0003	0.8804	.4989	19.00	36.24	0.0478
34	0.0000	0.0001	0.7347	.5825	16.40	52.91	0.0189
35	0.0003	0.0001	1.7745	.1865	32.10	30.21	0.0331
36	0.0160	0.0035	4.5255	.0135	54.70	41.99	0.1409
37	0.0008	0.0005	1.4848	.2562	28.40	53.49	0.0418
38	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
39	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
40	0.0001	0.0001	1.3714	.2905	26.80	58.82	0.0170
41	0.0005	0.0001	3.9134	.0227	51.10	41.67	0.0240
42	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
43	0.0003	0.0001	6.7242	.0026	64.20	28.33	0.0353
44	0.0007	0.0003	2.5731	.0805	40.70	56.98	0.0304
45	0.0006	0.0001	5.3329	.0071	58.70	19.31	0.0518
46	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
47	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
48	0.0005	0.0001	8.3357	.0010	69.60	62.89	0.0159
49	0.0002	0.0001	3.6193	.0295	49.10	77.52	0.0129
50	0.0007	0.0013	0.4933	.7409	11.60	138.68	0.0260
51	0.0000	0.0000	0.8944	.4914	19.30	0.00	0.0011
52	0.0004	0.0000	10.4632	.0003	73.60	0.00	0.0169

<sup>1</sup> ND, No disponible.



**Cuadro A 11** Resumen del análisis de varianza de acuerdo al diseño completamente al azar para describir diferencias en la concentración de Mn en precipitación incidente y precipitación efectiva por evento.

Evento No.	Cuadrado medio		Estadístico F	Valor P	R <sup>2</sup> (%)	CV (%)	Media (mg/L)
	Tratamiento	Error					
1	ND <sup>1</sup>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2	0.0131	0.0026	5.1289	.0083	57.80	51.87	0.0983
3	0.0157	0.0045	3.5193	.0323	48.80	42.97	0.1561
4	0.0007	0.0003	1.9430	.1555	34.10	52.49	0.0330
5	0.0009	0.0004	2.3390	.1023	38.40	44.44	0.0450
6	0.0011	0.0005	2.1027	.1311	35.90	52.61	0.0425
7	0.0029	0.0019	1.5282	.2443	29.00	168.30	0.0259
8	0.0009	0.0003	2.8798	.0593	43.40	65.11	0.0266
9	0.0004	0.0001	4.0368	.0204	51.80	44.05	0.0227
10	0.0001	0.0000	3.7239	.0269	49.80	0.00	0.0105
11	0.0001	0.0001	1.3541	.2961	26.50	178.57	0.0056
12	0.0000	0.0000	1.5278	.2444	28.90	0.00	0.0004
13	0.0000	0.0000	0.9887	.4435	20.90	0.00	0.0023
14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15	0.0000	0.0000	0.3896	.3896	22.80	0.00	0.0008
16	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
17	0.0000	0.0000	0.2952	.2952	26.60	0.00	0.0040
18	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
19	0.0006	0.0002	2.8060	.0638	42.80	55.46	0.0255
20	0.0002	0.0001	3.3817	.0367	47.40	37.59	0.0266
21	0.0000	0.0000	2.5839	.0796	40.80	0.00	0.0049
22	0.0000	0.0000	2.0610	.1369	35.50	0.00	0.0100
23	0.0000	0.0000	1.3095	.3111	25.90	0.00	0.0081
24	0.0000	0.0000	0.8168	.5341	17.90	0.00	0.0032
25	0.0000	0.0000	8.2270	.0010	68.70	0.00	0.0013
26	0.0000	0.0000	6.2167	.0037	62.40	0.00	0.0051
27	0.0000	0.0000	7.1112	.0020	65.50	0.00	0.0055
28	0.0001	0.0000	5.7178	.0053	60.40	0.00	0.0064
29	0.0001	0.0000	1.1683	.3638	23.80	0.00	0.0032
30	0.0009	0.0002	5.8987	.0047	61.10	133.42	0.0106
31	0.0002	0.0000	5.7074	.0054	60.30	0.00	0.0079
32	0.0000	0.0000	9.9724	.0004	72.70	0.00	0.0038
33	0.0006	0.0001	6.0626	.0041	61.80	64.52	0.0155
34	0.0000	0.0000	2.8850	.0590	43.50	0.00	0.0026
35	0.0000	0.0000	3.3913	.0364	47.50	0.00	0.0057
36	0.0000	0.0000	1.9218	.1590	33.90	0.00	0.0042
37	0.0000	0.0000	13.8624	.0001	78.70	0.00	0.0025
38	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
39	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
40	0.0001	1.5063	1.5063	.2502	28.70	20119.90	0.0061
41	0.0001	0.7583	0.7583	.5638	16.80	6547.40	0.0133
42	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
43	0.0001	1.5303	1.5303	.2437	29.00	10851.34	0.0114
44	0.0000	1.9827	1.9827	.1490	34.00	61221.03	0.0023
45	0.0000	0.5880	0.5880	.6763	13.60	24735.86	0.0031
46	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
47	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
48	0.0000	1.9174	1.9174	.1598	33.80	41960.67	0.0033
49	0.0000	9.3092	9.3092	.0005	71.30	74417.03	0.0041
50	0.0001	0.8155	0.8155	.5348	17.90	6227.93	0.0145
51	0.0000	0.9293	0.9293	.4731	19.90	17851.89	0.0054
52	0.0000	2.1176	2.1176	.1291	36.10	24253.29	0.0060

