



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“EVALUACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES
ATMOSFÉRICOS DEL COMPLEJO TERMAS DE LA VIRGEN DE
LA CIUDAD DE BAÑOS DE AGUA SANTA”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: ANDREA ELIZABETH RUIZ VEGA

DIRECTORA: Ing. MARÍA RAFAELA VITERI UZCÁTEGUI

Riobamba – Ecuador

2018

© 2018, Andrea Elizabeth Ruiz Vega

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: Tipo Proyecto de Investigación “**Evaluación de la dispersión de contaminantes atmosféricos del Complejo termas de la Virgen de la ciudad de Baños de Agua Santa**”, de responsabilidad de la señorita: ANDREA ELIZABETH RUIZ VEGA, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Dra. Lourdes Janneth Jara Samaniego

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. María Rafaela Viteri Uzcátegui

DIRECTORA DEL TRABAJO TITULACIÓN

Dr. Fausto Manolo Yaulema Garcés

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Yo, ANDREA ELIZABETH RUIZ VEGA, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación, pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Andrea Elizabeth Ruiz Vega

DEDICATORIA

A Dios, por darme la salud y vida para alcanzar este momento tan importante en mi vida, por ser mi guía fundamental, cuidarme y protegerme día a día, por darme la sabiduría y fortaleza necesaria para lograr este tan anhelado sueño.

A mis padres Roberto y Silvia, por ser mi fortaleza e inspiración de todos los días, quienes me han brindado el amor y apoyo incondicional durante todo este tiempo, por ser el pilar fundamental de este logro y gracias a quienes he podido culminar exitosamente esta etapa académica de mi vida.

A mi novio Andrés, quien ha estado siempre a mi lado de forma incondicional, quien con sus consejos y motivación me ha ayudado a enfrentar las adversidades del camino, y sobretodo quien con su amor ha sido un soporte esencial de este logro en mi vida.

A mi hermano Andrés, mi cuñada Cristina y mi sobrino Aaron, por demostrarme su cariño sincero, siendo con ello parte de mi inspiración y un sustento para alcanzar cada una de mis metas propuestas.

Andrea

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios, por darme la vida, por las bendiciones derramadas durante todo este tiempo y por concederme la dicha de ser la mujer profesional que hoy en día soy.

A mis padres Roberto y Silvia, por ser el soporte fundamental de este logro alcanzado, por su paciencia y amor incondicional, por darme la oportunidad de formarme como profesional y culminar con éxito esta etapa de mi vida.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por permitirme formar académicamente en sus aulas y darme la oportunidad de convertirme en una profesional exitosa; a mis docentes, por su paciencia y don para impartir sus conocimientos en mí, y por el apoyo brindado durante todo este tiempo de formación académica.

A la Ing. Rafaela Viteri, directora de tesis, por su apoyo incondicional, por la confianza, amistad y ayuda brindada para la realización del presente trabajo de titulación.

Al Dr. Fausto Yaulema, asesor de tesis, y a la Ing. Isabel Escudero por su ayuda y aporte esencial durante el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Al Mgs. Marlon Guevara Silva, Alcalde de la ciudad de Baños de Agua Santa y al Ing. Germán Vega, Director de Saneamiento Ambiental del GAD Municipal de Baños, por darme la oportunidad de desarrollar la presente investigación en el complejo municipal Termas de la Virgen.

A mis amigos, quienes de una u otra forma me apoyaron incondicionalmente y fueron parte fundamental del cumplimiento de esta etapa académica esencial en mi vida.

Andrea

TABLA DE CONTENIDO

CONTENIDO	Pág.
RESUMEN.....	xi
x	
ABSTRACT.....	xx
INTRODUCCIÓN.....	1
Identificación del problema.....	1
Justificación.....	1
CAPÍTULO I.....	5
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
1.1. Antecedentes.....	5
1.2. Atmósfera.....	6
1.2.1. Composición de la atmósfera.....	6
1.2.2. Propiedades físicas de la atmósfera.....	7
1.2.2.1. Densidad.....	7
1.2.2.2. Presión atmosférica.....	7
1.2.2.3. Temperatura.....	7
1.2.3. Capas de la atmósfera.....	8
1.2.3.1. Tropósfera.....	8
1.2.3.2. Estratósfera.....	8
1.2.3.3. Ionósfera.....	8
1.2.3.4. Exósfera.....	9
1.3. Contaminación atmosférica.....	10
1.3.1 Destino de los contaminantes atmosféricos.....	10
1.3.2. Fuentes de contaminación atmosférica.....	10
1.3.2.1. Fuentes naturales.....	10
1.3.2.2. Fuentes antropogénicas.....	11
1.3.3. Contaminantes atmosféricos.....	11
1.3.3.1. Contaminantes primarios.....	11
1.3.3.2. Contaminantes secundarios.....	11
1.3.3.3. Óxidos de nitrógeno (NOx).....	12
1.3.3.4. Óxidos de azufre (SOx).....	14
1.4. Normativa Ambiental.....	15
1.4.1. Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente.....	15

1.4.1. Calidad del Aire y Salud – Organización Mundial de la Salud (OMS)	16
1.5. Muestreo atmosférico	16
1.5.1. Frecuencias y tiempos de muestreo	17
1.5.1.1. <i>Muestreo continuo</i>	17
1.5.1.1. <i>Muestreo periódico</i>	17
1.5.1.1. <i>Muestreo puntual</i>	17
1.5.2. Metodología de muestreo	17
1.5.1.2. <i>Muestreadores pasivos</i>	18
1.5.1.2. <i>Métodos automáticos</i>	18
1.5.1.2. <i>Sensores remotos</i>	19
1.5.1.2. <i>Bioindicadores</i>	19
CAPÍTULO II	21
2. MARCO METODOLÓGICO	21
2.1. Tipo de la investigación	21
2.2. Diseño de la investigación	21
2.3. Obtención de la muestra	21
2.3.3. <i>Selección de la muestra</i>	23
2.4. Técnicas de recolección de datos	28
2.5.1. Preparación de Muestreadores Pasivos para la recolección de NO₂ y SO₂ en el aire .	28
2.5.1.1. <i>Materiales</i>	29
2.5.1.2. <i>Preparación de la solución captadora para NO₂ y SO₂</i>	30
2.6. Colocación de muestreadores pasivos	30
2.7. Exposición de muestreadores	30
2.8. Recolección y transporte de Muestreadores Pasivos	31
2.9. Análisis muestral	31
2.9.1. Análisis de muestreadores pasivos de NO₂	31
2.9.1.1. <i>Materiales y equipos</i>	31
2.9.1.2. <i>Sustancias y Reactivos</i>	32
2.9.1.3. <i>Preparación de reactivos para las pruebas de colorimetría</i>	32
2.9.1.4. <i>Pruebas de colorimetría</i>	32
2.9.1.5. <i>Análisis por espectrofotometría</i>	32
2.9.1.6. <i>Cálculo de la concentración de NO₂ (ug/m³)</i>	33
2.9.2.1. <i>Materiales y equipos</i>	35
2.9.2.2. <i>Sustancias y Reactivos</i>	35
2.9.2.3. <i>Preparación de la solución para análisis de SO₂</i>	35

2.9.2.4 <i>Análisis por espectrofotometría</i>	36
2.9.5.1. <i>Cálculo de la concentración de SO₂ (ug/m³)</i>	36
2.10. Corrección de la concentración de contaminantes del aire según las condiciones del sitio de muestreo	38
2.11. Análisis de la dispersión de contaminantes mediante la aplicación del software ArcGIS.	39
2.11.1. <i>Recopilación de la información obtenida</i>	39
2.11.2. <i>Elaboración de Mapas de dispersión de contaminantes mediante el software ArcGIS</i>	40
2.11.3. <i>Análisis de los Mapas de dispersión de contaminantes</i>	40
2.12. Análisis estadístico	42
CAPÍTULO III	43
3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS ...	43
3.1. Concentración ambiental corregida según las condiciones del sitio de muestreo ..	43
3.2. Variación de los valores de concentración durante el tiempo de muestreo	45
3.2.1. <i>Variación de la concentración de NO₂</i>	45
3.2.2. <i>Variación de la concentración de SO₂</i>	52
3.2.3. <i>Análisis de la dispersión de contaminantes mediante la aplicación del software ArcGIS</i>	58
3.2.3.1. <i>Análisis de la dispersión de NO₂</i>	58
3.2.3.2. <i>Análisis de la dispersión de SO₂</i>	65
3.2.3. <i>Análisis estadístico</i>	70
3.2.3.1. <i>Prueba de Kolmogórov-Smirnov</i>	70
3.2.3.2. <i>Análisis de varianza de un factor ANOVA</i>	71
3.2.3.3. <i>Planteamiento de la Hipótesis</i>	73
CONCLUSIONES	74
RECOMENDACIONES	76
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Composición del aire seco en la tropósfera.....	6
Tabla 2-1: Principales contaminantes atmosféricos y sus fuentes	12
Tabla 3-1: Límites de concentración máxima permitida para NO ₂ y SO ₂	16
Tabla 1-2: Georreferenciación de los puntos de muestreo para NO ₂ ; Error! Marcador no definido. en el Complejo Termas de la Virgen.....	24
Tabla 2-2: Georreferenciación de los puntos de muestreo para NO ₂	25
en el Complejo Termas de la Virgen.....	25
Tabla 3-2: Datos estandarizados de absorbancia y concentración de nitrito en el tubo (ug/mL)	33
Tabla 4-2: Datos estandarizados de absorbancia y concentración de sulfatos	36
en el tubo (mg/L).....	36
Tabla 5-2: Datos para la corrección de las concentraciones de NO ₂ y SO ₂ según las condiciones del lugar de muestreo	39
Tabla 6-2: Datos de velocidad del viento (m/s) en la ciudad de Baños, desde el 25 de abril al 30 de mayo del 2018	40
Tabla 7-2: Datos de precipitación media diaria (mm) en la ciudad de Baños, desde el 25 de abril al 30 de mayo del 2018	41
Tabla 1-3: Concentración ambiental corregida de NO ₂ (ug/m ³), durante el tiempo de muestreo.....	43
Tabla 2-3: Concentración ambiental corregida de SO ₂ (ug/m ³) durante el tiempo de muestreo.	45
Tabla 3-3: Concentración máxima de NO ₂ (ug/m ³) en cada semana	45
Tabla 4-3: Concentración máxima de SO ₂ (ug/m ³) en cada semana	52
Tabla 5-3: Prueba de Kolmogorov-Smirnov para NO ₂	70
Tabla 5-3: Prueba de Kolmogorov-Smirnov para SO ₂	71
Tabla 6-3: Análisis de varianza de un factor ANOVA para NO ₂	72
Tabla 6-3: Análisis de varianza de un factor ANOVA para SO ₂	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Capas de la atmósfera	9
--	---

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2: Curva de calibración estándar para NO ₂	33
Gráfico 2-2: Curva de calibración para SO ₂	37
Gráfico 3-2: Concentración máxima de NO ₂ (ug/m ³) en cada semana	46
Gráfico 3-3: Concentración promedio de NO ₂ (ug/m ³), en la primera semana de muestreo.	47
Gráfico 4-3: Concentración promedio de NO ₂ (ug/m ³), en la segunda semana de muestreo.	48
Gráfico 5-3: Concentración promedio de NO ₂ (ug/m ³), en la tercera semana de muestreo.....	49
Gráfico 6-3: Concentración promedio de NO ₂ (ug/m ³), en la cuarta semana de muestreo.....	50
Gráfico 7-3: Concentración promedio de NO ₂ (ug/m ³), en la quinta semana de muestreo.	51
Gráfico 8-3: Concentración máxima de SO ₂ (ug/m ³) en cada semana	52
Gráfico 8-3: Concentración promedio de SO ₂ (ug/m ³), en la primera semana de muestreo.....	53
Gráfico 9-3: Concentración promedio de SO ₂ (ug/m ³), en la segunda semana de muestreo.	54
Gráfico 10-3: Concentración promedio de SO ₂ (ug/m ³), en la tercera semana de muestreo.	55
Gráfico 11-3: Concentración promedio de SO ₂ (ug/m ³), en la cuarta semana de muestreo.	56
Gráfico 12-3: Concentración promedio de SO ₂ (ug/m ³), en la quinta semana de muestreo.	57

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1-2: Mapa de localización del área de estudio	27
Mapa 2-2: Mapa de localización de los puntos de muestreo de NO ₂	27
Mapa 3-2: Mapa de localización de los puntos de muestreo de SO ₂	27
Mapa 1-3: Mapa de dispersión de NO ₂ en la primera semana de muestreo.....	58
Mapa 2-3: Mapa de dispersión de NO ₂ en la segunda semana de muestreo	60
Mapa 3-3: Mapa de dispersión de NO ₂ en la tercera semana de muestreo	61
Mapa 4-3: Mapa de dispersión de NO ₂ en la cuarta semana de muestreo	62
Mapa 5-3: Mapa de dispersión de NO ₂ en la quinta semana de muestreo	64
Mapa 6-3: Mapa de dispersión de SO ₂ en la primera semana de muestreo	65
Mapa 7-3: Mapa de dispersión de SO ₂ en la segunda semana de muestreo.....	66
Mapa 8-3: Mapa de dispersión de SO ₂ en la tercera semana de muestreo.....	67
Mapa 9-3: Mapa de dispersión de SO ₂ en la cuarta semana de muestreo.....	68
Mapa 10-3: Mapa de dispersión de SO ₂ en la quinta semana de muestreo.....	69

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2: Concentración de nitritos en el tubo.....	38
Ecuación 2-2: Masa de nitritos en el tubo.....	38
Ecuación 3-2: Concentración de NO ₂ en el ambiente.....	38
Ecuación 4-2: Concentración de sulfatos en el tubo.....	40
Ecuación 5-2: Masa de sulfatos en el tubo.....	41
Ecuación 6-2: Concentración de SO ₂ en el ambiente.....	41
Ecuación 7-2: Fórmula de corrección de concentración de contaminantes según las condiciones del sitio de muestreo.....	44

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

A	Área transversal del tubo
AERMOD	Sistema de Modelos de Dispersión Gaussiana de contaminantes
ASTM	American Society for Testing and Materials
°C	Grados centígrados
°K	Grados Kelvin
Abs	Absorbancia (nm)
CH ₄	Metano
C	Concentración de NO ₂ en el ambiente (ug/m ³)
Cc	Concentración corregida
Co	Concentración observada
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
D ₁₂	Coefficiente de difusión molecular de NO ₂ y SO ₂ en el aire (m ² /s)
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
g	Gramo
GADM-BAS	Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Baños de Agua Santa
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
H	Hidrógeno
He	Helio
HNO ₃	Ácido Nítrico
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
HC	Hidrocarburos
HNO ₃	Ácido Nítrico
IESS	Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social

Km	Kilometro
L	Longitud del tubo
L	Litro
m	Metro
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
min	Minuto
mL	Mililitro
mm Hg	Milímetro de mercurio
N ₂	Nitrógeno molecular
NH ₃	Amoníaco
Ne	Neón
nm	Nanómetro
NO	Monóxido de Nitrógeno
NO ₂	Dióxido de Nitrógeno
NO _x	Óxidos de Nitrógeno
O ₂	Oxigeno molecular
O ₃	Ozono
OH	Grupo Hidroxilo
OMS	Organización Mundial de Salud
Pbl	Presión atmosférica local
PM ₁₀	Material Particulado de diámetro menor o igual a 10 µm
PM _{2,5}	Material Particulado de diámetro menor o igual a 2,5 µm
ppm	Partes por millón
Q _k	Valor de la frecuencia de muestreo
s	segundo

SO ₂	Dióxido de Azufre
SO _x	Óxidos de Azufre
SO ₃	Trióxido de Azufre
t	Tiempo de muestreo (s)
t°C	Temperatura local
TEA	Trietanolamina
µg	Microgramo
UV	Ultravioleta
UTM	Sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator
V	Volumen de reactivos de color añadido

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A** Identificación y georreferenciación de los puntos de muestreo
- Anexo B** Colocación del equipo de protección para tubos muestreadores
- Anexo C** Preparación de tubos muestreadores
- Anexo D** Colocación de tubos muestreadores en la zona de estudio
- Anexo E** Análisis de tubos muestreadores en el Laboratorio

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo evaluar la dispersión de NO₂ y SO₂ en el Complejo Termas de la Virgen de la Ciudad de Baños de Agua Santa, aplicando la metodología de muestreadores pasivos basada en la absorción de NO₂ y SO₂, a través de una solución captadora de trietanolamina (TEA), en tubos de polipropileno colocados a 3 m de altura sobre el nivel del suelo. Se fijó 30 puntos de muestreo a criterio técnico y de forma aleatoria, en un dominio de estudio de 270 m a la redonda del complejo. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio mediante espectrofotometría UV-Visible, y tras la aplicación de fórmulas estandarizadas se obtuvo datos de concentración de NO₂ y SO₂ de la zona de estudio, obteniendo valores máximos de 2,85 (ug/m³) en el punto 30, semana 1 para NO₂ y 1,86 (ug/m³) en el punto 9, semana 1 para SO₂, cuyos valores no sobrepasaron los límites máximos permisibles establecidos por la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire, con un valor igual a 200 ug/m³ en una hora para NO₂ y 125 ug/m³ por día para SO₂, según lo establece el Acuerdo Ministerial 097A Libro VI Anexo 4 Calidad del Aire. Los resultados fueron plasmados en mapas de dispersión, mediante la utilización del software ArcGIS, que a través de una escala colorimétrica, se evaluó los puntos de mayor y menor concentración, concluyendo que la dispersión de los contaminantes en la zona de estudio está directamente influenciada por parámetros meteorológicos como la velocidad y dirección de los vientos predominantes y la precipitación, según los datos proporcionados por la Estación Meteorológica Parque de la Familia, que provocaron la rápida dispersión de los gases emitidos por las fuente fijas de emisión del complejo, comprobando la existencia de correlación inversamente proporcional existente entre estos factores.

Palabras Claves: <BIOTECNOLOGÍA>, <CALIDAD DEL AIRE>, < CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS >, <DIPSERIÓN ATMOSFÉRICA >, <ESPECTROFOTOMETRÍA>

ABSTRACT

The main purpose of this research was to evaluate the dispersion of NO₂ and SO₂ in the thermal complex of Virgen de Baños de Agua Santa city, by using the methodology of passive sampling based on the absorption of NO₂ and SO₂ by means of a receptor solution of triethanolamine (TEA) in propylene tubes placed 3 m above the ground level. First, 30 sampling points were set by a technical criterion and randomly, in a study domain of 270 around this thermal complex. The samples were analyzed in the laboratory by UV-visible spectrophotometry, and after the application of standardized formulas, the concentration data of NO₂ y SO₂ were collected from the study area, giving maximum values of 2,85 (ug/m³) at the point 30, week 1 for NO₂, and 1,86 (ug/m³) at point 9, week 1 for SO₂, whose values did not exceed the maximum permissible limits established by the Ecuadorian standard of quality, with a value of 200 ug/ m³ in one hour for NO₂ and 125 ug/m³ per a day for SO₂, in concordance with the ministerial agreement 097 A book VI Annex 4 Air quality. The results were captures in dispersion maps, using the ArcGIS software, wich, using a colorimetric scale, evaluated the points of highest and lowest concentration, concluding that the dispersion of pollutants in the study area is directly influenced by meteorological parameters such as the speed and direction of prevailing winds and precipitation, according to the data provided by the Family Park meteorological Station, which caused the rapid dispersion of the gases emitted by the stationary emission sources of the thermal complex, determining an inversely proportional correlation between these factors.

Keywords: <BIOTECHNOLOGY>, <AIR QUALITY>, <ATMOSPHERIC POLLUTANTS>, <ATMOSPHERIC DISPERSION>, <ESPECTROPHOTOMETRY>

INTRODUCCIÓN

Identificación del problema

Los contaminantes comúnmente medidos en la atmósfera, proceden de fuentes fijas como de fuentes móviles de combustión y los efectos producidos por éstos, son numerosos, afectando principalmente al ambiente y a la salud humana. Por tanto, la Organización Mundial de la Salud (OMS), se refiera a la contaminación de la atmósfera, como uno de los más relevantes estudios en salud, a nivel mundial. (Ballester, 2011, p.1)

El complejo Termas de la Virgen de la ciudad de Baños de Agua Santa, cuenta con piscinas de agua termal y piscinas de agua temperada, además de una piscina de olas, sauna, turco e hidromasaje. La climatización de estas instalaciones es realizada mediante tres calderos a diésel, los mismos que a través de la combustión, transforman dicho combustible en energía térmica, generando a través de chimeneas, diversos contaminantes atmosféricos, pudiendo afectar directamente al ambiente y a la salud de las personas que visitan o circundan el sector.

Desde su inauguración en octubre de 2017, el complejo Termas de la Virgen, recibe constantemente a miles de turistas nacionales y extranjeros como a la ciudadanía del cantón, razón por la cual se ha visto necesario desarrollar una evaluación de la dispersión de contaminantes atmosféricos, pues la presencia de éstos en la atmósfera es un indicador ambiental y por ende una herramienta importante para conocer y determinar la calidad del aire atmosférico de la zona en mención.

Dado que el complejo Termas de la Virgen, en la actualidad no cuenta con un estudio de la calidad del aire, la presente investigación servirá como base para que la Dirección de Saneamiento Ambiental del GAD Municipal de Baños de Agua Santa, tome las acciones correctivas para la prevención, control o reducción de contaminantes gaseosos que puedan afectar a la salud humana o al ambiente.

Justificación

El estudio de la calidad del aire es un recurso esencial en el desarrollo de la gestión ambiental y los datos que se obtienen a través del mismo, son empleados en varias actividades dentro de este ámbito, como el diseño, ejecución y valoración de las diferentes medidas de control de las fuentes

de contaminación y de las labores encaminadas al mejoramiento de la calidad del aire. (Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano Quito, 2015)

A través de la evaluación de la dispersión de contaminantes atmosféricos, se puede estimar su existencia y concentración en el ambiente, y si dicho contaminante se encuentra dentro los límites máximos permisibles o a su vez ha sobrepasado los mismos. (De la Cruz et al., 2011, p.3)

La evaluación de la dispersión de contaminantes atmosféricos en una zona determinada, es un tema de interés en la actualidad por el gran número de actividades y procesos industriales que se desarrollan constantemente. Los efectos causados por la asimilación de los gases NO_2 y SO_2 , pueden ser numerosos, por lo que su estudio es importante, con la finalidad de que la información generada sirva para que la entidad competente, tome las medidas necesarias para minimizar y controlar la emisión de estos gases al ambiente.

El NO_2 , constituye un gas tóxico, amarillento, que promueve la formación de ácidos y aumenta los niveles de material particulado ($\text{PM}_{2.5}$) en el ambiente, provoca efectos adversos sobre el sistema respiratorio, como la disminución de la capacidad y obstrucción de los pulmones, bronquitis aguda, entre otras afecciones. Una vez emitido a la atmósfera, puede transformarse en ácido nítrico (HNO_3), responsable, junto al ácido sulfúrico (H_2SO_4), de la lluvia ácida. (Chuet, 2017, p.2)

El dióxido de azufre (SO_2) constituye un gas incoloro, no inflamable y de olor sofocante. En su fase de oxidación en la atmósfera, forma sulfatos que pueden encontrarse en el material particulado y que en la aparición de humedad, forman ácidos perjudiciales para la salud y el ambiente. Los principales efectos de este contaminante suelen ser sobre el sistema respiratorio en general, afectando principalmente a quienes padecen de asma o bronquitis crónica. (Alvarado, 2006, pp.2-3)

El desarrollo del presente trabajo, beneficia al cuidado del ambiente y la salud de las personas de la zona de interés, a través de la obtención información relevante sobre concentración y dispersión de contaminantes atmosféricos NO_2 y SO_2 , mediante la ubicación de muestreadores pasivos en puntos claves del complejo Termas de la Virgen y sus alrededores, para su próxima cuantificación por espectrofotometría en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Escuela superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).

De esta manera, el presente estudio beneficiará a la población sobre la cual se desarrolla el mismo, como a la Dirección de Saneamiento Ambiental - Jefatura de Medio Ambiente del GAD Municipal de Baños de Agua Santa, la misma que tiene en su poder establecer las medidas para la prevención y control de emisiones de contaminantes NO₂ y SO₂ a la atmósfera, para brindar a la ciudadanía como a los turistas que visitan el complejo, un ambiente sano y seguro, pues el balneario Termas de La Virgen, es considerado como el complejo turístico de aguas termales más grande del Ecuador y uno de los más importantes de América Latina.

Dado que el estudio de la calidad del aire se encuentra dentro de las líneas de investigación de la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, correspondiente a la línea de Gestión de Ambiente y Territorio, el presente trabajo constituye un aporte investigativo como requisito para la obtención del título de Ingeniera en Biotecnología Ambiental.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Evaluar la dispersión de contaminantes atmosféricos del complejo Termas de la Virgen de la Ciudad de Baños de Agua Santa.

