

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**Determinación de los niveles de pH, conductividad, sulfatos y nitratos en muestras de agua lluvia, recolectadas en sectores de alta, mediana y baja contaminación ambiental atmosférica del Distrito Metropolitano de Quito.**

**Disertación previa a la obtención del Título de Licenciada en Ciencias Químicas,  
mención Química Analítica.**

**KARINA JAQUELINE SIMBAÑA FARINANGO**

Quito, 2011

Certificación de la finalización de la disertación:

Certifico que la disertación de Licenciatura en Ciencias Químicas, mención Química Analítica, de la candidata Karina Jaqueline Simbaña Farinango ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Fecha: 13 de septiembre 2011

Firma del Director de la Disertación

---

Mtr. Alexandra Hidalgo J.

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo a Dios, a mis padres, Alberto y Zoila por su amor incondicional, su infinito apoyo y comprensión, por ser mi soporte y compañía durante todas las etapas de mi vida.

A mi hijo Damián por ser mi fuente más grande de inspiración; y mi esposo Diego por darme la estabilidad emocional y sentimental, para poder terminar este logro, por enseñarme que todo esfuerzo tiene al final una recompensa. Gracias a ellos tuve la fortaleza para enfrentar los obstáculos que se me presentaron.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento:

A Dios por ser mi guía y mi apoyo incondicional en cada momento de mi vida.

A la Directora de esta disertación, Mtr. Alexandra Hidalgo, Directora Técnica del CESAQ–PUCE, por la confianza, apoyo, guía y consejos brindados durante el desarrollo de este trabajo.

A la M.Sc. Wendy Heredia, Directora General del CESAQ–PUCE, por la confianza que me brindó durante este tiempo; por sus recomendaciones para la realización de este logro.

Al CESAQ–PUCE por el apoyo económico brindado para la realización de esta investigación.

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, sus autoridades, docentes y personal administrativo, la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y la Escuela de Ciencias Químicas, por la oportunidad de desarrollo profesional.

Quiero agradecer a mi hijo Damián por su paciencia e inspiración.

Agradezco a mis padres Alberto y Zoila y a mi hermana Mishell por siempre estar a mí lado.

A todos mis amigos, especialmente a Fernanda, Gabi, David y Alejandra, por ayudarme a crecer profesionalmente, e insistirme para la terminación de este trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>8</b>
<b>1. PARTE TEÓRICA .....</b>	<b>8</b>
<b>1.1. QUÍMICA TROPOSFÉRICA .....</b>	<b>8</b>
<b>1.2. LA LLUVIA ÁCIDA .....</b>	<b>12</b>
1.2.1. Fuentes y Contaminantes que originan la Lluvia Ácida .....	14
1.2.2. Efectos de la Lluvia Ácida .....	23
1.2.3. Países afectados por la Lluvia Ácida .....	25
<b>1.3. INFLUENCIA DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA LLUVIA DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.....</b>	<b>28</b>
1.3.1. Distribución espacial y temporal de las emisiones de los contaminantes que originan la Lluvia Ácida en el DMQ.....	32
1.3.2. Topografía y Climatología del Distrito Metropolitano de Quito .....	33
1.3.3. Descripción de las Zonas de estudio .....	37
<b>1.4. TECNICAS ANALÍTICAS UTILIZADAS Y DESCRIPCIÓN DE ANALITOS ESTUDIADOS.....</b>	<b>41</b>
1.4.1. Potenciometría: Potencial Hidrógeno, pH. ....	41
1.4.2. Conductimetría: Conductividad .....	42
1.4.3. Cromatografía Iónica: Sulfatos y Nitratos .....	43

<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>50</b>
<b>2. PARTE EXPERIMENTAL</b> .....	<b>50</b>
<b>2.1. Equipos, Materiales Y Reactivos</b> .....	<b>50</b>
2.1.1. Equipos .....	50
2.1.2. Materiales.....	51
2.1.3. Reactivos.....	52
<b>2.2. Toma de Muestras</b> .....	<b>53</b>
2.2.1. Procedimiento de Toma de Muestras.....	53
2.2.2. Descripción de los Sitios de Toma de Muestra.....	54
<b>2.3. Método Instrumental y Analítico</b> .....	<b>55</b>
2.3.1. Determinación del Potencial Hidrógeno: pH.....	55
2.3.2. Determinación de la Conductividad.....	57
2.3.3. Determinación de Sulfatos y Nitratos por Cromatografía Iónica .....	58
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>67</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>67</b>
3.1. Resultados de la Toma de Muestras de las Zonas: Norte, Centro y Sur del Distrito Metropolitano de Quito.....	73
3.2. Resultados de los analisis de las Muestras de Agua de Lluvia de las Zonas: Norte, Centro y Sur del Distrito Metropolitano de Quito. ....	75
3.2.1. Zona Norte, Carapungo.....	75
3.2.2. Zona Centro, Centro Histórico.....	87
3.2.3. Zona Sur, El Camal.....	99
3.3. Comparación de las tres Zonas de estudio .....	110

<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>116</b>
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>116</b>
4.1. CONCLUSIONES .....	116
4.2. RECOMENDACIONES .....	121
BIBLIOGRAFÍA .....	122
ANEXOS .....	128

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.1.</b> Valores frecuentes de la composición química del agua de lluvia.....	12
<b>Tabla 1.2.</b> Fuentes Naturales de la Lluvia ácida.....	15
<b>Tabla 1.3.</b> Fuentes Antropogénicas de la Lluvia ácida.....	15
<b>Tabla 1.4.</b> Niveles de concentración de Óxidos de Azufre y efectos en la Salud Humana.....	20
<b>Tabla 1.5.</b> Niveles de concentración de Óxidos de Nitrógeno y efectos en la Salud Humana..	23
<b>Tabla 1.6.</b> Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico...	25
<b>Tabla 1.7.</b> Límites máximos permisibles para Agua potable .....	25
<b>Tabla 1.8.</b> Ubicación de las estaciones de monitoreo de la REMMAQ .....	37
<b>Tabla 2.1.</b> Estándares de aniones: Sulfatos y Nitratos.....	52
<b>Tabla 2.2.</b> Conservación de las muestras de agua de lluvia de acuerdo a cada analito .....	54
<b>Tabla 2.3.</b> Ubicación de los sitios de toma de muestras del agua de lluvia, de las Zonas: Norte, Centro y Sur del Distrito Metropolitano de Quito. ....	55
<b>Tabla 2.4.</b> Condiciones Cromatográficas del método validado.....	58
<b>Tabla 2.5.</b> Estándares para la curva de calibración (1 a 10 mg/L) .....	60
<b>Tabla 2.6.</b> Orden de elución y tiempo de retención de nitratos y sulfatos.....	60
<b>Tabla 2.7.</b> Pendientes, intersecciones, medias y desviación estándar de las curvas de calibración de nitratos.....	62
<b>Tabla 2.8.</b> Pendientes, intersecciones, medias y desviación estándar de las curvas de calibración de sulfatos .....	62
<b>Tabla 2.9.</b> Límites de Cuantificación de Nitratos y Sulfatos.....	64
<b>Tabla 2.10.</b> Resultados de la recuperación del material de referencia certificado. ....	66

<b>Tabla 2.11.</b> Parámetros de Validación para Nitratos y Sulfatos .....	66
<b>Tabla 3.1.</b> Concentración máxima diaria de CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> y O <sub>3</sub> , de los promedios móviles de 24 horas, en las estaciones de monitoreo: Carapungo, El Camal y El Centro, del mes de Mayo del año 2010 .....	68
<b>Tabla 3.2.</b> Concentración máxima diaria de CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> y O <sub>3</sub> , de los promedios móviles de 24 horas, en las estaciones de monitoreo: Carapungo, El Camal y El Centro, del mes de Junio del año 2010.....	69
<b>Tabla 3.3.</b> Resultados de la Toma de Muestras de las tres Zonas: Norte, Centro y Sur del DMQ.....	73
<b>Tabla 3.4.</b> Zona Norte, Carapungo: Determinación de pH, Conductividad, Sulfatos y Nitratos .....	76
<b>Tabla 3.5.</b> Zona Centro, Centro Histórico: Determinación de pH, Conductividad, Sulfatos y Nitratos .....	88
<b>Tabla 3.6.</b> Zona Sur, El Camal: Determinación de pH, Conductividad, Sulfatos y Nitratos	100

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Estratificación de la atmósfera .....	8
<b>Figura 1.2.</b> pH del agua de lluvia en diferentes regiones del mundo .....	26
<b>Figura 1.3.</b> Variación de la temperatura con la altura de las estaciones de monitoreo El Camal, El Centro y Carapungo .....	35
<b>Figura 1.4.</b> Variación de la precipitación con la altura de las estaciones Carapungo, El Centro y El Camal .....	36
<b>Figura 1.5.</b> Rosa de vientos y distribución de velocidades del viento de la Estación Carapungo .....	38
<b>Figura 1.6.</b> Rosa de vientos y distribución de velocidades del viento de la Estación El Centro .....	39
<b>Figura 1.7.</b> Rosa de vientos y distribución de velocidades del viento de la Estación El Camal	40
<b>Figura 1.8.</b> Estructura del Sulfato .....	43
<b>Figura 1.9.</b> Estructura del Nitrato .....	44
<b>Figura 1.10.</b> Componentes del Cromatografo Iónico .....	46
<b>Figura 2.1.</b> Procedimiento para la determinación del Potencial Hidrógeno, pH.....	56
<b>Figura 2.2.</b> Procedimiento para la determinación de Conductividad .....	57
<b>Figura 2.3.</b> Procedimiento para la determinación de Sulfatos y Nitratos por Cromatografía Iónica.....	59
<b>Figura 2.4.</b> Cromatograma del orden de elución de aniones: nitratos y sulfatos.....	61
<b>Figura 2.5.</b> Curva de Calibración de Nitratos.....	63
<b>Figura 2.6.</b> Curva de Calibración de Sulfatos .....	63

<b>Figura 3.1.</b> Medias de analitos del agua de lluvia de la Zona Norte, Carapungo.....	78
<b>Figura 3.2.</b> pH del agua de lluvia de la Zona Norte, Carapungo, con relación a los gases atmosféricos CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> y O <sub>3</sub> de la zona.....	79
<b>Figura 3.3.</b> pH de las muestras de agua de lluvia de la Zona Norte, Carapungo, con relación a la concentración de sulfatos y nitratos presentes. ....	80
<b>Figura 3.4.</b> Conductividad del agua de lluvia, con relación a la concentración de sulfatos y nitratos de las muestras de agua de lluvia de la Zona Norte, Carapungo.....	81
<b>Figura 3.5.</b> Concentración de Sulfatos de las muestras de agua de lluvia de la Zona Norte, Carapungo, con relación a los gases SO <sub>2</sub> de la zona. ....	82
<b>Figura 3.6.</b> Concentración de Nitratos de las muestras de agua de lluvia de la Zona Norte, Carapungo, con relación a los gases NO <sub>2</sub> de la zona. ....	83
<b>Figura 3.7.</b> Concentración mínima de sulfatos, encontrada en la muestra 5 del agua de lluvia, recolectada en la Zona Norte, Carapungo. ....	84
<b>Figura 3.8.</b> Concentración máxima de sulfatos, encontrada en la muestra 8 del agua de lluvia, recolectada en la Zona Norte, Carapungo. ....	85
<b>Figura 3.9.</b> Concentración mínima de nitratos, menor a <0.2mg/L, encontrada en la muestra 3 del agua de lluvia, recolectada en la Zona Norte, Carapungo.....	85
<b>Figura 3.10.</b> Concentración máxima de nitratos, encontrada en la muestra 20 del agua de lluvia, recolectada en la Zona Norte, Carapungo. ....	86
<b>Figura 3.11.</b> Medias de analitos del agua de lluvia de la Zona Centro, Centro Histórico.....	91
<b>Figura 3.12.</b> pH del agua de lluvia de la Zona Centro, Centro Histórico, con relación a los gases atmosféricos CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> y O <sub>3</sub> de la zona.....	92
<b>Figura 3.13.</b> pH de las muestras de agua de lluvia de la Zona Centro, El Centro, con relación a la concentración de sulfatos y nitratos presentes.....	93

<b>Figura 3.14.</b> Conductividad del agua de lluvia, con relación a la concentración de sulfatos y nitratos de las muestras de agua de lluvia de la Zona Centro, Centro Histórico..	94
<b>Figura 3.15.</b> Concentración de Sulfatos de las muestras de agua de lluvia de la Zona Centro, Centro Histórico, con relación a los gases SO <sub>2</sub> de la zona.....	95
<b>Figura 3.16.</b> Concentración de Nitratos de las muestras de agua de lluvia de la Zona Centro, Centro Histórico, con relación a los gases NO <sub>2</sub> de la zona. ....	96
<b>Figura 3.17.</b> Concentración mínima de sulfatos, <0,5 mg/L, encontrada en la muestra 1 del agua de lluvia, recolectada en la Zona Centro, Centro Histórico.....	97
<b>Figura 3.18.</b> Concentración máxima de sulfatos y nitratos, encontrada en la muestra 17 del agua de lluvia, recolectada en la Zona Centro, Centro Histórico.....	98
<b>Figura 3.19.</b> Concentración mínima de nitratos, <0,25 mg/L, encontrada en la muestra 4 del agua de lluvia, recolectada en la Zona Centro, Centro Histórico.....	98
<b>Figura 3.20.</b> Medias de analitos del agua de lluvia de la Zona Sur, El Camal .....	102
<b>Figura 3.21.</b> pH del agua de lluvia de la Zona Sur, El Camal, con relación a los gases atmosféricos CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> y O <sub>3</sub> de la zona.....	103
<b>Figura 3.22.</b> pH de las muestras de agua de lluvia de la Zona Sur, El Camal, con relación a la concentración de sulfatos y nitratos presentes. ....	104
<b>Figura 3.23.</b> Conductividad del agua de lluvia, con relación a la concentración de sulfatos y nitratos de las muestras de agua de lluvia de la Zona Sur, El Camal.....	105
<b>Figura 3.24.</b> Concentración de Sulfatos de las muestras de agua de lluvia de la Zona Sur, El Camal, con relación a los gases SO <sub>2</sub> de la zona. ....	106
<b>Figura 3.25.</b> Concentración de Nitratos de las muestras de agua de lluvia de la Zona Sur, El Camal, con relación a los gases NO <sub>2</sub> de la zona. ....	107

<b>Figura 3.26.</b> Concentración mínima de sulfatos, encontrada en la muestra 4 del agua de lluvia, recolectada en la Zona Sur, El Camal.....	108
<b>Figura 3.27.</b> Concentración máxima de sulfatos, encontrada en la muestra 29 del agua de lluvia, recolectada en la Zona Sur, El Camal.....	109
<b>Figura 3.28.</b> Concentración mínima de nitratos, <0,25 mg/L encontrada en la muestra 2 del agua de lluvia, recolectada en la Zona Sur, El Camal .....	109
<b>Figura 3.29.</b> Concentración máxima de nitratos, encontrada en la muestra 24 del agua de lluvia, recolectada en la Zona Sur, El Camal.....	110

## LISTA DE ANEXOS

<b>ANEXO 1.</b> Certificado del Material de Referencia Matriz Agua de Lluvia.....	128
<b>ANEXO 2.</b> Datos y gráficas de las curvas de calibración elaboradas para la validación de Nitratos y Sulfatos. ....	130
<b>ANEXO 3.</b> Precisión de repetibilidad: Datos de las concentraciones de los estándares de: 1, 5 y 10 mg/L de Nitratos y Sulfatos.....	135
<b>ANEXO 4.</b> Resultados de precisión de repetibilidad (r) y reproducibilidad (R) para Nitratos y Sulfatos. ....	138
<b>ANEXO 5.</b> Exactitud: Cromatograma del Material de Referencia Certificado del Agua de lluvia. ....	141
<b>ANEXO 6.</b> Concentración de emisiones de Óxidos de carbono, Dióxidos de azufre y Óxidos de Nitrógeno de los meses mayo y junio, durante la toma de muestras del agua de lluvia en la Zona Norte, Carapungo.....	143
<b>ANEXO 7.</b> Concentración de emisiones de Óxidos de carbono, Dióxidos de azufre y Óxidos de Nitrógeno de los meses mayo y junio, durante la toma de muestras del agua de lluvia en la Zona Centro, Centro Histórico.....	145
<b>ANEXO 8.</b> Concentración de emisiones de Óxidos de carbono, Dióxidos de azufre y Óxidos de Nitrógeno de los meses mayo y junio, durante la toma de muestras del agua de lluvia en la Zona Sur, El Camal.....	147

## **ABREVIATURAS**

DMQ: Distrito Metropolitano de Quito

REMMAQ: Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito

CORPAIRE: Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito

CESAQ-PUCE: Centro de Servicios Ambientales y Químicos de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador

EPA: en inglés Environmental Protection Agency

OMM: Organización Meteorológica Mundial

OMS: Organización Mundial de la salud

pH: Potencial Hidrógeno

UV: Ultravioleta

TNT: Trinitrotolueno

GLP: Gas Licuado de Petróleo

IC: Ionic Chromatography

HPLC: en inglés High Performance Liquid Chromatography.

CO: Monóxido de carbono

CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono

CH<sub>4</sub>: Metano

NO<sub>2</sub>: Óxido nitroso

SO<sub>2</sub>: Dióxido de azufre

COVNM: Compuestos Orgánicos Volátiles Diferentes del Metano

TULAS: Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria

NIST: en inglés National Institute of Standards and Technology

## RESUMEN

El presente estudio: Determinación de los niveles de pH, conductividad, sulfatos y nitratos en muestras de agua lluvia, recolectadas en sectores de alta, mediana y baja contaminación ambiental atmosférica del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), fue realizado en el Centro de Servicios Ambientales y Químicos de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, (CESAQ-PUCE), tiene como objetivo evaluar la presencia de lluvia ácida en tres zonas del DMQ: Zona Norte, Zona Centro y Zona Sur durante los meses de mayo y junio del año 2010.

Los sitios de toma de muestras fueron escogidos por tener una baja, mediana y alta contaminación atmosférica respectivamente ( $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$ ), de acuerdo a los registros de las estaciones de monitoreo de la Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito (CORPAIRE), con lo cual se pretende relacionar los niveles de contaminación atmosférica con la presencia de lluvia ácida.

Para poder establecer si la lluvia en el DMQ es ácida, se realizarán los análisis de: pH, conductividad, sulfatos y nitratos. Los aniones: sulfatos y nitratos se analizaron mediante la técnica analítica de Cromatografía Iónica, técnica que será validada mediante la aceptación de los parámetros: linealidad, límite de cuantificación, exactitud, precisión de repetibilidad y reproducibilidad.

Las muestras de agua de lluvia de las Zonas: Norte, Centro y Sur presentan los siguientes rangos de pH, conductividad, sulfatos y nitratos; en la Zona Norte el pH se encuentra entre 4,91 y 6,19, la conductividad entre 7,20 y 136,30  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , la concentración de sulfatos entre

0,59 y 28,21 mg/L y nitratos entre <0,25 y 6,28 mg/L. Las muestras de la Zona Centro presentan un rango de pH entre 4,88 y 6,18, la conductividad entre 4,40 y 59,80  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , la concentración de sulfatos entre <0,50 y 7,85 mg/L, y de nitratos entre <0,25 y 4,31 mg/L. Mientras que en la Zona Sur las muestras presentan rangos de pH, conductividad, sulfatos y nitratos entre: 5,18 y 6,18; 4,50 y 88,20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; 0,54 y 10,47 mg/L, y entre <0,25 y 4,81 mg/L respectivamente.

La Zona Norte, siendo una zona de baja contaminación atmosférica por emisiones de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$ , presenta pH ácidos y mayores niveles de conductividad, sulfatos y nitratos, debido a la baja frecuencia de precipitaciones, dirección y magnitud del viento, alta concentración de ozono y tráfico vehicular.

En la Zona Sur y en la Zona Centro a pesar de existir mayor contaminación ambiental por emisiones de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$ , los niveles de analitos presentes en el agua de lluvia es media y baja respectivamente, esto se debe a que los vientos se desplazan hacia el norte del DMQ y a la alta frecuencia e intensidad de las precipitaciones, ya que la lluvia ayuda al transporte y a la eliminación de los contaminantes atmosféricos.

Sin embargo se puede observar que la lluvia recolectada en las tres Zonas de estudio presentan en ciertos días valores de pH inferiores a 5.6, (criterio para establecer a la lluvia como ácida) por lo tanto, se comprueba que el Distrito Metropolitano de Quito, presenta episodios ocasionales de lluvia ácida.

**Palabras Claves.** Antropogénicos, Cromatografía Iónica, Distrito Metropolitano de Quito, lluvia ácida, pH, conductividad, sulfato, nitratos.

## ABSTRACT

This study: Determination of pH levels, conductivity, sulfate and nitrate concentrations in rainwater samples, recollected in high, medium and low air pollution zones of “Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), was completed in “Centro de Servicios Ambientales y Químicos de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador” (CESAQ-PUCE), it’s aim is to evaluate the presence of acid rain in three areas of DMQ: Northern area, Downtown and Southern area, from May to June 2010.

The sampling sites were chosen for having low, medium and high air pollution levels respectively ( $\text{SO}_2$  and  $\text{NO}_2$ ), according to “Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito” (CORPAIRE) monitoring stations records, which it is intended to relate air pollution levels with the presence of acid rain.

To be able to say whether the rain in DMQ is acid, pH, conductivity, sulfates and nitrates analysis will be held. The anions: sulfates and nitrates were analyzed by Ion Chromatography technique, which will be validated by the acceptance of the following parameters: linearity, quantification limits, reliability, and repeatability and reproducibility precision.

The rainwater samples of the areas: northern, downtown and southern present the following pH, conductivity, sulfate and nitrate concentrations ranks; Northern zone the pH ranks from 4,91 to 6,19, conductivity between 7,20 to 136,30  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sulfates concentration ranks from 0,59 to 28,21 mg/L y nitrates from <0,25 to 6,28 mg/L. The downtown samples pH ranks from 4,88 to 6,18, conductivity ranks from 4,40 to 59,80  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sulfate’s concentrations are

between <0,50 and 7,85 mg/L, and the nitrates < 0,25 to 4,31 mg/L. Meanwhile, Southern area samples pH, conductivity, sulfates and nitrates rank between: 5,18 and 6,18; 4,50 and 88,20  $\mu$ S/cm; 0,54 and 10,47 mg/L, and <0,25 to 4,81 mg/L respectively.

The northern area, being a low NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> contamination zones presents acid pH and higher conductivity, sulfates and nitrates levels due to the low rain frequency, wind direction and magnitude, high ozone concentration and car traffic.

In southern zone and downtown, even though there is higher air pollution by SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> emissions, the analyte levels in rainwater are medium and low respectively, due to the fact that the winds move in north direction of DMQ and the rain's high intensity and frequency, given that the rain helps to transport and elimination of air pollutants.

Nevertheless it can be seen that the rainwater sampled in the three areas present occasionally pH values under 5,6 (criteria that defines acid rain) therefore, it is proved that DMQ presents occasional acid rain episodes.

**Palabras Claves.** Anthropogenic, ion chromatography, Distrito Metropolitano de Quito, acid rain, pH, conductivity, sulfate, nitrate.

## INTRODUCCIÓN

La lluvia es un fenómeno atmosférico, que se inicia con la condensación del vapor de agua contenido en las nubes y precipita como partículas líquidas de agua en forma de gotas. La lluvia ayuda al transporte y a la eliminación de los contaminantes atmosféricos como óxidos de azufre y nitrógeno, monóxido de carbono, ozono y material particulado, creados principalmente por actividad del hombre y también de origen natural.[1]

La lluvia es ligeramente ácida, con un pH de 5.6, incluso aunque no haya contaminantes en el aire, debido al dióxido de carbono atmosférico presente, que al unirse con el agua forma ácido carbónico, lo que ocasiona la disminución del pH, la acidez de la lluvia se incrementa conforme existan otros contaminantes.[2]

La acidez de la lluvia se atribuye principalmente a los ácidos fuertes sulfúrico y nítrico; los precursores inmediatos de estos ácidos son los gases  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  de origen natural o antropogénico, en general, las fuentes naturales de estos gases tiene una distribución global, mientras que las emisiones antropogénicas tienden a concentrarse cerca de los centros poblados (complejos industriales y vehículos automotores). [3]

En el Ecuador, la contaminación atmosférica puede darse por tráfico vehicular, centrales eléctricas, industrias grandes y pequeñas, usuarios de petróleo, quema de combustibles fósiles, incendios forestales y actividad volcánica. Todas estas actividades generan básicamente vapor de agua, dióxido de carbono, óxidos de azufre y nitrógeno, y al recibir esto la atmósfera, sufre una serie de reacciones químicas complejas por la acción de algunos catalizadores ambientales o bien por la acción directa de la luz solar, y al asociarse con el

agua de lluvia forman ácidos sulfúrico y nítrico ocasionando que la lluvia adquiera un pH <5.6. [4]

Los gases contaminantes que interactúan en la atmósfera y forman partículas finas de sulfato y nitrato en el agua de lluvia, son perjudiciales para la salud humana, debido a que provocan irritaciones en la piel y pueden ser inhaladas profundamente dentro de los pulmones de las personas. Actualmente la EPA ha tomado medidas para limitar la cantidad de emisiones de NOx y SO<sub>2</sub> a la atmósfera, porque son los principales contribuyentes para la formación de la lluvia ácida. [5] [6]

La lluvia ácida puede provocar efectos indirectos a la salud humana, ya que las aguas acidificadas pueden disolver metales y sustancias tóxicas de suelos, rocas, conductos y tuberías para posteriormente transportarlos hacia los sistemas de agua potable.

Los efectos en el suelo por lluvia ácida dependen de la cantidad total de lluvia en el área y de las características de éste recurso. La lluvia ácida puede provocar la pérdida de los compuestos alcalinos calcio y magnesio, nutrientes importantes para la biota, lo cual origina el empobrecimiento por la disminución de la fertilidad y productividad. [6]

La lluvia ácida también causa la acidificación de lagos y corrientes, niveles bajos de pH en sistemas acuáticos generan serios efectos en la constitución química de este vital líquido, provocando un aumento en la concentración de elementos tóxicos como el aluminio, además de interrumpir ciclos reproductivos de plantas acuáticas y animales. [1]

La lluvia ácida se produce en áreas de importantes emisiones industriales, por lo cual los objetivos del presente estudio son:

- Determinar los niveles de pH, conductividad, sulfatos y nitratos en muestras de agua lluvia, ya que son los principales analitos que constituyen a la formación de la lluvia ácida, refiriéndose a la lluvia ácida con un pH inferior a 5,6, para posteriormente concluir si existe la formación de lluvia ácida en el Distrito Metropolitano de Quito.
- Identificar y cuantificar los aniones: sulfato y nitrato en las muestras de agua lluvia recolectadas, con la utilización de un Cromatógrafo Iónico,
- Realizar un estudio comparativo de las muestras de agua lluvia recolectada en los tres sectores del Distrito Metropolitano de Quito, en la cual existe alta, mediana y baja contaminación atmosférica: El Camal, El Centro y Carapungo respectivamente.
- Establecer la influencia de los contaminantes atmosféricos en el agua lluvia recolectada en el Distrito Metropolitano de Quito durante los meses de mayo y junio de 2010.

El presente estudio contiene como primer capítulo una parte teórica, en la cual se describe como subcapítulos: química troposférica, la Lluvia ácida, influencia de la contaminación atmosférica en la lluvia del Distrito Metropolitano de Quito, técnicas analíticas utilizadas y descripción de analitos estudiados.

La segunda parte contiene la descripción experimental del estudio, que incluye: la descripción de los materiales, reactivos y equipos utilizados; y además la validación del método para la determinación de aniones en el agua de lluvia por Cromatografía Iónica.

En la tercera parte, se presentan los resultados y su respectiva discusión, organizados de acuerdo al desarrollo del estudio; como última parte de este trabajo, se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas.

# CAPÍTULO I

## 1. PARTE TEÓRICA

### 1.1. QUÍMICA TROPOSFÉRICA

La atmósfera es una masa gaseosa que rodea la tierra, está compuesta por oxígeno y dióxido de carbono, entre otros gases como: nitrógeno, hidrógeno, helio, etc. El oxígeno es indispensable para la respiración, mientras que el dióxido de carbono es vital para la fotosíntesis. Éste constituye una barrera protectora del planeta ya que absorbe radiaciones peligrosas, como rayos cósmicos, gran parte de los rayos ultravioleta y estabiliza la temperatura de la tierra. La temperatura de la atmósfera varía de una manera compleja según la altitud. Según la temperatura, la estructura de la atmósfera se puede dividir en cuatro capas como se observa en la figura 1.1., este perfil está controlado por la absorción de la energía solar en estas capas. [7]

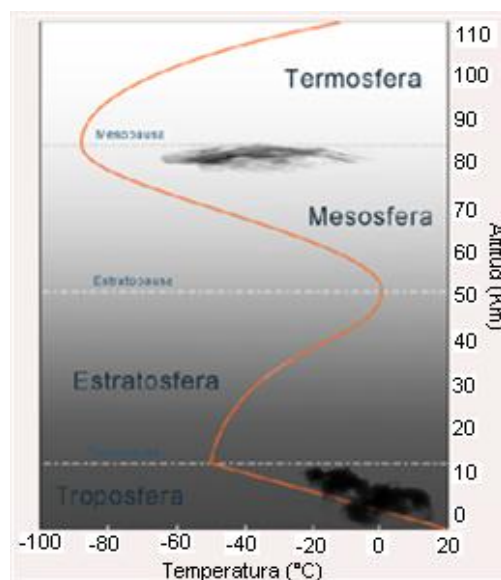


Figura 1.1. Estratificación de la atmósfera

Sobre la superficie terrestre y hasta una altitud de 12 Km, se encuentra la troposfera, en la cual disminuye la temperatura desde los 15°C hasta aproximadamente -50°C. En esta región se manifiesta la vida de los organismos, se generan vientos y precipitaciones. Según se observa en la figura 1.1., el gradiente de temperatura es negativo, por lo que se produce una mezcla constante de masas de aire, tanto en dirección vertical como horizontal. El límite superior de la troposfera se llama tropopausa. [7]

Sobre la tropopausa está la estratosfera, cuya temperatura posee un gradiente positivo que va de -56 a -2°C a una altitud de 50 Km. Este tipo de gradiente impide la ascensión de las masas de aire frío por encima de las masas calientes menos densas, por esta razón solo ocurren movimientos horizontales de las masas de aire. El límite superior de la estratosfera es la estratopausa.

Sobre este límite se extiende la mesosfera que va desde los 50 a 85 Km de altitud, la temperatura varía desde los -2 hasta -92°C, y el gradiente de temperatura es negativo; como la densidad es muy baja no existen movimientos de masas gaseosas. Finalmente sobre la mesopausa, se encuentra la termosfera cuya altitud va desde los 85 Km hasta aproximadamente 500 Km, en esta capa la temperatura se incrementa de -92 a 1200°C, debido a que la escasa cantidad de gases absorbe radiación de alta energía.

La presión disminuye de un modo regular al aumentar la altitud, prácticamente toda la masa atmosférica se concentra en la troposfera y estratosfera, constituyendo el 99.9% de dicha masa, del cual el 75% corresponde a la troposfera. [7]

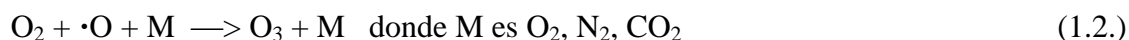
Debido a que los gases atmosféricos: monóxido de carbono, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno se encuentran en la troposfera, se restringe el estudio a esta zona. La troposfera es

una región muy dinámica, en esta región se dan frecuentes fenómenos meteorológicos que ayudan al transporte y a la eliminación de los contaminantes atmosféricos. Los contaminantes que se introducen en el seno de la troposfera, son sometidos a la influencia que ejercen los movimientos convectivos de las masas de aire que prevalecen en la troposfera, y dependiendo de su estabilidad química pueden viajar varios kilómetros y afectar a zonas lejanas del centro emisor. [1]

El gradiente de temperatura negativo que caracteriza a la troposfera es la causa de que en esta región prevalezcan los movimientos de las masas de aire horizontales y ascensionales; estos movimientos de aire ayudan a la dispersión de los contaminantes y a su dilución en la atmósfera, disminuyendo su impacto ambiental. [1]

En la troposfera ocurren variedad de reacciones químicas que provocan la transformación de los contaminantes, las principales reacciones que ocurren son las siguientes:

- Ciclo fotoquímico básico del NO<sub>2</sub>, NO y ozono (O<sub>3</sub>)



- Fotólisis del ozono y formación del radical OH·



En esta región los radicales OH, causan la degradación de la mayoría de los contaminantes emitidos desde la superficie terrestre. A pesar del efecto beneficioso de los radicales OH, los cuales forman parte de un mecanismo de autodepuración de la atmósfera, su acción también

puede generar efectos nocivos, como la oxidación de los óxidos de azufre y nitrógeno, este proceso da lugar a sus correspondientes ácidos, y es la causa de la acidificación del agua de lluvia, que desgraciadamente, es conocida por los efectos nocivos sobre los sistemas terrestres y acuáticos.

Los procesos de autodepuración atmosférica como: autodepuración por deposición, precipitación y absorción por el suelo, el agua y la vegetación, pueden causar acumulaciones excesivas de contaminantes en otros medios, incluso lejos del punto de emisión del contaminante, como consecuencia del arrastre atmosférico producido por el viento. [1]

La calidad de aire se encuentra influenciada por variables meteorológicas como: el transporte convectivo horizontal, este depende de las velocidades y direcciones del viento, por lo general, una mayor velocidad del viento reducirá las concentraciones de contaminantes a nivel del suelo, ya que se producirá una mayor dilución y mezcla; pueden producirse circulaciones cerradas de viento, provocando que los contaminantes emitidos a la atmósfera se acumulen progresivamente. [8]

La otra variante meteorológica es el transporte convectivo vertical, es la variación vertical de temperaturas en la atmósfera, depende de la estabilidad atmosférica y del fenómeno de la inversión térmica de las capas de la atmósfera. El fenómeno de la inversión térmica aparece cuando la temperatura del aire aumenta con la altura, este fenómeno produce una fuerte acción limitadora en la dispersión de contaminantes; la inversión térmica se forma durante la noche y suele desaparecer progresivamente durante la mañana, cuando la radiación solar calienta el suelo. [1] [8]

## 1.2. LA LLUVIA ÁCIDA

La lluvia es un fenómeno atmosférico, consiste en una precipitación acuosa en forma de gotas líquidas; las gotas de las nubes tienen un diámetro promedio de 0,04 mm, las gotas de lluvia poseen un diámetro de 0,5 a 4mm; el proceso de condensación no forma partículas suficientemente grandes como para precipitar, por lo que las pequeñas gotas deben chocar para alcanzar un tamaño que permita su precipitación, caen a una velocidad de 3m/s.

La lluvia es ligeramente ácida, pH 5.6, debido a la absorción del CO<sub>2</sub> atmosférico, si la lluvia adquiere un pH menor a este, se considera lluvia ácida. La acidez de la lluvia se incrementa por la presencia principalmente de los ácidos sulfúrico y nítrico, los precursores de estos ácidos son los gases SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> de origen natural o antropogénico. La lluvia es un mecanismo natural para la remoción de contaminantes gaseosos y partículas presentes en la atmósfera. [9]

A continuación en la tabla 1.1. se presenta los valores frecuentes de sulfatos, nitratos, pH y conductividad que tiene la lluvia natural.

**Tabla 1.1. Valores frecuentes de la composición química del agua de lluvia. [10]**

<b>Parámetro</b>	<b>Valores frecuentes del aguas de lluvia</b>
Sulfatos	0-10 mg/L
Nitratos	0-5 mg/L
Conductividad	>3 μS/cm
pH	5.6

La lluvia ácida es un problema de contaminación ambiental que tuvo origen en la Revolución Industrial y no ha dejado de empeorar desde entonces. Se conoce la gravedad de sus efectos a escala local, así como su gran capacidad destructiva en zonas alejadas de la fuente contaminante. Como consecuencia del desarrollo industrial se generan grandes cantidades de

desechos, los cuales son vertidos diariamente a la troposfera, y ocasionan cambios bruscos en el planeta.[11]

El primer reporte documentado de la lluvia ácida fue realizado por el científico francés, Ducros, publicado en 1845, titulado “Observación de una lluvia ácida”. Robert Angus Smith reportó la lluvia ácida en la ciudad de Manchester en el libro ‘Aire y Lluvia’ publicado en 1872, 35 años más tarde fue expresado como lluvia ácida. [12]

La primera vez que se planteó el tema acerca de la lluvia ácida fue en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente celebrada en Estocolmo (Suecia) en 1972, en esta conferencia el gobierno sueco presentó el tema “Polución del aire a través de las fronteras nacionales: impacto del azufre en el aire y la precipitación sobre el ambiente”. Se manifestó, cómo los residuos de óxidos de azufre, vertidos al aire por las instalaciones industriales, situadas lejos de las fronteras suecas, dañan los ecosistemas del país nórdico al ser arrastrados por los vientos, y precipitar en forma de lluvia ácida. [12] [13]

Actualmente la lluvia ácida es objeto de estudio de gran importancia, debido a que es un indicador de la calidad del aire y también por los daños medioambientales que ha provocado. En Estados Unidos la Ley del Aire Limpio, y el Programa para la Lluvia Ácida, demostraron que al disminuir las emisiones de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$ , disminuyen en conjunto con las partículas finas de sulfatos y nitratos presentes en el aire y en la lluvia, estas partículas son perjudiciales para la salud humana debido a que provocan irritaciones en la piel y pueden ser inhaladas por las personas.[6] Actualmente la EPA ha tomado medidas para limitar la cantidad de emisiones de  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_2$  a la atmósfera porque son los principales contribuyentes de la lluvia ácida.

