

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 LIQUÉNICAS

Acosta Valdés Tatiana¹
Huertas Giraldo Dayan Andrea²

RESUMEN

El corredor industrial sobre la Autopista Medellín, da origen a la configuración de un nuevo espacio económico, generando un incremento notable en la industrialización en el municipio de Cota Cundinamarca. En el afán de adaptar y evolucionar el territorio con fines de mantenerlo productivo, se evidencia la vulnerabilidad a la que se encuentra expuesto el cerro del Majuy, lugar donde habita una comunidad Muisca Indígena de Cota(Alcaldía de Cota - Cundinamarca).

Se ubicaron 7 estaciones en la hacienda Santa Helena en inmediaciones del cerro del Majuy, con el objetivo de determinar la presencia o ausencia de alguna conducta ácida en las precipitaciones de la zona de estudio, analizando in situ la conductividad específica y la acidez (pH), y en laboratorio concentraciones de iones de nitratos (NO_3). Así mismo, se tomaron como organismos prueba, 4 especies líquénicas (*Flavoparmeliacapitata* (L.) Hale, *Phaeophysciaorbicularis* (Neck.) Moberg, *Xanthoriaparietina* (L.) Th.Fr. y *Parmotremaaperlatum* (Huds.) M. Choisy) representativas en el área de estudio, para identificar la calidad del aire a través de la metodología del Índice de Diversidad Liquélica (LDV) y el Índice de Pureza Atmosférica (IPA), logrando así observar la posible afectación a la calidad del aire en cerro del Majuy, y la posible relación entre el aumento de la cobertura líquénica y las actividades industriales presentes en las zonas aledañas.

A partir del análisis estadístico y descriptivo, se evidenciaron valores dentro de los tres parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad y nitratos) de las muestras de lluvia, los cuales no presentaron comportamientos relevantes para demostrar una conducta ácida en las precipitaciones según la teoría. En conclusión, a pesar de que se encontraron valores de nitratos dentro del rango establecido para presencia de lluvia ácida según el IDEAM, los valores no fueron representativos en cantidad, como para catalogar presencia de lluvia ácida en el área de estudio.

PALABRAS CLAVE: Índice de Diversidad líquénica, Índice de Pureza atmosférica, nitratos, lluvia ácida.

¹Estudiante de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomas de Bogotá, Colombia
Dirección de correo electrónico: tatianaacosta@usantotomas.edu.co

² Estudiante de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomas de Bogotá, Colombia
Dirección de correo electrónico: dayanhuertas@usantotomas.edu.co

ABSTRACT

The industrial corridor on the Medellin highway, gives rise to the formation of a new economic space, generating a significant increase in industrialization in the municipality of Cota Cundinamarca. . In an effort to adapt and evolve to keep land productive purposes, the vulnerability that is exposed Majuy hills range the hill, where a community lives Muisca Indian Cota is evident(Alcaldía de Cota - Cundinamarca).

7 stations were located in the Santa Helena hill near the Majuy hills range, in order to determine the presence or absence of any conduct acid precipitation of the study area, analyzing in situ specific conductivity and acidity (pH), laboratory and nitrate ion concentrations (NO_3). Likewise, they were taken as test organisms, 4 lichen species (*Flavoparmeliacapitata* (L.) Hale, *Phaeophysciaorbicularid* (Neck.) Moberg, *Xanthoriaparietina* (L.) Moberg Th.Fr. and *Parmotrema perlatum* (Huds.) M. Choisy) representative in the study area to identify air quality through the methodology of lichen Diversity Index (LDV) and the Index of Atmospheric Purity (IPA), achieving observe possible effects on air quality in hill Majuy hills range, and the possible link between increased coverage of lichen and industrial activities present in surrounding areas.

From descriptive statistical analysis, values within three physico-chemical parameters (pH, conductivity and nitrate) sample of rain, which did not present relevant behaviors to demonstrate an acidic precipitation behavior in the theory, were evident. In conclusion, although nitrate values were within the range established for the presence of acid rain according to IDEAM, the values were not representative quantity as to catalog the presence of acid rain in the study area.

KEY WORDS: lichen diversity index, index of atmospheric purity, nitrates, acid rain.

INTRODUCCIÓN

Cota se encuentra ubicada al noroccidente de Bogotá D.C. a una altura de 2.547 m.s.n.m., posee un clima de sabana fría que generalmente está entre los 5 y los 14°C, y donde las temporadas más lluviosas del año se presentan entre marzo y junio, y entre septiembre y diciembre, alcanzando los 110 mm/mes; mientras que las temporadas más secas del año son principalmente entre enero y febrero, y entre julio y agosto. El territorio municipal comprende 5343,56 hectáreas, de las cuales aproximadamente 505 pertenecen al Resguardo indígena Muisca de Cota ubicado en el cerro del Majuy(Secretaria de Salud, 2009).

El cerro del Majuy posee un alto potencial ecológico considerable, el cual es de gran importancia patrimonial para el cultivo de hortalizas y la cultura de la población, especialmente para los habitantes que residen en el cerro, ya que el 13,3% de la población se reconoce como indígena dado que esta comunidad Muisca Indígena de Cota tiene una gran influencia en el municipio(Rincón, 2012).

El incremento del corredor industrial cercano a esta reserva, ha venido alterando la zona debido al gran aporte de emisiones atmosféricas que realiza, dentro de los cuales se destacan precursores de la lluvia ácida como óxidos de azufre (SO_x) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Partiendo de esta premisa, surgió una gran inquietud acerca de los posibles efectos a los que el cerro del Majuy y el municipio de Cota pudiesen estar expuestos, por lo tanto se planteó la investigación mediante la metodología de captura de muestras de agua lluvia para evaluar la presencia de conductas ácidas en las precipitaciones, teniendo en cuenta la vulnerabilidad de este ecosistema.

A través del tiempo y principalmente durante los últimos años, los organismos prueba y bioindicadores han sido utilizados en estudios e investigaciones para determinar el efecto de la contaminación atmosférica en los ecosistemas, ya que funcionan como una alarma de prevención, que al ser un indicador biológico de los efectos de la contaminación del aire, son capaces de ofrecer información sobre los riesgos para otros organismos, ecosistemas y el hombre (Rincón, 2012). El presente estudio tuvo como objetivo determinar la posible presencia de precipitaciones ácidas en la Hacienda Santa Helena inmediaciones del cerro del Majuy en el municipio de Cota Cundinamarca, utilizando mediciones de parámetros fisicoquímicos del agua lluvia y dadas las condiciones de la zona, fueron seleccionados como organismo prueba o bioindicadores, líquenes, ya que sí existen cambios o alteraciones en la calidad del aire, estos organismos pueden evidenciar una reacción gracias a su capacidad de absorber agua y de acumular nutrientes de la atmósfera; lo cual permitió establecer un posible efecto de la lluvia ácida en su fisiología(et al, 2007)aplicando la metodología del Índice de Diversidad de Liquéncia(LDV) y el Índice de Pureza Atmosférica (IPA).

1. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un inventario de información preliminar mediante revisión bibliográfica facilitada por la Secretaria Agropecuaria de Medio Ambiente y Desarrollo Económico (SAMADE) del municipio; donde se identificaron 1662 industrias presentes en el corredor de Cota, de las cuales 200 pertenecen a actividades industriales que generan diferentes tipos de emisiones contaminantes al aire (tabla 1). Posteriormente se procedió a la recolección de la información meteorológica existente del municipio y a la información cartográfica de la zona teniendo en cuenta que fueron herramientas importantes para realizar la modelación del contaminante (PM_{10}) y determinar la ubicación de las estaciones y el área de estudio.

Tabla 1. Principales actividades industriales de Cota Cundinamarca

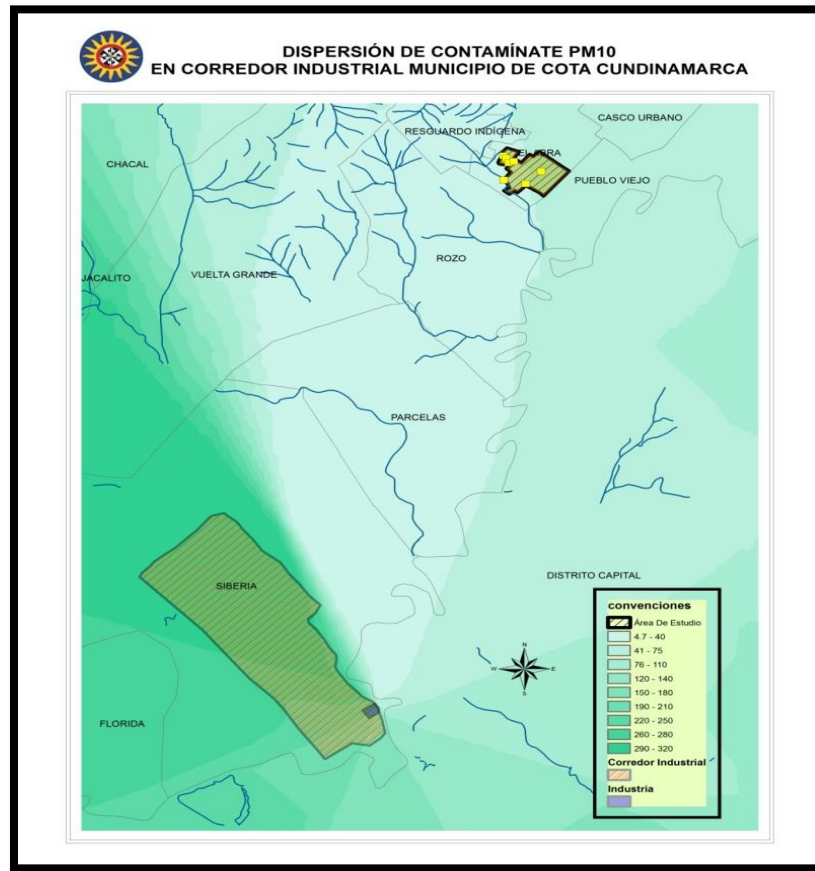
Fuentes de emisión	Tipo de contaminación
• Parque automotor. • Industrias de Lácteos. • Industrias Siderúrgicas, Metálicas y de construcción. • Industria Agroquímicos y Concentrados. • Industrias Químicas.	Óxidos de azufre (SO _x), óxidos de nitrógeno (NO _x), material particulado (MP), ruido, olores y perturbación ciudadana.

Fuente:(SAMADE, 2015)

Inicialmente el proyecto estableció trabajar en el área que comprendía todo el territorio del cerro del Majuy, pero dadas las condiciones de que el mayor terreno del cerro pertenece a la reserva de la comunidad Indígena Muisca de Cota, no fue posible desarrollar el proyecto en esta zona pues las autorizaciones otorgadas por el cabildo indígena requerían de por lo menos dos meses de anterioridad. Dado lo anterior, se optó por llevar a cabo el proyecto en un terreno privado el cual cumplió con las características necesarias para el desarrollo del mismo. La Hacienda Santa Helena fue el área elegida para el estudio, ya que su perímetro abarca parte del cerro.

Como primera medida, se realizó una modelación del comportamiento y dirección de los vientos mediante una mancha de dispersión con datos suministrados por la CAR Cundinamarca de la industria Meyan Ltda., la cual se encuentra ubicada en pleno corredor industrial en la autopista Medellín vía Bogotá Siberia; sus actividades económicas se basan en la fabricación de mezclas asfálticas por lo cual dentro de su proceso productivo genera emisiones atmosféricas entre las que se encuentra PM₁₀. Con los registros obtenidos, se realizó la modelación (mapa 1) de dicho contaminante para lograr determinar si están siendo transportados hacia el cerro mediante la dirección y velocidad del viento, y de este modo obtener un soporte adicional para determinar la calidad del aire y la influencia que el corredor industrial puede tener sobre la posible presencia de precipitaciones ácidas y la afectación a la cantidad de individuos liquénicos en el cerro.

Mapa 1. Modelación mancha de dispersión contaminante PM₁₀ – Sociedad Meyan Ltda.



Fuente: Autores

La modelación de dicho contaminante se realizó a través del software de sistemas de información geográfica ArcGIS, teniendo en cuenta los registros meteorológicos mediante la rosa de vientos de la estación meteorológica del Aeropuerto el Dorado ubicada a 12 km de distancia del área de estudio, dado que el municipio de Cota no cuenta con una estación meteorológica cercana. Luego de realizar la modelación del PM₁₀ desde el punto de emisión (industria Meyan Ltda.) hacia el cerro del Majuy, se evidenció claramente que las concentraciones de contaminante no están siendo dirigidas hacia el cerro, por lo contrario como se observa en el mapa 1, las concentraciones más bajas son dirigidas hacia el cerro.

1.1 Precipitaciones Ácidas

Las estaciones de recolección de muestras de precipitación se elaboraron bajo las características de diseño de los pluviómetros de una estación meteorológica convencional de la siguiente manera:

Tabla 2. Elaboración de estaciones de recolección

Materiales
Recipiente colector de agua.
Embudo para capturar la primera muestra de lluvia, evitando que se genere lavado atmosférico en la muestra.
Maya para embudo, protectora de agentes externos que puedan alterar la muestra.
Base metálica para sostener el colector de agua y proteger la muestra de la fauna o cualquier agente externo que altere el estado original de la muestra.

Fuente: Autores

Apoyándose en la información cartográfica y los rangos de altitud del cerro, fueron ubicadas 7 estaciones de monitoreo (tabla 3) como se muestra en el mapa 2. Se tomó como criterio, que cada estaciones tuviera aproximadamente a 25 metros de distancia de la anterior para obtener la representatividad suficiente y así cubrir la totalidad del área de estudio, así mismo se tuvo en cuenta los diferentes entornos y características ecosistémicas presentes en el área de estudio junto con las restricciones de ingreso al lugar y la seguridad de los equipos y elementos.

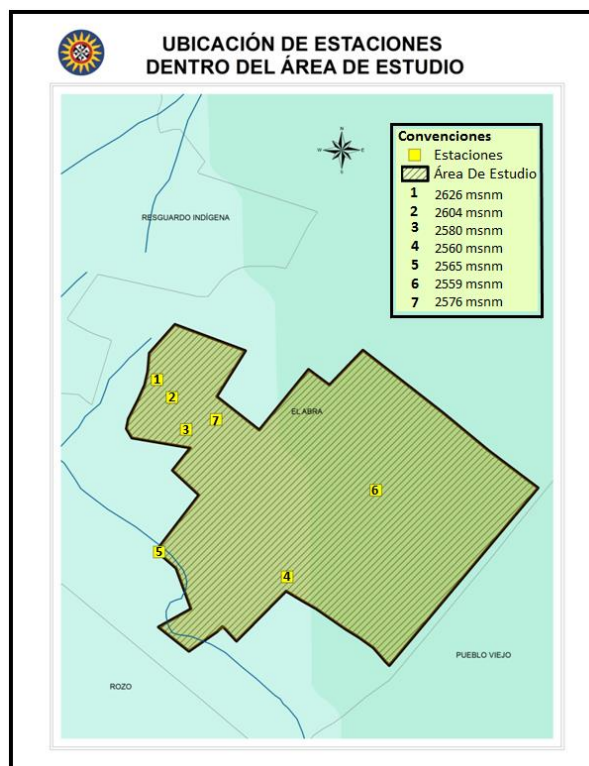
Tabla 3. Descripción de estaciones

Estación	Descripción	Foto	Estación	Descripción	Foto
1	Las condiciones son iguales a las de la reserva indígena, no posee un fácil acceso de visitantes y los factores bióticos del ecosistema que lo rodea, son abundantes y no se encuentran alterados.		5	Colindo por un lado con una vivienda y por el otro con cultivos de hortalizas, condiciones medias de vegetación y abundante radiación solar.	
2	Las condiciones son similares a la estación 1 en cuanto a los factores bióticos, pero se evidencia presencia de visitantes.		6	Expuesta al paso de vehículos, rodeada de cultivos de diferentes tipos de hortalizas, contó con poca vegetación y alta humedad por el riego de cultivos.	

3	Los factores abióticos que rodean la estación, muestran intervención humana, a 2m se presenta una trocha que es transitada por vehículos pequeños.		7	Se encontró cerca de una vivienda y al paso de visitantes, con abundante vegetación, buena humedad y radiación solar	
4	Presentó condiciones de vegetación abundante, compuesta en gran parte por especies arbustivas.				

Fuente: Autores

Mapa 2. Ubicación Geográfica de las Estaciones de Monitoreo Dentro del Área de Estudio



Fuente: Autores

Las muestras fueron recolectadas en cada evento de precipitación durante un periodo de tres meses que comprendieron desde la tercera semana de marzo a la tercera semana de junio del 2015. La acidez y conductividad específica se midieron in situ, mientras que los análisis de concentraciones de iones de nitratos se llevaron a cabo en el laboratorio con los equipos correspondientes (tabla 4), cumpliendo con los protocolos del IDEAM (IDEAM, 2007), para la manipulación y traslado de muestras de nitratos.

Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Equipo	Medición
Conductividad específica	Sonda Multiparamétrica	In situ
Acidez	Sonda Multiparamétrica	In situ
Concentraciones de iones de nitratos (NO ₃)	Espectrofotómetro Hach	In vitro

Fuente: Autores

1.2 Índice de Diversidad Liquélica (LVD)

El monitoreo de las diferentes especies líquénicas que crecen en las cortezas de los árboles (líquenes cortícolas) cercanos a cada estación, se hizo tomando muestras para la posterior identificación de las especies presentes (tabla 5). Se seleccionaron entre 3 y 4 árboles por estación implementando la metodología propuesta por Monge-Nájera (2002), según la cual los forófitos (árboles) deben estar cerca al punto de muestreo, tener diámetro mayor a 40 cm. y no presentar evidencias de actividad humana como: pintura, cubiertas de papel, tratamiento con plaguicidas o daños causados por animales (Jaramillo Ciro & Botero Botero, 2010), en total se seleccionaron 25 árboles.

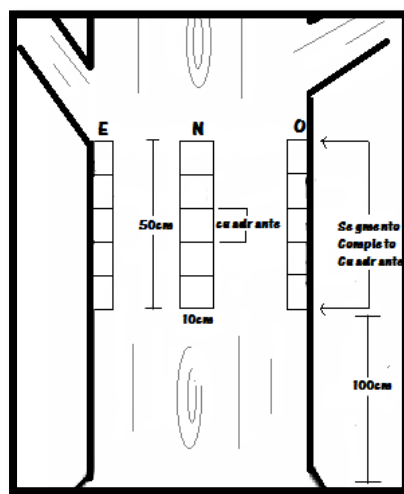
Tabla 5. Especies líquénicas presentes en el área de estudio

ESPECIES LIQUÉNICAS	
1	Flavoparmeliacaperata (L.) Hale
2	Phaeophysciaorbicularid (Neck.) Moberg
3	Xanthoriaparietina (L.) Th.Fr.
4	Parmotremaperlatum (Huds.) M. Choisy

Fuente: Autores

La metodología para calcular el LDV, utiliza cuatro cuadrillas por árbol de 50 cm. de alto por 10 cm. de ancho. Cada cuadrilla debe tener 5 subdivisiones de 10 cm. por 10 cm. Estas cuatro cuadrillas se ubicaron en el Norte, Sur, Este y Oeste de cada árbol seleccionado para el muestreo, a una distancia mínima de 1 metro del suelo (Imagen 1) (Asta, 2002).

Imagen 1.Ubicación de cuadrillas para LDV



Fuente: Autores

Teniendo las cuadrillas instaladas en cada uno de los árboles seleccionados en las estaciones, se procedió al conteo de especies de líquenes presentes dentro de cada cuadrante por árbol, en todas las direcciones. Se realizaron dos conteos, uno inicial y otro final, con un intervalo de 12 semanas en cada una de las estaciones.

Las frecuencias de especies de líquenes (SF_i) obtenidas, se sumaron por separado en cada punto cardinal, obteniendo así **por árbol** cuatro sumatorias (SF_iN , SF_iS , SF_iE , SF_iO) en cada una de las estaciones, como se muestra en los resultados de la estación 1 (tabla 6).

Tabla 6. Suma de frecuencias por árbol

ESPECIE LIQUÉNICA	ESTACIÓN 1															
	ÁRBOL 1				ÁRBOL 2				ÁRBOL 3				ÁRBOL 4			
	N	S	E	O	N	S	E	O	N	S	E	O	N	S	E	O
Flavoparmelia caperata (L.) Hale	2	2	0	3	5	0	4	3	4	0	0	5	4	0	0	1
Phaeophyscia orbicularid (Neck.) Moberg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Xanthoria parietina (L.) Th.Fr.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Parmotrema perlatum (Huds.) M. Choisy	4	5	0	5	5	0	4	5	5	0	0	5	3	0	0	4
SUMA DE FRECUENCIAS (SF)	6	7	0	8	10	0	8	8	9	0	0	10	7	0	0	5

Fuente: Autores

Después de obtener los (SF_i) de cada árbol por estación, se sumaron las frecuencias (MSF) por punto cardinal (ecuación 1) y de este modo se obtuvo el valor del LDV de dicha estación, aplicando la ecuación 2, como se muestra en la tabla 7.

Ecuación 1. Frecuencia por árbol en cada Estación

$$MSF = \frac{(SF_iN1 + SF_iN2 + SF_iN3 + \dots + SF_iNn)}{n}$$

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, S, E, O : Norte, Sur, Este, Oeste
n: Número de árboles muestreados en la estación

Ecuación 2. Índice de Diversidad Liquénica

$$LDV = (MSF_N + MSF_S + MSF_O + MSF_E)$$

Tabla 7. Cálculo de LDV

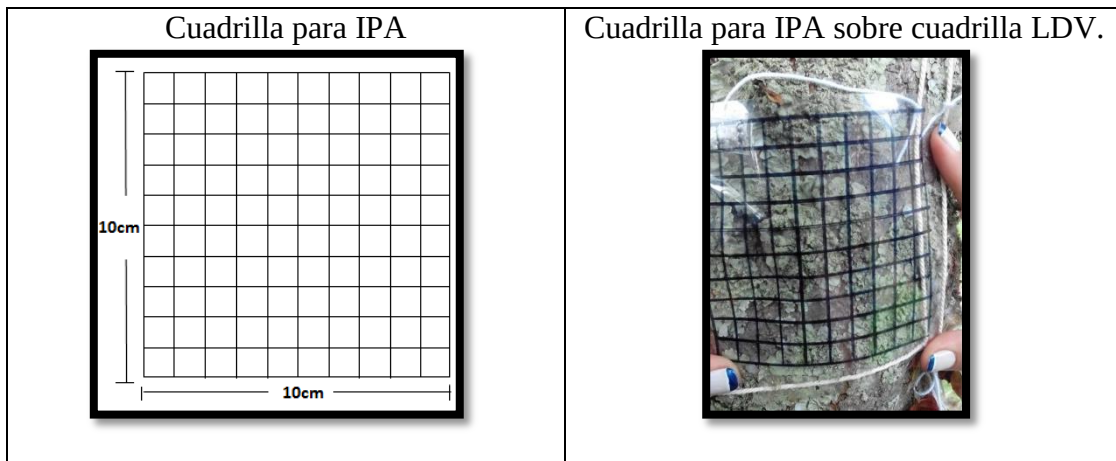
MÉTODO DE SUMA DE FRECUENCIAS (SF)				
ESPECIE LIQUÉNICA	N	S	E	O
Suma de frecuencias árbol 1	6	7	0	8
Suma de frecuencias árbol 2	10	0	8	8
Suma de frecuencias árbol 3	9	0	0	10
Suma de frecuencias árbol 4	7	0	0	5
MSF	8	1.8	2	8
LDV				
19.5				

Fuente: Autores

1.3 Índice de Pureza Atmosférica (IPA)

El cálculo del índice de pureza atmosférica (IPA), se realizó sobre los mismos árboles seleccionados para el LDV. En este índice se utilizó una cuadrilla en acetato de 100 cm² subdividida en cuadros de 1 cm. por 1 cm. (imagen 2), midiendo sobre el área con mayor población liquénica, basados en las cuadrillas y los cuadrantes del índice de LDV.

Imagen 2. Cuadrilla para determinar el IPA



Fuente: Autores

Al igual que en el LDV, se realiza un conteo de especies de líquenes presentes dentro de la cuadrilla con el fin de asociar la riqueza de especies encontradas, con los niveles de contaminación presentes en la zona mediante el cálculo del IPA (García Delgadillo, 2004).

Ecuación3.Cálculo de IPA

$$IPA = \frac{Q_i * f_i}{n} * C_i$$

C_i : Cobertura relativa de la especie i en la estación j

f_i : Frecuencia (número de forófitos de la estación j en que aparece la especie i)

n : Número de forófitos en la estación

Q_i : Grado de sensibilidad de las especies

Para poder realizar el cálculo del IPA (ecuación 3), se calculó previamente el grado de sensibilidad por cada especie muestreada (ecuación 4). Luego de esto, se realizó una sumatoria de la multiplicación entre sensibilidad, frecuencia y cobertura de cada especie presente en cada estación, y el resultado se dividió sobre el número de árboles presentes por estación.

Ecuación4.Grado de sensibilidad

$$Q_i = \sum \frac{A_j - 1}{E_j}$$

A_j : Número de especies presentes donde esta i

E_j : número de estaciones donde se halle i

1.3.1 Clases para resultados del IPA

Según la "European guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress" los valores deben agruparse en clases para darle validez estadística y ambiental a los índices (Asta, 2002). Las clases para IPA se pueden agrupar con métodos como el de la regla de Sturges³ donde:

Ecuación5.Intervalos de clase

$$\text{Número de intervalos de clase} = 1 + 3.3 * (\log n)$$

n : Número de estaciones IPAs

$$= 1 + 3.3 * (\log 7) = 3.78 \approx 4$$

Ecuación 6. Amplitud

$$\text{Amplitud de clase} = \frac{\text{Variante máxima} - \text{Variante mínima}}{\text{Número de clases}}$$

$$\text{Amplitud de clase} = \frac{3.60 - 1.10}{4} = 1$$

³ Tabla de Distribución de Frecuencias (Cruz Ariza).

Dado que se obtuvo como resultado cuatro rangos, se estableció la pureza atmosférica entre pobre, justo, bueno y muy bueno, con un valor de amplitud entre los resultados obtenidos de 1.

Tabla 8. Rangos para evaluar el IPA

Nombre	Valor IPA	
Muy Buena	Menor a 1	
Buena	Entre 1.1 y 2.1	
Justo	Entre 2.2 y 3.2	
Pobre	Entre 3.3 y 4.3	

Fuente: Autores

2. RESULTADOS

El análisis y la evaluación de los resultados se realizaron con base en los datos obtenidos durante el período de muestreo comprendido entre la tercera semana de marzo y la tercera semana de junio, de 2015 para un total de 119 muestras obtenidas de precipitación y 198 de líquenes. Para establecer acidez en la lluvia se tuvieron en cuenta los parámetros establecidos por el IDEAM (tabla 9).

Tabla 9. Parámetros establecidos por el IDEAM para lluvia ácida.

Valores estimados para determinar acidez en el agua lluvia		
pH	Conductividad	Nitratos
Inferior a 5.65	Superior a 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Entre 0,4 mg/L a 2,0 mg/L

Fuente:(IDEAM)

Se realizaron dos pruebas de normalidad a los datos obtenidos previos a su análisis estadístico, mediante el programa estadístico SPSS, para determinar si el comportamiento de los datos se asemejaba a una distribución normal. La primera prueba realizada fue la de Kolmogorov – Smirnov⁴ y la segunda fue la de Shapiro – Wilk⁵. Dichas distribuciones se establecen mediante rangos donde valores menores a 0.05 indican una distribución no normal, mientras que mayores a 0.05 indican una distribución normal (Grupo de Innovación Educativa Universitat de València, 2010).

Al obtener los resultados de las pruebas de Normalidad, se evidenció que el comportamiento de los datos recolectados de conductividad y nitratos presentaron una distribución normal, mientras que los datos de pH presentaron una distribución no normal,

⁴ Test de Kolmogorov – Smirnov (Kisbye, 2010)

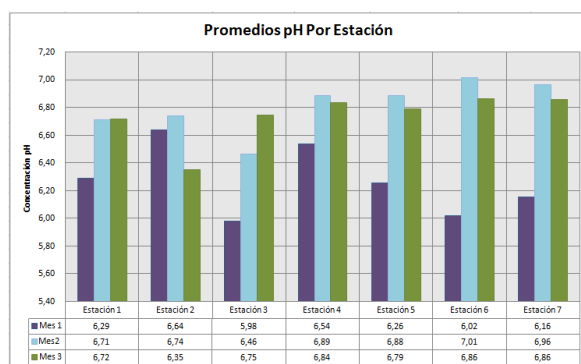
⁵ Contraste de Normalidad Shapiro – Wilk (Universidad de Castilla)

lo que indica que los pH obtenidos durante el periodo de muestreo, variaron notoriamente entre una estación y otra.

2.1 Comportamiento pH

Los valores obtenidos de pH durante el período de muestreo (tercera semana de marzo a la tercera semana de junio del 2015) se observan en la gráfica 1.

Gráfica 1. Resultados promedio de pH por mes



Fuente: Autores

En el gráfico 1 se puede observar en primera medida que los datos no se encuentran dispersos dentro de un rango extenso, por el contrario estos no presentan grandes variaciones, a pesar de que se evidencia una diferencia entre un mes y otro, el valor promedio más bajo se presentó en la estación 3, sin embargo el mínimo valor promedio mensual de pH fue de 5.4. Por otro lado, las estaciones de muestreo ubicadas en la parte baja de la hacienda Santa Helena (estaciones 5, 6 y 7) presentan los valores promedio más altos de pH, en la estación 6 el valor máximo promedio mensual de pH fue de 7.36 el cual disminuye progresivamente a través del tiempo.

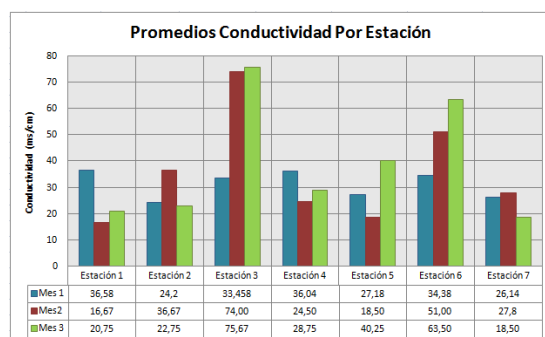
Durante el primer mes de muestreo comprendido entre la tercera semana de marzo y la tercera semana de abril del 2015, se presentó la mayor cantidad de eventos de precipitación, catalogándolo como el mes con mayor humedad, donde se presentaron los valores más bajos de pH, que a lo largo del muestreo evidenciaron un notorio aumento, lo cual se puede deber al inicio de la época seca.

Teniendo en cuenta el comportamiento cambiante de humedad en el cerro del Majuy, la temporada más seca del muestreo fue durante el segundo mes comprendido entre la tercera semana de abril y la tercera semana de mayo del 2015, arrojando valores más altos de pH en cada una de las siete estaciones, y a medida que comenzaba nuevamente la época húmeda, se ve como los valores de pH van disminuyendo. Esto apunta a que la frecuencia con la que se presenten eventos de precipitación de una u otra manera es una variable importante en la determinación de eventos de lluvia ácida.

2.2 Comportamiento Conductividad Específica

Los datos obtenidos de conductividad durante el período de muestreo, se encuentran representados en la gráfica 2, donde se dan a conocer los valores de la variable para cada estación durante los tres meses, teniendo en cuenta que la presencia de iones puede ser de carácter ácido.

Gráfica 2.Resultados promedio de Conductividad Específica por Mes



Fuente: Autores

En la gráfica 2 se puede observar en primera instancia que los datos se encuentran dispersos dentro de un rango pequeño. Los puntos de muestreo 3 y 6 contienen los valores promedio más altos presentados durante todo el estudio, en la estación 3 se presentó un valor mínimo de 33.45 $\mu\text{S/cm}$ y un máximo de 75.67 $\mu\text{S/cm}$. La estación 6 también presentó un pico en comparación con las demás estaciones registrando un valor mínimo de 34.38 $\mu\text{S/cm}$ y máximo de 63.50 $\mu\text{S/cm}$.

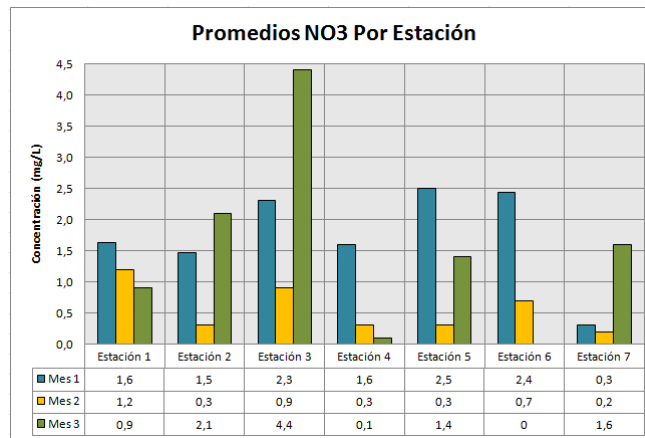
Los valores atípicos presentes en la estación 3 que se evidencian a partir del segundo mes, pueden ser efecto de que en el segundo mes empezaron a transitar vehículos en una trocha cercana a la estación, este evento pudo alterar de cierta manera la muestra.

Así mismo, se evidencia que en el primer y tercer mes, se presentaron valores altos de conductividad en comparación con el segundo mes que fue el más seco, carácter que puede indicar que la presencia de eventos de precipitación también es una variable importante en la determinación de eventos de lluvia ácida en cuanto el parámetro de conductividad.

2.3 Concentración de Nitratos

Uno de los principales precursores de la lluvia ácida son los óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos químicos generados a través de dos vías principales: fuentes antropogénicas, a partir de la quema de combustibles fósiles, y fuentes naturales. Para este estudio las emisiones generadas por el corredor industrial, pueden ser precursoras de la afectación en la calidad del aire y por ende de la posible acidificación de las precipitaciones. Para el análisis de nitratos se presentaron los siguientes resultados:

Gráfica 3. Resultados Promedio de Nitratos por Mes



Fuente: Autores

Se puede observar en la gráfica3 que los datos obtenidos de nitratos se encuentran dispersos dentro de un rango extenso, ya que se puede identificar claramente un pico en la estación 3 con valor de 4.4 mg/Ly valores muy bajos en la estación 4 como 0.1 mg/L. Durante el primer mes y tercer mes de muestreo, siendo los meses con mayor presencia de precipitaciones, se registran los valores promedio más altos. Mientras que en el segundo mes, siendo el mes más seco, se evidencia una disminución en los valores de nitratos.

El valor atípico en la estación tres durante el tercer mes, se puede asociar al igual que el de conductividad a la presencia de vehículos transitando cerca durante este periodo.

Los resultados de los análisis de laboratorio de las muestras recolectadas en las estaciones más elevadas (1 y 2), muestran un comportamiento bastante similar donde la mayoría de los datos no varía significativamente, puesto que los datos no fluctúan dentro de un rango muy grande y no se distingue dispersión.

2.4 Relación de parámetros fisicoquímicos

2.4.1 Estación 1

La estación 1 se caracterizó principalmente por poseer condiciones iguales a las del territorio de la reserva indígena, ya que fue ubicada a una mayor elevación dentro del cerro en comparación con las demás, por lo tanto no tenía ningún contacto con algún tipo de alteración humana, contaba con la captación de humedad suficiente, buena radiación y abundante vegetación.

Los resultados obtenidos durante el muestro de los dos parámetros fisicoquímicos de pH y nitratos, arrojaron un comportamiento bastante normal según los parámetros que establece el IDEAM, sin embargo la conductividad para los tres meses de muestreo presenta datos atípicos por debajo y por encima del parámetro estándar, lo que indica una tendencia ácida en la conductividad. Añadido a esto se resalta que al realizar la modelación del

contaminante PM_{10} no se evidenció mayor afectación hacia el cerro en cuanto a este contaminante, por lo tanto no se cataloga a este como un agente causante de algún tipo de alteración al entorno o de precipitaciones ácidas.

Por otro lado, sabiendo que la estación 1 contaba con las mejores condiciones ambientales, ecosistémicas y del entorno, se determinó que los resultados fuera del rango estándar en la conductividad, pueden deberse a la metodología de medición, ya que al no realizarse la recolección en el momento de presentarse el evento de precipitación sino al ser unas horas después, pudo alterar de cierta manera la muestra, haciendo que no todos los meses de muestreo presentaran el mismo comportamiento en los parámetros fisicoquímicos para esta estación.

2.4.2 Estación 2

La ubicación de la estación 2, se encontró a una menor elevación, donde se presentaron condiciones ecosistémicas favorables, como lo son la humedad suficiente, buena radiación, abundante vegetación pero con cierta accesibilidad de visitantes.

Al obtener los resultados de los parámetros fisicoquímicos en esta estación, se evidenció un comportamiento que se mantuvo dentro de los rangos estándar para pH y nitratos, y aunque el parámetro de conductividad muestra un dato atípico en el mes 2 no es un aumento considerable. La conducta en aumento que se presentó en comparación a la estación 1 de conductividad, para este caso puede asociarse a la leve cercanía de la estación con una trocha y la mayor accesibilidad de visitantes en este punto donde se ubica la estación. Así mismo, este comportamiento concuerda con el patrón de correlación entre el pH y la conductividad para el periodo de sequía, que caracterizo el mes 2 de muestreo, es decir, que siendo el pH alto la conductividad es baja.

2.4.3 Estación 3

En la falda o pie de monte del cerro se ubicó la estación 3, la cual colindó con una trocha; su entorno presentó condiciones de abundante vegetación y buena radiación solar, lo que favoreció el aumento y crecimiento liquénico. Dentro de los resultados para esta estación, se encontró que la mayoría de los datos presentaron un comportamiento fuera del rango estándar para los tres parámetros fisicoquímicos, el pH mostró resultados con una conducta baja y alta para los meses 1 y 3 respectivamente, en el caso de la conductividad se obtuvieron valores por encima del rango para el mes 2 y 3, y en los resultados de los nitratos se obtuvieron datos por encima del rango para los meses 1 y 3.

Cabe destacar que el comportamiento atípico de la mayoría de los datos obtenidos de esta estación, se pudo deber a la cercanía de la estación con una trocha, ya que se comenzó a evidenciar el paso de vehículos con mayor constancia a lo largo del periodo de muestreo, lo cual, de cierto modo pudo alterar la muestra mientras se mantuvo en la estación hasta ser recolectada, y a esto se le suma la conducción de los vientos y la fácil accesibilidad de visitantes al área de la estación.

2.4.4 Estación 4

La estación 4 se ubicó en la parte baja de la Hacienda Santa Helena, la cual presentó condiciones de vegetación abundante, compuesta en gran parte por especies arbustivas lo que permitió que la estación recibiera precipitaciones directas de la atmósfera y buena radiación solar. Para los resultados obtenidos en el parámetro de pH se evidencia un aumento en los valores arrojados para los meses 2 y 3, y para el parámetro de nitratos se muestra un valor por debajo del rango estándar en el mes 3, mientras que la conductividad muestra una conducta dentro del rango estándar. Estas tendencias ácidas en la lluvia, pueden deberse a la cercanía de la estación con el parqueadero de la zona social de la hacienda y a los cultivos de distintas hortalizas que se encuentran medianamente cerca a la estación.

2.4.5 Estación 5

En el extremo de la parte media de la Hacienda Santa Helena se ubicó la estación 5, colindando por un lado con un predio privado de vivienda y por otro lado con un cultivo de distintas hortalizas, con condiciones medias de vegetación arbustiva y abundante radiación solar. Se obtuvieron valores por encima del rango estándar para el pH en los meses 2 y 3, en la conductividad se obtuvo un único resultado por encima del rango estándar en el mes 3, en los nitratos se encontró un único valor atípico en el mes 1. Este comportamiento pudo haberse presentado por el uso de fertilizantes y plaguicidas aplicados a los cultivos, ya que durante el periodo de muestreo se observó la implementación de dicha actividad constantemente y a la extrema cercanía de la estación con habitantes de la zona.

2.4.6 Estación 6

La estación 6 se ubicó en la parte baja de la Hacienda Santa Helena, muy cerca de la avenida principal municipal y a la entrada vehicular del predio, estuvo expuesta al paso constante de vehículos y personas, se encontró rodeada de cultivos de diferentes tipos de hortalizas, contando con poca vegetación y alta humedad por el riego constante de los cultivos. En cuanto al parámetro de pH arrojó valores por debajo (mes 1) y por encima (meses 2 y 3) del rango estándar que establece el IDEAM en los tres meses de muestreo, para el parámetro de conductividad se presentaron resultados bastante alejados del rango estándar en los meses 2 y 3, y en el caso de los nitratos los valores fueron bajos para el mes 1 y altos para el mes 3.

La evidente conducta ácida de los tres parámetros fisicoquímico, pudo presentarse por la cercanía de las características nombradas anteriormente de la zona, las cuales muestran una alta contaminación del entorno en el que se ubicó la estación, convirtiéndola en una de las más propensas a obtención de conductas ácidas en la lluvia, manteniendo esta conducta como una constante en esta estación.

2.4.7 Estación 7

Se ubicó la estación 7 en la parte baja del cerro, la cual se encontró muy cerca de una vivienda y al paso de visitantes, contó con abundante vegetación, buena humedad y radiación solar, facilitando la recepción de precipitaciones directas de la atmósfera, al medir los parámetros fisicoquímicos de la estación, se obtuvo en el pH valores por debajo (mes 1) y por encima (meses 2 y 3) del rango establecido como normal, en la conductividad se mostró un resultado por debajo del rango y en los nitratos se obtuvieron resultados casi normales a excepción del mes 2, el cual muestra un valor por debajo del rango estándar.

Esta conducta ácida puede deberse a la cercanía con la estación 3, la cual de cierta forma podía ser afectada por las mismas características contaminantes del entorno en el que se ubicó la estación, donde se presentó una conducta similar a lo largo del periodo de muestreo.

2.5 Índice de Diversidad Liquéncia (LDV)

La implementación del índice de diversidad líquénica, se logró determinar mediante análisis estadísticos, calculando las condiciones ambientales de cada estación de muestreo mediante la diversidad y las frecuencias de las comunidades líquénica presentes en el área de estudio.

Tabla 10. Comparación de los resultados iniciales y finales de Índice de Diversidad Liquéncia (LDV)

Estación	LDV Inicial	LDV Final
1	14.75	19.5
2	9.33	11.33
3	11.75	16.25
4	17	17
5	24	25.33
6	12.25	14
7	12	13.5

Fuente: Autores

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de LDV (tabla 10), se evidencia un crecimiento líquénico notable en general, desde el muestreo inicial, al final. La estación 1 presenta el mayor aumento en conteo de comunidades líquénicas, seguida de la estación 3, lo cual indica que las condiciones del entorno en las que se encuentran dichas estaciones son óptimas para el crecimiento y aumento de diversidad líquénica.

Por otro lado, se evidencia que las estaciones 4, 5, 6 y 7 presentaron un bajo aumento en el conteo y frecuencias de las comunidades líquénicas durante el periodo de mediciones iniciales y finales, esto indica que las condiciones del entorno en las que se encontraban las estaciones, no favorecen el crecimiento de las especies, por lo contrario lo detienen y afectan su desarrollo, lo que se puede asociar a los resultados obtenidos en los análisis de

los parámetros fisicoquímicos como lo son la conductividad y los nitratos, asociado también a los agentes precursores de contaminación.

2.6 Índice de Pureza Atmosférica (IPA)

A través de la implementación del Índice de Pureza Atmosférica, se determinó la cobertura líquénica en cada una de las estaciones mediante datos cuantitativos clasificados en rangos de la siguiente manera:

Tabla 11.Resultados IPA

Estación	IPA	Clasificación
1	1,58	Buena
2	1,10	Buena
3	1,41	Buena
4	2,94	Justo
5	1,77	Buena
6	3,60	Pobre
7	1,29	Buena

Fuente: Autores

Según los datos obtenidos de IPA (tabla 11), se puede concluir que en las estaciones 1, 2, 3, 5 y 7 se evidencian buenas condiciones de calidad del aire teniendo en cuenta el entorno, componentes como diversidad, cobertura y frecuencia líquénica. Por lo contrario, la pureza atmosférica resultante en la estación 6 se evalúa como pobre, al igual que la estación 4 que resulto tener una pureza atmosférica justa, lo que indica que los resultados obtenidos igualmente en los parámetros fisicoquímicos, soportan los resultados arrojados por el IPA.

3. DISCUSIÓN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la posible presencia de precipitaciones ácidas en la Hacienda Santa Helena inmediaciones del cerro del Majuy en el municipio de Cota Cundinamarca, utilizando líquenes como bioindicadores y mediciones de parámetros fisicoquímicos del agua lluvia. Este estudio que se comparó con la investigación de (Ángel Martínez & Aparicio, 2014), llevada a cabo en el Parque Natural Chicaque (PNCH) a través del análisis fisicoquímico de pH y la conductividad específica, relacionándola con alguna afectación a la vegetación por medio de bioindicadores (para este caso líquenes), teniendo en cuenta la cercanía del Parque con el municipio de Soacha y algunas industrias que pudieran estar afectando las condiciones ambientales de la zona.

Para ambos estudios se realizó el mismo análisis físico-químico de forma in situ donde el principal indicador de presencia de lluvia ácida fue el pH y la conductividad específica. Se

obtuvieron resultados muy similares, mostrando comportamientos normales y sin datos dispersos en su mayoría para pH (resultados entre rangos de 5 a 7 unidades de pH, tanto en época seca como húmeda), a pesar de encontrar valores de conductividad catalogados para lluvia ácida (los resultados se mantuvieron bajos tanto en época seca como húmeda, lo que pudo deberse a las diferencias en las condiciones de cada lugar de estudio), pero los cuales no fueron representativos para garantizar conductas ácidas. Obteniendo como conclusión en ambos estudios una presencia muy baja y poco significativa de la lluvia ácida en las precipitaciones tanto en la hacienda Santa Helena como en el Parque Natural Chicaque (PNCH); para el estudio de campo realizado en la hacienda Santa Helena se determinó que a pesar de haber encontrado valores de **"nitratos dentro del rango establecido para presencia de lluvia ácida según el IDEAM, los valores no fueron representativos en cantidad, como para catalogar presencia de lluvia ácida en el área de estudio"**.

Ambos estudios plantearon un muestreo, en un determinado tiempo de trabajo de campo, pero a diferencia del estudio realizado en el PNCH, el estudio en la hacienda Santa Helena modeló el comportamiento de emisiones de PM_{10} que se generan en el corredor industrial para determinar si existe una afectación directa sobre la calidad de aire en el área de estudio, adicional a esto planteó una recolección de muestras cada día que se presentó un evento de lluvia en el lugar de estudio, mientras que la toma de muestras en el PNCH fue de dos días por semana independientemente de si se presentaron precipitaciones o no. Adicional a la metodología realizada en el PNCH, en el estudio de la Hacienda Santa Helena se realizó un análisis en laboratorio de las muestras tomadas en campo para el análisis de concentraciones de iones de nitratos (NO_3) y se tomaron únicamente 4 especies líquénicas en lugar de 8 especies. Todo esto con la finalidad de hacer más eficiente el proceso de estudio y análisis, y así obtener resultados más confiables y certeros para determinar la presencia de lluvia ácida en las precipitaciones en la hacienda Santa Helena.

4. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos y analizados evidencian la posible presencia de lluvia ácida según los rangos de normalidad que establece el IDEAM para los parámetros fisicoquímicos estudiados, pero el periodo de muestreo no es lo suficientemente amplio en tiempo y en cantidad, como para determinar con precisión y seguridad la existencia de comportamientos ácidos en las precipitaciones en el lugar de estudio.
- Los periodos de muestreo presentaron diferencias de valores no sustanciales, sin embargo en el resultado de los parámetros fisicoquímicos se evidenció fuertes cambios dentro de cada periodo, lo que se puede deber a las épocas de lluvia y sequía tan marcadas dentro de los tres meses de muestreo; ya que se evidenció un patrón de valores bajos de pH y valores altos de conductividad en época de precipitaciones, y viceversa en época seca.
- La modelación del contaminante PM_{10} demostró que las concentraciones más altas no son dirigidas hacia el cerro, lo que indica que el corredor industrial no está aportando en gran parte algún tipo de contaminación al cerro del Majuy, pero

teniendo en cuenta los resultados de los parámetros fisicoquímicos donde se evidencia la posible presencia de acidez en las precipitaciones, se concluye que no solo los entornos y las actividades presentes en cada estación pueden estar alterando la muestra, sino que también puede haber presencia de otro tipo de contaminante en la atmósfera como lo son óxidos de azufre (SO_x) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Lo anterior dado que estos contaminantes no presentan el mismo comportamiento de dispersión que el PM_{10} , por lo tanto las emisiones de estos contaminantes si pueden estar siendo dirigidas de cierta forma hacia el cerro.

- Las especies que presentaron menor cobertura y frecuencia en la zona de estudio fueron *Phaeophysciaorbicularid* (Neck.) Moberg y *Xanthoriaparietina* (L.) Th.Fr., las cuales estuvieron presentes únicamente en las estaciones 4 y 6; este comportamiento se puede deber a las condiciones que rodeaban a los árboles que presentaron estas especies, ya que la cercanía con la vía principal del municipio y la proximidad a cultivos de distintas hortalizas, hacían más sensibles a los líquenes. Para efectos del estudio, se puede ultimar que estas especies se adaptan como bioindicadores u organismos prueba, ya que presentaron un aumento muy bajo o nulo desde el primer periodo de conteo de líquenes al segundo periodo de conteo, indicando que las condiciones del entorno donde se presentaron las especies no favorecían un aumento en su cobertura.
 - Los análisis de los tres parámetros fisicoquímicos para las estaciones 4 y 6 en especial presentaron valores por fuera del rango estándar que establece el IDEAM, lo cual fue respaldado por los resultados de los índices (LVD) e (IPA), ya que se obtuvieron valores que evidencia presencia de lluvia acida en el lugar de estudio y muy bajo o nulo aumento en la cobertura liquénica, demostrando que el entorno alterado que rodea a estas dos estaciones tiene gran influencia en el resultado obtenido.
-

5. RECOMENDACIONES

- Se sugiere que para futuros estudios en el área de muestreo o en otros lugares, se realice la toma de muestras y medición de parámetros fisicoquímicos lo más pronto posible después de haberse presentado el evento de precipitación, evitando así la posible contaminación de las muestras.
- Es de gran importancia para próximos estudios, realizar monitoreo meteorológico en tiempo real con estaciones portátiles desde el punto de emisión de las industrias que están dentro del área comprendida para el desarrollo del proyecto, para de este modo tener un soporte con datos de la zona, puesto que Cota no cuenta con estaciones meteorológicas cercanas y las condiciones meteorológicas registradas en la estación del Dorado pueden ser muy diferentes a las del municipio.

- Se recomienda modelar no solo el contaminante PM₁₀ sino adicional a esto, los diferentes tipos de contaminantes emitidos por las industrias como Óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x) y demás contaminantes, ya que todos no tienen el mismo comportamiento de dispersión y concentración, y esto puede estar afectando las condiciones del cerro junto a los resultados obtenidos.
 - Se propone para un próximo estudio que las estaciones de muestreo se encuentren ubicadas en sectores que tengan condiciones similares y las mismas características del entorno, preferiblemente que no tengan ningún tipo de alteración externa, como cultivos, vías, pasos peatonales, entre otros.
-

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al docente Johan Alexander Álvarez Berrio por el aporte y enseñanza de sus conocimientos, a las Universidades Santo Tomas, La Salle y Sergio Arboleda por el préstamo de equipos y laboratorios para el desarrollo del proyecto.

7. FUENTES DE FINANCIACIÓN

Para el desarrollo de dicho proyecto, se contó con el apoyo en cuanto préstamo de laboratorios por parte de la Universidad Sergio Arboleda, para el préstamo de equipos se contó con el apoyo de la Universidad Santo Tomas y Universidad de la Salle. Para la compra de reactivos, materiales, transportes y demás gastos que surgieron durante el desarrollo del proyecto, se contó con recursos económicos propios.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcaldía de Cota - Cundinamarca. (s.f.). *Nuestro Municipio - Ecología*.

Ángel Martínez, M. C., & Aparicio, M. P. (2014). Determinación del comportamiento ácido en las precipitaciones del parque natural Chicaque y su posible afectación a la vegetación del ecosistema. Bogotá: Universidad Santo Tomas.

Asta, J. (2002). *European Guideline for Mapping Lichen Diversity as an Indicator of Environmental Stress*.

C.M. González, B. A. (2012). Acid rain and particulate matter dynamics in a mid-sized Andean city: The effect of rain intensity on ion scavenging. *Atmospheric Environment*, 60, 164 - 171.

CAR. (2006). *Expediente empresa Meyan Ltda*. Obtenido de Planta procesadora de Asfalto.

Cruz Ariza, F. J. (s.f.). *Tablas de Distribución de Frecuencias*. Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México.

et al. (2006). Comunidades de líquenes: indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia. La Paz : Tesis de grado. Unidad de Calidad Ambiental, Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés.

et al. (2013). ATMOSPHERIC Deposition and Canopy Exchange of Anions and Cations in Two Plantation Forests Under Acid Rain Influence. *Atmospheric Environment*, 64, 242 - 250.

et al. (2007). Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica de Bolivia. *Revista Virtual REDESMA*.

García Delgadillo, J. M. (2004). *Mapa de Estrés Atmosférico de Cedritos (Bogotá) a partir de Diversidad Liquélica*.

Grupo de Innovación Educativa Universitat de València. (2010). *SPSS: Pruebas No Paramétricas*.

IDEAM. (2007). *Determinación de Nitratos en Agua por Espectrofotometría Ultravioleta*. Obtenido de Grupo de Laboratorio de Calidad Ambiental.

IDEAM. (s.f.). *Parámetros empleados para caracterizar la lluvia ácida*.

IDEAM. (1999). *Régimen Anual de Vientos Aeropuerto El Dorado*.

Jaramillo Ciro, M. M., & Botero Botero, L. R. (2010). Comunidades líquénicas como bioindicadores de calidad del aire del Valle de Aburrá. *Revista Gestión y Ambiente*, 13 (1).

Kisbye, P. (2010). *Test de Kolmogorov-Smirnov*.

L. Pérez, B. W. (2009). Lichen Community Structure And Morphological Changes In The Genus *Sticta* (STICTACEAE) Associated To An Altitude Gradient. *Open Journal Systems*, Universidad Nacional de Colombia.

La Anunciata. *Lluvia Ácida*.

Luigi Nimis, P. (2009). *A Key to Common Lichens on Trees in England*.

Monge Nágera, J., & Chaves, R. (1996). *Ecología: Una introducción practica*. San José: Editorial de la universidad de Costa Rica.

Rincón, J. (2012). Líquenes como bioindicadores en el monitoreo de la calidad de aire. Bucaramanga: Tesis de grado. Facultad de ciencias. UI de Santander.

SAMADE. (2015). Secretaría Agropecuaria, Medio Ambiente y Desarrollo Económico (Cuadro 81 Aire). Cota, Cundinamarca.

Secretaría de Salud. (2009). *Perfil Epidemiológico del Municipio de Cota*.

Universidad de Castilla. (s.f.). *Pruebas no Paramétricas*.