

**DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ÁCIDO DE LAS PRECIPITACIONES EN  
INMEDIACIONES DEL RESGUARDO INDÍGENA DE LA SERRANÍA EL MAJUY EN COTA,  
CUNDINAMARCA Y SU EFECTO EN LÍQUENES DE LA ZONA**

**William Arístides Buitrago Guevara<sup>2</sup>**

**Mariana Guzmán Pinzón<sup>3</sup>**

**Johan Alexander Álvarez Berrio<sup>1</sup>**

Recibido el 16 de septiembre de 2016, aprobado el 27 de marzo de 2017, actualizado el 19 de diciembre de 2017

**DOI: 10.17151/luaz.2018.46.6**

## **RESUMEN**

La Serranía El Majuy ubicada en el municipio de Cota, Cundinamarca, es una formación montañosa con una alta relevancia ecológica, la cual debido al incesante crecimiento industrial en la sabana de Bogotá, principalmente en la sabana centro (sector de Siberia) puede sufrir alteraciones de tipo ambiental, paisajístico o sociocultural. El presente artículo explora la posible incidencia de la expansión industrial en el sector de Siberia, sobre las precipitaciones en inmediaciones del resguardo indígena de Cota, esto mediante pruebas fisicoquímicas (pH, nitritos, sulfatos y conductividad) y por medio de bioindicadores como los líquenes presentes en la zona (*Cetrelia sp.*, *Flavopunctelia sp.*, *Usnea sp.*, *hypotrachyna sp.*, *Xanthoparmelia sp.*, *Acarospora socialis sp.*, *Caloplaca chantolyta sp.*, *Caloplaca socialis sp.*, *Candelariella Xanthostigma sp.*), con los cuales se calculó el Índice de Diversidad Liquénica (LDV), índice de Shannon e Índice de Pureza Atmosférica (IPA). También se realizó un mapa de dispersión para la incidencia de la emisión atmosférica, con el cual se determinó que la Serranía El Majuy se podría presentar una concentración de contaminantes considerable pero se requiere de más datos para confirmar dicha afectación. La principal conclusión de esta investigación es que en general no se presenta un comportamiento ácido en las precipitaciones en la serranía El Majuy en el período de tiempo evaluado.

## **PALABRAS CLAVE**

Lluvia ácida, contaminación del aire, líquen, bioindicador.

## DETERMINING THE ACID RAINFALL BEHAVIOR IN THE VICINITY OF THE INDIGENOUS RESERVE IN THE SERRANIA EL MAJUY IN COTA, CUNDINAMARCA AND ITS EFFECT ON LICHENS IN THE AREA

### ABSTRACT

Serrania El Majuy, located in the municipality of Cota, Cundinamarca, is a mountainous formation with high ecological significance, which, due to continuous industrial growth in the savannah of Bogotá, mainly in the central savannah (Siberia sector) can undergo environmental, scenic or cultural alterations. This article explores the potential impact of industrial expansion in the Siberia sector on rainfall in the vicinity of the indigenous reserve of Cota, carried out using physic-chemical tests (pH, nitrites, sulfates and conductivity) and through bio-indicators as lichens present in the area (*Cetrelia sp.*, *Flavopunctelia sp.*, *Usnea sp.*, *hypotrachyna sp.*, *Xanthoparmelia sp.*, *Acarospora socialis sp.*, *Caloplaca chantolyta sp.*, *Caloplaca socialis sp.*, *Candelariella Xanthostigma sp.*), with which the Lichen Diversity Value (LDV) index, the Shannon index and the Atmospheric Purity Index (API) were calculated. A dispersion map was also made for the incidence of atmospheric emissions, with which it was determined that a significant pollutant concentration could be present in El Majuy mountain range but more data is required to confirm this affectation. The main conclusion of this research is that, in general, there is no acid behavior in rainfall in El Majuy mountain range in the period of time evaluated.

### KEYWORDS

Acid rain; Air pollution, Lichen, bio-indicator.

---

### INTRODUCCIÓN

La serranía El Majuy es una formación montañosa que abarca un área de 3.068 hectáreas, situada entre los 2.600 m.s.n.m. en la parte más baja, y 3.050 m.s.n.m., en la parte más alta (Fundación Cerros de Bogotá, 2013) sirve de límite natural entre los valles de Tenjo y Cota (Cundinamarca). La serranía se encuentra cubierta por un bosque andino que aún preserva ciertas zonas con vegetación nativa y otras zonas con sucesión secundaria debido a las diferentes actividades económicas que se desarrollan en la zona especialmente la industria y la ganadería (Mora, 2012).

El creciente desarrollo industrial de la sabana de Bogotá, especialmente en el corredor de la autopista Medellín, más exactamente en el sector de Siberia, jurisdicción del municipio de Cota, Cundinamarca, ha modificado el paisaje y la calidad ambiental de la zona y los ecosistemas cercanos (Alcaldía de Cota, 2014). Este corredor cuenta con aproximadamente 1.200 industrias registradas ante la Cámara de Comercio (Conde, 2013), las cuales generan emisiones de diferentes contaminantes atmosféricos como óxidos de azufre (SOX) y óxidos de nitrógeno (NOX), que de

acuerdo a la literatura son precursores de lluvia ácida y podrían afectar a la serranía El Majuy en el municipio de Cota.

La lluvia ácida se considera un fenómeno atmosférico en el cual las precipitaciones tienen compuestos ácidos, dichos compuestos se forman a partir de la emisión de contaminantes primarios (principalmente óxidos de nitrógeno y azufre) y mediante procesos atmosféricos y químicos. Los contaminantes atmosféricos que ayudan a formar la lluvia ácida no siempre son emitidos en el lugar en el que cae esta lluvia, sino que pueden recorrer grandes distancias debido a los vientos que los desplazan cientos o miles de kilómetros antes de caer a la Tierra (Castillo, 2005).

En Colombia, se han realizado diversos estudios acerca de la lluvia ácida mediante métodos convencionales (laboratorio) y no convencionales. Entre los estudios con métodos convencionales encontramos: el monitoreo de agua lluvia por parte del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) desde Programa de Vigilancia Global (GAW) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (IDEAM, 2010); el diagnóstico de la contaminación del aire y lluvia ácida para la ciudad de Manizales, en el cual se describe el fenómeno de lluvia ácida, su relación con los ecosistemas, su composición, entre otros aspectos (Vélez et al., 2010), la evaluación de la calidad del agua lluvia en Ibagué - Tolima para su posible aprovechamiento y uso doméstico (Ramírez y Ospina, 2014), lluvia ácida en la zona norte de Bogotá (García et al., 2003) y, por último, el artículo realizado por Gloria León de la universidad Nacional sobre las particularidades de la lluvia ácida en Santa Fe de Bogotá, teniendo en cuenta solo el parámetro pH para las localidades de Teusaquillo y Ciudad Bolívar (León, 2000)

Entre estudios realizados en Colombia con métodos no convencionales tenemos: la investigación de lluvia ácida en el sector de candelaria y sus efectos en materiales de construcción, centrándose en el efecto sobre la fachada de la Catedral Primada de Colombia (Caucalí et al., 2008), los efectos de la lluvia ácida sobre especies vegetales en el sector de la Candelaria (Acosta y Barahona, 2008).

Basados en lo anterior y en el estudio "Determinación del comportamiento ácido de las precipitaciones en La Hacienda Santa Helena, inmediaciones del cerro del Majuy en Cota, Cundinamarca y su efecto en especies líquénicas" (Acosta y Huertas, 2015), el presente estudio tuvo como objetivo determinar el posible comportamiento ácido de las precipitaciones en inmediaciones del resguardo indígena de la Serranía El Majuy, en el municipio de Cota, Cundinamarca; para ello se realizaron mediciones de pH, conductividad eléctrica, concentración de nitratos y concentración de sulfatos a muestras de agua lluvia.

Dentro de esa determinación del posible comportamiento ácido de las precipitaciones se seleccionaron algunas especies de líquenes como bioindicadores ya que estos son organismos o comunidades que presentan cambios en su morfología cuando son expuestos a la contaminación ambiental, dichos comportamientos pueden ser identificados frente a varios grados de alteración (Lijteroff et al., 2009). Cada agente contaminante incide de manera diferente en los seres vivos y ecosistemas, produciendo una respuesta particular conforme a la combinación, concentración y permanencia en el ambiente, por lo que el comportamiento de los bioindicadores frente a estas condiciones es indicio de cambios en la calidad ambiental (Rubiano y Chaparro, 2006).

En Colombia también se han desarrollado estudios con bioindicadores como: Comunidades líquénicas como bioindicadores de calidad del aire del Valle de Aburrá (Jaramillo y Botero, 2010), Líquenes como indicadores de contaminación en el complejo industrial de Betania y la Termoeléctrica de Zipaquirá, Cundinamarca (Rubiano, 1988), Mapa de estrés atmosférico de Cedritos (Bogotá) a partir de diversidad líquénica (García, 2004), y Líquenes como bioindicadores en el monitoreo de la calidad del aire (Rincón, 2012).

En el presente estudio fueron utilizadas como bioindicadores las siguientes especies de líquenes: *Cetrelia sp.*, *Flavopunctelia sp.*, *Hypotrachyna sp.*, *Xanthoparmelia lecanorales sp.*, *Acarospora socialis sp.*, *Caloplaca xantholyta sp.*, *caloplaca aurantia sp.* y *Candelariella Xanthostigma sp.*, debido a su sensibilidad a las alteraciones de la calidad del aire, calculándose el Índice de Diversidad de Liquéncia (LDV), el Índice de Shannon y el Índice de Pureza Atmosférica (IPA) para conocer la riqueza líquénica y calidad ambiental del área de estudio.

---

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación desarrollada es de tipo exploratorio y se llevó a cabo en la vereda El Abra, Cota, Cundinamarca, con el siguiente proceso metodológico:

### 1. Muestreo

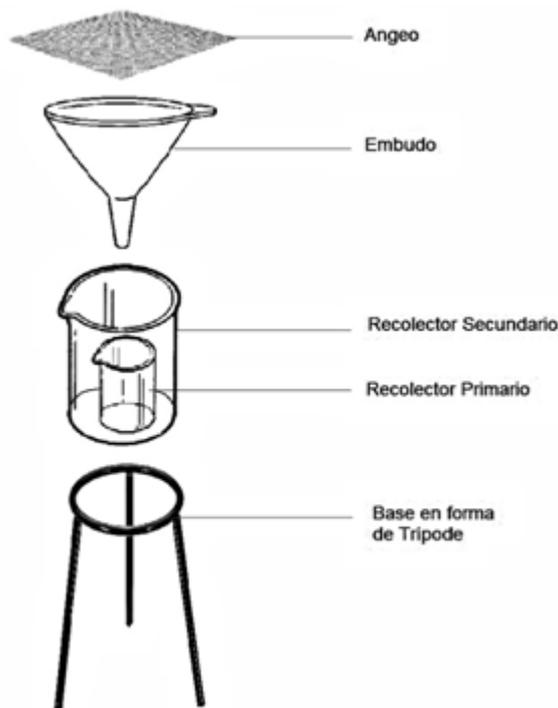
El muestro se realizó en el sector del Alto de la Cruz, Vereda El Abra, mediante la instalación de 11 estaciones como se muestra en la [figura 1](#). La zona de estudio se encuentra dentro de la Serranía El Majuy y colinda con el resguardo indígena ubicado en la misma. Los criterios de selección que se aplicaron para definir los puntos de muestreo fueron:

- Fácil acceso.
- Topografía moderadamente ondulada u ondulada.
- Espacio suficiente para instalar los instrumentos de muestreo.
- Seguridad para los equipos y elementos que se utilizan en el muestreo.
- Distancia entre estaciones superior a los 35 metros.