En Alemania la lluvia ácida ocasionó un daño importante, la acidez de los suelos provocó

cambios en su composición, produjo lixiviación de importantes nutrientes para las plantas e infiltró metales tóxicos. La vegetación no sólo sufre las consecuencias del deterioro del suelo, sino también un daño por contacto directo. Uno de los mayores problemas en Escandinavia, fue el aumento de acidificación en lagos y arroyos, que llevo a la pérdida de peces y otros seres acuáticos.[2]

En Río de Janeiro, Brasil, estudios realizados por la Universidad Federal, descubrieron altos índices de acidez en la lluvia producida en el Parque Nacional de Itataia, esta investigación concluyó con la evidencia de que las principales fuentes para la formación de la lluvia ácida son las industrias siderúrgicas y metalúrgicas, ubicadas a unos 100 kilómetros de dicho parque, esto se debe a que los contaminantes viajan por las corrientes atmosféricas.[14]

#### 1.2.1. FUENTES Y CONTAMINANTES QUE ORIGINAN LA LLUVIA ÁCIDA

Las fuentes de emisión de los gases: óxidos de azufre y nitrógeno, metano y dióxido de carbono, etc., precursores de la lluvia ácida, proceden de dos tipos bien diferenciadas: naturales y antropogénicas, los cuales se describen a continuación:

- FUENTES NATURALES

Los contaminantes naturales provienen fundamentalmente de volcanes, incendios forestales y descomposición de la materia orgánica en el suelo y en los océanos, en la tabla 1.2. se observan los gases que son emitido por las diferentes fuentes naturales. [8]

**Tabla 1.2. Fuentes Naturales de la Lluvia ácida**

<b>Fuente</b>	<b>Contaminantes</b>
Volcanes	Óxidos de azufre, partículas
Fuegos forestales	Monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas
Plantas (en descomposición)	Metano, sulfuro de hidrógeno

- **FUENTES ANTROPOGÉNICAS**

La contaminación atmosférica de origen antropogénica, puede darse por: tráfico vehicular, centrales eléctricas, industrias grandes y pequeñas, usuarios de petróleo y quema de combustibles fósiles. Todas estas actividades están concentradas, por lo general, en áreas urbanas e industriales, en la tabla 1.3. se observa la clasificación de las fuentes, la procedencia de los diferentes contaminantes y los gases emitidos por cada fuente. [11] [8]

**Tabla 1.3. Fuentes Antropogénicas de la Lluvia ácida**

<b>Foco</b>	<b>Fuentes</b>		<b>Contaminantes</b>
<b>Focos fijos</b>	Industriales	Procesos industriales	SO <sub>x</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , HC, NH <sub>3</sub> , F, óxidos de hierro, nieblas de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub> y H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> y producen olores desagradables
		Instalaciones fijas de combustión	
	Domésticos	Instalaciones calefacción de	NO <sub>x</sub> , H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , cenizas, hollines, metales pesados, hidrocarburos volátiles no quemados y partículas carbonosas
<b>Focos móviles</b>	Vehículos automóviles		CO, NO <sub>x</sub> , HC y H <sub>2</sub> S
	Aeronaves		
	Buques		
<b>Focos compuestos</b>	Aglomeraciones industriales		CO, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> y metales pesados
	Áreas urbanas		NO <sub>x</sub> , H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> y SO <sub>3</sub>

Las industrias, el crecimiento poblacional y el tráfico vehicular son una de las principales fuentes de contaminación atmosférica, las fuentes antes mencionadas, emiten contaminantes gaseosos, los cuales se clasifican en dos diferentes grupos:

- Contaminantes primarios:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , halógenos, metales, compuestos orgánicos, polvos, etc. Estos contaminantes son vertidos directamente a la atmósfera.
- Contaminantes secundarios: ozono ( $\text{O}_3$ ), peroxiacetil-nitrato (PAN), hidrocarburos (HC), sulfatos ( $\text{SO}_4$ ), nitratos ( $\text{NO}_3$ ), ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), material particulado (PM) , entre otros. Se producen por transformaciones y reacciones que sufren los contaminantes primarios en el seno de la atmósfera.

Los gases de mayor importancia en este estudio son: dióxidos de carbono, óxidos de nitrógeno y dióxidos de azufre, ya que debido a la emisión de estos gases y su interacción con el vapor de agua de la atmósfera, se da lugar a la formación de los ácidos: carbónico, nítrico y sulfúrico, respectivamente. Estos ácidos provocan que la lluvia adquiere un  $\text{pH} < 5.6$ , y según aumente la concentración de éstos, el  $\text{pH}$  disminuye, y se forma la lluvia ácida con un  $\text{pH}$  comprendido entre 5 y 3. [15]. A continuación se explica brevemente el origen y formación del dióxido de carbono, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno:

#### 1.2.1.1 DIÓXIDO DE CARBONO: ORIGEN Y FORMACIÓN

La concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera aumenta de forma constante debido al uso de combustibles fósiles como fuente de energía y es el causante de producir un incremento de la temperatura de la tierra. La principal fuente de emisión de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera, es la

combustión de hidrocarburos, siendo el metano el hidrocarburo más simple para explicar su oxidación en la atmósfera.

El metano, al presentar reacciones de oxidación radicalaria, ocasiona que el carbono alcance el estado de oxidación 4+, el mismo que posee el CO<sub>2</sub>. Para la oxidación del metano, se requiere el radical hidroxilo presente en la tropósfera.

El ozono presente en la tropósfera se descompone en oxígeno diatómico (O<sub>2</sub>) y en oxígeno atómico (O), por efecto de las radiaciones ultravioleta (hv), como se observa en la reacción 1.6. Por otra parte el agente oxidante más importante en esta capa de la atmósfera, es el radical hidroxilo, el cual se forma fotoquímicamente cuando el oxígeno atómico reacciona con el agua presente, como se observa en la ecuación química 1.7.



La oxidación del metano con el radical hidroxilo es rápida y forma el radical metilo que es muy reactivo, a continuación en la ecuación química 1.8.



A través de una serie de reacciones complejas, se obtiene finalmente el monóxido de carbono, el cual, al oxidarse en presencia de radicales hidroxilo forma dióxido de carbono, como se observa a continuación en la ecuación química 1.9.: [7]



El dióxido de carbono atmosférico al unirse con el agua forma ácido carbónico, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, el

cual proporciona un pH de 5.6 a la lluvia natural, su reacción química se observa en la ecuación 1.10.: [15]



#### 1.2.1.2 ÓXIDOS DE AZUFRE: ORIGEN Y FORMACIÓN

Los óxidos de azufre con la humedad del ambiente forman entre el 5 y el 20% de los aerosoles urbanos, incrementando el poder corrosivo de la atmósfera, disminuyendo la visibilidad y provocando la lluvia ácida.

Los óxidos de azufre se forman por la combustión del azufre proveniente principalmente de petróleo, carbón, calderas de calefacción y de las instalaciones industriales. Gran parte del azufre se oxida, formando  $\text{SO}_2$ , en un 97% y  $\text{SO}_3$  en un 3%, como se observa en la siguiente ecuación química 1.11.: [15][16]



El  $\text{SO}_2$  es un gas incoloro, soluble al agua y al álcali, es un conductor de electricidad en soluciones acuosas. El  $\text{SO}_2$  se oxida a ácido sulfúrico y sus sales, principalmente sulfato y bisulfato de sodio.

La mayoría de las reacciones atmosféricas dependen de factores como: temperatura, intensidad luminosa, humedad, transferencias de masas, y características del material particulado. Las transformaciones que experimenta el  $\text{SO}_2$  son reacciones fotoquímicas y/o químicas en fase gaseosa, en fase acuosa, y en fase gas-sólido, sobre partículas sólidas de la

tropósfera.

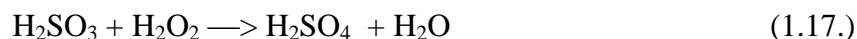
La oxidación del SO<sub>2</sub>, en fase gaseosa, reacciona con el ozono troposférico, este mecanismo está constituido por dos etapas, siendo la primera la transformación de SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub>, y la segunda etapa el SO<sub>3</sub> se combina con vapor de agua para dar el ácido, como se observa en la ecuación química 1.12. y 1.13.:



La reacción más importante de oxidación ocurre en fases gaseosas inducida por la formación fotoquímica del radical hidroxilo. Es una oxidación fotoquímica que involucra radicales libres OH, como se observa en las siguientes ecuaciones químicas 1.14 y 1.15. [7]



La transformación del SO<sub>2</sub> a ácido es mucho más importante en fase líquida puesto que el SO<sub>2</sub> es muy soluble en agua; en este caso uno de los oxidantes es el agua oxigenada (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), la cual oxida el ácido sulfuroso (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>), que es la especie que se forma al disolverse el SO<sub>2</sub> en agua, para dar lugar al ácido sulfúrico, como se observa en las siguientes ecuaciones químicas 1.16. y 1.17.:



La mayor contribución de la acidez de la lluvia proviene del SO<sub>2</sub>, puesto que este gas es más soluble en agua a diferencia del NO<sub>2</sub>, y en consecuencia, su oxidación es más difícil; por lo

tanto las dos terceras partes de la acidez del agua de lluvia provienen del SO<sub>2</sub>. [1]

#### 1.2.1.2.1 TOXICIDAD DE LOS DIÓXIDOS DE AZUFRE

El dióxido de azufre es causante de enfermedades respiratorias, a continuación en la tabla 1.4. se presentan las concentraciones de óxidos de azufre en el aire que producen efectos en la salud humana:

**Tabla 1.4. Niveles de concentración de Óxidos de Azufre y efectos en la Salud Humana[17]**

<b>Concentración (partes por millón)</b>	<b>Efectos en la Salud Humana</b>
1 – 6	Broncoconstricción
3 – 5	Concentración mínima detectable por el olfato
8 – 12	Irritación de la garganta
20	Irritación en los ojos y tos
50 – 100	Concentración máxima para una exposición corta (30 min.)
400-500	Puede ser mortal, incluso en una exposición breve

#### 1.2.1.3 ÓXIDOS DE NITRÓGENO: ORIGEN Y FORMACIÓN

El óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) se suelen considerar como NO<sub>x</sub>, estos contaminantes primarios son importantes en los problemas de contaminación. El monóxido de nitrógeno se forma como consecuencia de la reacción de los componentes del aire a altas temperaturas, los mismos que son generados en la combustión. A continuación en la ecuación

química 1.18. se observa la formación de NO. [16]



La mayoría de las reacciones químicas de estos gases llevan a la obtención de  $\text{HNO}_3$  que es vertido como lluvia ácida. Los óxidos de nitrógeno tienen una vida corta y se oxidan rápidamente a  $\text{NO}_3^-$  en forma de aerosol o a  $\text{HNO}_3$  (ácido nítrico).

El NO es un gas incoloro e inodoro, responsable en parte de la contaminación fotoquímica; es un precursor del  $\text{NO}_2$ , ya que al llegar a la tropósfera el monóxido se oxida rápidamente a dióxido de nitrógeno, como se observa en la ecuación química 1.19. [7]



El  $\text{NO}_2$  es uno de los contaminantes más peligrosos por su carácter irritante, y porque se descompone por medio de la luz solar según la reacción química 1.20.:



A alturas entre 15 y 40 Km, la formación de oxígeno monoatómico puede dar lugar a la formación de ozono, como se observa en la ecuación química 1.21.

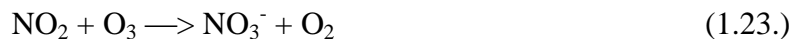


$\text{M}^*$  es una molécula inerte que no experimenta cambio químico. También ocurre el proceso inverso a la formación de ozono, en el cual la reacción da como producto oxígeno y dióxido de carbono, como se muestra en la ecuación química 1.22.



El ozono es un agente oxidante que produce la transformación del  $\text{NO}_2$  a  $\text{HNO}_3$ . El  $\text{NO}_2$  es

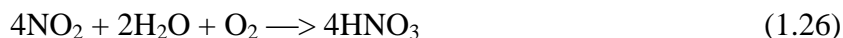
oxidado por acción del ozono para producir  $\text{NO}_3^-$  como se observa en la reacción química 1.23.: [7]



El nitrato reacciona con el  $\text{NO}_2$  y forma el  $\text{N}_2\text{O}_5$ , éste reacciona con el vapor de agua de la atmósfera dando ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), y es vertida en la lluvia ácida, como se observa en la reacción química 1.24. y 1.25.: [1][18]



Los óxidos de nitrógeno pueden reaccionar con otras sustancias presentes en la atmósfera, como el vapor de agua, y formar  $\text{HNO}_3$ , como se observa en la reacción química 1.26. y 1.27.



#### 1.2.1.3.1 TOXICIDAD DE LOS ÓXIDOS DE NITRÓGENO

La población está expuesta a los óxidos de nitrógeno principalmente al respirarlos en el aire, las personas que viven cerca de fuentes de combustión como: plantas de energía que queman carbón o en áreas donde hay intenso uso de vehículos motorizados, plantas que producen ácido nítrico o ciertos explosivos tales como dinamita y trinitrotolueno (TNT). A continuación en la tabla 1.5. se observan las concentraciones de los óxidos de nitrógeno que producen algunos efectos en la salud humana: [18] [19]

**Tabla 1.5. Niveles de concentración de Óxidos de Nitrógeno y efectos en la Salud Humana**

<b>Concentración (partes por millón)</b>	<b>Efecto en la Salud Humana</b>
1 – 3	Concentración mínima que se detecta por el olfato
3	Irritación de nariz, garganta y ojos
25	Congestión y enfermedades pulmonares
100 – 1000	Puede ser mortal, incluso tras una exposición breve

### 1.2.2. EFECTOS DE LA LLUVIA ÁCIDA

La presencia de lluvia ácida puede ocasionar daños a ecosistemas terrestres y acuáticos, y por lo tanto afecta a organismos superiores como: peces, aves, mamíferos, los mismos que al ser consumidos por el hombre, causan problemas a la salud en cantidades considerables, por medio de la cadena trófica. Por otra parte, la lluvia ácida ocasiona daños materiales, las construcciones de hormigón se deterioran y debilitan. Los efectos nocivos que la lluvia ácida ocasiona sobre las áreas naturales son muy diversos y dependen del tipo de ecosistemas, a continuación se describe brevemente los efectos ocasionados:

➤ **ECOSISTEMAS ACUÁTICOS:** este fenómeno ha provocado la acidificación de ríos y lagos, dañando a plantas y animales que las habitan, y en casos extremos, se produce una aniquilación completa de especies sensibles a la acidez del agua.[1][12]

Los nitratos y sulfatos, sumados a los cationes lixiviados de los suelos, contribuyen a la eutrofización de ríos y lagos, embalses y regiones costeras, lo que deteriora sus condiciones ambientales naturales y afecta negativamente, provocando así la muerte de peces y otros

microorganismos acuáticos aun en bajas concentraciones.[12]

➤ **ECOSISTEMAS TERRESTRES:** algunos efectos de la lluvia pueden ser benéficos a corto plazo en ecosistemas terrestres, como la entrada de nitrógeno y otros nutrientes a través de los fertilizantes. Por el contrario, a largo plazo altera los ciclos y balance de los nutrientes, debido a que los protones hidronio ( $H^+$ ), procedentes de la lluvia ácida, arrastran ciertos iones del suelo. Por ejemplo, cationes de hierro, calcio, aluminio, plomo o zinc; como consecuencia, se produce un empobrecimiento en ciertos nutrientes esenciales y el denominado estrés en las plantas, que las hace más vulnerables a las plagas.[11] [12]

➤ **CONSTRUCCIONES:** la lluvia ácida acelera la corrosión en materiales de construcción y pinturas, ocasionando un daño irreparable en los edificios, monumentos y esculturas que constituyen el patrimonio histórico y cultural. Los monumentos y edificaciones construidas con roca arenisca, piedra caliza y mármol, se corroen con mayor rapidez en presencia de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), debido a que este ácido puede disolver el carbonato de calcio,  $CaCO_3$ . [12]

La lluvia ácida no es sólo un problema ambiental, es además un factor de daño económico por su repercusión en los recursos naturales y el deterioro de monumentos históricos.

➤ **SALUD HUMANA:** no se ha demostrado que la lluvia ácida ocasione efectos nocivos directos en la salud humana, los riesgos potenciales se relacionan con la exposición continua de los gases precursores, dióxido de azufre ( $SO_2$ ) y óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ); sin embargo, la lluvia ácida puede provocar efectos indirectos, ya que las aguas acidificadas pueden disolver metales y sustancias tóxicas de suelos, rocas, conductos y tuberías que son transportados hacia los sistemas de agua potable, por esta razón a continuación se presenta la legislación ambiental

para aguas de consumo humano.[1][12]

### **Legislación ambiental relativa a pH, sulfatos y nitratos para aguas de consumo humano**

En las tablas 1.6, y 1.7 se describen los límites máximos permisibles para verificar si el agua de lluvia puede ser de consumo humano, agua potable o uso doméstico:

**Tabla 1.6.Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico**

<b>Parámetro</b>	<b>Expresado</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Nitratos	N- Nitrato	mg/L	10.0
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	400
Potencial de hidrógeno	pH		6-9

**Fuente:** TULAS, Tomo VI, Anexo 1, Tabla 1[20]

**Tabla 1.7. Límites máximos permisibles para Agua potable**

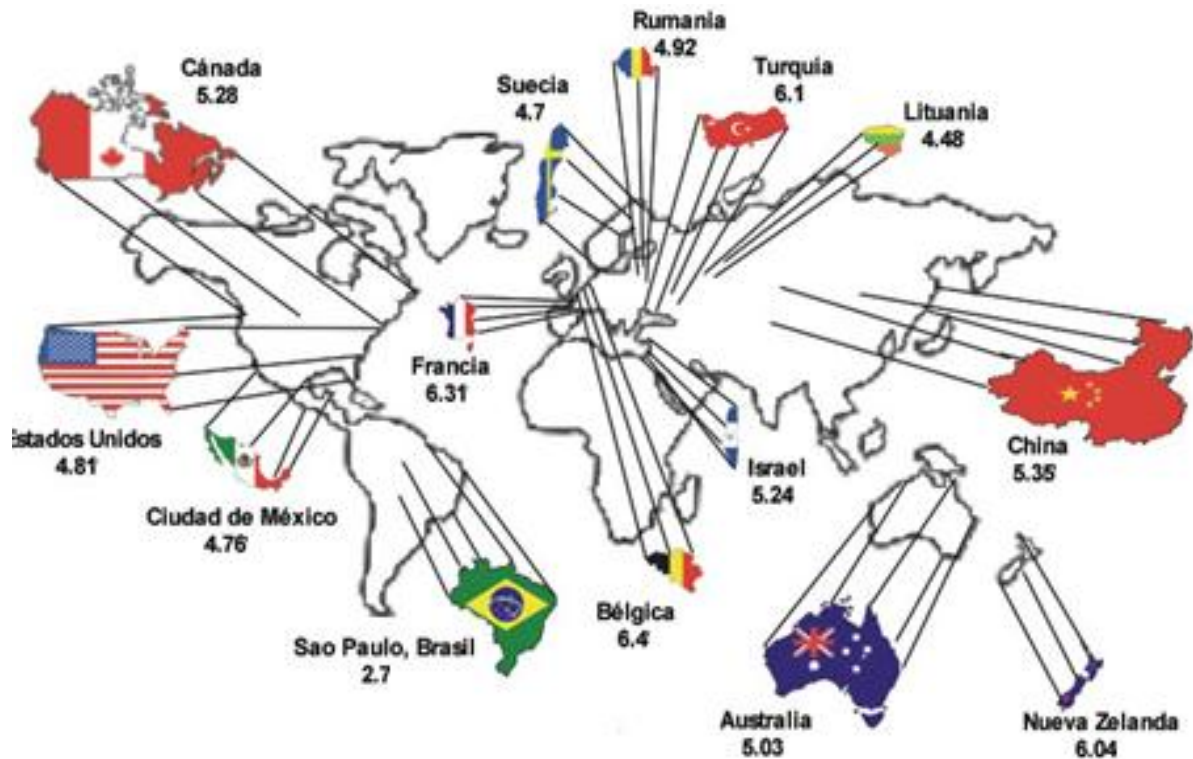
<b>Parámetro</b>	<b>Expresado</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Nitratos	NO <sub>3</sub>	mg/L	10
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	200
Potencial de hidrógeno	pH		6.5-8.5

**Fuente:** Norma INEN Agua Potable. Requisitos. 1 108:2010 [21]

#### 1.2.3. PAISES AFECTADOS POR LA LLUVIA ÁCIDA

La lluvia ácida es un problema a nivel mundial, se presenta tanto en países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo como: Estados Unidos, Canadá, Suecia, Alemania, y Japón, entre otros. Se han desarrollado programas para controlar la lluvia ácida y conocer los efectos que está ocasionando sobre todos los ecosistemas. A continuación en la figura 1.2. se

presentan datos del pH del agua de lluvia en diferentes regiones del mundo:[22]



**Figura 1.2. pH del agua de lluvia en diferentes regiones del mundo**

En Estados Unidos la lluvia ácida se compone de: 65% de ácido sulfúrico, 30% de ácido nítrico y 5% de ácido clorhídrico, ocasionando que la lluvia ácida tenga un pH de 4,81. Esto provoca el aumento de la acidez de lagos y arroyos de agua dulce. En Canadá se estima que más de 300 lagos tienen un pH inferior a 5, a este nivel mueren la mayor parte de peces, truchas y salmones. [1]

Edificios históricos de Cracovia, Polonia, pertenecientes al Patrimonio de la Humanidad, se están destruyendo a causa de las lluvias ácidas, las fachadas están desintegrándose, los muros y los tejados se debilitan. En Alemania la mampostería de la catedral de Colonia está afectada por la corrosión y causa la muerte de árboles lo cual afecta a más de la mitad de los bosques

del país. La lluvia ácida en Suecia ha ocasionado que casi la cuarta parte de los 90.000 lagos estén acidificados, algunos lagos están tan acidificados que se piensa que en ellos no ha sobrevivido ni un sólo pez. También se han dañado alrededor de 100.000km. de sus ríos y arroyos. [12]

Aunque la lluvia ácida puede ser producida por causas naturales, tales como las erupciones volcánicas o los gases emitidas por la naturaleza (dióxidos de azufre y nitrógeno), quedan ridiculizadas por la contaminación industrial. Todos los años se liberan en el mundo alrededor de 100 millones de toneladas métricas de dióxido de azufre y sólo en Europa y Norteamérica 38 millones de toneladas. [13]

Los efectos de la lluvia ácida estarían mucho más extendidos si la naturaleza no hubiera protección. Los suelos alcalinos, como los que cubren la mayor parte del Medio Oeste de los EE.UU. y gran parte del sudeste de Inglaterra, pueden resistir la lluvia ácida porque el calcio de sus suelos neutraliza los ácidos, lo mismo ocurre con los lagos que tienen lechos calizos o de arenisca. Por otra parte, cuando los lagos y los suelos reposan sobre delgados terrenos glaciales o gruesas placas de granito, esta capacidad neutralizadora queda muy reducida.[22]

### **1.3. INFLUENCIA DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA LLUVIA DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**

La contaminación del aire es el resultado de procesos atmosféricos, en combinación con las emisiones de una gran cantidad de fuentes (automotores, chimeneas industriales, pinturas, animales, vegetación, etc.)

Como parte de la gestión de la calidad del aire del Distrito Metropolitano de Quito, es necesario el monitoreo permanente de emisiones atmosféricas para que de esta forma se encuentre el tipo de fuente generadora de estos contaminantes.

El monitoreo de emisiones junto con el análisis de variables meteorológicas, son la base para el conocimiento del transporte, dispersión, transformación y deposición de contaminantes en la atmósfera; por esta razón en el DMQ existe un sistema de monitoreo atmosférico llamado Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ).[4][23]

La REMMAQ operada por CORPAIRE es una red de vigilancia de la exposición de la población, proporcionan a los habitantes de la ciudad y a las autoridades, datos de la calidad de aire ambiente, en base a la concentración de contaminantes atmosféricos, de manera oportuna y comprensible para proteger la salud y el bienestar de las personas.

La REMMAQ evalúa los siguientes contaminantes:  $\text{NO}_x$ , y COVNM, material particulado menor a diez micrones ( $\text{PM}_{10}$ ), material particulado menor a 2,5 micrones ( $\text{PM}_{2,5}$ ) y amoniaco. Se incluye también al CO y  $\text{SO}_2$  por ser contaminantes primarios. Finalmente se presenta al  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$ , gases del efecto invernadero.[4]

Las fuentes de emisión se han agrupado en tres categorías bien diferenciadas para el Distrito

Metropolitano de Quito: fuentes móviles, fijas o estacionarias, y fuente de área [4]:

- Fuentes Móviles: las fuentes móviles de contaminación son el tráfico vehicular y el tráfico aéreo. En cuanto a tráfico vehicular existe un aumento progresivo de la tasa de viajes automovilísticos y motorizados, como consecuencia del aumento de población, esto genera una demanda creciente de capacidad vial y causa una saturación debido al ineficiente sistema de transporte de Quito.
- Fuentes Fijas: como fuentes fijas se cataloga a los rellenos sanitarios, procesos de combustión en termoeléctricas y otras industrias, y procesos industriales. De acuerdo al monitoreo de fuentes fijas remitido por la DMQ, existen aproximadamente 330 establecimientos industriales y de servicios con 772 fuentes fijas de combustión. Las Centrales Termoeléctricas TermopichinchaGuangopolo, Gualberto Hernández y Luluncoto, representan el 84% de las emisiones de  $\text{NO}_x$  provenientes de las fuentes fijas.[4]
- Fuentes de Área: en el DMQ las fuentes de áreas de contaminación son: las biogénicas, uso doméstico y comercial del GLP, uso doméstico y comercial de solventes, estaciones de servicio y depósitos de combustible, canteras de materiales de construcción, incendios forestales, quemas y actividad volcánica. En cuanto a fuentes de áreas se evalúa las emisiones provocadas por la vegetación, las categorías más importantes son: páramo, cultivos de palma africana, pastos, bosque intervenido, matorral, bosque natural, zonas erosionadas y cultivos de maíz. [4][23]

La actividad volcánica constituye una fuente de área de contaminación, debido a que altera la calidad del aire, agua y suelo. El DMQ se encuentra influenciado ocasionalmente por la actividad volcánica del Guagua Pichincha y volcanes a su alrededor, evidenciándose varias

caídas de ceniza, flujos piroclásticos y emisiones de vapor de agua y gases tóxicos como: dióxido de azufre, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico; los mismos que fácilmente se dispersan a los alrededores y se disuelven en el agua lluvia, produciendo lluvia ácida. [23] [24]

Finalmente el uso de combustible en el DMQ, presenta que la demanda energética está cubierta principalmente por gasolina y diesel; el sector que más consumo energético presenta es el transporte y en menor medida la industria. [4]

Debido a que las diferentes fuentes no contribuyen de igual manera a la generación de todos los contaminantes que originan la lluvia ácida, es necesario diferenciar su aporte en la generación de cada uno de ellos, a continuación se describe brevemente la contribución del monóxido de carbono, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno en el DMQ:

➤ Monóxido de Carbono (CO): es el contaminante más abundante en peso, con 95850 toneladas anuales. El 96% del CO es originado por la fuentes móviles, principalmente por vehículos particulares livianos (34%), camionetas (23%) y taxis a gasolina (11%).[4]

En el DMQ, para controlar la cantidad de emisiones se realiza un monitoreo continuo durante 24 horas; la cantidad de emisiones de CO debe cumplir con la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente, establecida en el Libro VI, Anexo 4 del TULAS, la cual establece que la concentración de CO en las muestras determinadas de forma continua, en un periodo de 8 horas, no deberá exceder  $10000\mu\text{g}/\text{m}^3$  más de una vez en el año. Además la concentración máxima en 1 hora de monóxido de carbono no deberá exceder  $40000\mu\text{g}/\text{m}^3$  más de una vez en 1 año. [20]

➤ Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>): se generan aproximadamente 14186 toneladas anuales, el 79,5% proviene de las fuentes fijas, la mayor parte de lo cual, corresponde a las centrales de generación termoeléctrica (57,2%). Otro aporte importante corresponde a la combustión de bunker en procesos industriales (14,1%). En cuanto a las fuentes móviles, un foco importante de emisiones está representado por los buses y vehículos pesados a diesel, que en conjunto alcanzan un 13,0%. Las fuentes de área son minúsculas en relación a las otras fuentes.[4]

Para controlar la cantidad de emisiones se realiza un monitoreo continuo, durante 24 horas; la cantidad de emisiones de SO<sub>2</sub> debe cumplir con la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente, establecida en el Libro VI, Anexo 4 del TULAS, la cual establece que el promedio aritmético de SO<sub>2</sub> determinado en todas las muestras en 1 año, no deberá exceder de 80 µg/m<sup>3</sup>. Además la concentración máxima en 24 horas no deberá exceder de 350 µg/m<sup>3</sup>, más de una vez en 1 año.[20]

➤ Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>): se emiten aproximadamente 42529 toneladas anuales, 36% de las cuales provienen de las fuentes móviles, principalmente buses y pesados a diesel (18%) y particulares livianos, taxis y camionetas a gasolina (17%). En relación a las fuentes fijas, las más significativas son las centrales de generación termoeléctrica (55%).[4]

Para controlar la cantidad de emisiones del DMQ se realiza un monitoreo continuo, durante las 24 horas, la cantidad de emisiones de NO<sub>2</sub> debe cumplir con la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente, establecida en el Libro VI, Anexo 4 del TULAS, la cual establece que el promedio aritmético de NO<sub>2</sub> determinado en todas las muestras en 1 año, no deberá exceder de 100 µg/m<sup>3</sup>. Además la concentración máxima en 24 horas no deberá exceder de 150 µg/m<sup>3</sup>, más de dos veces en 1 año.[20]

### 1.3.1. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LAS EMISIONES DE LOS CONTAMINANTES QUE ORIGINAN LA LLUVIA ÁCIDA EN EL DMQ

Los patrones de distribución espacial y temporal de las emisiones de los contaminantes: CO, SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>, gases precursores de la lluvia ácida, se describen a continuación:

La distribución temporal y espacial de las emisiones de CO está dominada por el tráfico vehicular, los incendios forestales y las quemadas controladas. Los incendios y quemadas ocupan un área de emisiones significativas, ocurren en los meses de verano (Julio a Septiembre). El sector donde se presenta la máxima emisión es en el Sur de Quito, producto de la actividad vehicular e industrial, otro punto de emisión se localiza al Sur Oriente del DMQ, correspondiente a las emisiones originadas por centrales termoeléctricas.[4] Desde el punto de vista temporal, las fuentes móviles emiten todo el año, con mayor influencia en diciembre; las fuentes fijas también emiten todo el año, aunque en mayores cantidades en enero y desde septiembre hasta noviembre.[23] En cuanto a la distribución horaria, el 81% de las emisiones de CO ocurren entre las 8h00 y 20h00, con mayor influencia el tráfico vehicular de la mañana desde las 8h00 a 10h00, otro de menor intensidad, entre las 13h00 y las 15h00, y en la tarde desde las 16h30 hasta las 17h00. A las 18h00 se presentan las mayores emisiones de CO, en un día laborable.[4]

Las emisiones de SO<sub>2</sub> están dominadas por la distribución del tráfico vehicular y de las fuentes fijas. El 53.9% de emisiones corresponden a generadores termoeléctricos. El 28.6% del SO<sub>2</sub> se originan dentro del límite urbano del DMQ. La distribución espacial identifica que el incremento de la actividad de las centrales termoeléctricas en enero y octubre es dominante. En cuanto a la distribución horaria, el 67% de las emisiones se producen entre las 7h00 y las

21h00 teniendo un comportamiento de emisiones homogéneo. Existen tres puntos claros de emisiones durante este periodo, en la mañana a las 8h00, a las 14h00, y otro en la tarde, a las 18h00. A lo largo del día el principal aporte de SO<sub>2</sub> corresponde a las fuentes fijas, con una distribución horaria casi constante, que se incrementa en 21% con la actividad de las fuentes móviles.[4]

La distribución de las emisiones de NO<sub>2</sub> está determinada por la distribución del tráfico vehicular y las fuentes fijas, de manera similar registrada para el SO<sub>2</sub>. El 32% de las emisiones anuales se producen dentro del límite urbano del DMQ y 48% en sitios en la cual se ubican las centrales termoeléctricas. Otros puntos que presentan emisiones anuales superiores, es al sur de la ciudad y corresponde a fuentes fijas. La distribución espacial de las emisiones de NO<sub>2</sub> se encuentra en enero y en octubre, debido al incremento de la actividad de las generadoras termoeléctricas. La distribución horaria, al igual que las emisiones de SO<sub>2</sub>, indican que existe mayor contaminación en la mañana desde las 8h00 hasta las 10h00, entre las 13h00 y las 15h00, y desde las 17h00 hasta las 19h00.[4][23]

### 1.3.2. TOPOGRAFÍA Y CLIMATOLOGÍA DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

La altura media de Quito en límite urbano es de 2810msnm, esto afecta la combustión de los motores y hace que éstos requieran menor cantidad de oxígeno, a diferencia de ciudades a nivel del mar, lo que los vuelve menos eficientes y por tanto, genera más contaminantes. Adicionalmente la ciudad está rodeada de montañas de la cordillera occidental (Pululahua, Pichincha y Atacazo), lo que dificulta su ventilación. [4] El DMQ recibe la influencia

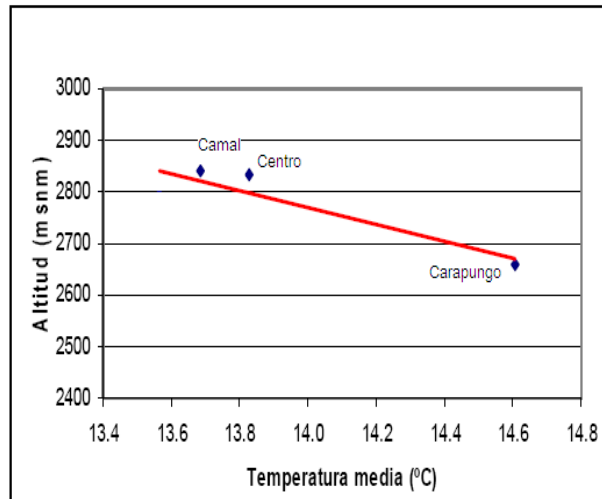
ocasional de fuentes emisoras ubicadas en otras ciudades, particularmente de cenizas de volcanes activos como: El Reventador y Tungurahua, localizados a 100 Km al este del límite urbano.[4]

Debido a que DMQ se encuentra en la mitad del mundo (Latitud 0°0'0''), favorece una mayor insolación (alrededor de 2000 horas anuales) de radiación solar, lo que en teoría permite la aceleración de la formación fotoquímica de contaminantes atmosféricos. El efecto de la topografía es determinante en el movimiento de las masas de aire en sentido norte sur o viceversa. [23]

La temperatura media del centro norte del límite urbano, es de 14,6 °C, presenta poca variación media mensual, pero expone fuertes variaciones durante el día, con valores que oscilan entre 9.9 °C y 21,5 °C y que pueden variar desde 4 °C hasta 28 °C.[4]

Los días de mayor temperatura contribuyen a la generación de ozono troposférico, pero también favorecen el movimiento y dispersión de los contaminantes por el incremento de la velocidad del viento durante el día, y el transporte de las masas de aire en la atmósfera. La inversión térmica en horas de la mañana junto con la hora pico de tráfico permiten la acumulación de gases en la zona baja de la atmósfera. [4]

De acuerdo a los registros de temperatura, existe mayor radiación solar en los meses de enero y febrero, los registros de radiación solar de la Zona de Carapungo son mayores y hacia el Camal tienden a reducirse, como se observa en la figura 1.3. [4]



**Figura 1.3. Variación de la temperatura con la altura de las estaciones de monitoreo El Camal, El Centro y Carapungo**

Las velocidades del viento diarias varían entre 1 y 2 m/s, pudiendo alcanzar valores de 2 a 4 m/s entre las 13h00 y las 16h00. Durante el mes de agosto los promedios diarios se incrementan y varían entre 2 y 4 m/s, alcanzando ocasionalmente a valores de 8 m/s desde las 13h00 hasta las 16h00. [4][23]

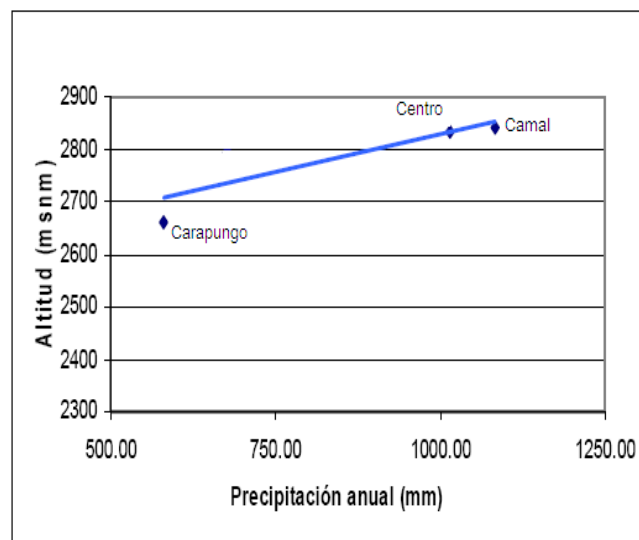
Los valores máximos de velocidad del viento se presentan entre el medio día y las primeras horas de la tarde, aspecto que favorece la dispersión de contaminantes, conforme se incrementa la temperatura en el día. Durante la noche y madrugada, la velocidad del viento es baja; mientras que los valores máximos se presentan entre el medio día y las primeras horas de la tarde, aspecto que favorece la dispersión de contaminantes.[4]

El incremento de la temperatura y la radiación solar, conforme el transcurso del día es beneficioso en la dispersión de algunos contaminantes, debido al movimiento de las masas de aire y el incremento de la altura de la troposfera. Por otra parte, a mayor radiación solar se

origina ozono troposférico y por efecto del viento se genera material particulado.

