

DIAGNÓSTICO DE LA PRESENCIA DE LLUVIA ÁCIDA AL SUR DE LA SERRANÍA DEL MAJUY EN COTA CUNDINAMARCA Y SU EFECTO EN ESPECIES LIQUÉNICAS

DIAGNOSIS OF THE PRESENCE OF RAINFALL ACIDED TO THE SOUTH OF LA SERRANIA DEL MAJUY IN COTA CUNDINAMARCA AND ITS EFFECT ON LÍQUENIC SPECIES

Nicol Lizeth Gutiérrez Díaz
Auxiliar de investigación, Facultad de ingeniería ambiental
Universidad Santo Tomas
Bogotá D.C., Colombia
nicolgutierrez95@gmail.com

RESUMEN

El crecimiento industrial en la sabana de Bogotá ha provocado que diferentes industrias se establezcan en sus alrededores, teniendo como consecuencia un desbalance ambiental [1], principalmente en la atmósfera, por lo que se hace necesario la evaluación de la presencia de lluvia ácida, un ejemplo de esta situación se presenta en el municipio de Cota Cundinamarca, de allí se deriva la evaluación de las precipitaciones ácidas del presente estudio.

Para dicha evaluación, se utilizaron muestreos de agua lluvia, en 10 zonas ubicadas a lo largo de la ladera de la montaña, durante 3 meses (julio-septiembre), analizando in-situ parámetros como pH y conductividad; y en laboratorio: concentraciones de nitratos (NO_3) y sulfatos (SO_4); con el fin de identificar sus variaciones durante el período de muestreo y así corroborar la presencia de lluvia ácida.

Adicionalmente, se tomaron como organismos prueba 2 géneros liquénicos: *Flavoparmelia* sp y *Usnea* sp. En la primera de ellas, se realizó la identificación y clasificación en el laboratorio del alga que la constituye, para observar la estructura del líquen y la capacidad que le puede proveer el alga como indicador biológico. Con estos géneros se utilizó la metodología del Índice de Diversidad Liquénica (LDV) y el Índice de Pureza Atmosférica (IPA), con el fin de analizar la posible afectación de las especies liquénicas, presentes en el área de estudio, debido a la presencia de lluvia ácida; observando la posible contaminación atmosférica, en relación con la cobertura liquénica y la actividad industrial.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio se evidenció que los valores de conductividad, nitratos y sulfatos, están dentro del rango que determina la presencia de lluvia ácida según el IDEAM, aunque la acidez de las precipitaciones tiende a ser leve, ya que, al comparar los valores de pH se encuentra que no

superan el rango de acidez; no obstante los valores de conductividad, nitratos y sulfatos si lo están por lo cual se podría identificar una contaminación leve, siendo las posibles causantes las industrias y/o el constante flujo vehicular en el municipio de Cota, Cundinamarca.

Palabras claves: Lluvia ácida; Indicadores de calidad del aire; Industria; Líquenes.

ABSTRACT

The industrial growth in the savanna of Bogota has caused that the different industries are established in their surroundings, having as consequence an environmental imbalance [1], mainly in the atmosphere, reason why it is necessary the evaluation of the presence of acid rain, An example of this situation is presented in the municipality of Cota Cundinamarca, from which derives the evaluation of the acid precipitations of the present study.

For this evaluation, rainwater sampling was used in 10 zones located along the mountainside for 3 months (July-September), analyzing parameters in situ such as pH and conductivity; And in the laboratory: concentrations of nitrates (NO₃) and sulfates (SO₄); In order to identify their variations during the sampling period and thus corroborate the presence of acid rain.

In addition, two lichen genus, *Flavoparmelia* sp and *Usnea* sp. In the first one, the identification and classification in the laboratory of the algae that was formed was performed, in order to observe the structure of the energy and the capacity that algae can test as a biological indicator. With these genera, the methodology of the Lichen Diversity Index (LDV) and the Atmospheric Purity Index (IPA) were used to analyze the possible involvement of the liquid species present in the study area due to the presence Of Acid Rain; Observing the possible atmospheric pollution, in relation to lichen cover and industrial activity.

According to the results obtained in the study it was evidenced that the values of conductivity, nitrates and sulfates, are within the range that determines the presence of acid rain according to the IDEAM, although the acidity of the precipitations tends a level, since, All The pH values are found to not exceed the range of acidity; Nevertheless the values of the conductivity, the nitrates and the sulphates are so that it is possible to identify a slight contamination, being the potential causes the industries and / or the constant vehicular flow in the municipality of Cota, Cundinamarca.

Keywords: Acid rain; Air quality indicators; Industry; Lichens.

INTRODUCCIÓN

El municipio de Cota, Cundinamarca está situado al noroccidente de Bogotá D.C., sobre el altiplano cundiboyacense (Cordillera Oriental de los Andes), está a 2.547 m.s.n.m., con una temperatura media de 13.7 °C; las temporadas más lluviosas del

año se presentan en abril y mayo, y entre septiembre y diciembre; alcanzando los 80 mm/mes; mientras que las más secas son enero y febrero, y julio – agosto. En estas épocas, se presentan fuertes cambios de temperatura durante la noche y la mañana temprana, este fenómeno conocido como heladas, afecta la agricultura de la población. Aproximadamente 1.500 km del territorio son de topografía montañosa y 4.200 km planos; con altitudes desde 2550 m.s.n.m. en la parte plana, hasta 3.050 m.s.n.m. (alto de Majuy) [2].

La Serranía del Majuy con 3.068,85 ha, tiene un 83% (2.547 ha) de su extensión en el régimen climático frío muy seco y el 17% (535 ha) en muy frío muy seco. Sobre la Serranía del Majuy se descarga la evaporación originada en la amplia superficie de la sabana, impulsada por corrientes de convección hacia las partes más altas [3].

El proceso de Industrialización - urbanización sabanera, es relativamente reciente, a pesar de esto, la tendencia a establecerse fuera del Distrito Capital es cada vez más marcada. A este proceso, le contribuye el rebosamiento de las áreas industriales tradicionales en la ciudad capital y la necesidad de reubicar las unidades productivas en razón de las externalidades negativas que el proceso productivo genera, como lo es por ejemplo, la contaminación del aire. Debido al diseño de zonas francas en la jurisdicción de municipios como Mosquera y Cota, este proceso se incrementa y su consecuente efecto en la producción de lluvia ácida.

Las crecientes deseconomías de aglomeración al interior del Distrito Capital sumadas a la extensiones tributarias ofrecidas por el municipio de Cota, los menores costos relativos de la tierra y del trabajo, además del mejoramiento de la infraestructura vial y de servicios, junto con la proximidad al mercado de Bogotá; hacen parte de los atractivos que han llevado a múltiples industrias, trasladarse a zonas como el Parque Industrial de Cota sobre el eje de la Autopista a Medellín [1].

Gracias a esta industrialización se han generado diversos impactos ambientales, uno de ellos es la formación de lluvia ácida por la emisión de algunos gases contaminantes producidos por la quema de combustibles fósiles, generando altas concentraciones de dióxidos de azufre (SO_2) y dióxidos de nitrógeno (NO_2), debido a que estos químicos reaccionan con el agua, el oxígeno y otras sustancias formando soluciones diluidas de ácido nítrico y sulfúrico. Los vientos propagan estas soluciones ácidas en la atmósfera a través de cientos de kilómetros y cuanto más tiempo permanezcan estos óxidos en la atmósfera, es más probable que se transformen en sustancias de carácter ácido; el pH es el parámetro que permite medir la acidez o alcalinidad de las soluciones; en este caso la lluvia ácida tiene un pH inferior a 5,6 y puede ir hasta 2,5 aunque con valores que disminuyen excepcionalmente hasta 1,0 [4].

Algunos impactos de la lluvia ácida también se dan principalmente sobre los ecosistemas naturales y artificiales; así como pueden deteriorar edificios, puentes, construcciones, monumentos, materiales metálicos y equipos electrónicos y la consecuente afectación a la salud humana.

Debido a estos impactos, en Colombia se han generado una serie de investigaciones, las cuales buscan analizar la calidad del agua lluvia en diferentes

sectores del país; por ejemplo el IDEAM creó unas redes de monitoreo de la calidad del agua lluvia ubicadas en los principales aeropuertos de Colombia, en donde analizan parámetros como: pH, conductividad, concentraciones de nitritos y sulfatos [5].

Además varios autores han desarrollado investigaciones, basadas en la presencia de lluvia ácida en algunos sectores del país; entre algunos de estos estudios se encuentran: la investigación llevada a cabo por Vélez(2011); la cual tuvo como resultado unos índices elevados de lluvia ácida, especialmente al suroriente de la ciudad de Manizales [6]; otro estudio fue el realizado por Garcés et al.(2013); siendo esta una monografía basada en la búsqueda de los efectos directos de la lluvia ácida y sus posibles causas y efectos en el medio ambiente [4]; en la ciudad de Bogotá D.C. López et al(2011); presentaron como resultado que hay una estrecha relación entre las condiciones climatológicas y la acidez de la precipitación en esta franja de la ciudad [7]; para el norte de Bogotá D.C.(García(2004); esta investigación dio como resultado, la presencia de lluvia ácida en el sector de la Candelaria [8].

De acuerdo con lo anteriormente planteado, se han realizado una serie de estudios para evaluar la presencia de lluvia ácida en el sector de Cota, Cundinamarca, estos divididos en dos sectores; uno ubicado en la hacienda Santa Helena, inmediaciones del cerro del Majuy y el otro en el resguardo indígena del cerro del Majuy; en los cuales no se detectó lluvia ácida, debido a que los niveles de pH, conductividad, nitritos y sulfatos, no registraron comportamientos ácidos en sus concentraciones. Por tal motivo el presente estudio pretendió, evaluar la presencia de lluvia ácida en el sector de Cota, Cundinamarca, específicamente en el predio perteneciente a la empresa HOSA LTDA, el cual, está ubicado al sur del cerro del Majuy, a una distancia aproximada de 4 km de los parques industriales (**Figura 1**), lo que permitió obtener resultados más precisos, para establecer la presencia de precipitación ácida en el sector.