Objetivos específicos

- Establecer las concentraciones de los contaminantes NO₂ y SO₂ emitidos por las fuentes fijas de emisión de contaminantes de la zona de estudio.
- Evaluar la dispersión de los contaminantes NO₂ y SO₂ en el aire ambiente de la zona de estudio.
- Determinar los puntos con mayor concentración de contaminantes NO₂ y SO₂ en la zona de estudio.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

La Universidad Nacional de Colombia en conjunto con la zona metropolitana del Valle de Aburrá, Colombia, en el año 2008, estudió la contaminación atmosférica de la zona mediante muestreadores pasivos, así como la tasa de sedimentación en 15 vías principales del lugar. Los resultados indicaron que, en relación a los dióxidos de azufre y dióxidos de nitrógeno, su concentración se encontraba dentro de los valores establecidos por la Norma Colombiana Anual, sin embargo en 12 estaciones se superó el valor guía para NO₂ propuesto por la OMS. El estudio, permitió diferenciar zonas críticas y determinar la orientación de contaminación atmosférica. (Zapata et al., 2008)

En enero de 2011, se estudió la dispersión de contaminantes atmosféricos dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado, en una zona industrial de Cuba. El estudio se desarrolló a través del Sistema de Modelos de Dispersión Gaussiana de contaminantes, evaluando dos ambientes: urbano y rural, estudiando las concentraciones de SO₂ (µg/m³) durante 1 y 24 horas para un año, cuyos valores obtenidos superaron los límites permisibles (500, 50 y 20 µg/m³), en cuanto al NO_x y el material particulado, las concentraciones no sobrepasaron los valores de referencia. (De la Cruz et al., 2011, p.2)

En Ecuador, es posible destacar el trabajo realizado por Patricia Cueva en el año 2017, ex estudiante de Ingeniería en Biotecnología Ambiental de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, quien estudió los contaminantes SO₂ y NO₂ a través de muestreadores pasivos en el área industrial de la vía a la costa (Guayaquil). Los resultados obtenidos mostraron que los valores para dióxido de nitrógeno como para dióxido de azufre, se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por la norma Ecuatoriana. (Cueva, 2017, p.10)

En el año 2014, Cifuentes (2014, p.1), llevo a cabo la validación de la técnica de medición de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y ozono, a través de muestreadores pasivos, en la fábrica industrial INGESA de la ciudad de Quito, además estudió lo contaminantes microbiológicos presentes en dicha zona. Las muestras de los gases fueron analizadas por espectrofotometría,

cuyos resultados finales mostraron que las concentraciones de SO₂ y NO₂, no superan los límites establecidos por la OMS.

1.2. Atmósfera

Constituye una fina capa que rodea la superficie de la Tierra, formada por varios gases, entre los que se encuentran: nitrógeno en un 78.1%, oxígeno en un 21%, argón en un 0.9% y dióxido de carbono en un 0.03%, provenientes de fuentes de contaminación naturales como antropogénicas. Además, en el aire se encuentran varios gases en niveles inferiores al 0.002%, como es el caso del neón (Ne), metano (CH₄), helio (He), amoníaco (NH₃) y ozono (O₃). (Manahan, 2007, p.201)

1.2.1. Composición de la atmósfera

La composición química de la atmósfera es muy variada y depende de su cercanía a la superficie terrestre. Así, la región comprendida hasta los primeros 50 km de altitud, es la más estudiada debido al gran número de procesos naturales que se desarrollan en la misma y donde mayor influencia tiene las actividades antropogénicas. Los principales gases encontrados en esta región de la atmósfera son el nitrógeno 78%, oxígeno 21% y argón 0.9%, de su composición total. El 0.1% está formado por otros gases de baja concentración. (Doménech, 2000, p.10)

Tabla 1-1: Composición del aire seco en la tropósfera

Componente	% (en volumen)	ppm (en volumen)	% (en masa)	ppm (en masa)
Nitrógeno	78,08		75,6	
Oxígeno	20,95		23,1	
Argón	0,934		1,29	
Dióxido de carbono	0,035		0,048	
Neón	$1,82 \times 10^{-3}$	18,20		12,00
Helio	$5,24 \times 10^{-4}$	5,24		0,72
Kriptón	$1,14 \times 10^{-4}$	1,14		3,2
Xenón	$8,70 \times 10^{-4}$	0,087		0,41
Hidrogeno	$0,50 \times 10^{-4}$	0,50		0,035

Fuente: (Cabildo et al., 2013, p.355)

1.2.2. Propiedades físicas de la atmósfera

El estudio de las propiedades físicas de la atmósfera, es tan esencial como el estudio de su composición química, pues sus propiedades facilitan la comprensión de su química y contaminación. Dentro de estas propiedades físicas se encuentran la presión atmosférica, temperatura y densidad. (Cabildo et al., 2013, p.353)

1.2.2.1. Densidad

La densidad de la atmosfera varía con la altitud, mientras más cercana se encuentre a la superficie terrestre, su densidad será mayor, de tal forma que toda la masa de la atmósfera, a excepción de un 0.0001%, está a una distancia inferior a los 100 km, dentro de la cual, más del 99% se encuentra dentro de los 30 km desde la superficie de la Tierra. (Manahan, 2007, pp.415-416)

1.2.2.2. Presión atmosférica

Presión que ejercen los gases de la atmósfera, sobre la superficie de la Tierra, y que varía según la altura y el sitio geográfico donde sea medida, disminuyendo exponencialmente con la altura, al igual que la densidad del aire. La temperatura también influye sobre la variación de la presión atmosférica. Así, se considera como valor de presión normal, a la presión medida al nivel de mar, valor correspondiente a 760 mm Hg, igual a 1 atm. (Manahan, 2007, pp.415-416)

1.2.2.3. Temperatura

Propiedad física de la atmósfera que disminuye conforme aumenta su distancia a la superficie de la Tierra. Sin embargo, existe un fenómeno contrario llamado inversión térmica, en el cual la temperatura de la atmósfera aumenta conforme se incrementa la altitud, donde la circulación normal del aire se ve interrumpida, provocando una acumulación del aire en esta zona, así como de contaminantes atmosféricos en varias ocasiones. (Cabildo et al., 2013, p.354)

1.2.3. Capas de la atmósfera

La atmósfera es una capa muy delgada, no uniforme, pues sus características varían de acuerdo a su distancia con la superficie terrestre. Así, es posible diferenciar capas o regiones que varían en función de la temperatura y densidad. (Doménech, 2000, p.8)

1.2.3.1. Tropósfera

Capa que se encuentra en contacto con la superficie terrestre y se extiende desde los 10 hasta los 16 km de altitud aproximadamente. Aquí, la temperatura disminuye conforme aumenta la altitud, llegando a una temperatura máxima de -56°C , debido a que disminuye su contacto con el calor emitido por la superficie de la Tierra. Es la capa donde se desarrolla la vida, y se forman las nubes. (Cabildo et al., 2013, p.352)

En esta capa existen movimientos convectivos de masas de aire, horizontales y verticales. (Doménech, 2000, p.9)

1.2.3.2. Estratósfera

Junto al límite superior de la tropósfera se encuentra la estratósfera, con una altitud aproximada de 50 km. Contrario a la tropósfera, su temperatura aumenta con la altitud, acción provocada por la presencia de ozono que absorbe las radiaciones ultravioletas, dando como efecto el calentamiento y llegando a una temperatura máxima de -2°C , inferior a la de la tropósfera. (Cabildo et al., 2013, p.352)

1.2.3.3. Ionósfera

Región comprendida por la mesósfera y termósfera.

- **Mesósfera**

Capa que se extiende desde los 50 hasta los 85 km aproximadamente, y en la cual la temperatura desciende nuevamente con la altitud, llegando hasta los -92°C , esto debido a la ausencia de especies que absorban las radiaciones presentes. (Cabildo et al., 2013, p.352)

- **Termósfera**

Alcanza los 85 km de altitud aproximadamente, aquí la temperatura incrementa de nuevo, llegando hasta los 1200°C, pues contrario a lo que sucede en la mesósfera, en esta capa existen especies que absorben elevadas radiaciones ultravioletas. (Cabildo et al., 2013, p.352)

1.2.3.4. Exósfera

Capa límite superior de la atmosfera, que va de los 500 a 800 km de altitud. (Doménech, 2000, p.9)

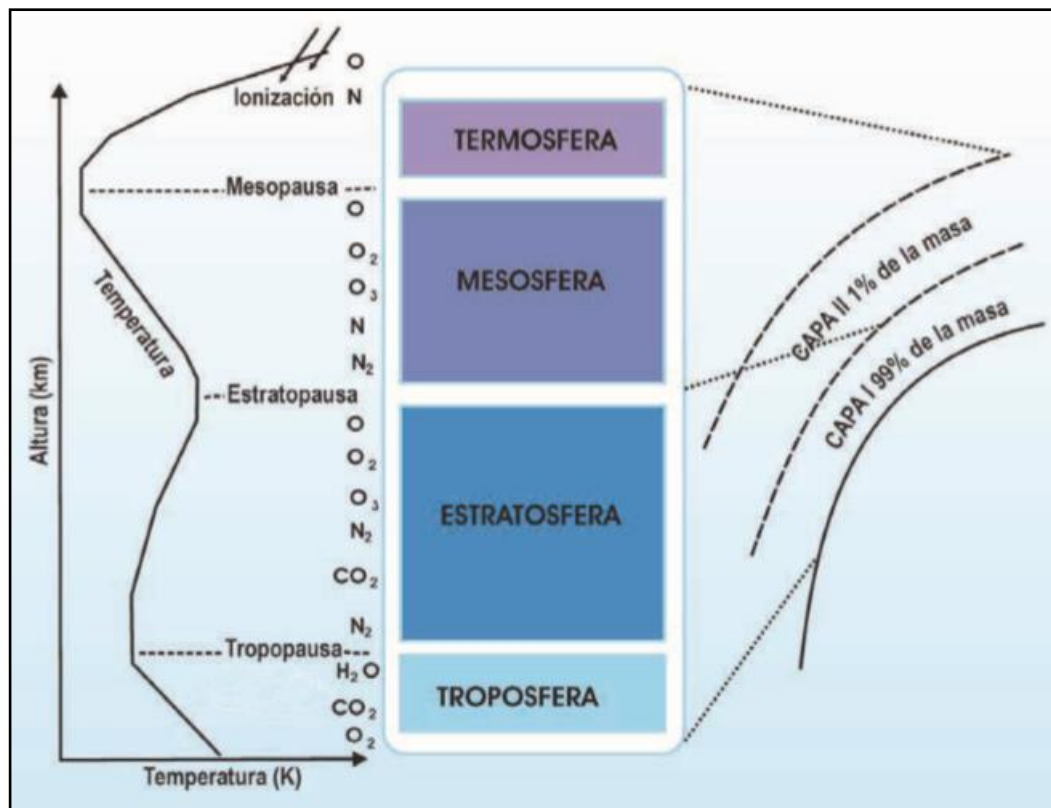


Figura 1-1: Capas de la atmósfera

Fuente: (Gallego et al., 2012, p.18)

1.3. Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica, es definida por la ASTM International (American Society for Testing and Materials), como la aparición de agentes no deseables a la composición natural de la atmósfera, y que, a determinada concentración, sean susceptibles de afectar considerablemente la salud del hombre o sus bienes. (Contreras, y Molero, 2009, p.33)

El 80% de los gases que contaminan la atmósfera, provienen principalmente de la combustión de combustibles fósiles. Así, la principal fuente de contaminación atmosférica lo constituyen las zonas industriales o centros urbanos. Sin embargo, según la estabilidad del contaminante y de las condiciones ambientales que influyan en su entorno, el nivel de contaminación puede llegar a afectar a zonas que se encuentren a mayor o menor distancia de la fuente de emisión de los mismos. (Doménech, 2000, pp.49-50)

1.3.1 Destino de los contaminantes atmosféricos

La mayor cantidad de contaminantes atmosféricos, tienen como destino la parte inferior de la atmósfera (tropósfera), lugar en el cual sufren la acción química de diferentes especies y la acción física de condiciones meteorológicas, que abundan en dicha región, a esto se suman parámetros como la altitud y el comportamiento de los contaminantes. En erupciones volcánicas, los contaminantes pueden ser difundidos hasta zonas más elevadas. (Doménech, 2000, p.29)

En lo absoluto, las áreas continentales del planeta, son el lugar donde se origina la contaminación, mientras que los océanos, por su gran magnitud y extensión, son el destino final de los contaminantes; es decir donde éstos se depositan finalmente después todo proceso. (Doménech, 2000, p.29)

1.3.2. Fuentes de contaminación atmosférica

1.3.2.1. Fuentes naturales

La mayor cantidad de contaminantes presentes en la atmósfera, tienen por lo menos un origen natural, excepto ciertas sustancias organocloradas, compuestos aromáticos y olefinas, que tienen origen estrictamente antropogénico. Dentro de estas fuentes de contaminación se encuentran: la vegetación (sustancias orgánicas), procesos de fermentación anaerobia, y aerobia, procesos

biológicos en el suelo (fijación de nitrógeno), tormentas (descargas eléctricas), erupciones volcánicas, incendios forestales. (Doménech, 2000, p.22)

1.3.2.2. Fuentes antropogénicas

La contaminación antropogénica proviene principalmente de zonas de gran incidencia poblacional o de elevado grado industrial. Dependiendo de las condiciones climáticas o la estabilidad de los contaminantes, estos pueden localizarse en zonas más cercanas o lejanas de la fuente de origen. (Doménech, 2000, p.24)

1.3.3. Contaminantes atmosféricos

Dentro de los contaminantes que influyen en el deterioro de la atmósfera se encuentran gases, vapores y partículas. Entre los principales contaminantes están los gases inorgánicos como: óxidos de nitrógeno, azufre y carbono. Los gases orgánicos, se los puede encontrar de varios tipos y conforman una categoría importante en el estudio de la contaminación atmosférica, entre estos se encuentran los causantes del neblumo o smog fotoquímico. Las partículas constituyen otro tipo de contaminantes que se pueden encontrar en la atmósfera. (Manahan, 2007, p.466)

1.3.3.1. Contaminantes primarios

Se consideran como contaminantes primarios, aquellos que son emitidos directamente a la atmósfera desde la fuente de emisión. Entre estos contaminantes se encuentran: Monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos y partículas. Los cuatro primeros se encuentran en estado gaseoso, mientras que las partículas están constituidas por partículas de sólidos y líquidos dispersos en el aire. (Cabildo et al., 2013, p.372)

1.3.3.2. Contaminantes secundarios

Considerados de mayor relevancia, son aquellos que se forman en la atmósfera a través de los procesos químicos que influyen sobre los contaminantes primarios. Estos contaminantes, son generados por la propensión natural de la atmósfera a oxidar lo gases traza que se encuentran en ella. Entre estos contaminantes se encuentran el ácido sulfúrico (H₂SO₄) y dióxido de nitrógeno (NO₂), que se generan por la oxidación de los contaminantes primarios SO₂ y NO respectivamente. (Baird, y Cann, 2012, p.142)

Tabla 2-1: Principales contaminantes atmosféricos y sus fuentes

Contaminante	Formación	Estado físico	Fuentes
Partículas en suspensión (PM): PM ₁₀ humos negros	Primaria y secundaria	Sólido, líquido	Vehículos Procesos industriales Humo de tabaco
Dióxido de azufre (SO ₂)	Primaria	Gas	Vehículos Procesos industriales
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	Primaria y secundaria	Gas	Vehículos Estufas de gas
Monóxido de Carbono (CO)	Primaria	Gas	Vehículos Combustibles en interiores Humo de tabaco
Compuesto orgánicos volátiles (COVs)	Primaria y secundaria	Gas	Vehículos, industria, humo de tabaco Combustibles en industrias
Plomo (Pb)	Primaria	Sólido (partículas finas)	Vehículos, industria
Ozono (O ₃)	Secundaria	Gas	Vehículos (secundario a foto-oxidación de NO _x y COVs)

PM₁₀: partículas con un diámetro inferior a 10 µm. NO_x: óxidos de nitrógeno.

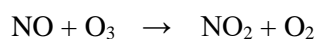
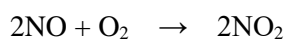
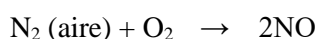
Fuente: (Ballester, 2005, p.2)

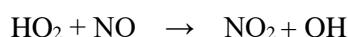
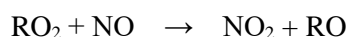
1.3.3.3. Óxidos de nitrógeno (NO_x)

El monóxido de nitrógeno (NO), en conjunto con el dióxido de nitrógeno (NO₂) forman los llamados óxidos de nitrógeno (NO_x). Además, los NO_x son responsables de la formación de ozono troposférico (O₃), uno de los contaminantes criterios considerados dentro de la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire. (Acuerdo Ministerial 097A, 2015, p.39)

Los óxidos de nitrógeno son contaminantes emitidos directamente a la atmósfera en forma de NO, el cual puede ser transformado en NO₂ y otros derivados. Estos son emitidos por fuentes naturales o antropogénicas en procesos industriales, cuando los gases de combustión son emitidos a la atmósfera, la mayor cantidad de NO_x se transforma en NO₂. (Sánchez et al., 2011, p.3)

Las reacciones de tipo fotoquímicas de mayor importancia en la transformación de NO a NO₂, son:





La mayor cantidad de NO_2 , se transforma en ácido nítrico (HNO_3) y sales de nitrato. De tal forma que los NO_x , como sus compuestos derivados están presentes en la atmósfera y reaccionan de tres formas como: gases en el aire, ácidos en el agua de agua, o como sales. (Sánchez et al., 2011, p.3)



Los métodos para la medición de NO_2 en el aire se fundamentan en la adsorción del NO_2 por la trietanolamina (TEA), dando como resultado un nitrito. (Sánchez et al., 2011, p.3)

1.3.3.3.1. Dióxido de nitrógeno (NO_2)

Gas de coloración café rojizo, causa irritación y resulta tóxico a elevadas concentraciones. Reacciona rápidamente, y se formado por la oxidación del monóxido de nitrógeno (NO). (García, 2013, p.2)

De origen natural en tormentas eléctricas o erupciones volcánicas, y antropogénico en la combustión de motores que funcionan a diésel, y demás procesos industriales. Actúa como precursor en la generación de ozono (O_3), y otros oxidantes que afectan principalmente a la vegetación. (Zapata et al., 2008, p.3)

Considerado contaminante primario como secundario, pues es generado directamente por una fuente como vehículos automotores, o encontrado en la atmósfera por la oxidación del monóxido de nitrógeno que reacciona con el oxígeno y el ozono rápidamente, razón por la cual, en las fuentes de emisión de óxido de nitrógeno, es posible encontrar bajas concentraciones de este último. (Zapata et al., 2008, p.3)

Alrededor del 66% de NO_2 encontrado en la atmosfera, proviene de fuentes de contaminación antropogénica, en su mayoría de la combustión de combustibles fósiles y la quema de biomasa. El 16% proviene de los procesos de actividad microbiana que se dan en el suelo, mientras que el 18% restante corresponde al NO_2 generado directamente en la atmósfera. (Doménech, 2000, p.25)

- Efectos del dióxido de nitrógeno

A altas concentraciones puede causar irritación de los alveolos y aumento de la probabilidad de contraer enfermedades pulmonares. (García, 2013, p.2)

Varios estudios han demostrado que la exposición prolongada a NO₂, incrementa los signos de bronquitis en niños con problemas asmáticos y es causante de la disminución de la función pulmonar. (Organización Mundial de la Salud, 2018)

1.3.3.4. Óxidos de azufre (SO_x)

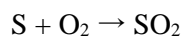
En comparación con los óxidos de nitrógeno, cuyo tiempo de residencia es aproximadamente tres años, los óxidos de azufre pueden encontrarse en la atmósfera por un periodo de tiempo de días a semanas, no obstante, los efectos causados por estos, pueden ser perjudiciales, y junto a los óxidos de nitrógeno, son causantes de la lluvia ácida, afectando directamente a la superficie terrestre. (Quevedo, y Calderón, 2018, p.7)

1.3.3.4.1. Dióxido de azufre (SO₂)

Gas incoloro, no inflamable ni explosivo, se lo puede percibir a una concentración de 260 a 860 ug/m³ en la atmósfera. (García, 2013, p.4)

El tiempo de residencia del SO₂ en la atmósfera es de 6 - 13 días aproximadamente, y en comparación con los óxidos de nitrógeno, es más susceptible de ser transportado a largas distancias desde su fuente, debido a la acción de las masas de aire. (Quevedo, y Calderón, 2018, p.7)

La quema de combustibles fósiles, genera, además de los productos de combustión, una cantidad no despreciable de compuestos de azufre, entre ellos el dióxido de azufre (SO₂). (Cabildo et al., 2013, p.375)



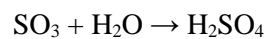
El SO₂ se genera en industrias dedicadas a la fundición de metales, en erupciones volcánicas, y de forma indirecta, en procesos de descomposición biológica. Al ser un gas que se emite a la atmósfera, resulta perjudicial para la salud humana, afectando directamente al sistema

respiratorio, y a la vegetación. El fenómeno de las conocidas “nieblas mortales” en Londres, tiene como principal causante el SO₂. (Cabildo et al., 2013, p.375)

No obstante, los efectos de mayor impacto se deben a la oxidación del azufre (SO₂) en trióxido de azufre (SO₃), al reaccionar con el oxígeno presente en el aire. (Cabildo et al., 2013, p.376)



El trióxido de azufre (SO₃), reacciona con el vapor de agua presente en el aire, formando ácido sulfúrico (H₂SO₄), que es un aerosol perjudicial. El H₂SO₄ es arrastrado a través de la lluvia, por gravedad, hacia la superficie terrestre, dando como resultado la conocida como “lluvia ácida”, causando la acidificación de la superficie terrestre, afectando a la vegetación e incrementando la degradación de edificios y monumentos. (Cabildo et al., 2013, p.375)



- Efectos del dióxido de azufre (SO₂)

Gas irritante, ataca principalmente al sistema respiratorio, provocando la aparición de enfermedades cardiovasculares. Los niños, así como personas mayores de 50 años, sensibles o con problemas asmáticos o de bronquitis, son las más afectadas por las emisiones de este gas. (García, 2013, p.4)

Una persona expuesta a las emisiones de este gas, puede sufrir de dificultad para respirar o verse afectada por la constante secreción mucosa. La muerte en una persona a causa del SO₂, se da a una concentración aproximada de 500 ppm, sin embargo, en pruebas de laboratorio con animales, no se ha encontrado que cause su muerte o provoque afecciones, a una concentración de 5 ppm. (Manahan, 2007, p.471-472)

1.4. Normativa Ambiental

1.4.1. Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente

La Norma de Calidad del Aire Ambiente, del Acuerdo Ministerial 097A, Libro VI Anexo 4, establece los límites de concentración máximo permitido para cada contaminante criterio en el

aire ambiente, dentro de los cuales se encuentran el dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre.
(Acuerdo Ministerial 097A, 2015, p.51-52)

Tabla 3.1: Límites de concentración máxima permitida para NO₂ y SO₂

Contaminante	Concentración máxima permitida (ug/m ³)*	Tiempo de medición
NO ₂	200	Concentración máxima permitida en 1 hora.
	40	Promedio aritmético de la concentración de todas las muestras recogidas durante un año.
SO ₂	500	Concentración máxima permitida en 10 minutos.
	125	Concentración máxima permitida en 24 horas.
	60	Promedio aritmético de la concentración de todas las muestras recogidas durante un año.