La precipitación en el DMQ tiene un comportamiento estacional bimodal: la época lluviosa se presenta desde febrero a mayo y otra que va de octubre a noviembre. Por su parte junio, julio y agosto son los meses de menor precipitación, menor número de días con lluvia y de mayor insolación.[4][25]

En el año se tiene alrededor de 150 días con presencia de lluvia, las precipitaciones aumentan con la altitud, registrando mayores precipitaciones en el Camal y el Centro (incluso superiores a 1000 mm), en tanto que en Carapungo la lámina de lluvia es del orden de 600 mm como se puede observar en la figura 1.4.[4]



**Figura 1.4. Variación de la precipitación con la altura de las estaciones Carapungo, El Centro y El Camal. [4]**

### 1.3.3. DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

La recolección del agua de lluvia se realizó en el Distrito Metropolitano de Quito en la Zona Norte: Carapungo, Zona Centro: Centro Histórico y Zona Sur: El Camal. En estos sectores existe una baja, mediana y alta contaminación atmosférica respectivamente, según datos de CORPAIRE. A continuación en la tabla 1.9. se presentan las estaciones de monitoreo de la REMMAQ, los sitios de la toma de muestra de agua de lluvia para este estudio se encuentran cerca a estas estaciones, para comprobar la influencia de los contaminantes atmosféricos en el agua lluvia. La ubicación de las estaciones atienden las recomendaciones de la EPA. 40CFR58, Apéndice E y de la OMM, No.8.

**Tabla 1.8. Ubicación de las estaciones de monitoreo de la REMMAQ [4]**

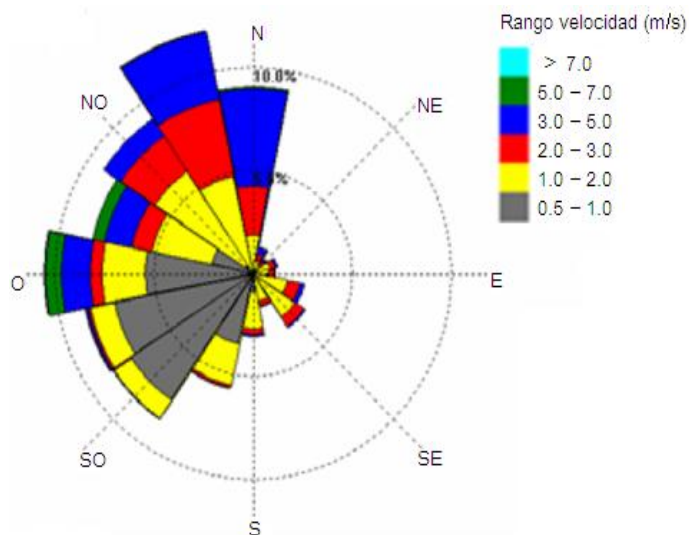
<b>Estación</b>	<b>Altitud (msnm)</b>	<b>Dirección</b>
El Camal	2840	Terraza del Hosp. Patronato Municipal San José Sur (Adrián Navarro 1660 e Hinostroza)
Centro	2820	Terraza de la Radio Municipal (ex Hogar Javier, García Moreno 751 y Sucre)
Carapungo	2651	Edificio Andinatel Carapungo (Super Manzana B, el Verjel S/N)

#### 1.3.3.1 ZONA NORTE, CARAPUNGO

La Zona Norte, Carapungo, se encuentra ubicada al Noreste del Distrito Metropolitano de Quito y corresponde a la parroquia de Calderón. Tiene una alta densidad poblacional, tráfico vehicular y se encuentran ubicadas varias fábricas industriales alrededor de esta zona. Su

altura es de 2.500 msnm, tiene un clima cálido seco con días soleados. Carapungo no presenta precipitaciones frecuentes, pues la lámina de lluvia es del orden de 600 mm.

La Zona Norte, Carapungo, presenta frecuentes vientos que provienen desde el Suroeste del DMQ con un valor máximo de velocidad registrado de 7.75 m/s. Además en la dirección predominante, las velocidades que tienen una mayor frecuencia son menores a 1 m/s, mientras que los vientos entre la dirección oeste y norte, presentan velocidades mayores a 1 m/s, como se observa en la figura 1.5. [4][23]



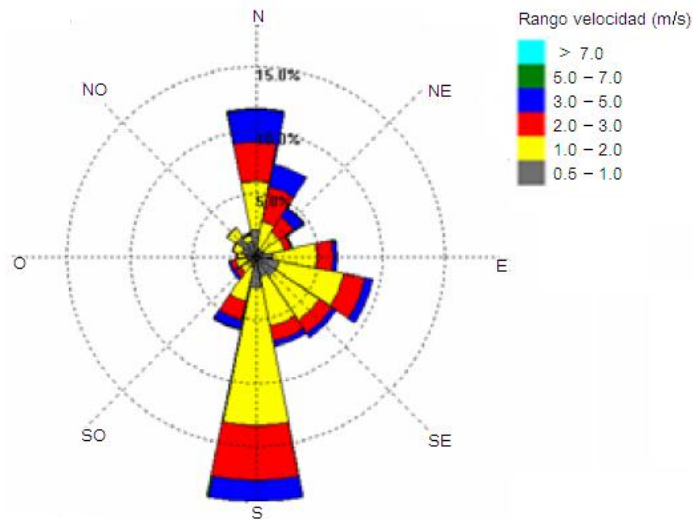
**Figura 1.5. Rosa de vientos y distribución de velocidades del viento de la Estación Carapungo**

### 1.3.3.2 ZONA CENTRO, CENTRO HISTÓRICO

La Zona Centro, Centro Histórico, se encuentra ubicada en el centro sur del Distrito Metropolitano de Quito y corresponde a la parroquia del mismo nombre. El tráfico vehicular

de la zona ha aumentado al igual que su población, siendo esta de 9.905 habitantes por kilómetro cuadrado. Se encuentra a una altitud de 2.800 msnm, por lo que se registran frecuentes lluvias, debido a su altitud.

En la Zona Centro, Centro Histórico, la velocidad del viento está entre 1 y 3 m/s, mientras que los vientos que vienen desde el sur. Los vientos soplan en el sentido longitudinal a la ciudad, pero debido a la influencia de las laderas del Pichincha, existe cambios hacia la dirección este, como se puede observar en la figura 1.6.[4]



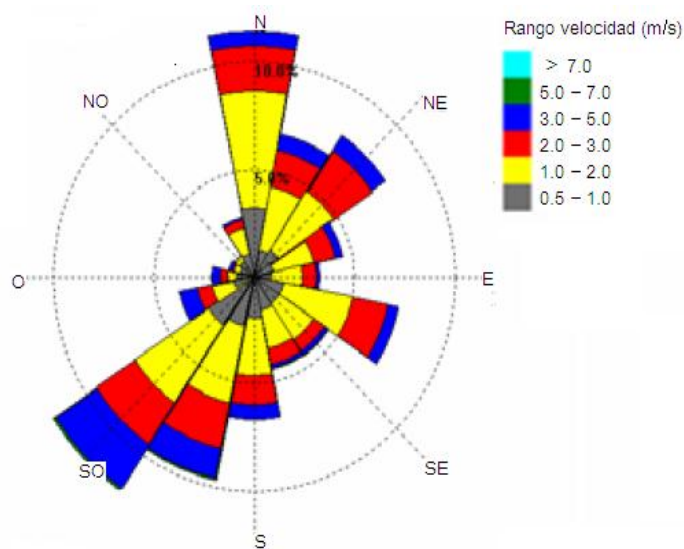
**Figura 1.6. Rosa de vientos y distribución de velocidades del viento de la Estación El Centro**

### 1.3.3.3 ZONA SUR, EL CAMAL

La Zona Sur, El Camal, se encuentra ubicada al Sureste del Distrito Metropolitano de Quito y corresponde a la parroquia Ferroviaria. Tiene una alta densidad poblacional, tráfico vehicular

y se encuentran ubicadas fábricas industriales y termoeléctricas alrededor de esta zona. Se encuentra a una altitud de 2.800 msnm, por lo que se registran precipitaciones mayores a 1000mm.

En la Zona Sur, El Camal, la velocidad máxima del viento es de 7.03 m/s, sin embargo el 60% de los registros indican vientos con velocidades entre 0.5 y 2m/s. La rosa del viento indica que son direcciones predominantes el sur oeste y el norte, como se puede observar en la figura 1.7.



**Figura 1.7. Rosa de vientos y distribución de velocidades del viento de la Estación El Camal**

## 1.4. TECNICAS ANALÍTICAS UTILIZADAS Y DESCRIPCIÓN DE ANALITOS ESTUDIADOS

### 1.4.1. POTENCIOMETRÍA: POTENCIAL HIDRÓGENO, pH.

La potenciometría es la medición de la diferencia de potencial de una celda electroquímica. Se utiliza un potenciómetro el cual se conforma por un electrodo de referencia, un electrodo indicador y un dispositivo para medir la diferencia de potencial

Esta técnica emplea dos elementos fundamentales: un electrodo de referencia (electrodo que posee de manera inherente un potencial constante y conocido en relación con el tiempo); y un electrodo de trabajo o indicador (este electrodo se caracteriza por contar con una gran sensibilidad en relación con la especie, es específico para cada parámetro a determinar, mientras que el de referencia es común a todos). [26]

El valor de pH se determina mediante un medidor de pH, o pHmetro, el mismo que es un instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia y un electrodo indicador de vidrio que es sensible al ion hidrógeno, mide la concentración de iones hidronio, ( $H^+$ ). El equipo debe ser calibrado antes del análisis utilizando buffers de calibración.

El pH es el símbolo que utiliza la química para medir la acidez o alcalinidad de las soluciones, matemáticamente se define como el logaritmo negativo de la actividad de los iones hidrógeno. La escala del pH va de 0,00 a 14,00; una solución neutra tiene un pH 7, menor a 7 se considera medio ácido y mayor a 7,0, medio alcalino.

El pH de la lluvia es 5,65 (en un medio natural en ausencia de contaminantes), debido a la

presencia del  $\text{CO}_2$ . Cuando el aire contiene  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  por acción de los fenómenos y en presencia de suficiente humedad, se forman los ácidos  $\text{HNO}_3$  y  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , responsables de la lluvia ácida, con un pH comprendido entre 3 y 5. [9]

#### 1.4.2. CONDUCTIMETRÍA: CONDUCTIVIDAD

La conductimetría es un método analítico que se basa en la medición de la conducción eléctrica de los iones en solución, determinada por su carga iónica, o salinidad, de gran movilidad entre dos puntos de diferente potencial. La conductividad eléctrica es un fenómeno de transporte, la carga eléctrica en forma de electrones o iones se mueve a través de un sistema.

El equipo que se utiliza para medir la conductividad es el conductímetro, los conductímetros son instrumentos compuestos por dos placas de un material especial (platino, titanio, grafito, etc.), una fuente alimentadora y un sector o escala de medición. Aplicada una diferencia de potencial entre las placas del conductímetro, este mide la cantidad de corriente que pasa por ellas. Con los valores del voltaje aplicado y con la intensidad eléctrica de la corriente que pasa por las placas, los conductímetros determinan, de acuerdo a su previa calibración, la conductividad de la muestra ensayada. [27] [28]

La conductividad es una medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica. Esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad, valencia, y de la temperatura de medición. La conductividad se expresa en microSiemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) o miliSiemens por centímetro ( $\text{mS}/\text{cm}$ ).

La conductividad específica es una medida importante de la calidad del agua, ya que indica la cantidad de materia disuelta en la misma, también es una medida indirecta de la cantidad de iones en solución como:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^+$  y  $\text{Ca}^+$ . [29]

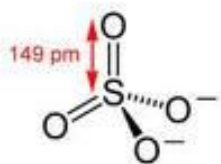
En este estudio haremos referencia a la cantidad de los iones sulfato y nitrato presentes en el agua de lluvia, debido a que el agua de lluvia disuelve los gases y polvo que se encuentran en el aire, presentando una conductividad mayor que el agua destilada. [29]

#### 1.4.3. CROMATOGRAFIA IONICA: SULFATOS Y NITRATOS

En el presente estudio se determinaron los aniones: sulfatos y nitratos por la técnica Cromatografía Iónica, a continuación se describen brevemente los analitos estudiados:

##### ➤ SULFATOS

El sulfato es una ion cargado negativamente, denominado anión: el átomo central en este ion es el azufre con cuatro átomos de oxígeno a su alrededor. Contiene treinta y dos electrones de valencia: seis de cada oxígeno, seis del azufre y dos para formar la carga -2. Su peso molecular es 96 g/mol, la formula química es  $\text{SO}_4^{2-}$  y la formula estructural se presenta a continuación:



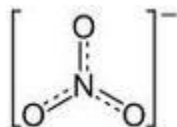
**Figura 1.8. Estructura del Sulfato**

El ion sulfato es un indicador de la contaminación atmosférica, su aparición en el agua lluvia

se explica por la presencia de un alto flujo vehicular y fábricas industriales que emiten grandes cantidades del gas precursor  $\text{SO}_2$ . El  $\text{SO}_2$  reacciona en presencia del agua atmosférica o sobre superficies húmedas, dando lugar a la rápida formación de ácido sulfúrico. En las muestras de agua de lluvia recolectadas para este estudio, se determinó el  $\text{SO}_2$  en forma de iones sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) por Cromatografía Iónica.[13]

### ➤ NITRATOS

El nitrato es una sal del ácido nítrico, es un ion cargado negativamente, denominado anión. El nitrógeno se encuentra en el centro con estado de oxidación +V, con tres átomos de oxígeno a su alrededor. Su peso molecular es 62 g/mol, la formula química es  $\text{NO}_3^-$  y su formula estructural se presenta a continuación:



**Figura 1.9. Estructura del Nitrato**

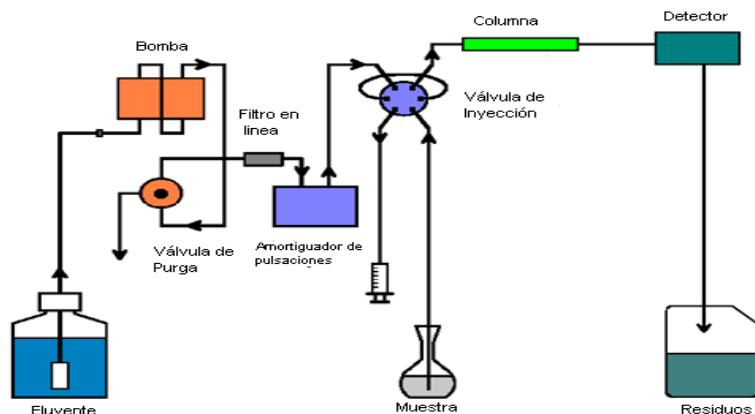
Los nitratos se forman en la naturaleza a través de los óxidos de nitrógeno, en presencia del vapor de agua atmosférico se forman el ácido nítrico. El ion nitrato es un indicador de la contaminación atmosférica, su aparición en el agua lluvia se explica por la presencia de un alto flujo vehicular y de centrales termoeléctricas que emiten grandes cantidades del gas precursor  $\text{NO}_x$ . En las muestras de agua de lluvia recolectadas para este estudio, se determinó el  $\text{NO}_2$  en forma de iones nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) por Cromatografía Iónica. [29]

La cromatografía iónica es una técnica analítica de separación, basada en el principio de adsorción selectiva, cuyo objetivo es separar los distintos iones en una solución. En toda

cromatografía existe un contacto entre dos fases, una fija que suele llamarse fase estacionaria, y una fase móvil que fluye permanente durante el análisis. [30]

La fase estacionaria contenida en la columna está compuesta por resinas de intercambio iónico, las cuales son matrices sólidas que contienen sitios activos con carga electrostática (positiva o negativa). Cuando una muestra atraviesa la columna, ésta queda retenida sobre el soporte sólido por afinidad electrostática. Dependiendo de la relación carga/tamaño los constituyentes de la mezcla serán retenidos con mayor o menor fuerza sobre el soporte sólido, lo que provocará su separación. Aquellos componentes que son retenidos con más fuerza por la fase estacionaria se mueven lentamente con el flujo de la fase móvil; por el contrario, los componentes que se unen más débilmente a la fase estacionaria, se mueven con más rapidez. Al salir de la columna, la muestra pasa a través de un detector conductimétrico, donde se registra la señal obtenida respecto al tiempo de retención. [26] Finalmente, la señal emitida por el detector genera un pico, el mismo que presenta al anión separado en la muestras, cuyo tiempo de retención se utiliza para identificarlo, mientras que se lo cuantifica a través del área comprendida bajo la curva, los resultados se presentan en un cromatograma. [31]

En la figura 1.10. se observan los componentes del cromatografo iónico, los cuales se describe brevemente a continuación:



**Figura 1.10. Componentes del Cromatógrafo Iónico**

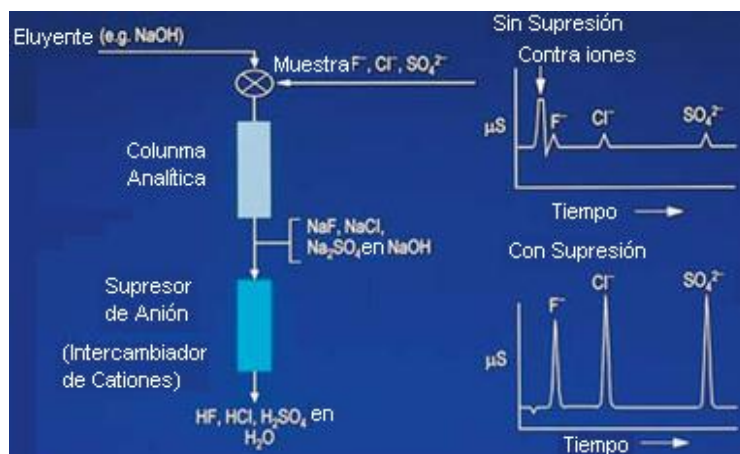
- **Fase móvil, eluyente:** el eluyente se coloca en contenedores de vidrio con una tubería que tiene un filtro. Se utilizan diversos eluyentes en función del tipo de columna y detector empleados, para la técnica aplicada se utilizó como eluyente carbonato de sodio 3,6 mMol/L. La fase móvil debe ser desgasificada para evitar disminución de sensibilidad y eficiencia por burbujas interferentes de gases. [30] [31][32]
- **Bomba de alta presión:** el sistema de bombeo genera presión en el sistema, controla el flujo, y arrastra eluyente y muestra. La bomba de doble pistón es el elemento central en los nuevos instrumentos, una baja pulsación hace que el ruido sea extremadamente débil, ayuda a una rápida estabilización y asegura la alta sensibilidad del sistema.[32]
- **Inyector:** se usan volúmenes en el orden de microlitros, inyectando un volumen definido de muestra en el IC, en general 20  $\mu$ L. Son muy usados los lazos de inyección y además se tienen sistemas de muestreo automático.
- **Columna y horno de columna:** la columna es un tubo de acero inoxidable con longitud entre 10 y 30 cm, y un diámetro de 4 a 10 mm. Está rellena de partículas de fase

sólida de 5 a 10 micrómetros de diámetro, estas columnas de resinas de Intercambio Anionico, contienen grupos de amina cuaternaria ( $(\text{N}(\text{CH}_3)_3)^+ \text{OH}^-$ , base fuerte) o grupos de amina primaria ( $\text{NH}_2$ , base débil).

Para la protección de la columna se usa una precolumna de las mismas características, colocadas antes de la columna, la precolumna evita la contaminación de la columna analítica.

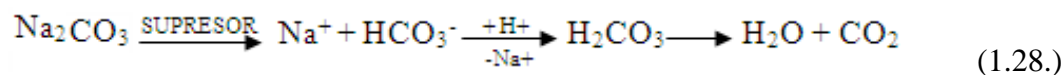
El horno de columna ayuda a atemperar el eluyente, pese a que la temperatura de la columna no es un factor determinante en cromatografía líquida, se usan hornos para mantener la temperatura estable y aportar a la reproducibilidad de las corridas.[31][32]

➤ **Supresor químico:** reduce la conductividad del eluyente para alcanzar separaciones con menos ruido, inferior a  $0.2 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Aumenta la conductividad de los analitos y elimina la interferencia de los contraiones, como se observa en la figura 1.11.: [33]



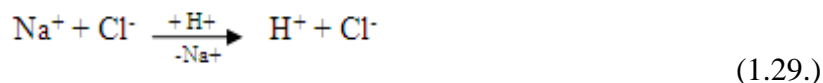
**Figura 1.11. Principio del Supresor Químico**

Se basa en el uso de sales de ácidos débilmente disociables ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , por ejemplo) como eluyentes. Estos eluyentes se pueden eliminar en gran medida mediante una reacción post-columna de acuerdo con el siguiente proceso, como se observa en la ecuación 1.28.



El ácido carbónico formado como resultado del intercambio catiónico se disocia muy débilmente, por lo que aporta poca conductividad.

Por otro lado, los iones de la muestra sufren la reacción correspondiente. Por ejemplo, para el cloruro, el proceso de supresión convierte el NaCl al correspondiente ácido fuerte, el cual tiene una mayor conductividad que la sal original, como se observa en la ecuación 1.29. Cuanto menor fuerza tenga el ácido producido, el incremento en sensibilidad debido a la supresión química será menor.



- **Supresor de CO<sub>2</sub>:** reduce el pico de inyección, la lectura del background se reduce bajo de 2μS/cm, elimina el CO<sub>2</sub> residual después de la supresión química y los límites de detección son reducidos. [30] [32]
- **Detector:** el detector más empleado en Cromatografía Iónica es el detector de conductividad, que registras cualquier aumento en la conductividad eléctrica de la fase móvil. Este detector tiene una elevada sensibilidad, son universales para las especies cargadas y, como norma general responde de una forma predecible a los cambios de concentración.
- **Procesador de resultados:** las concentraciones de iones pueden ser calculadas usando el área bajo cada pico. Actualmente se trata de un software que permite interpretar las señales recibidas por el detector, además se puede integrar, cuantificar, y en general analizar los cromatogramas.[34]

## ❖ VENTAJAS DE LA CROMATOGRAFÍA IÓNICA

La Cromatografía Iónica ofrece diferentes ventajas para la determinación de aniones como:

**Ahorro en reactivos:** los métodos tradicionales para determinación de aniones en distintas matrices involucra un significativo gasto de reactivos desde la preparación de la muestra hasta la ejecución del método. En cromatografía iónica los reactivos utilizados se reducen a un eluyente (carbonato de sodio) y a los patrones según sea el caso. [33]

**Manejo de desechos:** el problema no solo está en el gasto sino en la disposición final de los reactivos utilizados. Muchas de las sustancias empleadas en las técnicas analíticas tradicionales, constituyen importantes contaminantes del ambiente y agentes altamente tóxicos, en cromatografía iónica los reactivos utilizados no causan un problema ambiental, porque las sustancias son utilizadas en concentraciones moderadas y al disponer de ellas no se requiere de un manejo sofisticado. [35]

**Simultaneidad analítica:** con la cromatografía iónica es posible cuantificar simultáneamente varios analitos en pocos minutos, esto sin necesidad del uso de diferentes reactivos, gracias a que la columna cromatográfica se encarga de separar cada ión para luego ser cuantificado.

Esta técnica permite analizar varios analitos simultáneamente y el tiempo de análisis es corto a comparación de otros métodos tradicionales. Por ejemplo, se pueden cuantificar simultáneamente siete de los aniones ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NO}_3^-$ ) en un lapso de 30 min., mientras que con los métodos tradicionales se puede tardar varios días, siendo necesario el uso de distintos equipos y reactivos, lo cual representa problemas de seguridad tanto en la confiabilidad de los datos como en el manejo de contaminantes. [36]

## **CAPÍTULO II**

### **2. PARTE EXPERIMENTAL**

Para la obtención de los resultados de este estudio, se realizó la toma de muestras en las Zonas: Norte: Carapungo, Centro: Centro Histórico y Sur: El Camal, todos los días que presentaron lluvia, durante los meses mayo y junio del año 2010. Una vez realizada la toma de muestras del agua lluvia, de cada muestra se tomaron dos alícuotas: la primera sin filtrar, a la que se midió el pH y conductividad inmediatamente o dentro de las tres horas siguientes; en la segunda alícuota se realizó el análisis cuantitativo de sulfatos y nitratos presentes, mediante Cromatografía Iónica.

A continuación se detallan los equipos, materiales, reactivos, estándares y materiales de referencia certificados utilizados en el desarrollo del presente estudio.

#### **2.1. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS**

##### **2.1.1. EQUIPOS**

- Cromatógrafo Iónico, marca Metrohm 881 Compact IC Pro. Componentes: Bomba de alta presión, automuestreador, válvula de inyección, bomba peristáltica, módulo supresor CO<sub>2</sub>, detector de conductividad.
- Columna para el Cromatógrafo iónico, empacada con Alcohol polivinil y grupos Aminos Cuaternarios, diámetro de la partícula 5µm, marca Metrosep A Supp 7-250, 250mmLx4.0mmID
- Precolumna , marca Metrosep A SUPP 4/5 Guard

- Dosificador Dosino 800
- pHmetro, marca HACH, Sension 1
- Conductivímetro, marca WTW, modelo Inolab Cond 720
- Balanza analítica Melter Toledo con precisión de 0.1 mg
- Dispensador Eppendorf o Micropipeta automática 1-10ml
- Sistema Purificador de agua ELGA

#### 2.1.2. MATERIALES

- Balones aforados clase A de 25mL, 50mL, 100mL, 250mL y 1000mL
- Bandeja de plástico 25mmX60mm
- Botellas de plástico de 1 y 2 L
- Botella de vidrio para Dosino, 2L
- Botella de vidrio para eluyente con desecador, 2L
- Botella de vidrio para agua, 1L
- Botella de vidrio para regenerador ácido, 1L
- Embudo plástico
- Filtros descartables Millipore, Mille de 0.45  $\mu\text{m}$
- Jeringas de 10mL
- Pipetas volumétricas clase A de 1mL, 5mL, 10mL y 25mL
- Probetas de 500mL
- Puntas para las pipetas electrónicas de 1-10mL
- Vasos de precipitación de 25mL, 50mL y 100mL

### 2.1.3. REACTIVOS

Para la determinación sulfatos y nitratos en el agua de lluvia, se utilizaron los siguientes reactivos y estándares:

- Fase Móvil: Carbonato de sodio de concentración 3.6 mM/L; pesar 0.3816 g de carbonato de sodio, diluir y aforar con agua grado HPLC a 1L.
- Solución Regeneradora: Ácido Sulfúrico al 0.005%; medir con una pipeta volumétrica 5mL de ácido sulfúrico concentrado y transferir a un balón de 1L que contenga 200mL de agua grado HPLC. Aforar y homogenizar.
- Agua grado HPLC (conductividad < 0,1  $\mu$ S/cm)
- Sílica desecante con indicador
- Material de referencia certificado de Agua de Lluvia, el certificado se presenta en el Anexo 1.
- Estándares de aniones: sulfatos y nitratos, los cuales se presentan en la tabla 2.1

**Tabla 2.1. Estándares de aniones: Sulfatos y Nitratos**

<b>Estandar</b>	<b>Pureza</b>	<b>Lote</b>
Nitratos	99.0%	C2NOX02068
Sulfatos	99.0%	C2-SOX01086

Para realizar la determinación de pH y conductividad de las muestras de agua de lluvia, se utilizaron los siguientes reactivos y estándares:

- Solución buffer estándar de pH 4.00, Trazable al NIST
- Solución buffer estándar de pH 7.00, Trazable al NIST
- Solución buffer estándar de pH 10.00, Trazable al NIST

- Material de referencia certificado de Conductividad

## **2.2. TOMA DE MUESTRAS**

La toma de muestra de agua es una operación que debe llevarse a cabo con el mayor cuidado, dado que condiciona los resultados analíticos y su interpretación. De una manera general, la muestra debe ser homogénea y representativa y no modificar las características fisicoquímicas o biológicas del agua (gases disueltos, materias en suspensión, etc.).[37]

Las muestras tomadas de agua de lluvia fueron muestras simples debido a que son tomadas en un tiempo y lugar determinado para su análisis individual. Las muestras de agua de lluvia fueron recolectadas en dos periodos durante el día: 7am a 7pm y durante la noche de 7pm a 7am, todos los días que se presentó lluvia, durante los meses de mayo (31 días) y junio (30 días) del año 2010. La toma de muestras se realizó en tres zonas: Zona Norte: Carapungo, Zona Centro: Centro Histórico y Zona Sur: El Camal.

### **2.2.1. PROCEDIMIENTO DE TOMA DE MUESTRAS**

A continuación se detalla el procedimiento de toma de muestras para el agua de lluvia:

La recolección del agua de lluvia se llevó a cabo mediante la técnica descrita por Migliavacca et al., denominada precipitación total. En esta técnica se modificó el envase de recolección debido a que no se podía recolectar suficiente muestra para los análisis correspondientes. El agua de lluvia se recolectó en un recipiente de vidrio transparente de medida 30x50mm y se colocó en un frasco de plástico mediante un embudo de tallo corto, fue tapado y etiquetado para transportarlo al laboratorio.[3]

Una vez tomada la muestra, ésta sufre una serie de procesos que alteran sus características fisicoquímicas y biológicas. De manera general, es necesario conservar las muestras a baja temperatura (4°C) tanto durante el transporte como en el laboratorio durante el tiempo que transcurra hasta la realización del análisis. [38] A continuación en la tabla 2.2. se presenta la conservación de las muestras de agua para los diferentes análisis, de acuerdo al Standard Methods for the examination of water & wastewater.

**Tabla 2.2. Conservación de las muestras de agua de lluvia, de acuerdo a cada analito.[39]**

<b>Análisis</b>	<b>Tipo de envase</b>	<b>Preservación</b>	<b>Tiempo máximo hasta análisis</b>
Conductividad	Plástico	Refrigerar 4±2 °C	28 días
pH	Plástico	Refrigerar 4±2 °C	25 minutos
Nitratos	Plástico o Vidrio	Refrigerar 4±2 °C	28 días
Sulfatos	Plástico o Vidrio	Refrigerar 4±2 °C	28 días

### 2.2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DE TOMA DE MUESTRA

Los sitios de toma de muestra fueron establecidos según los datos publicados de contaminación atmosférica, de la CORPAIRE, tomando en cuenta la ubicación de los sectores en la cual existe alta, media y baja contaminación atmosférica por: monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y ozono. Según estos datos el sector en la cual existe alta contaminación atmosférica es en la Zona Sur, El Camal, seguida de una contaminación media en la Zona Centro, El Centro, y finalmente con una contaminación atmosférica baja en la Zona Norte, Carapungo. [4][23]

La toma de muestras del agua lluvia se realizó en lugares cercanos de las diferentes estaciones de monitoreo para comprobar la influencia de los contaminantes atmosféricos en el agua lluvia. A continuación en la tabla 2.3. se presenta la ubicación: latitud, longitud, altitud y dirección de los sitios de toma de muestras establecidas para el estudio.

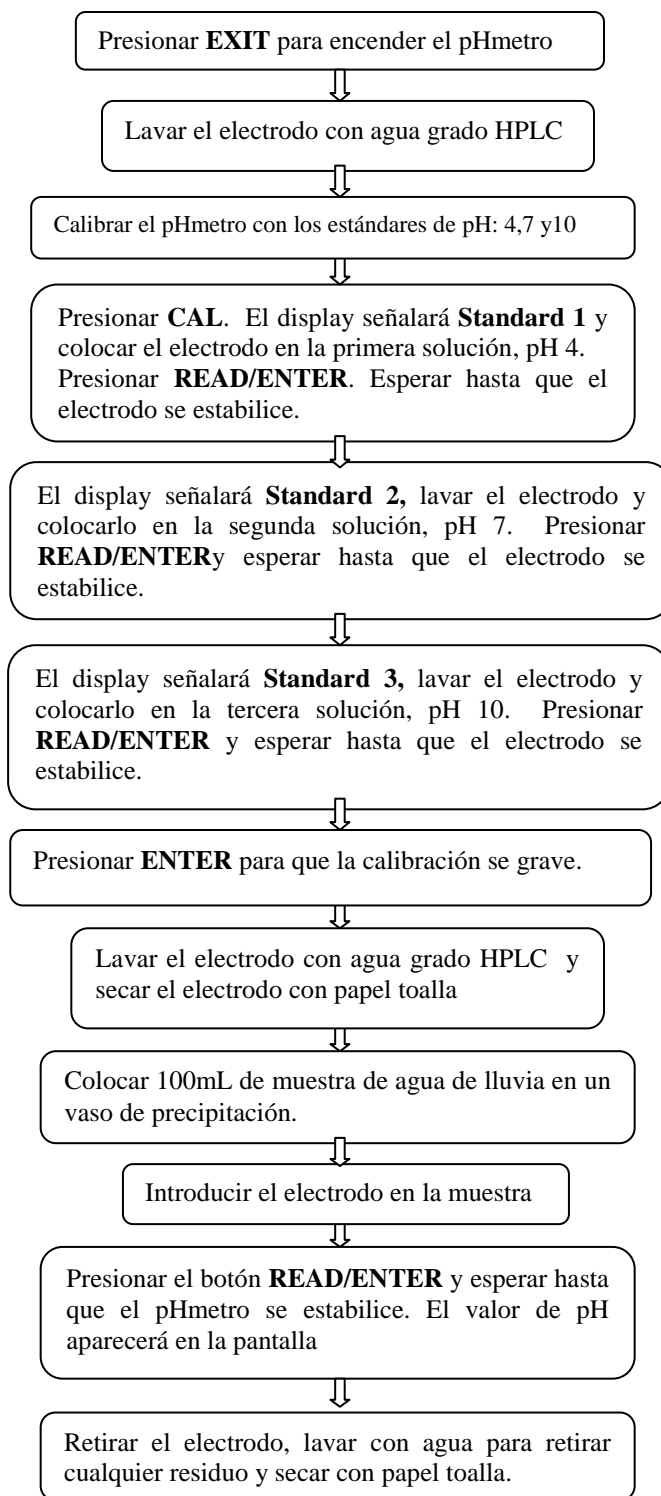
**Tabla 2.3. Ubicación de los sitios de toma de muestras del agua de lluvia, de las Zonas: Norte, Centro y Sur del Distrito Metropolitano de Quito.**

<b>Estación</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Altitud</b>	<b>Dirección</b>
Zona Norte, Carapungo	0° 6'26.80"S	78°27'17.05"O	2670m	Av. Panamericana Norte y Av. Padre Luis Vaccari
Zona Centro, Centro Histórico	0°13'18.36"S	78°30'51.41"O	2831m	Av. García Moreno y Simón Bolívar
Zona Sur, El Camal	0°14'50.68"S	78°30'39.71"O	2867m	Av. Rodrigo Ocampo y Pedro Collazos

## **2.3. MÉTODO INSTRUMENTAL Y ANALÍTICO**

### **2.3.1. DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HIDRÓGENO: pH**

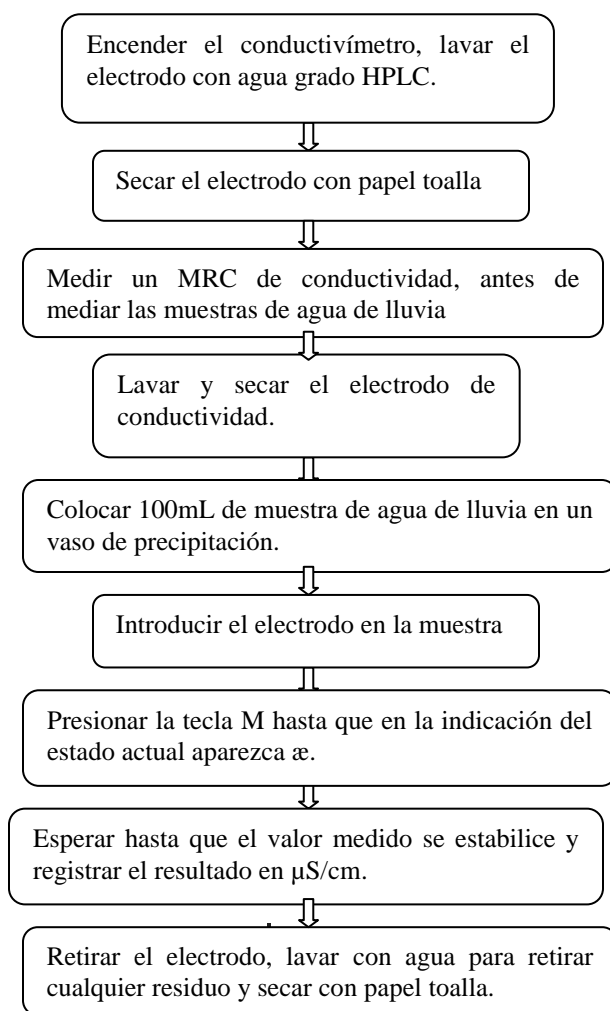
Para determinar el pH de las muestras de agua de lluvia se utilizó el método de la APHA-AWWA-WEF 4500-H<sup>+</sup>B: “Valor de pH”. Para medir el pH de las muestras, primero se debe realizar la calibración del pHmetro, cada vez que se utilice. En la calibración se utiliza tres soluciones buffer de pH 4, 7 y 10. Para la calibración del pHmetro y medición del pH de las muestras de agua de lluvia se sigue el procedimiento que se describe a continuación en la figura 2.2. [39]



**Figura 2.1 Procedimiento para la determinación del Potencial Hidrógeno, pH.**

### 2.3.2. DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD

Para determinar la conductividad de las muestras de agua de lluvia se utilizó el método de la APHA-AWWA-WEF 2510B “Conductividad”, siguiendo el procedimiento que se describe en la figura 2.2. Antes de medir la conductividad de las muestras de agua de lluvia se debe realizar la verificación del conductímetro, utilizando un material de referencia certificado de conductividad, esto se debe realizar cada vez que se utilice el conductímetro. [39] [40]



**Figura 2.2. Procedimiento para la determinación de Conductividad**

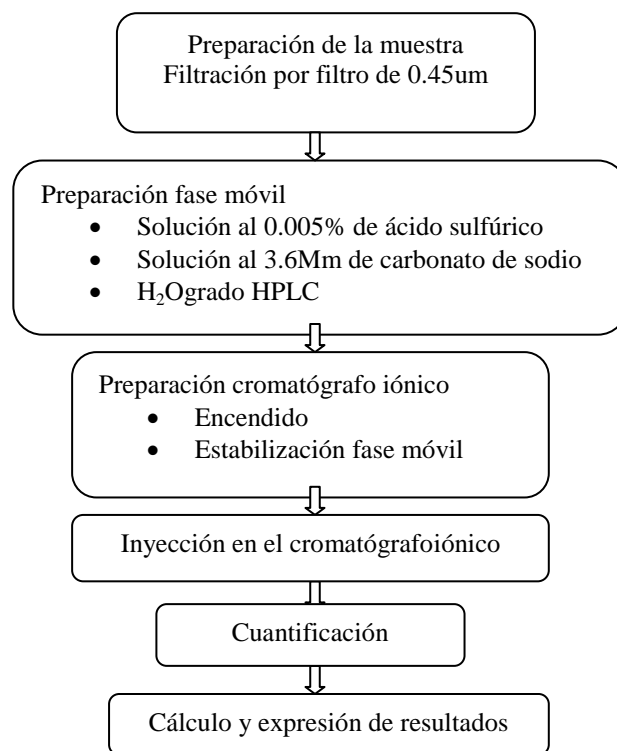
### 2.3.3. DETERMINACIÓN DE SULFATOS Y NITRATOS POR CROMATOGRAFÍA IÓNICA

Para la cuantificación de los aniones: sulfatos y nitratos presentes en el agua de lluvia, primero se realizó la validación del método; se utilizó un Cromatografo Iónico con supresión química y detector de conductividad, marca Metrohm, Compact IC 881. A continuación se presenta en la tabla 2.4 las condiciones cromatografías del método validado, para la cuantificación de sulfatos y nitratos en el agua de lluvia recolectada:

**Tabla 2.4. Condiciones Cromatográficas del método validado**

<b>Parámetros</b>	<b>Condiciones Cromatográficas</b>
Volumen de inyección	20 µL
Flujo	0.8 mL/min
Presión	15 MPa
Temperatura	45°C
Tiempo de recorrido	38,0 min

Una vez validado el método se realizó la determinación de sulfatos y nitratos por Cromatografía Iónica siguiendo el procedimiento que se describe en la figura 2.3. [39] [40]



**Figura 2.3. Procedimiento para la determinación de Sulfatos y Nitratos por Cromatografía Iónica**

### 2.3.3.1. VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE DETERMINACIÓN DE SULFATOS Y NITRATOS POR CROMATOGRAFÍA IÓNICA.

La validación de un método de ensayo es la confirmación que se da, mediante aporte de evidencia, de que el método es apto para el fin propuesto. Se debe evaluar experimentalmente las características analíticas según la finalidad que se dará.

Para validación del método se realizó curvas de calibración de cada uno de los aniones individuales: sulfatos y nitratos, a partir de una solución madre de 100 mg/L, los diferentes puntos de la curva de calibración se realizaron mediante diluciones de la solución madre.

- **Solución madre de aniones, 100 mg/L:** a partir del estándar certificado de 1000 mg/L de aniones, se preparó una solución madre de 100 mg/L que contiene cada uno de los aniones de estudio; se midió 10mL de la solución estándar y se aforó en un balón de 100mL con agua grado HPLC.
- **Estándares de aniones:** a partir de la solución madre, se preparó las soluciones que se presenta en la tabla 2.4., estas soluciones se aforan con agua grado HPLC.

**Tabla 2.5. Estándares para la curva de calibración (1 a 10 mg/L)**

Estándar	Alícuota	Volumen de aforo	Concentración
<b>1</b>	1	100mL	1,0 mg/L
<b>2</b>	2,5	100mL	2,5 mg/L
<b>3</b>	5,0	100mL	5,0 mg/L
<b>4</b>	7,5	100mL	7,5 mg/L
<b>5</b>	10,0	100mL	10.0 mg/L

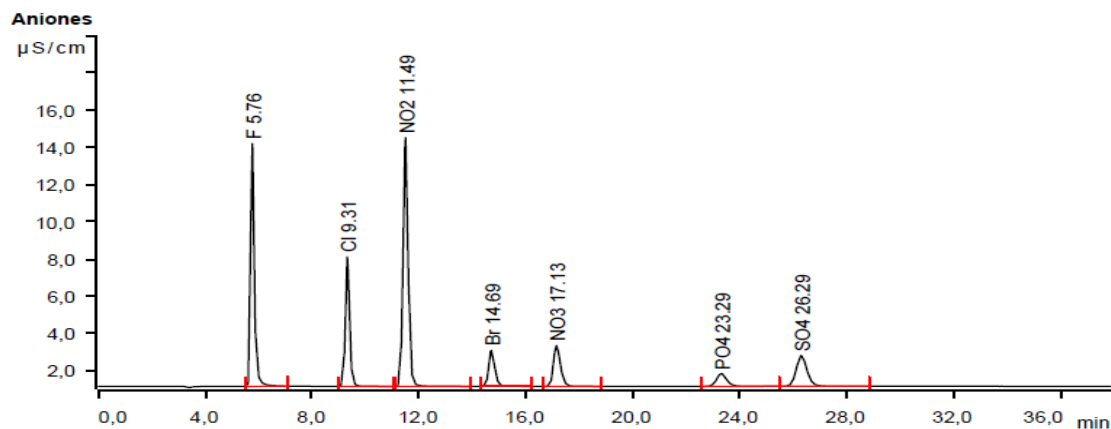
Se determinó el tiempo de retención y orden de elución de los siguientes aniones: fluoruros, cloruros, nitritos, bromuros y fosfatos, cabe mencionar que para este estudio, los aniones de interés son los nitratos y sulfatos que se presentan a continuación:

**Tabla 2.6. Orden de elución y tiempo de retención de nitratos y sulfatos**

Orden elución	Compuesto	Tiempo de Retención (min.)
5	Nitratos	17,106
7	Sulfatos	26,247

La selectividad del método se vio evidenciada en los tiempos de retención, como se puede observar en la tabla 2.6. los picos de los nitratos y sulfatos, no se sobrepone unos con otros,

obteniéndose entonces una separación adecuada de todos los compuestos estudiados, como se observa en el siguiente cromatograma presentado en la figura 2.4.



**Figura 2.4. Cromatograma del orden de elución de aniones: nitratos y sulfatos**

Para la validación del método, se realizó curvas de calibración para cada uno de los analitos presentados en la figura 2.4, en ellas se relacionó la concentración con el área integrada en  $(\mu\text{S}/\text{cm}) \times \text{min.}$  de los picos cromatográficos.

El método analítico desarrollado para la determinación de sulfatos y nitratos en aguas por cromatografía iónica fue validado de acuerdo a los siguientes parámetros:

➤ **Linealidad:** la relación entre los resultados obtenidos con el método y la concentración de los analitos, debe ser proporcional en el rango que se trabajó.

Para evaluar la linealidad del método se realizaron curvas de calibración con estándares de sulfatos y nitratos, en el rango de concentración de 1 a 10 mg/L, para cada uno de los analitos. Se evaluaron las curvas obtenidas por regresión lineal, usando el método de mínimos cuadrados, la recta analizada responde a la siguiente ecuación:

$$y = mx + b \quad (2.1)$$

Donde se puede calcular la pendiente m y el coeficiente b (intercepto al origen).

A continuación se detalla un resumen de los resultados, en las tablas 2.7. y 2.8., para las curvas de calibración, así como se indica los valores encontrados para las pendientes, intersecciones y coeficientes de correlación, además se presenta las medias aritméticas, las desviaciones estándar para poder establecer los límites de aceptación:

**Tabla 2.7. Pendientes, intersecciones, medias y desviaciones estándar de las curvas de calibración de nitratos.**

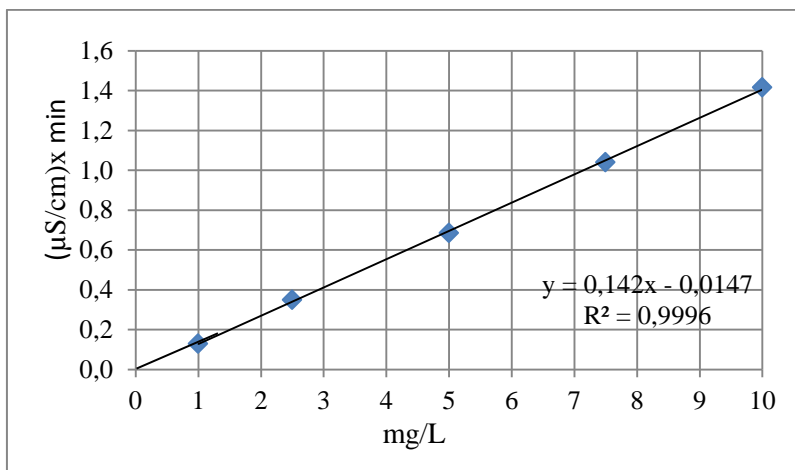
Curva	Primera Curva de Calibración	Segunda Curva de Calibración	Tercera Curva de Calibración	Media ( $\bar{X}$ )	Desviación estándar(s)	Límites de Aceptación ( $\bar{X} \pm 3 s$ )
Pendiente (m)	0,0070	0,0072	0,0071	0,0071	0,0001	0,0068 a 0,0074
Intersección (b)	-0,0110	-0,0176	-0,0161	-0,0149	0,0035	-0,0253 a -0,0045
Correlación( $R^2$ )	0,9997	0,9999	0,9990			Mayor a 0,99

**Tabla 2.8. Pendientes, intersecciones, medias y desviaciones estándar de las curvas de calibración de sulfatos.**

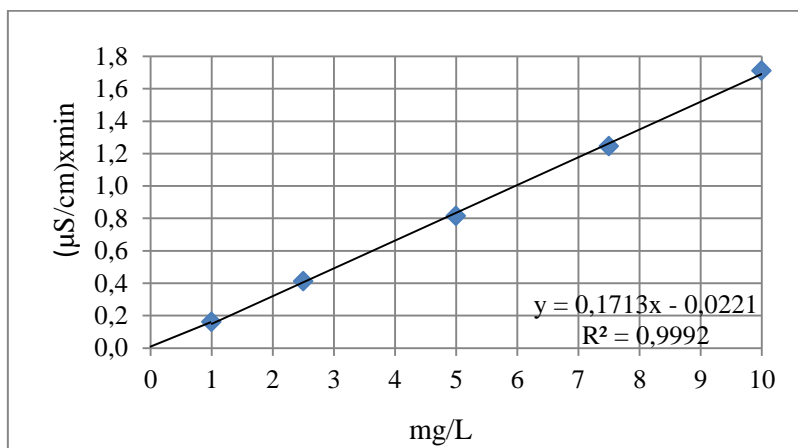
Curva	Primera Curva de Calibración	Segunda Curva de Calibración	Tercera Curva de Calibración	Media ( $\bar{X}$ )	Desviación estándar (s)	Límites de Aceptación ( $\bar{X} \pm 3 s$ )
Pendiente (m)	0,0085	0,0087	0,0086	0,0086	0,0001	0,0068 a 0,0074
Intersección (b)	-0,0432	-0,0190	-0,0044	0,0222	0,0196	-0,0253 a -0,0045
Correlación ( $R^2$ )	0,9987	0,9999	0,9997			Mayor a 0,99

Los datos generados y las gráficas correspondientes de las curvas de calibración durante la validación se encuentran en el Anexo 2 “Datos y gráficas de las curvas de calibración elaboradas para la validación de Nitratos y Sulfatos”.

A continuación en las figuras 2.5 y 2.6, se observa las curvas de calibración realizadas con los promedios de las tres curvas de calibración realizadas para cada anión: nitratos y sulfatos, con su respectiva pendiente, intercepto y coeficiente de correlación.



**Figura 2.5. Curva de Calibración de Nitratos**



**Figura 2.6. Curva de Calibración de Sulfatos**

Los coeficientes de correlación de las tres curvas de calibración de nitratos y sulfatos utilizados para este trabajo, son mayores a 0,99, lo que demuestra el grado de ajustes de las curvas para la relación conductividad-concentración.

➤ **Límite de cuantificación:** se refiere a la mínima concentración que puede ser cuantificada por el método desarrollado, cumpliendo con ciertos niveles de exactitud y confianza.

El límite de cuantificación del método desarrollado se determinó experimentalmente inyectando soluciones de concentraciones bajas de sulfatos y nitratos de 0.1, 0.2, 0.25 y 0.5 mg/L, hasta encontrar la concentración que presenta recuperaciones del  $100\pm 30\%$ ; a continuación en la tabla 2.9 se presentan los límites de cuantificación de nitratos y sulfatos:

**Tabla 2.9. Límites de Cuantificación de Nitratos y Sulfatos**

Anión	Límite de cuantificación
Nitratos	0,25 mg/L
Sulfatos	0,5 mg/L

➤ **Precisión de repetibilidad:** se refiere a la proximidad que tienen los valores obtenidos de lecturas realizadas bajo las mismas condiciones (analista, equipo, día etc.), en un corto intervalo de tiempo.

La precisión de repetibilidad se determinó inyectando tres concentraciones de estándares de sulfatos y nitratos dentro del rango de la curva; cada uno por triplicado, estos datos se presentan en el Anexo 3 “Datos de la concentración de los estándares de: 1, 5 y 10mg/L”.

En el Anexo 4 “Resultados de precisión de repetibilidad (r) y reproducibilidad (R) para Nitratos y Sulfatos, se presentan los resultados de las pruebas de repetibilidad y reproducibilidad realizadas en tres niveles de concentración de los sulfatos y nitratos con su respectiva media, desviación estándar, coeficiente de variación y porcentaje de recuperación.

Como se puede observar en el Anexo 4, todos los valores de los coeficientes de variación (%CV) encontrados, tanto en condiciones de repetibilidad y para reproducibilidad, son menores al 5%, y se obtienen porcentajes de recuperación dentro del objetivo de validación.

➤ **Exactitud:** se refiere a la proximidad existente entre un valor aceptado o esperado y el valor experimental.

Se evaluó la recuperación de un material de referencia certificado, inyectándolo por triplicado. Se determinó la exactitud y la recuperación del material de referencia certificado, mediante las ecuaciones 2.2. y 2.3.

$$\% \text{ Exactitud} = \frac{\text{Resultadoobtenido} - \text{Resultadoreal}}{\text{Resultadoreal}} * 100 \quad (2.2.)$$

$$\% \text{ Recuperación} = \frac{\text{Resultadoobtenido}}{\text{Resultadoreal}} * 100 \quad (2.3.)$$

Los valores esperados de exactitud son menores al 10 %, equivalentes a una recuperación mayor al 90 %

A continuación en la tabla 2.10. se presentan los resultados que se obtuvieron del análisis de un Material de Referencia Certificado de Agua de lluvia. (Ver Anexo 1), usando el método validado. También se indican el valor real y los límites aceptables que presenta el certificado de dicho material de referencia.

**Tabla 2.10. Resultados de la recuperación del material de referencia certificado**

<b>Anión</b>	<b>Valor Certificado mg/L</b>	<b>Límites Aceptables mg/L</b>	<b>Resultado mg/L</b>	<b>Recuperación</b>
Nitratos	0,714	0,505-0,923	0,646	90,47%
Sulfatos	3,028	2,144- 3,912	2,907	96,00%

Como se puede observar, se obtuvo una recuperación del 90,47% y 96,00% que está dentro del objetivo de validación, además el valor del resultado está dentro de los límites aceptables incluidos en el certificado del material de referencia, Anexo 1. (Ver en el Anexo 5, el cromatograma del Material de referencia Certificado de Agua de Lluvia)

En la tabla 2.11 se presenta un resumen con los parámetros de validación para nitratos y sulfatos:

**Tabla 2.11. Parámetros de Validación para Nitratos y Sulfatos**

<b>Parámetros de Validación</b>	<b>Nitratos</b>	<b>Sulfatos</b>
Linealidad	Coeficiente de correlación mayor a 0,99	Coeficiente de correlación mayor a 0,99.
Límite de cuantificación	0.25 mg/L	0.50 mg/L
Precisión de repetibilidad	Variabilidad $\pm 10\%$ .	Variabilidad $\pm 10\%$ .
Precisión de reproducibilidad	Variabilidad $\pm 10\%$ .	Variabilidad $\pm 10\%$ .
Exactitud	Recuperaciones de $100 \pm 10\%$ .	Recuperaciones de $100 \pm 10\%$ .

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para realizar el estudio del agua de lluvia del Distrito Metropolitano de Quito, se estableció primero los sectores de alta, media y baja contaminación atmosférica por: monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y ozono, ya que estos gases son los precursores de la lluvia ácida. Posteriormente se determinó el pH, conductividad, sulfatos y nitratos del agua de lluvia recolectada en los diferentes sectores. Estos sectores de las Zona: Norte, Centro y Sur, fueron establecidos según datos publicados de contaminación atmosférica de la Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito, CORPAIRE, y de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito, REMMAQ, en los meses: mayo y junio del año 2010.

Las tablas 3.1. y 3.2, que se presentan a continuación son información publicada por CORPAIRE. Estas tablas contienen los promedios de las 24 horas (por día) de las emisiones atmosféricas de las Zonas: Norte, Centro y Sur, sus respectivas estaciones de monitoreo: Carapungo, El Centro y El Camal; y los resultados de: monóxido de carbono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y ozono. También estas tablas contienen: el mes en el que se realizó la toma de muestras del agua de lluvia, el número de día del mes, (para mayo son 30 días y para junio son 31 días), las estaciones de monitoreo de las tres zonas y la concentración de cada contaminante atmosférico.

**Tabla 3.1. Concentración máxima diaria de CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>, de los promedios móviles de 24 horas, en las estaciones de monitoreo: Carapungo, El Camal y Centro, del mes de Mayo del año 2010 [41]**

DÍA	MAYO											
	Carapungo				El Camal				Centro			
	CO mg/m <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	O <sub>3</sub> µg/m <sup>3</sup>	CO mg/m <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	O <sub>3</sub> µg/m <sup>3</sup>	CO mg/m <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	O <sub>3</sub> µg/m <sup>3</sup>
1	0,17	1.26	7.73	23,21	0,78	2.52	28.36	19,52	0,97	2.72	25.20	15,46
2	0,23	2.41	10.72	20,36	0,82	7.50	26.09	16,02	0,84	4.37	22.53	13,34
3	0,20	1.31	7.11	16,59	0,70	2.43	21.63	11,42	0,70	2.50	19.03	11,65
4	0,27	1.28	7.63	15,37	0,70	2.34	23.69	11,91	0,63	2.39	16.79	11,68
5	0,39	2.07	14.76	17,33	0,71	3.51	31.26	10,40	0,79	3.49	26.34	14,00
6	0,35	1.83	11.35	16,94	0,72	2.69	26.10	17,69	0,82	3.65	22.62	17,00
7	0,59	3.71	15.03	18,83	0,90	9.19	30.15	13,92	0,95	4.27	23.12	16,51
8	0,37	1.92	12.43	15,57	0,76	3.64	23.15	11,53	0,84	3.75	17.83	12,25
9	0,52	1.96	11.20	13,77	0,56	3.80	18.51	11,74	0,64	3.42	13.38	13,48
10	0,43	1.95	12.81	17,99	0,89	9.47	26.53	13,31	1,22	4.19	27.47	9,35
11	0,44	3.89	13.76	14,68	0,52	6.43	22.45	13,49	0,81	3.40	19.42	15,90
12	0,45	3.47	14.51	19,46	0,51	5.33	22.47	15,61	0,74	3.61	18.82	19,75
13	0,46	3.57	14.19	17,34	0,56	6.33	20.56	13,82	0,73	3.75	17.92	16,28
14	0,48	5.07	13.99	16,69	0,74	5.11	20.36	15,24	0,85	3.47	16.59	17,38
15	0,54	2.96	13.89	18,21	0,93	7.26	21.49	16,02	0,98	3.74	15.65	19,47
16	0,36	2.19	11.08	22,25	0,54	5.77	18.75	19,07	0,76	3.23	15.69	23,08
17	0,34	3.20	11.26	23,89	0,50	4.33	23.41	21,76	0,74	3.18	19.63	23,15
18	0,58	3.77	18.83	20,72	0,82	7.52	31.37	17,92	1,01	4.64	28.93	21,50
19	0,52	4.23	17.12	24,21	0,50	6.65	24.61	18,21	0,95	4.19	25.98	16,60
20	0,39	2.53	10.17	26,90	0,43	3.78	25.22	20,03	0,88	3.72	26.34	20,92
21	0,49	2.74	17.48	26,40	0,75	5.69	29.91	20,27	1,11	3.41	30.62	19,91
22	0,70	5.21	21.53	24,33	1,28	8.10	38.62	16,10	1,26	5.12	35.36	17,98
23	0,42	1.73	11.57	25,86	0,57	4.08	29.33	27,06	0,78	2.94	24.91	27,77
24	0,41	2.26	11.98	25,74	0,53	7.37	28.93	16,85	0,74	3.87	23.07	22,27
25	0,46	3.39	15.80	25,34	0,76	8.02	32.74	19,19	0,89	3.81	27.43	23,97
26	0,45	5.97	20.99	24,26	0,63	7.04	33.96	23,25	0,74	4.36	33.43	25,71
27	0,57	6.29	27.05	26,05	0,68	9.02	41.21	24,38	0,94	5.42	40.35	19,71
28	0,82	8.35	36.08	23,07	0,86	7.81	41.65	17,29	1,16	6.71	43.66	14,34
29	0,49	4.88	18.88	27,24	0,80	5.57	33.49	19,88	1,01	4.95	35.70	20,75
30	0,48	2.82	15.46	19,13	0,61	4.80	36.01	15,19	0,78	3.26	31.52	13,30
31	0,42	2.47	14.09	23,65	0,69	4.73	34.64	17,76	1,01	3.92	34.29	15,62
<b>Mínimo</b>	<b>0,17</b>	<b>1,26</b>	<b>7,11</b>	<b>13,77</b>	<b>0,43</b>	<b>2,34</b>	<b>18,51</b>	<b>10,40</b>	<b>0,63</b>	<b>2,39</b>	<b>13,38</b>	<b>9,35</b>
<b>Máximo</b>	<b>0,82</b>	<b>8,35</b>	<b>36,08</b>	<b>27,24</b>	<b>1,28</b>	<b>9,47</b>	<b>41,65</b>	<b>27,06</b>	<b>1,26</b>	<b>6,71</b>	<b>43,66</b>	<b>27,77</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,45</b>	<b>3,25</b>	<b>14,85</b>	<b>21,01</b>	<b>0,82</b>	<b>5,74</b>	<b>27,96</b>	<b>16,96</b>	<b>0,88</b>	<b>3,85</b>	<b>25,16</b>	<b>17,74</b>

**Tabla 3.2. Concentración máxima diaria de CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>, de los promedios móviles de 24 horas, en las estaciones de monitoreo: Carapungo, El Camal y Centro, del mes de Junio del año 2010.[41]**

DÍA	JUNIO											
	Carapungo				El Camal				Centro			
	CO mg/m <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	O <sub>3</sub> µg/m <sup>3</sup>	CO mg/m <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	O <sub>3</sub> µg/m <sup>3</sup>	CO mg/m <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	O <sub>3</sub> µg/m <sup>3</sup>
1	0,50	4.56	19.19	19,94	0,70	6.81	39.57	18,13	1,19	4.67	41.89	15,45
2	0,85	7.74	30.96	9,56	0,91	5.28	31.41	12,12	1,28	4.02	34.27	10,81
3	0,75	6.80	22.08	17,55	0,92	21.15	35.08	15,45	1,19	8.36	33.25	14,42
4	0,58	3.03	19.06	20,75	0,53	17.54	24.47	15,75	1,00	6.01	24.09	17,25
5	0,55	2.65	14.55	21,78	0,44	4.96	21.95	16,30	0,69	3.53	17.12	16,93
6	0,42	3.42	13.98	25,65	0,20	3.99	19.91	23,76	0,50	3.61	12.95	26,93
7	0,38	2.36	12.07	21,12	0,58	4.19	28.10	16,33	0,84	3.78	27.48	15,03
8	0,45	4.20	14.46	23,15	0,75	23.38	30.77	16,92	0,91	8.11	29.82	15,55
9	0,37	3.27	13.04	23,37	0,68	5.70	27.99	15,40	0,82	4.79	25.95	17,29
10	0,39	3.59	14.70	25,89	0,57	6.00	27.28	20,53	0,76	3.84	22.32	23,12
11	0,48	4.42	18.27	22,54	0,64	9.47	26.40	18,16	0,98	7.71	26.26	18,43
12	0,34	3.15	13.87	26,52	0,69	4.89	25.44	20,98	0,88	4.18	21.39	21,44
13	0,38	3.22	16.61	22,69	0,68	20.82	31.16	17,20	0,93	6.66	27.46	20,66
14	0,37	4.14	15.05	22,05	0,80	12.55	33.27	15,37	0,97	7.11	30.12	15,13
15	0,37	4.04	14.81	19,38	0,85	29.49	36.09	10,72	1,12	12.74	33.83	11,41
16	0,47	4.05	18.53	16,37	0,82	13.74	30.64	11,89	1,16	7.84	31.86	11,09
17	0,67	5.25	18.31	7,69	1,08	15.04	32.59	11,26	1,29	9.09	27.73	11,85
18	0,18	2.71	10.86	31,30	0,80	9.53	31.94	14,02	1,25	5.60	33.26	11,62
19	0,35	1.55	9.72	21,82	0,77	3.32	27.56	10,17	0,93	3.77	24.53	11,55
20	0,45	1.97	15.00	18,32	0,69	3.08	28.86	16,06	0,96	3.11	23.57	15,28
21	0,93	5.13	25.65	10,53	1,10	18.75	36.57	11,81	1,44	5.51	32.41	11,80
22	0,73	6.16	19.60	27,42	0,94	8.89	27.16	21,82	0,91	6.38	22.48	24,25
23	0,56	3.74	17.37	25,83	1,02	11.28	32.63	22,28	1,08	5.70	27.12	23,26
24	0,38	2.65	13.88	28,97	1,01	5.37	30.88	20,94	1,40	6.21	27.74	19,12
25	0,41	4.24	16.12	23,34	1,00	7.89	27.73	15,18	1,20	6.71	27.66	15,70
26	0,53	3.45	18.23	23,04	0,62	3.76	18.99	24,16	0,77	7.37	19.82	21,22
27	0,50	2.98	15.61	27,26	0,56	2.36	17.84	27,46	0,64	5.26	16.46	27,89
28	0,38	2.42	13.08	25,57	0,74	5.77	24.94	19,96	0,71	5.81	21.11	18,67
29	0,60	4.79	17.40	20,30	0,69	7.35	27.16	15,73	0,80	6.76	24.85	19,43
30	0,43	3.15	11.61	29,95	0,77	10.88	29.55	17,80	0,99	9.10	32.30	16,78
<b>Mínimo</b>	<b>0,18</b>	<b>1,55</b>	<b>9,72</b>	<b>7,69</b>	<b>0,20</b>	<b>2,36</b>	<b>17,84</b>	<b>10,17</b>	<b>0,50</b>	<b>3,11</b>	<b>12,95</b>	<b>10,81</b>
<b>Máximo</b>	<b>0,93</b>	<b>7,74</b>	<b>30,96</b>	<b>31,30</b>	<b>1,10</b>	<b>29,49</b>	<b>39,57</b>	<b>27,46</b>	<b>1,44</b>	<b>12,74</b>	<b>41,89</b>	<b>27,89</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,49</b>	<b>3,83</b>	<b>16,46</b>	<b>21,99</b>	<b>0,75</b>	<b>10,11</b>	<b>28,80</b>	<b>17,12</b>	<b>0,99</b>	<b>6,11</b>	<b>26,70</b>	<b>17,31</b>

En las tablas 3.1. y 3.2. se observó que en la Zona Norte, Carapungo existe menos contaminación por monóxido de carbono en comparación con las otras dos zonas, registrándose un valor promedio por mes de  $0,45 \text{ mg/m}^3$  en mayo y  $0,49 \text{ mg/m}^3$  en junio. En la Zona Sur, El Camal, se registra un valor promedio en mayo de  $0,82 \text{ mg/m}^3$  y  $0,75 \text{ mg/m}^3$  en junio; mientras que en la Zona Centro, El Centro se registraron valores promedios por mes de  $0,88 \text{ mg/m}^3$  en mayo y  $0,99 \text{ mg/m}^3$  en junio.

De acuerdo a este registro de la concentración de monóxido de carbono de las tres zonas durante el mes de mayo y junio, la Zona Norte registra una baja contaminación, seguida de la Zona Sur con una mediana contaminación y finalmente en la Zona Centro se registra una alta contaminación por emisiones de monóxido de carbono. En la Zona Centro se registró una alta contaminación, esto se debe al uso excesivo de vehículos y al uso de calefacciones domésticas, los cuales aportan a la formación de CO a la atmósfera.

Se observa también que el valor promedio de dióxido de azufre por mes, en la Zona Norte es  $3,25 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ , en la Zona Centro  $3,85 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  y en la Zona Sur  $5,74 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ . En junio la Zona Norte registra valores promedios de  $3,83 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ , la Zona Centro  $6,11 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  y la Zona Sur  $10,11 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ . Por lo tanto se registra una baja contaminación por dióxido de azufre en la Zona Norte, seguida de una mediana contaminación en la Zona Centro, y finalmente una alta contaminación por emisiones de dióxido de azufre en la Zona Sur.

En la Zona Sur se registró una alta contaminación por dióxido de azufre, debido a la distribución del tráfico vehicular, vehículos pesados a diesel, y a fábricas industriales ubicadas en esta zona que aportan a la formación de  $\text{SO}_2$ .

El valor promedio de dióxido de nitrógeno por mes en el sector Carapungo fue  $14,85\mu\text{g}/\text{m}^3$ , en El Centro  $25,16\mu\text{g}/\text{m}^3$  y en El Camal  $27,96\mu\text{g}/\text{m}^3$  durante el mes de mayo. En junio la estación de monitoreo Carapungo registra valores promedios de  $16,46\mu\text{g}/\text{m}^3$ , El Centro  $26,70\mu\text{g}/\text{m}^3$  y El Camal  $28,80\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Registrando así una baja contaminación por dióxido de nitrógeno en la Zona Norte, seguida de una mediana contaminación en la Zona Centro, y finalmente una alta contaminación en la Zona Sur

Según el valor promedio de ozono por mes, en el sector Carapungo fue  $21,01\mu\text{g}/\text{m}^3$ , en El Centro  $17,74\mu\text{g}/\text{m}^3$  y en El Camal  $16,96\mu\text{g}/\text{m}^3$  durante el mes de mayo. En junio la estación de monitoreo Carapungo registra valores promedios de  $21,99\mu\text{g}/\text{m}^3$ , El Centro  $17,31\mu\text{g}/\text{m}^3$  y El Camal  $17,12\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Registrando así una baja concentración de ozono en la Zona Sur, El Camal, seguida de una mediana concentración en la Zona Centro, Centro Histórico y finalmente una alta contaminación en la Zona Norte, Carapungo.

En la Zona Norte se registro una alta concentración de ozono, debido a que en esta zona existe mayores días soleados, lo cual contribuye a la formación de ozono por la descomposición de  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$  por acción de la radiación solar.

Los sitios de toma de muestras son establecidos de acuerdo a las emisiones de los gases  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$ , debido a que son de mayor importancia porque son los principales precursores de los ácidos sulfúrico y nítrico, los cuales le atribuyen la acidez a la lluvia.

De acuerdo a las tablas 3.1 y 3.2. el sector en el que existe menor contaminación por dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno es la Zona Norte, ya que en la estación de monitoreo atmosférico Carapungo se registró menores concentraciones de estos gases durante el mes de mayo y junio a comparación de las otras dos estaciones de las Zonas Centro y Sur.

Según los registros atmosféricos de los gases: dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno, la estación de monitoreo El Centro, mantiene una mediana contaminación atmosférica en comparación con las Zonas: Norte y Sur.

Finalmente el sector de alta contaminación ambiental de acuerdo a los registros de contaminantes atmosféricos es la estación El Camal ubicada en la Zona Sur del Distrito Metropolitano de Quito.

En la estación de monitoreo El Camal, Zona Sur, se registró una alta contaminación por dióxido de nitrógeno y dióxido de nitrógeno, estos se debe a las fuentes de emisión móviles como son: vehículos pesados a diesel, vehículos livianos como taxis y camionetas, que transitan por esta zona. También se debe a las fuentes fijas, como las fábricas industriales ubicadas en la Zona Sur que aportan a la formación de  $\text{NO}_2$  a la atmósfera.

### **3.1. RESULTADOS DE LA TOMA DE MUESTRAS DE LAS ZONAS: NORTE, CENTRO Y SUR DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**

Una vez establecidos los sectores de alta, mediana y baja contaminación ambiental, se procedió a la toma de muestras de agua de lluvia. A continuación en la tabla 3.3. se presenta el número total de muestras recolectadas por zona durante la toma de muestras, el volumen total en mililitros recolectado en mayo y en junio del año 2010 y el volumen total recolectado en cada zona durante los dos meses de toma de muestras de agua de lluvia de las tres Zonas: Norte, Centro y Sur del Distrito Metropolitano de Quito.

**Tabla 3.3. Resultados de la Toma de Muestras de las Zonas: Norte, Centro y Sur del DMQ.**

	<b>Zona Norte: Carapungo</b>	<b>Zona Centro: Centro Histórico</b>	<b>Zona Sur: El Camal</b>
Número total de muestras recolectadas	22	24	30
Volumen total recolectado en Mayo (mL)	10118	11863	20496
Volumen total recolectado en Junio(mL)	7739	8307	13807
Volumen Total (mL)	17857	20170	34303

Como se puede observar en la tabla 3.3 en la Zona Norte durante el mes de mayo se recolectó un mayor volumen de agua de lluvia, 10118mL, a diferencia del mes de junio, en el cual disminuyó el volumen a 7739mL de agua de lluvia.

En la Zona Centro, Centro Histórico durante el mes de mayo se recolectó un mayor volumen de agua de lluvia, 11863mL, a diferencia del mes de junio, en el cual disminuyó el volumen a 8307mL de agua de lluvia.

En la Zona Sur, El Camal, en mayo se recolectó un mayor volumen de agua de lluvia, 20496mL, a diferencia del mes de junio, el cual disminuyó el volumen a 13807mL de agua de lluvia.

El volumen recolectado en las tres Zonas de estudio, durante el mes de mayo es superior al recolectado el mes de junio, debido a que la época lluviosa se presenta desde febrero a mayo y por otra parte junio, julio y agosto son los meses de menor precipitación, menor número de días con lluvia y de mayor insolación:

Además en la Zona Sur del DMQ se evidenciaron más días lluviosos, en comparación con la Zona Centro y Norte. La Zona Norte no presentó mayores precipitaciones, pues existen más días soleados.

### **3.2. RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE LAS MUESTRAS DEL AGUA DE LLUVIA DE LAS ZONAS: NORTE, CENTRO Y SUR DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.**

Este trabajo presenta como resultado la determinación de pH, conductividad, sulfatos y nitratos de las muestras de agua de lluvia recolectadas en los diferentes sectores: Zona Norte: Carapungo, Zona Centro: Centro Histórico y Zona Sur: El Camal, durante los meses: mayo y junio del año 2010.

#### **3.2.1. ZONA NORTE, CARAPUNGO**

Una vez realizada la toma de muestras de agua de lluvia de la Zona Norte, Carapungo, se realizó los análisis de cada muestra y se obtuvieron los resultados que se presentan en la tabla 3.4. Esta tabla contiene: el mes de toma (mayo y junio), el número de muestra recolectado por zona, la fecha de recolección (se presenta dos fechas para una misma muestra porque se tomaron en el horario de 7am a 7pm y de 7pm a 7am), el volumen total recolectado por día, los niveles de pH (unidades de pH), conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), sulfatos y nitratos ( $\text{mg}/\text{L}$ ).

También se incluye: la media, la desviación estándar, la mínima y la máxima concentración de pH, conductividad, sulfatos y nitratos para conocer los niveles en el que se encuentran estos analitos en el agua de lluvia recolectada en la Zona Norte, Carapungo.

**Tabla 3.4. Zona Norte, Carapungo: Determinación de pH, Conductividad, Sulfatos y Nitratos**

MES	No. Muestra	Fecha de recolección DIA/NOCHE	Volumen total (mL)	pH (Unidad de pH)	Conductividad (µS/cm)	Resultados de Sulfatos (mg/L)	Resultados de Nitratos (mg/L)
MAYO	1	01/05/2010	395	6,19	9,90	0,60	<0,25
	2	01/05/2010 02/05/2010	540	6,05	14,20	0,93	<0,25
	3	02/05/2010 03/05/2010	1551	5,91	10,40	1,08	<0,25
	4	03/05/2010	91	5,34	35,20	3,70	1,96
	5	03/05/2010 04/05/2010	796	6,1	7,20	0,59	<0,25
	6	04/05/2010 05/05/2010	1245	6,08	8,10	0,70	<0,25
	7	05/05/2010	172	5,51	28,70	3,07	0,50
	8	18/05/2010	916	5,41	82,90	28,21	0,49
	9	20/05/2010 21/05/2010	2492	5,93	11,10	1,04	<0,25
	10	21/05/2010	1470	5,67	16,70	1,57	0,46
	11	31/05/2010	450	5,49	57,30	8,45	2,11
	<b>Total Mayo</b>		10118				
JUNIO	12	31/05/2010 01/06/2010	1155	5,41	13,10	1,39	5,52
	13	01/06/2010 02/06/2010	2875	5,75	9,40	1,76	<0,25
	14	02/06/2010	220	4,91	22,20	5,99	<0,25
	15	08/06/2010 09/06/2010	196	5,31	52,50	9,75	0,72
	16	18/06/2010 19/06/2010	280	5,27	136,30	27,43	2,28
	17	19/06/2010	435	5,51	29,90	2,17	5,19
	18	19/06/2010 20/06/2010	1580	6,01	23,10	2,02	0,39
	19	20/06/2010	510	5,93	23,80	2,49	0,39
	20	27/06/2010 28/06/2010	98	5,34	95,50	15,66	0,48
	21	28/06/2010 29/06/2010	94	5,28	47,40	5,87	6,28
	22	30/06/2010 01/07/2010	296	5,18	82,20	12,80	1,53
	<b>Total Junio</b>		7739				
	<b>Vol. Total</b>		17857				
			<b>Mínimo</b>	4,91	7,20	0,59	<0,25
			<b>Máximo</b>	6,19	136,3	28,21	6,28
			<b>Media</b>	5,65	37,14	6,24	2,02
			<b>Desv. Est.</b>	0,36	34,51	8,13	2,10

Como se puede observar en la tabla 3.4. el pH de las muestras de agua de lluvia de la Zona Norte, Carapungo se encuentra entre 4.91 y 6.19. se observa que al disminuir el pH del agua de lluvia, aumenta la concentración de sulfatos y nitratos en la muestras recolectadas, y al presentarse pH cercanos al neutro la concentración de sulfatos y nitratos disminuye.

La conductividad de las muestras recolectadas en la Zona Norte se encuentra entre 7,20 y 136,30  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , se puede observar que al aumentar la concentración de sulfatos y nitratos, aumenta la conductividad del agua de lluvia.

En la tabla 3.4. se puede observar que la concentración de sulfatos en el agua de lluvia recolectada en la Zona Norte, sector Carapungo, se encuentra entre 0.59 y 28.21 mg/L; y la concentración de nitratos se encuentra entre <0.25 y 6.28 mg/L, cabe señalar que en las muestras que se tomaron durante el día en el horario de 7am-7pm, la concentración de sulfatos y nitratos aumenta, probablemente se debe a que en esta zona existe circulación de buses, vehículos particulares, taxis, camionetas a gasolina y vehículos pesados a diesel, los cuales contribuyen a la presencia de los gases  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$ , y por ende a la formación de sus ácidos respectivos.

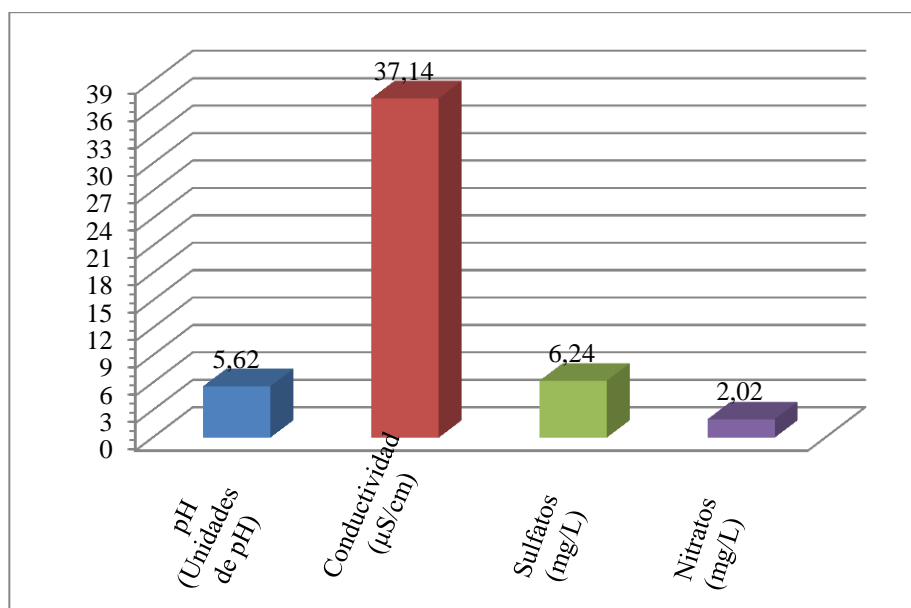
Por el contrario, en las muestras que se tomaron durante la noche en el horario de 7pm-7am la concentración de sulfatos y nitratos es menor con relación a las muestras tomadas en el día, el motivo de estos resultados, se debe a que existe menor circulación vehicular y registro de emisiones atmosféricas bajas como se muestran en el Anexo 6.

Se observa también que en la muestra 14, tomada el 2 de junio, la concentración de sulfatos es alta a pesar que la lluvia es frecuente durante esa fecha, probablemente esta relacionad con la actividad volcánica del Tungurahua presentada en esa fecha, debido a que la ceniza y gases

fueron desplazados por el viento sobre la ciudad de Quito. Por lo tanto se ocasiono un aumento en la concentración de sulfatos del agua de lluvia recolectada, ya que los gases emitidos por el volcán también son una fuente natural de  $\text{SO}_2$ . [42]

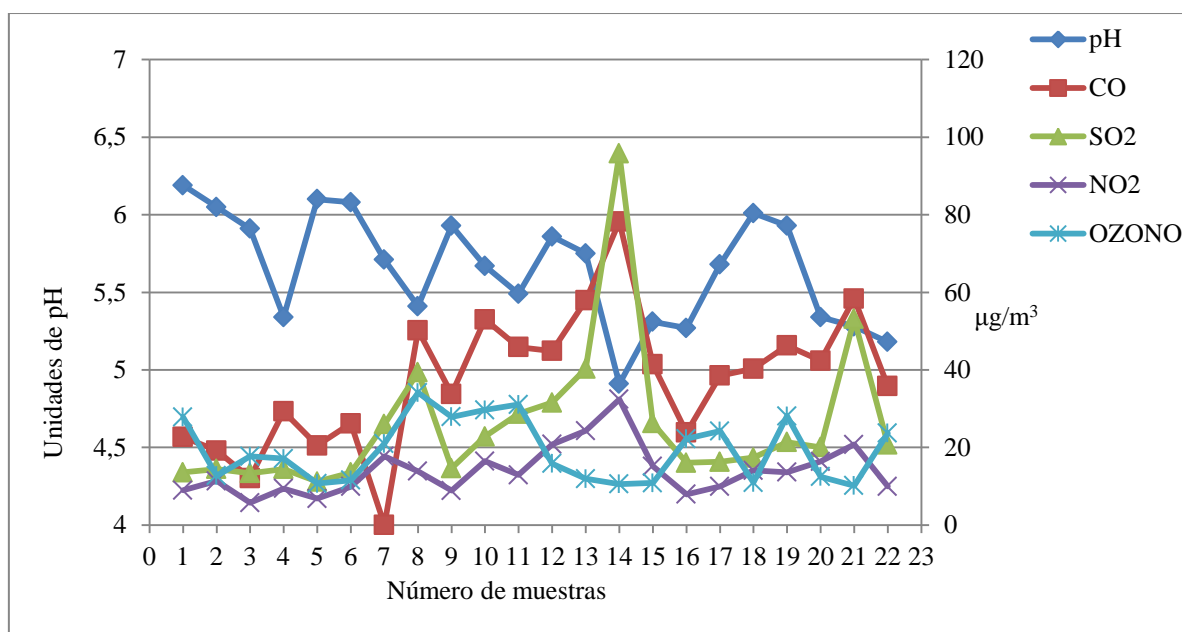
La desviación estándar con respecto a la conductividad de las muestras de agua de lluvia es 34.51, esta desviación es alta a comparación de la desviación estándar con respecto al pH que es 0.36, nitratos 2.10 y sulfatos 8.13. Esto se presenta debido a que los niveles de conductividad del agua de lluvia son altamente variables en cada muestra.

En la figura 3.1 se puede observar que la media de la conductividad de las muestras del agua de lluvia es  $37.14 \mu\text{S}/\text{cm}$ , del pH es 5.62, la concentración de sulfatos  $6.24 \text{mg}/\text{L}$  y la de nitratos es  $2.02 \text{mg}/\text{L}$ . De acuerdo a la tabla 1.1 del apartado 1.2. las medias de los analitos: pH, conductividad, sulfatos y nitratos, presentes en el agua de lluvia, se encuentran dentro de los valores frecuentes de la composición química del agua de lluvia.



**Figura 3.1. Medias de analitos del agua de lluvia de la Zona Norte, Carapungo**

Al relacionar el pH con las emisiones de gases atmosféricos CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> de la “Estación de monitoreo Carapungo”, Anexo 6, en los días de toma de muestras, se observa en la figura 3.2. que mientras aumenta la concentración de los gases, disminuye el pH. Esto se debe a que al existir mayor concentración de los gases SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> en el aire, se forman ácidos sulfúrico y nítrico, ocasionando que aumente la acidez de la lluvia.

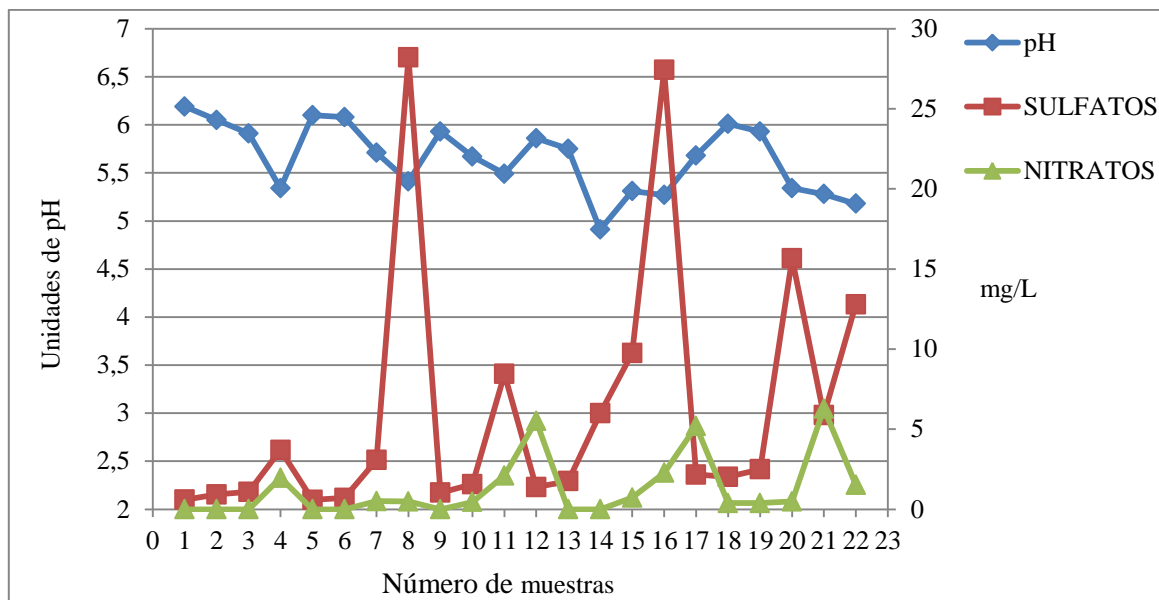


**Figura 3.2. pH del agua de lluvia de la Zona Norte, Carapungo, con relación a los gases atmosféricos CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> de la zona.**

Se observa también que la concentración de ozono disminuye ocasionalmente al aumentar la concentración de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>, debido a que el ozono es un contaminante secundario el cual se produce al descomponerse los contaminantes primarios antes mencionados.

Debido a que en la Zona Norte, Carapungo, existen menores días con lluvia y días más soleados, la concentración de ozono es mayor por la descomposición de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> mediante radiación solar.

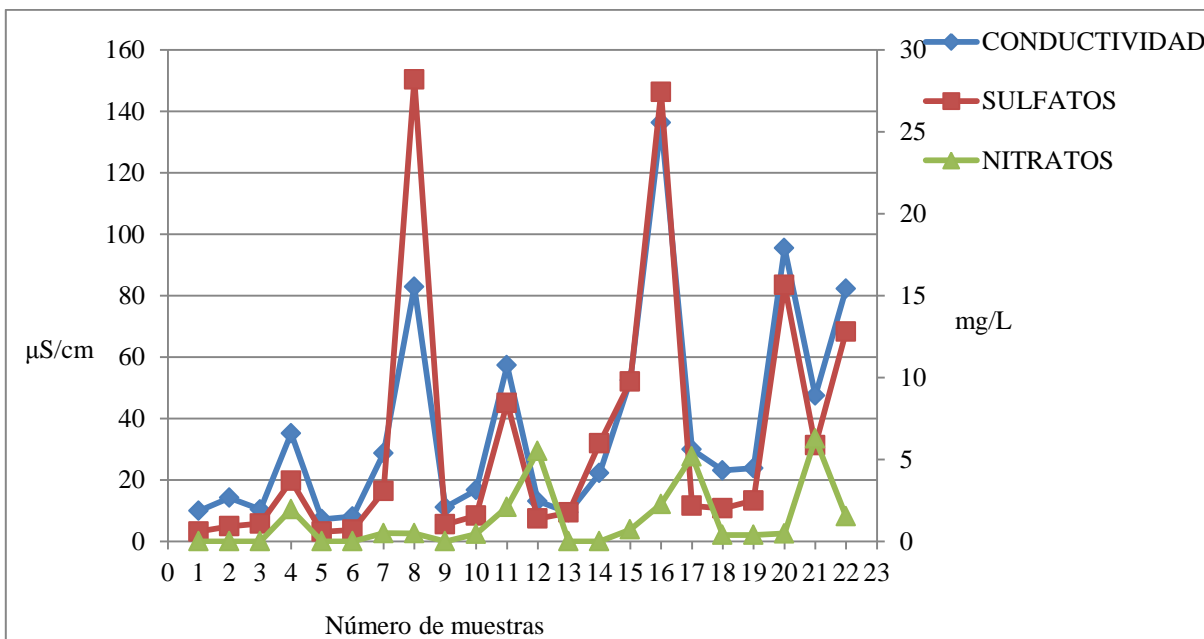
A continuación en la figura 3.3. se realiza una relación del pH de las muestras recolectadas del agua de lluvia con la concentración de sulfatos y nitratos presentes en la Zona Norte, Carapungo.



**Figura 3.3. pH de las muestras de agua de lluvia de la Zona Norte, Carapungo, con relación a la concentración de sulfatos y nitratos presentes.**

En la figura 3.3. se observa que el pH tiene una relación inversamente proporcional a la concentración de sulfatos y nitratos en las muestras de agua de lluvia. Esto se debe a que al presentarse mayores concentraciones de sulfatos y nitratos el pH tiende a disminuir ya que los precursores de estos contaminantes son los ácidos sulfúrico y nítrico, ocasionando que la lluvia adquiera un  $\text{pH} < 5.6$ . De igual manera al encontrar menores concentraciones de sulfatos y nitratos la lluvia adquiere pH cercano a neutro.

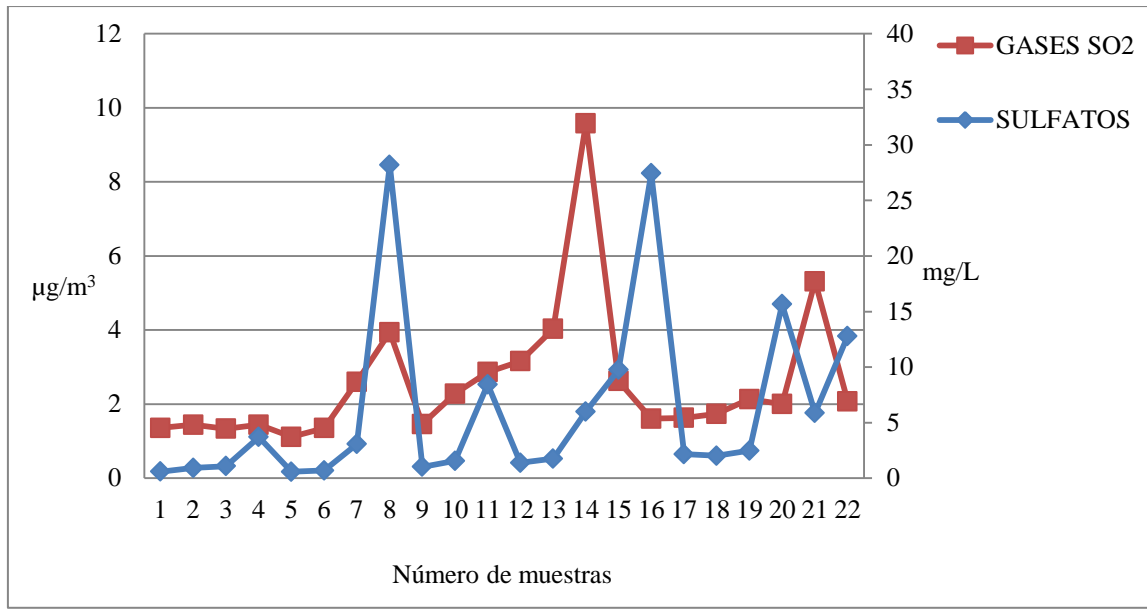
A continuación en la figura 3.4. se presenta la relación de la conductividad del agua de lluvia con la concentración de sulfatos y nitratos presentados en la tabla 3.4. en la Zona Norte, Carapungo.



**Figura 3.4. Conductividad del agua de lluvia, con relación a la concentración de sulfatos y nitratos de las muestras de agua de lluvia de la Zona Norte, Carapungo.**

La conductividad relaciona la cantidad de iones disueltos en el agua, la figura 3.4. muestra que la concentración de sulfatos y nitratos es directamente proporcional a la conductividad del agua de lluvia recolectada en la Zona Norte, Carapungo, puesto a que al aumentar la concentración de aniones aumenta la conductividad y viceversa.

A continuación la figura 3.5. muestra la relación de las emisiones atmosféricas de  $SO_2$  de la estación de monitoreo Carapungo, Anexo 6, y las concentraciones de sulfatos encontradas en las muestras.

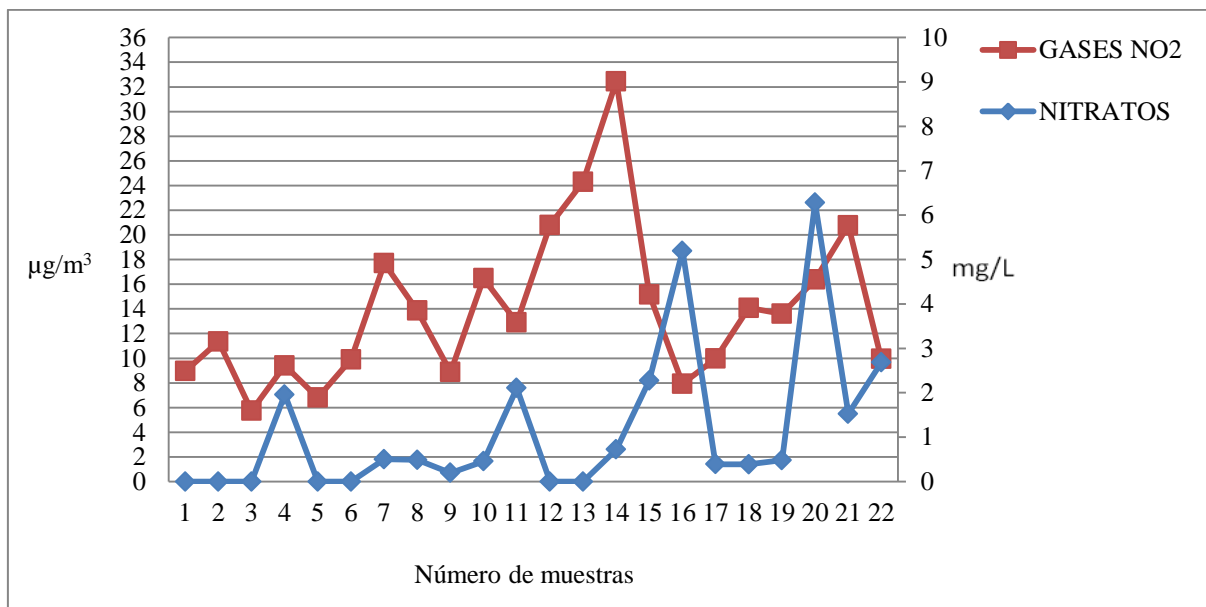


**Figura 3.5. Concentración de Sulfatos de las muestras de agua de lluvia de la Zona Norte, Carapungo, con relación a los gases SO<sub>2</sub> de la zona.**

En la figura 3.5. se puede observar que las concentraciones de sulfatos analizadas en el agua de lluvia mantienen una relación desplazada con respecto a la concentración de SO<sub>2</sub> en la atmósfera, esto debido a factores externos que puedan afectar a la manifestación del gas SO<sub>2</sub> en forma de sulfatos en las muestras de agua; los factores que podemos encontrar son: la frecuencia de las precipitaciones, la distribución de los gases en la atmósfera, la dirección y magnitud de viento, entre otros. [23]

Además podemos observar que las muestras 8 y 16 tienen concentraciones superiores a 25 mg/L, mientras que las demás se encuentran en un rango de 1 a 20 mg/L; este incremento probablemente puede darse por la acumulación del SO<sub>2</sub> en la atmósfera dada la circunstancia de una falta de precipitaciones en los días anteriores al de la toma de muestra, por tanto, al presentarse una menor frecuencia de precipitaciones, el SO<sub>2</sub> va a manifestarse en forma de concentraciones más altas de sulfatos en el agua de lluvia posterior.

A continuación, la figura 3.6. se realizó con los datos de emisiones atmosféricas de  $\text{NO}_2$  de la estación de monitoreo Carapungo, Anexo 5, y las concentraciones de nitratos presentadas en la tabla 3.4.



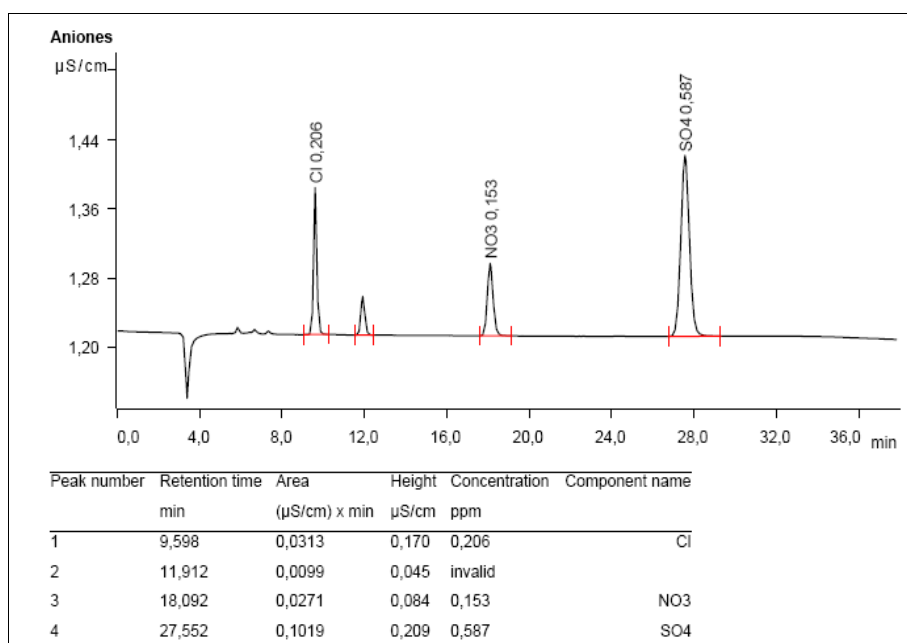
**Figura 3.6. Concentración de Nitratos de las muestras de agua de lluvia de la Zona Norte, Carapungo, con relación a los gases  $\text{NO}_2$  de la zona.**

En la figura 3.6. se puede observar que al igual que en el caso de los sulfatos, las concentraciones de nitratos analizadas en el agua de lluvia tienen una relación proporcional con respecto a la concentración de  $\text{NO}_2$  en la atmósfera; los incrementos o la disminución en la concentración de nitratos no es simultánea al cambio que se da en la concentración de la atmósfera, sino que se observa que los incrementos o disminuciones de los nitratos aparecen luego de los cambios de la concentración del  $\text{NO}_2$ .

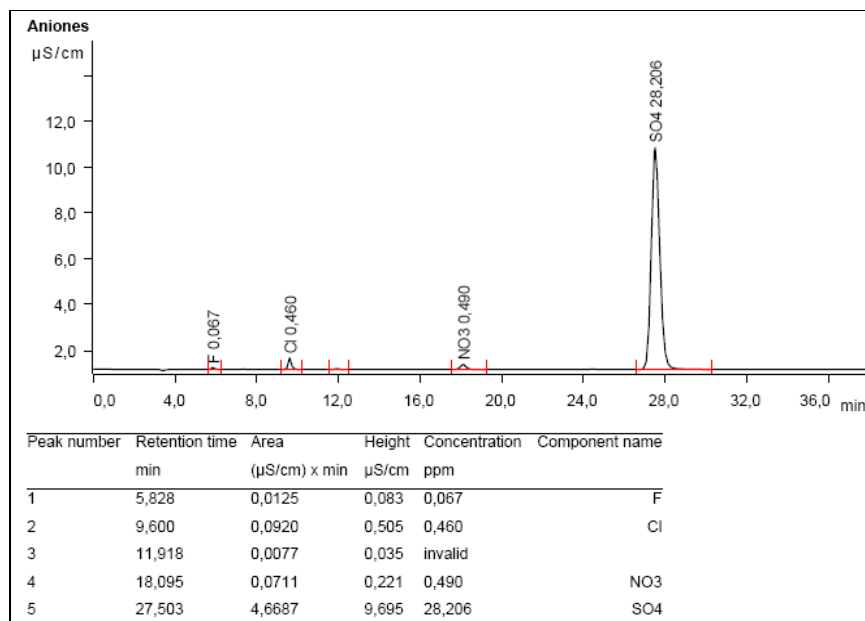
Además, podemos observar que las muestras 16 y 20 tienen concentraciones superiores a 3 mg/L, mientras que las demás se encuentran en un rango de <0,25 a 3 mg/L; este incremento

probablemente puede darse por la acumulación del  $\text{NO}_2$  en la atmósfera por la falta de precipitaciones en los días anteriores al de la toma de muestra, por tanto, al presentarse una menor frecuencia de precipitaciones, el  $\text{NO}_2$  va a manifestarse en forma de concentraciones más altas de nitratos en el agua de lluvia posterior.

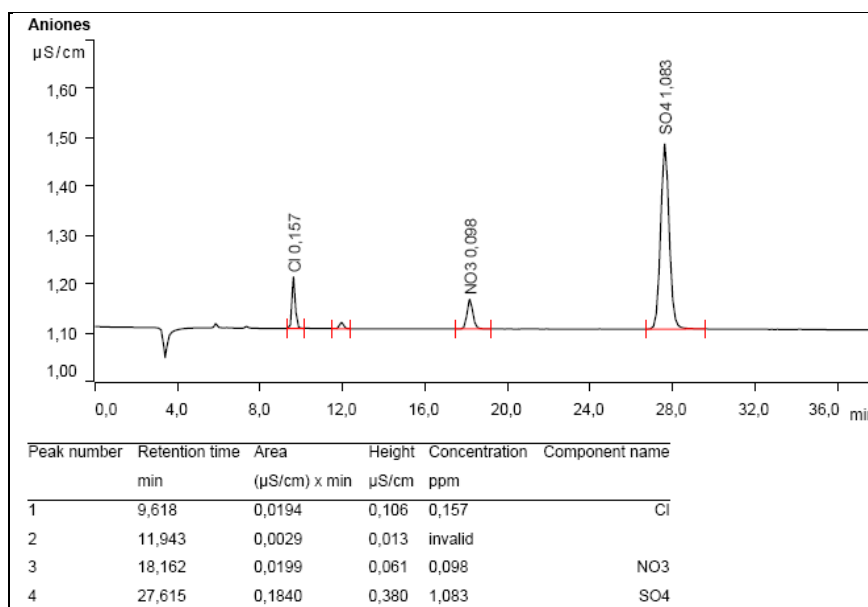
A continuación en las figuras 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10. se presentan los cromatogramas de las muestras de agua de lluvia tomadas en la Zona Norte, Carapungo, de la concentraciones mínimas y máximas de sulfatos y nitratos presentadas durante mayo y junio.



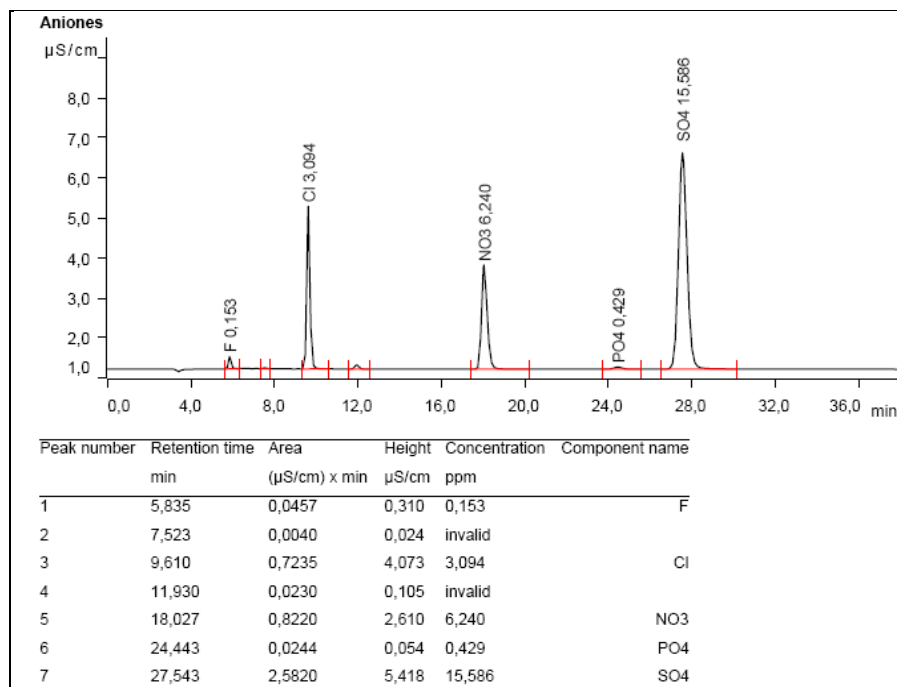
**Figura 3.7. Concentración mínima de sulfatos, encontrada en la muestra 5 del agua de lluvia, recolectada en la Zona Norte, Carapungo.**



**Figura 3.8. Concentración máxima de sulfatos, encontrada en la muestra 8 del agua de lluvia, recolectada en la Zona Norte, Carapungo.**



**Figura 3.9. Concentración mínima de nitratos, menor a  $<0.25\text{mg/L}$ , encontrada en la muestra 3 del agua de lluvia, recolectada en la Zona Norte, Carapungo.**



**Figura 3.10. Concentración máxima de nitratos, encontrada en la muestra 20 del agua de lluvia, recolectada en la Zona Norte, Carapungo.**

### 3.2.2. ZONA CENTRO, CENTRO HISTÓRICO

Una vez realizada la toma de muestras de agua de lluvia de la Zona Centro, Centro Histórico, se realizó los análisis de cada muestra y se obtuvieron los resultados que se presentan en la tabla 3.5. Esta tabla contiene: el mes de toma (mayo y junio), el número de muestra recolectado por zona, la fecha de recolección (se presenta dos fechas para una misma muestra porque se tomaron en el horario de 7am a 7pm y de 7pm a 7am), el volumen total recolectado por día, los niveles de pH (unidades de pH), conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), sulfatos y nitratos ( $\text{mg}/\text{L}$ ).

También se incluye: la media, la desviación estándar, la mínima y la máxima concentración de pH, conductividad, sulfatos y nitratos para conocer los niveles en el que se encuentran estos analitos en el agua de lluvia recolectada en la Zona Centro, Centro Histórico.

**Tabla 3.5. Zona Centro, Centro Histórico: Determinación de pH, Conductividad, Sulfatos y Nitratos**

Mes	No. Muestra	Fecha de recolección DÍA/NOCHE	Volumen total (mL)	pH (Unidad de pH)	Conductividad (µS/cm)	Resultados de Sulfatos (mg/L)	Resultados de Nitratos (mg/L)
M A Y O	1	01/05/2010	1025	5,98	6,00	<0,5	<0,25
	2	01/05/2010 02/05/2010	946	5,79	20,40	2,27	<0,25
	3	02/05/2010	1905	6,12	9,80	0,51	0,27
	4	02/05/2010 03/05/2010	940	6,16	4,40	<0,5	<0,25
	5	03/05/2010	570	5,7	17,50	1,74	0,43
	6	03/05/2010 04/05/2010	1010	6,18	8,30	<0,5	<0,25
	7	04/05/2010	990	5,67	12,60	0,59	0,37
	8	04/05/2010 05/05/2010	1225	5,8	6,60	0,72	0,39
	9	05/05/2010	246	5,81	19,50	1,45	0,38
	10	18/05/2010	726	5,12	30,40	3,09	0,62
	11	20/05/2010 21/05/2010	1230	6,18	9,40	0,82	0,42
	12	31/05/2010	1050	5,26	20,80	2,40	1,84
	<b>Total Mayo</b>		<b>11863</b>				
J U N I O	13	31/05/2010 01/06/2010	980	5,67	11,00	1,04	<0,25
	14	01/06/2010 02/06/2010	1545	6	14,80	1,12	0,27
	15	02/06/2010	505	4,88	27,50	4,83	0,68
	16	07/06/2010 08/06/2010	1130	5,22	17,90	2,14	0,98
	17	14/06/2010	210	5,02	59,80	7,85	4,31
	18	17/06/2010 18/06/2010	600	5,79	30,30	2,46	1,05
	19	18/06/2010 19/06/2010	510	5,62	24,90	1,93	0,92
	20	19/06/2010	740	5,37	19,10	2,46	1,20
	21	19/06/2010 20/06/2010	770	5,48	33,90	3,58	1,49
	22	27/06/2010 28/06/2010	197	6,07	20,70	2,06	0,91
	23	28/06/2010 29/06/2010	145	5,86	10,30	2,14	0,77
	24	30/06/2010 01/07/2010	975	5,00	17,70	2,42	1,34
	<b>Total Junio</b>		<b>8307</b>				
	<b>Vol. Total</b>		<b>20170</b>				
			<b>Mínimo</b>	4,88	4,40	<0,5	<0,25
			<b>Máximo</b>	6,18	59,8	7,85	4,31
			<b>Media</b>	5,64	18,90	2,27	0,98
			<b>Desv. Est.</b>	0,40	11,96	1,65	0,92

Como se puede observar en la tabla 3.5. el pH de las muestras de agua de lluvia de la Zona Centro, Centro Histórico, se encuentran entre 4.88 y 6.18 y la conductividad se encuentran entre 4.40 y 59.80  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , Al igual que en la Zona Norte, se observa que al disminuir el pH, aumenta la concentración de sulfatos y nitratos en la muestras de agua de lluvia recolectadas, y al presentarse pH cercanos al neutro la concentración de sulfatos y nitratos disminuye. Mientras tanto al aumentar la concentración de sulfatos y nitratos, aumenta la conductividad del agua de lluvia.

En la tabla 3.5. se puede observar que la concentración de sulfatos de la Zona Centro, sector Centro histórico, se encuentra entre  $<0.50$  y  $7,85$  mg/L; y la concentración de nitratos se encuentra entre  $<0.25$  y  $4,31$  mg/L. Las muestras que se tomaron durante el día en el horario de 7am-7pm, la concentración de sulfatos y nitratos es mayor a comparación de las muestras tomadas en la noche (7pm a 7am), probablemente se debe a que en el día existe mayor circulación de vehículos livianos a gasolina y vehículos pesados a diesel, los cuales contribuyen a la presencia de los gases  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$ , y por ende a la formación de sus ácidos respectivos; en la noche la circulación disminuye y por ende las emisiones de los gases.

En las muestras tomadas el mes de junio, se observa un leve aumento de la concentración de sulfatos y nitratos, probablemente se debe a que en junio existió menor precipitación a comparación del mes de mayo, lo cual ocasiona que se acumule  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$  en la atmósfera y se manifieste en forma de concentraciones más altas de sulfatos en el agua.

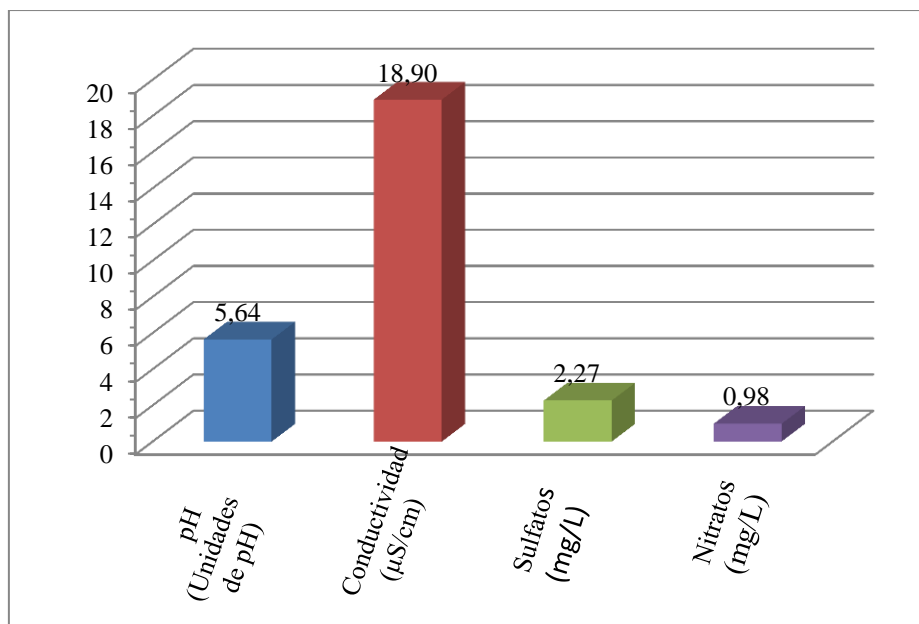
Además, podemos observar que la concentración de sulfatos y nitratos en el agua de lluvia incrementa, probablemente puede darse por la acumulación de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$  en la atmósfera por

la falta de precipitaciones en los días anteriores al de la toma de muestra, y se manifiesta en forma de concentraciones más altas de sulfatos y nitratos en el agua de lluvia.

Es importante mencionar que en la muestra 15, tomada el 2 de junio del año 2010, la concentración de sulfatos es alta, a pesar que los días de lluvia son frecuentes durante esa fecha, esto probablemente se dio, porque se presentó actividad volcánica del Tungurahua y la ceniza y gases fueron desplazados por el viento sobre la ciudad de Quito, ocasionando un aumento en la concentración de sulfatos ya que los gases emitidos por el volcán también consta de  $\text{SO}_2$  de fuente natural.

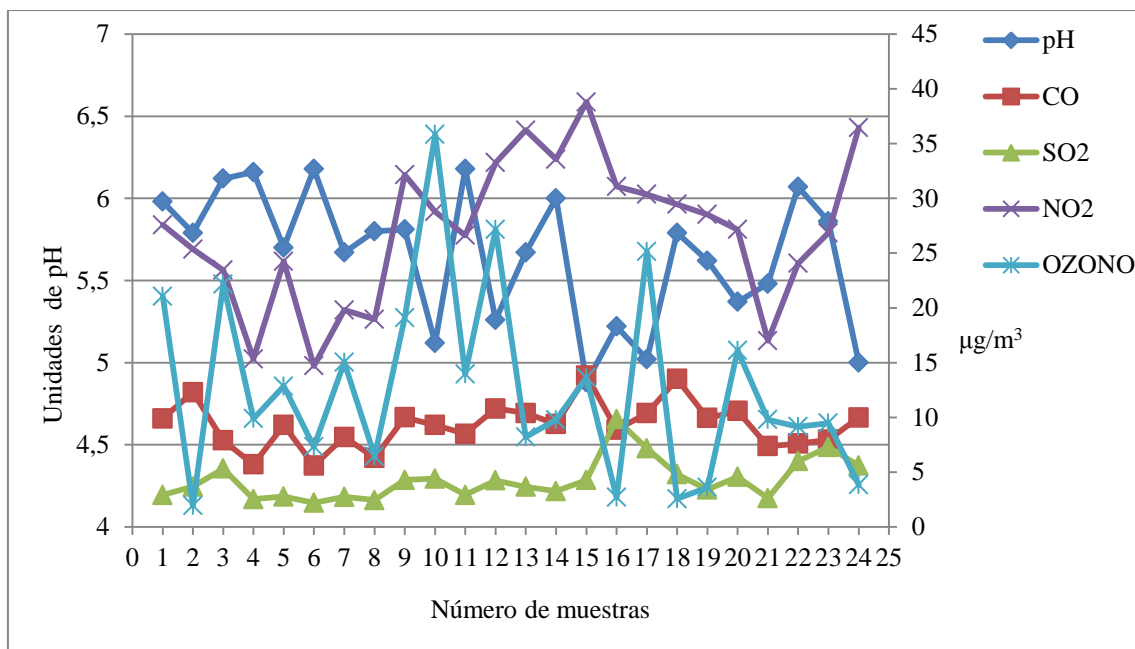
La desviación estándar con respecto a la conductividad de las muestras de agua de lluvia de la Zona Centro, Centro Histórico es 11.96, esta desviación es alta a comparación de la desviación estándar con respecto al pH que es 0.40, nitratos 0.92 y sulfatos 1.65. Esto se presenta debido a que los niveles de conductividad del agua de lluvia son altamente variables en cada muestra comparación de los otros analitos.

En la figura 3.11.se puede observar que la media de la conductividad de las muestras del agua de lluvia es 18.90  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , del pH es 5.64, la concentración de sulfatos 2.27 mg/L y la de nitratos es 0.98 mg/L. De acuerdo a la tabla 1.1 del apartado 1.2. las medias de los analitos: pH, conductividad, sulfatos y nitratos, presentes en el agua de lluvia, se encuentran dentro de los valores frecuentes de la composición química del agua de lluvia.



**Figura 3.11. Medias de analitos del agua de lluvia de la Zona Centro, Centro Histórico**

Al relacionar el pH de las muestras con las emisiones de gases atmosféricos CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> de la “Estación de monitoreo El Centro”, Anexo 7, en los días de toma de muestras, se observa en la figura 3.12. que aumenta la concentración de los gases, mientras disminuye el pH. Esto se debe a que al existir mayor concentración de los gases SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, en el aire se forma ácidos sulfúrico y nítrico, ocasionando que aumente la acidez de la lluvia.



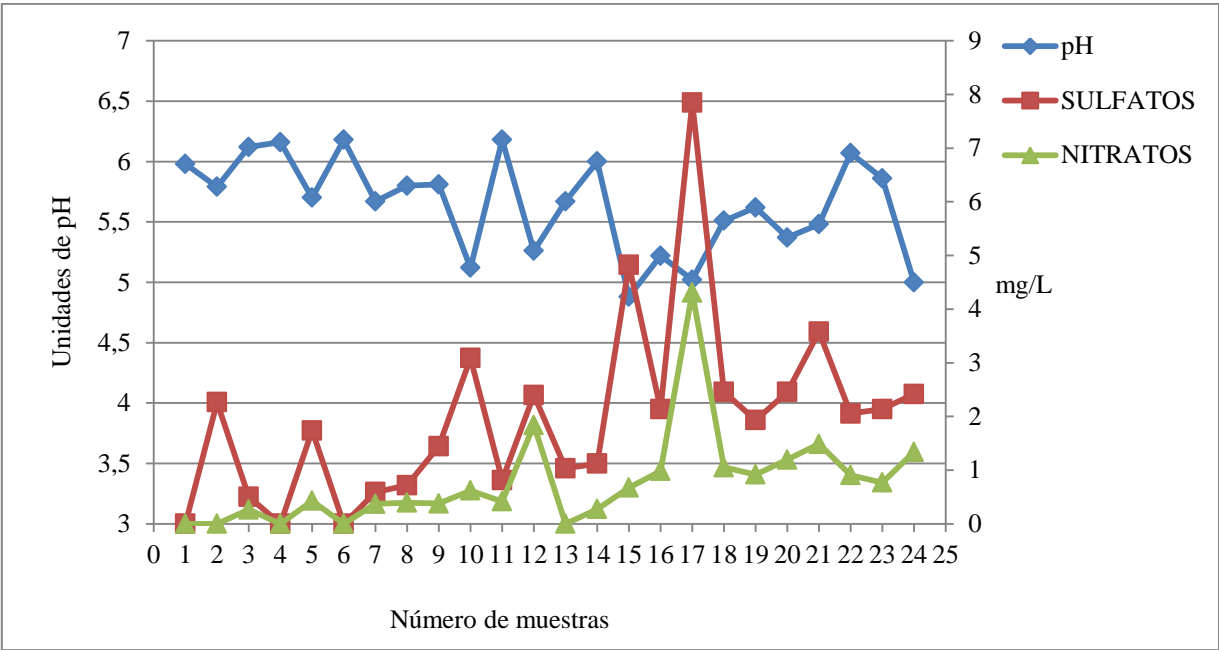
**Figura 3.12. pH del agua de lluvia de la Zona Centro, Centro Histórico, con relación a los gases atmosféricos CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> de la zona.**

Al igual que en la Zona Norte, se observa que la concentración de ozono es inversamente proporcional a la concentración de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>, debido a que el ozono es un contaminante secundario el cual se produce al descomponerse los contaminantes primarios antes mencionados.

Tanto en la Zona Norte y Centro, existen menores días con lluvia y días más soleados, la concentración de ozono es mayor por la descomposición de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> mediante la radiación solar.

En el Anexo 7, se observar que la concentración de ozono aumenta en el día, puestos que el ozono se forma por la descomposición de los gases SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> por la radiación solar, en el día hay mayor energía solar.

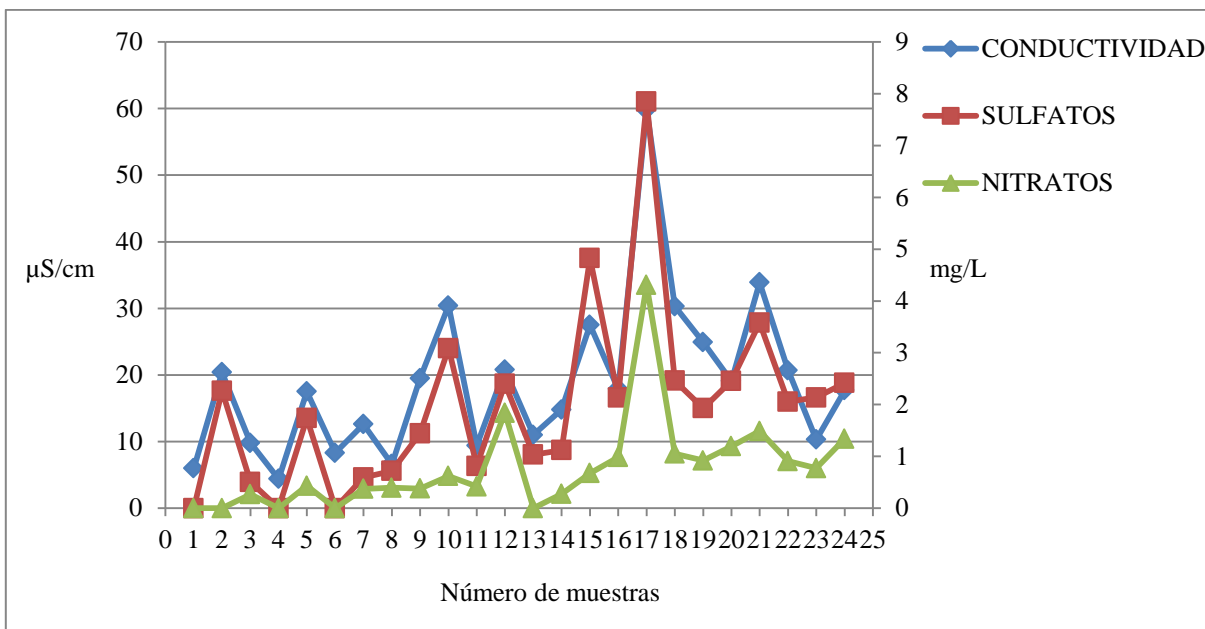
A continuación en la figura 3.13. se realiza una relación del pH de las muestras recolectadas del agua de lluvia con la concentración de sulfatos y nitratos presentes en la Zona Centro, Centro Histórico.



**Figura 3.13. pH de las muestras de agua de lluvia de la Zona Centro, Centro Histórico, con relación a la concentración de sulfatos y nitratos presentes.**

En la figura 3.13. se observa que el pH tiene una relación inversamente proporcional a la concentración de sulfatos y nitratos en las muestras de agua de lluvia. Esto se debe a que al presentarse mayores concentraciones de sulfatos y nitratos el pH tiende a disminuir ya que los precursores de estos contaminantes son los ácidos sulfúrico y nítrico, ocasionando que la lluvia adquiera un  $pH < 5.6$ . De igual manera al encontrar menores concentraciones de sulfatos y nitratos la lluvia adquiere pH cercano a neutro.

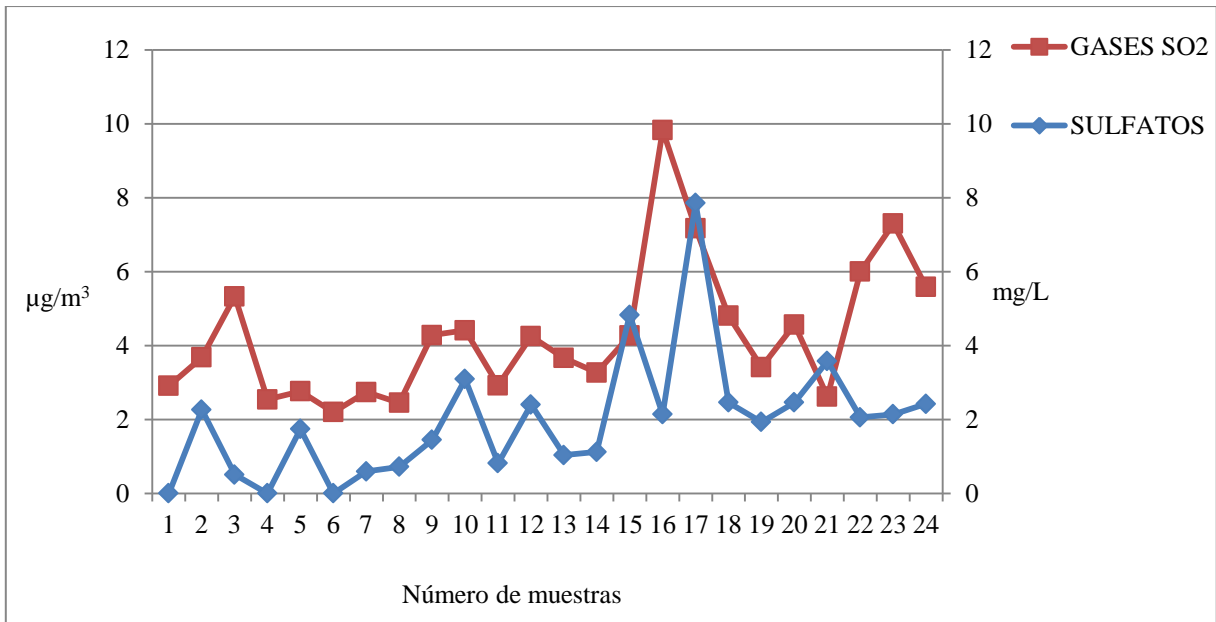
A continuación en la figura 3.14. se presenta la relación de la conductividad del agua de lluvia con la concentración de sulfatos y nitratos presentados en la tabla 3.5. en la Zona Centro, Centro Histórico.



**Figura 3.14. Conductividad del agua de lluvia, con relación a la concentración de sulfatos y nitratos de las muestras de agua de lluvia de la Zona Centro, Centro Histórico.**

La conductividad relaciona la cantidad de iones disueltos en el agua, en la figura 3.14. se observa que la concentración de sulfatos y nitratos es directamente proporcional a la conductividad del agua de lluvia recolectada en la Zona Norte, Centro Histórico, puesto a que al aumentar la concentración de aniones aumenta la conductividad y viceversa.

A continuación la figura 3.15. muestra la relación de los datos de emisiones atmosféricas de SO<sub>2</sub> de la estación de monitoreo El Centro, Anexo 7, y las concentraciones de sulfatos encontradas en las muestras.



**Figura 3.15. Concentración de Sulfatos de las muestras de agua de lluvia de la Zona Centro, Centro Histórico, con relación a los gases SO<sub>2</sub> de la zona.**

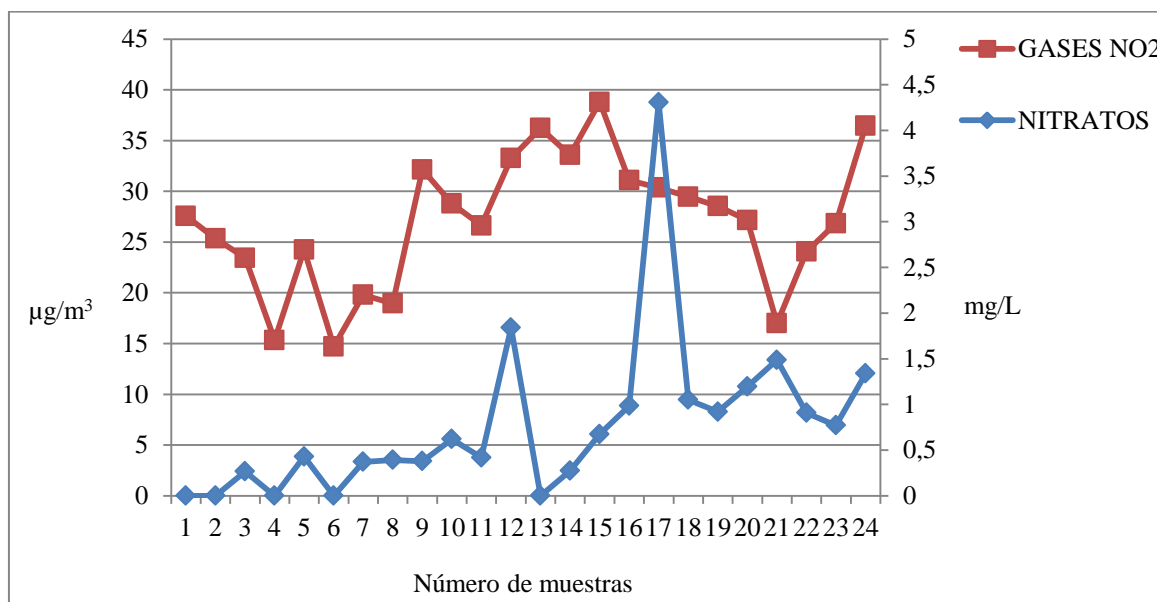
En la figura 3.15. se puede observar que las concentraciones de sulfatos analizadas en el agua de lluvia mantienen una relación desplazada con respecto a la concentración de SO<sub>2</sub> en la atmósfera, esto debido a factores externos como: la frecuencia de las precipitaciones, la distribución de los gases en la atmósfera, la dirección y magnitud del viento, los cuales pueden afectar a la manifestación del gas SO<sub>2</sub> en forma de sulfatos en las muestras de agua de lluvia recolectadas.

Además podemos observar que las muestras 10, 12 y 17 tienen concentraciones superiores a 2.00 mg/L, mientras que las demás se encuentran en un rango de <0,50 a 2 mg/L; este incremento probablemente puede darse por la acumulación del SO<sub>2</sub> en la atmósfera dada las circunstancias de una falta de precipitaciones en los días anteriores al de la toma de muestra,

por tanto, al presentarse una menor frecuencia de precipitaciones, el  $\text{SO}_2$  va a manifestarse en forma de concentraciones más altas de sulfatos en el agua de la lluvia posterior.

Es importante mencionar que en la muestra 15, tomada el 2 de junio del año 2010, la concentración de sulfatos es alta a pesar que los días de lluvia son frecuentes durante esa fecha, esto probablemente se dio, porque se presentó actividad volcánica del Tungurahua y la ceniza y gases fueron desplazados por el viento sobre la ciudad de Quito, ocasionando un aumento en la concentración de sulfatos ya que los gases emitidos por el volcán también consta de  $\text{SO}_2$  de fuente natural.

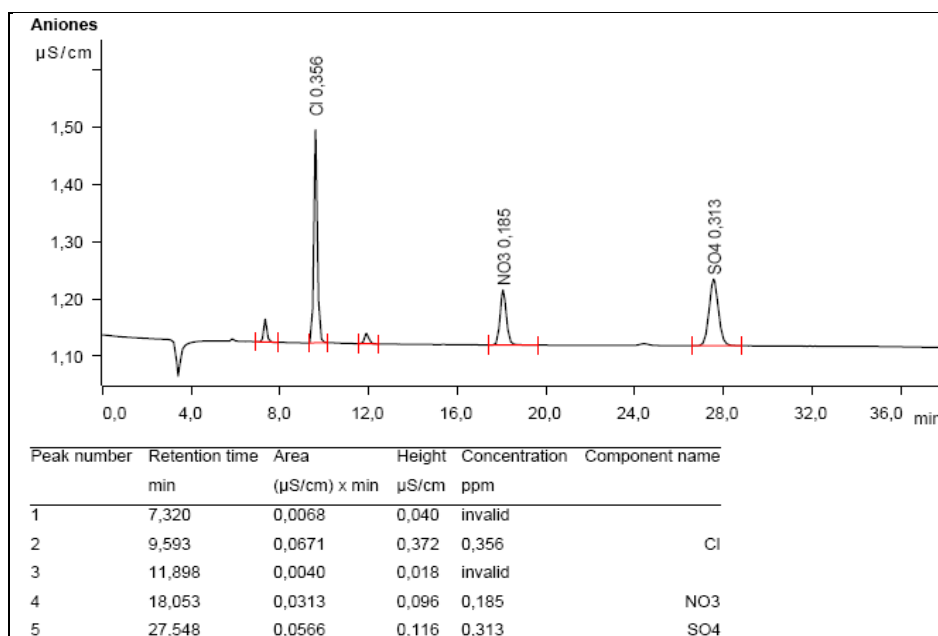
A continuación, la figura 3.16. se realizó con los datos de emisiones atmosféricas de  $\text{NO}_2$  de la estación de monitoreo El Centro, Anexo 7, y las concentraciones de nitratos presentadas en la tabla 3.5.



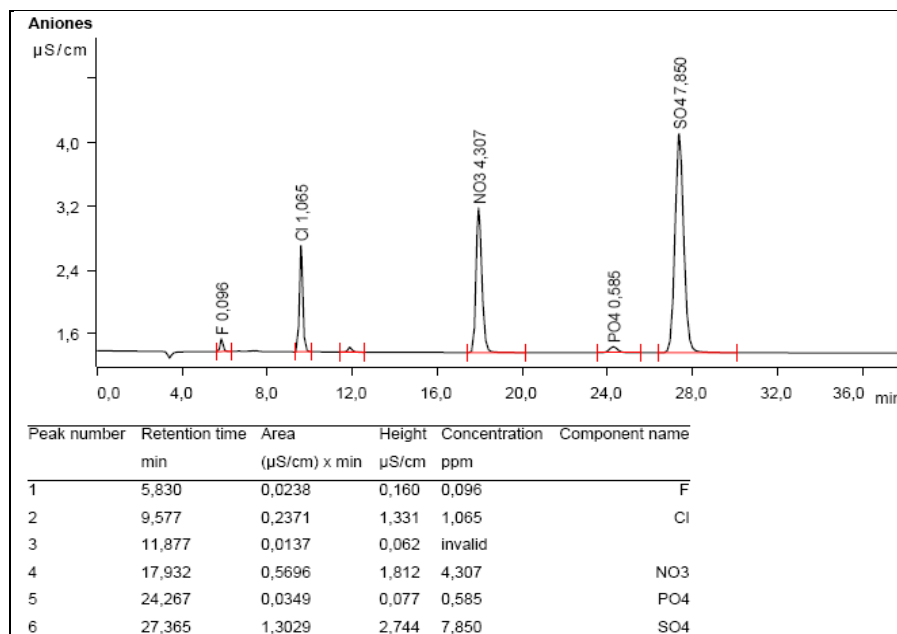
**Figura 3.16. Concentración de Nitratos de las muestras de agua de lluvia de la Zona Centro, Centro Histórico, con relación a los gases  $\text{NO}_2$  de la zona.**

En la figura 3.16 se observa que al igual que en el caso de los sulfatos, las concentraciones de nitratos analizadas en el agua de lluvia tienen una relación proporcional con respecto a la concentración de  $\text{NO}_2$  en la atmósfera; el aumento o la disminución en la concentración de nitratos en el agua de lluvia no es simultánea al cambio que se da en la concentración de  $\text{NO}_2$  en la atmósfera, estos aparecen luego, probablemente se dio por la dirección y magnitud del viento, a la frecuencia de precipitaciones y distribución de este gas en la atmosfera.

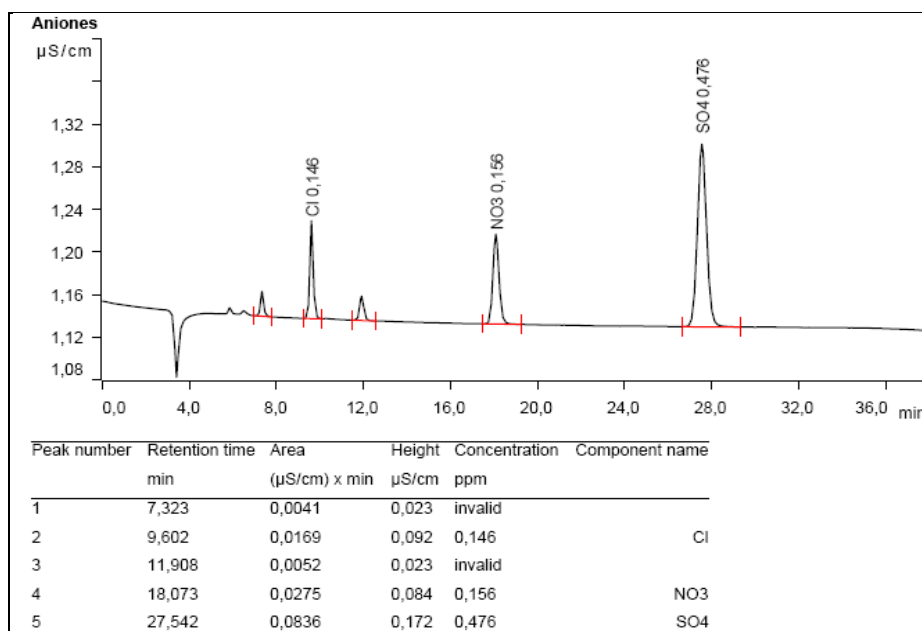
A continuación en las figuras 3.17, 3.18 y 3.19 se presentan los cromatogramas de las muestras de agua de lluvia tomadas en la Zona Centro, Centro Histórico, de las concentraciones mínimas y máximas de sulfatos y nitratos presentadas durante mayo y junio.



**Figura 3.17. Concentración mínima de sulfatos, <0,5 mg/L, encontrada en la muestra 1 del agua de lluvia, recolectada en la Zona Centro, Centro Histórico.**



**Figura 3.18. Concentración máxima de sulfatos y nitratos, encontrada en la muestra 17 del agua de lluvia, recolectada en la Zona Centro, Centro Histórico.**



**Figura 3.19. Concentración mínima de nitratos, <0,25 mg/L, encontrada en la muestra 4 del agua de lluvia, recolectada en la Zona Centro, Centro Histórico.**

### 3.2.3. ZONA SUR, EL CAMAL

Una vez realizada la toma de muestras de agua de lluvia de la Zona Sur, El Camal, se realizó los análisis de cada muestra y se obtuvieron los resultados que se presentan en la tabla 3.5. Esta tabla contiene: el mes de toma (mayo y junio), el número de muestra recolectado por zona, la fecha de recolección (se presenta dos fechas para una misma muestra porque se tomaron en el horario de 7am a 7pm y de 7pm a 7am), el volumen total recolectado por día, los niveles de pH (unidades de pH), conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), sulfatos y nitratos ( $\text{mg}/\text{L}$ ).

También se incluye: la media, la desviación estándar, la mínima y la máxima concentración de pH, conductividad, sulfatos y nitratos para conocer los niveles en el que se encuentran estos analitos en el agua de lluvia recolectada en la Zona Sur, El Camal.

**Tabla 3.6. Zona Sur, El Camal: Determinación de pH, Conductividad, Sulfatos y Nitratos**

MES	No. Muestra	Fecha de recolección DÍA/NOCHE	Volumen total (mL)	pH (Unidad de pH)	Conductividad ( $\mu$ S/cm)	Resultados de Sulfatos (mg/L)	Resultados de Nitratos (mg/L)
	1	01/05/2010	1745	6,07	6,90	0,65	<0,25
	2	01/05/2010 02/05/2010	2490	6,1	4,50	0,63	<0,25
	3	02/05/2010	1714	6,06	9,00	0,99	0,34
	4	02/05/2010 03/05/2010	995	6,01	6,40	0,54	<0,25
	5	03/05/2010	2280	5,67	5,50	0,74	0,26
M	6	03/05/2010 04/05/2010	178	6,13	12,00	1,31	<0,25
A	7	04/05/2010	350	5,70	15,8,	1,70	1,40
Y	8	04/05/2010 05/05/2010	1764	5,79	6,40	1,12	<0,25
O	9	05/05/2010	250	5,87	10,10	1,18	0,49
	10	10/05/2010	918	5,67	13,70	1,36	0,32
	11	10/05/2010 11/05/2010	150	5,45	36,40	4,25	0,46
	12	17/05/2010 18/05/2010	235	5,25	63,40	8,84	0,68
	13	19/05/2010	4989	5,96	13,70	0,89	<0,25
	14	20/05/2010 21/05/2010	1030	6,18	9,40	0,74	<0,25
	15	21/05/2010	210	5,6	15,90	1,50	0,52
	16	23/05/2010	118	5,35	38,20	4,07	3,50
	17	27/05/2010 28/05/2010	1080	5,71	27,80	2,84	2,29
	<b>Total M</b>		<b>20496</b>				
	18	31/05/2010 01/06/2010	2580	5,92	10,20	1,03	<0,25
	19	01/06/2010 02/06/2010	1835	5,72	12,80	2,22	0,57
J	20	02/06/2010	610	5,18	13,50	2,00	<0,25
U	21	06/06/2010 07/06/2010	285	5,2	49,40	7,54	0,49
N	22	07/06/2010 08/06/2010	1140	5,91	16,30	1,30	0,66
I	23	14/06/2010	155	5,31	85,70	9,16	3,61
O	24	15/06/2010 16/06/2010	315	5,28	67,80	7,82	4,81
	25	17/06/2010	744	5,98	15,00	1,63	0,63
	26	18/06/2010	2010	5,96	11,40	0,97	0,55
	27	18/06/2010 19/06/2010	1180	5,69	17,10	1,35	<0,25
	28	19/06/2010	810	5,79	18,90	1,29	0,57
	29	28/06/2010	158	5,21	88,20	10,47	2,04
	30	30/06/2010 01/07/2010	1985	5,98	23,90	1,54	0,45
	<b>Total J</b>		<b>13807</b>				
	<b>Vol.T</b>		<b>34303</b>				
			<b>Mínimo</b>	5,18	4,50	0,54	<0,25
			<b>Máximo</b>	6,18	88,20	10,47	4,81
			<b>Media</b>	5,70	24,18	2,72	1,23
			<b>Desv. Est.</b>	0,32	23,46	2,91	1,32

En la Zona Sur, los valores de pH se encuentran entre 5,18 y 6,18, mientras que los valores de conductividad están entre 4,50 y 88,20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Al igual que en la Zona Norte y Centro, se observa que al disminuir el pH, aumenta la concentración de sulfatos y nitratos en la muestras de agua de lluvia recolectadas, y al presentarse pH cercanos al neutro la concentración de sulfatos y nitratos disminuye.

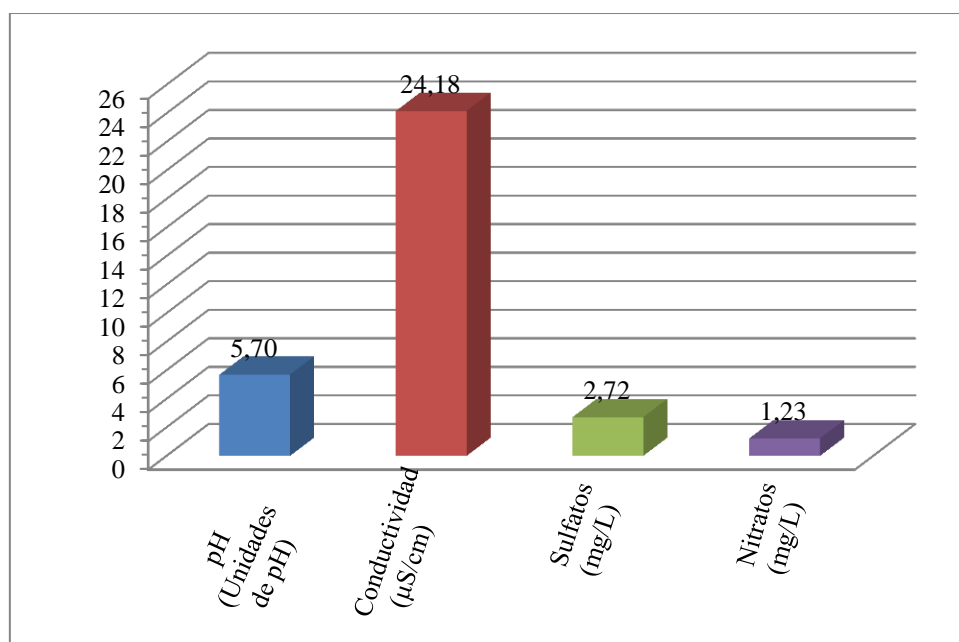
Al contrario del pH, al aumentar la concentración de sulfatos y nitratos, aumenta la conductividad del agua de lluvia, es directamente proporcional, ya que la conductividad mide la cantidad de iones disueltos en el agua.

En la tabla 3.6. se puede observar que la concentración de sulfatos de la Zona Sur, sector El Camal, se encuentra entre 0,54 y 10,47 mg/L; y la concentración de nitratos se encuentra entre <0,25 y 4,81 mg/L.

Además podemos observar que las muestras tomadas luego de unos días, por falta de precipitaciones, tienen concentraciones altas, este incremento probablemente puede darse por la acumulación del  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$  en la atmósfera dada las circunstancias de una falta de precipitaciones en los días anteriores al de la toma de muestra, por tanto, al presentarse una menor frecuencia de precipitaciones, el  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$  va a manifestarse en forma de concentraciones más altas de sulfatos y nitratos en el agua de lluvia.

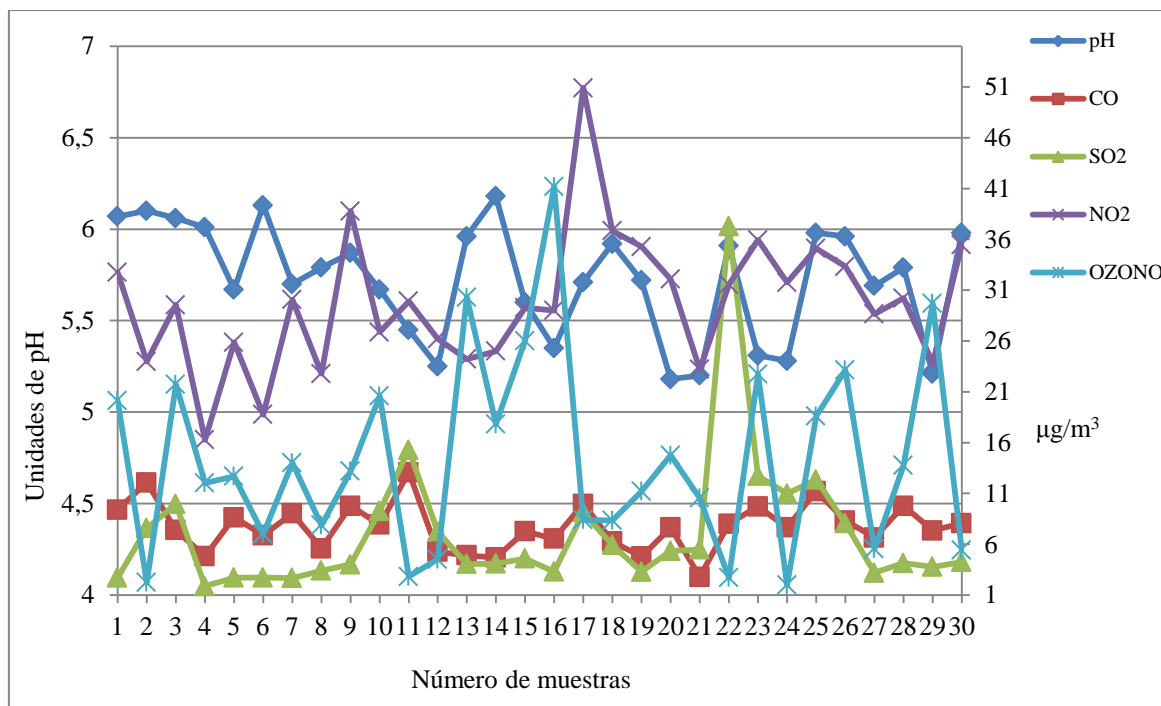
La desviación estándar con respecto a la conductividad de las muestras de agua de lluvia de la Zona Sur, El Camal es 23.46, esta desviación es alta a comparación de la desviación estándar con respecto al pH que es 0.32, nitratos 1.32 y sulfatos 2.91. Esto se presenta debido a que los niveles de conductividad del agua de lluvia son altamente variables en cada muestra comparación de los otros analitos.

En la figura 3.20. se puede observar que la media de la conductividad de las muestras del agua de lluvia es 24.18  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , del pH es 5.70, la concentración de sulfatos 2.72 mg/L y la de nitratos es 1.23 mg/L. De acuerdo a la tabla 1.1 del apartado 1.2. las medias de los analitos: pH, conductividad, sulfatos y nitratos, presentes en el agua de lluvia, se encuentran dentro de los valores frecuentes de la composición química del agua de lluvia.



**Figura 3.20. Medias de analitos del agua de lluvia de la Zona Sur, El Camal**

Al relacionar el pH de las muestras con las emisiones de gases atmosféricos CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> de la “Estación de monitoreo El Camal”, Anexo 8, en los días de toma de muestras, se observa en la figura 3.21. que mientras aumenta la concentración de los gases, disminuye el pH. Esto se debe a que al existir mayor concentración de los gases SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> en el aire, se forma los ácidos sulfúrico y nítrico, ocasionando que aumente la acidez de la lluvia.

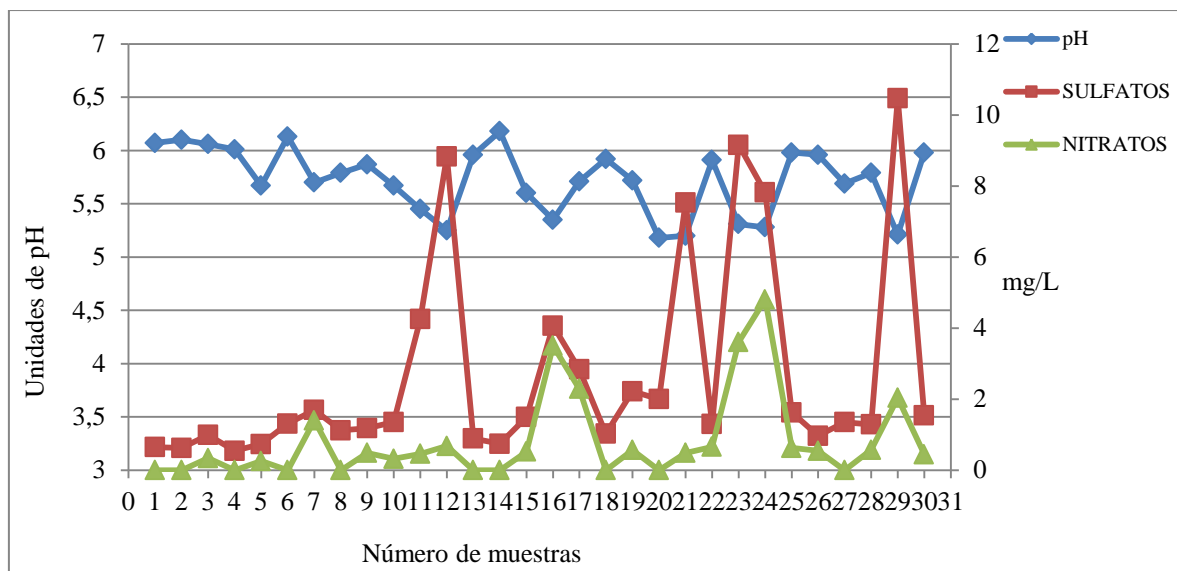


**Figura 3.21. pH del agua de lluvia de la Zona Sur, El Camal, con relación a los gases atmosféricos CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> de la zona.**

Al igual que en la Zona Norte y Centro se observa que la concentración de ozono es inversamente proporcional a la concentración de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>, debido a que el ozono es un contaminante secundario el cual se produce al descomponerse los contaminantes primarios antes mencionados.

Además se puede observar que en la Zona Sur no se presenta concentraciones altas de ozono a comparación de las otras dos zonas, debido a que en esta zona existe frecuentes precipitaciones y menores días soleados.

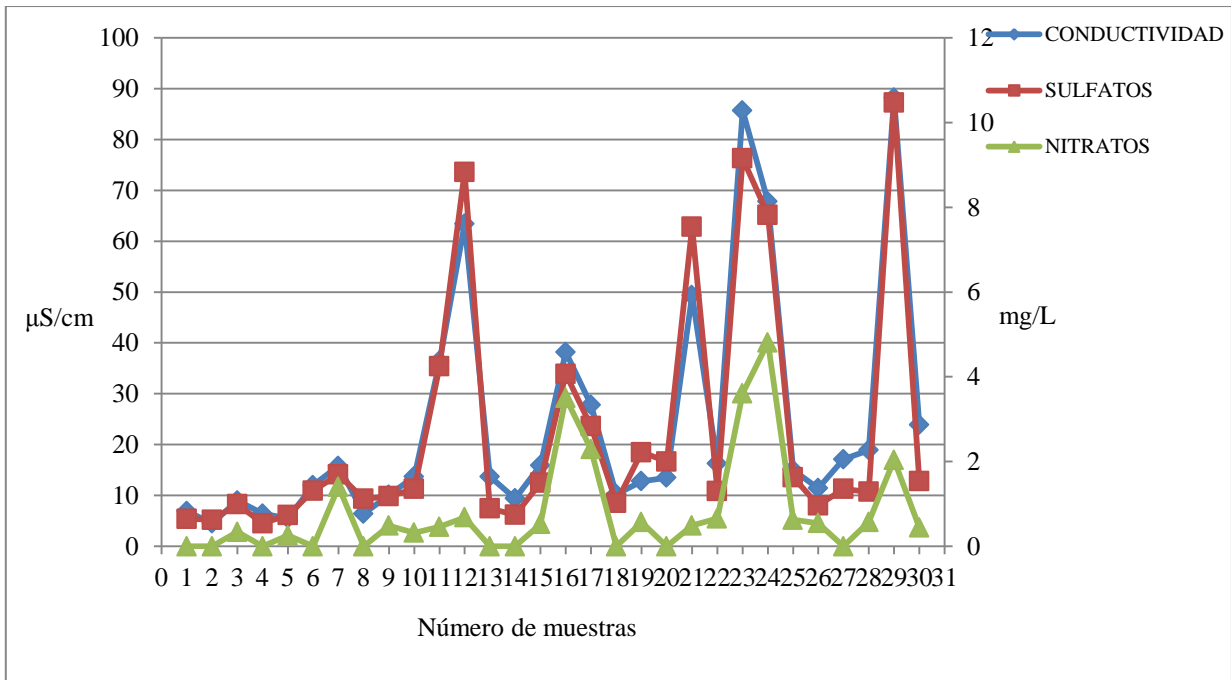
A continuación en la figura 3.22. se realiza una relación del pH de las muestras recolectadas del agua de lluvia con la concentración de sulfatos y nitratos presentes en la Zona Sur, El Camal.



**Figura 3.22. pH de las muestras de agua de lluvia de la Zona Sur, El Camal, con relación a la concentración de sulfatos y nitratos presentes.**

En la figura 3.22. se observa que el pH tiene una relación inversamente proporcional a la concentración de sulfatos y nitratos en las muestras de agua de lluvia. Esto se debe a que al presentarse mayores concentraciones de sulfatos y nitratos el pH tiende a disminuir ya que los precursores de estos contaminantes son los ácidos sulfúrico y nítrico, ocasionando que la lluvia adquiera un pH <5.6. De igual manera al encontrar menores concentraciones de sulfatos y nitratos la lluvia adquiere pH cercano a neutro.

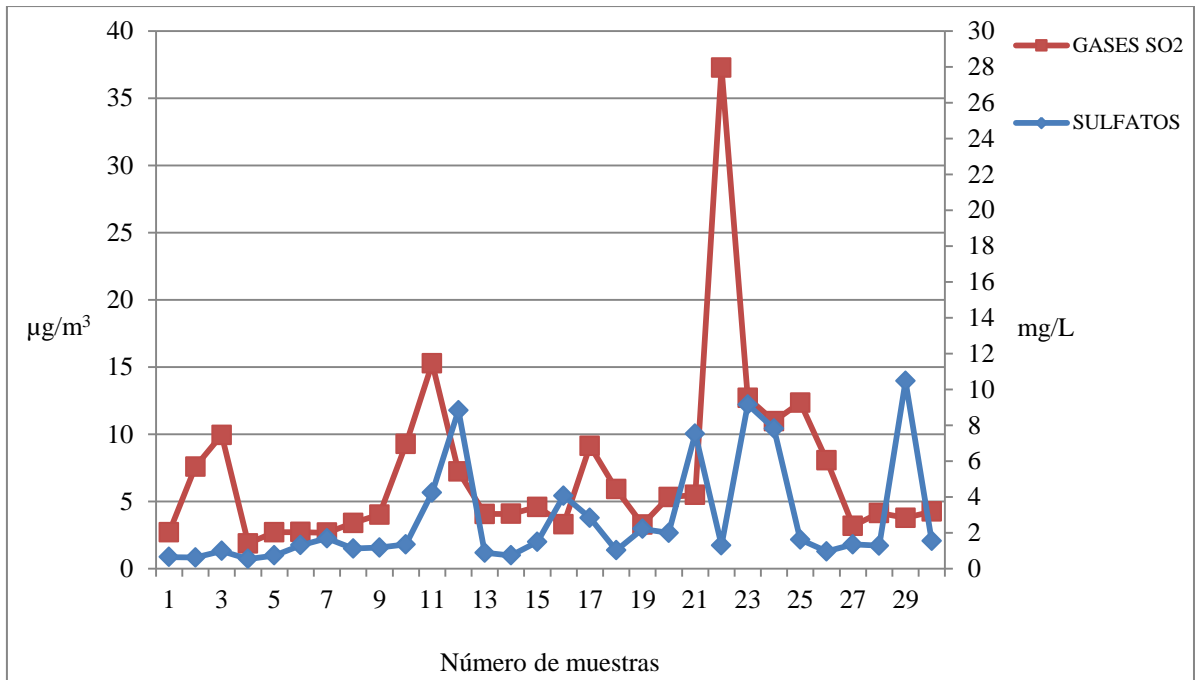
A continuación en la figura 3.23. se presenta la relación de la conductividad del agua de lluvia con la concentración de sulfatos y nitratos presentados en la tabla 3.6. en la Zona Sur, El Camal.



**Figura 3.23. Conductividad del agua de lluvia, con relación a la concentración de sulfatos y nitratos de las muestras de agua de lluvia de la Zona Sur, El Camal.**

La conductividad relaciona la cantidad de iones disueltos en el agua, en la figura 3.23. muestra que la concentración de sulfatos y nitratos es directamente proporcional a la conductividad del agua de lluvia recolectada en la Zona Sur, El Camal, puesto a que al aumentar la concentración de aniones aumenta la conductividad y viceversa, al igual que en la Zona Norte y Centro.

A continuación la figura 3.24. muestra la relación de los datos de emisiones atmosféricas de  $\text{SO}_2$  de la estación de monitoreo El Camal, Anexo 8, y las concentraciones de sulfatos encontrados en las muestras de agua de lluvia.



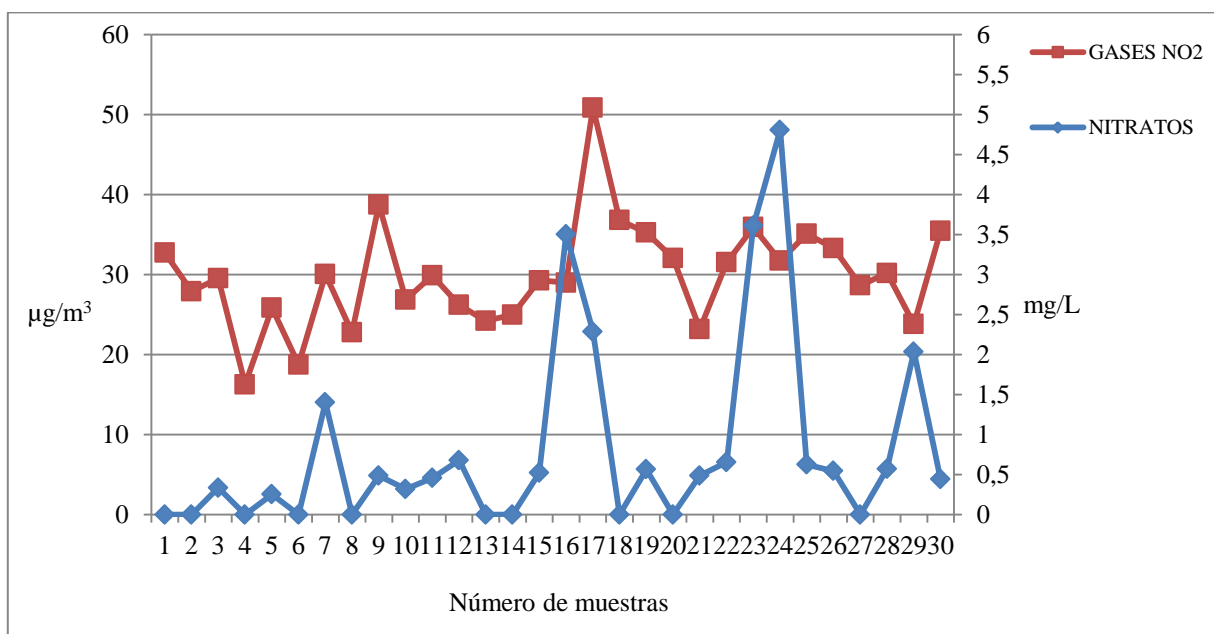
**Figura 3.24. Concentración de Sulfatos de las muestras de agua de lluvia de la Zona Sur, El Camal, con relación a los gases SO<sub>2</sub> de la zona.**

En la figura 3.24. se puede observar que las concentraciones de sulfatos analizadas en el agua de lluvia, con respecto a la concentración de SO<sub>2</sub> en la atmósfera, el incremento o disminución no es simultánea al cambio que se da en la concentración de SO<sub>2</sub> en la atmósfera, la concentración de sulfatos aparecen luego, probablemente se dio por la dirección y magnitud del viento, la frecuencia de precipitaciones y distribución de este gas en la atmósfera.

Además podemos observar que las muestras 12, 23 y 29 tienen concentraciones superiores a 8 mg/L, mientras que las demás son inferiores a este; el incremento puede darse por la acumulación del SO<sub>2</sub> en la atmósfera debido a la falta de precipitaciones en los días anteriores al de la toma de muestra, por tanto, al presentarse una menor frecuencia de precipitaciones, el SO<sub>2</sub> va a manifestarse en concentraciones más altas de sulfatos en el agua de lluvia posterior.

Es importante mencionar que en la muestra 20, tomada el 2 de junio del año 2010, la concentración de sulfatos es alta, a pesar que los días de lluvia son frecuentes durante esa fecha, esto probablemente se dio, porque se presentó actividad volcánica del Tungurahua y la ceniza y gases fueron desplazados por el viento sobre la ciudad de Quito, ocasionando un aumento en la concentración de sulfatos ya que los gases emitidos por el volcán también consta de  $\text{SO}_2$  de fuente natural.

A continuación, la figura 3.25. se realizó con los datos de emisiones atmosféricas de  $\text{NO}_2$  de la estación de monitoreo El Camal, Anexo 8, y las concentraciones de nitratos presentadas en la tabla 3.6.

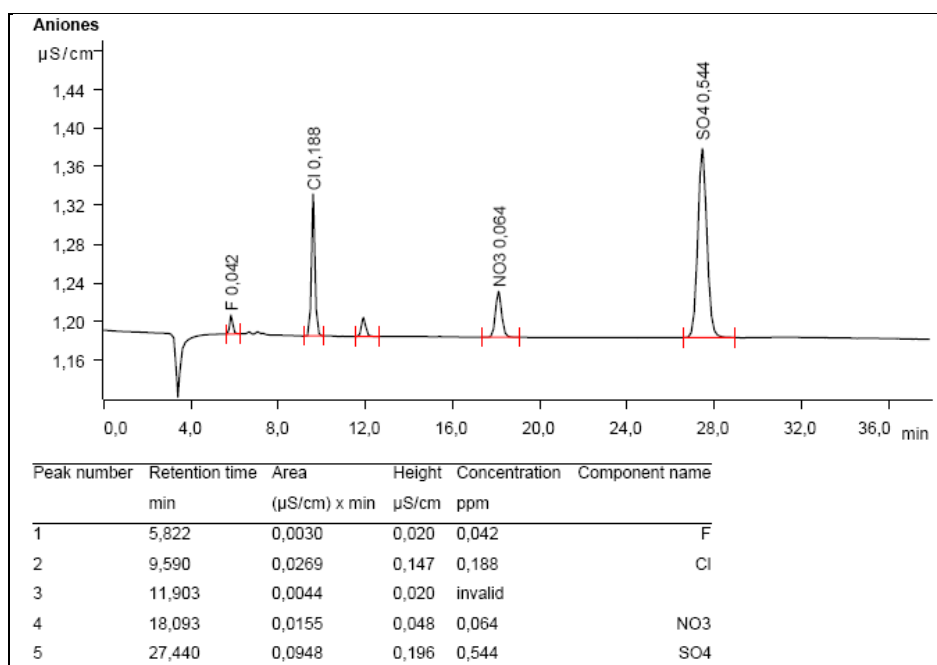


**Figura 3.25. Concentración de Nitratos de las muestras de agua de lluvia de la Zona Sur, El Camal, con relación a los gases  $\text{NO}_2$  de la zona.**

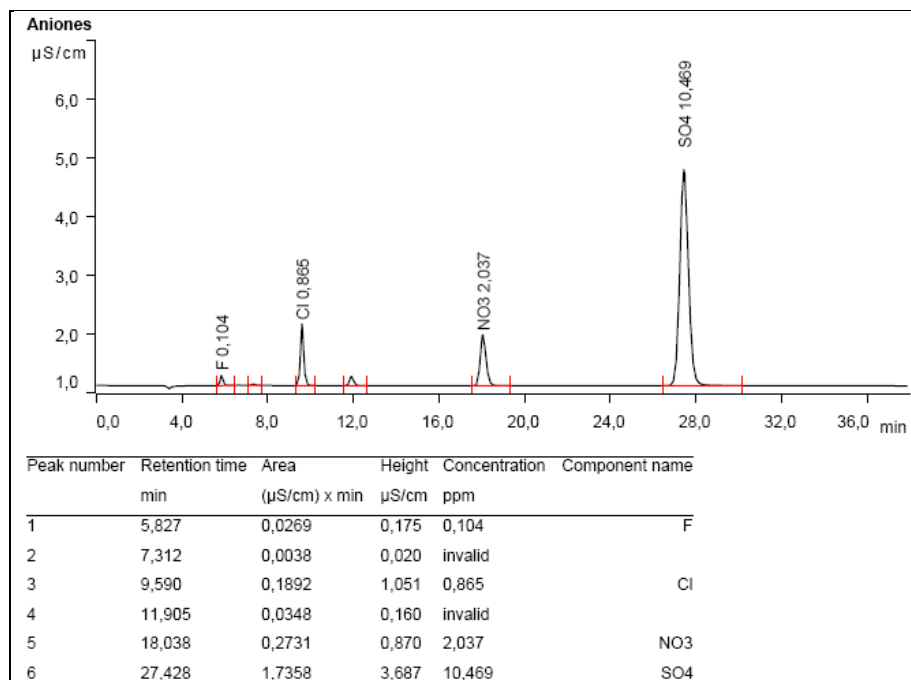
En la figura 3.25. se observa que al igual que en el caso de los sulfatos, las concentraciones de nitratos del agua de lluvia mantienen una relación proporcional con respecto a la

concentración de  $\text{NO}_2$  en la atmósfera; la disminución o aumento en la concentración de nitratos del agua de lluvia no es simultánea al cambio que se da en la concentración de  $\text{NO}_2$  en la atmósfera, debido a la dirección y magnitud del viento, distribución de este gas en la atmósfera y la frecuencia de precipitaciones.

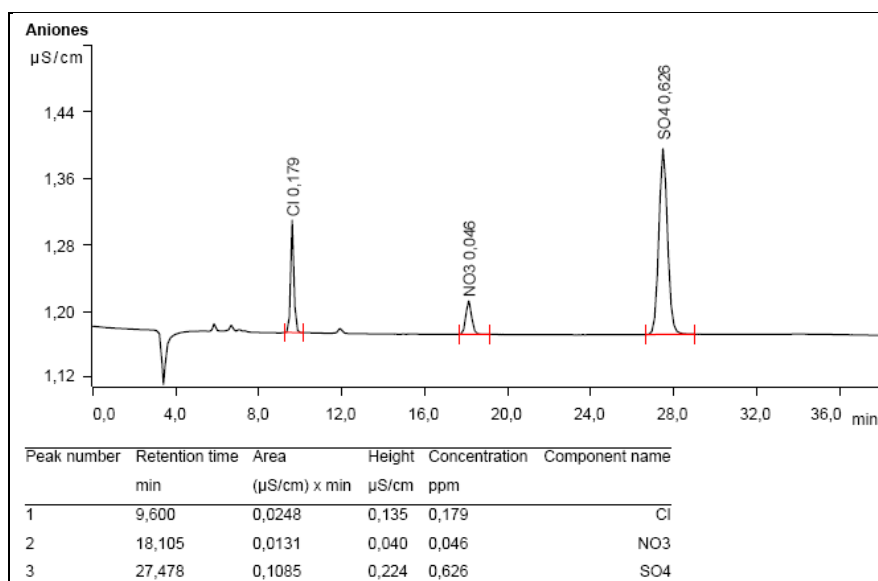
A continuación en las figuras 3.26, 3.27, 3.28 y 3.29 se presentan los cromatogramas de las muestras de agua de lluvia tomadas en la Zona Sur, El Camal, de las concentraciones mínimas y máximas de sulfatos y nitratos presentadas durante mayo y junio.



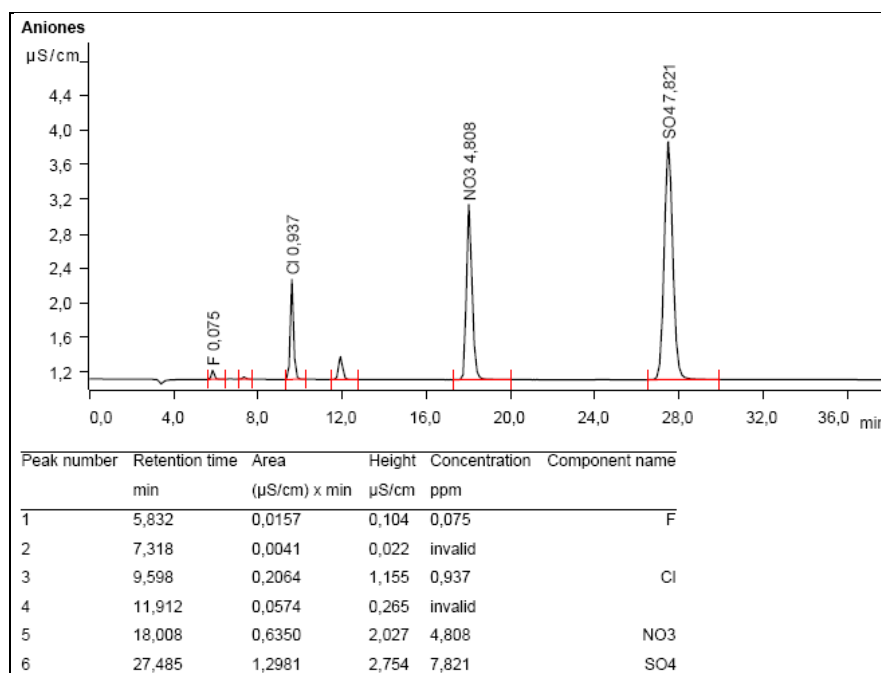
**Figura 3.26. Concentración mínima de sulfatos, encontrada en la muestra 4 del agua de lluvia, recolectada en la Zona Sur, El Camal**



**Figura 3.27. Concentración máxima de sulfatos, encontrada en la muestra 29 del agua de lluvia, recolectada en la Zona Sur, El Camal**



**Figura 3.28. Concentración mínima de nitratos, <0,25 mg/L encontrada en la muestra 2 del agua de lluvia, recolectada en la Zona Sur, El Camal**



**Figura 3.29. Concentración máxima de nitratos, encontrada en la muestra 24 del agua de lluvia, recolectada en la Zona Sur, El Camal**

### 3.3. COMPARACIÓN DE LAS TRES ZONAS DE ESTUDIO

Como se puede observar al comparar las tablas 3.4., 3.5. y 3.6. en la Zona Norte y Centro se obtuvo menos volumen de agua de lluvia recolectada en el periodo de mayo a junio, en la zona norte se obtuvo 17857mL, y en la Zona Centro 20170mL. En la Zona Sur se recolectó 34303mL, legando a ser casi el doble de volumen recolectado en la Zona Norte, resultando coherente con los índices de precipitación de cada una de las zonas, siendo el mayor el de la Zona Sur y el menor el de la Zona Norte, este último no difiere mayormente al índice de la Zona Centro. [4]

Los volúmenes de muestra tomados durante el mes de mayo, en el caso de las tres zonas, son mayores que los volúmenes totales tomados durante el mes de junio, dado que en mayo se termina la época lluviosa y en junio empieza a disminuir el índice de precipitación en el Distrito Metropolitano de Quito. [23] En la Zona Sur se logró recolectar el mayor número de muestras, 30, en comparación a las 24 muestras tomadas en la Zona Centro y las 22 muestras en la Zona Norte. Demostrándose que en la Zona Sur existe mayor frecuencia de precipitaciones en comparación a las otras dos zonas.

Para el día 2 de junio del 2010, el agua de lluvia de las tres Zonas, Norte, Centro y Sur, presentó pH ácidos de 4,91, 4,88 y 5,18, respectivamente, en comparación a todas las muestras recolectadas; esto se debe a que se registró actividad en el volcán Tungurahua, y la ceniza volcánica fue desplazada por el viento sobre la ciudad de Quito y Guayaquil. Por lo tanto se ocasiono un aumento en la concentración de sulfatos y nitratos del agua de lluvia recolectada, ya que los gases emitidos por el volcán constan de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$  de fuente natural. [42]

Debido a que los gases emitidos por este volcán se dirigieron a la provincia de Pichincha, en las Zonas: Norte, Centro y Sur del DMQ, se presentaron mayores días de lluvia con  $\text{pH} < 5,6$  durante el mes de junio, a comparación del mes de mayo. Esto se debe a que los gases pueden afectar a kilómetros de distancia del centro emisor y dependiendo de su estabilidad química pueden permanecer en la atmósfera durante días.

La conductividad es una medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica, esta propiedad depende de la presencia de iones disueltos y su concentración, por esta razón se presentan altos niveles de conductividad en las muestras de agua de lluvia de la Zona Norte, Centro y Sur al igual que la concentración de sulfatos y

nitratos, ya que concentración de sulfatos y nitratos es directamente proporcional a la conductividad.

En la Zona Norte, sector Carapungo, la escasez de lluvias del lugar, la presencia de canteras que generan material particulado, además, de la erosión del suelo y la poca vegetación que generan polvo, contribuye a aumentar la conductividad del agua de lluvia de las muestras recolectadas en esta zona, a diferencia de las Zonas Centro y Sur. [29]

Las concentraciones de sulfatos y nitratos analizadas en el agua de lluvia de la Zona Norte, Centro y Sur, mantienen una relación desplazada con respecto a la concentración de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$  en la atmósfera, esto debido a factores externos que puedan afectar a la manifestación del gas  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$  en forma de sulfatos y nitratos en las muestras de agua de lluvia; los factores que podemos encontrar son: la frecuencia de las precipitaciones, la distribución de los gases en la atmósfera, la dirección y magnitud de viento, entre otros. [4]

Además podemos observar que las muestras tomadas luego de unos días, por falta de precipitaciones, tienen concentraciones altas, este incremento probablemente puede darse por la acumulación del  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$  en la atmósfera dada las circunstancias de una falta de precipitaciones en los días anteriores al de la toma de muestra, por tanto, al presentarse una menor frecuencia de precipitaciones, el  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$  va a manifestarse en forma de concentraciones más altas de sulfatos y nitratos en el agua de lluvia.

Como se puede observar en las tablas 3.4., 3.5. y 3.6. la concentración de sulfatos en la Zona Norte se encuentran entre 0,59 y 28,21 mg/L, en la Zona Centro entre <0,50 y 7,85 mg/L y la Zona Sur entre 0,54 y 10,47 mg/L. De acuerdo a la concentración de sulfatos de las muestras del agua de lluvia recolectadas en la Zona Norte, Carapungo, Zona Sur, El Camal, y la Zona

Centro, Centro Histórico no presentan la misma tendencia con relación a los sector de alta, mediana y baja contaminación atmosférica, presentadas por las estaciones de monitoreo de CORPAIRE, debido a que en la Zona Norte, Carapungo se presentó una alta concentración de sulfatos a comparación de las otras dos zonas.

En la Zona Norte la alta concentración de sulfatos en el agua de lluvia se debe a que la toma de muestras se realizó en la Panamericana norte, en la cual, actualmente existe excesivo movimiento vehicular, ya sea por transporte pesado o liviano y es una zona industrial, siendo los principales generadores de  $\text{SO}_2$  y contribuyendo a la presencia de sulfatos en el agua de lluvia recolectada.

Otro factor de la alta concentración de sulfatos en el agua de lluvia de la Zona Norte, Carapungo, se debe a que en esta zona no se presentan precipitaciones frecuentes con intensidad; sabiendo que la lluvia ayuda al transporte y a la eliminación de los contaminantes atmosféricos como los dióxidos de azufre, por lo tanto al no presentarse precipitaciones, estos gases se concentran en la atmósfera y al llover precipitan, ocasionando que se dé un alta concentración de sulfatos.

Cabe mencionar que en la Zona Norte la alta concentración de sulfatos se dio, debido a que se registran frecuentes vientos que provienen desde el sur oeste del DMQ, zona en la cual existe alta actividad industrial. Los gases  $\text{SO}_2$  pueden viajar decenas de kilómetros dependiendo de su estabilidad química y afectar a zonas lejanas del centro emisor, como es el caso.

En la Zona Sur, El Camal se presenta una mediana concentración de sulfatos en el agua de lluvia, en comparación de las otras dos zonas; debido a que al presentarse precipitaciones frecuentes en la Zona Sur, los contaminantes atmosféricos como el  $\text{SO}_2$ , son eliminados y

transportados, debido a que la atmósfera realiza una autolimpieza mediante la lluvia frecuente.

La concentración intermedia de sulfatos está en la Zona Sur, debido a que los contaminantes atmosféricos viajan varios kilómetros a zonas lejanas, no se registran las mismas proporciones de sulfatos en el agua de lluvia, en comparación a las emisiones de SO<sub>2</sub> registradas en la estación de monitoreo CORPAIRE, El Camal, ya que se presenta vientos con direcciones predominantes sur oeste y norte. [4]

La Zona Centro, Centro Histórico, presenta una baja concentración de sulfatos en el agua de lluvia recolectada, a comparación de la Zona Norte y Sur; y a los datos registrados de emisiones de SO<sub>2</sub> de la estación de monitoreo El Centro, probablemente este fenómeno se da porque los vientos soplan en el sentido longitudinal hacia el norte de la ciudad, aunque puede existir influencia de las laderas del Pichincha ocasionando cambios en la dirección.

Como se puede observar en las tablas 3.4, 3.5 y 3.6, la concentración de nitratos en la Zona Norte se encuentran entre <0,25 y 6,28mg/L, en la Zona Centro entre <0,25 y 4,31 mg/L y la Zona Sur entre <0,25 y 4,81 mg/L. Se puede observar que al igual que en el caso de la concentración de sulfatos, las concentraciones de nitratos analizadas en el agua de lluvia se ven afectadas por las mismas condiciones ambientales, antes mencionadas en la concentración de sulfatos. De igual manera, mantienen la misma relación de alta, mediana y baja concentración de nitratos en el agua de lluvia de las Zonas: Norte, Sur y Centro del DMQ respectivamente.

La concentración de sulfatos en las tres zonas es mayor en proporción a la concentración de nitratos, debido a que solo una parte de los NO<sub>x</sub>, generan el ácido nítrico el cual proporciona

acidez en la lluvia, debido a la baja solubilidad del gas en el agua, por lo tanto aparecerá únicamente un bajo porcentaje de nitratos en las muestras de agua de lluvia recolectada.

La alta concentración de sulfatos y nitratos en la Zona Norte, Carapungo, se debe también a las altas concentraciones de ozono en esta zona a comparación de las otras dos zona, por lo tanto al existir más ozono, los gases  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$  se descomponen mediante la luz solar. Por lo tanto al no haber frecuentes precipitaciones y presentar mayores días soleados, ayudan a la descomposición de estos gases y en consecuencia se encontrarán mayores concentraciones de sulfatos y nitratos.

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

- Las emisiones de gases atmosféricos de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> registrados en las estaciones de monitoreo CORPAIRE nos permitió identificar las zonas de alta, mediana y baja contaminación atmosférica, identificando así las respectivas zonas para la toma de muestras como son: El Camal, El Centro y Carapungo.
- Los niveles de pH, conductividad, sulfatos y nitratos en las muestras de agua de lluvia, recolectadas en las Zonas: Norte, Centro y Sur del Distrito Metropolitano de Quito, no presentan la misma tendencia de alta, mediana y baja contaminación, con relación a las emisiones atmosféricas registradas en las estaciones de monitoreo CORPAIRE: El Camal, El Centro y Carapungo.
- En la Zona Sur del DMQ se evidenciaron mayor número de días lluviosos, en comparación con las Zonas Centro y Norte. La Zona Norte no presentó mayor número de precipitaciones, pues existieron más días soleados. Por otra parte, la cantidad de muestras de agua de lluvia recolectada durante el mes de mayo es mayor, a comparación del mes de junio en las tres Zonas, esto se debe a que en el DMQ la época lluviosa va desde febrero a mayo, presentándose menos precipitaciones a partir de junio.

- Los niveles de pH, conductividad, sulfatos y nitratos del aguade lluvia de las Zonas: Norte, Centro y Sur del DMQ se presentan a continuación:

	<b>Zona Norte: Carapungo</b>	<b>Zona Centro: Centro Histórico</b>	<b>Zona Sur: El Camal</b>
<b>pH (Unidades de pH)</b>	4,91 - 6,19	4,88 - 6,18	5,18 - 6,18
<b>Conductividad (µS/cm)</b>	7,20 - 136,30	4,40 - 59,80	4,50 - 88,20
<b>Sulfatos (mg/L)</b>	0,59 - 28,21	<0,50 - 7,85	0,54 - 10,47
<b>Nitratos (mg/L)</b>	<0,25 - 6,28	<0,25 - 4,31	<0,25 - 4,81

- La Zona Norte, Carapungo, siendo una zona de baja contaminación atmosférica por emisiones de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>, presenta pH ácidos y mayores niveles de conductividad, sulfatos y nitratos, debido a la baja frecuencia de precipitaciones, dirección y magnitud del viento, alta concentración de ozono, ubicación de canteras, fuentes emisoras de origen natural y antropogénico y alto tráfico vehicular.
- En la Zona Sur, El Camal y la Zona Centro, Centro Histórico, existe una alta y media contaminación ambiental respectivamente, sin embargo, las niveles de pH, conductividad, sulfatos y nitratos es media y baja a comparación de la otra zona, debido a que los vientos se desplazan en sentido longitudinal a la ciudad (sur a norte), arrastrando todo hacia el norte, y a las frecuentes precipitaciones presentes en estas zonas.
- Las muestras de agua de lluvia recolectadas el día 2 de junio del 2010 de las tres Zonas: Norte, Centro y Sur presentaron pH ácidos de 4,91, 4,88 y 5,18 respectivamente, esto se debe a que se registró actividad en el volcán Tungurahua, y la ceniza volcánica fue desplazada por el viento sobre la ciudad de Quito, provocando un aumento en la concentración de sulfatos y nitratos del agua de lluvia recolectada, ya

que los gases emitidos por el volcán constan de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$  de fuente natural, y contribuyen de esta forma a la acidez de la lluvia.

- Las muestras de agua de lluvia al ser tomadas luego de unos días, por falta de precipitaciones, tienen concentraciones altas, este incremento puede darse por la acumulación del  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$  en la atmósfera dada las circunstancias de una falta de precipitaciones en los días anteriores al de la toma de muestra, por tanto, al presentarse una menor frecuencia de precipitaciones, el  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$  van a manifestarse en forma de concentraciones más altas de sulfatos y nitratos en el agua de lluvia posterior.
- La concentración de sulfatos en las tres zonas es mayor en proporción a la concentración de nitratos, debido a que solo una parte de los  $\text{NO}_x$ , generan el ácido nítrico el cual proporciona acidez en la lluvia, debido a la baja solubilidad del gas en el agua, por lo tanto aparecerá únicamente un bajo porcentaje de nitratos en las muestras de agua de lluvia recolectada.
- En las tres Zonas: Norte, Centro y Sur, los niveles de sulfatos es mayor en comparación a la de nitratos, por lo tanto las emisiones de  $\text{SO}_2$  se encuentran en mayores concentraciones a comparación de las emisiones de  $\text{NO}_2$ , en consecuencia las fuentes fijas contribuyen en mayor grado, que las fuentes móviles.
- La conductividad relaciona la cantidad de iones disueltos en el agua, por lo tanto la concentración de sulfatos y nitratos es directamente proporcional a la conductividad del agua de lluvia recolectada en las tres zonas, puesto a que al aumentar la concentración de aniones aumenta la conductividad y viceversa.
- Las fuentes naturales (actividad volcánica), las fuentes antropogénicas fijas (fabricas industriales) y las fuentes antropogénicas móviles (vehículos livianos y pesados a

diesel y gasolina) aportan a los niveles de pH, conductividad, sulfatos y nitratos del agua de lluvia en el Distrito de Metropolitano de Quito.

- La lluvia recolectada en las Zonas: Norte, Carapungo, Zona Centro, Centro Histórico y Zona Sur, El Camal, presentan pH inferiores a 5,6, por lo tanto si existe episodios de lluvia ácida en el Distrito Metropolitano de Quito.
- El método analítico utilizado para el análisis de aniones: sulfatos y nitratos, mediante Cromatografía Iónica, logra una separación con picos bien resueltos y definidos, esta técnica permite identificar y cuantificar en una sola corrida varios aniones (7 aniones), el tiempo de análisis es corto (36 minutos por muestra), y se usa pequeñas cantidades de muestra (20 µL).
- El proceso de validación del método: determinación de aniones por Cromatografía Iónica da una evidencia objetiva de que se tiene una adecuada precisión en la cuantificación de aniones, ya que cumple con lo estipulado para la aceptación de los parámetros del objetivo de validación, estos se presentan a continuación:

<b>Parámetros de Validación</b>	<b>Nitratos</b>	<b>Sulfatos</b>
Linealidad	Coefficiente de correlación mayor a 0,99	Coefficiente de correlación mayor a 0,99.
Límite de cuantificación	0,25 mg/L	0,50 mg/L
Precisión de repetibilidad	Variabilidad $\pm 10\%$ .	Variabilidad $\pm 10\%$ .
Precisión de reproducibilidad	Variabilidad $\pm 10\%$ .	Variabilidad $\pm 10\%$ .
Exactitud	Recuperaciones de $100 \pm 10\%$ .	Recuperaciones de $100 \pm 10\%$ .

- El estudio realizado sirve como punto de partida para investigar más acerca de la contaminación producida por las fuentes naturales y antropogénicas, y todas las complicaciones que conlleva, así como para tratar de resolver problemas ya existentes por la presencia de lluvia ácida producida en las diferentes ciudades del país.

## 4.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda para la determinación de aniones, utilizar la técnica Cromatografía Iónica, por las siguientes razones:
  - Menor consumo de reactivos
  - Determinación simultanea de varios aniones, menor tiempo de análisis
  - Mayor número de muestras analizadas por día
  - Selectividad, mejor resolución entre picos
  - Picos bien definidos
- El método analítico validado puede ser usado en futuros estudios sobre contaminación del agua en cualquier tipo de matriz debido a que se puede analizar simultáneamente diferentes aniones.
- Para evitar que exista lluvia ácida en el Distrito Metropolitano de Quito, se recomienda disminuir las emisiones de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$ , teniendo en cuenta las fuentes que originan estos gases; siendo las fuentes móviles los contribuyentes a estas emisiones se debería mejorar el proceso de refinación para obtener un combustible de mejor calidad, el cual contenga bajos niveles de azufre en su composición. Con respecto a las fuente fijas, fabricas industriales, debería existir controles más rigurosos de las gases emitidos por estos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Doménech X., (1991). *Química Atmosférica, Origen y Efectos de la Contaminación*, Ediciones Miraguano, Madrid, España.
- [2] Harrison R. M., (2003). *El Medio Ambiente, Introducción a la Química Medioambiental y a la Contaminación*, Editorial ACRIBIA, España.
- [3] Herrera J., Rodríguez S., (2008). *Determinación de la concentración de aniones en muestras de precipitación total colectadas en San José, Costa Rica*. Primera Parte. San José, Costa Rica.
- [4] Municipio de Distrito Metropolitano de Quito, Corporación Municipal para el Mejoramiento del Aire de Quito, CORPAIRE, (2005). *Inventario de Emisiones Atmosféricas*, Quito, Ecuador.
- [5] Programa de Lluvia Ácida mantiene reducciones en contaminación atmosférica, informa la EPA, Environmental Protection Agency, United States. <http://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/Spanish%20by%20Date%7Cespanol/e854509d54afdb42852570a600597a82!OpenDocument>, 20 de enero de 2010.
- [6] Reducción de la Lluvia Ácida. Environmental Protection Agency, United States, <http://www.epa.gov/acidrain/spanish/reducing/index.html>, 25 de enero de 2010.
- [7] Vega de Kuyper, J.C., (2002). *Química del Medio Ambiente y de los recursos naturales*, Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile.

- [8] Armada, C.G., (2010). *Cambio Climático: Causas, Consecuencias y Soluciones*, Primera Edición, Editorial Mundi Prensa, Madrid- España.
- [9] XI. L., & Martín., (1992). *La lluvia ácida*, Gran La Rousse Universal, Vol 22, Edición Española Plaza & Janes, Barcelona.
- [10] Metodología hidroquímica. Constituyentes mayoritarios, minoritarios y trazas de las aguas subterráneas. Toma de muestras. Valores frecuentes de la composición química de las aguas naturales, <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionRH18.pdf>, 3 de Enero 2011.
- [11] Gonzalez, M., & Martinez, J., (2001). *Naturaleza Transformada*, Icaria Editorial. Barcelona- España.
- [12] Rodojevic, M. y Bashkin, V., (2006). *Practical Environmental Analysis*, Segunda edición, RSC Publishing.
- [13] La Lluvia Ácida, Introducción y Antecedentes, [http://www.edualmuc.org/encicloapuntes/eso/geografia/geo\\_lluvia\\_acida.pdf](http://www.edualmuc.org/encicloapuntes/eso/geografia/geo_lluvia_acida.pdf), 15 de febrero de 2011
- [14] Diario Hoy, (1994). Lluvias ácidas amenazan una Reserva Ambiental, <http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/lluvias-acidas-amenazan-una-reserva-ambiental-31712-31712.html>, 25 de febrero de 2011.
- [15] Seanez, M., (2002). *Tratado de la Contaminación Atmosférica, Problema, Tratamiento y Gestión*, Colección Ingeniería del Medio Ambiente, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid-España.

- [16] Baird, C., (2004). *Química Ambiental*, Segunda edición, editorial Reverté, Barcelona España.
- [17] Estructplan On Line, Salud, seguridad y medio ambiente en la industria, Toxicología-Sustancias, Óxidos de Nitrógeno, <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=1272>, 27 de febrero de 2011
- [18] Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México. Dióxido de Azufre. <http://www.sma.df.gob.mx/simat/pnso2.htm>, 27 de febrero de 2011.
- [19] Hernandez, J. J., (2001). *Modelo de la formación y emisión de contaminantes en sistemas de combustión*, Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, Colección Tesis Doctorales No. 121, España.
- [20] Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, (2010). Tomo V, Control de Contaminación, Libro VI Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes, Recurso Agua.
- [21] Instituto Ecuatoriano de Normalización, (2006). *Norma Técnica Ecuatoriana*. NTE INEN 1108:2006, Agua Potable, Requisitos, Primera edición, Quito Ecuador.
- [22] Consejo de la calidad ambiental y el Departamento de Estados Unidos. (1984). *Futuro Global tiempo de actuar*, Primera edición, Editores Siglo veintiuno de España S.A. Madrid- España.

- [23] Carrillo, J., (2009). *La Calidad del Aire en Quito, Informe Anual 2008*, Municipio de Distrito Metropolitano de Quito, Corporación Municipal para el Mejoramiento del Aire de Quito, CORPAIRE, Quito, Ecuador.
- [24] Ecuador, Volcán Guagua Pichincha, [http://www.hipecuador.com/html/ups/regions/volcanoes/volcan\\_guagua\\_pichincha.htm](http://www.hipecuador.com/html/ups/regions/volcanoes/volcan_guagua_pichincha.htm), 18 de febrero de 2011.
- [25] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI-INAMHIQUITO, Dirección Informática, Precipitación mensual. Periodo 1900-2009
- [26] Skoog, D., Holler, J., Nieman, T., (2001). *Principios de Análisis instrumental*, Quinta edición, McGraw Hill, España.
- [27] Hernandez, L., y Gonzales, C., (2002). *Introducción al Análisis Instrumental*, Primera edición, Ariel Ciencia, Barcelona-España.
- [28] QuímicaNet.com, La conductividad eléctrica en medios líquidos. [http://www.quiminet.com/ar9/ar\\_vc darmarmaasd-la-conductividad-electrica-en-medios-liquididos.htm](http://www.quiminet.com/ar9/ar_vc darmarmaasd-la-conductividad-electrica-en-medios-liquididos.htm), 18 de febrero del 2011.
- [29] Bonilla, P., & Flores R., (2009). *Perfil de la Lluvia en la ciudad de Quito (Ecuador) Durante los meses de Diciembre-2008 y Enero-2009*, Laboratorio de Química Ambiental, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Central del Ecuador, Quito.
- [30] Merchand G., Estrada V., Razo A., (2008). *Determinación de elementos mayores en descargada hidrotermales Costeras utilizando Cromatografía Iónica*, Universidad Nacional Autónoma de México.

- [31] Rubinson K., Rubinson K., (2000). *Análisis Instrumental*, Pretice Hall, Pearson Educación, S.A., Madrid, Espana.
- [32] Eith, C., Kolb, M., & et al., (2001). *Practical Ion Chromatography, An Introduction*, Hersau- Switzerland.
- [33] Calidad del agua, (1997). *Determinación de aniones disueltos por Cromatografía ionica en fases líquida*, Norma Española, [http://www.biada.org/web/materies/microbiologia/aigua/PDFs/UNE-EN\\_ISO\\_10304-2=1997.pdf](http://www.biada.org/web/materies/microbiologia/aigua/PDFs/UNE-EN_ISO_10304-2=1997.pdf). 02 de marzo de 2011.
- [34] Metrohm. Análisis Iónico. Cromatografía Iónica Inteligente. Swissmade. <http://www.gomensoro.net/documentos/metrohm/flippingbook/professionalIC850.pdf>. 30 de enero de 2011.
- [35] Cromatografía Iónica, (2008). <http://www.delcarpio.cl/cromatografia%20ionica.html>, 12 de enero de 2011.
- [36] Ventaja de la Cromatografía Iónica. [http://media.wiley.com/product\\_data/excerpt/19/35272870/3527287019.pdf](http://media.wiley.com/product_data/excerpt/19/35272870/3527287019.pdf), 15 de marzo 2011.
- [37] Toma y Conservación de Muestras de Agua, Toma de Muestras, <http://www.docstoc.com/docs/68320216/16-TOMA-Y-CONSERVACION-DE-MUESTRAS-DE-AGUA-1---TOMA-DE-MUESTRA-1-1>, 25 de marzo de 2011.

- [38] Laboratorio de Química Ambiental Ideam, (2005). Toma y Preservación de Muestras, [http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis\\_De\\_Aguas/Toma\\_De\\_Muestras.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Toma_De_Muestras.htm), 30 de enero de 2011.
- [39] Eaton, A., Clesceri L., & (et-al). *Standard Methods for the examination of water & wastewater*, 21<sup>th</sup> Edition, Centennial Edition, United States of America.
- [40] Keith, L. (1996). *Compilation of EPA's Sampling and Analysis Methods*, Second edition. United States of America.
- [41] Municipio de Distrito Metropolitano de Quito, Corporación Municipal para el Mejoramiento del Aire de Quito, CORPAIRE., *Informe Anual 2010, La Calidad del Aire en Quito*, Quito, Ecuador.
- [42]Alerta Tierra, Actividad del volcán Tungurahua, <http://www.alertatierra.com/VolTungurahua.htm>, 25 de enero del 2011.

**ANEXO 1. Certificado del Material de Referencia Matriz Agua  
de Lluvia**



300 Technology Drive  
 Christiansburg, VA 24073 - USA  
 inorganicventures.com

# CERTIFICATE OF ANALYSIS

tel: 800.669.6799 · 540.585.3030  
 fax: 540.585.3012  
 info@inorganicventures.com

INORGANIC VENTURES is an ISO Guide 34 "General Requirements for the Competence of Reference Material Producers" and ISO 9001:2000 registered manufacturer. Our manufacturing laboratory is accredited to ISO/IEC 17025 "General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories."



## WATER QC Reference Material Rainwater Catalog No: QCP-RAIN

Lot Number: X-RN01013

**STABILITY AND STORAGE INFORMATION** - The optimum storage condition for this product is -25°C. If this is not possible, then this product must be stored at 4°C before opening. After this product is brought to room temperature, it should be used within 48 hours.

### SPECIFICATIONS AND TRACEABILITY:

Parameter	Certified Value	Analytical Method	NIST Traceability	Acceptance Limits
pH	4.31 ± 0.05 units	EPA Method 150.1	185g, 186II, 186III	4.38 - 4.25 units
Conductivity	30.4 ± 1.3 µmhos	EPA Method 120.1	999a	34.5 - 26.3 µmhos
Chloride	0.502 ± 0.032 mg/L	EPA Method 300.0	3182	0.649 - 0.365 mg/L
Fluoride	0.100 ± 0.008 mg/L	EPA Method 300.0	3183	0.129 - 0.071 mg/L
Sulfate	3.028 ± 0.048 mg/L	EPA Method 300.0	3181	3.912 - 2.144 mg/L
Nitrate	0.714 ± 0.048 mg/L	EPA Method 300.0	3185	0.923 - 0.505 mg/L
Sodium	0.131 ± 0.032 mg/L	Ion Chromatography	3152	0.169 - 0.093 mg/L
Potassium	0.136 ± 0.016 mg/L	Ion Chromatography	3141	0.176 - 0.096 mg/L
Calcium	0.043 ± 0.016 mg/L	Ion Chromatography	3109	0.056 - 0.030 mg/L
Magnesium	0.092 ± 0.006 mg/L	Ion Chromatography	3131	0.119 - 0.065 mg/L
Ammonium	0.253 ± 0.016 mg/L	Ion Chromatography	194	0.327 - 0.179 mg/L

The following equations are used in the calculation of the certified value and the uncertainty. Reported uncertainties represent expanded uncertainties expressed at approximately the 95% confidence level using a coverage factor of k = 2.

$$\text{Certified Value } (\bar{x}) = \frac{\sum x_i}{n}$$

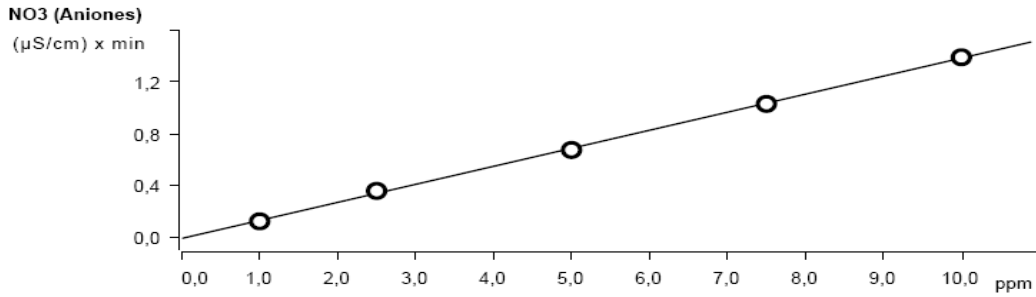
( $\bar{x}$ ) = mean  
 $x_i$  = individual results  
 $n$  = number of measurements

$$\text{Uncertainty } (\pm) = \frac{2(\sum s_i)^{1/2}}{(n)^{1/2}}$$

$\sum s_i$  = The summation of all significant estimated errors  
 (Most common are the errors from instrumental measurement, weighing, dilution to volume, and the fixed error reported on the NIST SRM certificate of analysis)

**ANEXO 2. Datos y gráficas de las curvas de calibración elaboradas para la validación de Nitratos y Sulfatos.**

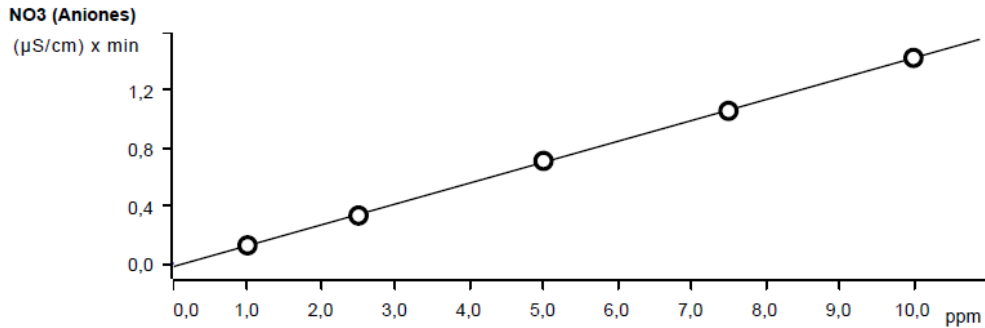
## Curvas de calibración de Nitratos No. 1



Function: .....  $A = -0,0109998 + 6,99687E-3 \times Q$   
 Relative standard deviation ..... 2.064504 %  
 Correlation coefficient ..... 0.999686

Sample type	Index	Conc.	Volume	Area	Ident
Standard 1	1	1.000	20.0	0.122	ST.1
Standard 2	1	2.500	20.0	0.358	ST.2,5
Standard 3	1	5.000	20.0	0.676	ST.5,0
Standard 4	1	7.500	20.0	1.033	ST.7,5
Standard 5	1	10.000	20.0	1.395	ST.10,0

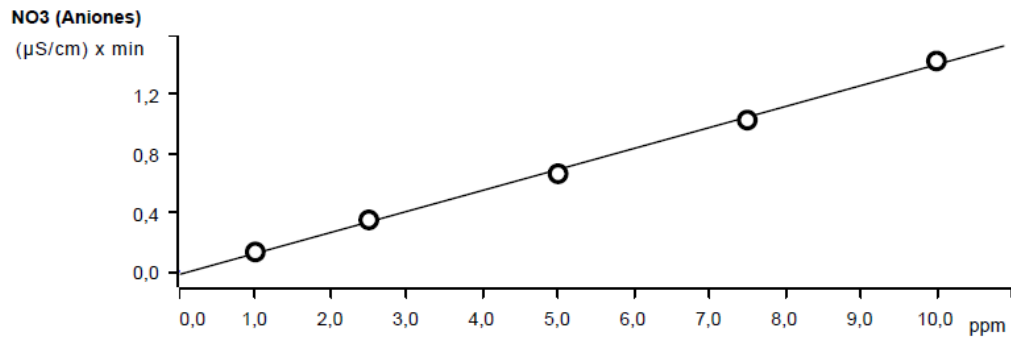
## Curvas de calibración de Nitratos No. 2



Function: .....  $A = -0,0176147 + 7,20982E-3 \times Q$   
 Relative standard deviation ..... 1.076419 %  
 Correlation coefficient ..... 0.999916

Sample type	Index	Conc.	Volume	Area	Ident
Standard 1	1	1.000	20.0	0.129	ST. 1
Standard 2	1	2.500	20.0	0.335	ST. 2,5
Standard 3	1	5.000	20.0	0.713	ST. 5,0
Standard 4	1	7.500	20.0	1.059	ST. 7,5
Standard 5	1	10.000	20.0	1.425	ST. 10,0

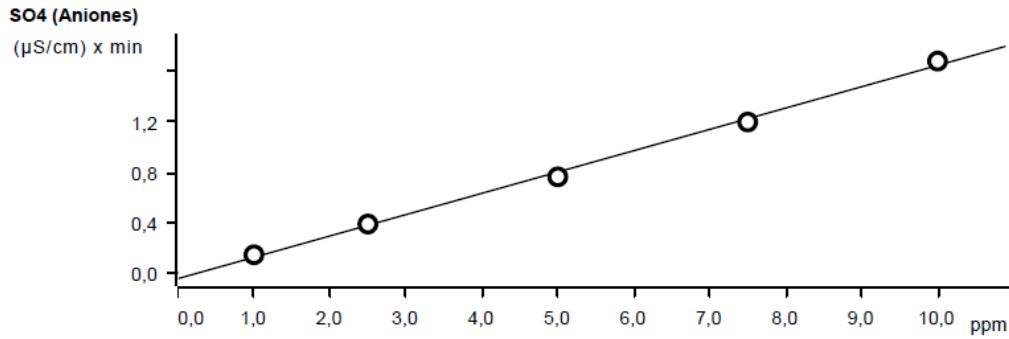
### Curvas de calibración de Nitratos No. 3



Function: .....  $A = -0,0160920 + 7,09411E-3 \times Q$   
 Relative standard deviation ..... 3.689231 %  
 Correlation coefficient ..... 0.999010

Sample type	Index	Conc.	Volume	Area	Ident
Standard 1	1	1.000	20.0	0.136	St. 1
Standard 2	1	2.500	20.0	0.353	St. 2.5
Standard 3	1	5.000	20.0	0.665	St. 5.0
Standard 4	1	7.500	20.0	1.028	St. 7.5
Standard 5	1	10.000	20.0	1.428	St. 10.0

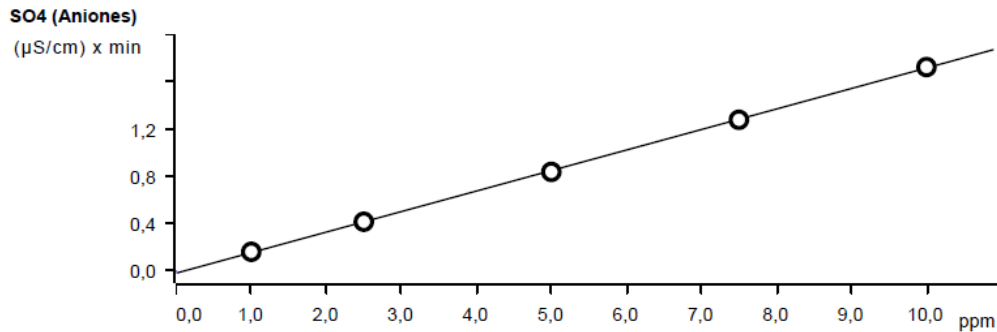
## Curva de calibración de Sulfatos No. 1



Function: .....  $A = -0,0431591 + 8,45575E-3 \times Q$   
 Relative standard deviation: ..... 4.267896 %  
 Correlation coefficient: ..... 0.998749

Sample type	Index	Conc.	Volume	Area	Ident
Standard 1	1	1.000	20.0	0.146	ST.1
Standard 2	1	2.500	20.0	0.390	ST.2,5
Standard 3	1	5.000	20.0	0.764	ST.5,0
Standard 4	1	7.500	20.0	1.199	ST.7,5
Standard 5	1	10.000	20.0	1.682	ST.10,0

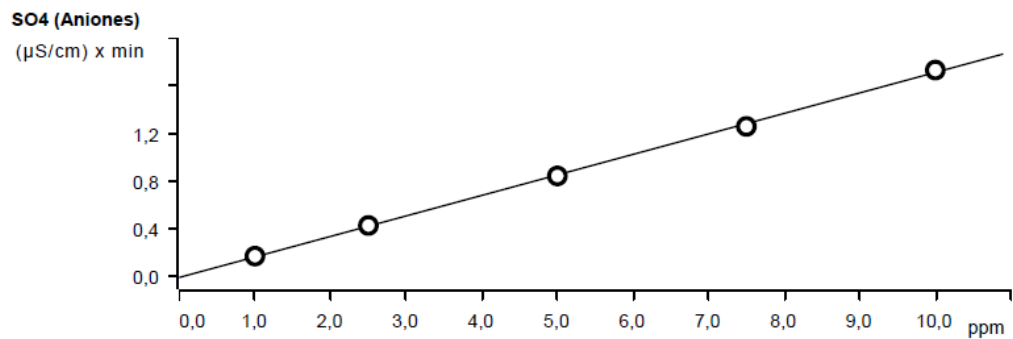
## Curva de calibración de Sulfatos No. 2



Function: .....  $A = -0,0190033 + 8,66642E-3 \times Q$   
 Relative standard deviation: ..... 1.060427 %  
 Correlation coefficient: ..... 0.999918

Sample type	Index	Conc.	Volume	Area	Ident
Standard 1	1	1.000	20.0	0.161	ST. 1
Standard 2	1	2.500	20.0	0.415	ST. 2,5
Standard 3	1	5.000	20.0	0.836	ST. 5,0
Standard 4	1	7.500	20.0	1.277	ST. 7,5
Standard 5	1	10.000	20.0	1.722	ST. 10,0

### Curva de calibración de Sulfatos No. 3



Function: .....  $A = -4,44221E-3 + 8,57398E-3 \times Q$   
 Relative standard deviation ..... 2.124873 %  
 Correlation coefficient ..... 0.999660

Sample type	Index	Conc.	Volume	Area	Ident
Standard 1	1	1.000	20.0	0.174	St. 1
Standard 2	1	2.500	20.0	0.430	St. 2.5
Standard 3	1	5.000	20.0	0.844	St. 5.0
Standard 4	1	7.500	20.0	1.259	St. 7.5
Standard 5	1	10.000	20.0	1.730	St. 10.0

**ANEXO 3. Precisión de Repetibilidad. Datos de las concentraciones de los estándares de: 1, 5 y 10mg/L de Nitratos y Sulfatos.**

1. PRECISIÓN DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD DE NITRATOS

ESTÁNDAR 1: 1,00 mg/L

LECTURAS												
DÍA	LECTURA 1	Tiempo de Retención	Área	Altura	LECTURA 2	Tiempo de Retención	Área	Altura	LECTURA 3	Tiempo de Retención	Área	Altura
1	1,124	17,172	0,146	0,473	1,087	17,165	0,134	0,431	1,055	17,172	0,1367	0,441
2	1,037	17,128	0,132	0,425	1,051	17,133	0,134	0,433	1,041	17,135	0,1324	0,429
3	1,106	17,137	0,141	0,450	1,108	17,138	0,141	0,449	1,098	17,145	0,1397	0,443

ESTÁNDAR 2: 5,00 mg/L

LECTURAS												
DÍA	LECTURA 1	Tiempo de Retención	Área	Altura	LECTURA 2	Tiempo de Retención	Área	Altura	LECTURA 3	Tiempo de Retención	Área	Altura
1	4,848	17,128	0,667	2,193	4,797	17,140	0,660	2,160	5,134	17,135	0,7074	2,309
2	5,027	17,080	0,707	2,328	4,997	17,093	0,703	2,307	5,192	17,090	0,731	2,404
3	4,849	17,093	0,672	2,181	4,784	17,093	0,663	2,144	4,759	17,095	0,6591	2,133

ESTÁNDAR 3: 10,00 mg/L

LECTURAS												
DÍA	LECTURA 1	Tiempo de Retención	Área	Altura	LECTURA 2	Tiempo de Retención	Área	Altura	LECTURA 3	Tiempo de Retención	Área	Altura
1	9,602	17,078	1,3327	4,313	9,709	17,087	1,3477	4,347	9,37	17,082	1,3002	4,198
2	10,312	17,055	1,4693	4,746	10,239	17,045	1,4588	4,709	10,306	17,048	1,4685	4,757
3	10,242	17,05	1,437	4,607	10,275	17,073	1,4418	4,618	10,21	17,078	1,4326	4,601

1. PRECISIÓN DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD DE SULFATOS:

ESTÁNDAR 1: 1,00 mg/L

LECTURAS												
DÍA	LECTURA 1	Tiempo de Retención	Área	Altura	LECTURA 2	Tiempo de Retención	Área	Altura	LECTURA 3	Tiempo de Retención	Área	Altura
1	1,162	26,277	0,153	0,320	1,122	26,272	0,147	0,306	1,156	26,297	0,1524	0,32
2	1,100	26,260	0,172	0,353	1,041	26,285	0,161	0,335	1,147	26,288	0,1798	0,376
3	1,029	26,178	0,172	0,342	1,104	26,182	0,185	0,367	1,054	26,192	0,1764	0,346

ESTÁNDAR 2: 5,00 mg/L

LECTURAS												
DÍA	LECTURA 1	Tiempo de Retención	Área	Altura	LECTURA 2	Tiempo de Retención	Área	Altura	LECTURA 3	Tiempo de Retención	Área	Altura
1	4,858	26,285	0,779	1,654	4,784	26,260	0,766	1,629	4,977	26,235	0,7985	1,692
2	5,033	26,278	0,853	1,808	4,981	26,288	0,844	1,784	5,001	26,275	0,8478	1,795
3	5,021	26,175	0,857	1,725	4,873	26,173	0,831	1,666	4,943	26,172	0,8432	1,69

ESTÁNDAR 3: 10,00 mg/L

LECTURAS												
DÍA	LECTURA 1	Tiempo de Retención	Área	Altura	LECTURA 2	Tiempo de Retención	Área	Altura	LECTURA 3	Tiempo de Retención	Área	Altura
1	9,498	26,178	1,5631	3,314	9,644	26,18	1,5878	3,362	9,206	26,210	1,5138	3,198
2	10,453	26,260	1,7928	3,767	10,382	26,267	1,7805	3,73	10,501	26,273	1,8011	3,79
3	10,201	26,277	1,7448	3,51	10,293	26,318	1,7607	3,537	10,105	26,335	1,7284	3,47

**ANEXO 4. Resultados de precisión de repetibilidad (r) y reproducibilidad (R) para Nitratos y Sulfatos.**

## Resultados de precisión de repetibilidad y reproducibilidad de Nitratos

<b>LECTURAS ESTANDAR 1 mg/L</b>							
<b>DÍA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>Media</b>	<b>S</b>	<b>C.V.</b>	<b>% Recup.</b>
1	1,124	1,087	1,055	1,089	0,035	3,17%	108,87
2	1,037	1,051	1,041	1,043	0,007	0,69%	104,30
3	1,106	1,108	1,098	1,104	0,005	0,48%	110,40
				<b>Media</b>	<b>1,079</b>	<b>0,016</b>	<b>1,45%</b>
Precisión de							
Reproducibilidad				<b>S</b>	0,033		
				<b>CV</b>	<b>3,04%</b>		

<b>LECTURAS ESTANDAR 5 mg/L</b>							
<b>DÍA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>Media</b>	<b>S</b>	<b>C.V.</b>	<b>% Recup.</b>
1	4,848	4,797	5,134	4,926	0,182	3,69%	98,53
2	5,027	4,997	5,192	5,072	0,105	2,07%	101,44
3	4,849	4,784	4,759	4,797	0,046	0,97%	95,95
				<b>Media</b>	<b>4,932</b>	<b>0,111</b>	<b>2,24%</b>
Precisión de							
Reproducibilidad				<b>S</b>	0,160		
				<b>CV</b>	<b>3,25%</b>		

<b>LECTURAS ESTANDAR 10 mg/L</b>							
<b>DÍA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>Media</b>	<b>S</b>	<b>C.V.</b>	<b>% Recup.</b>
1	9,602	9,709	9,37	9,56	0,173	1,81%	95,60
2	10,312	10,239	10,306	10,29	0,041	0,39%	102,86
3	10,242	10,275	10,21	10,24	0,033	0,32%	102,42
				<b>Media</b>	<b>10,03</b>	<b>0,082</b>	<b>0,84%</b>
Precisión de							
Reproducibilidad				<b>S</b>	0,364		
				<b>CV</b>	<b>3,63%</b>		

## Resultados de precisión de repetibilidad y reproducibilidad de Sulfatos

LECTURAS ESTANDAR 1 mg/L							
DÍA	1	2	3	Media	s	C.V.	% Recup.
1	1,162	1,122	1,156	1,147	0,022	1,88%	114,67
2	1,100	1,041	1,147	1,096	0,053	4,85%	109,60
3	1,029	1,104	1,054	1,062	0,038	3,59%	106,23
<b>Media</b>				<b>1,102</b>	<b>0,038</b>	<b>3,44%</b>	<b>110,17</b>
Precisión de Reproducibilidad				<b>S</b>	0,050		
				<b>CV</b>	<b>4,57%</b>		

LECTURAS ESTANDARES 5 mg/L							
DÍA	1	2	3	Media	s	C.V.	% Recup.
1	4,858	4,784	4,977	4,873	0,097	2,00%	97,46
2	5,033	4,981	5,001	5,005	0,026	0,52%	100,10
3	5,021	4,873	4,943	4,946	0,074	1,50%	98,91
<b>Media</b>				<b>4,941</b>	<b>0,066</b>	<b>1,34%</b>	<b>98,82</b>
Precisión de Reproducibilidad				<b>S</b>	0,085		
				<b>CV</b>	<b>1,72%</b>		

LECTURAS ESTANDAR 10mg/L							
DÍA	1	2	3	Media	s	C.V.	% Recup.
1	9,498	9,644	9,206	9,449	0,223	2,36%	94,49
2	10,453	10,382	10,501	10,445	0,060	0,57%	104,45
3	10,201	10,293	10,105	10,200	0,094	0,92%	102,00
<b>Media</b>				<b>10,031</b>	<b>0,126</b>	<b>1,28%</b>	<b>100,31</b>
Precisión de Reproducibilidad				<b>S</b>	0,466		
				<b>CV</b>	<b>4,65%</b>		

**ANEXO 5. Exactitud: Cromatograma del Material de Referencia  
Certificado del Agua de lluvia.**

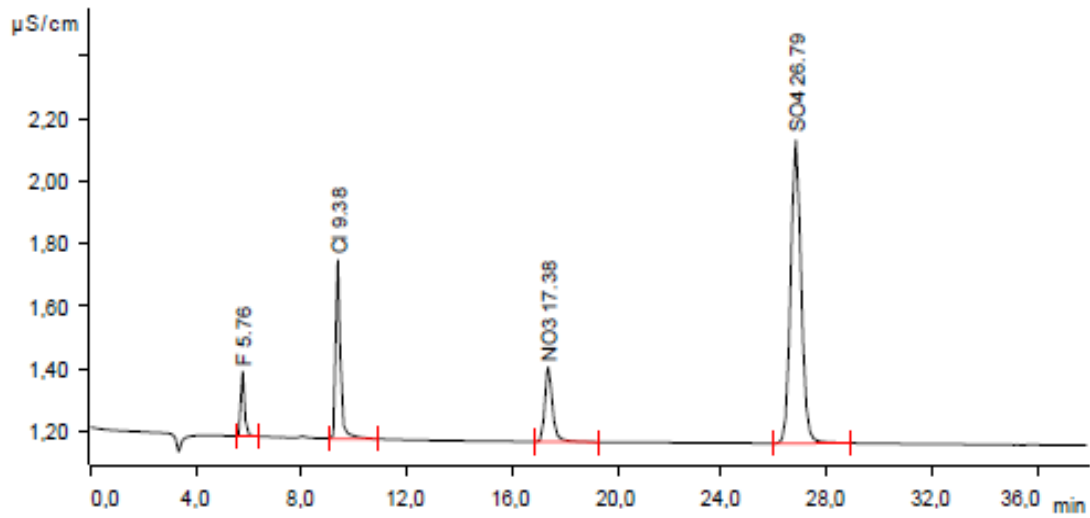
**Sample data**

Ident ..... QCP-RAIN  
 Sample type ..... Sample

**Aniones**

Data source ..... Conductivity detector 1 (Ion chromatograph)  
 Channel ..... Conductivity  
 Recording time ..... 38.0 min  
 Integration ..... Automatically  
 Column type ..... Metrosep A Supp 7 250/4.0  
 Eluent composition ..... Aniones - 3,6 mM Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>  
 Flow ..... 0.800 mL/min  
 Pressure ..... 10.25 MPa  
 Temperature ..... 45.0 °C

**Aniones**



Peak number	Retention time min	Area (µS/cm) x min	Height µS/cm	Concentration ppm	Component name
1	5.760	0.0302	0.207	0.123	F
2	9.380	0.1115	0.571	0.667	Cl
3	17.378	0.0793	0.238	0.646	NO <sub>3</sub>
4	26.793	0.4485	0.969	2.907	SO <sub>4</sub>

**ANEXO 6. Concentración de emisiones de Óxidos de carbono, Dióxidos de azufre y Óxidos de Nitrógeno de los meses mayo y junio, durante la toma de muestras del agua de lluvia en la Zona Norte, Carapungo.**

**Concentración de emisiones de Óxidos de carbono, Dióxidos de azufre y Óxidos de Nitrógeno de los meses mayo y junio, durante la toma de muestras de agua de lluvia en la Zona Norte, Carapungo.**

<b>Fechas de Toma de muestra</b>	<b>Monóxido de Carbono (mg/ m<sup>3</sup>)</b>	<b>Dióxido de Azufre (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Dióxido de Nitrógeno (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ozono (µg/m<sup>3</sup>)</b>
01/05/2010	0,23	1,36	8,95	27,80
01/05/2010 02/05/2010	0,19	1,45	11,36	12,71
02/05/2010 03/05/2010	0,12	1,34	5,74	17,69
03/05/2010	0,29	1,44	9,42	17,11
03/05/2010 04/05/2010	0,21	1,12	6,81	10,70
04/05/2010 05/05/2010	0,26	1,36	9,91	11,58
05/05/2010	0,49	2,60	17,70	20,99
18/05/2010	0,50	3,94	13,86	34,13
20/05/2010 21/05/2010	0,34	1,46	8,88	27,90
21/05/2010	0,53	2,28	16,49	29,67
31/05/2010	0,46	2,87	12,90	31,08
31/05/2010 01/06/2010	0,45	3,16	20,80	15,84
01/06/2010 02/06/2010	0,58	4,03	24,30	11,92
02/06/2010	0,78	9,58	32,45	10,56
08/06/2010 09/06/2010	0,41	2,62	15,17	10,85
18/06/2010 19/06/2010	0,24	1,61	7,94	22,26
19/06/2010	0,39	1,63	9,97	24,24
19/06/2010 20/06/2010	0,40	1,74	14,09	10,94
20/06/2010	0,46	2,14	13,60	28,11
27/06/2010 28/06/2010	0,42	2,00	16,37	12,46
28/06/2010 29/06/2010	0,58	5,32	20,77	10,14
30/06/2010 01/07/2010	0,36	2,07	9,94	23,68

**ANEXO 7. Concentración de emisiones de Óxidos de carbono, Dióxidos de azufre y Óxidos de Nitrógeno de los meses mayo y junio, durante la toma de muestras del agua de lluvia en la Zona Centro, Centro Histórico**

**Concentración de emisiones de Óxidos de carbono, Dióxidos de azufre y Óxidos de Nitrógeno de los meses mayo y junio, durante la toma de muestras de agua de lluvia en la Zona Centro, EL Centro Histórico.**

<b>Fechas de Toma de muestra</b>	<b>Monóxido de Carbono (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Dióxido de Azufre (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Dióxido de Nitrógeno (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ozono (µg/m<sup>3</sup>)</b>
01/05/2010	0,99	2,91	27,58	21,05
01/05/2010 02/05/2010	1,23	3,68	25,36	1,94
02/05/2010	0,79	5,33	23,44	22,17
02/05/2010 03/05/2010	0,57	2,54	15,34	9,88
03/05/2010	0,93	2,76	24,25	12,85
03/05/2010 04/05/2010	0,56	2,20	14,71	7,31
04/05/2010	0,82	2,74	19,81	15,03
04/05/2010 05/05/2010	0,63	2,45	18,95	6,45
05/05/2010	1,00	4,28	32,15	19,10
18/05/2010	0,93	4,41	28,79	35,83
20/05/2010 21/05/2010	0,85	2,92	26,63	13,96
31/05/2010	1,08	4,25	33,26	27,16
31/05/2010 01/06/2010	1,04	3,66	36,22	8,21
01/06/2010 02/06/2010	0,94	3,27	33,57	9,78
02/06/2010	1,38	4,27	38,80	13,63
07/06/2010 08/06/2010	0,89	9,83	31,09	2,69
14/06/2010	1,04	7,17	30,37	25,14
17/06/2010 18/06/2010	1,35	4,80	29,46	2,56
18/06/2010 19/06/2010	0,99	3,42	28,53	3,59
19/06/2010	1,06	4,57	27,16	16,12
19/06/2010 20/06/2010	0,74	2,62	17,00	9,80
27/06/2010 28/06/2010	0,76	6,00	24,05	9,16
28/06/2010 29/06/2010	0,80	7,30	26,85	9,48
30/06/2010 01/07/2010	1,00	5,59	36,46	3,83

**ANEXO 8. Concentración de emisiones de Óxidos de carbono, Dióxidos de azufre y Óxidos de Nitrógeno de los meses mayo y junio, durante la toma de muestras del agua de lluvia en la Zona Sur, El Camal**

**Concentración de emisiones de Óxidos de carbono, Dióxidos de azufre y Óxidos de Nitrógeno de los meses mayo y junio, durante la toma de muestras de agua de lluvia en la Zona Sur, EL Camal.**

<b>Fechas de Toma de muestra</b>	<b>Monóxido de Carbono (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Dióxido de Azufre (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Dióxido de Nitrógeno (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ozono (µg/m<sup>3</sup>)</b>
01/05/2010	0,94	2,71	32,75	20,12
01/05/2010 02/05/2010	1,21	7,59	27,93	2,23
02/05/2010	7,41	9,96	29,55	21,73
02/05/2010 03/05/2010	0,48	1,88	16,28	12,02
03/05/2010	0,87	2,71	25,86	12,69
03/05/2010 04/05/2010	0,69	2,72	18,77	7,01
04/05/2010	0,90	2,68	30,07	14,02
04/05/2010 05/05/2010	0,56	3,41	22,77	7,87
05/05/2010	0,98	4,02	38,77	13,20
10/05/2010	0,79	9,27	26,88	20,59
10/05/2010 11/05/2010	1,31	15,29	29,91	2,82
17/05/2010 18/05/2010	0,53	7,24	26,21	4,52
19/05/2010	0,49	4,07	24,22	30,30
20/05/2010 21/05/2010	0,47	4,09	25,01	17,82
21/05/2010	0,73	4,60	29,27	26,02
23/05/2010	0,66	3,31	29,00	41,19
27/05/2010 28/05/2010	1,00	9,14	50,89	8,41
31/05/2010 01/06/2010	0,63	5,92	36,83	8,34
01/06/2010 02/06/2010	0,48	3,28	35,27	11,22
02/06/2010	0,77	5,33	32,09	14,76
06/06/2010 07/06/2010	0,28	5,49	23,21	10,55
07/06/2010 08/06/2010	0,80	37,27	31,55	2,71
14/06/2010	0,97	12,71	35,94	22,74
15/06/2010 16/06/2010	0,77	10,98	31,75	1,99
17/06/2010	1,12	12,36	35,11	18,60
18/06/2010	0,83	8,06	33,33	23,15
18/06/2010 19/06/2010	0,67	3,19	28,66	5,54
19/06/2010	0,98	4,14	30,21	13,78
28/06/2010	0,74	3,78	23,83	29,69
30/06/2010 01/07/2010	0,81	4,25	35,46	5,41

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Karina Jaqueline Simbaña Farinango, C.I. 1721108940, autor del trabajo de graduación intitulado: “Determinación de los niveles de pH, conductividad, sulfatos y nitratos en muestras de agua lluvia, recolectadas en sectores de alta, mediana y baja contaminación ambiental atmosférica del Distrito Metropolitano de Quito” previa a la obtención del grado académico de LICENCIADA EN CIENCIAS QUÍMICAS en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales:

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos del autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad del Ecuador a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Quito, 13 de Septiembre de 2011

---

C.I. 172110894-0