<sup>1</sup> ND, No disponible.

**Cuadro A 12** Resumen del análisis de varianza de acuerdo al diseño completamente al azar para describir diferencias en la concentración de Cu en precipitación incidente y precipitación efectiva por evento.

Evento No.	Cuadrado medio		Estadístico F	Valor P	R <sup>2</sup> (%)	CV (%)	Media (mg/L)
	Tratamiento	Error					
1	ND <sup>1</sup>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2	0.0036	0.0007	5.0391	.0089	57.30	49.83	0.0531
3	0.0329	0.0119	2.7581	.0669	42.40	68.26	0.1598
4	0.0018	0.0002	8.1289	.0011	68.40	41.47	0.0341
5	0.0022	0.0022	1.0356	.4212	21.60	83.91	0.0559
6	0.0003	0.0001	2.5816	.0798	40.80	68.03	0.0147
7	0.0020	0.0025	0.7788	.5561	17.20	82.10	0.0609
8	0.0119	0.0023	5.0949	.0085	57.60	64.20	0.0747
9	0.0003	0.0002	1.5143	.2480	28.80	68.32	0.0207
10	0.0036	0.0014	2.5613	.0815	40.60	175.66	0.0213
11	0.0007	0.0005	1.2992	.3145	25.70	221.39	0.0101
12	0.0000	0.0000	1.0968	.3938	22.60	0.00	0.0014
13	0.0003	0.0000	7.9008	.0012	67.80	0.00	0.0099
14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15	0.0000	0.0000	3.0491	.0503	44.80	0.00	0.0048
16	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
17	0.0000	0.0000	0.9543	.4604	20.30	0.00	0.0004
18	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
19	0.0001	0.0000	1.0986	.3930	22.70	0.00	0.0093
20	0.0001	0.0000	1.7457	.1924	31.80	0.00	0.0065
21	0.0000	0.0000	3.9339	.0223	51.20	0.00	0.0047
22	0.0001	0.0000	2.3176	.1046	38.20	0.00	0.0081
23	0.0001	0.0000	3.8043	.0250	50.40	0.00	0.0065
24	0.0000	0.0000	1.2435	.3347	24.90	0.00	0.0029
25	0.0001	0.0001	0.7132	.5957	16.00	277.78	0.0036
26	0.0000	0.0001	1.2773	.3224	25.40	833.33	0.0012
27	0.0001	0.0001	1.2437	.3347	24.90	196.08	0.0051
28	0.0004	0.0001	3.7310	.0267	49.90	95.24	0.0105
29	0.0001	0.0000	3.6336	.0291	49.90	0.00	0.0055
30	0.0012	0.0001	13.4589	.0001	78.20	58.48	0.0171
31	0.0001	0.0000	5.4581	.0065	59.30	0.00	0.0054
32	0.0000	0.0000	2.5085	.0860	40.10	0.00	0.0033
33	0.0004	0.0001	2.4571	.0906	39.60	34.01	0.0294
34	0.0000	0.0000	1.4207	.2751	27.50	0.00	0.0008
35	0.0001	0.0001	0.7742	.5588	17.10	158.73	0.0063
36	0.0040	0.0008	5.2292	.0077	58.20	76.65	0.0369
37	0.0001	0.0001	1.4416	.2688	27.80	87.72	0.0114
38	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
39	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
40	0.0001	0.0000	2.1602	.1234	36.50	0.00	0.0104
41	0.0001	0.0000	3.2787	.0412	46.50	0.00	0.0082
42	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
43	0.0001	0.0000	8.9515	.0007	70.50	0.00	0.0086
44	0.0000	0.0000	2.5855	.0795	40.80	0.00	0.0054
45	0.0000	0.0000	3.0890	.0484	45.20	0.00	0.0035
46	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
47	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
48	0.0000	0.0000	1.7243	.1970	31.50	0.00	0.0022
49	0.0000	0.0000	2.5363	.0836	40.30	0.00	0.0006
50	0.0001	0.0000	2.3813	.0980	38.80	0.00	0.0063
51	0.0000	0.0000	1.3515	.2970	26.50	0.00	0.0016
52	0.0000	0.0000	9.8259	.0004	72.40	0.00	0.0045