* Microgramos por metro cúbico

Fuente: (Acuerdo Ministerial 097A, 2015, pp.51-52)

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

Los límites de concentración máxima permitida descritos en esta Norma, están sometidos a los valores de referencia de Temperatura y presión atmosférica de 25 °C y 760 mmHg respectivamente. (Acuerdo Ministerial 097A, 2015, pp.51-52)

1.4.1. Calidad del Aire y Salud – Organización Mundial de la Salud (OMS)

Los valores guías fijados por la OMS, para proteger la salud de las personas por efectos del NO₂, corresponden a 40 µg/m³ para la media anual y 200 µg/m³ para la media de una hora. Los valores fijados para SO₂, corresponden a 20 µg/m³ para periodos de 24 horas y de 500 µg/m³ para un periodo de 10 minutos. (Organización Mundial de la Salud, 2018)

1.5. Muestreo atmosférico

El muestreo atmosférico corresponde a la medición de la contaminación del aire a través de la toma de muestras, de manera discontinua. Se emplea principalmente en la determinación de la concentración de contaminantes suspendidos en el aire. Las muestras tomadas se someten a un análisis, para posteriormente estudiar su concentración y realizar la caracterización correspondiente de los mismos. (Instituto Nacional de Ecología, 2012, p.16)

1.5.1. Frecuencias y tiempos de muestreo

Las frecuencias y tiempos de muestreo, estarán directamente relacionados con los objetivos y el tipo de estudio que se desea realizar. La frecuencia corresponde al número de muestras a recogerse durante un periodo de tiempo definido, la misma que establecerá la precisión de los valores obtenidos, y dependerá de las condiciones climáticas, estacionales o referentes al tipo de contaminante a estudiarse, con la finalidad de obtener datos representativos de la zona de interés. (Gallego et al., 2012, p.159)

De esta forma, según las frecuencias y tiempos de muestreo, es posible establecer tres tipos de muestreo:

1.5.1.1. Muestreo continuo

La muestra es tomada de manera continua, ya sea por el lapso de un mes o un año. El muestreo puede realizarse en tiempo real como es el caso de los analizadores automáticos, o en intervalos previamente establecidos; durante una hora por día, 10 minutos recorridos, o por periodos de una hora. (Gallego et al., 2012, p.160)

1.5.1.1. Muestreo periódico

Realizado semanal, mensual o estacionalmente. (Gallego et al., 2012, p.160)

1.5.1.1. Muestreo puntual

Muestreo realizado en delimitados días u horas. (Gallego et al., 2012, p.160)

1.5.2. Metodología de muestreo

En función de los costos y características de funcionamiento, se pueden diferenciar 5 métodos para la medición de contaminantes en la atmósfera. (Gallego et al., 2012, p.162)

1.5.1.2. Muestreadores pasivos

Método discontinuo. Consiste en un tubo captador que, a través de un proceso de difusión, capta los gases contaminantes por adsorción o absorción en un substrato químico, previamente seleccionado. Una vez transcurrido el tiempo de exposición, la muestra es trasladada al laboratorio para su respectivo análisis cuantitativo, mediante la desorción del contaminante recogido. A través de este método, es posible medir varios contaminantes como dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), amoníaco (NH₃), compuestos orgánicos volátiles (COVs) y ozono (O₃). (Gallego et al., 2012, p.162)

- **Ventajas**

Es un método simple, no implica costos elevados y su funcionamiento no requiere de energía eléctrica. (Gallego et al., 2012, p.162)

De fácil operación y no requiere de procesos de mantenimiento. El porcentaje de errores personales es mínimo y se considera como un método fiable. (Bartual, 2013, p.3)

- **Desventajas**

A través de este método, no es posible obtener valores mínimos y máximos, únicamente se obtiene un promedio del contaminante recogido. Requiere de análisis de laboratorio. (Gallego et al., 2012, p.163)

1.5.1.2. Muestreadores activos

Método discontinuo. Se diferencia del método pasivo porque usa una bomba de aspiración para circular el aire por el medio captador, sea este físico o químico. De mayor costo y complejidad de uso. Son los más utilizados en la actualidad. La muestra puede ser recogida en bolsas plásticas o recipientes de vidrio o metal, a través de un filtro en disoluciones absorbentes. (Gallego et al., 2012, p.165)

1.5.1.2. Métodos automáticos

Método continuo, y el de mejor resolución respecto a sus mediciones. Empleado para el análisis de contaminantes criterio, mercurio y otros compuestos, a través del cual es posible obtener resultados en tiempo real, valores máximos y mínimos de concentración, con la finalidad de

establecer medidas de contingencia. Son métodos que requieren de un elevado costo de operación, como de adquisición, además de requerir personal experto para su manejo, mantenimiento y calibración respectiva. (Instituto Nacional de Ecología, 2012, p.18)

Dentro de este método se encuentran:

- **Analizadores automáticos:** Proporcionan valores de concentración, en función de las características físicas o químicas de los contaminantes de estudio. (Instituto Nacional de Ecología, 2012, p.18)
- **Monitores de partículas:** Para el estudio de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$). (Instituto Nacional de Ecología, 2012, p.18)

1.5.1.2. Sensores remotos

Método continuo, que proporciona información de varios componentes encontrados en la trayectoria determinada o en procedimientos complejos y móviles, facilitando la construcción de mapas en tercera dimensión, entre otros. Son utilizados en la medición de tipo vertical de gases contaminantes como el ozono troposférico. Sin embargo, es un método muy complejo y de elevado costo. Su funcionamiento consiste en la emisión de radiaciones y un receptor, donde los contaminantes absorben dichas radiaciones, que luego son cuantificadas en el laboratorio. (Gallego et al., 2012, pp.169-170)

1.5.1.2. Bioindicadores

Método discontinuo. Organismos vivos que al ser expuestos a determinadas condiciones climáticas, es posible observar una alteración de su composición química, como de sus funciones vitales, gracias a lo cual, es posible conocer la existencia de contaminantes o sustancias nocivas en el ambiente. Al ser de fácil uso y bajo costos, las plantas son las más utilizadas, para la verificación de los efectos de los contaminantes atmosféricos sobre los seres vivos. Algunos bioindicadores, necesitan de su posterior análisis en el laboratorio. (Gallego et al., 2012, p.170)

1.6. Dispersión de contaminantes atmosféricos

La dispersión de un contaminante, hace referencia al transporte de éste en la atmósfera, y está determinada por varios factores, así las variaciones meteorológicas, como las características

topográficas del sitio de interés, influyen en éste fenómeno, siendo el viento, el principal agente que determina su comportamiento y reparto final. (Perdiz, 2016, p.30)

El viento, hace referencia al movimiento en masa del aire, de forma horizontal, que se da por las variaciones de presión atmosférica. La velocidad del viento, influye en gran medida, en la concentración del o los contaminantes en un área determinada. A mayor velocidad del viento, menor será la concentración de contaminantes, pues este se encarga de dispersarlos rápidamente en el área de interés, siendo evidente la relación inversamente proporcional entre estas variables. (Gavidia, 2015, p.2)

A nivel mundial, el transporte de los contaminantes en la atmósfera, está influenciado por las variaciones climáticas en relación al viento. De esta forma, los vientos que influyen en la dispersión de contaminantes y predominan en Centroamérica y Sudamérica (norte), van de este a oeste, mientras que en Norteamérica y Sudamérica (sur), van de este a oeste. (Gavidia, 2015, p.3)

El comportamiento de un contaminante, permite valorar su persistencia y predecir el posible reparto de éste o dispersión en el medio natural en el que se encuentran, y con ello evaluar el impacto que pueden tener estos, sobre la colectividad o ecosistemas presentes en la zona de interés. (Dómenech, 1999, p.30)

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipo de la investigación

La presente investigación es de tipo Descriptiva – Aplicativa.

Descriptiva: porque busca conocer la situación actual del problema a estudiarse, a través de la descripción exacta de los procesos y objetos estudiados. Además, pretende la recolección de datos sobre la base de una hipótesis, para exponer y resumir la información de manera cuidadosa, y luego analizar detalladamente los resultados, a fin de extraer generalizaciones significativas que contribuyan al conocimiento sobre el tema.

Aplicativa: porque se caracteriza por utilización, aplicación y consecuencias básicas de los conocimientos adquiridos sobre el trabajo a desarrollarse. Además, se centra en el estudio y solución de problemas de la vida social y real. La investigación aplicada, está estrechamente relacionada con la investigación básica, que se caracteriza por partir de un marco teórico.

2.2. Diseño de la investigación

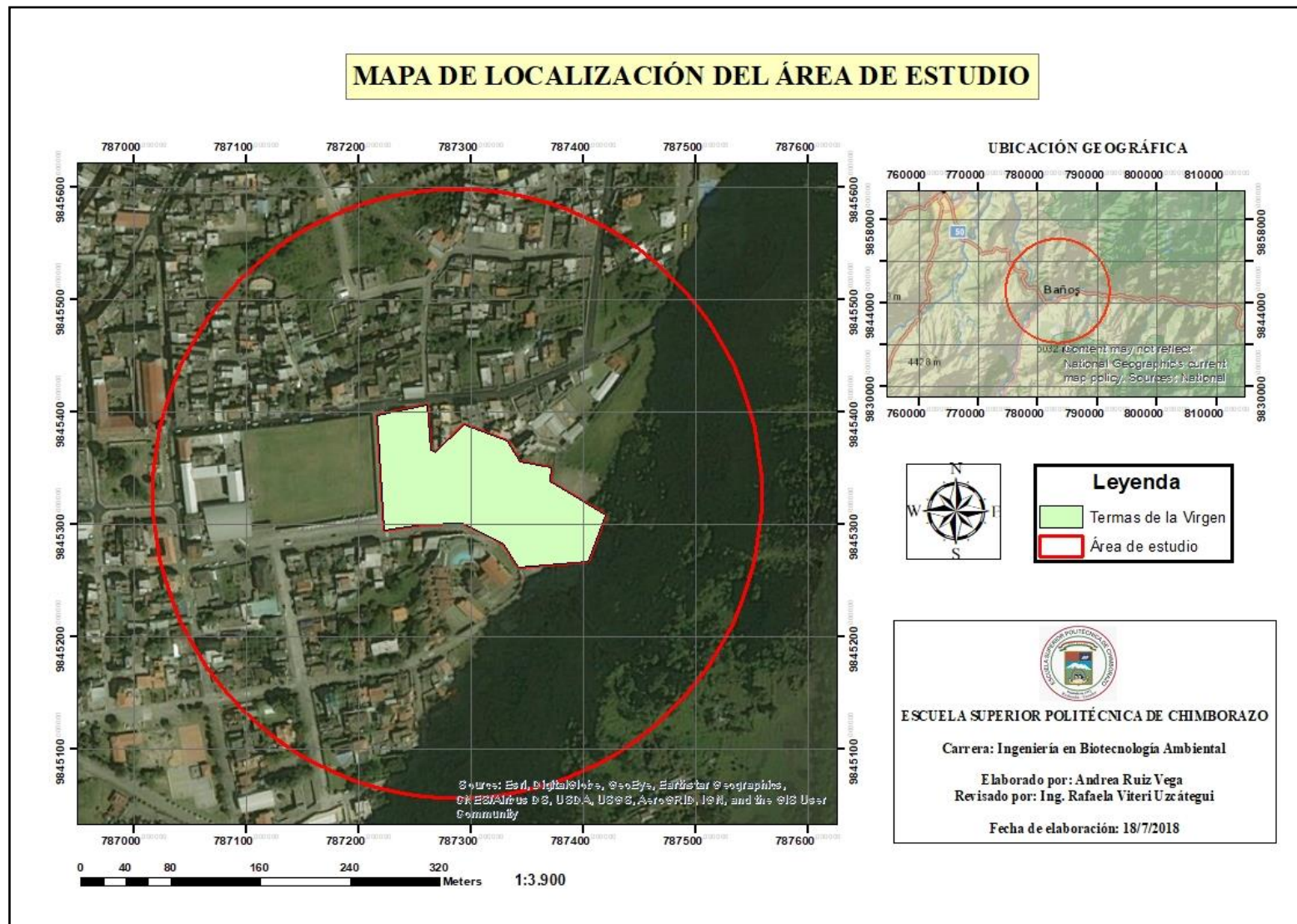
No experimental

2.3. Obtención de la muestra

2.3.1. Población de estudio

Para el presente trabajo de investigación, se consideró como población de estudio, el Complejo Termas de la Virgen y sus alrededores, localizado en el Cantón Baños de Agua Santa, parroquia urbana de Baños, Calle Luis A. Martínez.

MAPA DE LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



Mapa 1-2: Localización del área de estudio.

Realizado por: RUIZ, Andrea, 201

2.3.2. Tamaño de la muestra

Una vez analizada la zona de estudio, y considerando que ésta es de gran afluencia vehicular y de personas y que a la vez se encuentra ubicada en una zona hotelera de gran relevancia en la ciudad, se fijó a criterio técnico, un total de 30 puntos de muestreo, seleccionados aleatoriamente, dentro de un dominio de estudio que cubre una región de 270 m a la redonda.

2.3.3. Selección de la muestra

Para la fijación del dominio de estudio y selección de los puntos de muestreo, se consideró la cercanía a las fuentes fijas de emisión (chimeneas), la dirección del viento, la distribución de la población en las áreas de mayor influencia, puntos críticos cercanos al proyecto (colegios, parques, hoteles, centros de salud, lugares de comida), además de la infraestructura óptima y libre de obstáculos que faculte la colocación de los muestreadores.

Además, se consideró lo establecido en Real Decreto 102/2011 (Boletín Oficial Español, 2011), relativo a la mejora de la calidad del aire, donde se establece que los puntos de muestreo deberán estar situados de tal manera que se evite la medición de microambientes muy pequeños en sus proximidades.

Tabla 1-2: Georreferenciación de los puntos de muestreo para NO₂ en el Complejo Termas de la Virgen

Puntos de muestreo	Coordenadas		
	Este (X)	Note (Y)	Altura (Z)
P 01	787151	9845154	1789
P 02	787249	9845156	1802
P 03	787257	9845073	1804
P 04	787284	9845169	1803
P 05	787321	9845194	1804
P 06	787345	9845223	1800
P 07	787369	9845237	1805
P 08	787326	9845267	1806
P 09	787299	9845281	1806
P 10	787252	9845292	1804
P 11	787225	9845290	1804
P 12	787162	9845291	1803
P 13	787081	9845280	1805
P 14	787135	9845236	1801
P 15	787146	9845397	1803
P 16	787220	9845396	1801
P 17	787257	9845401	1802
P 18	787386	9845426	1805
P 19	787490	9845509	1808
P 20	787259	9845508	1801
P 21	787239	9845362	1801
P 22	787221	9845347	1800
P 23	787240	9845329	1804
P 24	787277	9845337	1805
P 25	787304	9845359	1805
P 26	787341	9845340	1806
P 27	787369	9845329	1813

P 28	787372	9845300	1814
P 29	787330	9845307	1811
P 30	787320	9845320	1813

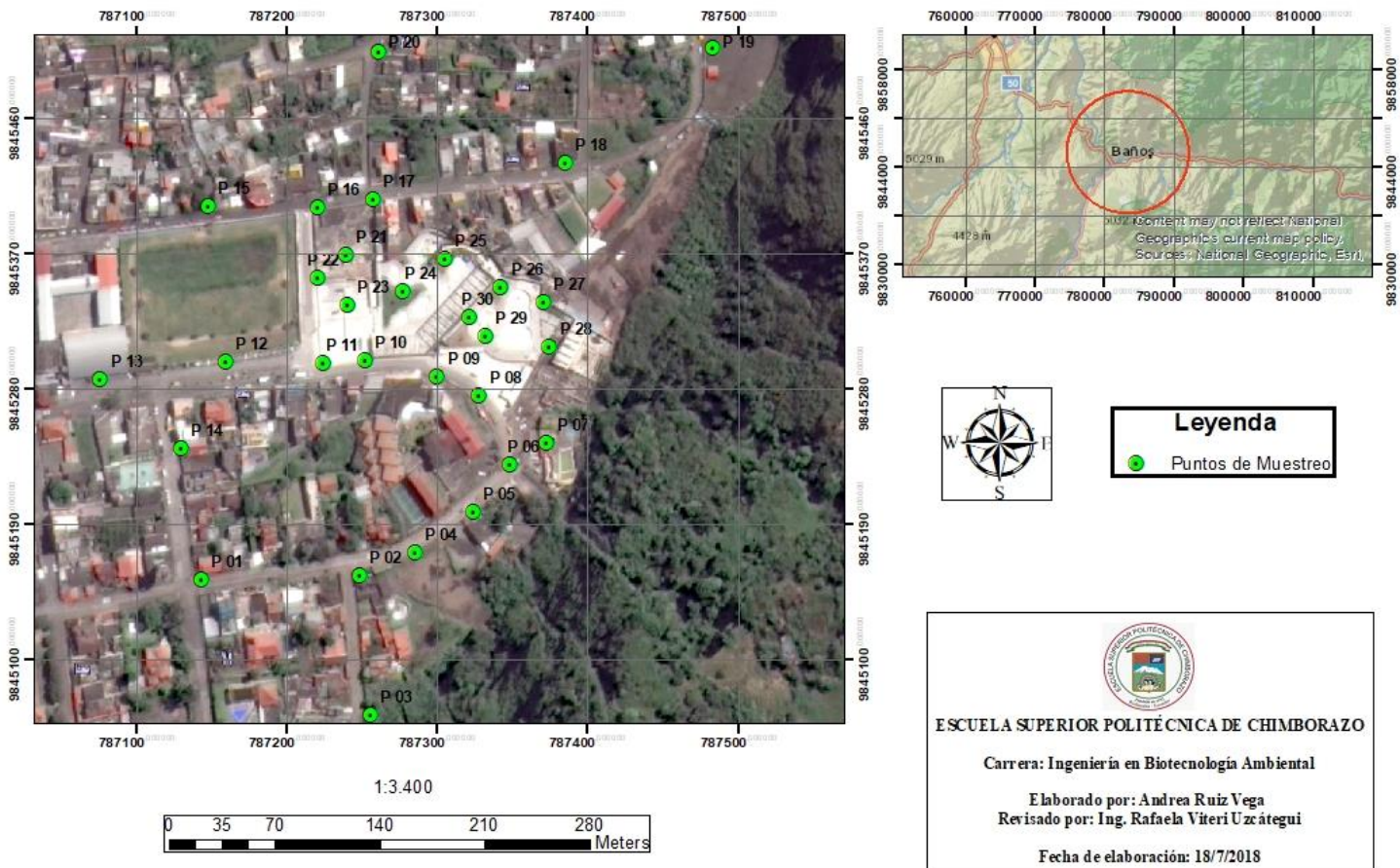
Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

Tabla 2-2: Georreferenciación de los puntos de muestreo para NO₂ en el Complejo Termas de la Virgen

Puntos de muestreo	Coordenadas		
	Este (X)	Note (Y)	Altura (Z)
P 01	787151	9845154	1789
P 02	787369	9845237	1805
P 03	787326	9845267	1806
P 04	787252	9845292	1804
P 05	787162	9845291	1803
P 06	787257	9845401	1802
P 07	787240	9845329	1804
P 08	787277	9845337	1805
P 09	787369	9845329	1813
P 10	787330	9845307	1811

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

MAPA DE GEORREFERENCIACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE NO₂



Mapa 2-2: Localización de los puntos de muestreo de NO₂

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018



Mapa 3-2: Localización de los puntos de muestreo de SO₂

Realizado por: RUIZ, Andrea,

2.4. Técnicas de recolección de datos

Aplicando la técnica de observación directa, se identificó las áreas de mayor interés dentro del complejo y sus alrededores, logrando establecer los puntos estratégicos de muestreo. Esto permitió tomar nota de los hechos que están enmarcados dentro del problema objeto de estudio, facilitando el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Mediante el trabajo de campo, se obtuvo de forma directa, fotografías de la zona de interés, así como datos de la georreferenciación de los puntos de muestreo.

Con la técnica de revisión documentada, se realizó la verificación de documentos relacionadas con el presente trabajo de investigación, mediante el análisis de datos o fuentes secundarias como: libros, trabajos de investigación, revistas, manuales y normativas. Además se usaron Técnicas de Laboratorio, para el análisis de las concentraciones de los contaminantes SO₂ y NO₂ emitidos por las chimeneas de la zona de estudio.

Utilizando el software especializado ArcGIS, se logró evaluar la dispersión de los gases contaminantes, a través de la elaboración de mapas de dispersión.

2.5. Elaboración de Muestreadores Pasivos para la recolección de NO₂ y SO₂ en el aire.

La metodología usada para el muestreo pasivo de los contaminantes NO₂ y SO₂ del complejo Temas de la Virgen de la ciudad de Baños de Agua Santa, se basó en la preparación, colocación, exposición, recolección y transporte de muestreadores pasivos, y su posterior análisis en el laboratorio por espectrofotometría UV-Visible.

2.5.1. Preparación de Muestreadores Pasivos para la recolección de NO₂ y SO₂ en el aire

Los muestreadores fueron preparados en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, el mismo que se encuentra a cargo del Ing. Hanníbal Brito. Estos consistieron en tubos de polipropileno de 75 mm de alto por 12 mm de diámetro interno, en los cuales se dispuso 3.5 mL de la solución captadora de trietanolamina para NO₂ como para SO₂, estos fueron etiquetados previamente de acuerdo al tipo de contaminante a analizarse y al punto de muestreo perteneciente a cada uno. Además, se elaboraron dispositivos de protección ante las condiciones atmosféricas de la zona y de sostén de los muestreadores, para cada punto de muestreo.

El muestreo se ejecutó durante 7 días, por un periodo total de 5 semanas, a partir del 25 de abril al 30 de mayo del presente año. Una vez culminado el tiempo total de muestreo, los muestreadores fueron transportados al laboratorio, tomando las debidas precauciones, para su respectivo análisis por espectrofometría UV – Visible.

2.5.1.1. Materiales

Materiales de campo

- Protectores para los muestreadores pasivos de NO₂ y SO₂
- Cuerda resistente
- Pinzas para sostener los muestreadores pasivos
- Gradilla
- Cooler
- Escalera
- Flexómetro
- Cámara
- GPS

Materiales de laboratorio

Materiales y equipos

- Balanza analítica
- 1 vaso de precipitación de 500 mL
- 1 pipeta de 5 mL
- 1 pipeta de 10 mL
- 1 probeta de 500 mL
- Pera de succión
- Varilla de agitación
- Mandil, guantes y mascarilla
- Tubos muestreadores

Sustancias y reactivos

- Agua destilada
- Trietanolamina (TEA)

- N-butanol

2.5.1.2. Preparación de la solución captadora para NO_2 y SO_2

Pesar 7.5 g de trietanolamina y diluir en 250 mL de agua destilada; posteriormente adicionar 1.5 mL de n-butanol y mezclar bien con la ayuda de una varilla de agitación, hasta obtener una mezcla homogénea. Luego aforar hasta 1000 mL con agua destilada. Se recomienda conservar la solución preparada en una botella ámbar y mantenerla en refrigeración, donde puede tener una duración máxima de hasta 2 meses. (Manrique, y Ossa, 2010, p.34)

Una vez preparado el líquido absorbente, colocar 3.5 mL del mismo en cada tubo. Posteriormente, conservar los tubos en un cooler para mantenerlos en refrigeración hasta su momento de exposición. (Manrique, y Ossa, 2010, p.34)

2.6. Colocación de muestreadores pasivos

Los muestreadores deben ser colocados de 2.5 a 3 metros sobre el nivel del suelo, pues a esta altura la toma de muestras se encuentra libre de restricciones que puedan afectar la circulación normal del aire y es el rango recomendado para estudios sobre calidad de este recurso, además de evitar acciones de vandalismo en los diferentes puntos de muestreo y la cercanía a árboles, a través de los cuales, insectos puedan ingresar a los mismos y permanecer en ellos. (Oliva et al., 2001, p.13)

Es indispensable etiquetar los muestreadores previo a su colocación, de acuerdo al punto de muestreo y al tipo de contaminante a estudiarse. Posteriormente se procede a ubicar los muestreadores en los puntos establecidos, a una altura de 3 metros sobre el nivel del suelo, sea en columnas o postes eléctricos, considerando que los mismos sean de fácil acceso al momento de monitorearlos, con infraestructura óptima y libre de obstáculos que puedan alterar la toma de muestras. (Oliva et al., 2001, p.13)

2.7. Exposición de muestreadores

La exposición de los captadores inicia una vez retirado el tapón de los mismos, por el lapso de tiempo establecido anteriormente. (Oliva et al., 2001, p.13)

Este proceso se realizó cada 7 días, por un periodo de tiempo de 5 semanas, con fecha de inicio del 25 de abril hasta el 30 de mayo del presente año.

2.8. Recolección y transporte de Muestreadores Pasivos

Una vez culminado el tiempo de exposición de los muestreadores, fueron retirados, tapados herméticamente y puestos en refrigeración con la ayuda de un cooler, hasta su traslado al Laboratorio de Investigación de la Facultad de la Ciencias de la ESPOCH.

2.9. Análisis muestral

El análisis de los muestreadores pasivos de NO₂ y SO₂, fue realizado en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Panamericana Sur km 1 ½.

2.9.1. Análisis de muestreadores pasivos de NO₂

2.9.1.1. Materiales y equipos

- Espectrofotómetro UV-Visible
- Balanza analítica
- Campana extractora de gases
- Agitador magnético
- Barra de agitación
- 2 vasos de precipitación de 100 mL
- 2 pipetas de 1 mL
- 1 pipeta de 10 mL
- 1 espátula
- 1 mortero y 1 pistilo
- 2 peras de succión
- Papel aluminio
- Mandil, guantes y mascarilla
- Tubos muestreadores de NO₂

2.9.1.2. *Sustancias y Reactivos*

- Naftilamina
- Agua destilada
- Ácido acético
- Ácido sulfanílico

2.9.1.3. *Preparación de reactivos para las pruebas de colorimetría*

Para la realización de las pruebas de colorimetría en NO_2 , se preparan dos reactivos A y B. (Doval, 2009, p.9)

- **Reactivo A:**

Pesar 0.125 g de Naftilamina y disolver en 25 mL de ácido acético. Mezclar bien hasta obtener una mezcla homogénea. Se puede hacer uso de un agitador magnético para agilitar el proceso. (Doval, 2009, p.9)

- **Reactivo B:**

Pesar 0.16 g de ácido sulfanílico y disolver en 20 mL de ácido acético. Mezclar bien hasta obtener una mezcla homogénea. Se puede hacer uso de un agitador magnético para agilitar el proceso. (Doval, 2009, p.9)

2.9.1.4. *Pruebas de colorimetría*

Añadir con una pipeta 0.5 mL del reactivo A y del reactivo B, en cada una de las muestras recogidas en los tubos. En esta fase es posible observar un cambio en la coloración de la mezcla, la misma que puede variar de rosa claro a rosa oscuro. Finalmente, realizar la lectura de las absorbancias a una longitud de onda de 540 nm en el espectrofotómetro UV-visible. (Doval, 2009, p.10)

2.9.1.5. *Análisis por espectrofotometría*

Colocar un volumen significativo de la muestra obtenida en la prueba colorimétrica, en una celda o cubeta para su análisis en el espectrofotómetro UV-visible a una longitud de onda de 540 nm, con la finalidad de obtener las lecturas de absorbancias de cada muestra. (Doval, 2009, p.10)

2.9.1.6. Cálculo de la concentración de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

A través de una curva de calibración estándar, se determina la concentración de nitritos en cada tubo muestreador. (Borge et al, 2015, p.9)

Tabla 3-2: Datos estandarizados de absorbancia y concentración de nitrito en el tubo ($\mu\text{g}/\text{mL}$)

Disolución estándar	Concentración de calibración estándar ($\mu\text{g}/\text{mL}$)	Concentración de nitrito en el tubo ($\mu\text{g}/\text{mL}$)	Absorbancia a 541 nm
A	120,00	1,481	2,14
B	90,00	1,111	1,60
C	60,00	0,741	1,05

Fuente: (Borge et al, 2015, p.9)

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

Con los datos estandarizados de absorbancia y concentración de nitrito en el tubo ($\mu\text{g}/\text{mL}$), se realiza una curva de calibración, para comprobar la validez de los mismos. Fuente: (Borge et al, 2015, p.9)

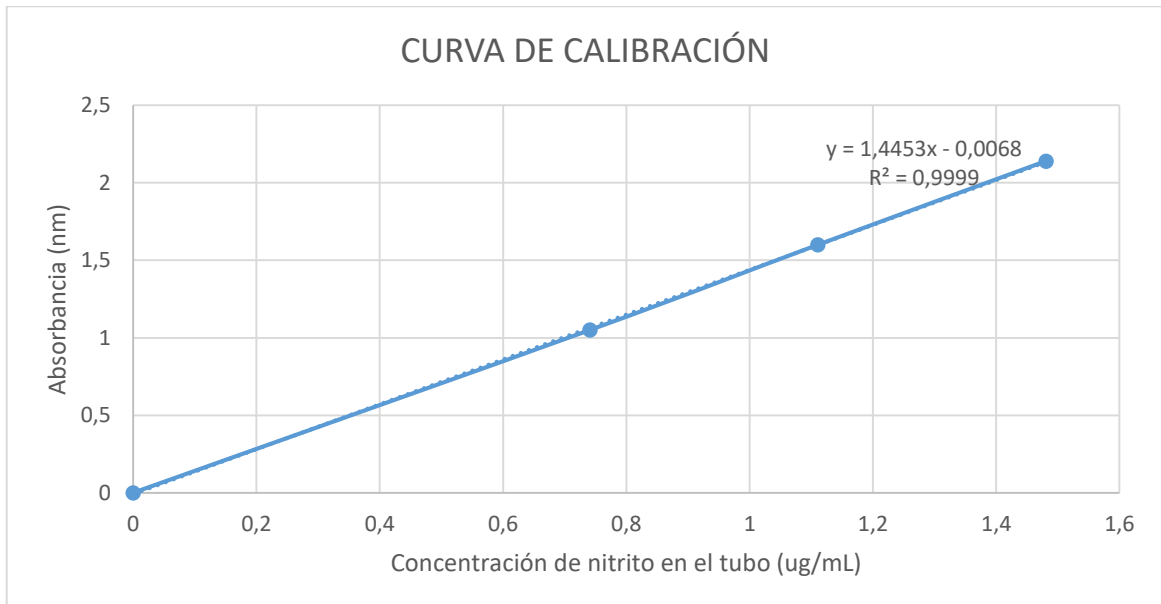


Gráfico 1-2: Curva de calibración estándar para NO_2

Fuente: (Borge et al, 2015)

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

Con los datos estandarizados de absorbancia y concentración de nitritos en el tubo, se desarrolla una regla de tres para determinar la concentración de nitritos en los tubos de muestreo (Ver Ecuación 1-2), empleando las absorbancias determinadas por espectrofotometría. **Fuente:** (Borge et al, 2015, p.9)

$$m \text{ (ug)} = C2 * V \quad \text{(Ecuación 1-2)}$$

Donde:

Abs1 = Absorbancia en la curva de calibración

C1 = Concentración correspondiente a la absorbancia 1 en la curva de calibración

Abs2 = Absorbancia de la muestra

C2 = Concentración de nitrito en el tubo. (Borge et al, 2015, p.9)

A continuación, se estima la masa de nitrito en cada muestra. **Fuente:** (Borge et al, 2015, p.9)

$$C2 \text{ (ug/mL)} = \frac{C1 * Abs 2}{Abs 1} \quad \text{(Ecuación 2-2)}$$

Donde:

m (ug)= masa de nitritos en el tubo.