**Figura 1.** Localización de las estaciones de muestreo. Fuente: Los autores

Para cada una de las estaciones se construyó un pluviómetro similar al de una estación climatológica convencional (figura 2), el cual consta de las siguientes partes:



**Figura 2.** Montaje de las estaciones. Fuente: Los autores

La descripción de las estaciones de muestreo se presenta a continuación:

**Tabla 1.**

Estación	Descripción	Estación	Descripción
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Topografía: Levemente ondulada.</li> <li>- Vegetación: se observaron algunos arbustos y, especies vegetales como <i>Thunbergia alata</i> y <i>Acacia Negra</i> (<i>Acacia decurrens</i> Willd.).</li> <li>- Fauna: Animales domésticos.</li> </ul>	7	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Topografía: levemente ondulada.</li> <li>- Vegetación: se con algunos árboles de <i>Myrsine guianensi</i> y arbustos.</li> <li>- Fauna: ganado.</li> </ul>
	Elevación 2655 m.s.n.m		Elevación 2685 m.s.n.m
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ubicada dentro de la escuela indígena Ubamux.</li> <li>- Topografía: ondulada.</li> <li>- Vegetación: se observaron helechos marraneros (<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn.) y <i>Furcraea bedinghausii</i>.</li> <li>- Fauna: Animales silvestres.</li> </ul>	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Topografía: ondulada.</li> <li>- Vegetación: Existen algunos árboles cercanos de <i>Miconia squamulosa</i> y <i>Myrsine guianens</i>.</li> <li>- Fauna: Animales domésticos</li> </ul>

	Elevación 2609 m.s.n.m		Elevación 2694 m.s.n.m
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Topografía: levemente ondulada.</li> <li>- Vegetación: Se observan algunos árboles como Acacia Negra (<i>Acacia decurrens</i> Willd.).</li> <li>- Fauna: ganado y animales domésticos.</li> </ul>	9	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Topografía: levemente ondulada.</li> <li>- Vegetación: Existen pocos árboles cercanos de <i>Xylosma spiculifera</i> (Tul.) Triana &amp; Planch.</li> <li>- Fauna: animales de granja.</li> </ul>
	Elevación 2649 m.s.n.m		Elevación 2675 m.s.n.m
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Topografía levemente ondulada.</li> <li>- Vegetación: La zona presenta algunos árboles como <i>Myrsine guianensis</i> y <i>Miconia squamulosa</i>.</li> <li>- Fauna: Ganado.</li> </ul>	10	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Topografía: plana.</li> <li>- Vegetación: No se observaron árboles ni vegetación cercana.</li> <li>- Fauna: animales domésticos.</li> </ul>
	Elevación 2670 m.s.n.m		Elevación 2688 m.s.n.m
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Topografía: plana.</li> <li>- Vegetación: algunos árboles de <i>Myrsine guianensi</i>.</li> <li>- Fauna: Animales silvestres.</li> </ul>	11	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colinda con un criadero de cerdos.</li> <li>- Topografía: levemente ondulada.</li> <li>- Vegetación: Se observaron algunos árboles de <i>Miconia squamulosa</i> y <i>Myrsine guianens</i>.</li> <li>- Fauna: animales de granja.</li> </ul>
	Elevación 2679 m.s.n.m		Elevación 2681 m.s.n.m
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Topografía: levemente ondulada.</li> <li>- Vegetación: Aunque la zona de influencia cuenta con árboles, estos no contaban con líquenes.</li> <li>- Fauna: animales domésticos.</li> </ul>		
	Elevación 2698 m.s.n.m		

Fuente: Los autores.

El muestreo se realizó por un periodo de 3 meses. Las muestras fueron recolectadas en horas de la mañana después de presentarse un evento de precipitación.

A cada una de las muestras recolectadas se les realizaron mediciones de los siguientes parámetros fisicoquímicos:

**Tabla 2.**

Parámetro	Equipo	Medición
Acidez	Sonda Multiparamétrica	In situ
Conductividad específica	Sonda Multiparamétrica	In vitro
Concentraciones de iones de nitratos (NO <sub>3</sub> )	Espectrofotometro DR3900™ Hach	In vitro
Concentraciones de iones de sulfatos (SO <sub>3</sub> )	Espectrofotometro DR3900™ Hach	In vitro

Fuente: Los autores.

Las mediciones In Vitro se realizaron en el laboratorio de la Universidad de la Salle, sede Centro, Bogotá D.C.

## 2. Líquenes

El área de estudio es una zona que se encuentra altamente intervenida por el hombre, por lo cual se eligieron líquenes en dos sustratos: la corteza de los árboles y rocas.

En el caso de los árboles, para medir la cobertura por especie de liquen se empleó la metodología basada en la propuesta de Monge-Nájera en 2002. Se escogieron árboles con un diámetro superior a los 10 cm y sin presencia de alteraciones hechas por el hombre (manchas de pintura, daños en la corteza, etc.) (Jaramillo y Botero, 2010). En el caso de las rocas, se seleccionaron aquellas que presentarán poca intervención antrópica.

Se seleccionaron un total de 9 árboles y 4 rocas, los cuales cumplían con los requisitos anteriormente mencionados y fueron empleados para el cálculo del Índice de Diversidad Liquéncia (LDV), Índice de Shannon y el Índice de Pureza Atmosférica (IPA).

Para la identificación de las especies de líquenes presentes en la zona de estudio, se fotografiaron los líquenes que se observaron en los diferentes sustratos. A partir de dichas fotografías se inició una identificación visual de los líquenes a través de la comparación con bases de datos de diferentes instituciones (Canadian Museum of Nature, 2015; Consortium of North American Lichen

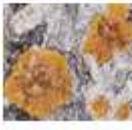
Herbaria, 2014; Northwest Lichenologists, 2014; United States Forest Service, 2015; Yale University Press, 2014) y la revisión de la literatura (Campos et al., 2008; Farias et al., 2012; Herrera y Lücking, 2002; Wirth et al., 2004).

Posterior a esto se recolectaron los especímenes con ayuda de un martillo geológico y una espátula siguiendo la metodología de Chaparro y Aguirre (2002). Posteriormente las muestras recolectadas se colocaron en bolsas de papel rotuladas para evitar la putrefacción y finalmente fueron transportadas en cajas de cartón rotuladas a la Universidad Santo Tomás, sede central en Bogotá D.C., donde se confirmó la identificación visual de los líquenes.

Los líquenes que se identificaron en la zona de estudio fueron:

**Tabla 3.**

Clasificación	Liquen	Características
Folioso		<b>Especie:</b> <i>Cetraria</i> sp. (Pavel et al., 2014; Wirth et al., 2004). <b>Area de ocupación (cm<sup>2</sup>):</b> 4305,8. <b>Clasificación:</b> Sensible. (George Manson University, s.f.).
		<b>Especie:</b> <i>Flavopunctelia</i> sp. (Chaves et al., s.f.). <b>Area de ocupación (cm<sup>2</sup>):</b> 752,2. <b>Clasificación:</b> Nitrofila y metales pesados. (George Manson University, s.f.), (Rincon, 2012).
		<b>Especie:</b> <i>Hypotrachyna</i> sp. (Chaves et al., s.f.). <b>Area de ocupación (cm<sup>2</sup>):</b> 193,9. <b>Clasificación:</b> Sensible. (George Manson University, s.f.).
		<b>Especie:</b> <i>Xanthoparmelia lecanorales</i> (Chaves et al., s.f.). <b>Area de ocupación (cm<sup>2</sup>):</b> 412,5. <b>Clasificación:</b> Metales pesados (K. Sweet, T. Zambo, T. Nash III).
Fruticoso		<b>Especie:</b> <i>Usnea</i> sp. 1 y sp. 2 (Chaves et al., s.f.). <b>Area de ocupación (cm<sup>2</sup>):</b> 62,9. <b>Clasificación:</b> Sensible especialmente al SO <sub>2</sub> . (Rincón, 2012; Hawksworth, et al., 2005).
		

Crustoso		<p><b>Especie:</b> <i>Acaropora socialis</i> sp. (North America Lichen Herbaria, s.f.).</p> <p><b>Area de ocupación (cm<sup>2</sup>):</b> 35,6.</p> <p><b>Clasificación:</b> Sensible a compuestos nitrogenados. (Hessom, 2012).</p>
		<p><b>Especie:</b> <i>Caloplaca xantholyta</i> sp. (Wirth et al., 2004).</p> <p><b>Area de ocupación (cm<sup>2</sup>):</b> 304,1.</p> <p><b>Clasificación:</b> --</p>
		<p><b>Especie:</b> <i>Caloplaca aurantia</i> sp. (Wirth et al., 2004).</p> <p><b>Area de ocupación (cm<sup>2</sup>):</b> 111,1.</p> <p><b>Clasificación:</b> Nitrófila, heliófila, termófila y xerófila. (Sounet et al., 2008; Garty et al., 1977).</p>
		<p><b>Especie:</b> <i>Candelariella Xanthostigma</i> (North America Lichen Herbaria, s.f.).</p> <p><b>Area de ocupación (cm<sup>2</sup>):</b> 2100,5.</p> <p><b>Clasificación:</b> -</p>

Fuente: Los autores.

También se identificó la especie *Usnea Protousneano* (*Protousnea poeppigii*), más conocido como barba de viejo; especie que no se utilizó para el cálculo del LDV, índice de Shannon e IPA, a pesar de encontrarse en la zona de estudio, ya que no fue posible aplicar las metodologías empleadas en este estudio debido a su dificultad para calcular las frecuencias y el área ocupada por la misma.

En las estaciones 6 y 10 no se encontraron forófitos que cumplieran con los requisitos establecidos para calcular el LDV ni el IPA, por lo cual no presentan resultados.

### 2.1 Cálculo del Índice de Diversidad Liquélica (LDV)

En el tronco de los árboles se colocaron mallas de 50 cm de largo por 10 cm de ancho; con subdivisiones cada 10 cm, cada una de estas puestas en orientación Norte, Sur, Oriente y Occidente, y a una altura de 50 cm (Riquelme, 2008), como se evidencia en la [figura 3](#).

En el caso de las rocas se emplearon mallas de 50 cm de largo por 10 cm de ancho; con subdivisiones cada 10 cm. Se colocó una malla por roca.

El LDV se calculó mediante la suma de las frecuencias de todas las especies de líquenes encontradas en cada forófito (árbol o roca). Las frecuencias obtenidas fueron sumadas separadamente por cada punto cardinal. Por lo tanto, por cada forófito hay cuatro sumas de frecuencias (Forófito i: SFiN, SFiS, SFiE y SFiO).



**Figura 3.** Mallas para el cálculo del LDV en árboles. Fuente: Los autores

Después se calculó la media aritmética de la suma de frecuencias (MSF) por cada estación de muestra  $j$  (Ecuación 1).

Ecuación 1.

Sumatoria de frecuencias por punto cardinal

$$MSF_j = \frac{(SF_i N1 + SF_i N2 + SF_i N3 + \dots + SF_i Nn)}{n}$$

Donde:

MSF: Suma de las frecuencias de cada árbol por punto cardinal.

SF: Suma de frecuencia de todas las especies encontradas en un mismo árbol.

$n$ : Número de árboles muestreados en la estación.

Por último se calculó el LDV mediante la Ecuación 2.

Ecuación 2.

Cálculo del LDV

$$LDV = (MSFN + MSFS + MSFO + MSFE)$$

Donde:

LDV: Índice de Diversidad Liquéncia.

MSFN: Suma de las frecuencias de cada árbol Norte.

MSFS: Suma de las frecuencias de cada árbol Sur.

MSFO: Suma de las frecuencias de cada árbol Oeste.

MSFE: Suma de las frecuencias de cada árbol Este.

Para el cálculo del LDV general de la zona de estudio y el LDV de la estación 3; se utilizó un promedio ponderado, empleando como factor la cantidad de cuadros de la malla que posee cada forófito.

## 2.2 Cálculo Índice de Pureza Atmosférica (IPA)

Para el cálculo del índice de pureza atmosférica (IPA), se empleó una cuadrilla en acetato de 10 cm de largo por 10 cm de ancho con subdivisiones cada 1 cm, midiendo sobre el área con mayor población liquénica, basados en las cuadrillas y los cuadrantes del índice de LDV.

El IPA se calculó con la siguiente ecuación (Jaramillo y Botero, 2010):

Ecuación 3.

Cálculo IPA

$$IPA = F_i / n_i$$

Dónde:

$F_i$ : Frecuencia

$n_i$ : Es el número de forófitos por estación.

Para mejorar el análisis y evaluación de los resultados del IPA se calcularon y establecieron los siguientes rangos:

Tabla 4.

Nombre	Valor
<b>Ausencia</b>	menor a 6,41
<b>Presencia Baja</b>	entre 6,41 - 12,83
<b>Presencia Moderada</b>	entre 12,83 - 19,25
<b>Presencia Alta</b>	entre 19,25 - 25,67

Fuente: Los autores

### 2.3 Cálculo Índice de Shannon

Para el cálculo del índice de Shannon se empleó la siguiente ecuación (Rincón, 2012):

Ecuación 3.

#### **Cálculo Índice de diversidad de Shannon**

$$H = -\sum P_i (\ln P_i)$$

Donde:

H= Índice de diversidad de Shannon

Pi= ni/nT

ni= número de cuadros de la cuadrícula ocupados por un taxón

nT= número total de cuadros

### 3. Obtención de información meteorológica

Para obtener información climatológica de la zona de estudio, se instaló una estación meteorológica propiedad de la Universidad Santo Tomás en un predio privado a 40 m al noroeste de la estación N° 5, las coordenadas del punto fueron 4°48'49,56" N 74°6'38,79" W. La estación meteorológica midió y registro datos de las siguientes variables:

- Temperatura.
- Humedad.
- Precipitación.
- Velocidad y dirección del viento.

Los datos fueron tomados todos los días en horas de la mañana.

---

## RESULTADOS

### Comportamiento de la precipitación

Tomando como base los datos de la estación meteorológica instalada en la zona de estudio, se reportó que el valor total medio diario de precipitación fue de 8 mm, presentándose valores máximos diarios de precipitación de 15mm y valores mínimos de precipitación de 1mm. El valor mensual de precipitación fue de 52mm. Las precipitaciones se vieron influenciadas por el comportamiento del Fenómeno del Niño del año 2016, causando disminución en los eventos de precipitación.

### Comportamiento de la temperatura

Se presentó una temperatura media de 16°C, una temperatura máxima de 22°C y una mínima de 10°C. La temperatura de la zona de estudio también se vio afectada por el Fenómeno del Niño del año 2016.

### Comportamiento de la humedad relativa

El valor promedio de la humedad relativa durante el muestreo fue de 84%. El pico más alto de humedad fue 96% y el menor 76%.

Los principales datos meteorológicos se presentan a continuación:

Tabla 5.

Parámetro	Mes			Promedio total
	Marzo	Abril	Mayo	
Temperatura (°C)	18	15	16	16
Humedad (%)	79	87	86	84
Precipitación (mm)	33	78	45	52

Fuente: Los autores

### Comportamiento del viento

A partir de los datos obtenidos de velocidad y dirección del viento de la estación meteorológica ubicada en la zona de estudio y los datos de las estaciones de la CAR ubicadas en Tabio y el aeropuerto de Guaymaral se realizó la rosa de los vientos correspondiente (Figura 4).

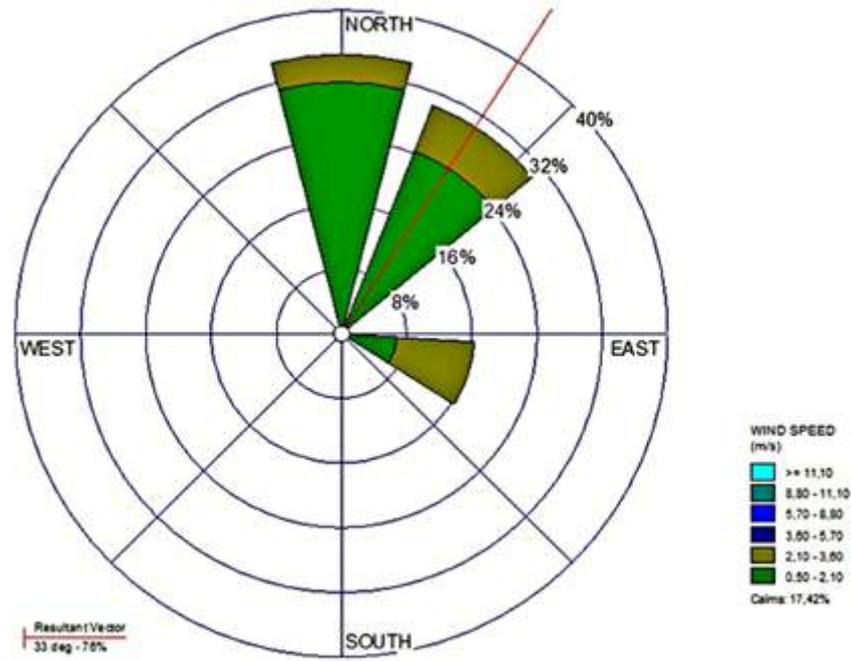


Figura 4. Rosa de los vientos. Fuente: Los autores

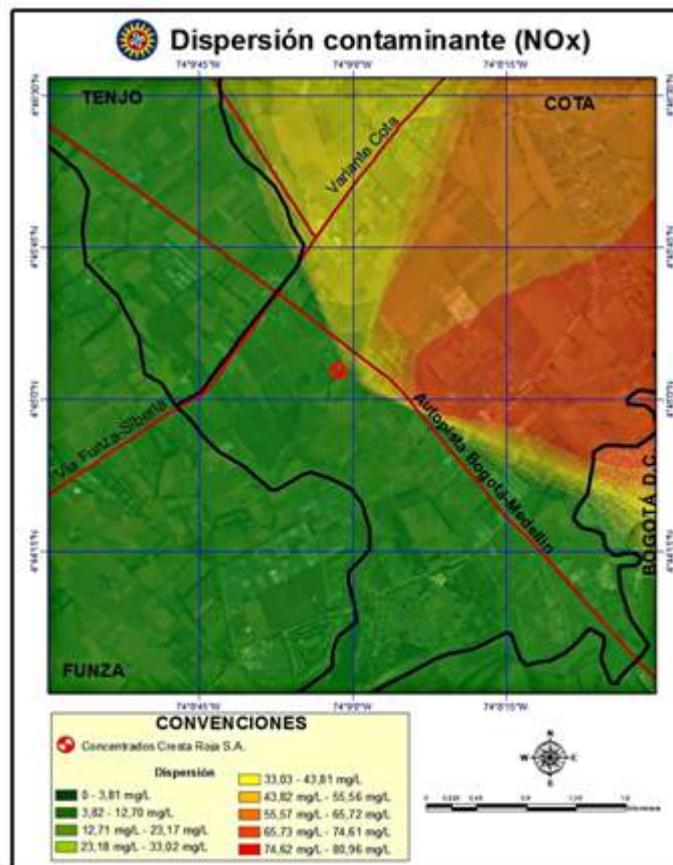


Figura 5. Mapa de dispersión de contaminante (NOx). Fuente: Los autores.

Con la anterior rosa de vientos y los datos de emisión de la empresa Concentrados Cresta roja S.A.4 proporcionados por la CAR, se realizó la modelación de dispersión de contaminante (NO<sub>x</sub>) desarrollándose el mapa de dispersión (Figura 5) a través del software arcGIS y el método de interpolación IDW (Inverse Distance Weight).

Del mapa anterior se concluye que durante el tiempo de muestreo existió una mayor dispersión de contaminantes hacia Bogotá y los municipios de la Sabana Centro, es decir Cota y sus alrededores, aunque cabe resaltar que las concentraciones de contaminantes no fueron altas. Se observa que se dio dispersión de contaminantes hacia la serranía El Majuy y el área de estudio por lo que existiría una afectación en la zona aunque se debe tener en cuenta que este es un estudio exploratorio y que el modelo de dispersión se realizó con datos de velocidad y dirección del viento del tiempo de muestreo, además de datos de emisión de una sola industria del sector de Siberia, por lo que para tener certeza la afectación y contaminación en el área de estudio se necesitan más datos del comportamiento del viento en la zona y contar con datos de emisión del sector de Siberia.

Los datos obtenidos de los parámetros fisicoquímicos de las precipitaciones fueron analizados con el programa SPSS, aplicando pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro – Wilk, con la cuales se verificó la distribución normal de los datos de cada una de las variables.

También se realizó un análisis ANOVA y de regresión lineal múltiple, planteando como variable dependiente al pH y como variables independientes a la conductividad, concentración de nitratos y sulfatos, con el fin de identificar la homogeneidad de los datos, la correlación entre las variables (Tabla 6) y plantear un modelo estadístico que permita conocer qué variables explican la acidez del agua lluvia.

**Tabla 6.**

Correlación	pH	Conductividad	Nitratos	Sulfatos
pH	1	0,089	-0,262	0,045

Fuente: Los Autores.

Como se observa en la tabla anterior, la variable que presenta una mayor relación con el comportamiento ácido de la lluvia sería la concentración de nitratos, aunque dicha relación es débil y negativa (inversamente proporcional a los valores de pH).

Por otra parte, las variables conductividad y concentración de sulfatos presentan una relación muy débil con respecto al pH. Al plantear el modelo estadístico se encontró que estas variables (conductividad y concentración de sulfatos) presentan una relación débil entre ellas.

Para determinar el comportamiento ácido de las precipitaciones del área de estudio se empleó la información de la siguiente tabla:

Tabla 7.

Parámetro	Valor	Característica
pH	< 5,6	Lluvia ácida
	5,6	Valor normal de la lluvia
	> 5,6	Lluvia básica
Conductividad	> 20 µs/cm	Lluvia ácida
Sulfatos	1 - 3 mg/L	Zona de baja contaminación
	3 - 8 mg/L	Zona de alta contaminación
Nitratos	0,4 - 1,3 mg/L	Zona de baja contaminación
	1,3 - 3 mg/L	Zona de alta contaminación

Fuente: Vélez et. al, 2010

### Comportamiento pH

Los datos obtenidos de pH durante el muestreo muestran que los datos no se encuentran demasiado dispersos entre sí (Figura 6). Los menores valores de pH se presentan en las estaciones 1 y 4 durante el mes 1 mientras que los más altos se presentaron en el mes 2 en las estaciones 2 y 10.

Durante los meses de muestreo la mayor cantidad de eventos de precipitación ocurrieron en el mes 2 y es en este mes donde se presentan los valores más altos de pH en la mayoría de estaciones.

Por el contrario, el mes 1 presentó la menor cantidad de eventos de precipitación, esto debido posiblemente a que durante este mes en el país se vivió con gran intensidad el Fenómeno del Niño.

De la información anterior, se realizaron mapas de variación de pH durante el muestreo (Anexo 1) y la distribución de pH en la zona de estudio (Anexo 5) a través del software arcGIS y el método de interpolación IDW (Inverse Distance Weight). En dichos mapas se evidencia como durante todo el muestreo la estación 1 es la que presenta los menores valores de pH en cada mes y en el valor promedio de pH con respecto a las demás estaciones, en cambio la estación 2 fue la que presentó los valores más altos de pH en todos los meses y por ende en el valor promedio de pH.

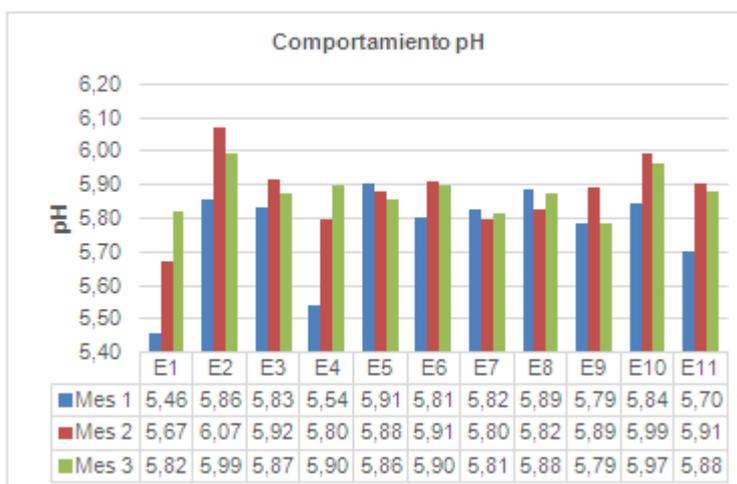


Figura 6. Comportamiento pH. Fuente: Los autores

### Comportamiento conductividad

Los datos obtenidos de conductividad durante el muestreo presentaron una alta dispersión entre sí (Figura 7). Los valores más altos de conductividad se presentaron en las estaciones 2 y 6 durante el mes 1 y la estación 1 en el mes 2, en cambio los menores valores de conductividad se presentaron en la estación 11 en el mes 3.

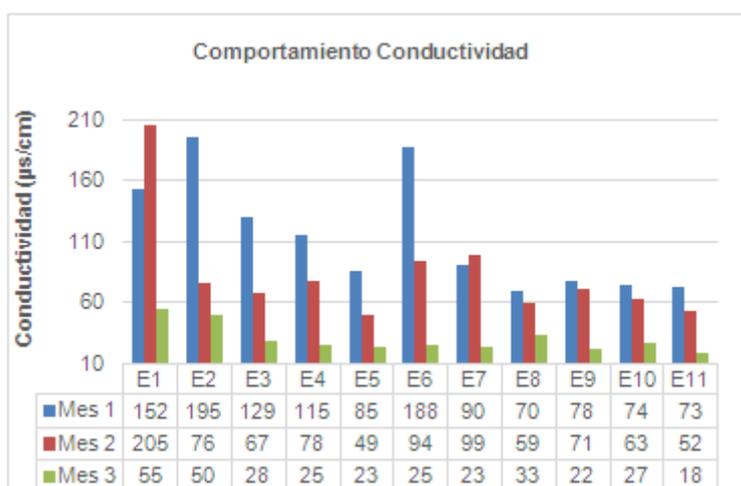


Figura 7. Comportamiento conductividad. Fuente: Los autores.

Los mayores valores de conductividad se presentaron en el mes 1 coincidiendo con la época más seca del muestreo. En cambio, los menores valores de conductividad se presentaron durante el mes 3. Durante el tiempo de muestreo los valores de conductividad fueron altos debido posiblemente a la cercanía de las estaciones a vías sin pavimento y a la dispersión de plaguicidas y fertilizantes en los cultivos y pastos cercanos a las estaciones.

De la información anterior, se realizaron mapas de variación de conductividad durante el muestro (Anexo 2) y la distribución de conductividad en la zona de estudio (Anexo 6) a través del software arcGIS y el método de interpolación IDW (Inverse Distance Weight). En dichos mapas se evidencia

como los valores de conductividad fueron descendiendo de manera sostenida durante los meses de muestreo en todas las estaciones exceptuando las estaciones 1 y 7, en las cuales se presentó un aumento de la conductividad del mes 1 al mes 2 pero luego descendieron en el mes 3. También se observa que la estación 1 es la que presenta los mayores valores de conductividad mientras que la estación 11 tiene los menores valores.

### Comportamiento concentración de Nitratos

Los datos obtenidos de la concentración de nitratos durante el muestreo presentaron una baja dispersión entre sí (Figura 8). Los valores más altos de la concentración de nitratos se presentaron en la estación 4 durante el mes 1, posiblemente influenciado por el uso de plaguicidas y la ganadería en los predios cercanos a la estación. En cambio el menor valor de concentración de nitratos se presentó en la estación 11 en el mes 1.

Los mayores valores de la concentración de nitratos se presentaron en los meses 2 y 3 coincidiendo con la época más húmeda del muestreo. En cambio, los menores valores de la concentración de nitratos se presentaron durante el mes 1.

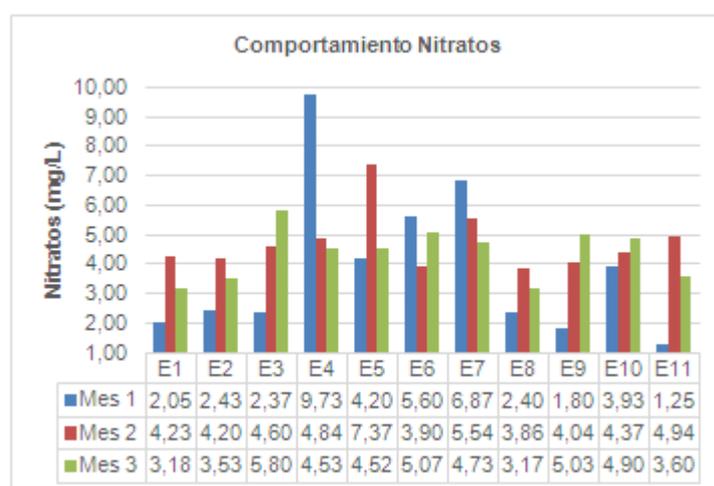


Figura 8. Comportamiento nitratos. Fuente: Los autores

De la información anterior se realizaron mapas de variación de la concentración de Nitratos durante el muestro (Anexo 3) y la distribución de concentración de Nitratos en la zona de estudio (Anexo 7) a través del software arcGIS y el método de interpolación IDW (Inverse Distance Weight). En dichos mapas se evidencia como los mayores valores de la concentración de nitratos se presentan en las estaciones 5 y 7, mientras que las estaciones 1 y 11 tiene los menores valores.

### Comportamiento concentración de Sulfatos

Con los datos obtenidos de la concentración de sulfatos durante el muestreo presentaron una baja dispersión entre sí (Figura 9). Los valores más altos de la concentración de sulfatos se presentaron en las estaciones 4 y 5 durante el mes 1, en cambio los menores valores de la concentración de sulfatos se presentaron en la estación 11 en el mes 1.

Los mayores valores de la concentración de sulfatos se presentaron en los meses 1 y 3 coincidiendo con la época más seca del muestreo. En cambio, los menores valores de la concentración de sulfatos se presentaron durante el mes 2.

De la información anterior, se realizaron mapas de variación de concentración de sulfatos durante el muestro (Anexo 4) y la distribución de concentración de Nitratos en la zona de estudio (Anexo 8) a través del software arcGIS y el método de interpolación IDW (Inverse Distance Weight). En dichos mapas se evidencia como los mayores valores de la concentración de nitratos se presentan en las estaciones 5 y 4, mientras que la estación 2 tiene los menores valores.

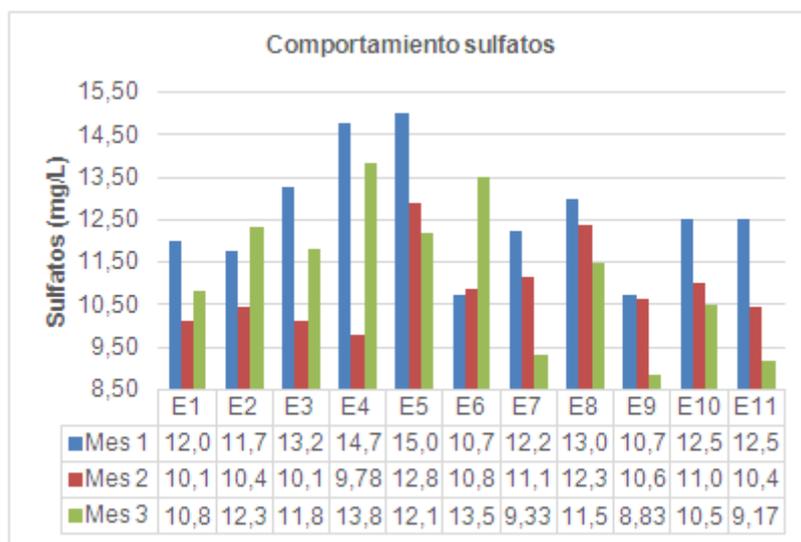


Figura 9. Comportamiento sulfatos. Fuente: Los autores

Los datos mensuales de pH, conductividad, concentración de nitratos y concentración de sulfatos se promediaron por estación, como se muestra a continuación:

Tabla 8.

Estación	pH	Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Nitratos (mg/L)	Sulfatos (mg/L)
1	5,65	137,51	3,16	10,98
2	5,97	106,7	3,39	11,51
3	5,88	74,73	4,26	11,73
4	5,74	72,63	6,37	12,79
5	5,88	52,47	5,36	13,35
6	5,87	102,2	4,86	11,71
7	5,81	70,9	5,71	10,91
8	5,86	53,9	3,14	12,29
9	5,82	57,05	3,62	10,07
10	5,93	54,41	4,4	11,33
11	5,83	47,9	3,26	10,7

Fuente: Los autores.

Se puede concluir que en ninguna de las estaciones se presentó lluvia ácida, aunque cabe aclarar que los valores presentados de conductividad, nitratos y sulfatos harían que la lluvia fuera ligeramente ácida. Además los valores de concentración de nitratos y sulfatos en el agua lluvia de la zona permitirían clasificarla como zona de alta contaminación, lo cual sería consistente con lo evidenciado en el mapa de dispersión realizado (Figura 5), pero inconsistente con la presencia de algunos de los líquenes identificados en la zona ya que éstos son sensibles a altos valores de contaminación, por lo que se requiere de continuar con el muestreo para contar con una serie de datos más amplia y poder llegar a conclusiones precisas sobre la contaminación en el área de estudio.

También hay que tener en cuenta que los altos valores presentados en las concentraciones de sulfatos y nitratos podrían explicarse por interferencias o por poco efecto de lavado atmosférico (ya que existió baja frecuencia de precipitación, debido al fenómeno El Niño que vivió Colombia durante el muestreo y tal vez la poca eficiencia en la transformación química de los contaminantes en la gota).

#### Índice de Diversidad Liquélica (LDV)

Los resultados del LDV obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 9.

Estación	LDV	LDV	LDV
	Marzo	Abril	Mayo
1	15	16	16
2	5	5	4,5
3	20	21,6	21,6
4	14,5	15	15
5	25	26	26
6	-	-	-
7	10	12	12
8	11	11	11
9	10	10	10
10	-	-	-
11	22,5	24,5	24,5

Fuente: Los autores.

En la tabla anterior se evidencia que en la mayoría de las estaciones monitoreadas se presentó un crecimiento liquénico, en el mes que se evidencia en el incremento de la cobertura por unidad de área y según la metodología de cuadrantes, de abril. Por el contrario, en el mes de mayo las comunidades liquénicas no presentaron variaciones (no se observó crecimiento ni cambios en las mismas), exceptuando las de la estación 2 que decrecieron, probablemente por la intervención humana en la zona, especialmente el tránsito de los guardias de seguridad durante sus rondas de patrullaje.

Las estaciones con los valores más altos en el conteo de líquenes fueron las estaciones 3 y 11, que fueron las que se encontraban más alejadas de la vía y de la intervención humana, por el contrario la estación 2 presentó la menor cantidad de líquenes debido a que se encuentra en la zona más intervenida por el hombre. Las estaciones 6 y 10 no presentan resultados debido a que no se encontraron forófitos que cumplieran con los requisitos establecidos para calcular el LDV. También hay que tener en cuenta que la mayor cantidad de especies de líquenes se encontraron en la superficie de las rocas pero la mayor cobertura de líquenes se encontró en las cortezas de los árboles seleccionados.

#### Índice de Pureza Atmosférica (IPA)

Los resultados obtenidos del IPA fueron los siguientes:

Tabla 10.

Estación	IPA MARZO	IPA ABRIL	IPA MAYO
1	15	16	16
2	5	5	4,5
3	15,6	16,5	16,5
4	14,5	15	15
5	25	26	26
6	-	-	-
7	10	12	12
8	11	11	11
9	10	10	10
10	-	-	-
11	22	23,5	23,5

Fuente: Los autores.

A partir de la información anterior se realizó un mapa de distribución del IPA ([Anexo 9](#)) a través del software arcGIS y el método de interpolación IDW (Inverse Distance Weight), con el cual se pudo establecer que las estaciones 5 y 11 son las que poseen los valores más altos del IPA, son las estaciones con la menor afectación y mayor cobertura y frecuencia de líquenes al igual que una buena calidad atmosférica y ambiental. Las estaciones 1, 3 y 4 presentan una cantidad liquénica moderada y, las estaciones 2, 7, 8 y 9 cuentan con una baja presencia de líquenes, indicando una baja calidad atmosférica y ambiental en dichas estaciones además hay que tener en cuenta que el área de estudio es una zona altamente intervenida por el hombre y en la que se observa una sucesión ecológica. Las estaciones 6 y 10 no presentan resultados debido a que no se encontraron forófitos que cumplieran con los requisitos establecidos para calcular el IPA.

### Índice de Shannon

Se calculó el índice de Shannon obteniendo un valor de 1.38, por lo que podría afirmarse que existe poca diversidad de líquenes en la zona de estudio teniendo en cuenta que el índice de Shannon varía de 1 a 5 (Magurran, 2004), también el valor obtenido nos permitiría inferir que el ecosistema de la zona de estudio tiende a ser homogéneo, evidencia de ello es la presencia de las dos especies del género parmeliace (*Cetrelia sp.* y *Flavopunctelia sp.*) en el sustrato corteza.

## DISCUSIÓN

Con base a lo expuesto a lo largo del documento, en general las precipitaciones en el área de estudio no presentaron un comportamiento ácido lo cual no permitió confirmar la hipótesis inicial de que en la zona se presentaban lluvias ácidas. También se encontró que la influencia de la calidad atmosférica de Bogotá D.C. y de la zona industrial del corredor de la autopista Bogotá-Medellín no es considerable en la zona de estudio debido a la presencia de especies líquénicas de categoría sensible a la contaminación atmosférica.

En el sector de la vereda El Abra en Cota, Cundinamarca, no es ácida debido a que su pH oscila entre 5,46 y 6,07; al compararlo con el estudio "Determinación del comportamiento ácido de las precipitaciones en La Hacienda Santa Helena, inmediaciones del cerro del Majuy en Cota, Cundinamarca y su efecto en especies líquénicas" (Acosta y Huertas, 2015) en la vereda El Abra las precipitaciones presentan un comportamiento más ácido que en la Hacienda Santa Helena ya que en esta última los valores de pH oscilaron entre 5,98 y 7,01. Además de que el área de influencia del presente estudio se encontró dentro del reguado indígena de Cota, y las estaciones se instalaron a mayores altitudes que en la Hacienda Santa Helena.

Respecto a los valores de conductividad, estos oscilan entre  $1,67e+4$  y  $7,57e+4$   $\mu\text{s/cm}$  para la Hacienda Santa Helena, mientras que para el presente estudio fue de 18,3 y 205  $\mu\text{s/cm}$ , siendo los primeros más altos que los del presente estudio.

De acuerdo con los datos obtenidos por el estudio en la Hacienda Santa Helena los valores de nitritos son más bajos que los del presente estudio, ya que sus valores variaron entre 0 y 4,4 mg/l, frente a valores obtenidos que variaron de 1,2 a 9,7 mg/l.

En el presente estudio se determinó el parámetro de sulfatos con valores que oscilan entre 8,83 y 15 mg/L, el estudio realizado en la Hacienda Santa Helena no tuvo en cuenta este parámetro como tampoco el índice de Shannon.

En cuanto a los bioindicadores en el presente estudio se encontraron 4 especies Cortícolas (*Cetrelia sp.*, *Flavopunctelia sp.*, *Usna sp1.*, *candelariela xanthostigma sp.*) frente a las 4 especies en el estudio mencionado, pero a diferencia del estudio anterior el presente estudio tuvo en cuenta otro sustrato (roca), en el cual se presentó un número de 6 especies (*Hypotrachyna sp.*, *Xanthoparmelia lecanorales sp.*, *Usnea sp2.*, *Acarospora socialis sp.*, *Caloplaca xantholyta sp.*, *Caloplaca aurantia sp.*); por lo que se concluye que existe una mayor cantidad (diversidad) especies en el sustrato roca que en el sustrato corteza.

El mayor valor presentado del Índice de Diversidad Líquénica para el presente estudio fue de 24,5 (estación 11) mientras que para el estudio de la Hacienda Santa Helena fue de 25,33 (estación 5), aunque los resultados del LDV en ambos estudios fueron similares cabe resaltar que en el Alto de la Cruz se encontraron una mayor cantidad de especies de líquenes sin embargo en la Hacienda Santa Helena se hallaron más forófitos y por ende se contó con una mayor cobertura líquénica.

De acuerdo a lo expuesto en esta discusión se encuentra que la Hacienda Santa Helena presenta niveles bajos de contaminación respecto al área del presente estudio, esto tal vez se pueda explicar por medio de microclimas que generen depósitos de contaminantes; también se puede establecer que la diferencia puede estar influenciada por la actividad que se genere en el lugar, ya que la hacienda Santa Helena es un lugar en donde no transita mucha gente y existen senderos ecológicos, mientras que la vereda El Abra cuenta con una carretera, actividad agropecuaria y poca cobertura vegetal debido a un incendio que se presentó a mediados del año 2013 en la zona (Fundación Cerros de Bogotá, 2013).

---

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los valores obtenidos en el parámetro pH, se concluye que las precipitaciones en el sector del Alto de la Cruz, vereda El Abra del municipio de Cota, Cundinamarca no presentan un comportamiento ácido. Como resultado de las pruebas estadísticas en el software SPSS se infiere que las variables del modelo que explican la acidez de las precipitaciones para este caso no son de gran incidencia a pesar de que existen relaciones débiles entre las variables.

Partiendo de los resultados obtenidos por el modelo de dispersión y de los parámetros fisicoquímicos de nitritos y sulfatos, la zona de estudio presenta niveles altos de contaminación a nivel atmosférico; sin embargo como consecuencia de la clasificación sensible a la contaminación para la mayoría de las especies liquénicas identificadas en la zona, se concluye que en el área de estudio no se presenta una incidencia considerable de la contaminación sobre el ecosistema y especies de líquenes de la zona.

En concordancia con los valores de IPA obtenidos se determinó que las estaciones 5 y 11 tienen la mayor calidad atmosférica mientras que la estación 2 es la que tiene la menor calidad ambiental.

De acuerdo a lo observado, se encontró mayor diversidad de líquenes saxícolas (*Hypotrachyna sp.*, *Xanthoparmelia lecanorales sp.*, *Usnea sp2.*, *Acarospora socialis sp.*, *Caloplaca xantholyta sp.*, *Caloplaca aurantia sp.*) que de líquenes cortícolas (*Cetrelia sp.*, *Flavopunctelia sp.*, *Usna sp1.*, *candelariela xanthostigma sp.*).

Basados en el índice de Shannon y el LDV obtenidos para el área de estudio se encontró que en la zona existe poca diversidad liquénica y que ésta tiende a la homogeneidad.

---

## RECOMENDACIONES

En vista de los resultados del estudio se recomienda tener en cuenta las precipitaciones secas en el comportamiento ácido de la lluvia debido a la existencia de períodos secos.

Tener en cuenta el efecto que tiene el lavado atmosférico en las precipitaciones para poder determinar con mayor certeza el comportamiento ácido de las mismas.

Debido a que el estudio se realizó en un área que presenta como actividad principal la ganadería se recomienda investigar el efecto que tiene esta actividad en las precipitaciones de la Serranía El Majuy.

Basados en la información de la comunidad acerca del comportamiento de las precipitaciones en la Serranía El Majuy se considera pertinente la extensión de este estudio en la parte posterior de la Serranía, la cual está dentro de la jurisdicción del municipio de Tenjo, Cundinamarca.

Para el análisis de los líquenes se recomienda tener en cuenta otro tipo de sustratos como hojas ramas, tallos y el suelo; estableciendo una metodología para el cálculo de los índices con estos sustratos.

Se recomienda analizar la posibilidad de realizar la dispersión teniendo en cuenta los datos de varias industrias del sector de Siberia para poder tener una aproximación más real a la afectación que se tiene en Cota, Cundinamarca. También se podría realizar la modelación de dispersión desde una perspectiva de área de contaminación en la cual se tenga en cuenta fuentes fijas y móviles para así poder tener una aproximación más real de la concentración de contaminantes en toda la sabana especialmente en Cota.

Se debe considerar tener en cuenta la afectación de las fuentes móviles que recorren las avenidas cercanas a Cota (la autopista Bogotá-Medellín y la variante Funza-Cota-Chía) a las precipitaciones del área de estudio.

Para un estudio más general se recomienda tener en cuenta el crecimiento urbanístico de la zona creando una posible isla de calor afectando la dinámica climática y la dinámica de contaminantes en la zona.

Se sugiere a las autoridades de Cota hacer seguimiento periódicamente a la calidad del aire del municipio, monitorear la emisión de contaminantes en las industrias y vehículos en las que tienen jurisdicción, además de desarrollar estudios epidemiológicos para evaluar una posible afectación de la población debido a la contaminación.

De igual forma se sugiere realizar un estudio de microorganismos presentes en la lluvia y cruzar toda la información con estudios epidemiológicos para determinar la afectación no solo de ecosistemas si no al ser humano.

---

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores manifiestan que no existe ningún conflicto de intereses para la publicación de este artículo.

---

## FUENTES DE FINANCIACIÓN

Esta investigación fue financiada por los autores.

---

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a Dios por la fuerza espiritual, a nuestras familias quienes nos apoyaron en cada momento, a los docentes Liliana Salazar, Luis Camilo Blanco y Camilo Vargas quienes nos guiaron en este proceso, a Nathaly Calle y María Paula Cifuentes, a los habitantes del Alto de La Cruz en Cota, Cundinamarca por apoyarnos y permitirnos la instalación y mantenimiento de las estaciones en sus predios, en especial al señor José Néstor (líder comunitario), quien con su ayuda permitió que esto fuera posible.

---

## REFERENCIAS

- Acosta, D. y Barahona, L. (2008). *Estudio preliminar sobre los efectos que puede causar la lluvia ácida en las especies vegetales Caucho Sabanero, Arboloco y Cajeto en la estación Piloto de la Universidad La Salle, localidad 17, La Candelaria*. Bogotá D.C.: Universidad La Salle.
- Acosta, T. y Huertas, D. (2015). *Determinación del comportamiento ácido de las precipitaciones en La Hacienda Santa Helena, inmediaciones del cerro del Majuy en Cota, Cundinamarca y su efecto en especies líquénicas*. Bogotá D.C.: USTA.
- Alcaldía de Cota. (2014). Cota. Recuperado de [Link](#)
- Campos, S., Uribe, M. J. y Aguirre C. J. (2008). *Santa María líquenes, Hepáticas Y musgos, Guía de campo*. Bogotá D.C.: Instituto de ciencias naturales Universidad Nacional de Colombia.
- Canadian Museum of Nature. (2015). *Canadian Museum of Nature*. Recuperado de [Link](#)
- Castillo, F. (2005). *Biotecnología Ambiental*. Madrid: Tébar.

- Caucalí, C. e Ibarra, N. (2008). **Diagnóstico de la lluvia ácida en el sector histórico de la candelaria Bogotá D.C y sus efectos sobre la fachada de la Catedral Primada de Colombia.** Bogota D.C.: Universidad La Salle.
- Chaves, J. L., Lücling, R., Sipman, H. y Umaña, L. (s.f.). **INBIO.** Recuperado el 2016 de 04 de 20, de [Link](#)
- Chaparro, M. y Aguirre, J. (2002). Técnicas de colección y estudio. En M. Chaparro y J. Aguirre, **Hongos liquenizados** (págs. 159-160). Bogotá D.C.: Universidad Nacional.
- Conde, M. I. (2013). **Impacto socioeconómico de los beneficios y exenciones tributarias para las empresas.** Bogotá D.C.: Universidad Militar. Recuperado de [Link](#)
- Consortium of North American Lichen Herbaria. (2014). Consortium of North American Lichen Herbaria. Recuperado de [Link](#)
- Farias, F., Aravena, M., Orlando, J., Zuñiga, C. y Caru, M. (2012). **Macrolíquenes Parque Natural Karukinka.** Santiago de Chile: Facultad de ciencias Universidad de Chile.
- Fundación Cerros de Bogotá. (2013). **Plan de Manejo Ambiental (PMA) Universidad de los Andes Hacienda El Noviciado.** Bogotá D.C.: Fundación Cerros de Bogotá. Resuperado de: [Link](#)
- García, H., Antolínez, A. N. y Díaz, C. (2003). **Estimativo de precursores y comportamiento de la precipitación ácida-húmeda y seca-en el norte de Bogotá, D.C.** Bogotá D.C.: Univeridad Nacional de Colombia.
- García, J. (2004). **Mapa de estrés atmosférico de Cedritos (Bogotá) a partir de diversidad líquénica.** Bogotá: Universidad El Bosque.
- Garty, J., Galun, M., Fuchs, C., Zisapel, N. (1977). Heavy metals in the lichen Caloplaca aurantia from urban, suburban and rural regions in Israel (a comparative study). **Water, Air, and Soil Pollution**, 8(2), 171-188.
- George Manson University. (s.f.). **Lichen biomonitoring in NCR.** Recuperado el 2016 de 04 de 25, de [Link](#)
- Herrera, M. y Lücking, R. (2002). **Líquenes.** México D.F.: UNAM.
- Hessom, E. (2012). **The Effects of Gaseous Ozone and Nitric Acid Deposition on two Crustose Lichen Species From Joshua Tree National Park.** California: Universidad of California Riverside.
- IDEAM. (2010). Estado y cambio del agua lluvia en Colombia. En IDEAM, **Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire.** Bogotá: IDEAM.
- Jaramillo, M. y Botero, L. (2010). Comunidades líquénicas como bioindicadores de calidad del aire del Valle de Aburrá. **Gestión y Ambiente**, 13(1), 97-110.
- Lijteroff, R., Lima, L. y Prieri, B. (2009). Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina. **Revista internacional de contaminación ambiental**, 25(2).
- Magurran, A. (2004). **Measuring Biological Diversity.** Main: Blackwell Publishing.
- Mora, L. A. (2012). **Corredor Industrial de Occidente.** Bogotá D.C.: UNAL. Recuperado de [Link](#)
- North America Lichen Herbaria. (s.f.). **North America Lichen Herbaria.** Recuperado de [Link](#)
- Northwest Lichenologists. (2014). **Northwest Lichenologists.** Recuperado de [Link](#)
- Pavel, B., Vladimir, G., Tsurykau, A. y Sidorovich, E. (2014). The lichen genus cetrelia in belarus: distribution, ecology and conservtion. **Botanica lithuanica**, 20(2), 69-76.

- Ramírez, H. y Ospina, E. (2014). Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en Ibagué, Tolima, Colombia. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 125-138.
  - Rincón, J. (2012). *Líquenes como bioindicadores en el monitoreo de la calidad del aire*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
  - Riquelme, A. (2008). *Evaluación del uso de Líquenes como Bioindicadores Biológicos de Contaminación Atmosférica en La Quebrada de la PLata, Región Metropolitana*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
  - Rubiano L. J. (1988). Líquenes como indicadores de contaminación en el Complejo Industrial de Betania y la Termoeléctrica de Zipaquirá, Cundinamarca. *Acta Biol. Colombiana* 1, 95-125.
  - Rubiano, L. J. y Chaparro, M. (2006). Delimitación de áreas de isocontaminación atmosférica en el campus de la Universidad Nacional de Colombia mediante el análisis de bioindicadores (líquenes epífitos). *Acta Biológica Colombiana*, 11(2), 82-102.
  - Šoun, J. y Vondrák, J. (2008). *Caloplaca aurantia* and *Caloplaca flavescens* (Teloschistaceae, lichen-forming fungi) in the Czech Republic; with notes to their taxonomy and nomenclature. *CZECH MYCOL*, 60(2), 275-291.
  - Sweat, K., Zambo, T. y Nash, T. (s.f.). *Geographic patterns of mercury deposition using the lichen Xanthoparmelia in Maricopa country, Arizona, USA*. Arizona State University.
  - United States Forest Service. (2015). *National Lichens & Air Quality Database and Clearinghouse*. Recuperado de [Link](#)
  - Vélez, J. J., Valencia, M., Londoño, A., González, C. M., y Mariscal, J. P. (2010). *Contaminación del aire y lluvia ácida diagnóstico del fenómeno en la ciudad de Manizales*. Manizales: Universidad Nacional.
  - Wirth, V., Düll, R., Llimona, X., Ros, R. y Werner, O. (2004). *Guía de campo de los líquenes, musgos y hepáticas*. Barcelona: OMEGA.
  - Yale University Press. (20 de Enero de 2014). *Lichens of North America Information*. Obtenido de Lichens of North America Information: [Link](#)
- 

1. Ingeniero Ambiental y Sanitario, Magister en Toxicología, Grupo de investigación INAM USTA. Facultad de Ingeniería Ambiental Universidad Santo Tomás Bogotá D.C., Colombia. orcid.org/0000-0001-7805-7128. Dirección de correo electrónico: [johanalvarezb@usantotomas.edu.co](mailto:johanalvarezb@usantotomas.edu.co)

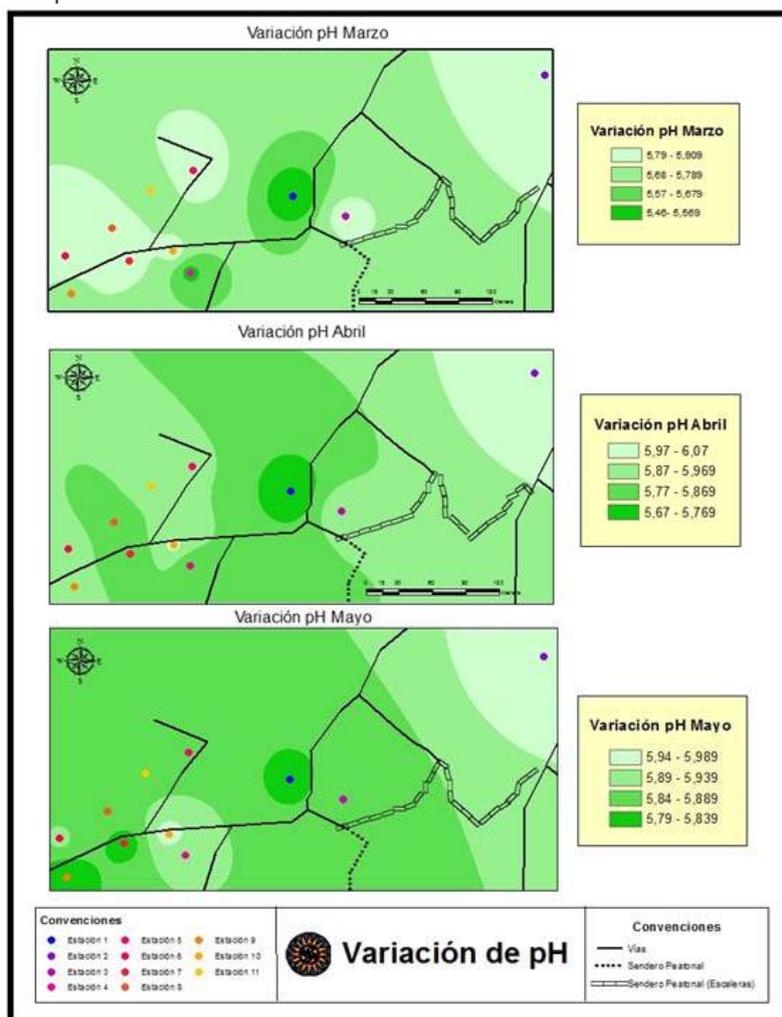
2. Ingeniero Ambiental Universidad Santo Tomás de Bogotá D.C., Colombia. orcid.org/0000-0001-6747-8533. Dirección de correo electrónico: [williambuitragog@usantotomas.edu.co](mailto:williambuitragog@usantotomas.edu.co)

3. Ingeniera Ambiental Universidad Santo Tomás de Bogotá D.C., Colombia. [orcid.org/0000-0003-2015-7876](https://orcid.org/0000-0003-2015-7876) Dirección de correo electrónico: [mariana.guzman@usantotomas.edu.co](mailto:mariana.guzman@usantotomas.edu.co)
4. La empresa Concentrados Cresta roja S.A está dedicada a la fabricación de concentrados para animales, la cual se encuentra ubicada en el kilómetro 4 Autopista Medellín.

**Para citar este artículo:** Álvarez, J. A., Buitrago W. A. y Guzmán, M. (2016). Determinación del comportamiento ácido de las precipitaciones en inmediaciones del resguardo indígena de la serranía El Majuy en Cota, Cundinamarca y su efecto en líquenes de la zona. *Revista Luna Azul*, 46, 70-105. Recuperado de <http://200.21.104.25/lunazul/index.php/component/content/article?id=273>. DOI: 10.17151/luaz.2018.46.6

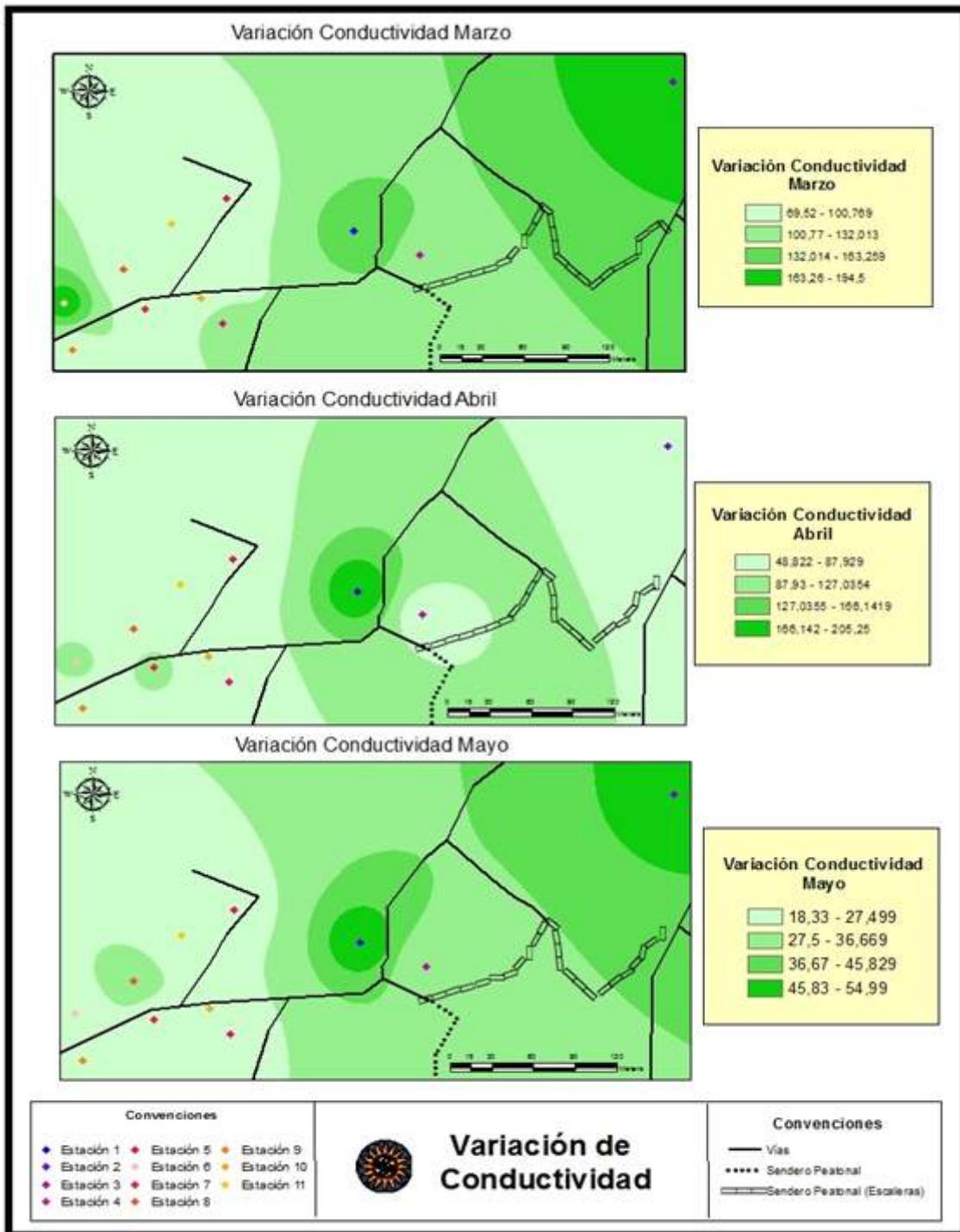
## ANEXOS

### Anexo 1. Variación pH



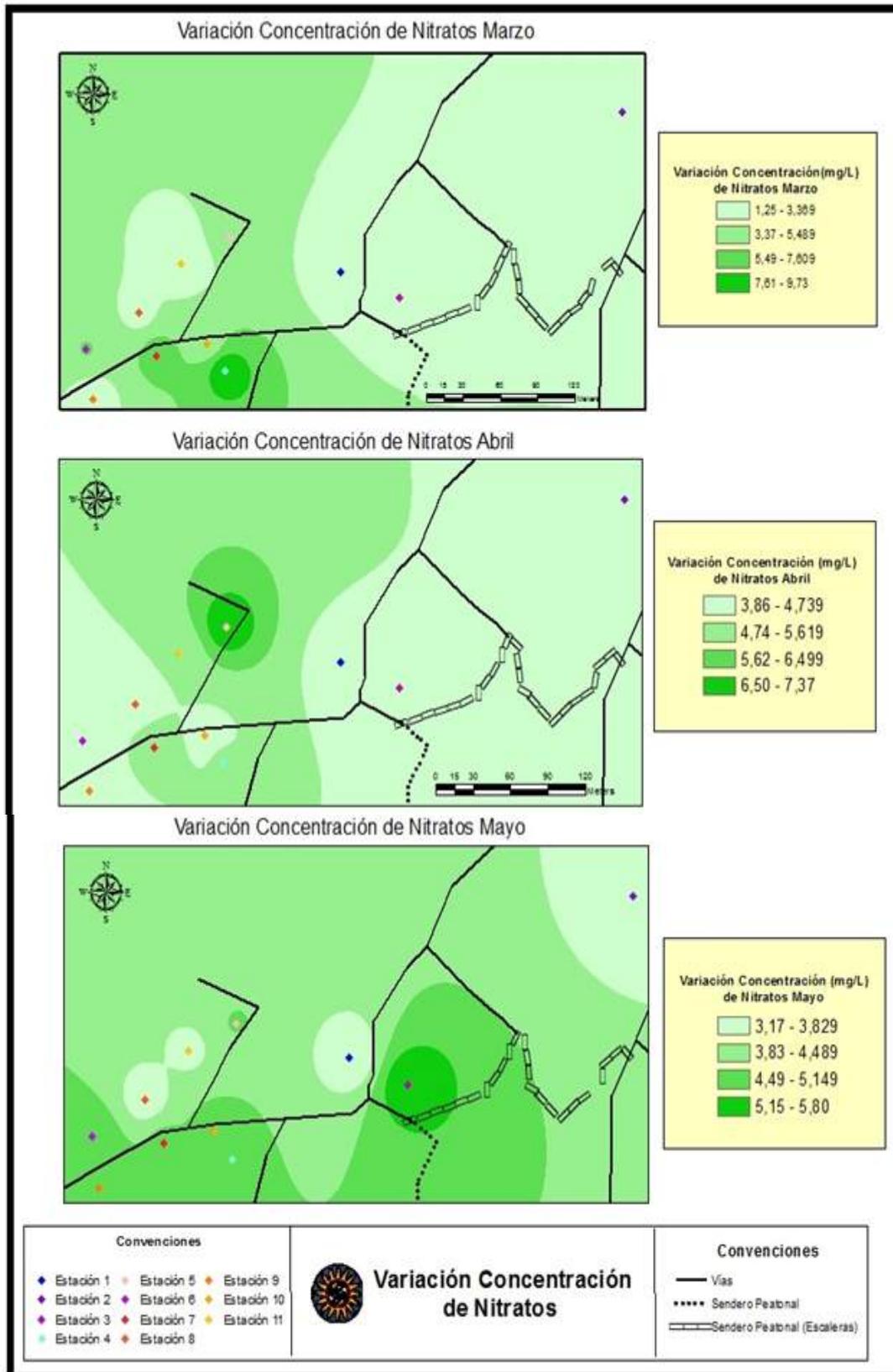
Fuente: Los autores

Anexo 2. Variación Conductividad



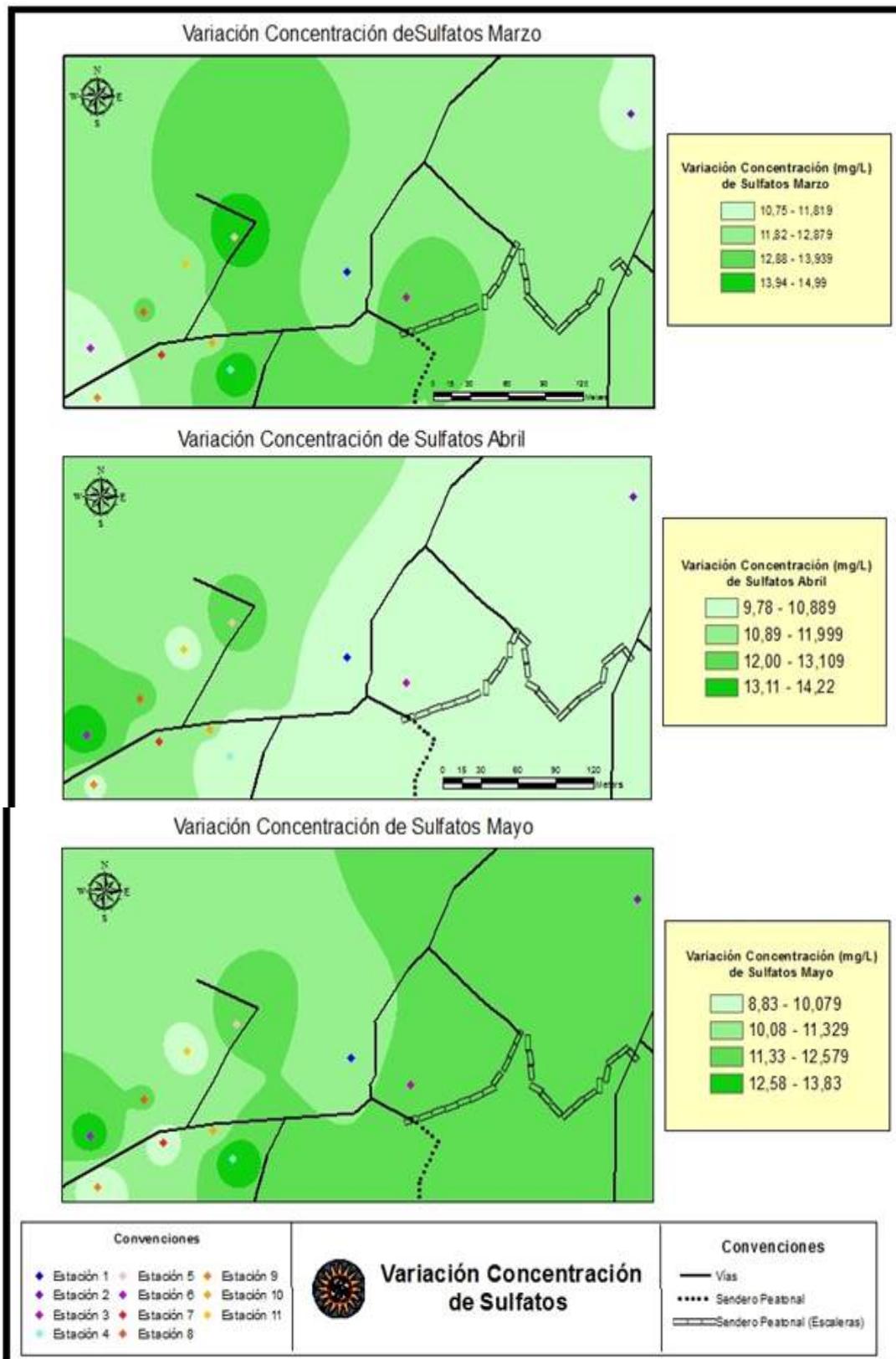
Fuente: Los autores.

Anexo 3. Variación concentración Nitratos



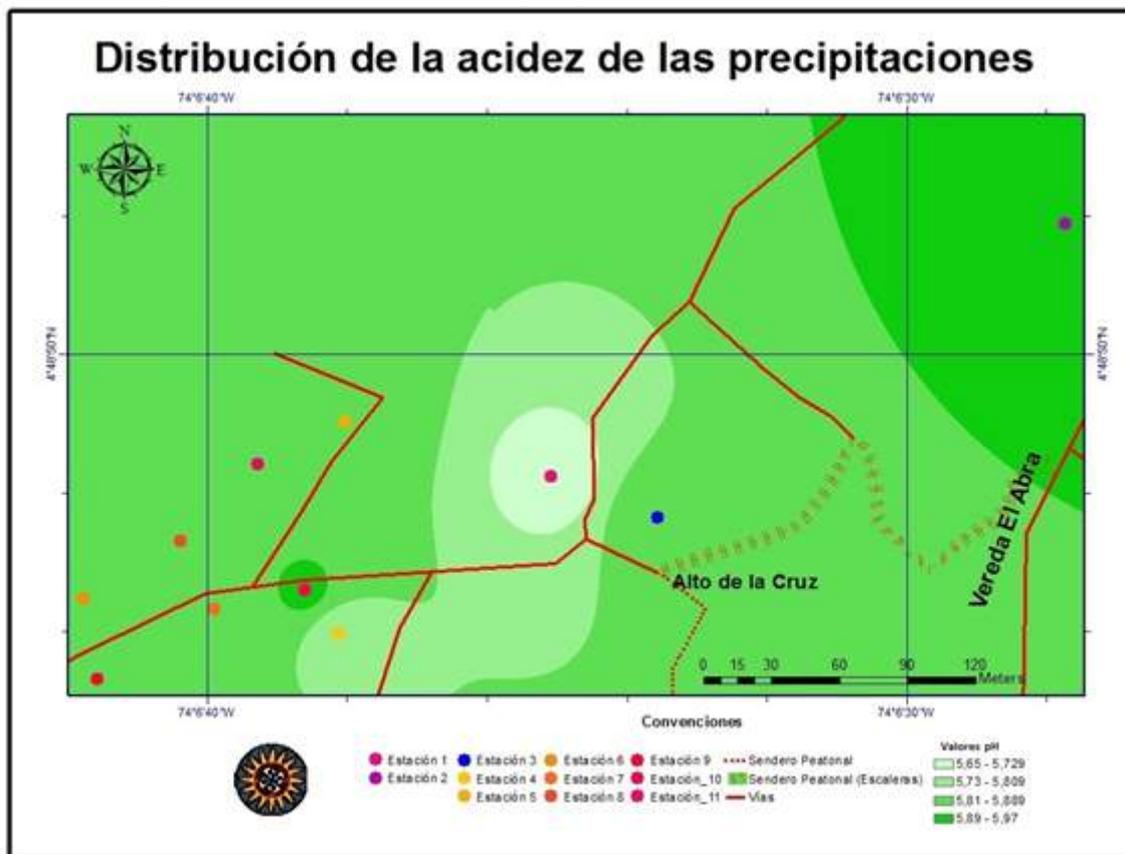
Fuente: Los autores

Anexo 4. Variación concentración Sulfatos



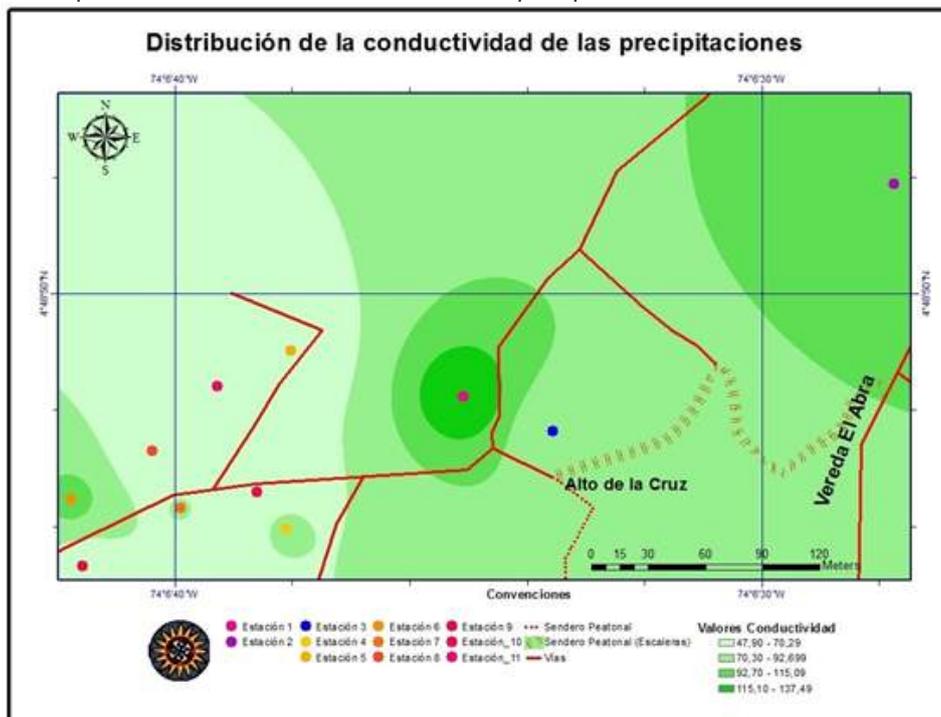
Fuente: Los autores

Anexo 5. Comportamiento de la acidez de las precipitaciones



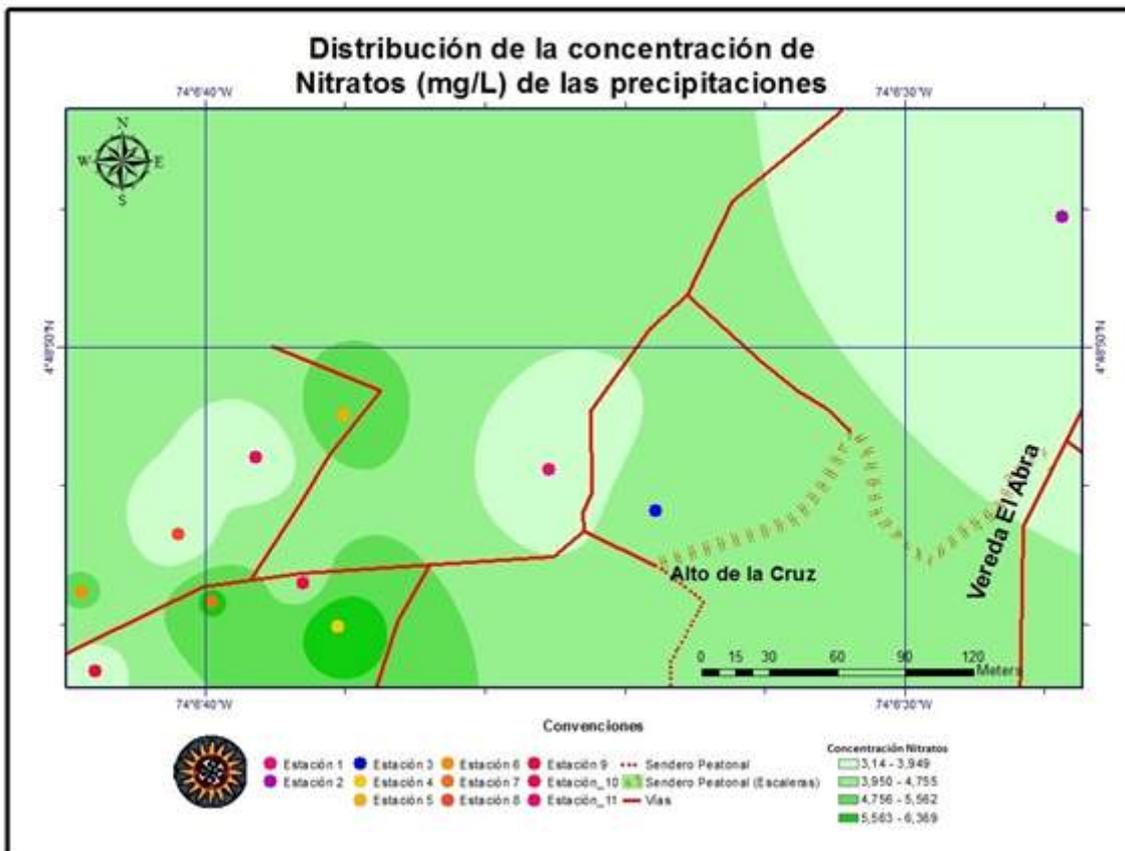
Fuente: Los autores

Anexo 6. Comportamiento de la conductividad de las precipitaciones



Fuente: Los autores

Anexo 7. Comportamiento de la concentración de nitratos (mg/L) de las precipitaciones



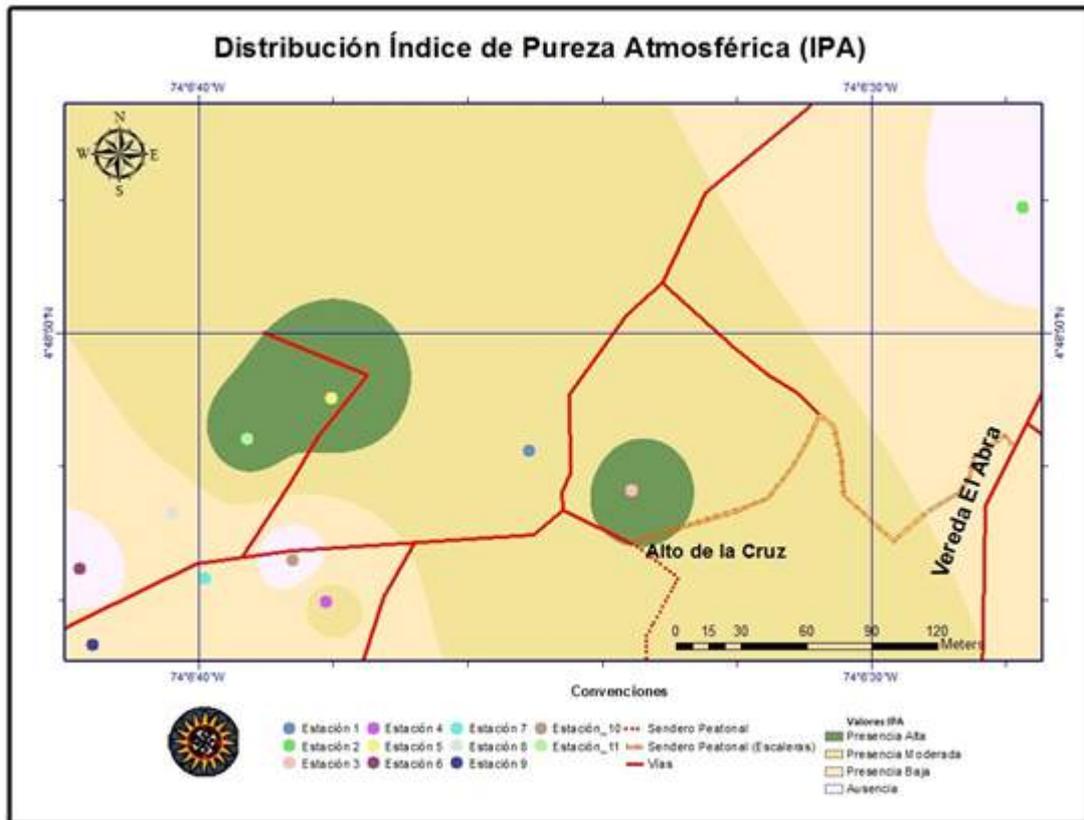
Fuente: Los autores

Anexo 8. Comportamiento de la concentración de sulfatos (mg/L) de las precipitaciones



Fuente: Los autores

Anexo 9. Distribución índice de Pureza Atmosférica



Fuente: Los autores

Este obra está bajo una [Licencia de Creative Commons Reconocimiento CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