<sup>1</sup> ND, No disponible.

**Cuadro A 13** Resumen del análisis de varianza de acuerdo al diseño completamente al azar para describir diferencias en la concentración de Zn en precipitación incidente y precipitación efectiva por evento.

Evento No.	Cuadrado medio		Estadístico F	Valor P	R <sup>2</sup> (%)	CV (%)	Media (mg/L)
	Tratamiento	Error					
1	ND <sup>1</sup>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2	0.0042	0.0019	2.1716	.1219	36.70	59.71	0.0730
3	0.0165	0.0243	0.6795	.6168	15.30	88.72	0.1757
4	0.0032	0.0019	1.7218	.1975	31.50	68.21	0.0639
5	0.0010	0.0003	3.7080	.0272	49.70	88.37	0.0196
6	0.0001	0.0001	1.1237	.3822	23.10	67.11	0.0149
7	0.0010	0.0005	1.9226	.1589	33.90	64.63	0.0346
8	0.0004	0.0004	0.9182	.4789	19.70	61.92	0.0323
9	0.0005	0.0004	1.3629	.2932	26.70	100.00	0.0200
10	0.0000	0.0000	0.9711	.4521	20.60	0.00	0.0004
11	0.0009	0.0002	4.0746	.0197	52.10	94.91	0.0149
12	0.0001	0.0000	3.3044	.0395	46.80	0.00	0.0033
13	0.0000	0.0000	1.9444	.1552	34.10	0.00	0.0018
14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15	0.0000	0.0000	3.9594	.0218	51.40	0.00	0.0023
16	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
17	0.0000	0.0000	0.8318	.5256	18.20	0.00	0.0014
18	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
19	0.0000	0.0000	0.4491	.7715	10.70	0.00	0.0050
20	0.0001	0.0000	3.9260	.0224	51.10	0.00	0.0136
21	0.0000	0.0000	6.5925	.0029	63.70	0.00	0.0027
22	0.0000	0.0000	1.0784	.4018	22.30	0.00	0.0053
23	0.0000	0.0000	2.3091	.1055	38.10	0.00	0.0080
24	0.0000	0.0000	1.5763	.2316	29.60	0.00	0.0013
25	0.0000	0.0000	13.6565	.0001	78.50	0.00	0.0140
26	0.0001	0.0000	8.9330	.0007	70.40	0.00	0.0126
27	0.0000	0.0000	4.3920	.0151	53.90	0.00	0.0105
28	0.0000	0.0000	3.4163	.0356	47.70	0.00	0.0089
29	0.0014	0.0005	2.7259	.0691	42.10	91.27	0.0245
30	0.0038	0.0007	5.1403	.0082	57.80	66.48	0.0398
31	0.0001	0.0000	3.7922	.0253	50.30	0.00	0.0085
32	0.0009	0.0001	7.5430	.0015	66.80	87.72	0.0114
33	0.0001	0.0000	2.7688	.0662	42.50	0.00	0.0182
34	0.0000	0.0000	3.0360	.0510	44.70	0.00	0.0008
35	0.0000	0.0000	0.3666	.8287	8.90	0.00	0.0041
36	0.0000	0.0000	0.6877	.6116	15.50	0.00	0.0048
37	0.0000	0.0000	1.7607	.1893	32.00	0.00	0.0059
38	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
39	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
40	0.0000	0.0000	2.8394	.0617	43.10	0.00	0.0017
41	0.0013	0.0013	1.0368	.4207	21.70	222.56	0.0162
42	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
43	0.0000	0.0000	1.4173	.2761	27.40	0.00	0.0087
44	0.0000	0.0000	2.2375	.1138	37.40	0.00	0.0027
45	0.0000	0.0000	3.7306	.0267	49.90	0.00	0.0132
46	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
47	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
48	0.0001	0.0000	1.2397	.3362	24.80	0.00	0.0117
49	0.0002	0.0001	3.9527	.0219	51.30	65.36	0.0153
50	0.0001	0.0001	0.6109	.6612	14.00	59.52	0.0168
51	0.0000	0.0000	1.3933	.2835	27.10	0.00	0.0086
52	0.0000	0.0000	9.8396	.0004	72.40	0.00	0.0089