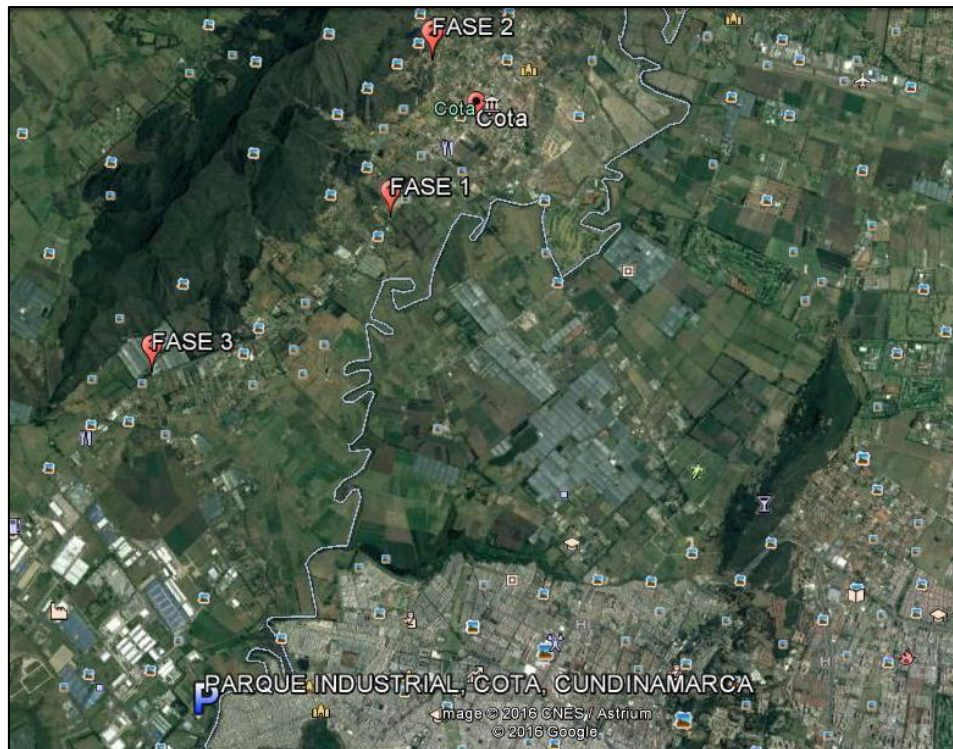


Figura 1. Ubicación de las áreas de estudio frente a la ubicación del parque industrial
Fuente: Google Earth

Adicionalmente, al análisis de las muestras, se tomaron los líquenes *Flavoparmelia* sp y *Usnea* sp, debido a que éstos son géneros dominantes en el área de estudio, ya que se registraron tres diferentes tipos, pero solo estos dos géneros se encontraban distribuidos en todo el predio; por lo cual se tomaron como indicadores de calidad de aire debido a características como:

1. Son ubicuos.
2. No poseen una cutícula protectora y absorben nutrientes y contaminantes a través de gran parte de su superficie.
3. Su naturaleza simbiótica, ya que si cualquiera de los simbioses se ve afectado por algo, ambos organismos mueren.
4. Son relativamente longevos, permaneciendo expuestos al efecto nocivo por largos periodos, por lo que proporcionan una imagen de estados crónicos y no de variaciones puntuales del medio ambiente.
5. Son organismos perennes que pueden ser muestreados durante todo el año [9].

Los líquenes absorben el dióxido de azufre, del que retienen aproximadamente 30 %, debido a repetidas exposiciones a este compuesto, el líquen acumula altos niveles de sulfatos y bisulfatos, los cuales lo inhiben para realizar funciones tales como fotosíntesis, respiración y en algunos casos fijación de nitrógeno. Esto ocasiona la deformación de la estructura del talo y eventualmente su muerte. Un nivel anual de 8–30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de sulfuro produce la deformación o la muerte de especies liquénicas sensibles [10].

Además, se han realizado varios estudios, en los cuales, se utilizaron los líquenes como bioindicadores, entre algunos de éstos están: la investigación de Rubén et al (2009); la cual, dio como resultado la ausencia casi total de líquenes en la ciudad de San Luis reflejando la baja calidad del aire en el espacio urbano y la eficacia de los líquenes como bioindicadores de la contaminación aérea [11].

Otra investigación fue la realizada por Jaramillo et al(2010); teniendo como resultado que de las 8 especies de líquenes encontradas, *Canoparmelia* sp y *Parmotrema austrosinensis* son las más sensibles y apropiadas para estudios de calidad del aire en el Valle de Aburrá [12].

Para el presente estudio se tomaron dos tipos de metodologías: la primera es el cálculo del Índice de Diversidad Liquéncia (LDV) y la segunda el Índice de Pureza Atmosférica (IPA), con el fin de comparar valores e indicadores, relacionando la posible contaminación atmosférica, con la cobertura líquénica y la actividad industrial, estableciendo al final la presencia o no de precipitación ácida.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó a las afueras de la zona urbana del municipio de Cota, Cundinamarca, en el kilómetro 6 vía Cota-Siberia, finca Innovación Andina, propiedad de la empresa HOSA LTDA., utilizada por su cercanía con los parques industriales (**Figura 2**).



Figura 2. Ubicación finca innovación andina
Fuente: Google Earth

1.1. METODOLOGÍA

1.1.1. MUESTREO DE AGUA LLUVIA

El muestreo fue realizado durante 3 meses (julio-septiembre), ubicando 10 pluviómetros (**Figura 3**) a lo largo de la parte sur de la ladera en el cerro del Majuy parte del predio innovación andina, distribuyéndolas tal y como se observa en la **Figura 4**.



Figura 3. Pluviómetros
Fuente: Elaboración propia

Los criterios de ubicación de las estaciones en el sitio fueron:

- Cercanía con el cerro del Majuy y con el parque industrial ubicado en el eje de la vía a Medellín.
- Topografía plana o moderadamente ondulada.
- Espacios sin alguna obstrucción que llegaran a contaminar la muestra o a evitar su recolección en el recipiente.
- Distancias entre estaciones superiores a los 40 m en terreno plano.

La descripción de cada una de las estaciones se puede observar en la **Tabla 1**:

Tabla 1. Descripción de las 10 estaciones ubicadas en el área de estudio.

ESTACIÓN	COORDENADAS			DESCRIPCIÓN
	ALTITUD	LATITUD	LONGITUD	
1	2.577 m.s.n.m.	4°47'0,38"N	74° 8'29,10"O	Ubicada en una topografía plana; debido a la cercanía con los árboles encontrados en esta parte del área de estudio, no estaba en contacto directo con la luz solar, evitando así cambios en la temperatura.

2	2.590 m.s.n.m.	4°47'2,56"N	74°8'29,09"O	Se ubicó en una topografía plana; rodeada de árboles encontrados en esta parte del área de estudio; no estaba en contacto directo con la luz solar; además tenía una leve cercanía con un centro de compostaje, el cual, podía producir una variación de la temperatura de las muestras allí recolectadas.
3	2.586 m.s.n.m.	4°47'3,58"N	74°8'26,81"O	Localizada en una topografía semi-ondulada; además estaba cerca de un centro de compostaje, lo cual, podía producir una variación en las muestras allí recolectadas.
4	2.578 m.s.n.m.	4°47'3,94"N	74°8'21,80"O	Ubicada en una topografía semi-ondulada; está rodeada de árboles encontrados en esta parte del área de estudio; no estaba en contacto directo con la luz solar; en el sitio se podían encontrar animales de carga (asnos).
5	2.576 m.s.n.m.	4°47'4,94"N	74°8'18,38"O	se ubicó en una topografía semi-ondulada, en un lugar despejado, por lo que estaba en contacto directo con la luz solar; en el lugar se podían encontrar animales de carga (asnos)
6	2.574 m.s.n.m.	4°47'6,56"N	74°8'15,74"O	Se ubicó en una topografía plana, en un lugar despejado, por lo que se encontraba en contacto directo con la luz solar; además estaba cerca de uno de los invernaderos del floricultivo.
7	2.585 m.s.n.m.	4°47'8,07"N	74°8'15,66"O	Ubicada en una topografía ondulada, sobre el costado izquierdo de la serranía, a diferencia de las demás estaciones que se encontraban cerca a la ladera; en un lugar despejado, por lo que estaba en contacto directo con la luz solar.
8	2.578 m.s.n.m.	4°47'8,07"N	74°8'14,20"O	Localizada en una topografía plana, en un lugar despejado, por lo que estaba en contacto directo con la luz solar; además se ubicaba cerca de la zona de recolección de plástico.
9	2.583 m.s.n.m.	4°47'9,98"N	74°8'12,70"O	Se ubicó en una topografía plana, en un lugar despejado, por lo que, se encontraba en contacto directo con la luz solar.
10	2.583 m.s.n.m.	4°47'9,98"N	74°8'12,70"O	Se ubicó en una topografía plana, en un lugar totalmente despejado, por lo que se encontraba en contacto directo con la luz solar y cerca del comedor comunitario.

Fuente: Elaboración propia



Figura 4. Ubicación estaciones pluviométricas
Fuente: Google Earth

Durante el estudio se obtuvieron un total de 125 muestras, distribuidas de la siguiente manera:

- Julio: Este mes presento 3 eventos de precipitación; en el último evento, la muestra de la estación 4, no se recolecto debido a un inconveniente con el pluviómetro.
- Agosto: Este mes presento 2 eventos de precipitación; en el último evento en las estaciones 1 y 4, no se logró recolectar la muestra, debido a que en los recipientes no había una cantidad de agua lluvia suficiente para realizar la medición.
- Septiembre: Este mes presento 8 eventos de precipitación; en los eventos de precipitación sexto y octavo, no se recogieron las muestras de las estaciones 10 y 5, debido a que no había una cantidad de agua lluvia suficiente para realizar la medición.

Estas muestras fueron recolectadas en las horas de mañana (entre las 8:00 am y 11:00 am) del día siguiente al evento de precipitación; además se utilizaron equipos para la medición de los parámetros (acidez, conductividad, nitratos (NO_3) y sulfatos (SO_4)), los cuales se muestran en la **Tabla 2**:

Tabla 2. Parámetros, equipos y tipo de medición de las muestras.

PARÁMETRO	EQUIPO	MEDICIÓN
Acidez	Sonda Multiparamétrica Hanna	In situ
Conductividad específica	Sonda Multiparamétrica Hanna	In situ
Concentraciones de iones de nitratos (NO_3)	Espectrofotómetro DR3900 TM Hach	In vitro

Concentraciones de iones de sulfatos (SO ₄)	Espectrofotómetro DR3900™ Hach	In vitro
---	--------------------------------	----------

Fuente. Elaboración propia.

1.1.2. ÍNDICES DE CALIDAD ATMOSFÉRICA UTILIZANDO ESPECIES LIQUÉNICAS

En el área de estudio se hizo una selección aleatoria de árboles, para el cálculo del Índice de Diversidad Líquenica (LDV) y el Índice de Pureza Atmosférica (IPA); se calculó el número de árboles necesarios para llevar a cabo el conteo líquenico para cada uno y así estimar los índices, siguiendo la metodología utilizada en *European guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress*, la cual **establece** el número de árboles requeridos por área de estudio (**Tabla 3**).

Tabla 3. Número de árboles requeridos por área de estudio.

SIZE OF SAMPLING UNIT	0.25 x 0.25 Km	0.5 x 0.5 km	1 x 1 km
Number of trees	3-4	4-6	6-12

Fuente. European guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress

Se realizó una interpolación entre las áreas de 0,5 km y 1 km, ya que, el área de muestreo fue de 0,6 km, obteniendo un número de árboles de 7,2 por lo cual se tomaron 8, los cuales se distribuyeron como se puede observar en la **Figura 5**:



Figura 5. Ubicación árboles

Fuente: Google Earth

En el proceso de conteo se trabajó con una malla de muestreo de 10 x 10 cm, dividida en 5 cuadrantes de 10 x 5 cm (**Figura 6**). La misma se sujetó al tronco del árbol, en orientación Nororiente, oriente y occidente, según la metodología por (FSC, 2007) [13]; luego en cada una de las orientaciones y cuadrantes (**Figura 7**) se realizó el conteo de los géneros líquénicos por individuo, esto en cada uno de los 8 árboles.



Figura 6. Malla sujeta al tronco
Fuente: Elaboración propia



Figura 7. Uno de los 5 cuadrantes que comprenden la malla
Fuente: Elaboración propia

Cada especie es resistente a diferentes niveles de contaminación, por lo que su presencia puede significar el que haya o no contaminantes en el aire (**Tabla 4**).

Tabla 4. Relación especie liquénica y contaminación atmosférica

TIPOS DE LÍQUENES EN TRONCO Y ROCAS		CALIDAD DEL AIRE
Ausencia de líquenes		Extremadamente contaminado
Sin líquenes, pero con "verdín" (alga pleurococus)		Muy contaminado
Presencia de líquenes	Crustáceo	Bastante contaminado
	Foliáceos	Poco Contaminado
	Fruticosos	Muy poco contaminado
	Filamentosos	Sin contaminación

Fuente: Empleo de bioindicadores liquénicos para valorar la contaminación atmosférica [14]

Para el proceso de caracterización se extrajeron dos muestras de los géneros liquénicos presentes en el área de estudio, separándolos del árbol por medio de una espátula metálica y siendo almacenadas en una bolsa de papel para su conservación (**Figura 8**); se encontraron tres géneros de líquenes, de los cuales, se tomaron dos, ya que, al realizar la identificación visual, en el área de estudio, estos eran los mas

dominantes, debido a que se encontraban en una mayor cantidad en cada uno de los forófitos.



Figura 8. Muestras de líquenes almacenadas en la bolsa de papel
Fuente: Elaboración propia

En el laboratorio se realizó la identificación de ambos géneros; comparando cada una de las muestras almacenadas, con la base de datos del Jardín Botánico José Celestino Mutis, observando el color, la forma y el posible género, obteniendo las siguientes especies (**Figura 9 y 10**):

Especie 1

Líquén folioso

Familia: Parmeliaceae

Genero: *Flavoparmelia* sp



Figura 9. *Flavoparmelia* sp vista en el árbol y con el microscopio respectivamente
Fuente: Elaboración propia

Especie 2

Líquén fruticoso

Familia: Usneaceae

Genero: *Usnea* sp



Figura 10. *Usnea* sp vista en el árbol y en el microscopio respectivamente

Fuente: Elaboración propia

Además se examinó en el microscopio la forma de cada uno de los géneros líquénicos encontrados en el área de estudio (**Figura 9 (2) y 10 (2)**), con el fin de tener una clasificación más real y así observar una forma más clara del cuerpo del líquen; por ejemplo en el primer género se observa el polen y la textura del líquen (*Flavoparmelia* sp), igual que en el segundo género (*Usnea* sp), donde se aprecian las diferentes ramificaciones que lo componen, por lo que al observar estas diferencias en el microscopio, permiten una mayor claridad para una buena clasificación.

- Cálculo del Índice de Diversidad Liquélica (LDV)

El índice de diversidad Liquélica (LDV) de una unidad de muestreo es un estimador estadístico de las condiciones medio ambientales del área de estudio.

Como primer paso se suman las frecuencias de todas las especies líquénicas encontradas en cada uno de los lados del árbol; las frecuencias deben ser sumadas por separado, por lo que por cada árbol hay varias sumas.

Después se calcula la media aritmética por árbol con la siguiente ecuación (1):

$$MSF_j = \frac{(SF_{iN1} + SF_{iN2} + SF_{iN3} + \dots + SF_{iNn})}{n} \quad (1)$$

Donde:

MSF: sumatoria de la frecuencia de todos los árboles por un punto cardinal

SF: suma de las especies líquénicas presentes en un árbol por un punto cardinal

n: número de árboles muestreados en el área de estudio

Con el valor calculado se procede al cálculo del Índice de Diversidad Liquéncia por medio de la siguiente ecuación (2):

$$LDV = (MSF_N + MSF_S + MSF_O + MSF_E) \quad (2)$$

Donde

LDV: Índice de Diversidad Liquéncia

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

- Cálculo del Índice de Pureza Atmosférica (IPA).

Este índice se basa en las variaciones que la contaminación atmosférica induce en las comunidades líquénicas, se calcula a partir del número de especies presentes y la frecuencia en el área de monitoreo [15]; existen diversas maneras de calcular el IPA, para este diagnóstico se tomó la presentada por K. Ammann [16], el cual toma un rango que va de 0 a 1, siendo 0 la ausencia total de líquenes por lo que la contaminación es alta y 1 es una frecuencia alta por lo que la contaminación es nula (3):

$$I.P.A. = \sum \frac{f_t}{n} \quad (3)$$

Donde

I.P.A: Índice de Pureza Atmosférico

F_t: frecuencia total

n: número de árboles

En las dos metodologías se utilizó el conteo de los individuos por género líquénico (*Flavoparmelia* sp y *Usnea* sp), cada uno por separado; para luego proceder al cálculo de cada uno de los índices por género y por área de muestreo.

Posteriormente a la clasificación de los géneros líquénicos y al cálculo del LDV y el IPA, se realizó la identificación del alga que compone el género *Flavoparmelia* sp, de la siguiente forma (**Figura 11**):

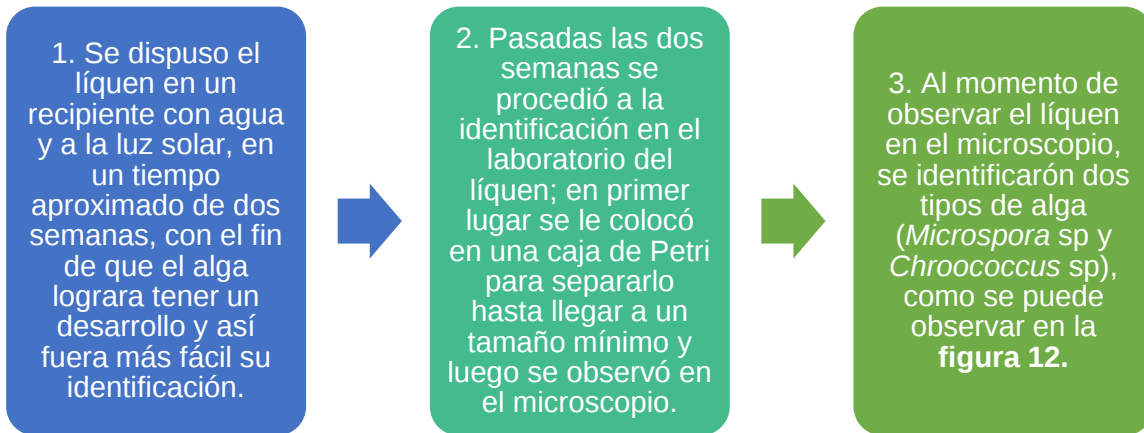


Figura 11. Pasos para la identificación del alga que compone el líquen del género *Flavoparmelia* sp
Fuente: Elaboración propia



Figura 12. Algas del líquen *Flavoparmelia* sp vista desde el microscopio
Fuente: Elaboración propia

2. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El comportamiento de la precipitación en los meses de muestreo fue el siguiente: en julio se registraron algunas precipitaciones, en agosto se tornó seco y el mes de septiembre fue lluvioso; se recolectaron 125 muestras donde se midió pH, conductividad y la concentración de nitratos y sulfatos; anexo a esto, se tomaron los datos de la dirección del viento, obteniendo como resultado la siguiente rosa de los vientos:

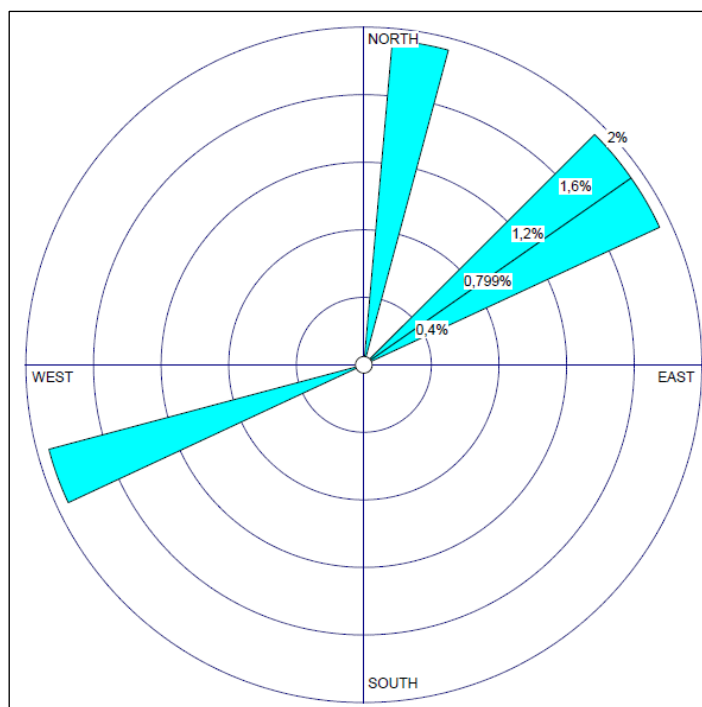


Figura 13. Rosa de los vientos finca innovación andina
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la rosa de vientos (**Figura 13**), surge la hipótesis en cuanto a que la contaminación atmosférica puede generar lluvia ácida al sur del cerro del Majuy, debido a la dirección de los vientos y al transporte de sulfatos y nitratos provenientes de las industrias ubicadas en la vía Bogotá-Medellín. No obstante, de acuerdo a los resultados obtenidos en los parámetros de conductividad, nitratos y sulfatos, se estableció que existe una presencia de lluvia ácida leve, pero que de acuerdo al pH obtenido no se presentaría una acidificación considerable en el sector.