C2 (ug/mL) = concentración obtenida mediante la regla de tres.

V (ml)= volumen de los reactivos de color añadido. (Borge et al, 2015, p.10)

Por último, se calcula la concentración de NO₂ en el ambiente. **Fuente:** (Borge et al, 2015, p.9)

$$C = \frac{m * L}{D_{12} * A * \epsilon} \quad \text{(Ecuación 3-2)}$$

Donde:

C ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) = concentración de NO_2 en el ambiente

m (μg) = masa de nitritos

L (m) = longitud del tubo

D_{12} (m^2/s) = coeficiente de difusión entre NO_2 -Aire

A (m^2) = área transversal del tubo

t (s) = periodo de muestreo (Borge et al, 2015, p.10)

2.9.2. Análisis de muestreadores pasivos de SO_2

2.9.2.1. Materiales y equipos

- Espectrofotómetro UV-Visible
- Balanza analítica
- Campana extractora de gases
- Vaso de precipitación de 50 mL
- 1 pipeta de 10 mL
- 1 pipeta de 5 mL
- Mandil, guantes y mascarilla
- Tubos muestreadores de SO_2

2.9.2.2. Sustancias y Reactivos

- Agua destilada
- Ácido acético
- Ácido clorhídrico
- Cloruro de bario

2.9.2.3. Preparación de la solución para análisis de SO_2

Para el análisis de SO_2 en los muestreadores, se prepara una solución sobresaturada de cloruro de bario. (Cifuentes, 2014, p.4)

Solución sobresaturada de cloruro de bario: Pesar 3.6 g de cloruro de bario y aforar en 12 mL de agua destilada. Posteriormente, con una pipeta colocar 1 mL de la solución sobresaturada de cloruro de bario y 0.5 mL de ácido clorhídrico, en cada tubo muestreador. El ácido clorhídrico

actúa como barrera de interferencias. Finalmente, realizar la lectura de las absorbancias a una longitud de onda de 420 nm en el espectrofotómetro UV-visible. (Cifuentes, 2014, p.4)

2.9.2.4 Análisis por espectrofotometría

Colocar un volumen significativo de la muestra anterior en una celda para su análisis en el espectrofotómetro UV-visible, a una longitud de onda de 420 nm, con la finalidad de obtener las lecturas de absorbancias de cada muestra.

2.9.5.1. Cálculo de la concentración de SO_2 (ug/m^3)

A través de una curva de calibración estándar, se determina la concentración de sulfatos en cada tubo muestreador.

Tabla 4-2: Datos estandarizados de absorbancia y concentración de sulfatos en el tubo (mg/L)

Concentración teórica de sulfatos (mg/L)	Promedio de las absorbancias
0,5	0,013
1,25	0,023
2,5	0,048
5	0,0106

Fuente: (Cifuentes, 2014, p.5)

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

Con los datos estandarizados de absorbancia y concentración de sulfatos en el tubo (ug/mL), se realiza una curva de calibración, para comprobar la validez de los mismos. Fuente: (Borge et al, 2015, p.9)

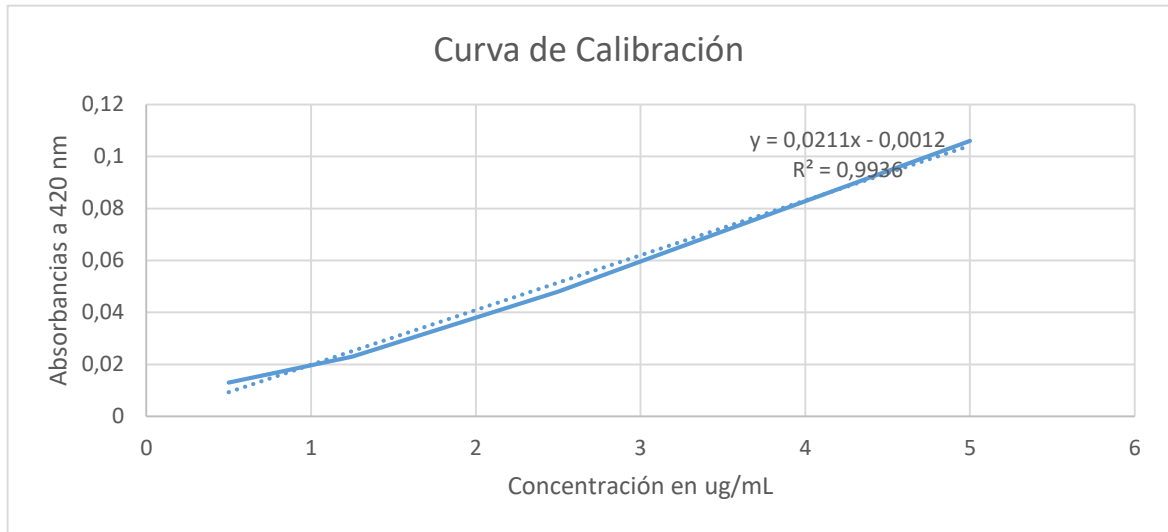


Gráfico 2-2: Curva de calibración para SO₂

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

Con los datos estandarizados de absorbancia y concentración de nitritos en el tubo, se desarrolló una regla de tres para determinar la concentración de sulfatos en los tubos de muestreo (Ver Ecuación 4-2), empleando las absorbancias determinadas por espectrofotometría. **Fuente:** (Borge et al, 2015, p.9)

$$C2 \text{ (ug/mL)} = \frac{C1 \cdot Abs 2}{Abs 1}$$

(Ecuación 4-2)

Donde:

Abs1 = Absorbancia en la curva de calibración

C1 = Concentración correspondiente a la absorbancia 1 en la curva de calibración

Abs2 = Absorbancia de la muestra

C2 = Concentración de sulfatos en el tubo (Borge et al, 2015, p.10)

A continuación, se estima la masa de sulfatos en cada muestra. **Fuente:** (Borge et al, 2015, p.9)

$$m SO_x = C_2 * V \quad \text{(Ecuación 5-2)}$$

Donde:

m (ug)= masa de sulfatos en el tubo

C₂ (ug/ml) = Concentración de SO_x en el tubo

V (ml)= volumen de los reactivos de color (Guerra, 2010, p.12)

Por último, se calcula la concentración de SO₂ en el ambiente. **Fuente:** (Borge et al, 2015, p.9)

$$CSO_2 \text{ (ug/m}^3\text{)} = \frac{mSO_x}{Q_k * t} * 10^6 \quad \text{(Ecuación 6-2)}$$

Donde:

CSO₂ (ug/m³) = Concentración de SO₂ en el ambiente.

mSO_x (ug) = masa de sulfatos en el tubo

Q_k (119 ml/min) = Valor de la frecuencia de muestreo

t (min) = tiempo de exposición (Guerra, 2010, p.12)

2.10. Corrección de la concentración de contaminantes del aire según las condiciones del sitio de muestreo

El artículo 4.1.2.3., del Libro VI, Anexo 4 de la Calidad del Aire, del Acuerdo Ministerial 097A, de la Constitución del Ecuador establece que, para la estimación de la concentración de contaminantes criterio en el aire, se debe realizar su corrección, conforme al lugar donde se realizó el muestreo (Ver Ecuación 7-2). (Acuerdo Ministerial 097A, 2015, p.37)

$$C_c \Rightarrow C_o * \frac{760 \text{ mm Hg}}{P_{bl} \text{ mm Hg}} * \frac{(273,15 + t \text{ } ^\circ \text{ C}) * K}{298 \text{ } ^\circ \text{ K}}$$

(Ecuación 7-2)

Donde:

Cc: Concentración corregida ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Co: Concentración observada ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Pbl: presión atmosférica local (mm Hg)

t°C: Temperatura local (°C) (Acuerdo Ministerial 097A, 2015, p.37)

Tabla 5-2: Datos para la corrección de las concentraciones de NO₂ y SO₂ según las condiciones del lugar de muestreo

Semana de muestreo	Fecha de muestreo	Temperatura promedio semanal (C)	Temperatura promedio semanal (K)	Presión atmosférica promedio (mm Hg)
Semana 1	25/04/2018 – 02/05/2018	17,50	290,50	764,25
Semana 2	02/05/2018 – 09/05/2018	17,73	290,73	765,38
Semana 3	09/05/2018 – 16/05/2018	17,87	290,87	765,81
Semana 4	16/05/2018 – 23/05/2018	17,77	290,77	765,60
Semana 5	23/05/2018 – 30/05/2018	17,54	290,54	765,34

*Datos de temperatura proporcionados por la estación meteorológica Parque de la Familia de la ciudad de Baños de Agua Santa, perteneciente a la Red Hidrometeorológica de Tungurahua, con coordenadas X = 9845439, Y = 791471. (Estación Parque de la Familia, 2018)

*Datos de presión atmosférica obtenidos de METEOCAST, previsión meteorológica de tu ciudad y tu país.

Fuente: (METEOCAST, 2018)

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

2.11. Análisis de la dispersión de contaminantes mediante la aplicación del software ArcGIS.

2.11.1. Recopilación de la información obtenida

La información correspondiente a los valores de concentración de NO₂ y SO₂, obtenidos durante el desarrollo de la presente investigación, fue almacenada en un libro de Excel de la aplicación Microsoft Excel, con la finalidad de facilitar el proceso de análisis estadístico de los datos. Se almacenaron datos de la georreferenciación de los puntos de muestreo, valores de absorbancia determinados y valores de concentración de los gases, así como datos de variables meteorológicas del lugar de muestreo, como temperatura, presión atmosférica y velocidad del viento, utilizados para el análisis de los mapas de dispersión de los contaminantes de interés.

2.11.2. Elaboración de Mapas de dispersión de contaminantes mediante el software ArcGIS

Con los datos de concentración de NO₂ y SO₂, almacenados en el documento Excel, tras el proceso de análisis de los mismos, se realizó un mapa de dispersión por cada semana de muestreo, para cada contaminante respectivamente, con el objetivo de evaluar su comportamiento en cada punto de muestreo. Para ello se empleó un software especializado, que en este caso fue ArcGIS 10.2.2, a través del cual se obtuvo un shapefile de los puntos de monitoreo para contaminante.

Posteriormente, a través de la herramienta Spline (3D Analyst) de ArcGIS, que funciona como sistema de interpolación, con la estimación de valores a través de una determinada función matemática, que definen la suavidad de la superficie interpolada (Barrientos, 2014, p.14), se generó una imagen raster con los datos de concentración para NO₂ y SO₂.

Por último, se ejecutó la edición final de cada mapa con sus respectivos datos geográficos e informativos.

2.11.3. Análisis de los Mapas de dispersión de contaminantes

Para facilitar el análisis de la dispersión de NO₂ y SO₂ en cada semana de muestreo, se consideraron los datos de velocidad del viento (m/s) y precipitación, durante el tiempo de muestreo en la zona de estudio.

Tabla 6-2: Datos de velocidad del viento (m/s) en la ciudad de Baños, desde el 25 de abril al 30 de mayo del 2018

Días	Semana 1 (m/s)	Semana 2 (m/s)	Semana 3 (m/s)	Semana 4 (m/s)	Semana 5 (m/s)
1	2,96	2,67	2,08	2,89	3,9
2	2,76	2,93	2,79	3,00	3,19
3	2,48	2,73	2,51	2,96	3,75
4	2,99	2,52	2,68	1,38	3,24
5	1,42	3,81	1,88	2,65	1,95
6	2,53	1,59	2,62	2,47	2,06
7	2,86	2,84	3,47	2,80	2,36
8	2,08	2,96	3,9	2,67	2,03

Promedio semanal	2,51	2,76	2,74	2,60	2,81
-------------------------	------	------	------	------	------

*Datos proporcionados por la estación meteorológica Parque de la Familia de la ciudad de Baños de Agua Santa, perteneciente a la Red Hidrometeorológica de Tungurahua, con coordenadas X = 9845439, Y = 791471. (Estación Parque de la Familia, 2018)

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

Tabla 7-2: Datos de precipitación media diaria (mm) en la ciudad de Baños, desde el 25 de abril al 30 de mayo del 2018

Fecha	Precipitación promedio diaria (mm)	Fecha	Precipitación promedio diaria (mm)
25/4/2018	3,00	13/5/2018	0,00
26/4/2018	3,20	14/5/2018	0,10
27/4/2018	5,70	15/5/2018	0,10
28/4/2018	22,00	16/5/2018	0,00
29/4/2018	3,20	17/5/2018	0,10
30/4/2018	0,20	18/5/2018	0,10
1/5/2018	0,10	19/5/2018	0,20
2/5/2018	0,10	20/5/2018	4,50
3/5/2018	0,10	21/5/2018	5,60
4/5/2018	0,30	22/5/2018	4,10
5/5/2018	0,20	23/5/2018	3,50
6/5/2018	0,20	24/5/2018	3,10
7/5/2018	0,10	25/5/2018	7,10
8/5/2018	0,10	26/5/2018	8,20
9/5/2018	0,10	27/5/2018	4,80
10/5/2018	0,10	28/5/2018	3,60
11/5/2018	0,10	29/5/2018	2,90
12/5/2018	0,10		

*Datos proporcionados por la estación meteorológica Parque de la Familia de la ciudad de Baños de Agua Santa, perteneciente a la Red Hidrometeorológica de Tungurahua, con coordenadas X = 9845439, Y = 791471. (Estación Parque de la Familia, 2018)

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

2.12. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), con la aplicación de la prueba de Kolmogorov - Smirnov. Esta prueba es usada para sistemas de probabilidad con variables aleatorias continuas, especialmente para muestras pequeñas. En el caso de que se empleen variables aleatorias discretas, la decisión tiene un alto nivel de confianza, cuando se rechaza hipótesis nula. (Ojeda, 2007, p.288)

Se realizó el Análisis de Varianza con un Factor (ANOVA), para determinar las diferencias significativas entre los datos de concentración de NO₂ y SO₂ obtenidos en el presente trabajo de investigación.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Concentración ambiental corregida según las condiciones del sitio de muestreo

Una vez aplicada la ecuación para la corrección de la concentración de contaminantes NO₂ y SO₂, se determinaron los valores de concentración ambiental para dichos contaminantes, en función de las condiciones ambientales del sitio de muestreo.

Tabla 1-3: Concentración ambiental corregida de NO₂ (ug/m³), durante el tiempo de muestreo.

Puntos de muestreo	Semana 1 (ug/m ³)	Semana 2 (ug/m ³)	Semana 3 (ug/m ³)	Semana 4 (ug/m ³)	Semana 5 (ug/m ³)
P 01	1,79	1,54	0,97	1,11	1,01
P 02	1,45	1,64	0,82	1,54	0,72
P 03	1,60	1,35	0,97	1,30	0,60
P 04	1,35	1,45	1,21	1,40	0,97
P 05	1,40	0,92	0,92	1,21	0,92
P 06	1,55	1,83	1,21	1,30	0,97
P 07	1,69	1,40	1,06	1,54	0,82
P 08	2,37	1,25	1,45	1,50	1,06
P 09	1,93	1,16	1,21	1,40	0,97

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

Puntos de muestreo	Semana 1 (ug/m³)	Semana 2 (ug/m³)	Semana 3 (ug/m³)	Semana 4 (ug/m³)	Semana 5 (ug/m³)
P 10	2,27	1,40	1,64	1,50	0,82
P 11	1,26	1,11	1,45	1,59	0,87
P 12	1,45	1,25	1,40	1,78	1,06
P 13	1,98	0,87	1,30	1,16	0,87
P 14	1,89	1,30	1,74	1,45	0,97
P 15	2,18	1,01	1,21	1,45	1,11
P 16	1,40	0,87	1,16	1,40	1,06
P 17	1,74	0,97	0,97	1,74	0,82
P 18	1,60	1,40	1,16	1,40	0,87
P 19	1,62	1,16	1,40	1,30	0,68
P 20	2,27	1,21	1,16	1,40	1,06
P 21	2,22	0,97	1,25	1,83	1,21
P 22	2,66	1,25	0,87	1,59	0,82
P 23	1,69	1,16	1,25	1,50	0,87
P 24	2,51	1,11	1,45	1,40	0,77
P 25	2,13	1,21	1,11	1,30	0,97
P 26	2,27	1,06	0,97	1,21	0,92
P 27	2,22	1,35	1,21	1,74	0,77
P 28	1,98	1,25	1,79	1,54	0,82
P 29	2,03	0,97	1,21	1,83	1,26
P 30	2,85	1,06	1,11	1,69	1,39

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

Tabla 2-3: Concentración ambiental corregida de SO₂ (ug/m³) durante el tiempo de muestreo

Puntos de muestreo	Semana 1 (ug/m³)	Semana 2 (ug/m³)	Semana 3 (ug/m³)	Semana 4 (ug/m³)	Semana 5 (ug/m³)
P 01	0,51	0,42	0,70	0,79	0,65
P 02	0,33	0,03	0,56	0,45	0,70
P 03	0,90	0,47	0,42	0,61	0,51
P 04	0,85	0,28	0,70	0,90	0,47
P 05	0,79	0,55	0,65	0,50	0,44
P 06	1,12	0,37	0,65	0,48	0,42
P 07	1,73	0,65	0,70	0,62	0,51
P 08	2,00	0,79	0,75	0,75	0,89
P 09	1,86	0,65	0,75	0,98	0,75
P 10	1,12	0,84	0,79	0,70	0,61

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

3.2. Variación de los valores de concentración durante el tiempo de muestreo

3.2.1. Variación de la concentración de NO₂

Tabla 3-3: Concentración máxima de NO₂ (ug/m³) en cada semana

Periodo de muestreo	Punto de muestreo	Concentración máxima de NO₂ (ug/m³)
Semana 1	30	2,85
Semana 2	29	1,83
Semana 3	28	1,79
Semana 4	29	1,83
Semana 5	30	1,39

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

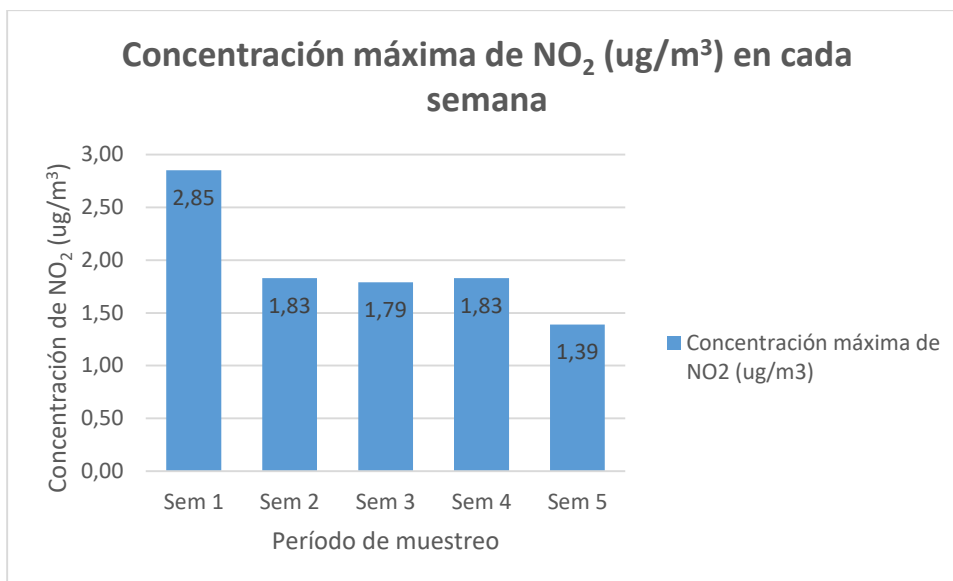


Gráfico 3-2: Concentración máxima de NO₂ (ug/m³) en cada semana

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

El gráfico 3-2., indica los valores de concentración máxima NO₂ alcanzados en cada semana de muestreo. Estos valores, fueron obtenidos en puntos cercanos a las fuentes fijas de emisión del complejo, en la semana 1 y 5 en el punto 30, en la semana 2 y 4 en el punto 29, y en la semana 3 en el punto 28. Como se puede observar, los valores determinados son bajos y varían en el rango de 2,85 (µg/m³) hasta los 1,39 (µg/m³), correspondiente al punto 30 de la semana 1 y 5 respectivamente. Estos valores encuentran dentro del límite máximo permisible para NO₂, que según lo establece la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire, no debe sobrepasar los 40 (µg/m³), en todas las muestras recogidas por un año. (Acuerdo Ministerial 097A, 2015, pp.51-52)

Estos datos, a la vez concuerdan con los valores establecidos por la (Organización Mundial de la Salud, 2018) para proteger la salud de las personas por efectos del NO₂, con un valor igual a 40 (µg/m³) como media anual, esto indica que la zona de estudio presenta una buena calidad del aire, en relación a la concentración de NO₂ medido.

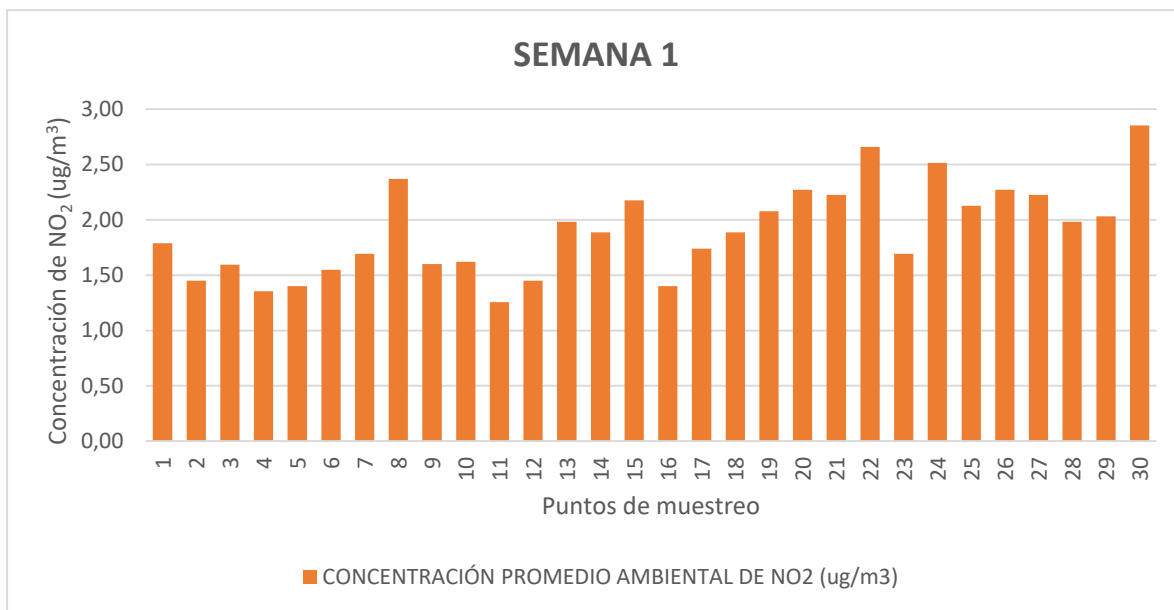


Gráfico 3-3: Concentración promedio de NO₂ (ug/m³), en la primera semana de muestreo.

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

El gráfico 3-3., indica la concentración promedio de NO₂ alcanzada en la primera semana de muestreo, del 25 de abril al 2 de mayo del 2018. Como se puede observar, el punto 30 corresponde a la mayor concentración de NO₂ con un valor de 2,85 (μg/m³), seguido del punto 22 con una concentración de 2,66 (μg/m³), esto debido a la cercanía de ambos puntos a las fuentes fijas de emisión del complejo Termas de la Virgen. Este resultado es respaldado por la información obtenida de (Nava et al, 2013, p.3), sobre la dispersión atmosférica desde un quemador chimenea, donde se concluye que a menor distancia de la fuente de emisión, mayor es la posibilidad de encontrar elevadas concentraciones de contaminantes por la quema de hidrocarburos. El punto 11 presenta la menor concentración de NO₂ con un valor de 1,26 (μg/m³), esto debido su ubicación en un área donde el viento fluye sin restricciones, tal como lo menciona (Toro et al., 2016, p.54), donde se establece que la concentración de un contaminante no depende únicamente de las emisiones en un lugar específico, sino de las condiciones del sitio de muestreo, para que los contaminantes no se queden retenidos en ciertas zonas.