<sup>1</sup>ND, No disponible.

**Cuadro A 14** Resumen del análisis de varianza de acuerdo al diseño completamente al azar para describir diferencias de pH en precipitación incidente y precipitación efectiva por evento.

Evento No.	Cuadrado medio		Estadístico F	Valor P	R <sup>2</sup> (%)	CV (%)	Media
	Tratamiento	Error					
1	ND <sup>1</sup>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2	0.2532	0.6381	0.3967	.8079	9.56	15.24	5.2405
3	0.5534	0.0515	10.7541	.0003	74.14	4.04	5.6120
4	0.3996	0.0457	8.7496	.0007	69.99	3.58	5.9700
5	0.0563	0.0113	4.9945	.0092	57.10	1.85	5.7600
6	0.0300	0.0093	3.2081	.0432	46.09	1.51	6.3795
7	0.0743	0.0286	2.5953	.0787	40.89	2.61	6.4865
8	0.2455	0.0441	5.5615	.0060	59.72	3.45	6.0820
9	0.3843	0.0238	16.1564	.0000	81.16	2.33	6.6195
10	0.1361	0.0048	28.2037	.0000	88.26	0.99	6.9680
11	0.1154	0.0079	14.5978	.0000	79.56	1.27	6.9940
12	0.2081	0.0040	51.4475	.0000	93.20	0.86	7.3845
13	0.0180	0.0136	1.3277	.3049	26.14	1.61	7.2485
14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15	0.0150	0.0103	1.4544	.2650	27.64	1.41	7.1765
16	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
17	0.0549	0.0598	0.9170	.4795	19.64	3.60	6.7930
18	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
19	0.0989	0.0135	7.3310	.0018	66.15	1.80	6.4560
20	0.7257	0.6349	1.1430	.3742	23.35	12.01	6.6335
21	0.0756	0.0185	4.0966	.0198	52.21	2.03	6.6850
22	0.2612	0.0372	7.0393	.0021	65.24	2.91	6.6390
23	0.7301	0.6237	1.1707	.3629	23.79	10.52	7.5040
24	0.5903	0.3794	1.5561	.2369	29.30	9.24	6.6680
25	0.4538	0.0705	6.4410	.0032	63.20	4.09	6.4970
26	0.4117	0.0330	12.4749	.0001	76.88	2.50	7.2675
27	0.1273	0.1761	0.7226	.5899	16.15	6.80	6.1715
28	0.3000	0.0833	3.6000	.0300	48.97	4.33	6.6700
29	0.1349	0.0140	9.6196	.0005	71.94	1.71	6.9365
30	0.4364	0.0129	33.9097	.0000	90.04	1.58	7.1920
31	0.1569	0.0298	5.2654	.0084	60.07	2.60	6.6358
32	1.0046	0.2638	3.8033	.0249	50.38	8.09	6.3475
33	0.6934	0.0444	15.6081	.0000	80.62	3.19	6.6000
34	0.0798	0.0131	6.0931	.0041	61.90	1.77	6.4490
35	2.0495	0.1257	16.3107	.0000	81.30	5.99	5.9145
36	0.2294	0.0208	11.0498	.0002	74.65	1.99	7.2590
37	0.5081	0.0265	19.1080	.0000	83.59	2.48	6.5660
38	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
39	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
40	1.0267	0.2606	3.9400	.0222	51.23	7.30	6.9900
41	0.3795	0.0581	6.5369	.0030	63.54	3.45	6.9855
42	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
43	0.4857	0.0286	17.0087	.0000	81.93	2.56	6.5980
44	2.1857	0.0626	34.9206	.0000	90.30	4.09	6.1190
45	0.0486	0.0107	4.5292	.0148	56.40	1.53	6.7426
46	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
47	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
48	0.3152	0.0406	7.7599	.0013	67.42	3.09	6.5195
49	0.0037	0.0107	0.3479	.8414	8.40	1.50	6.8860
50	0.0346	0.0461	0.7502	.5731	16.66	3.11	6.9020
51	0.3629	0.0654	5.5492	.0060	59.67	3.99	6.4065
52	0.0496	0.0161	3.0901	.0484	45.16	1.95	6.5035