Los datos obtenidos de los parámetros se analizaron por medio del programa Microsoft Excel utilizando la estadística descriptiva, donde se tomaron los resultados de las 125 muestras obteniendo lo siguiente (**Tabla 5**):

Tabla 5. Estadística descriptiva de los meses de julio, agosto y septiembre

ESTADISTICA DESCRIPTIVA MESES DE JULIO, AGOSTO Y SEPTIEMBRE							
pH		CONDUCTIVIDAD (µS/cm)		NITRATOS (mg/L)		SULFATOS (mg/L)	
Media	7,22	Media	23,84	Media	1,74	Media	8,25
Error típico	0,06	Error típico	1,42	Error típico	0,09	Error típico	0,07
Mediana	7,1	Mediana	20	Mediana	1,4	Mediana	8
Moda	6,63	Moda	20	Moda	1,4	Moda	8
Desviación estándar	0,71	Desviación estándar	15,83	Desviación estándar	1,02	Desviación estándar	0,75
Varianza de la muestra	0,51	Varianza de la muestra	250,71	Varianza de la muestra	1,05	Varianza de la muestra	0,56

Curtosis	0,77	Curtosis	5,97	Curtosis	3,22	Curtosis	5,76
Coeficiente de asimetría	0,92	Coeficiente de asimetría	2,24	Coeficiente de asimetría	1,52	Coeficiente de asimetría	1,21
Rango	3,79	Rango	91,6	Rango	5,7	Rango	6
Mínimo	5,85	Mínimo	6,4	Mínimo	0,1	Mínimo	6
Máximo	9,64	Máximo	98	Máximo	5,8	Máximo	12
Suma	903	Suma	2980	Suma	218	Suma	1031
Cuenta	125	Cuenta	125	Cuenta	125	Cuenta	125
Nivel de confianza (95,0%)	0,13	Nivel de confianza (95,0%)	2,80	Nivel de confianza (95,0%)	0,18	Nivel de confianza (95,0%)	0,13

Fuente. Elaboración propia

De acuerdo a la tabla anterior, el pH refleja que más del 50% de los datos están por encima de 7,1 siendo este un valor alcalino, conjuntamente, se observa que el error típico es de 0,06, reflejando que el conjunto de valores obtenidos en campo no presentan fallas que puedan interferir negativamente en la interpretación de los datos; adicionalmente, los parámetros de conductividad, nitratos y sulfatos, presentan una curtosis con valores mayores a 0, por lo que presentan un elevado grado de concentración alrededor de los valores centrales de cada una de las variables (la mediana); en el caso de la conductividad, los niveles están cerca de la media la cual tuvo un valor de 23,84 $\mu\text{S/cm}$, asimismo el 50% de los valores de este parámetro están por encima de 20 $\mu\text{S/cm}$; aunque muestra un error típico de 1,42, por lo que se inferiría, que hay una mínima parte de los datos que puede afectar el análisis e interpretación de los mismos; por el contrario los datos obtenidos en los nitratos y sulfatos presentan un error típico aproximado a cero (0,09 y 0,07 respectivamente), de acuerdo a esto, al momento de realizar algún análisis en los parámetros no habría una posible falla en su interpretación.

2.1. ANÁLISIS DE PARÁMETROS

2.1.1. pH

El pH es uno de los parámetros más relevantes sobre la presencia de lluvia ácida en un área de estudio; ya que, al combinarse los sulfatos y nitratos provenientes de la combustión de compuestos fósiles (principal fuente de energía en las industrias) con el agua encontrada en las nubes, se produce una elevación en los iones de H^+ , teniendo valores inferiores a 5,6 y formando así la lluvia ácida [17].

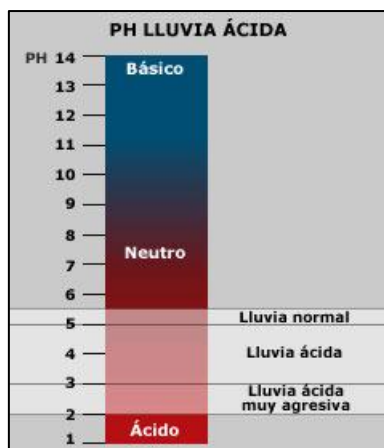


Figura 14. pH lluvia ácida

Fuente: EPA [17]

De acuerdo a lo anterior, y luego de recolectar y analizar los datos de pH de los meses de: julio, agosto y septiembre en las 10 estaciones, estos se promediaron de forma aritmética, obteniendo un solo dato en cada estación por mes, para analizar de forma más práctica la presencia de lluvia ácida (**Figura 15**).

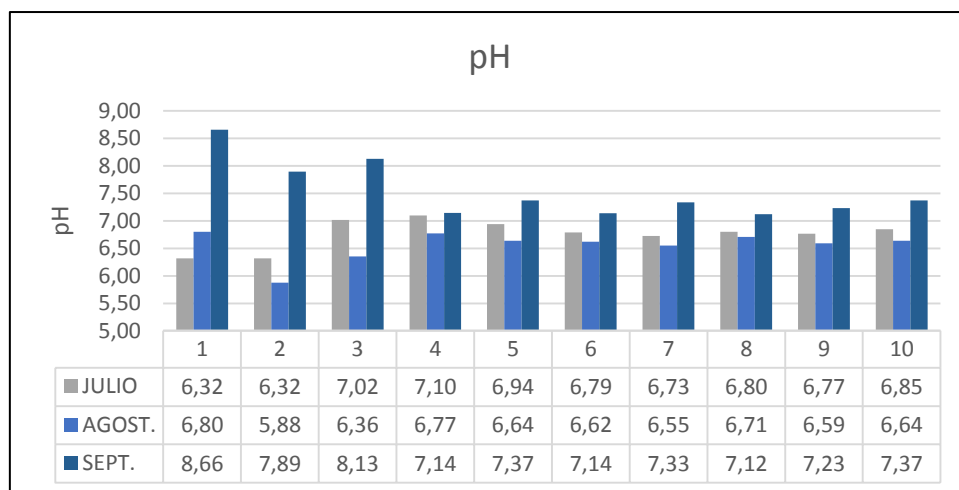


Figura 15. pH promedio de las 10 estaciones en los meses de julio, agosto y septiembre

Fuente: Elaboración propia

Todos los datos de pH están por fuera del valor que podría indicar la presencia de lluvia ácida, donde oscilan entre 5,88 y 8,66, de acuerdo a la figura 15); sin embargo, durante el muestreo las lluvias no fueron constantes; por ejemplo en el mes de agosto se presentaron solo dos eventos de precipitación, lo que supondría que en los primeros eventos de lluvia en el mes de septiembre existieran valores bajos de pH causados por el fenómeno de lavado atmosférico, por el contrario, el pH de estas muestras no evidencia la acidificación en las precipitaciones, debido a que, este mes presentó más eventos de precipitación, el lavado atmosférico constante evitaría que se concentraran los contaminantes en la atmósfera, por lo que los valores de pH de este mes son más alcalinos.

El único valor con un pH bajo fue en el mes agosto en la estación 2, aunque es poco relevante ya que el todos los valores de las muestras estuvieron por encima del valor establecido por la EPA; el valor cercano al nivel ácido pudo ser provocado por algún cambio en el ambiente o en la temperatura de la muestra, ya que si hay una variación en la temperatura, el pH puede disminuir; se concluye en relación al pH, no hay presencia de lluvia ácida durante los 3 meses de investigación, relacionada con este parámetro.

2.1.2. CONDUCTIVIDAD

Para este parámetro el IDEAM establece los siguientes valores de conductividad, nitratos y sulfatos, para determinar la presencia de lluvia ácida (**Tabla 6**).

Tabla 6. Valores comunes en Colombia para determinar lluvia ácida

PARÁMETRO	VALORES COMUNES PARA LLUVIA ÁCIDA
CONDUCTIVIDAD	>20 $\mu\text{S}/\text{cm}$
NITRATOS	0,4 mg/L – 2,0 mg/L
SULFATOS	2,0 mg/L – 8,0 mg/L

Fuente. Informe Preliminar Nacional de Calidad de Aire (IDEAM)

En la **figura 16** se muestran los niveles encontrados en las muestras recolectadas en el periodo de estudio.

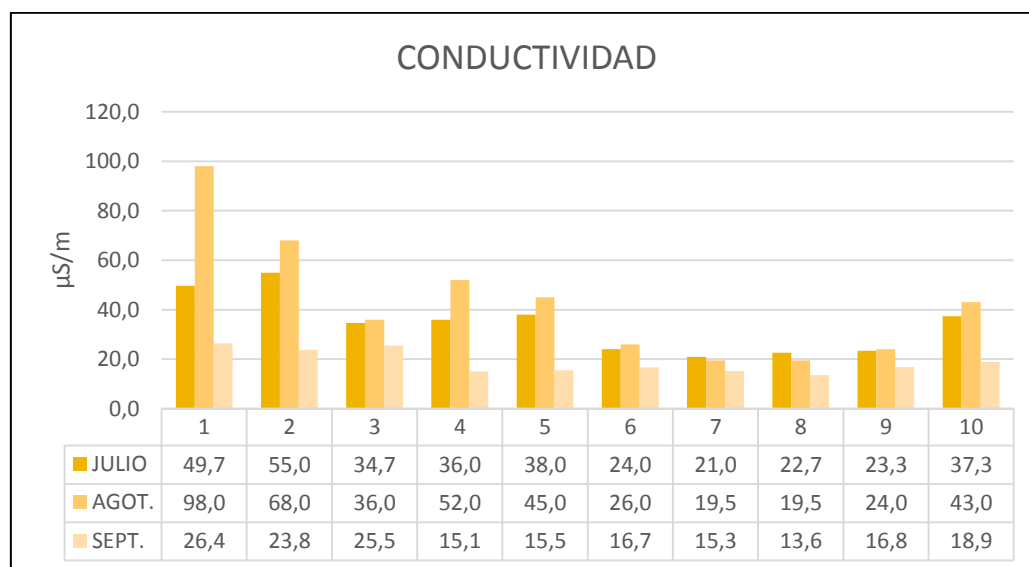


Figura 16. Promedio de la conductividad en las 10 estaciones en los meses de julio, agosto y septiembre

Fuente: Elaboración propia

En la **figura 16** se observa, que en las muestras puede existir la presencia de algún tipo de compuesto inorgánico que esté alterando los niveles de este parámetro; esto se puede evidenciar con mayor rigor en el mes de julio, donde todas las estaciones

presentaron valores superiores al valor referencia, aunque en el mes de agosto los valores son casi el doble, esto se debe a que solo se presentaron dos eventos de precipitación, por lo que al promediar los datos obtenidos en las muestras, pareciera que son mayores; adicionalmente, en este mes se observa que las estaciones 7 y 8, y en el mes de septiembre, en las estaciones 4 a 10, la conductividad baja notablemente; obteniendo unos valores por debajo del límite. Esto podría ocurrir debido a que en el mes de septiembre se presentaron mayores eventos de precipitación, por lo que el constante lavado atmosférico podría minimizar estos niveles de acidificación en la lluvia; a pesar de la disminución de estos niveles, el 70% de las muestras promedios presentan unos niveles leves de acidificación, por lo que se podría inferir que en las muestras hay una leve presencia de compuestos inorgánicos que producirían la lluvia ácida.

2.1.3. RELACIÓN CONDUCTIVIDAD Y pH

Ambos parámetros están relacionados respecto a la cantidad de iones que se encuentren en la muestra, debido a que cuando se acidifica una muestra los iones aumentan por lo cual el pH disminuye y la conductividad aumenta, esto se puede corroborar con la siguiente figura:

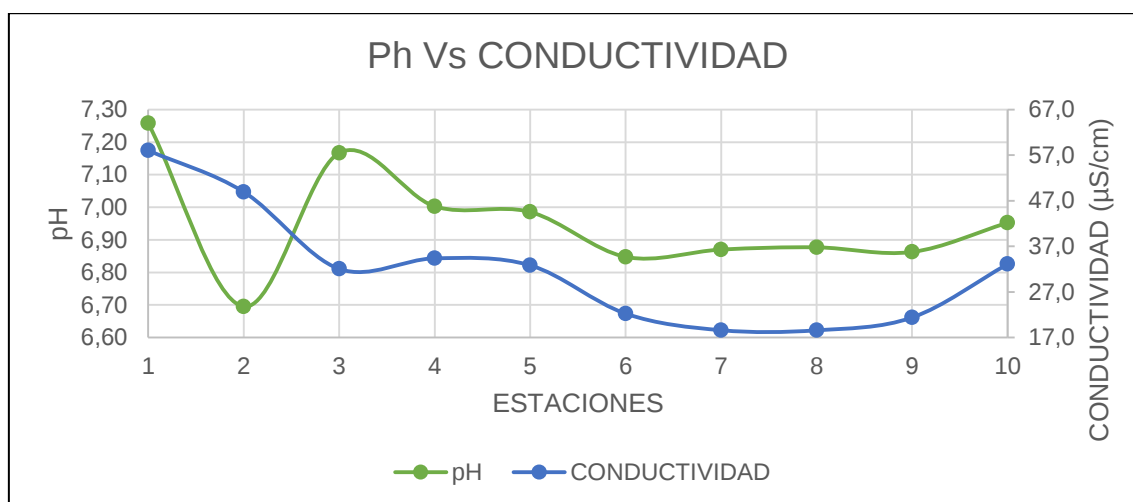


Figura 17. Relación pH y conductividad

Fuente: Elaboración propia

La **figura 17** evidencia la correlación inversa entre los parámetros de pH y conductividad, como lo ocurrido en la estación dos; una posible causa de este cambio, se podría atribuir a su ubicación, ya que, se encontraba cerca de un centro de compostaje, el cual, generaba algunas variaciones en la temperatura modificando notablemente la conductividad y el pH, ya que, a medida en que se incremente la temperatura en algún sector, estos valores tienden a variar; además de que en este centro se percibían ciertos gases de tipo orgánico e inorgánico, dado que las maquinas que se utilizaban para triturar y compactar el material orgánico se abastecían con combustible, causando una disminución en el pH y un alza notable en la conductividad.

En los promedios de las estaciones 4-6 se observa como los valores tanto de pH y conductividad aumentan y disminuyen paralelamente., Esto se debe a que en los promedios obtenidos, para ambos parámetros, estos iban disminuyendo paulatinamente en los 3 meses, por lo que pareciera como si existiera una correlación positiva.

2.1.4. NITRATOS Y SULFATOS

Los nitratos y sulfatos, se derivan de la quema de combustibles fósiles, utilizados como fuente de energía de muchas industrias hoy en día; estos por ser compuestos inorgánicos al combinarse con el agua provocan que los iones suban y por ello se produzca la lluvia ácida. La **figura 18** y **19** muestran los niveles encontrados en las muestras de agua lluvia recolectada a través del estudio.

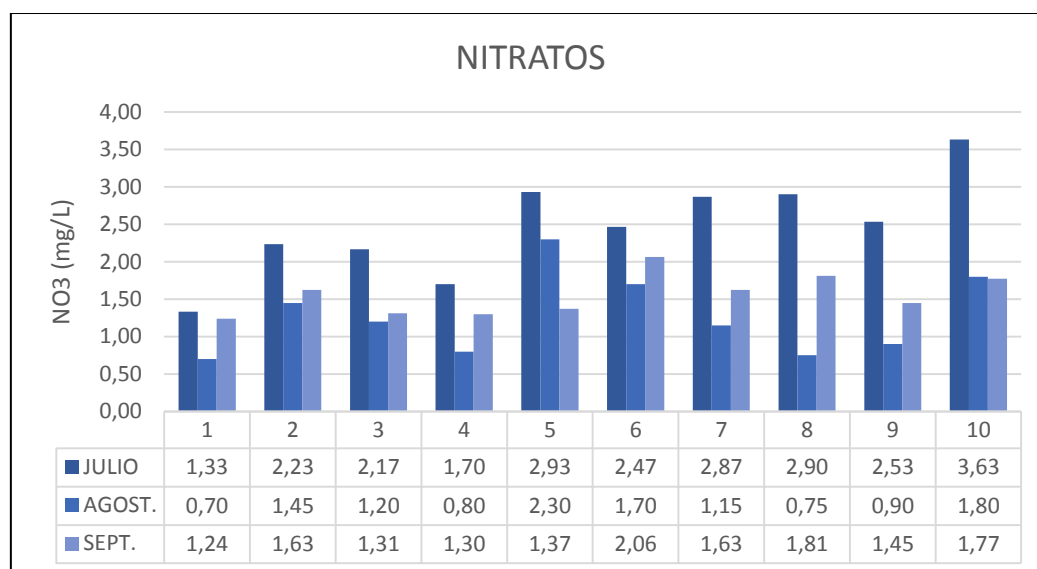


Figura 18. Concentración de nitratos promedio de las 10 estaciones en los meses de julio, agosto y septiembre

Fuente: Elaboración propia

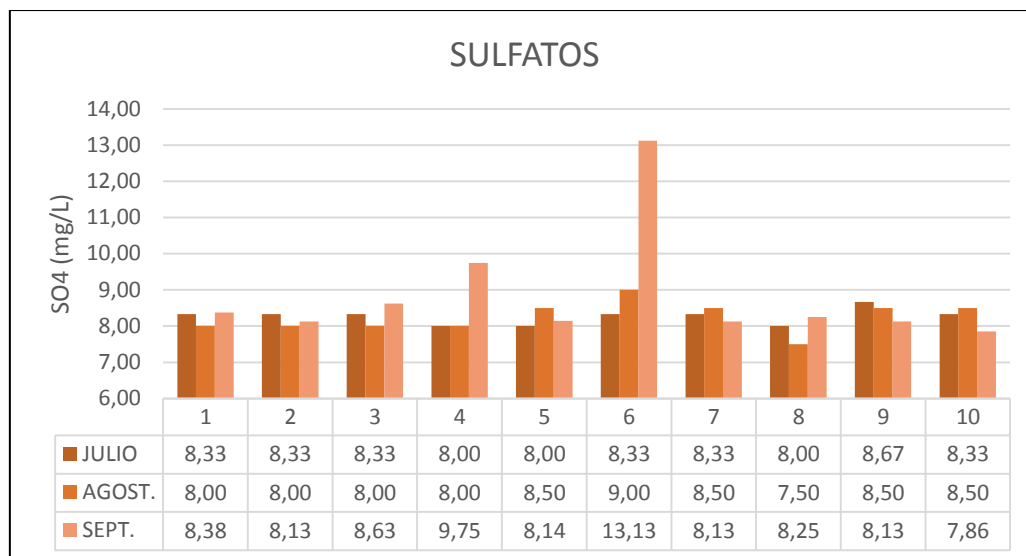


Figura 19. Concentración de sulfatos promedio en las 10 estaciones en los meses de julio, agosto y septiembre

Fuente: Elaboración propia

En la **figura 18** y **19** se observa que la concentración de nitratos va desde los 0,7 a 3,63 (mg/L) y la de sulfatos varía entre los 7,50 y 13,13 (mg/L), excepto en la estación 6 en el mes de septiembre en la concentración de sulfatos, donde se presenta un valor atípico, el cual puede ser causado por un error al momento de analizar la muestra; al comparar estos valores con los proporcionados por el IDEAM se puede concluir que:

- Los nitratos se encuentran dentro de los valores que indican lluvia ácida, en donde se evidencia que en el 34% de las mediciones, las concentraciones están por fuera del rango establecido, teniendo concentraciones mayores a los 2,0 mg/L; se podría inferir que además de las industrias como posibles causantes, también se incluiría el constante paso de vehículos en el predio innovación andina, debido a que para el transporte de las flores se utilizan vehículos de carga, por lo que esto tendría una influencia negativa en las muestras, provocando una variación en los niveles de nitrato, por lo que se concluiría que probablemente los factores antrópicos propios del área de estudio, estarían provocando una leve acidificación en las muestras.
- Las concentraciones de sulfato indican que hay presencia de lluvia ácida, ya que, el 100% de los datos obtenidos en las muestras están por encima del rango; dado que los sulfatos se obtienen principalmente de la quema de combustible de baja calidad, la vía por donde ubica el vivero tiene flujo vehicular alto y conjunto a esto, dentro del predio se manejan vehículos de carga para el transporte de las flores, se infiere que probablemente el aumento en la concentraciones, serian a causa de la utilización de combustibles como el ACPM, ya que, estos generan mayores niveles de compuestos azufrados al ambiente, incrementando las concentraciones de los

sulfatos en las muestras recolectadas y así indicando una leve acidificación en las muestras.

De acuerdo a los resultados obtenidos de nitratos y sulfatos, se puede concluir que en el área de estudio hay una leve presencia de lluvia ácida; debido a que, estos dos parámetros se encuentran en el rango establecido que determina la presencia de acidificación en la lluvia, donde las posibles causas pueden estar relacionadas con las actividades antrópicas que se generan en el área de estudio, como el constante flujo vehicular dentro y fuera de la zona, además de las relacionadas con la industrialización en la vía Bogotá – Medellín, las cuales generan una serie de emisiones que van directo a la atmósfera, provocando diversos fenómenos de contaminación entre ellos la lluvia ácida.

2.2. ANÁLISIS ÍNDICES DE CALIDAD ATMOSFÉRICA POR MEDIO DE ESPECIES LIQUÉNICAS

2.2.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS ALGAS PRESENTES EN EL GÉNERO *FLAVOPARMELIA* SP

Los estudios realizados denotan, que el género *Flavoparmelia* sp, es el más dominante en el área de estudio, comparado con el género *Usnea* sp, que se encuentra en menor cantidad, ya que, al realizar el conteo por géneros, se evidenciaba que de este género (*Flavoparmelia* sp) habían más individuos en cada uno de los forófitos monitoreados; debido a esto se escogió para realizar la clasificación de las algas que probablemente lo componen. Teniendo como resultado:

- En el líquen se presentaban dos tipos de alga: *Microspora* sp (**Figura 20**) y *Chroococcus* sp (**Figura 21**); de acuerdo a la identificación estas dos especies podrían ser las formadoras de la especie *Flavoparmelia* sp, donde además de dar el cuerpo vegetativo y generar la fotosíntesis para su alimento, son las encargadas de darle el potencial de indicador ambiental al líquen, en este caso al *Flavoparmelia* sp.
 - *Microspora* sp: Pertenece a las clorofíceas, la *Microspora* sp identifica por tener filamentos sin ramificaciones, además de tener una densa capa de cloroplasto en forma de red como se puede observar en la **figura 20**. [18], todas contienen clorofila, lo que les permite sintetizar sustancias alimenticias a partir de materias minerales, adicionalmente tienen carotenoides como la luteína y su alimento los almacenan en forma de almidón. [19]



Figura 20. *Microspora* sp
Fuente: Elaboración propia

Este tipo de algas son utilizadas como indicador biológico, evidenciando la presencia de nitrógeno en cuerpos de agua; esto se debe a que, a altas concentraciones de nitratos las clorofíceas presentan cambios en la estructura y en su desarrollo, por lo que son utilizadas en monitoreos de calidad ambiental, ya que, por sus características reflejan el daño provocado por las actividades antrópicas en algún sector [20].

- *Chroococcus* sp: Pertenecen a las perifíticas, las cuales forman pequeñas colonias de células. Las células son subesféricas, con divisiones en los tres planos en generaciones sucesivas, aunque este patrón de división puede ser menos obvio cuando la colonia es muy grande (**Figura 21**). [21]



Figura 21. *Chroococcus* sp
Fuente: Elaboración propia

Estos tipos de algas son utilizadas como indicadores bióticos, ya que presentan características que permiten describir la dinámica de las condiciones ambientales, ya que, son sensibles a la polución y otros eventos antrópicos, por lo que, son usadas para el monitoreo de la contaminación ambiental debido a su imposibilidad de evadir la polución por encontrarse adheridas a un sustrato generalmente fijo en este caso la corteza de los árboles. [22]

La identificación de las algas proporciona una información importante sobre las características que permiten al líquen servir como bioindicador, además de conocer qué tipo de contaminante puede afectar la morfología y el desarrollo del líquen, por ejemplo, de acuerdo a la identificación el alga *Microspora* sp, es sensible a los altos niveles de nitratos y la *Chroococcus* sp a la polución, por lo cual esto reflejaría el nivel indicativo y la funcionalidad que esta especie podría tener para el objetivo de este estudio, ya que al ser sensibles a los cambios generados por las actividades antrópicas específicamente a la polución y a los nitratos, permitirían identificar de forma más clara la presencia de algunos de los compuestos formadores de lluvia ácida.

2.2.2. ÍNDICE DE DIVERSIDAD LIQUÉNICA (LDV)

El LDV se basa en la frecuencia de las especies por una unidad de área, para este caso se utilizó una malla de 10 x 50 cm dividida en cuadrantes de 10 x 5 cm, los cuales, se utilizaron como área para realizar el conteo en cada uno de los árboles seleccionados. En la **tabla 7** se puede observar el LDV calculado para el sur del cerro del Majuy en la finca Innovación Andina propiedad de la empresa HOSA LTDA.

Tabla 7. Índice de diversidad liquénica área de estudio

# ÁRBOL	NORORIENTE		ORIENTE		OCCIDENTE	
	<i>Usnea</i> sp	<i>Flavoparmelia</i> sp	<i>Usnea</i> sp	<i>Flavoparmelia</i> sp	<i>Usnea</i> sp	<i>Flavoparmelia</i> sp
1	11	42	7	14	2	5
2	22	21	2	9	2	3
3	4	8	7	11	0	10
4	40	27	13	3	17	3
5	7	4	5	1	5	0
6	0	91	0	6	0	4
7	0	33	0	92	0	40
8	0	0	0	43	0	2
MSF	10,5	28,25	4,25	22,375	3,25	8,375
LDV	77					

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la sumatoria de las frecuencias en cada uno de los puntos cardinales, se puede observar que el género *Flavoparmelia* sp, al ser un tipo de líquen foliáceo, es la más dominante en el área de estudio, lo cual, al compararla con la **Tabla 4**, que muestra la relación entre la especie liquénica y la contaminación atmosférica, este tipo de líquen indica que la calidad del aire en el predio esta poco contaminada.

Dado que el LDV dio como resultado 77, el cual, es un valor relativamente alto frente a los datos recolectados en el conteo, este no refleja una calidad atmosférica buena, ya que en algunos de los forófitos monitoreados el número de individuos liquénicos fue 0, por lo que se podría inferir que en el área de estudio hay una leve presencia de contaminación, donde sus posibles causantes serían las emisiones atmosféricas generadas por las industrias y/o el constante flujo vehicular dentro y fuera del área de estudio, como lo ocurrido en el **árbol 8**, donde el número de individuos disminuye considerablemente; para este caso, la causa probable sería su ubicación, ya que, al estar cerca del centro de cargue y descargue de los vehículos recolectores, el constante paso de dichos vehículos generaría un cambio negativo en la calidad atmosférica, por lo que se podría concluir que dada la capacidad del líquen de absorber el agua y acumular nutrientes de la atmósfera, este puede cambiar morfológicamente además de ir desapareciendo, por la presencia de contaminantes como los generados en la utilización de combustibles fósiles, los cuales son utilizados como fuente de energía en las industrias y en los vehículos.

2.2.3. ÍNDICE DE PUREZA ATMOSFÉRICA

El índice de Pureza Atmosférica (IPA) se utiliza para conocer la calidad atmosférica presente en el área de estudio utilizando el conteo de individuos liquénicos presentes en una unidad de área; los resultados pueden variar entre 0 y 1 donde: 0 es la ausencia total de líquenes por lo que la contaminación es alta y 1 es una frecuencia alta por lo que la contaminación es nula. La **tabla 8** presenta los resultados calculados para el área de estudio.

Tabla 8. Índice de pureza atmosférica en el área de estudio

# ÁRBOL	IPA
1	0,7
2	0,57
3	0,5
4	0,63
5	0,53
6	0,33
7	0,43
8	0,2
IPA_{área}	0,49

Fuente: Elaboración propia

El cálculo del IPA área dio un valor de 0,49, por lo que maneja un rango intermedio, de acuerdo a lo establecido por K. Ammann [16]; este resultado puede estar relacionado, a la sumatoria de los IPAs, ya que, al ser calculados por medio de promedios aritméticos, los valores de los árboles del 5 al 8, generan un peso negativo, debido a que están por debajo de 0,5, además se podría concluir que estos resultados pueden reflejar la presencia de algún tipo de contaminante, de lo cual, las probables causas puede estar relacionada a el uso de insecticidas y un constante paso de vehículos de carga en el área de estudio, provocando ciertas variaciones negativas en el ambiente, generando una afectación en el crecimiento y desarrollo de los géneros liquénicos.

2.3. ANALISIS PARAMÉTROS FISICOQUIMICOS Y BIOLOGICOS

De acuerdo a los datos obtenidos en la recolección de las muestras, los niveles de pH indicarían que no hay presencia de acidificación en las precipitaciones, ya que, los valores mínimos y máximos obtenidos en los meses en que se desarrolló la investigación, son más alcalinos que el valor establecido para indicar la presencia de lluvia ácida; además, el único periodo en el cual se presenta un valor levemente ácido es en el mes de agosto, en la estación dos, siendo una posible causa, el alza de la temperatura que se percibía en el lugar donde se ubicaba la estación, puesto que estaba cerca de un centro de compostaje, de manera que al subir la temperatura de las muestras el pH tendía a descender levemente, dada esta razón no se inferiría la presencia de algún contaminante causante de la lluvia ácida; al comparar este parámetro con la conductividad, los sulfatos y los nitratos se evidencia que algunos de los valores se encuentran por encima del rango establecido y otros sobre el límite, de acuerdo a lo anterior se podría inferir que no solo hay una leve acidificación en la lluvia, sino además la presencia de contaminantes derivados de la utilización de combustibles fósiles, como los sulfatos y nitratos, debido a que en las muestras estos presentan unos niveles altos que pueden cambiar negativamente la calidad atmosférica del sector.

Adicionalmente, se observa que los índices de diversidad líquénica y de pureza atmosférica arrojan resultados que indicarían una leve presencia de algún tipo de contaminante, que puede inhibir el desarrollo de los géneros líquénicos monitoreados, por lo que, en cada uno de los índices el número de individuos va disminuyendo, esto se observa más claramente del árbol 5 al 8, donde sus valores van decayendo al punto de no tener individuos en algunas de las orientaciones para el LDV y generando una disminución en el IPA, caso contrario a lo ocurrido con los nitratos, ya que, en las ultimas estaciones específicamente de la 6 a la 10, sus concentraciones van aumentando; al comparar esta información con la sensibilidad de las algas a los nitratos y a la polución, se puede evidenciar una relación directa entre las algas y las concentraciones obtenidas en las muestras de dichas estaciones, ya que a altos niveles de nitratos o polución, estas presentan un cambio en su morfología por lo que al componer al líquen, le proporcionarían dicha sensibilidad, provocando una disminución notable en el número de individuos de los dos géneros líquénicos monitoreados (*Flavoparmelia* sp y *Usnea* sp).

Para corroborar dicha información se realizó en el programa ArcGis una interpolación con los valores de nitratos, donde los tonos más oscuros son las concentraciones más altas y lo claros son las más bajas junto con la ubicación de los forófitos monitoreados y las estaciones, obteniendo la siguiente figura (**figura 22**):

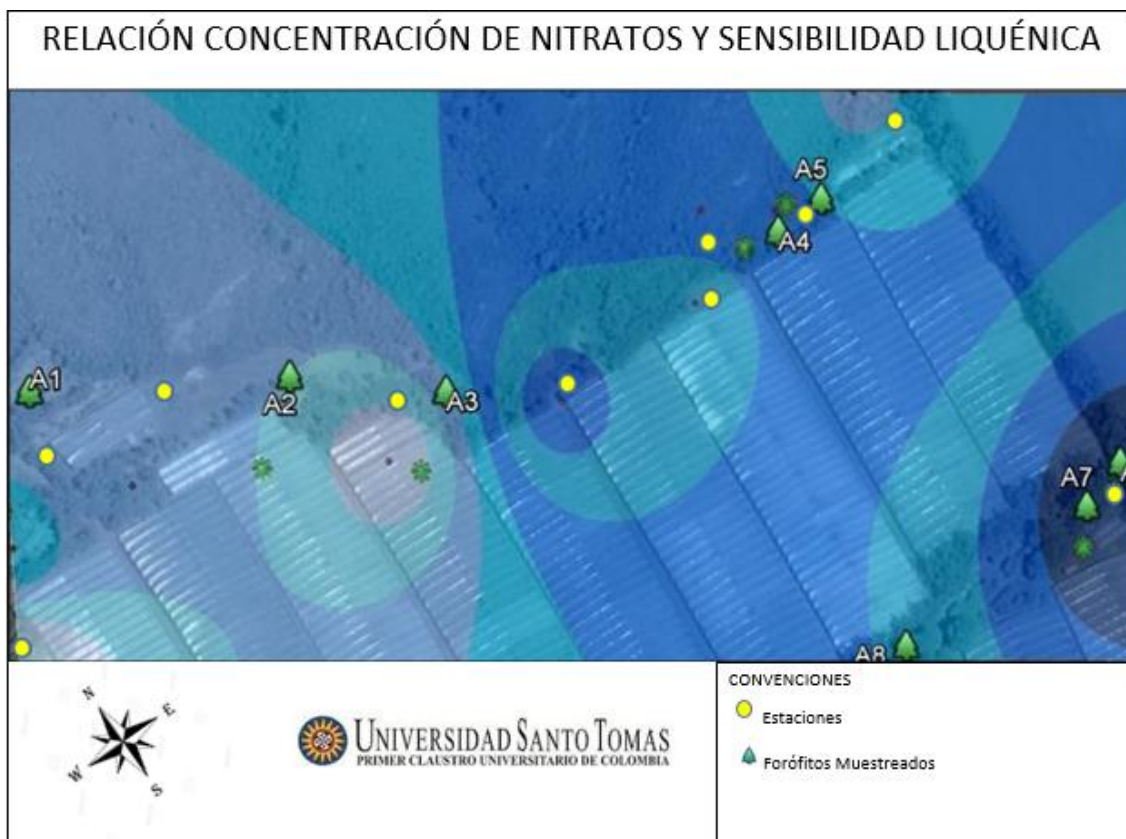


Figura 22. Relación concentración de los nitratos con la sensibilidad líquénica
Fuente: Elaboración propia

Al comparar los lugares donde se presentan altas concentraciones de nitrógeno (las zonas más oscuras) con el conteo de individuos líquénicos utilizado para el LDV y el IPA se puede concluir que debido a la sensibilidad a los altos niveles de nitrógeno que tienen las algas que posiblemente componen el género *Flavoparmelia* sp el efecto negativo del nitrato sobre estos géneros es muy alto, ya que al presentarse concentraciones entre 0,1 y 5,8 de nitratos según los máximos y mínimo presentados en la estadística descriptiva (**Tabla 4**), los individuos comienzan a inhibir su desarrollo llegando hasta la pérdida de individuos en las zonas con más presencia de altas concentraciones de nitratos, una posible causa de la presencia de este tipo de contaminante es el constante uso de combustibles fósiles en los vehículos de carga presentes en el área de estudio.

De acuerdo a lo anterior se puede concluir que los diferentes contaminantes presentes en el área de estudio pueden generar un cambio negativo en los ecosistemas que lo conforman, ya que, aunque la acidificación en la lluvia es leve, según lo obtenido en los parámetros de conductividad, nitratos y sulfatos, algunos de estos contaminantes como los nitratos pueden generar un daño en la conservación de algunas de los géneros líquénicos monitoreados en el área, debido a la sensibilidad mostrada y encontrada en las algas que los componen, por ejemplo al género *Flavoparmelia* sp; esto puede significar que los diferentes cambios antrópicos generados en algún lugar pueden llegar a ser negativos para los diferentes seres

bióticos que lo componen sino se tienen ciertos controles ambientales, ya que muchos de los contaminantes que se arrojan a la atmosfera pueden provocar un daño irreversible en el medio.

2.4. COMPARACIÓN DE RESULTADOS FASE 1: UBICADA EN HACIENDA SANTA HELENA; FASE 2: UBICADA EN EL RESGUARDO INDÍGENA DEL CERRO DEL MAJUY; FASE 3: UBICADA EN EL PREDIO INNOVACIÓN ANDINA

2.4.1. MUESTREO DE AGUA LLUVIA

En la **Tabla 8** se pueden observar los rangos obtenidos en las dos anteriores fases (fase uno ubicada en la hacienda Santa Helena y fase dos ubicada en el resguardo indígena en el alto de la cruz), comparados con la fase actual (fase tres ubicada en el predio Innovación Andina).

Tabla 8. Resultados fase 1, fase 2 y fase 3

FASE	PARAMETRO	RANGO
1 HACIENDA SANTA HELENA	pH	5,98 - 7,01
	CONDUCTIVIDAD	16,67 - 75,67
	NITRATOS	0 - 2,53
2 RESGUARDO INDIGENA	pH	5,65 - 5,97
	CONDUCTIVIDAD	52,47 - 137,51
	NITRATOS	3,14 - 6,37
	SULFATOS	10,07 - 13,35
3 INNOVACIÓN ANDINA	pH	6,85 - 7,26
	CONDUCTIVIDAD	18,58 - 58,03
	NITRATOS	1,09 - 2,40
	SULFATOS	7,92 - 8-58

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la **Tabla 8** se puede se puede concluir que:

- Los rangos obtenidos de pH en las dos anteriores fases frente a la fase del actual estudio, son levemente más ácidos, pero a pesar de que dichos niveles tienden a ser inferiores, se podría determinar que no hay presencia considerable de lluvia ácida en el municipio de Cota, Cundinamarca, en donde se podría inferir que una posible causa de ello, sea que las industrias no estén generando altas concentración de los contaminantes causantes de la lluvia ácida en sus emisiones o que los vientos a pesar de que su dirección da hacia el municipio de Cota, no tengan la suficiente velocidad para transportar todos los contaminantes, por lo cual no llegan hasta el municipio, evidenciando así un posible factor que pueda modificar el estudio; además de esto se observa que los valores más bajos se encuentran en la fase 2 ubicada en el resguardo indígena en el alto de la cruz, esto posiblemente por la altura en que se encontraban las estaciones, ya que, no solo recibe el fenómeno de lavado

atmosférico provocado por la lluvia sino también por la neblina nocturna, esta última debido al enfriamiento de los vientos cálidos, por lo que sus niveles reflejan la calidad atmosférica teniendo en cuenta dos fenómenos naturales, que podrían ser importantes para un futuro estudio.