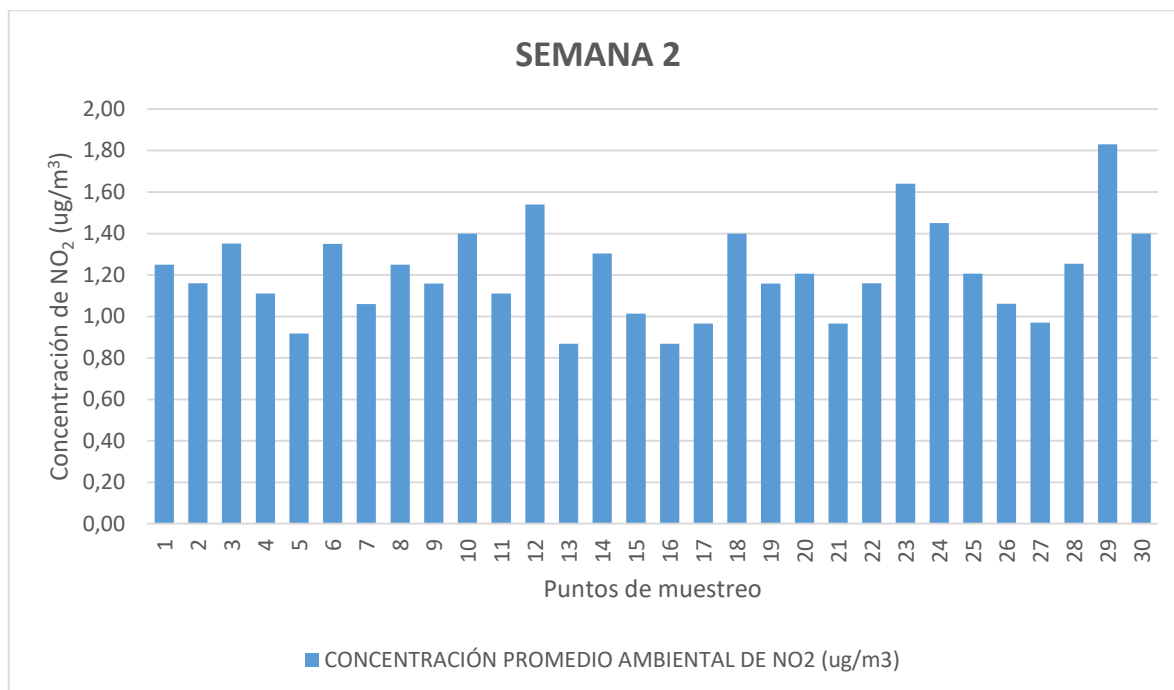


Gráfico 4-3: Concentración promedio de NO₂ (µg/m³), en la segunda semana de muestreo.

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

El gráfico 3-4., indica la concentración promedio de NO₂ alcanzada en la segunda semana de muestreo, del 2 al 9 de mayo del 2018. Como se puede observar, el punto 29, seguido del punto 23, presentan a la mayor concentración de NO₂ con un valor de 1.83 (µg/m³) y 1,64 (µg/m³) respectivamente, esto debido a la cercanía de ambos puntos a las fuentes fijas de emisión del complejo y la ubicación del punto 23 junto la zona de estacionamiento. Este resultado concuerda con los datos obtenidos de (Martín et al, 2014, p.4), donde los valores de mayor concentración obtenidos fueron registrados en zonas con elevado flujo vehicular, provocando un aumento en la concentración del contaminante en el área de interés. El punto 13 como el punto 16, ubicados en las vías de acceso al complejo, presentan la menor concentración de NO₂ con un valor igual a 1,26 (µg/m³) para cada punto, esto debido a que se asume hubo baja afluencia vehicular durante esa semana, y por la ubicación lejana de los puntos a las fuentes fijas de emisión del complejo.

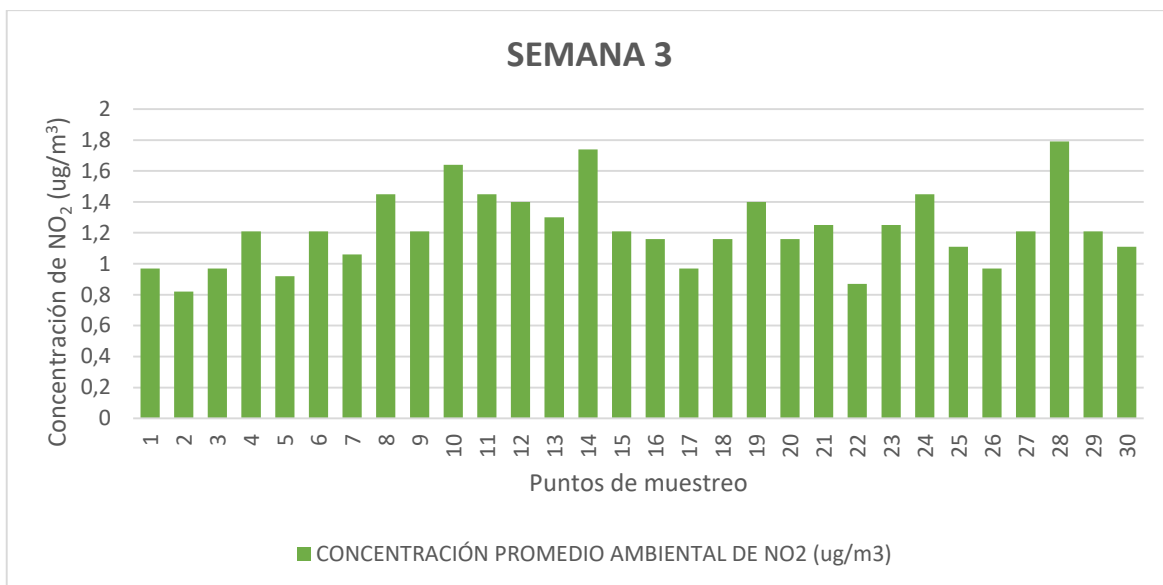


Gráfico 5-3: Concentración promedio de NO₂ (µg/m³), en la tercera semana de muestreo.

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

El gráfico 3-5., indica la concentración promedio de NO₂ alcanzada en la tercera semana de muestreo, correspondiente del 9 al 16 de mayo del 2018. Como se puede observar, el punto 28 corresponde a la mayor concentración de NO₂ con un valor de 1,79 (µg/m³), esto debido a su cercanía a una de las fuentes fijas de emisión del complejo. Este resultado es respaldado por la información obtenida por (Gómez et al., 2012, p.6), donde los puntos de mayor concentración fueron registrados en zonas expuestas a las fuentes de emisión de contaminantes, a diferencia de los puntos de muestreo ubicados en zonas controladas. A continuación se encuentra el punto 14 con una concentración de NO₂ igual a 1,74 (µg/m³), esto debido a que dicho punto se encuentra ubicado en el zona de estacionamiento del Instituto Ecuatoriano De Seguridad Social (IESS) de la ciudad de Baños, cercano al complejo Termas de la Virgen, donde se asume existió elevada afluencia vehicular durante esa semana, resultado respaldado por los datos obtenidos de (Romero et al., 2012, p.8), donde se menciona a los vehículos como una de las principales fuentes de emisión de óxidos de nitrógeno.

El punto 2 presenta la menor concentración de NO₂ con un valor de 0,82 (µg/m³), esto debido a su ubicación distante a los focos de emisión del complejo, y en una de las vías de acceso al complejo, donde se asume hubo baja afluencia vehicular durante esa semana.

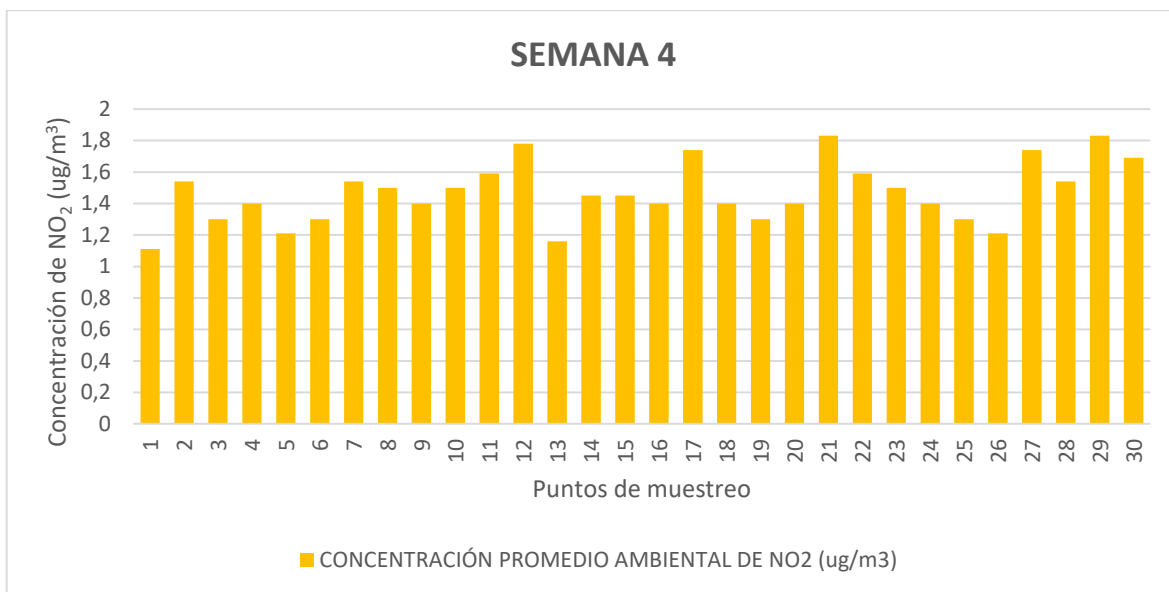


Gráfico 6-3: Concentración promedio de NO₂ (µg/m³), en la cuarta semana de muestreo.

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

El gráfico 3-6., indica la concentración promedio de NO₂ alcanzada en la cuarta semana de muestreo, correspondiente del 16 al 23 de mayo 2018. Como se puede observar, el punto 29 corresponde a la mayor concentración de NO₂ con un valor de 1,83 (µg/m³), esto debido a su cercanía a una de las chimeneas del complejo, similar con los datos obtenidos en la cuarta semana de muestreo, cuyo punto de mayor concentración fue el 28 por su cercanía a las mismas. Este resultado es respaldado por la información obtenida de (De la Cruz et al., 2011, p.7), donde las máximas concentraciones de los contaminantes medidos, se localizaron en los puntos cercanos a los focos de emisión.

Al igual que en la tercera semana, el punto 1 presenta la menor concentración de NO₂ con un valor de 1,11 (µg/m³), esto debido a su ubicación distante a los focos de emisión del complejo, en una de las vías de acceso al mismo, y donde se asume hubo poca circulación de vehículos durante esa semana.

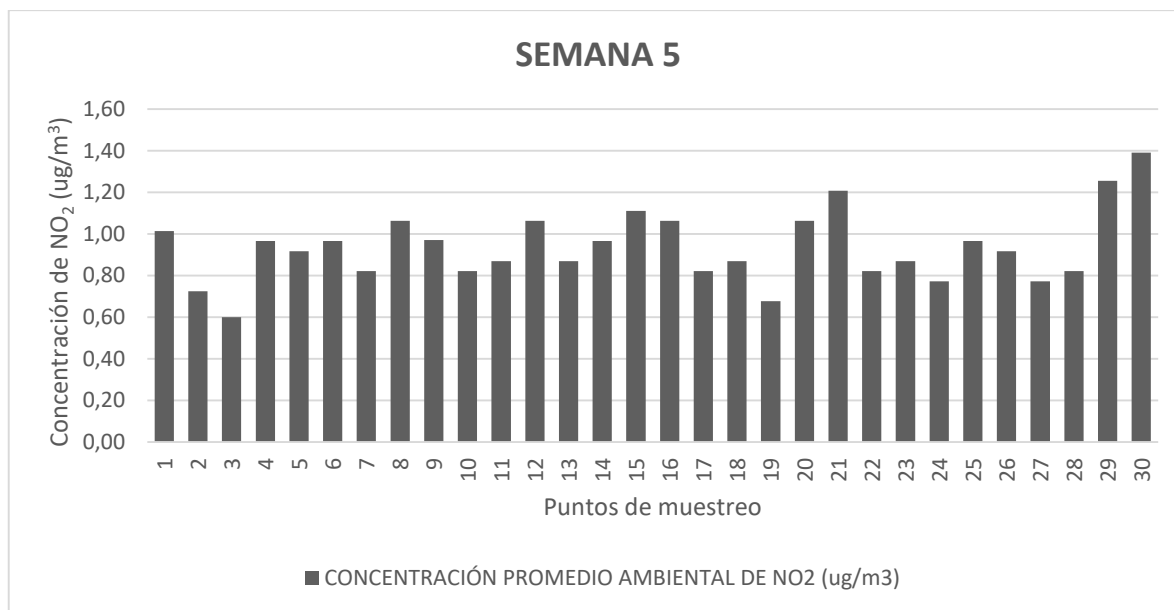


Gráfico 7-3: Concentración promedio de NO₂ (µg/m³), en la quinta semana de muestreo.

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

El gráfico 3-7., indica la concentración promedio de NO₂ alcanzada en la cuarta semana de muestreo, correspondiente del 16 al 23 de mayo del 2018. Como se puede observar, el punto 30 corresponde a la mayor concentración de NO₂ con un valor de 1,39 (µg/m³), esto debido a su cercanía a una de las chimeneas del complejo, similar con lo sucedido en la primera semana de muestreo. Este resultado es respaldado por la información obtenida de (Nava et al, 2013, p.3), donde se determinó que, a menor distancia de la fuente de emisión, mayor es la posibilidad de encontrar elevadas concentraciones de contaminantes por la quema de hidrocarburos. El punto 3 presenta la menor concentración de NO₂ con un valor de 0,60 (µg/m³), esto debido a su ubicación distante a los focos de emisión del complejo, en una de las vías de acceso al mismo, y donde se asume hubo baja afluencia vehicular en los alrededores del complejo durante esa semana. Este resultado concuerda con la información obtenida de (Rodríguez, y Nureña, 2010, p.49), donde las concentraciones más bajas se dieron en los puntos de menor congestión vehicular.

3.2.2. Variación de la concentración de SO₂

Tabla 4-3: Concentración máxima de SO₂ (ug/m³) en cada semana

Período de muestreo	Punto de muestreo	Concentración máxima de SO ₂ (ug/m ³)
Semana 1	9	1,86
Semana 2	10	0,84
Semana 3	10	0,79
Semana 4	9	0,98
Semana 5	8	0,89

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

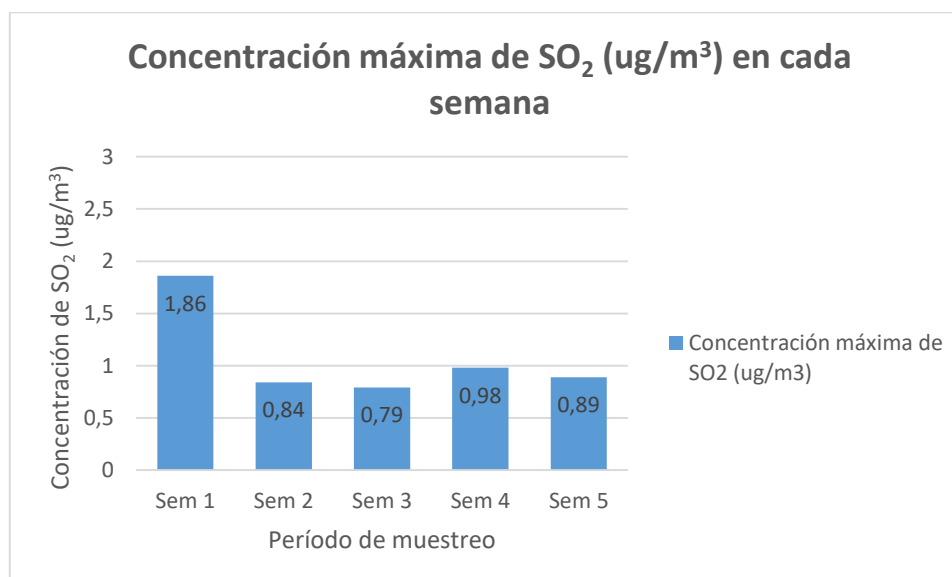


Gráfico 8-3. Concentración máxima de SO₂ (ug/m³) en cada semana

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

El gráfico 3-2., indica los valores de concentración máxima SO₂ alcanzados en cada semana de muestreo. Estos valores, fueron obtenidos en puntos cercanos a las fuentes fijas de emisión del complejo, en la semana 1 y 4 en el punto 9, en la semana 2 y 3 en el punto 10, y en la semana 3 en el punto 8. Como se puede observar, los valores determinados son bajos y se encuentran dentro del límite máximo permisible para SO₂, según lo establece la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire, no debe sobrepasar los 60 (µg/m³), en todas las muestras recogidas por un año (Acuerdo Ministerial 097A, 2015, pp.51-52). Estos datos, a la vez concuerdan con los valores establecidos por la (Organización Mundial de la Salud, 2018), de 20 µg/m³ para periodos de 24 horas, esto indica que la zona de estudio presenta una buena calidad del aire, en relación a la concentración de NO₂ medido.

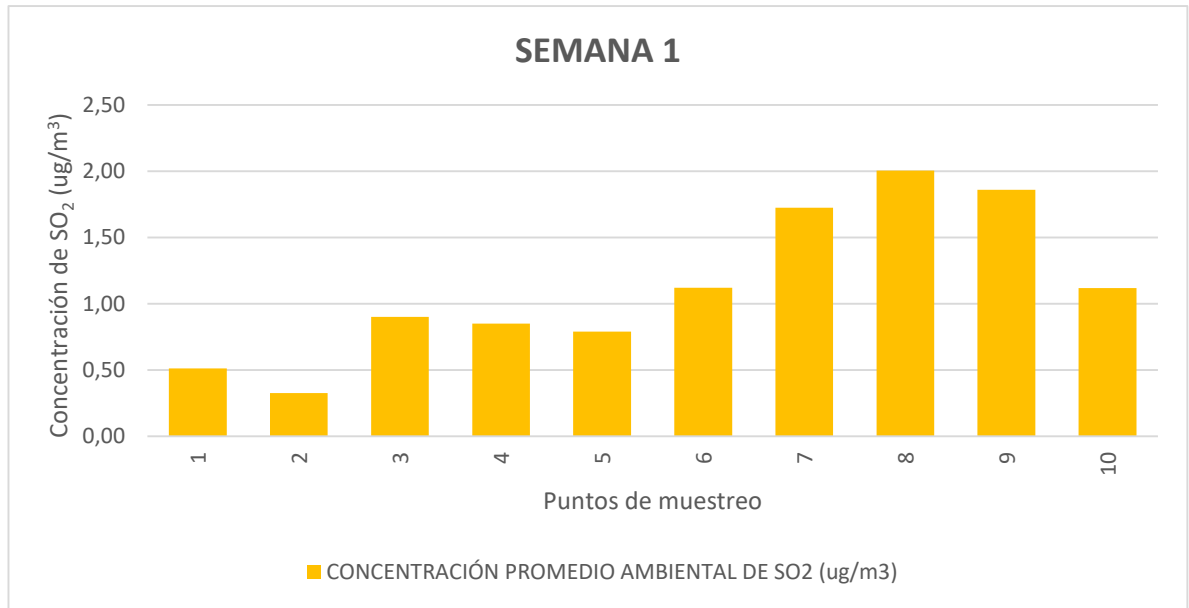


Gráfico 8-3: Concentración promedio de SO₂ (μg/m³), en la primera semana de muestreo.

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

El gráfico 3-8., indica la concentración promedio de SO₂ alcanzada en la primera semana de muestreo, del 25 de abril al 2 de mayo del presente año. Como se puede observar, el punto 8 corresponde a la mayor concentración de NO₂ con un valor de 2,00 (μg/m³), esto debido a su cercanía a dos de los focos de emisión encontrados dentro del complejo, y a la ubicación de dicho punto en la zona de estacionamiento del complejo turístico. Este resultado es respaldado por la información obtenida de (Nava et al, 2013, p.3), donde se menciona que a menor distancia de la fuente de emisión en la misma dirección del viento, existe mayor posibilidad de encontrar elevadas concentraciones de contaminantes por la quema de hidrocarburos, y por el estudio de (García et al., 2013), cuyos resultados mostraron que la concentración del SO₂, es mayor en los sitios cercanos a las fuentes de emisión. El punto 2 presenta la menor concentración de SO₂ con un valor de 0,33 (μg/m³), esto debido su ubicación lejana de las fuentes fijas de emisión del complejo, en un área donde el viento fluye sin restricciones, tal como lo menciona (Toro et al., 2016, p.54), donde se establece que la concentración de un contaminante no depende únicamente de las emisiones en un lugar específico, sino de las condiciones del sitio de muestreo, para que los contaminantes no se queden retenidos en ciertas zonas.

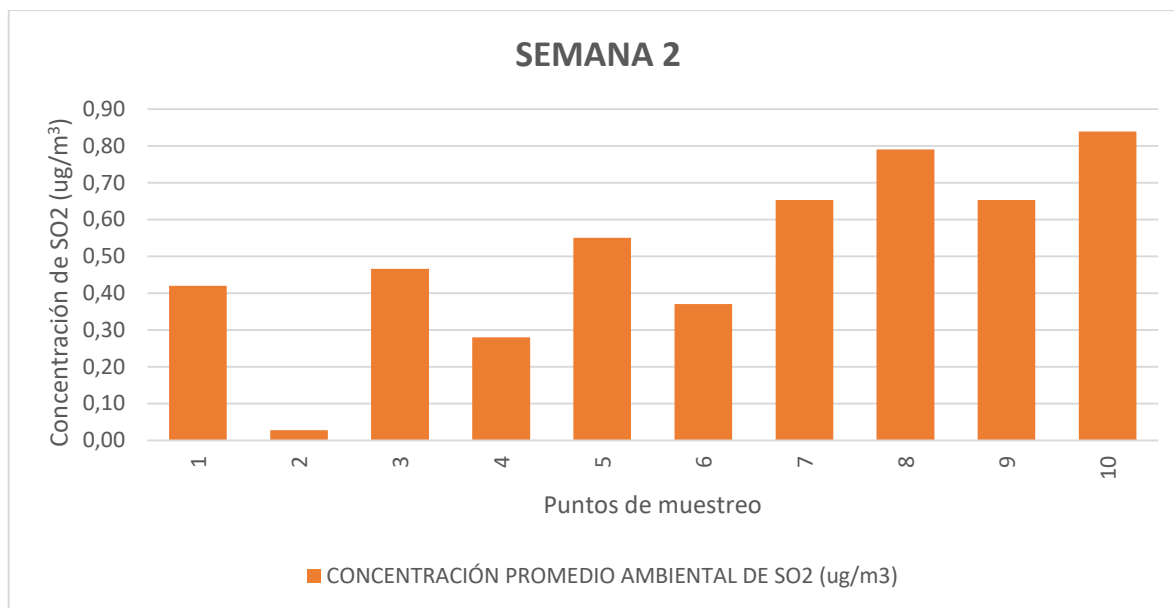


Gráfico 9-3: Concentración promedio de SO₂ (μg/m³), en la segunda semana de muestreo.

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

El gráfico 3-9., indica la concentración promedio de SO₂ alcanzada en la primera semana de muestreo, del 25 de abril al 2 de mayo del presente año. Como se puede observar, los puntos 8 y 10 poseen las concentraciones más representativas de SO₂ con un valor de 1,89 (μg/m³) y 0,79 (μg/m³) respectivamente, esto debido a la cercanía de ambos puntos a los focos de emisión (chimenea) encontrados dentro del complejo, y a la ubicación del punto 8 en la zona de estacionamiento del mismo. Este resultado es respaldado por la información obtenida de (Nava et al, 2013, p.3), donde se menciona que a menor distancia de la fuente de emisión en la misma dirección del viento, existe mayor posibilidad de encontrar elevadas concentraciones de contaminantes por la quema de hidrocarburos, y por el estudio de (Martín et al, 2014, p.4), donde los valores de mayor concentración obtenidos fueron registrados en zonas con elevado flujo vehicular, provocando un aumento en la concentración del contaminante en el área de interés.

El punto 2, al igual que en la semana 1, presenta la menor concentración de SO₂ con un valor de 0,03 (μg/m³), esto debido su ubicación en lejana de las fuentes fijas de emisión del complejo, concordando con los datos obtenidos de (Rodríguez, y Nureña, 2010, p.49), donde las concentraciones más bajas fueron registradas en los puntos de alejados de los focos de emisión.

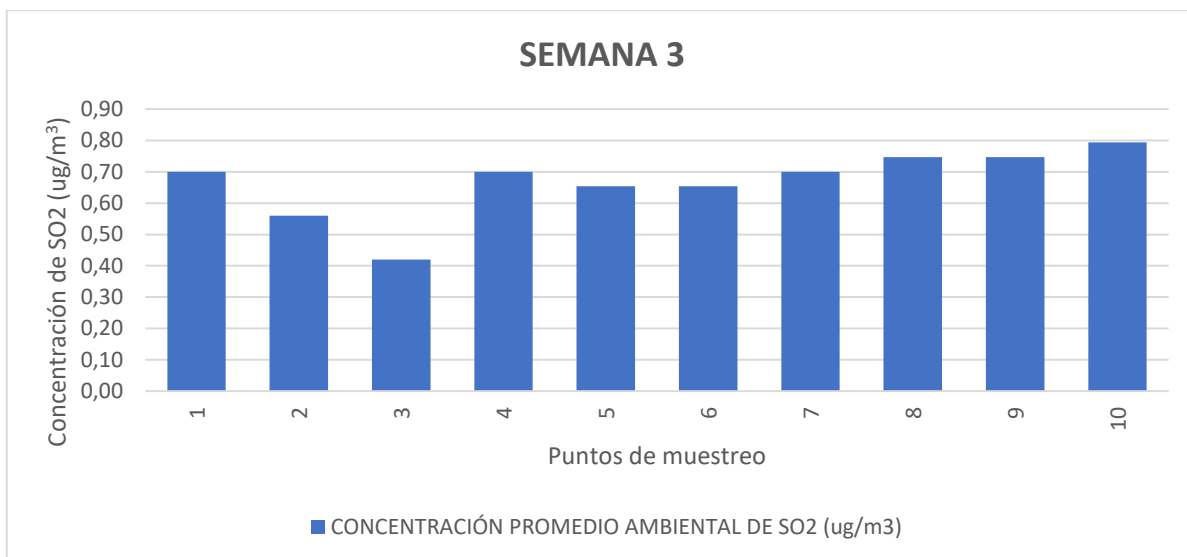


Gráfico 10-3: Concentración promedio de SO₂ (μg/m³), en la tercera semana de muestreo.

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

El gráfico 3-10., indica la concentración promedio de SO₂ alcanzada en la tercera semana de muestreo, del 9 al 16 de mayo del presente año. Como se puede observar, el punto 10, al igual que en la segunda semana, corresponde al punto con mayor concentración de SO₂ con un valor de 0,79 (μg/m³), seguido de los puntos 8 y 9 con una concentración similar igual 0,70 (μg/m³) cada uno, esto debido a la cercanía de los puntos 9 y 10, a las fuentes fijas de emisión del complejo, y a la ubicación del punto 8 en la zona de estacionamiento del mismo. Este resultado es respaldado por el estudio de (García et al., 2013), cuyos resultados mostraron que la concentración de SO₂, es mayor en los sitios cercanos a las fuentes de emisión y por los datos obtenidos de (Romero et al., 2012, p.8), donde se menciona a los vehículos como una de las principales fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos.

El punto 3 presenta la menor concentración de SO₂ con un valor de 0,42 (μg/m³), esto debido a su ubicación lejana de las fuentes fijas de emisión del complejo, atribuyéndose esta concentración a las emisiones vehiculares en ese punto, en una de las vías de acceso al mismo.

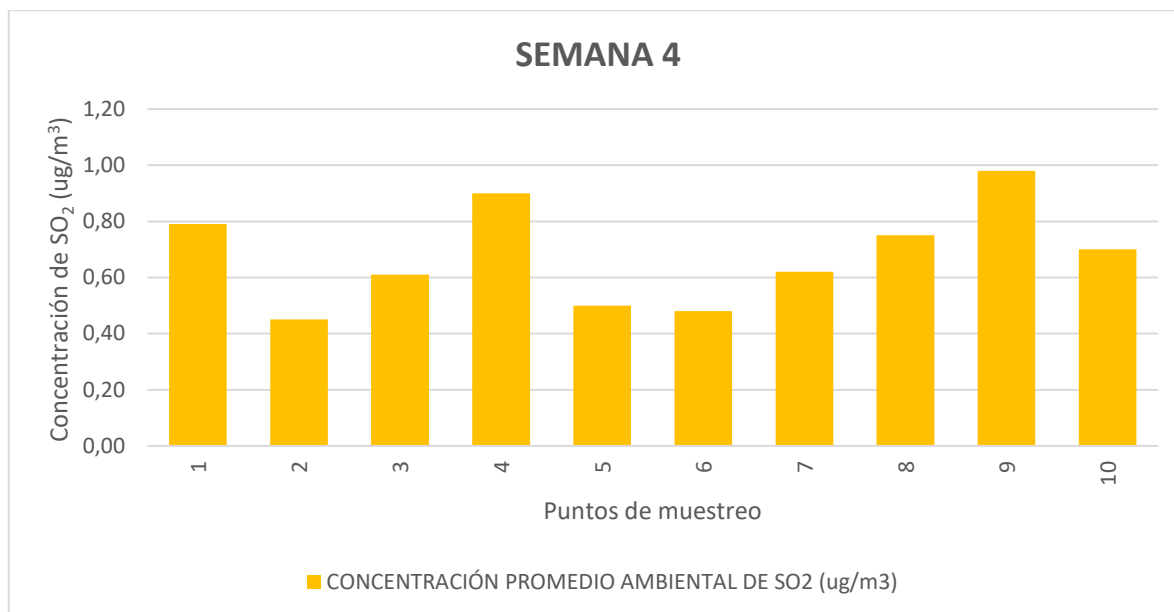


Gráfico 11-3: Concentración promedio de SO₂ (µg/m³), en la cuarta semana de muestreo.

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

b

El gráfico 3-11., indica la concentración promedio de SO₂ alcanzada en la cuarta semana de muestreo, del 16 al 23 de mayo del presente año. Como se puede observar, el punto 10 corresponde a la mayor concentración de SO₂ con un valor de 0,98 (µg/m³), esto debido a su cercanía los focos de emisión encontrados dentro del complejo. Este resultado es respaldado por el estudio de (García et al., 2013), cuyos resultados mostraron que la concentración de SO₂, es mayor en los sitios cercanos a las fuentes fijas de emisión. El punto 4 también posee una concentración representativa, esto debido a su cercanía a la zona de estacionamiento del complejo, información respaldada por (Romero et al., 2012, p.8). donde se menciona a los vehículos como una de las principales fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos.

El punto 2, al igual que en la semana 1 y 2, presenta la menor concentración de SO₂ con un valor de 0,33 (µg/m³), confirmando nuevamente que en este sitio el viento fluye sin restricciones, además de encontrarse alejado de las fuentes fijas de emisión, en una de las vías de acceso al complejo, tal como lo menciona (Toro et al., 2016, p.54), donde se establece que la concentración de un contaminante no depende únicamente de las emisiones en un lugar específico, sino de las condiciones del sitio de muestreo, para que los contaminantes no se queden retenidos en ciertas zonas.

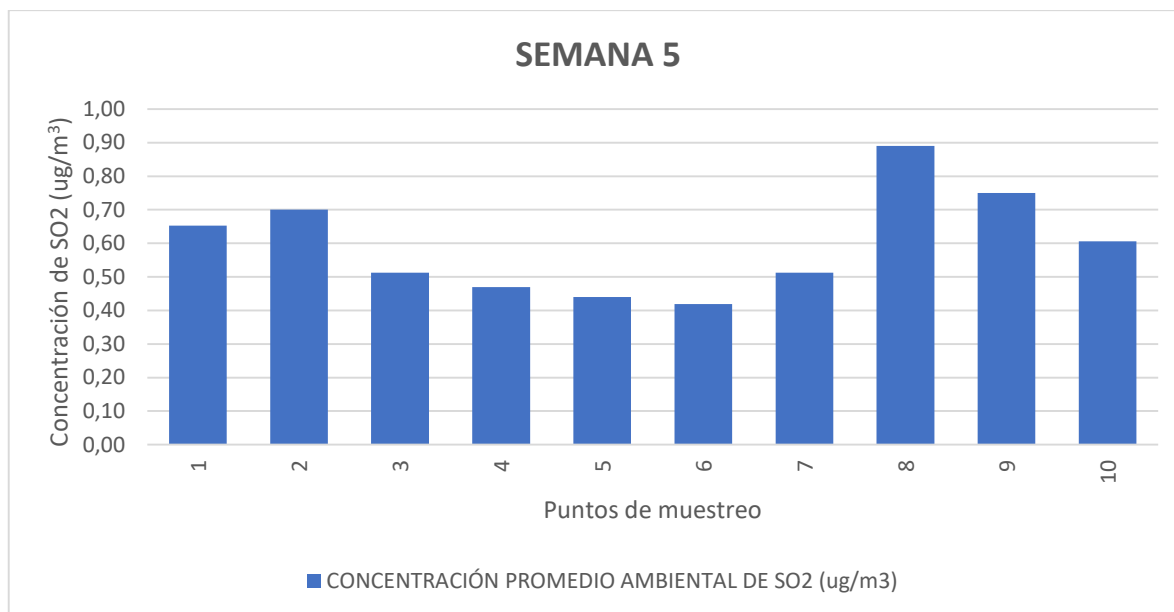


Gráfico 12-3: Concentración promedio de SO₂ (µg/m³), en la quinta semana de muestreo.

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

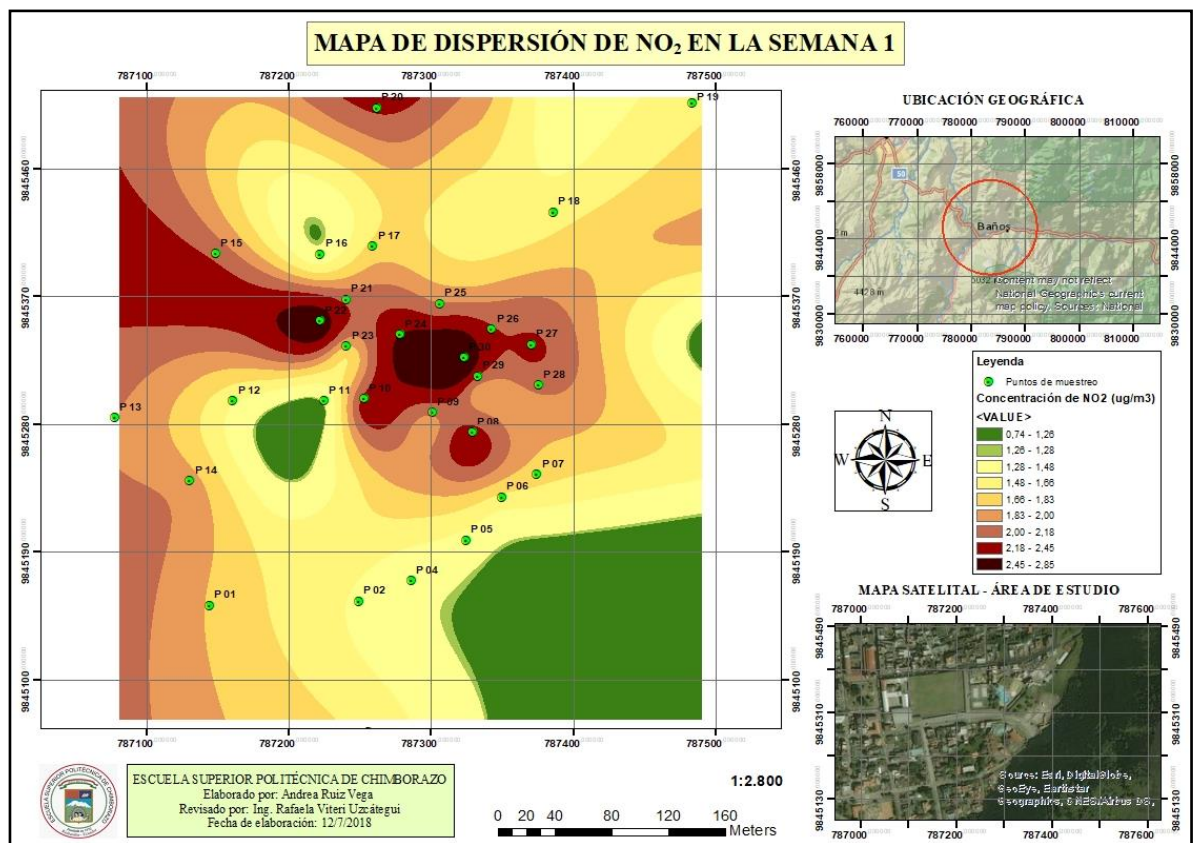
El gráfico 3-8., indica la concentración promedio de SO₂ alcanzada en la primera semana de muestreo, del 23 de abril al 2 de mayo del presente año. Como se puede observar, los puntos 8 y 9 poseen las concentraciones más representativas de SO₂ con un valor de 0,89 (µg/m³) y 0,75 (µg/m³) respectivamente, esto debido a la cercanía de ambos puntos a los focos de emisión encontrados dentro del complejo, y a la ubicación del punto 8 en la zona de estacionamiento del mismo. Este resultado es respaldado por el estudio de (García et al., 2013), cuyos resultados mostraron que la concentración de SO₂, es mayor en los sitios cercanos a las fuentes de emisión y por los datos obtenidos de (Martín et al, 2014), donde los valores de mayor concentración obtenidos fueron registrados en zonas con elevado flujo vehicular, provocando un aumento en la concentración del contaminante en el área de interés.

El punto 6, seguido del punto 5, presentan la menor concentración de SO₂ con un valor de 0,42 (µg/m³) y 0,44 (µg/m³) respectivamente, esto debido a su ubicación lejana de las fuentes fijas de emisión del complejo, en una de las vías de acceso al complejo, y donde se asume hubo baja afluencia vehicular durante esa semana.

3.2.3. Análisis de la dispersión de contaminantes mediante la aplicación del software ArcGIS

Los valores de concentración promedio para NO₂ y SO₂, obtenidos durante las 5 semanas de muestreo, fueron usados para la recreación de mapas de dispersión para cada contaminante, a través del software ArcGIS, donde fue posible establecer una escala colorimétrica para la representación de la variación de la concentración durante cada semana, con la finalidad de evaluar la dispersión de NO₂ y SO₂ en la zona de estudio. La escala varía desde una tonalidad verde oscuro, indicativa de baja concentración, a una tonalidad rojiza, indicativa de baja concentración del contaminante de interés. Cada mapa contiene la ubicación geográfica y el mapa satelital de la zona de estudio.

3.2.3.1. Análisis de la dispersión de NO₂



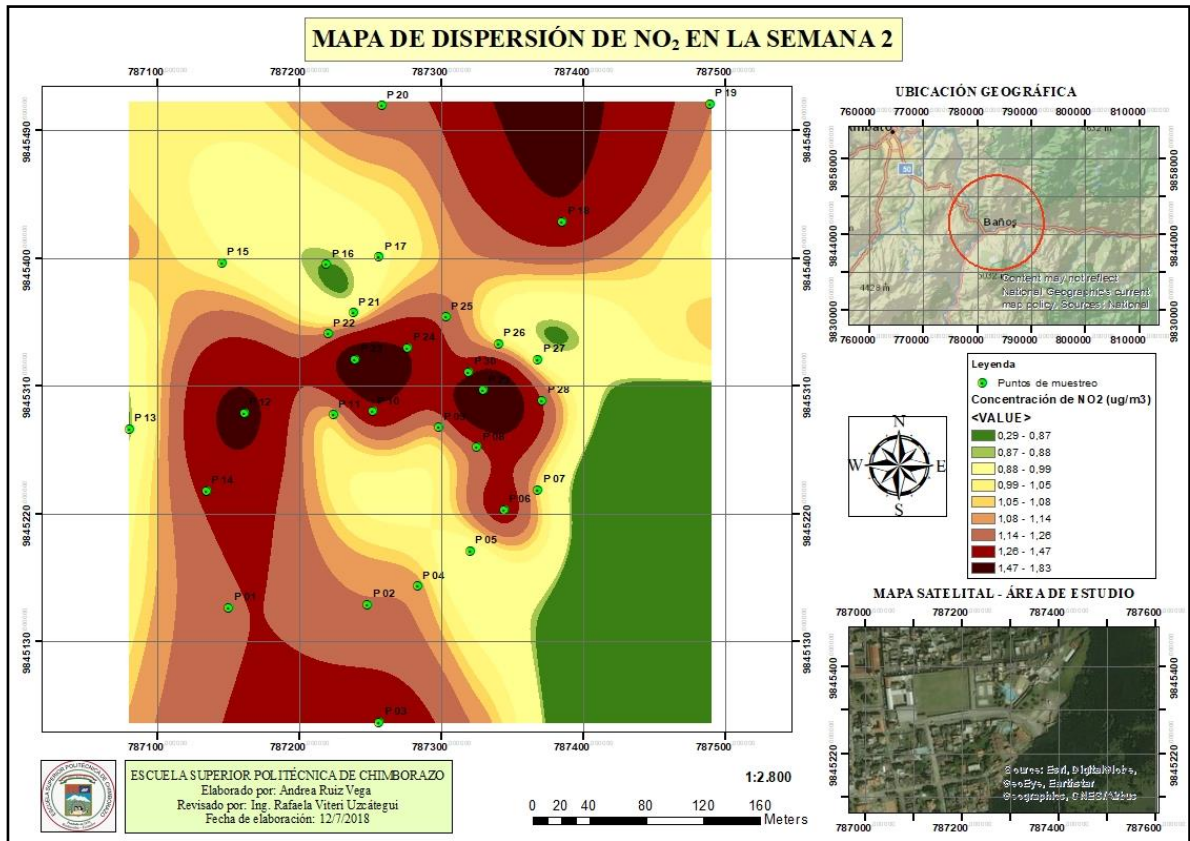
Mapa 1-3: Mapa de dispersión de NO₂ en la primera semana de muestreo

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

El Mapa 3-1., indica la simulación de la dispersión de NO₂ durante la primera semana de muestreo, según los niveles de concentración en cada punto. Como se puede observar la mayor concentración, está comprendida entre los puntos 22, 24 y 30, con valores que varían en el rango de 2,45 - 2,85 (µg/m³), correspondientes a una tonalidad rojiza en la escala colorimétrica,

indicativa de alta concentración, esto debido a la cercanía de dichos puntos a las fuentes fijas de emisión del complejo. Por lo contrario, el punto 11, registra la menor concentración con un valor igual a 1.26 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), correspondiente a una tonalidad verde oscuro en la escala colorimétrica, indicativa de baja concentración de NO_2 . Además, se observa que las concentraciones de NO_2 determinadas, siguen la dirección predominante del viento durante esa semana, de Norte - Suroeste (N, SSO).

Esta semana presenta los valores de concentración más altos durante el tiempo de muestreo, esto debido a que según los datos proporcionados por (Estación Parque de la Familia, 2018), durante esa semana se registraron los valores más bajos para la velocidad del viento (con un promedio semanal equivalente a 2,51 m/s), esto concuerda con la correlación inversamente proporcional, existente entre estas dos variables (-0.75), resultado respaldado por (De la Cruz et al., 2011, p.7), donde los mayores niveles de concentración de contaminantes, se debieron principalmente a la localización cercana de los puntos de muestreo a las fuentes emisión y a que los vientos que arrastraron el contaminante durante el tiempo de muestreo, presentaron una velocidad relativamente baja (< 3 m/s).



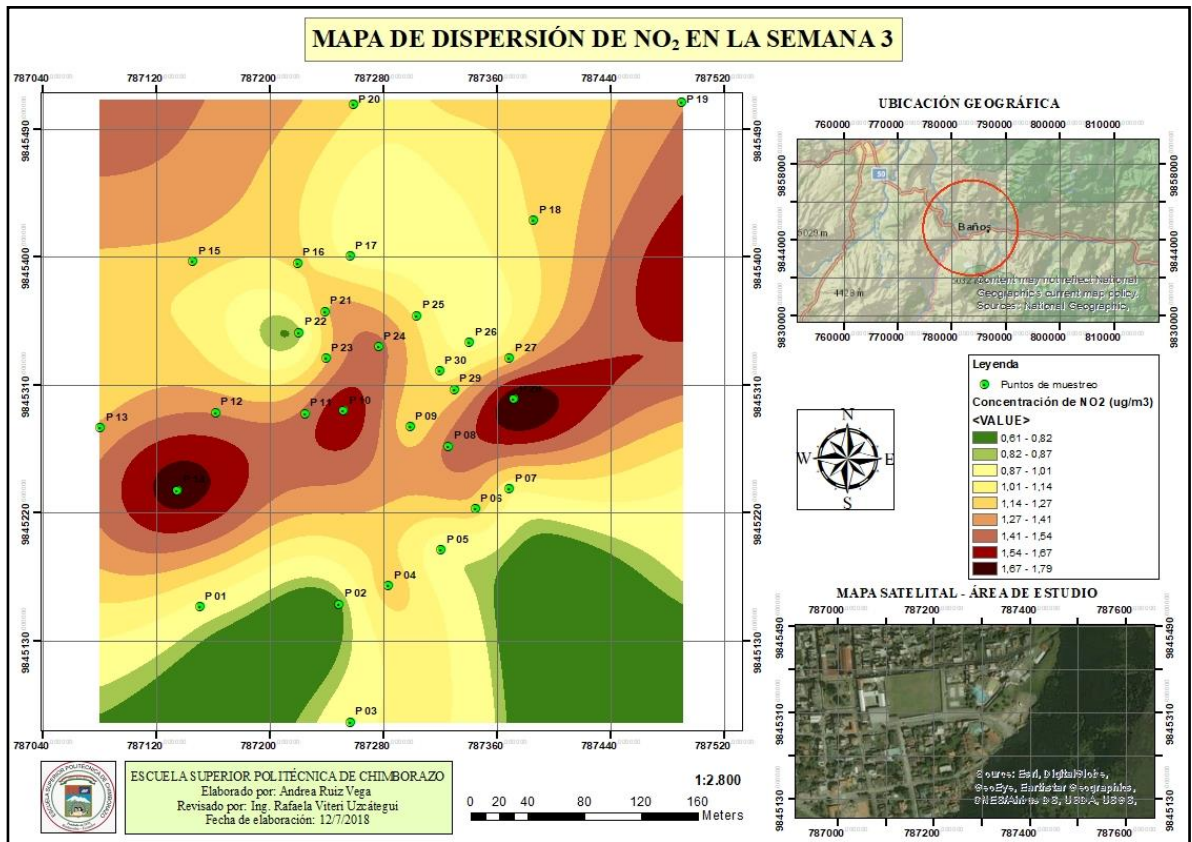
Mapa 2-3: Mapa de dispersión de NO₂ en la segunda semana de muestreo

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

La figura 3-2., indica la simulación de la dispersión NO₂ durante la segunda semana de muestreo, según los niveles de concentración en cada punto. Como se puede observar la mayor concentración, se encuentra entre los puntos 29, 23 y 12, con valores que varían en el rango de 1,47 - 1,83 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), correspondiente a una tonalidad rojiza en la escala colorimétrica, indicativa de alta concentración, esto debido a la cercanía de los puntos a las fuentes fijas de emisión del complejo, y a la ubicación de ambos puntos en zonas de estacionamiento vehicular. Por lo contrario, los puntos 13 y 16, registran las concentraciones más bajas, con valores que se encuentra dentro del rango de 0,29 - 0,87 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), correspondiente a una tonalidad verde oscuro en la escala colorimétrica, indicativa de baja concentración de NO₂. Además, se observa que las concentraciones de NO₂ determinadas, siguen la dirección predominante del viento durante esa semana, de Norte - Sur (N, S).

Esta semana presenta valores de concentración inferiores a la primera semana, esto debido a que los valores de velocidad del viento registrados por (Estación Parque de la Familia, 2018), durante esta semana, fueron relativamente superiores (con un promedio semanal de 2.76 m/s), esto concuerda con la correlación inversamente proporcional, existente entre estas dos variables (-0.75), lo que indica una mayor dispersión del NO₂ en la zona de estudio, tal como lo menciona (Toro et al., 2016,

p.54), donde se establece que el comportamiento del viento permite evaluar la dispersión de un contaminante en el ambiente, al ser emitidos por determinadas fuentes.

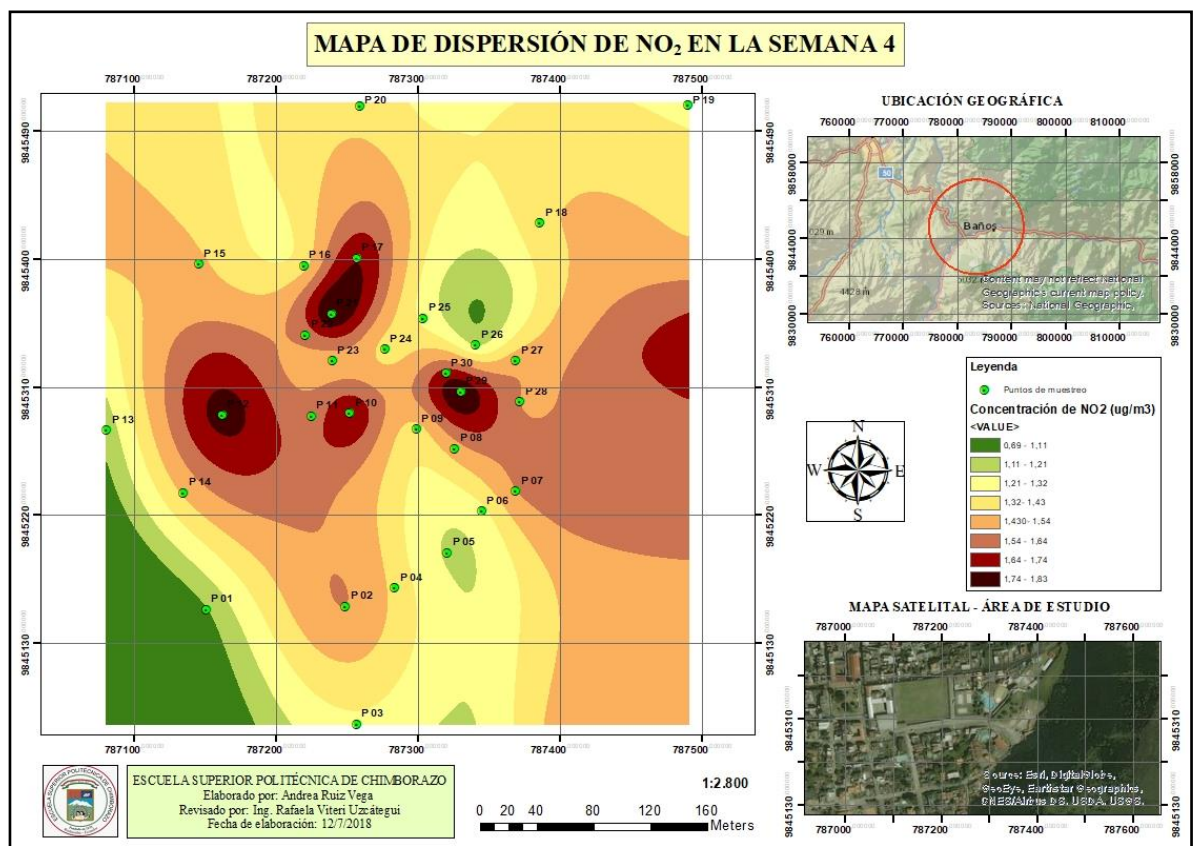


Mapa 3-3: Mapa de dispersión de NO₂ en la tercera semana de muestreo

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

La figura 3-3., indica la simulación de la dispersión NO₂ durante la tercera semana de muestreo, según los niveles de concentración en cada punto. Como se puede observar la mayor concentración, se encuentra entre los puntos 28 y 14, con valores que se encuentra dentro del rango de 1,67 – 1,79 (µg/m³), correspondiente a una tonalidad rojiza en la escala colorimétrica, indicativa de alta concentración, esto debido a la cercanía del punto 28 a las fuentes fijas de emisión del complejo y a la ubicación del punto 14 en la zona de estacionamiento del Instituto Ecuatoriano De Seguridad Social (IESS), cercano al complejo Termas de la Virgen. Por lo contrario, el punto 2, registra la concentración más baja con un valor igual a 0.82 (µg/m³), correspondiente a una tonalidad verde oscuro en la escala colorimétrica, indicativa de baja concentración de NO₂. Además, se observa que las concentración de NO₂ determinadas, siguen la dirección predominante del viento durante esa semana, de Norte - Suroeste (N, SSO).

Esta semana presenta valores de concentración similares a la segunda semana, esto debido a que los valores de velocidad del viento registrados por (Estación Parque de la Familia, 2018), durante esta semana, fueron similares (con un promedio semanal de 2.74 m/s), lo que indica una mayor dispersión del NO₂ en la zona de estudio, en relación a la primera semana, tal como lo menciona (Gómez et al., 2012, p.2), cuyos resultados mostraron que los contaminantes estudiados fueron dispersados por acción del viento en la dirección predominante hacia el área de interés, esto concuerda con la correlación inversamente proporcional, existente entre estas dos variables (-0.97).



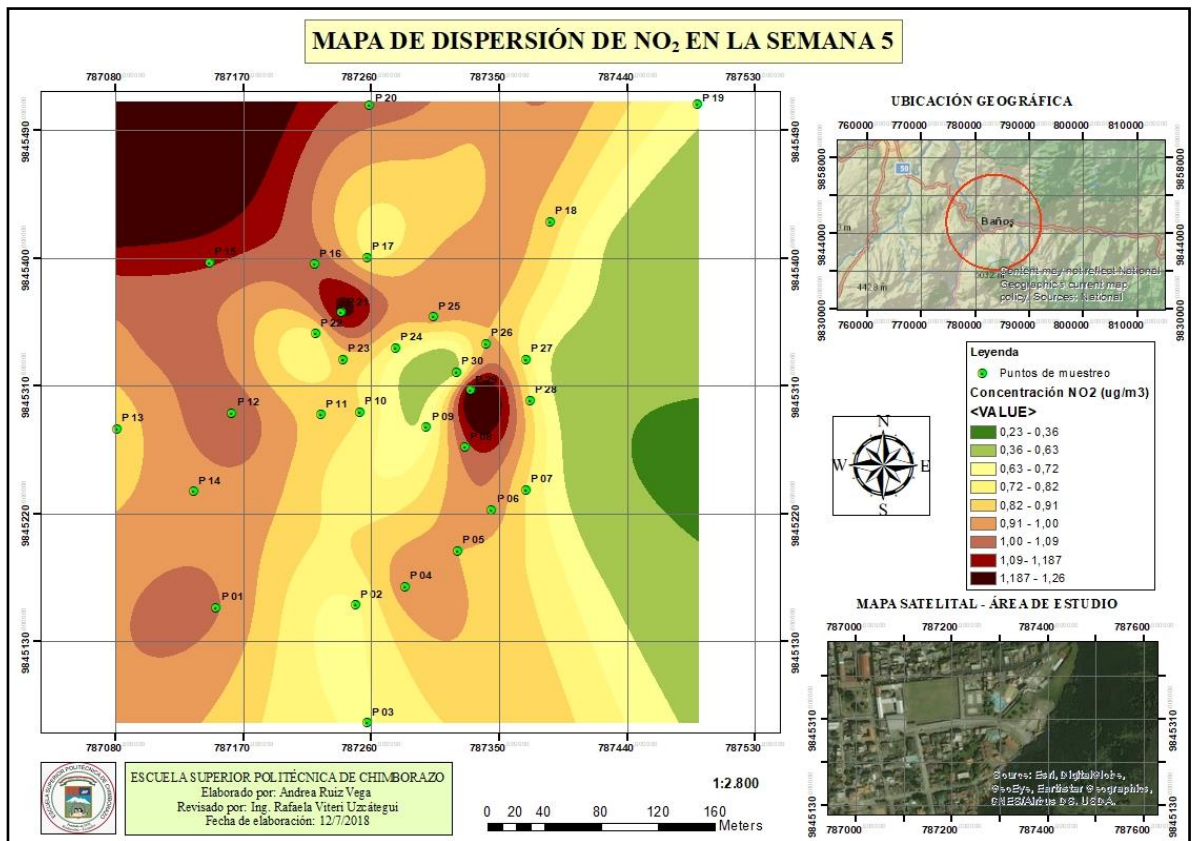
Mapa 4-3: Mapa de dispersión de NO₂ en la cuarta semana de muestreo

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

La figura 3-4., indica la simulación de la dispersión NO₂ durante la cuarta semana de muestreo, según los niveles de concentración en cada punto. Como se puede observar la mayor concentración, se encuentra entre los puntos 29, 21 y 12, con valores que se encuentra dentro del rango de 1,74 – 1,83 (µg/m³), correspondiente a una tonalidad rojiza en la escala colorimétrica, indicativa de alta concentración, esto debido a la cercanía de los puntos 29 y 12 a las fuentes fijas de emisión del complejo y a la ubicación del punto 12, en la zona de estacionamiento de la

Asociación de vendedores de cañas, ubicada junto al complejo. Por lo contrario, el punto 1, registra la concentración más baja con un valor igual a 1,11 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), correspondiente a una tonalidad verde oscuro en la escala colorimétrica, indicativa de baja concentración de NO_2 , esto debido a su ubicación distante a los focos de emisión del complejo, en una de las vías de acceso al mismo. Además, se observa que al igual que en la semana 1 y 3, las concentraciones de NO_2 determinadas, siguen la dirección predominante del viento durante esa semana, de Norte - Suroeste (N, SSO).

Esta semana presenta valores de concentración superiores a la segunda y tercera semana, esto debido a que según los datos proporcionados por (Estación Parque de la Familia, 2018), durante esa semana se registraron valores inferiores para la velocidad del viento (con un promedio semanal equivalente a 2,60 m/s), esto concuerda con la correlación inversamente proporcional, existente entre estas dos variables (-0.97), resultado respaldado por (De la Cruz et al., 2011, p.7), donde los mayores niveles de concentración de contaminantes, se debieron principalmente a la localización cercana de los puntos de muestreo a las fuentes emisión y a que los vientos que arrastraron el contaminante durante el tiempo de muestreo, presentaron una velocidad relativamente baja (< 3 m/s).



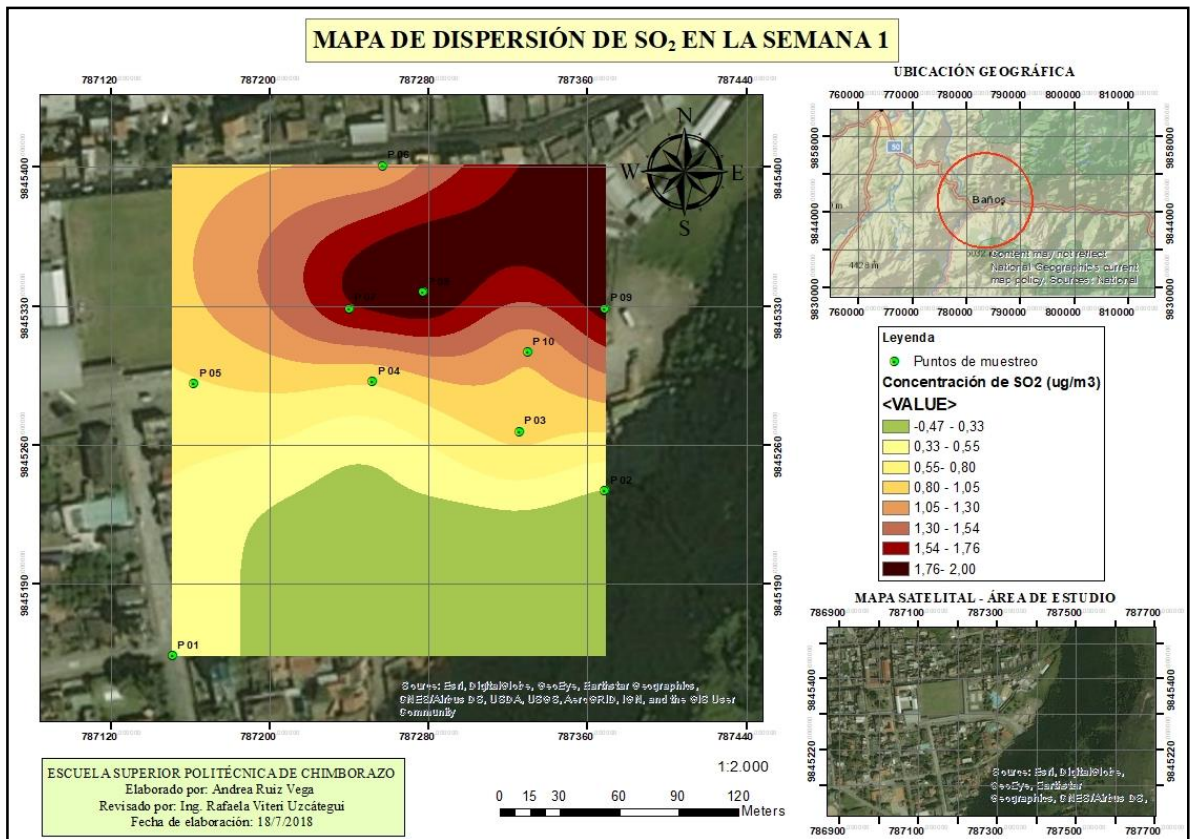
Mapa 5-3: Mapa de dispersión de NO₂ en la quinta semana de muestreo

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

La figura 3-5., indica la simulación de la dispersión NO₂ durante la quinta semana de muestreo, según los niveles de concentración en cada punto. Como se puede observar la mayor concentración, se encuentra entre los puntos 30 y 21, con valores que varían en el rango de 1,29 – 1,39 (µg/m³), correspondiente a una tonalidad rojiza en la escala colorimétrica, indicativa de alta concentración, esto debido a la cercanía de dichos puntos a las fuentes fijas de emisión del complejo. Por lo contrario, el punto 3, registra la concentración más baja con un valor igual a 0,60 (µg/m³), correspondiente a una tonalidad verde oscuro en la escala colorimétrica, indicativa de baja concentración de NO₂, esto debido a su ubicación distante a los focos de emisión del complejo, en una de las vías de acceso al mismo, donde se asume hubo baja afluencia vehicular durante esa semana.

Esta semana presenta los valores de concentración más bajos durante el tiempo de muestreo, esto debido a que según los datos proporcionados por (Estación Parque de la Familia, 2018), durante esa semana se registraron los valores más altos para la velocidad del viento (con un promedio semanal equivalente a 2,60 m/s), esto concuerda con la correlación inversamente proporcional, existente entre estas dos variables (-0.97).

3.2.3.2. Análisis de la dispersión de SO₂



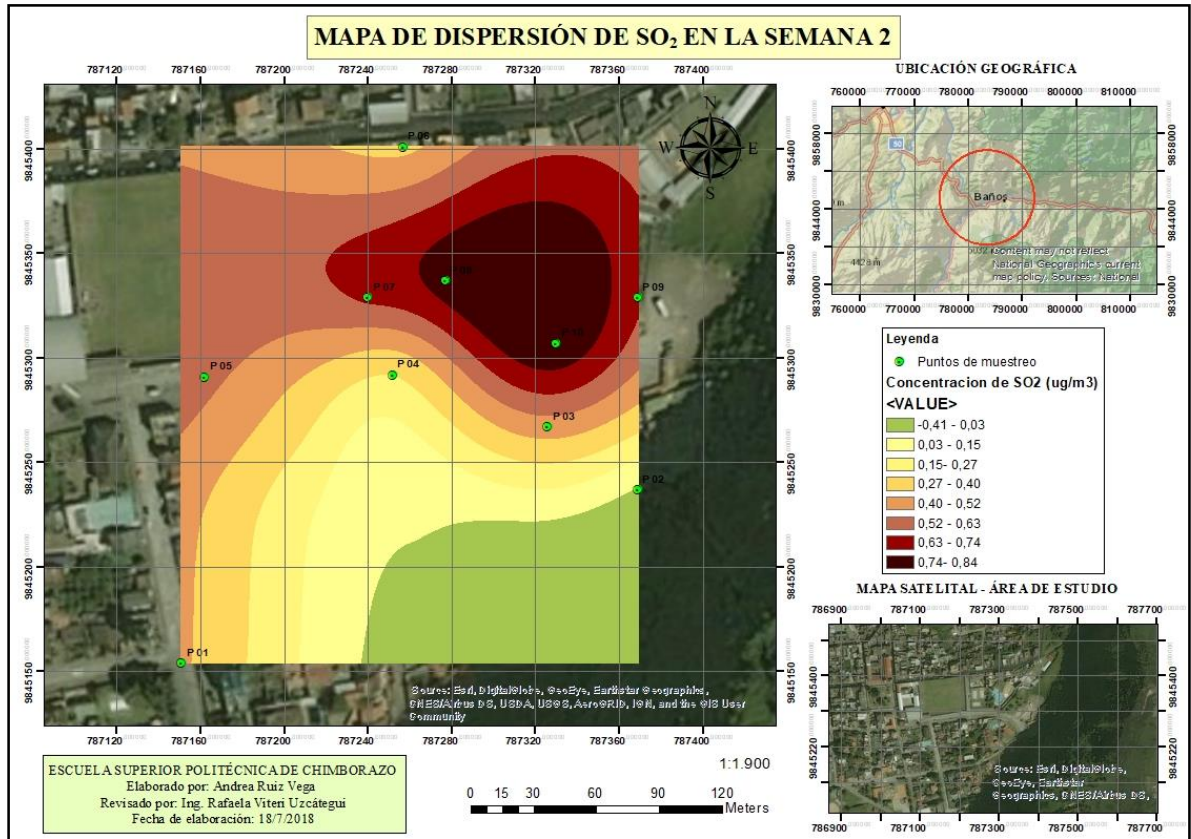
Mapa 6-3: Mapa de dispersión de SO₂ en la primera semana de muestreo

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

La figura 3-6., indica la simulación de la dispersión SO₂ durante la primera semana de muestreo, según los niveles de concentración en cada punto. Como se puede observar la mayor concentración se encuentra en el punto 08, con un valor igual a 2,00 (µg/m³), correspondiente a una tonalidad rojiza en la escala colorimétrica, indicativa de alta concentración, esto debido a su cercanía a dos de los focos de emisión encontrados dentro del complejo, y a la ubicación de dicho punto en la zona de estacionamiento del complejo turístico. Por lo contrario, el punto 2, registra la menor concentración con un valor igual a 0,33 (µg/m³), correspondiente a una tonalidad verde oscuro en la escala colorimétrica, indicativa de baja concentración de SO₂.

Al igual que lo sucedido con los datos obtenidos de concentración NO₂, esta semana presenta los valores de concentración más altos, esto debido a que según los datos proporcionados por (Estación Parque de la Familia, 2018), durante esa semana se registraron los valores más bajos para la velocidad del viento (con un promedio semanal equivalente a 2,51 m/s), esto concuerda con la correlación inversamente proporcional, existente entre estas dos variables (-0.84), resultado respaldado por (De la Cruz et al., 2011, p.7), donde los mayores niveles de concentración de contaminantes, se

debieron principalmente a la localización cercana de los puntos de muestreo a las fuentes emisión y a que los vientos que arrastraron el contaminante durante el tiempo de muestreo, presentaron una velocidad relativamente baja (< 3 m/s).



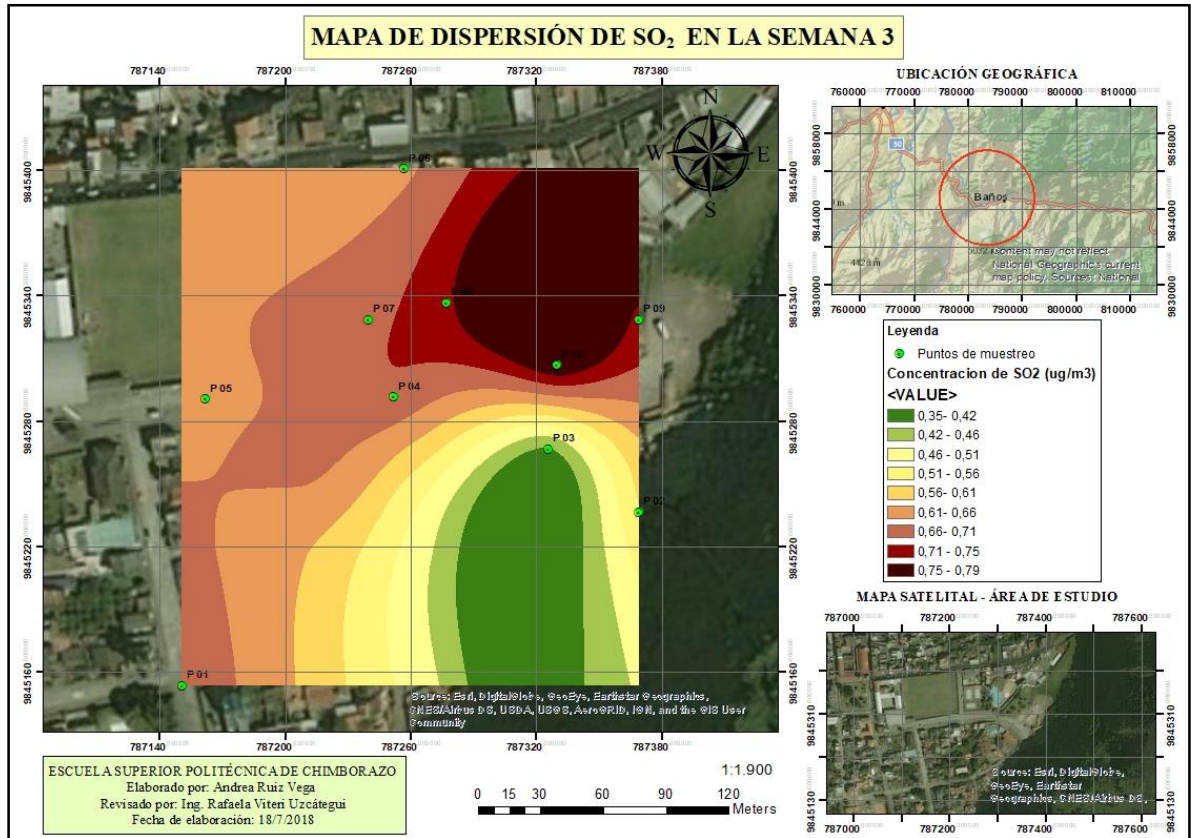
Mapa 7-3. Mapa de dispersión de SO₂ en la segunda semana de muestreo

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

La figura 3-7., indica la simulación de la dispersión SO₂ durante la segunda semana de muestreo, según los niveles de concentración en cada punto. Como se puede observar la mayor concentración, se encuentra entre los puntos 8 y 10, con valores que se encuentra dentro del rango de 0,74 – 0,84 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), correspondiente a una tonalidad rojiza en la escala colorimétrica, indicativa de alta concentración, esto debido a la cercanía de dichos puntos a las fuentes fijas de emisión del complejo, y a la ubicación del punto 8 en la zona de estacionamiento del mismo. Por lo contrario, al igual que en la primera semana, el punto 2 registra la concentración más baja, con un valor igual 0,03 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), correspondiente a una tonalidad verde oscuro en la escala colorimétrica, indicativa de baja concentración de SO₂.

Esta semana presenta valores de concentración inferiores a la primera semana, esto debido a que los valores de velocidad del viento registrados por (Estación Parque de la Familia, 2018), durante esta semana, fueron relativamente superiores (con un promedio semanal de 2.76 m/s), esto concuerda

con la correlación inversamente proporcional, existente entre estas dos variables (-0.84), lo que indica una mayor dispersión del SO₂ en la zona de estudio, tal como lo menciona (Toro et al., 2016, p.54), donde se establece que el comportamiento del viento permite evaluar la dispersión de un contaminante en el ambiente, al ser emitidos por determinadas fuentes.

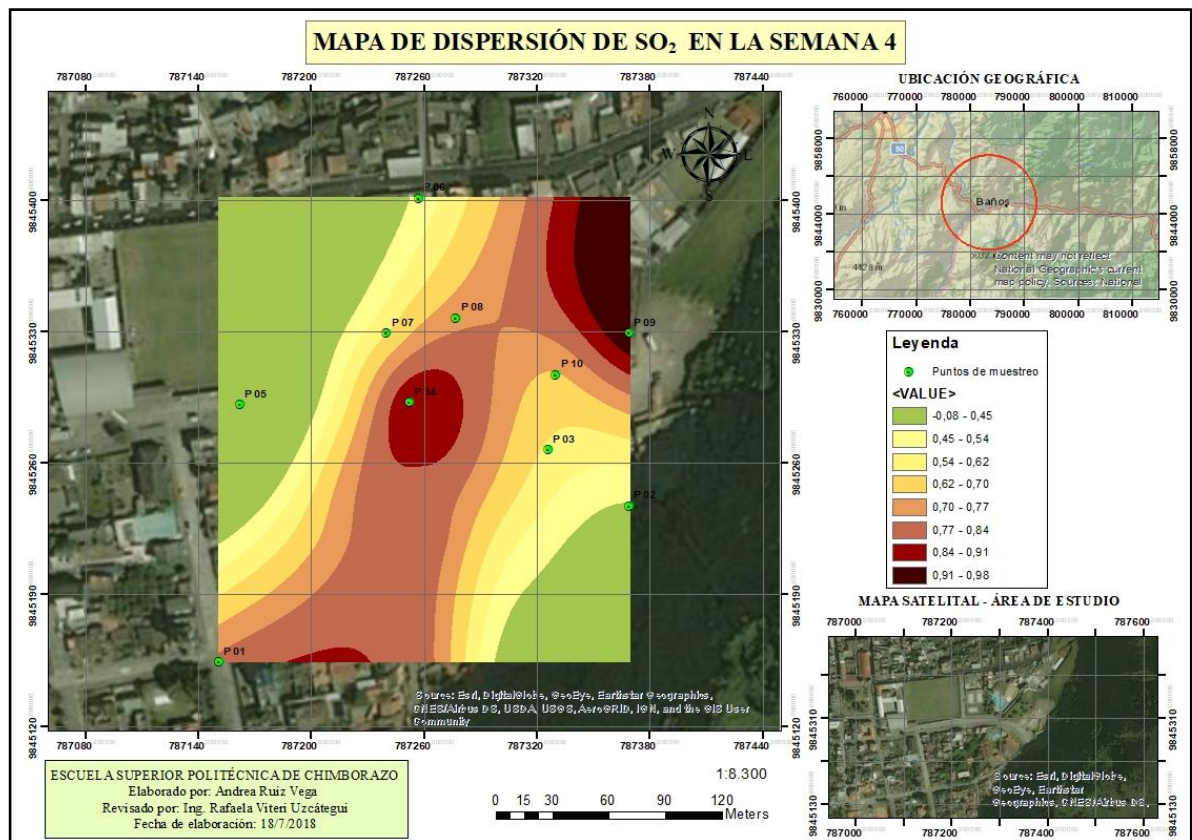


Mapa 8-3: Mapa de dispersión de SO₂ en la tercera semana de muestreo

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

La figura 3-8., indica la simulación de la dispersión SO₂ durante la tercera semana de muestreo, según los niveles de concentración en cada punto. Como se puede observar la mayor concentración, se encuentra en el punto 10, con un valor igual a 0,79 (µg/m³), correspondiente a una tonalidad rojiza en la escala colorimétrica, indicativa de alta concentración, esto debido a la cercanía de dicho punto a las fuentes fijas de emisión del complejo. Por lo contrario, el punto 3, registra la concentración más baja con un valor igual a 0,42 (µg/m³), correspondiente a una tonalidad verde oscuro en la escala colorimétrica, indicativa de baja concentración de SO₂. Esta semana presenta valores de concentración similares a la segunda semana, esto debido a que los valores de velocidad del viento registrados por (Estación Parque de la Familia, 2018), durante esta semana, fueron similares (con un promedio semanal de 2.74 m/s), lo que indica una mayor dispersión del NO₂ en la zona de estudio, en relación a la primera semana, tal como lo menciona (Gómez et al., 2012, p.6), cuyos resultados mostraron que los contaminantes estudiados fueron dispersados por acción del viento en la dirección predominante hacia el área de interés, esto

concuerta con la correlación inversamente proporcional, existente entre estas dos variables (-0.84).

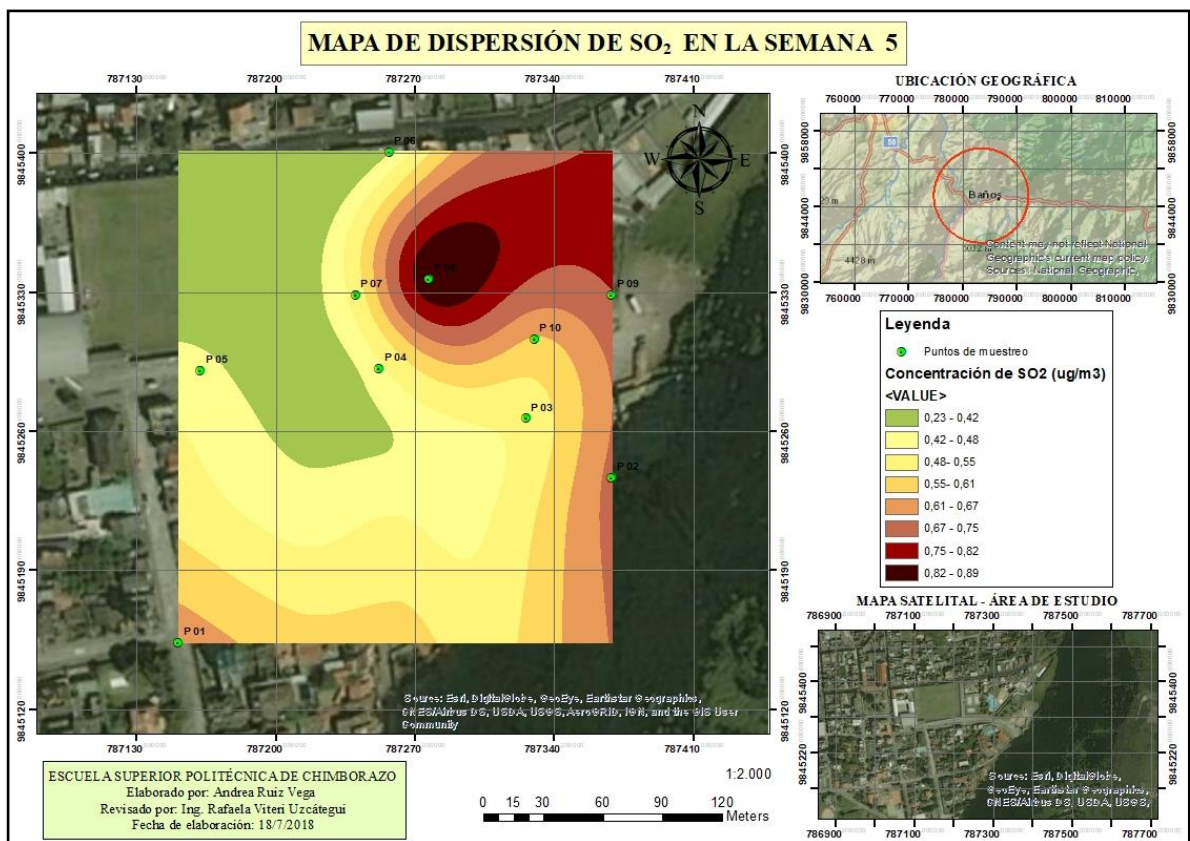


Mapa 9-3: Mapa de dispersión de SO₂ en la cuarta semana de muestreo

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

La figura 3-9., indica la simulación de la dispersión SO₂ durante la cuarta semana de muestreo, según los niveles de concentración en cada punto. Como se puede observar la mayor concentración, se encuentra en el punto 9, con un valor igual a 0,98 (µg/m³), correspondiente a una tonalidad rojiza en la escala colorimétrica, indicativa de alta concentración, esto debido a la cercanía de dicho punto a las fuentes de emisión al complejo. Por lo contrario, los puntos 2 y 5 registran los valores de concentración más bajos, con valores que se encuentre dentro del rango de -0.86 – 0.45 (µg/m³), correspondiente a una tonalidad verde oscuro en la escala colorimétrica, indicativa de baja concentración de SO₂, esto debido a su ubicación distante a los focos de emisión del complejo, en una de las vías de acceso al mismo.

Esta semana presenta valores de concentración superiores a la segunda y tercera semana, esto debido a que según los datos proporcionados por (Estación Parque de la Familia, 2018), durante esa semana se registraron valores inferiores para la velocidad del viento (con un promedio semanal equivalente a 2,60 m/s), esto concuerda con la correlación inversamente proporcional, existente entre estas dos variables (-0.84).



Mapa 10-3: Mapa de dispersión de SO₂ en la quinta semana de muestreo

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

La figura 3-10., indica la simulación de la dispersión SO₂ durante la quinta semana de muestreo, según los niveles de concentración en cada punto. Como se puede observar la mayor concentración, se encuentra en el punto 8, con un valor igual a 0,89 (µg/m³), correspondiente a una tonalidad rojiza en la escala colorimétrica, indicativa de alta concentración, esto debido a la cercanía de dicho punto a las fuentes fijas de emisión del complejo y a su ubicación en la zona de estacionamiento del mismo. Por lo contrario, el punto 3, registra las concentración más baja con un valor igual a 0,60 (µg/m³), correspondiente a una tonalidad verde oscuro en la escala colorimétrica, indicativa de baja concentración de SO₂, esto debido a su ubicación distante a los focos de emisión del complejo, en una de las vías de acceso al mismo.

Esta semana presenta los valores de concentración más bajos durante el tiempo de muestreo, esto debido a que según los datos proporcionados por (Estación Parque de la Familia, 2018), durante esa semana se registraron los valores más altos para la velocidad del viento (con un promedio semanal equivalente a 2,60 m/s), esto concuerda con la correlación inversamente proporcional, existente entre estas dos variables (-0.84).

3.2.3. Análisis estadístico

3.2.3.1. Prueba de Kolmogórov-Smirnov

Para la validación de la hipótesis se realizó la prueba de Kolmogórov-Smirnov, para verificar si los datos de concentración de NO₂ y SO₂ obtenidos durante el tiempo de muestreo, siguen o no una distribución normal.

Tabla 5-3: Prueba de Kolmogorov-Smirnov para NO₂

		Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
N		30	30	30	30	30
Parámetros normales ^{a,b}	Media	19.038	12.126	12.210	14.700	9340
	Desviación estándar	.41009	.22795	.24119	.19497	.17122
Máximas diferencias extremas	Absoluta	.097	.093	.152	.107	.117
	Positivo	.097	.093	.152	.107	.117
	Negativo	-.057	-.066	-.067	-.093	-.088
Estadístico de prueba		.097	.093	.152	.107	.117
Sig. asintótica (bilateral)		.200 ^{c,d}	.200 ^{c,d}	.074 ^c	.200 ^{c,d}	.200 ^{c,d}

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

Dando como resultado:

- La distribución de prueba es normal.
- Se calcula a partir de datos.
- Corrección de significación de Lilliefors.

d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

Tabla 5-3: Prueba de Kolmogorov-Smirnov para SO₂

		Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
N		10	10	10	10	10
Parámetros normales^{a,b}	Media	1,1210	,5050	,6670	,6780	,5950
	Desviación estándar	,56965	,24505	,10812	,17937	,15277
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,201	,123	,238	,139	,211
	Positivo	,201	,086	,128	,139	,211
	Negativo	-,157	-,123	-,238	-,102	-,126
Estadístico de prueba		,201	,123	,238	,139	,211
Sig. asintótica (bilateral)		.200 ^{c,d}	.200 ^{c,d}	.116 ^c	.200 ^{c,d}	.200 ^{c,d}

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

Dando como resultado:

- a. La distribución de prueba es normal.
- b. Se calcula a partir de datos.
- c. Corrección de significación de Lilliefors.
- d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

3.2.3.2. Análisis de varianza de un factor ANOVA

La hipótesis se comprobó a nivel de significancia de 0,05. Se realizó un ANOVA de un factor para cada caso, debido a que los datos siguen una distribución Normal, según la información generada en las pruebas estadísticas para la concentración de NO₂ y SO₂.

Tabla 6-3: Análisis de varianza de un factor ANOVA para NO₂**Resumen**

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Semana 1	30	57,1149317	1,903831057	0,168170243
Semana 2	30	36,37665512	1,212555171	0,051962012
Semana 3	30	36,63	1,221	0,058174828
Semana 4	30	44,1	1,47	0,038013793
Semana 5	30	28,0205043	0,93401681	0,02931695

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

Análisis de varianza

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	15,8906445 9	4	3,972661148	57,46855 3	5,62445E-29	2,434065136
Dentro de los grupos	10,0234969 6	145	0,069127565			
Total	25,9141415 6	149				

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

Tabla 6-3: Análisis de varianza de un factor ANOVA para SO₂**Resumen**

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
0,512881216	9	10,69543772	1,18838197	0,31434985
0,419545789	9	4,628174042	0,51424156	0,06696731
0,699981266	9	5,973173472	0,66368594	0,01294499
0,79	9	5,99	0,66555556	0,03445278
0,65224061	9	5,299899062	0,58887767	0,02574916

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

Análisis de varianza

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	2,56464619	4	0,64116155	7,0540 3968	0,00021 412	2,60597495
Dentro de los grupos	3,63571273 7	40	0,09089282			
Total	6,20035892 7	44				

Realizado por: RUIZ, Andrea, 2018

3.2.3.3. Planteamiento de la Hipótesis

H₀: La concentración de los contaminantes NO₂ y SO₂, en el complejo Termas de la Virgen de la ciudad de Baños de Agua Santa, no varía a través del tiempo.

H_i: La concentración de los contaminantes NO₂ y SO₂, en el complejo Termas de la Virgen de la ciudad de Baños de Agua Santa, varía a través del tiempo.

Decisión: debido a que en el análisis de los datos de NO₂ como SO₂, p=0,00 existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula (H₀), y por tanto se acepta la H_i, de que la concentración de los contaminantes NO₂ y SO₂, en el complejo Termas de la Virgen de la ciudad de Baños de Agua Santa, varía a través del tiempo.

CONCLUSIONES

- Las concentraciones de NO₂ y SO₂, por cada semana de muestreo, fueron establecidas en 30 puntos fijados a criterio técnico y de forma aleatoria en la zona de estudio, considerando los puntos críticos y la cercanía a las fuentes fijas de emisión del complejo, mediante el empleo de muestreadores pasivos y su posterior análisis por espectrofotometría UV-Visible, dando como resultado valores de concentraciones de NO₂ y SO₂ bajas, con una concentración promedio semanal que varía de 0,93 - 1,90 ug/m³ para NO₂, y de 0,50 - 1,12 ug/m³ para SO₂, mostrando de esta forma que las emisiones generadas en las cinco semanas de muestreo, por las fuentes fijas localizadas en el complejo Termas de la Virgen, se encuentran dentro del límite máximo permisible, cuyo valor no debe sobrepasar los 40 ug/m³ por año y 200 ug/m³ por hora para NO₂, y los 60 ug/m³ por año y 125 por día para SO₂, según lo establece el Acuerdo Ministerial 097A en el Libro VI Anexo 4 de Calidad del Aire.
- La dispersión de NO₂ y SO₂ en el aire ambiente de la zona de estudio, fue determinada a través de mapas de simulación de dispersión de contaminantes, y en base los valores de concentración calculados previamente, a partir de los cuales fue posible evidenciar los puntos de mayor y menor concentración de NO₂ y SO₂, atribuyendo la baja presencia de estos gases en la zona de estudio, al efecto de la velocidad y dirección del viento, según los datos proporcionados por la Estación Meteorológica Parque de la Familia, concluyendo que estos factores favorecieron la dispersión y dilución de la concentración de los mismos en la zona de estudio. De esta forma se corrobora la relación inversamente proporcional existente entre estas variables, pues a mayor velocidad del viento, menor fue la concentración de contaminantes en el área de interés, observándose de esta forma mayores concentraciones en la zona de emisión que en la de dispersión.
- Mediante la evaluación de los puntos de mayor concentración de NO₂ y SO₂ en el complejo Termas de la Virgen y zonas aledañas al mismo, se determinó que los puntos más cercanos a las fuentes fijas de emisión del complejo, registraron los valores más altos de concentración en el tiempo de muestreo. Así, la concentración de los gases disminuyó en los puntos alejados de los focos de emisión, al ser dispersados por la acción del viento. Sin embargo, durante la tercera semana de muestreo, puntos alejados de las fuentes fijas de emisión, registraron concentraciones similares a las de puntos cercanos a las mismas, atribuyendo esta concentración a la ubicación de los puntos en vías de tránsito y zonas de estacionamiento vehicular aledañas al complejo. No obstante, los valores determinados se encuentran dentro del límite máximo permisible establecido por el Acuerdo Ministerial 097A en el Libro VI

Anexo 4 de Calidad del Aire, cuyo valor corresponde a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para NO_2 , y $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para SO_2 en las muestras recogidas durante un año, por cada contaminante, justificando con ello, que las personas que transitan en la zona de estudio o en áreas cercanas a la misma, no están sujetas a efectos indeseables, o que podrían ocasionar un impacto sobre su salud, pues además se encuentran dentro de los valores guías establecidos por la OMS, correspondientes a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la media anual de NO_2 y $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un promedio de 24 horas de SO_2 (Organización Mundial de la Salud, 2018). Sin embargo, se deberá tomar las medidas necesarias para asegurar la calidad de vida de futuras generaciones y la conservación del ambiente en la zona de estudio.

- El transporte y dispersión de contaminantes en el Complejo Termas de la Virgen y sus alrededores, está directamente influenciado por factores meteorológicos como velocidad y dirección del viento, y precipitación. Esto justifica, la baja concentración de NO_2 y SO_2 registrada durante el tiempo de muestreo, del 25 de abril al 30 de mayo del presente año, donde según los datos proporcionados por la Estación Meteorológica Parque de la Familia, las precipitaciones durante el tiempo de muestreo, llegan hasta los 22 mm/h, considerada de intensidad alta a moderada, según lo establecido por (Pardo, y Rodríguez, 2014, p.17), lo que provocó que las partículas suspendidas en el aire sean arrastradas a la superficie terrestre. Este resultado es respaldado con la información obtenida de (Gavidia, 2015, p.2), donde se menciona a la lluvia como un lavador de contaminantes atmosféricos, al llevar todas las partículas hacia el suelo.

RECOMENDACIONES

- Utilizar equipos de medición actualizados y aptos para la investigación a desarrollarse, con la finalidad de reducir el índice de error en el análisis posterior de las muestras.
- Fijar un tiempo de muestreo superior 8 semanas, a fin de obtener mayor credibilidad y confianza en los datos de concentración y su relación con los factores meteorológicos de la zona de interés.
- Considerar la cercanía de los puntos de muestreo en relación a las fuentes de emisión de interés, para establecer una mejor relación entre la concentración y la dispersión de los contaminantes dentro del dominio de estudio.
- Realizar un muestreo activo de las fuentes fijas de emisión del complejo, para conocer de forma directa y específica, los niveles de concentración de contaminantes en la fuente, tanto de gases como de partículas emitidas al aire y verificar si estos valores cumplen con los establecidos por la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire o su vez establecer una Normativa en base a los resultado de muestreo activo obtenidos en la zona de estudio.
- Fomentar en la carrera, la utilización de software de modelación ambiental aplicados a la evaluación de la calidad del aire.

BIBLIOGRAFÍA

ACUERDO MINISTERIAL 097A. *REFORMA TEXTO UNIFICADO LEGISLACION SECUNDARIA, MEDIO AMBIENTE, LIBRO VI*, Decreto Ejecutivo 3516, Registro Oficial Suplemento 2, 31/03/2003. Ministerio del Medio Ambiente. [En línea] 4 de Noviembre de 2015. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>.

ALVARADO, Xinia. Impacto en la salud ambiental por efecto de emisiones de dióxido de azufre del Volcán Arenal, en la población de la Fortuna de San Carlos. *Revista Costarricense de Salud Pública*. [En línea] Diciembre de 2006, (Costa Rica) 15(29). ISSN 1409 - 1429. Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14292006000200004.

BAIRD, Colin; & CANN, Michael. *Química Ambiental*. Barcelona, España: Reverté, 2012.

BALLESTER, Ferran. Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Revista Española de Salud Pública*. [En línea] 2 de Marzo de 2005, (España) 79(2). ISSN 1409 - 1429. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/170/17079207.pdf>.

BARRIENTOS, Miguel. Spline. *Arctoolbox: Guía Rápida de herramientas*. [En línea] 2014. Disponible en: http://mapas.gorecoquimbo.gob.cl:81/descargas/3D_Analyst_9_2.pdf.

BARTUAL, José. NTP 151: Toma de muestras con captadores pasivos. *Ministerio de trabajo y asuntos sociales, España*. [En línea] 2013. Disponible en: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/101a200/ntp_151.pdf.

BOLETÍN OFICIAL ESPAÑOL. *Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la Calidad del Aire*. [En línea] 2011. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-1645-consolidado.pdf>.

BORGE et al, R. Experimental Campaign in a Heavily Trafficked Roundabout in Madrid for the Assessment of Air Quality Monitoring Station Representativeness in Terms of Population Exposure to NO₂ (tesis) [En línea]. Universidad Politécnica de Madrid, España. 2015 de Mayo de 2015. Disponible en: http://tecaire-cm.org/wp-content/uploads/2016/06/H-P_Kushan-RBorge-def.pdf.

CABILDO et al., María. *Bases químicas del medio ambiente* [En línea]. Madrid-España: Unidad Didáctica, 2013. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=MhFIAgAAQBAJ&pg=PA365&dq=funciones+de%20la+atmosfera++2013&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj-kMr_N7UAhXBZiYKHRpHDwQ6AEIMDAD#v=onepage&q=funciones%20de%20la%20atmosfera%202013&f=false

CHUET, Juan. NO₂, el peligroso contaminante que afecta a la capacidad de atención de los niños. *La Vanguardia*. [En línea] 27 de Febrero de 2017. Disponible en: <http://www.lavanguardia.com/natural/20170226/42280025427/no2-dioxido-de-nitrogeno-peligroso.html>.

CIFUENTES, Cristina. Validación del método para medir gases contaminantes (SO₂, NO₂ y O₃), mediante captadores pasivos, incluyendo un análisis de microbiológico de la calidad del aire en una fabrica industrial. *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Vida, Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental*. [En línea] 2014. Disponible en: <file:///C:/Users/Usuario/Desktop/escritorio/TESIS%20ANDRE/ANTEPROYECTO/BIBLIOGRAFIA%20C3%8DA/TESIS/VALIDACION%20DEL%20METODO%20PARA%20MEDIR%20GASES%20-ESPE.pdf>.

CONTRERAS, Alfonso y MOLERO, Mariano. Contaminación atmosférica. *Ciencia y Tecnología del Medioambiente*. [En línea] 2009. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/230507490/Ciencia-y-Tecnologia-Del-Medioambiente>.

CUEVA, Patricia. Estudio de SO₂ y NO₂ empleando muestreo pasivo en la zona industrial de la vía a la Costa - Guayaquil (tesis) [En línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba - Ecuador. 2017. Disponible en: <http://dspace.espe.edu.ec/bitstream/123456789/7853/1/236T0287.pdf>.

DE LA CRUZ, Feliberto, et al. La dispersión atmosférica de contaminantes en una zona industrial de Cuba. *Revista CENIC*. [En línea] Junio de 2011. Disponible en: <http://revista.cnic.edu.cu/revistaCQ/articulos/la-dispersi%C3%B3n-atmosf%C3%A9rica-de-contaminantes-en-una-zona-industrial-de-cuba>.

DOMÉNECH, Xavier. Química atmosférica. Origen y efectos de la contaminación. *Contaminación Antropogénica*. Tercera. España : Miraguano, 2000.

DOVAL, Marta. Métodos analíticos para la obtención de medidas indicativas. *Universidad de Murcia*. [En línea] Mayo de 2009. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10938/DovalMinarro.pdf?sequence=1>.

ESTACIÓN PARQUE DE LA FAMILIA. Datos de velocidad del viento y temperatura en los meses de abril y mayo de 2018. Baños de Agua Santa, Tungurahua, Ecuador : s.n., Mayo de 2018.

GALLEGO, Alejandrina. Contaminación atmosférica. [aut. libro] Ignacio González, Benjamín Sánchez Alejandrina Gallego. *Contaminación atmosférica*. España : UNED, 2012, pág. 160.

GARCÍA, Mario, et al. Concentración de contaminantes SO₂, NO₂ y correlación con H⁺, SO₄²⁻ y NO₃⁻ durante la temporada de lluvias en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México. *Scielo*. [En línea] 2013. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-73482013000200004.

GARCÍA JIMÉNEZ, Enrique. Estudio, diseño y gestión de sistemas medición de la contaminación atmosférica en Tarragona (tesis). [En línea] Junio de 2013. Disponible en: <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/1130pub.pdf>.

GAVIDIA, Valeria. Transporte y dispersión de contaminantes en el aire ambiental. [En línea] 30 de Enero de 2015. Disponible en: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IDEntrega=3065>.

GÓMEZ, Rosa, et al. Descripción de la calidad del aire en el área de influencia del Botadero de Navarro, Cali, Colombia. *Scielo*. [En línea] Septiembre de 2012. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/cm/v39n3/v39n3a6.pdf>.

HERNÁNDEZ, Anel. Sistema de la Evaluación de la dispersión episódica de contaminantes atmosféricos. *Dialnet*. [En línea] 24 de Agosto de 2016. Disponible en: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/rep_1229.pdf.

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA. Manual 1. Principios de Medición de la Calidad del Aire. *Instituto Nacional de Ecología*. [En línea] 2012. Disponible en: <http://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/1-%20Principios%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf>.

JIMÉNEZ, Enrique. ESTUDIO, DISEÑO Y GESTIÓN DE SISTEMAS DE MEDICIÓN DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN TARRAGONA. [En línea] Junio de 2007. Disponible en: <http://www.monitoreoambiental.com/download/8.%20Estudio%20Contaminaci%C3%B3n%20Atmosf%C3%A9rica.pdf>.

MANAHAN, Stanley E. Introducción a la Química Ambiental. *Introducción a la Química Ambiental*. Primera. Madrid : Reverté UNAM, 2007, pág. 402.

MANRIQUE, Angélica y OSSA, Diana. Validación de los métodos espectrofotométricos para la determinación de SO_x y NO_x en muestras de aire. *Universidad Tecnológica de Pereira*. [En línea] 2010. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1832/5430858M285.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

MARTÍN Yarelys, et al. Determinación de la concentración de dióxido de nitrógeno en la atmósfera de Ciudad de La Habana mediante captadores pasivos. *Revista CENIC Ciencias Químicas* [En línea], 2014, (Cuba), 40(1). Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/1816/181621659004.pdf>.

METEOCAST. Pronóstico del tiempo para Baños de Agua Santa. [En línea] Abril - Mayo de 2018. <https://es.meteocast.net/forecast/ec/banos/>.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. 2015. Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire. *Ministerio del Ambiente.* [En línea] 2015. Disponible en: http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/norma_ecuato_calidad.pdf.

NAVA, Eudo, et al. Dispersión atmosférica desde un quemador chimenea. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela.* [En línea], 2013, (Venezuela), 2(1). Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652007000100008.

OJEDA, Luis Rodríguez. Prueba de Kolmogoroc - Smirnov (K-S). *Probabilidad y estadística básica para ingenieros.* [En línea] 2007. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/25020/1/PROBABILIDAD%20Y%20ESTADISTICA%20BASICA%20PARA%20INGENIEROS.pdf>.

OLIVA, Pablo, et al. Manual de Laboratorio. *Programa Aire Puro Monitoreo del Aire.* [En línea] Agosto de 2001. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/Manual-laboratorio-analisis-aire.pdf>.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Dióxido de nitrógeno (NO₂). [En línea] 2 de Mayo de 2018. Disponible en: [http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).

PARDO, Rafael y RODRÍGUEZ, Yakelin,. Clasificación de tormentas tropicales según lluvias asociadas. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental* [En línea], 2014, (Cuba), 35(2). ISSN 1680 - 0338. Agosto de 2014. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v35n2/riha03214.pdf>.

PERDIZ, José. Modelado y simulación de la dispersión de contaminantes en la pluma de una chimenea por el método de dispersión Gaussiano (tesis) [En línea]. Universidad Nacional de Trujillo, Escuela de Posgrado. 2016. La Libertad - Perú. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/7974/Tesis%20Maestr%C3%ADaX%20-%20Jos%C3%A9%20Manuel%20Perd%C3%ADz%20D%C3%A1vila.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

QUEVEDO, Olga y CALDERÓN, Fernanda. Distribución espacial del azufre en la atmósfera del estuario interior del Golfo de Guayaquil, a partir de muestreadores pasivos (Fenn y Poth, 2004) Guayaquil, Ecuador. *Revista de Ciencias y Tecnología Acta Nova*. [En línea] Marzo de 2018. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892018000100012.

RODRÍGUEZ, Leydi y NUREÑA, Carlos. Determinación de los niveles de concentración de dióxido de azufre en los puntos críticos de congestión vehicular en el centro histórico de la ciudad de Trujillo [En línea]. *Universidad Nacional de Trujillo*, Perú. 2010. Disponible en: http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9188/RodriguezRodriguez_L%20-%20ZegarraNurena_C.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

ROMERO, Manuel, et al. La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología* [En línea], 2012, (Cuba), 44(2). ISSN 1567 - 1303. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032006000200008.

SÁNCHEZ, Alejo, et al. Cuantificación de dióxido de nitrógeno con captadores pasivos tipo Radellio. *Revista Cubana de Química*. [En línea], Mayo de 2011, (Cuba), 13(2). ISSN 0258 - 5995. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/4435/443543723010.pdf>.

SECRETARÍA DE AMBIENTE DEL MUNICIPIO DEL DISTRITO METROPOLITANO QUITO. Índice quiteño de la calidad del aire IQCA. *Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano Quito*. [En línea] 2015. Disponible en: http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/iqca.pdf.

TORO, María, et al. Estudio de la dispersión de contaminantes atmosféricos en la jurisdicción de Cornare: Informe general (tesis) [En línea]. Universidad Pontificia Bolivariana. Bolivia. Abril de 2016. Disponible en: https://www.cornare.gov.co/SIAR/aire/CALIDAD_DE_AIRE/CONTENIDO/INFORME-GENERAL_1.pdf.

TORRES, Harol de Jesús, MONTOYA, Paula y CASTAÑO, Juan. Determinación de NO₂ atmosférico mediante captadores pasivos y cromatografía de intercambio iónico. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*. [En línea], 2009, Colombia, 25. ISSN 2145 - 9371. Disponible en: <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/viewArticle/1556/4481>.

ZAPATA, Carmen, et al. Fortalecimiento de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá con Medidores Pasivos. *Gestión y Ambiente*. [En línea] 6 de Mayo de 2008. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/viewFile/9215/9856><https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/viewFile/9215/9856>.