<sup>1</sup> ND, No disponible.

**Cuadro A 15** Resumen del análisis de varianza de acuerdo al diseño completamente al azar para describir diferencias de CE en precipitación incidente y precipitación efectiva por evento.

Evento No.	Cuadrado medio		Estadístico F	Valor P	R <sup>2</sup> (%)	CV (%)	Media (mm)
	Tratamiento	Error					
1	ND <sup>1</sup>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2	83184.80	16624.78	5.0037	.0092	57.16	64.16	200.95
3	48941.20	11990.66	4.0816	.0196	52.11	37.94	288.60
4	3803.82	1519.70	2.5030	.0865	40.02	50.18	77.69
5	805.75	364.50	2.2105	.1170	37.08	29.04	65.75
6	4069.90	1401.72	2.9035	.0580	43.63	32.98	113.52
7	1622.80	464.53	3.4934	.0331	48.22	17.78	121.20
8	1575.22	675.38	2.3324	.1031	38.34	38.43	67.63
9	448.24	185.37	2.4180	.0943	39.20	25.88	52.61
10	897.23	159.90	5.6110	.0058	59.93	25.74	49.13
11	574.96	81.78	7.0300	.0021	65.21	22.56	40.09
12	144.68	72.09	2.0068	.1452	31.85	14.53	58.45
13	126.06	203.03	0.6209	.6546	14.20	33.11	43.03
14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15	119.45	120.82	0.9887	.4435	20.86	26.90	40.86
16	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
17	271.63	35.31	7.6913	.0014	67.22	47.20	12.59
18	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
19	567.25	213.83	2.6527	.0743	41.43	30.91	47.31
20	509.08	142.63	3.5691	.0309	48.76	47.13	25.34
21	60.93	31.02	1.9638	.1520	34.36	18.18	30.63
22	109.88	23.81	4.6150	.0125	55.17	20.49	23.81
23	124.56	43.70	2.8501	.0611	43.18	30.78	21.48
24	13.10	5.56	2.3537	.1008	38.56	36.33	6.49
25	32.20	7.93	4.0604	.0200	51.98	26.17	10.76
26	255.25	50.72	5.0325	.0090	57.30	35.64	19.98
27	205.00	11.99	17.0950	.0000	82.01	15.96	21.69
28	1187.46	418.73	2.8359	.0619	43.05	55.76	36.70
29	1380.38	410.67	3.3612	.0374	47.26	47.45	42.71
30	64799.17	8994.97	7.2039	.0019	65.76	64.06	148.06
31	4132.00	266.66	15.4950	.0000	81.57	56.58	28.86
32	353.10	59.74	5.9102	.0046	61.18	27.76	27.84
33	998.96	1012.40	0.9867	.4444	20.83	32.77	97.09
34	84.05	13.75	1.5308	.2436	28.98	56.79	6.53
35	63.59	28.39	2.2398	.1135	37.39	43.78	12.17
36	1664.17	340.95	4.8810	.0101	56.55	33.81	54.62
37	592.46	102.93	5.7558	.0052	60.55	38.93	26.06
38	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
39	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
40	11531.50	6172.33	1.8683	.1685	33.25	61.62	127.50
41	3552720.00	312371.35	11.3734	.0002	75.20	32.91	1698.41
42	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
43	17578.89	1800.96	9.7608	.0004	72.24	32.83	129.27
44	7432.55	1852.06	4.0131	.0208	51.69	81.43	52.85
45	95002.94	18358.07	5.1750	.0080	57.98	112.16	120.80
46	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
47	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
48	1706.28	312.10	5.4671	.0074	59.31	43.33	40.77
49	383.19	170.78	2.2437	.1130	37.43	21.47	60.86
50	2529.12	1052.03	2.4040	.0957	39.06	38.40	84.47
51	113.85	20.16	5.6449	.0056	60.08	41.88	10.72
52	179.67	7.88	22.7838	.0000	85.86	20.45	13.73

<sup>1</sup> ND, No disponible.