- En las tres fases los valores de conductividad están por encima del rango que determina lluvia ácida, por lo que de acuerdo a esto se podría inferir que, a lo largo del municipio de Cota, Cundinamarca, hay presencia de compuestos inorgánicos que elevan los niveles de conductividad, provocando una leve acidificación en la lluvia, algunas de las posibles causas de esto podrían ser el flujo vehicular y/o la actual industrialización en la vía Bogotá-Medellín.
- Las concentraciones de nitratos en las tres fases, se encuentran en los rangos que determinan la presencia de lluvia ácida; en la fase 2 las concentraciones son más altas, ya que sus niveles son casi el doble de los obtenidos en la fase 1 y 3, por lo cual se puede inferir que al estar relativamente cerca de la ciudad a diferencia de las otras dos fases que se encuentran en zonas más alejadas del centro del municipio de Cota, los factores antrópicos presentes pueden interferir negativamente en las muestras recolectadas, provocando un alza en las concentraciones de nitratos.
- La concentración de sulfatos en la fase 2 y en la fase actual, evidencian la presencia de una leve acidificación en la lluvia, además de esto se observa una variación entre los niveles encontrados, ya que, en la fase dos las concentraciones están 1,5 veces por encima del límite máximo según el IDEAM en comparación de las obtenidas en el actual estudio donde los valores están sobre el límite, aun determinando presencia de lluvia ácida.

3. CONCLUSIONES

- Siendo el pH uno de los parámetros más relevantes para la determinación de lluvia ácida se podría concluir que de acuerdo a los resultados encontrados, no hay presencia considerable de precipitaciones ácidas al sur del cerro del Majuy en el municipio de Cota, Cundinamarca, ya que, los promedios aritméticos obtenidos de pH, no presentan niveles que estén dentro de lo establecido por el IDEAM para la presencia de acidificación en las precipitaciones, por el contrario, en parámetros como: conductividad, nitratos y sulfatos, se evidencia una posible acidificación en la lluvia, debido a que sus valores se encuentran dentro de los rangos que determinarían lluvia ácida, causado posiblemente por los diferentes factores antrópicos que se presentaron en el área de estudio como por ejemplo: el paso constante de vehículos de carga y/o el uso de insecticidas en el predio, además de factores naturales como las bajas precipitaciones en los dos primeros meses del estudio; además para poder establecer una mayor precisión frente a la presencia de lluvia ácida en el sector, se tendría que manejar un rango mayor de tiempo, teniendo así una mayor cantidad de datos.
- Al realizar la comparación con las dos anteriores fases, se evidencia que los niveles de presencia de lluvia ácida son leves; similares a los encontrados en

el presente estudio, por lo cual, para una futura evaluación de lluvia ácida, se tendría que realizar un mayor estudio, en donde se incluyan las concentraciones de las emisiones en alguna de las industrias presentes en el parque industrial en la vía Bogotá – Medellín, comparándola con la velocidad y dirección del viento, estableciendo cuál sería la posible distancia que recorrerían las emisiones, determinando en qué lugar se evidenciaría una mayor presencia de precipitaciones ácidas; además de cuál sería la posible afectación del constante flujo vehicular, evaluando dos parámetros que podrían esclarecer la presencia o no de lluvia ácida en el municipio de Cota, Cundinamarca.

- Los índices de diversidad líquénica (LDV) y de pureza atmosférica (IPA), indican que hay una leve presencia de algún contaminante causante de la lluvia ácida, dado que los dos tipos de líquen (*Flavoparmelia* sp y *Usnea* sp) utilizados para el cálculo de los dos índices solo crecen en ambientes **poco contaminados**; esto se pudo corroborar, ya que los árboles del 5 al 8, presentan un conteo bajo de individuos líquénicos, siendo una posible causa la presencia de vehículos de carga y/o las emisiones causadas por las industrias ubicadas en la vía Bogotá-Medellín, por lo que se puede concluir que las actividades antrópicas producen un efecto negativo en la calidad atmosférica, lo cual, pueden afectar estos dos géneros líquénicos, modificando su morfología, sus aspectos físicos y químicos y su desarrollo. Debido a que las metodologías utilizadas para las dos fases anteriores son diferentes a las utilizadas en la metodología actual, no se puede realizar una comparación frente a los resultados, pero de acuerdo a las conclusiones propuestas en los anteriores estudios se podría inferir que en ninguno se presenta alguna afectación por cambios negativos en el ambiente.
- De acuerdo a la clasificación del alga que posiblemente compone al líquen de género *Flavoparmelia* sp; se puede concluir que los dos tipos de alga (*Microspora* sp y *Chroococcus* sp) encontradas en él, son las que proveen al líquen de la sensibilidad suficiente para servir de indicadores atmosféricos, ya que estos dos géneros presentan características que permiten describir la dinámica de las condiciones ambientales, debido a que pueden ser sensibles a la polución y los nitratos, por lo que, son usadas para el monitoreo de la contaminación ambiental; esto se evidencio al interpolar los datos obtenidos de los nitratos frente a la ubicación de los forófitos monitoreados en el área, donde se corroboró que este género líquénico tiene una gran sensibilidad a las altas concentraciones de nitratos, ya que al observar el comportamiento de dicho contaminante con la disminución en el conteo líquénico, se identificó que en las zonas donde había más altas concentración de nitratos, era donde más se presentaba la disminución de los líquenes.
- La metodología propuesta para la utilización de los líquenes como indicadores de calidad atmosférica es válida, debido a que su sensibilidad a los contaminantes hace que ellos den una percepción biológica de lo que podría estar ocurriendo en la calidad del ambiente , excepto que, se debería manejar un rango de tiempo mayor (aproximadamente 6 meses), ya que así se pueden observar más cambios tanto en la taxonomía del líquen como en su desarrollo,

lo cual, representaría más datos para comparar con el ambiente del área de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. E. Camacho Campos, «Análisis de los procesos de conurbación en municipios de la frontera Nor-occidental de Bogotá,» Facultad de ciencias económicas UNAL, 2009, 2009.
- [2] M. A. Bonilla Triviño , «Perfil epidemiológico del municipio de Cota,» Secretaría de Salud Cota, Cundinamarca, Cota, Cundinamarca, 2009.
- [3] ECONAT LTDA, «Plan de Manejo Ambiental (PMA) en la hacienda el noviciado municipio de Cota,» Fundación cerros de Bogotá, Bogotá D.C., 2013.
- [4] L. F. Garcés Giraldo y M. L. Hernández Ángel , «La lluvia ácida: un fenómeno fisicoquímico de ocurrencia local,» *Revista Lasallista de investigación* , vol. I, nº 2, pp. 67-72, 2013.
- [5] IDEAM, «IDEAM,» Marzo 2014. [En línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/redes-monitoreo-calidad-agua>. [Último acceso: 16 11 2016].
- [6] F. L. Pedraza Valencia, «Unimedios,» 2011. [En línea]. Available: <http://historico.unperiodico.unal.edu.co/ediciones/115/10.html>. [Último acceso: 13 Noviembre 2016].
- [7] V. L. Lopez Jimenez y G. Herrera Torres, «Diagnóstico de lluvia ácida y condiciones meteorológicas asociadas en el barrio La candelaria Bogotá D.C,» *Revista especializada en ingeniería de procesos en alimentos y biomateriales*, vol. IV, nº 5, pp. 101-119, 2011.
- [8] H. García Lozada, A. N. Antolinez Esquivel y C. J. Díaz Álvarez, «Estimativo de precursores y comportamiento de la precipitación ácida -húmeda y seca- en el norte de Bogotá D.C,» *Meteorología Colombiana*, nº 8, pp. 37-42, 2004.
- [9] D. Hawksworth, T. Iturriaga y A. Crespo, «Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio ambientales en los trópicos,» *Revista Iberoam*, nº 22, pp. 71-82, 2005.
- [10] R. Lijteroff, L. Lima y B. Prieri, «Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina,» *Revista internacional de contaminación ambiental*, vol. 25, nº 2, pp. 68-74, 2009.
- [11] R. Lijteroff, L. Lima y B. Prieri, «Uso de líquenes como bioindicadores de

contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina,» *Revista internacional de contaminación ambiental* , vol. XXV, nº 2, pp. 52-55, 2009.

- [12] M. M. Jaramillo Ciro y L. R. Botero Botero, «Comunidades liquénicas como bioindicadores de calidad del aire del Valle de Aburrá,» *Gestión y ambiente*, vol. XIII, nº 1, pp. 97-110, 2010.
- [13] P. Wolseley, I. Leith, L. Sheppard y J. Lewis , «Guide to using a lichen based index to nitrogen air quality,» Field Studies Council (FSC), Londres, 2007.
- [14] A. Terron, Empleo de bioindicadores liquénicos para valorar la contaminación atmosférica, Madrid: DM, 1988.
- [15] A. B. Fernandez Salegui y A. Terrón Alfonso , «Biomonitorización de la calidad del aire en los alrededores de La Robla, España,» *Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, vol. XIII, nº 2, 2003.
- [16] K. Ammann, «Multivariate correlation of deposition data of 8 different air pollutants to lichen data in a small town in Switzarland,» *Advances in Aerobiology*, vol. LI, nº 4, pp. 401-406, 1987.
- [17] Enviromental Protection Agency (EPA), «EPA,» 2000. [En línea]. Available: www3.epa.gov/acidrain/education/site_students_spanish/phscale.html. [Último acceso: 18 Noviembre 2016].
- [18] J. Kinross, «Alga,» 2001. [En línea]. Available: <http://algalweb.net/microsp.htm>. [Último acceso: 17 Noviembre 2016].
- [19] M. Lopez Santana y A. Mendez Zepeda, «Evaluación de la concentración de los grupos de fitoplancton: Diatomeas, Cianofitas, Clorofitas y Dinoflagelados y su relación con los parámetros fisicoquímicos, en las aguas del Río Estero Real, período junio-noviembre 2013,» Universidad Nacional Autonoma de Nicaragua, León, 2014.
- [20] G. De la Lanza Espino, S. Hernandez Pulido y J. L. Carbajal Perez, Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores), Mexico: Plaza y Valdes S.A, 200.
- [21] S. Vallejos y E. Cabral, «Diversidad vegetal,» Facultad de ciencias exactas y naturales y agrimensura, Chaco, 2003.
- [22] P. Jimenez Perez, B. Toro Restrepo y E. Hernandez Atilano, «Relación fitoperifiton y contaminación ambiental,» *Boletin científico centro de museos*, vol. XVIII, nº 1, pp. 49-66, 2014.
- [23] D. Sanabria Suarez, «Conductividad electrica por el metodo electrométrico en

aguas,» IDEAM, Bogotá D.C, 2014.