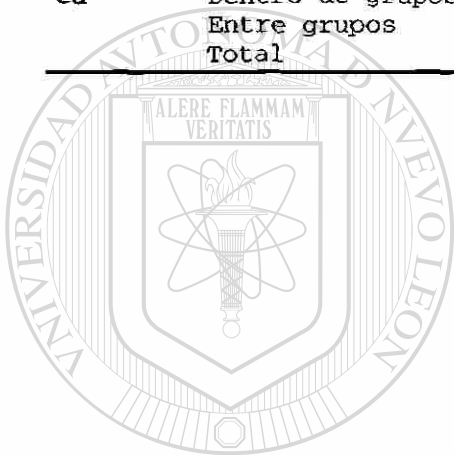
**Cuadro A 16** Análisis de varianza para describir la deposición de nutrientes minerales en las diferentes estaciones, vía precipitación y precipitación efectiva en las cuatro especies estudiadas.

Elemento	Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Estadístico F	Valor P	R <sup>2</sup> (%)
Ca	Estación	3	4978.519	35.60	0.0001	20.08
	Tratamientos	4	2315.578	16.56	0.0001	
	Est x Trat	12	432.281	3.09	0.0003	
	Residual	836	139.826			
	Total	855				
K	Estación	3	65.254	1.03	0.3768	6.05
	Tratamientos	4	531.518	8.42	0.0001	
	Est x Trat	12	91.484	1.45	0.1381	
	Residual	839	63.122			
	Total	858				
Mg	Estación	3	36.058	24.22	0.0001	15.57
	Tratamientos	4	20.488	13.76	0.0001	
	Est x Trat	12	3.360	2.26	0.0082	
	Residual	839	1.488			
	Total	858				
Na	Estación	3	57.334	16.52	0.0001	9.75
	Tratamientos	4	22.470	6.48	0.0001	
	Est x Trat	12	2.604	0.75	0.7021	
	Residual	781	3.470			
	Total	800				
Fe	Estación	3	0.0299	28.02	0.0001	18.29
	Tratamientos	4	0.0187	17.55	0.0001	
	Est x Trat	12	0.0030	2.82	0.0008	
	Residual	840	0.0010			
	Total	859				
Mn	Estación	3	0.0804	97.07	0.0001	29.47
	Tratamientos	4	0.0044	5.34	0.0003	
	Est x Trat	12	0.0318	3.20	0.0002	
	Residual	840	0.0008			
	Total	859				
Cu	Estación	3	0.0990	90.13	0.0001	29.31
	Tratamientos	4	0.0102	9.32	0.0001	
	Est x Trat	12	0.0037	3.38	0.0001	
	Residual	840	0.0010			
	Total	859				
Zn	Estación	3	0.0670	50.45	0.0001	17.60
	Tratamientos	4	0.0038	2.86	0.0227	
	Est x Trat	12	0.0018	1.39	0.1653	
	Residual	840	0.0013			
	Total	859				



**Cuadro A 17** Análisis de varianza para describir la deposición de nutrientes minerales que mostraron interacción significativa.

Elemento	Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Estadístico F	Valor P	R <sup>2</sup> (%)
<b>Ca</b>	Dentro de grupos	19	1546.5920	11.06	0.0001	20.08
	Entre grupos	836	139.8260			
	Total	855				
<b>Mg</b>	Dentro de grupos	19	12.1293	8.15	0.0001	15.57
	Entre grupos	829	1.4887			
	Total	858				
<b>Fe</b>	Dentro de grupos	19	0.0105	9.90	0.0001	18.29
	Entre grupos	840	0.0010			
	Total	859				
<b>Mn</b>	Dentro de grupos	19	0.0153	18.47	0.0001	29.47
	Entre grupos	840	0.0008			
	Total	859				
<b>Cu</b>	Dentro de grupos	19	0.0201	18.33	0.0001	29.31
	Entre grupos	840	0.0010			
	Total	859				



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS